
第 6 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 6th Conference

平成 29 年 3 月 14 日(火)
東北学院大学 多賀城キャンパス

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

Tohoku Branch of The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan (SHASE)

空気調和・衛生工学会東北支部
第6回学術・技術報告会
口頭発表・ポスター発表講演者および技術展示募集

空気調和・衛生工学会東北支部では第6回学術・技術報告会を下記の要領にて実施いたします。つきましては、空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学一般に関する研究や調査、物件の企画や設計・施工・試験結果等の技術報告、新製品・新素材や試製品の紹介等の講演および技術展示を募集致します。報告会当日には、若手研究者・技術者を対象とした優秀発表奨励賞の表彰も行います。産官学各界よりたくさんのご応募を賜りますよう、お願い申し上げます。また、一般来場者も聴講可能な特別セッションを予定する他、交流会も行いますのでぜひお誘いあわせのうえご参加下さい。

- 主 催 空気調和・衛生工学会東北支部
- 共 催 電気設備学会東北支部、建築設備技術者協会東北支部、日本技術士会東北本部
- 協 賛 日本建築学会東北支部、住まいと環境 東北フォーラム
- 後 援 日本空調衛生工事業協会東北支部、東北空調衛生工事業協会、日本設備設計事務所協会東北ブロック、宮城県空調衛生工事業協会、日本電設工業協会東北支部、全国ビルメンテナンス協会東北地区本部、山形県設備技術協議会、日本冷凍空調学会東北地区事業推進委員会
- 日 時 平成 29 年 3 月 14 日 (火) 8:50～17:20 予定 (8:30 受付開始)
- 会 場 東北学院大学多賀城キャンパス工学基礎教育センター
(受付・展示：ホワイエ、A会場：011 教室、B会場：021 教室)
〒985-0873 宮城県多賀城市中央 1 丁目 13-1
(<http://www.tohoku-gakuin.ac.jp/campusmap/tagajo.html>)
アクセス JR 仙石線「多賀城駅」から徒歩約 7 分 JR 東北本線「国府多賀城駅」から徒歩約 15 分。

【口頭発表・ポスター発表・技術展示の申し込み】

- エントリー締切 平成 29 年 1 月 12 日 (木) (口頭発表・ポスター発表講演者・技術展示共通)
※エントリーを受付けた後、後日論文集掲載用原稿を提出頂きます。
※エントリー用紙は必ず今年度版をご使用下さい。
- 応募資格 発表者(連名者)/展示者(紹介者)のうち少なくとも 1 名が本学会または共催・協賛・後援学協会の会員(会員種別不問)であること。
- 申込方法 エントリー用紙を当学会東北支部ホームページからダウンロードし、必要事項を記載し、メールにて件名に“第6回東北支部学術・技術報告会申込み”と標記のうえお申込み下さい。
- 登録料 ・一般講演(口頭発表・ポスター発表)：一題につき 2,000 円(税込)を当日お支払い下さい。連名者は無料です。当日はつり銭のないようご協力ください。
・技術展示出展料：1 ブース当り 20,000 円(税込)を期日までに指定の口座へお振込みください。2 月 10 日(金)頃までに出席者(責任者)宛に請求書を送付致します。
- 参加費 無 料
- 論文集 紙媒体(白黒印刷, 1 冊 3,000 円 税込)を当日販売します。また、PDF 版を空気調和・衛生工学会東北支部 HP よりダウンロード可能です(無償)。PDF 版の掲載予定期間は開催日の 3 月 7 日～3 月 17 日(予定)です。紙媒体の論文集は部数に限りがありますので、確実に入手したい方は、エントリー用紙の論文購入欄にてお申込み下さい。

【口頭発表・ポスター発表】

- 投稿方法 口頭発表・ポスター発表に関わらず、論文集掲載用原稿は偶数頁(最大 6 ページ)とし、期日までに PDF データをメールにて提出頂きます。テンプレートや発表時の諸注意(伝達事項)は、後日当学会東北支部ホームページに掲載します。
- 原稿締切 平成 29 年 2 月 15 日(水)17:00 必着。
※原稿は後日 HP に掲載される伝達事項を確認し、所定のファイル名をつけ提出下さい。

- 講演方法
 - ・**一般講演(口頭発表)**：一題につき発表9分、討論3分程度を予定。
 - ・**一般講演(ポスター発表)**：ポスター会場でコアタイムに説明・討論(各9分・3分)。
 - ・各自パソコンと発表データをご持参ください。
 - ・接続はシリアル端子のみです。Macの方、HDMI端子のみの方はアダプタをご準備下さい。



- 採 否 東北支部運営委員会に一任願います。口頭発表の応募数が多い場合、口頭発表で申し込み頂いても、ポスター発表になる場合があります。

【技術展示】

- 出展内容
 - ①空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学に関連する研究・調査、技術・機器・システム等を紹介するポスター等や機器・製品・システム等
 - ②ポスター会場に展示ブース(幅約180cm×奥行90cm+テーブル)を予定。
 - ③午前中に、技術関連展示内容を説明するためのコアタイムを予定しております。
 - ④騒音や振動の発生する展示物のデモンストレーションがある場合は、実施の可否と時間帯の検討を行いますので、計画内容を事務局までご相談下さい。
 - ⑤電源を要する機器類の電源は、単相100V、5A以内をお願いします。

※詳細は、後日「伝達事項」として当学会東北支部HPに掲載いたします。
- 採 否 東北支部運営委員会に一任願います。

■プログラム (予定)

- 8:30 受付開始(発表者・技術展示代表者は発表・展示前に受付を済ませて下さい)
- 8:50 開会・開会の挨拶
- 午 前 学術・技術報告会(口頭発表、ポスター発表コアタイム)、技術展示コアタイム
- 午 後 学術・技術報告会(口頭発表)、特別セッション
- 閉会行事、優秀発表奨励賞の発表、表彰式
- 17:20 閉会・閉会の挨拶

- 交 流 会 当日18:30~20:30(予定)。ホテル法華クラブ仙台4F 藤の間(青葉区本町2-11-30)、参加費5000円。エントリー時または3月7日(月)までに当実行委員会へお申込み下さい。参加費は当日お支払い下さい。

- 連 絡 先 空気調和・衛生工学会 東北支部第6回学術・技術報告会実行委員会

専用HP <http://tohoku.shasej.org/gakujutu.html>

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町3-8 春日町ファインビル4F

住まいと環境 東北フォーラム内

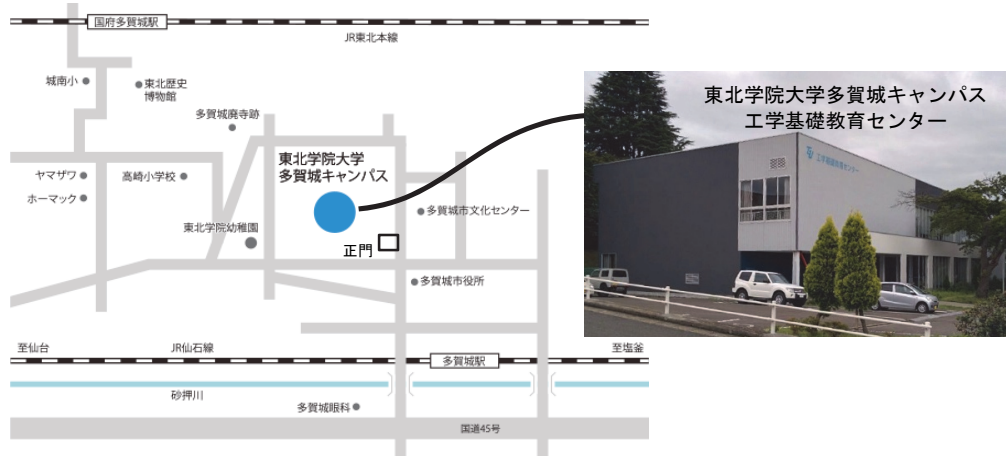
TEL 022-221-9042 FAX 022-221-9243

E-mail tohoku.shase@gmail.com 担当：柴田

※@gmail.comからのメールが受け取れるように設定をお願いします。

※伝達事項は、随時東北支部HPに掲載しますが、ご不明な点は上記までご連絡下さい。

■会場案内図



第6回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 6th Conference

目 次

学術・技術報告〔口頭・ポスター発表〕	1
特別セッション（地区講演会を兼ねて）	151
空気調和・衛生工学会の概要	165
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	166
第1～5回 優秀発表奨励賞受賞者	168

第6回 学術・技術報告会 組織委員会

委員長	小林 光	東北大学
委員	及川 義信	新日本空調(株)東北支店
	許 雷	東北工業大学
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	鈴木 道哉	東北学院大学
	田原 誠	(株)竹中工務店東北支店
	田中 和則	(株)ユアテック
	山田 英明	東洋熱工業(株)東北支店
事務局	庄司 恒久	空気・調和衛生工学会東北支部事務局
事務代行	柴田 まりこ	住まいと環境 東北フォーラム

空気調和・衛生工学会 東北支部 第6回学術・技術報告会 スケジュール

	口頭発表 A 会場 (工学基礎教育センター1 階 011 教室)	口頭発表 B 会場 (工学基礎教育センター2 階 021 教室)	技術展示会場 (工学基礎教育センター1 階アウンジ)
開会式	8:50～8:55 支部長挨拶 司会:小林 光		
学術・技術報告 (口頭発表)	9:00～10:00 【温熱空気環境①】 A-1～A-5 司会:内海 康雄	9:00～9:48 【給排水衛生・給湯①】 B-1～B-4 司会:岡田 誠之	
	10:05～11:05 【温熱空気環境②】 A-6～A-10 司会:及川 義信	10:05～11:05 【給排水衛生・給湯②】 B-5～B-9 司会:許 雷	
技術展示コアタイム			11:10～11:45 (展示は 8:50～17:00) T-1～T-8 司会:山田 英明
学術・技術報告 (口頭発表)	12:30～13:18 【エネルギー消費①】 A-11～A-14 司会:鈴木 道哉	12:30～13:18 【騒音振動・光環境】 B-10～B-13 司会:赤井 仁志	
	13:25～14:25 【エネルギー消費②】 A-15～A-19 司会:渡邊 浩文	13:25～14:13 【システム開発】 B-14～B-17 司会:田中 和則	
	14:30～15:18 【再生可能エネルギー】 A-20～A-23 司会:後藤 正徳	14:30～15:18 【災害避難・放射線】 B-18～B-21 司会:須藤 諭	
特別セッション	15:30～17:00 空気調和・衛生工学会 100 周年 プレイベント 空気調和・衛生工学会東北支部 地区講演会 司会:松木 石二 開会挨拶:小林 光 主旨説明:渡邊 浩文 閉会挨拶:赤井 仁志		
閉会式	17:00～17:15 優秀発表奨励賞 発表 優秀発表奨励賞 受賞式 司会:小林 光		

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第6回 学術・技術報告会

プログラム

平成29年3月14日(火)

東北学院大学 多賀城キャンパス

1. 開会式

【開会式】 8:50~8:55 口頭発表A会場(工学基礎教育センター1階011教室)	司会: 小林 光	東北大学
支部長挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長 内海 康雄	仙台高等専門学校

2. 学術・技術報告〔口頭発表〕

【温熱空気環境①】		司会: 内海 康雄	仙台高等専門学校	掲載 ページ
9:00~10:00	口頭発表A会場(工学基礎教育センター1階011教室)			
A-1	緑のカーテンの熱環境負荷低減効果に関する研究	○ 須田 美 高島 健太 川村 広則 須藤 諭	東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学	1
A-2	都市部オフィスビルにおける緑陰形成効果と空気熱源機器効率向上に関する研究	○ 土屋 茂樹 水出 喜太郎 後藤 悠 福森 幹太 新村 浩一 内田 一也	三機工業(株) (株)日建設計 (株)日建設計 三機工業(株) 三機工業(株) 三機工業(株)	5
A-3	伝統的民家の工夫を現代の建築設計に生かすための模型実験—町家の冷気積層型熱対流について—	○ 千葉 玲奈	宮城学院女子大学	9
A-4	排湿層を有する塗壁外断熱システムの断熱・防露性能	○ 本間 義規	宮城学院女子大学	13
A-5	費用対効果の観点から見た断熱改修住宅の環境性能評価	○ 谷口幸多 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	17

【温熱空気環境②】		司会: 及川 義信	新日本空調(株)	掲載 ページ
10:05~11:05	口頭発表A会場(工学基礎教育センター1階011教室)			
A-6	合宿研修所における温熱環境改善に関する研究	○ 岩原 春香 内海 康雄 生出 玲士 佐藤 優太	仙台高等専門学校 仙台高等専門学校 仙台高等専門学校 仙台高等専門学校	21
A-7	住宅の温熱環境特性が家庭内血圧の変動に与える影響に関する研究—高齢者の高血圧予防に向けて—	○ 石川 実歩 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	—
A-8	住宅用換気システムの違いが室内熱空気環境に与える影響に関する実験	○ 竹内 信貴 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	25
A-9	住宅のダンプネスとアレルギー疾患の因果構造の解明に向けた基礎研究	○ 佐藤 有希 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	29
A-10	住宅のダンプネスの経年変化が小児・児童の呼吸器系症状に及ぼす影響に関する研究	○ 佐藤 愛美 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	33

【エネルギー消費①】		司会: 鈴木 道哉	東北学院大学	掲載 ページ
12:30~13:18 口頭発表A会場 (工学基礎教育センター1階011教室)				
A-11	中規模オフィスビルにおけるエネルギー消費量調査(その1) ー東日本大震災前後の比較ー	○ 菅 晃希 三浦 健太 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	37
A-12	中規模オフィスビルにおけるエネルギー調査(その2) ー東日本大震災前後の比較ー	○ 三浦 健太 菅 晃希 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	39
A-13	超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その1) 震災前後のエネルギー消費量の比較	○ 青砥 大起 横澤 颯太 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	41
A-14	超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その2) 震災前後の用途別エネルギー消費のパターン	○ 横澤 颯太 青砥 大起 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	43

【エネルギー消費②】		司会: 渡邊 浩文	東北工業大学	掲載 ページ
13:25~14:25 口頭発表A会場 (工学基礎教育センター1階011教室)				
A-15	事務所建築での内部発熱の変化による空調負荷とヒートポンプへの影響	○ 赤井 仁志 奥野 敏彦 瀬川 和幸 草刈 洋行 二宮 秀典 西山 尚弘 長野 克則 葛 隆生	福島大学 / 北海道大学 東北電力(株) 東北電力(株) (株)ユアテック 鹿児島大学 (株)大林組 北海道大学 北海道大学	45
A-16	秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオの提案 ー家庭内エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の将来推計ー	○ 齊藤 正浩 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	51
A-17	太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討 その2 仙台地区における建物の省エネルギー化が街区内の電力自給率に与える影響の研究	○ 菅野 智之 鈴木 道哉	東北学院大学 東北学院大学	55
A-18	福島県新地町における家庭の電力モニタリングに関する研究	○ 中村 省吾 平野 勇二郎	国立環境研究所 国立環境研究所	61
A-19	福島県における市町村別の家庭用エネルギー消費量推計	○ 平野 勇二郎 中村 省吾 五味 馨 藤田 壮	国立環境研究所 国立環境研究所 国立環境研究所 国立環境研究所	63

【再生可能エネルギー】		司会: 後藤 正徳	第一工業(株)	掲載 ページ
14:30~15:18 口頭発表A会場 (工学基礎教育センター1階011教室)				
A-20	秋田県の戸建住宅における地中熱ヒートポンプ空調システムの省エネルギー性に関する事例研究	○ 田村 和輝 松本 真一 長谷川 兼一 細淵 勇人	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	65
A-21	浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法 第2報:設計・性能予測手法の精度向上の検討と実導入事例との比較による精度検証	○ 東谷 貴 葛 隆生 長野 克則 大江 基明 安江 伸二 赤井 仁志	北海道大学 北海道大学 北海道大学 (株)イノアック住環境 (株)イノアック住環境 福島大学 / 北海道大学	69
A-22	浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法 第3報:設計・性能予測手法を用いた必要地中熱交換器本数の検討	○ 葛 隆生 東谷 貴 長野 克則 赤井 仁志 奥野 敏彦 瀬川 和幸 山本 昌志 草刈 洋行 大江 基明	北海道大学 北海道大学 北海道大学 福島大学 / 北海道大学 東北電力(株) 東北電力(株) (株)ユアテック (株)ユアテック (株)イノアック住環境	73
A-23	酒田市庁舎における地中熱利用システムの施工事例紹介	○ 昆野 充 佐々木 匡	新日本空調(株) 新日本空調(株)	77

【給排水衛生・給湯①】		司会: 岡田 誠之	東北文化学園大学	掲載 ページ
9:00~9:48 口頭発表B会場 (工学基礎教育センター2階021教室)				
B-1	建築設備分野での珪藻土式ろ過器の性能評価方法立案のための検討 第2報: 構成と種類等、性能評価の課題と考察	○ 赤井 仁志 紀谷 文樹 野知 啓子 松村 佳明 松鶴 さとみ 福島 雅弘 佐藤 隆 野崎 英之	福島大学 / 北海道大学 東京工業大学 関東学院大学 (株)山下設計 鹿児島大学 (株)アクアプロダクト フジカ濾水機(株) ミウラ化学装置(株)	81
B-2	災害時のLCPを考慮した建物の給排水設備計画・設計手法に関する研究 -その1 計画・設計フローの提案と集合住宅への適用の検討-	○ 亓理 咲綺 大塚 雅之 松尾 隆史 山海 敏弘	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 建築研究所	83
B-3	台所用途の多種節湯型水栓の節湯効果の評価手法に関する研究	○ 奥野 健太 大塚 雅之 吉田 衣里瑚 矢部 暁	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 UR都市機構	87
B-4	業務用建物への連立節水形トイレの適応の可能性	○ 川口 俊哉 大塚 雅之 石原 唯 和泉 光	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学	91

【給排水衛生・給湯②】		司会: 許 雷	東北工業大学	掲載 ページ
10:05~11:05 口頭発表B会場 (工学基礎教育センター2階021教室)				
B-5	建築物の全国的データベースによる水消費原単位の実態に関する研究	○ 高島 健太 須田 美 川村 広則 須藤 諭	東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学	95
B-6	災害用貯水槽内の水の動きに関する研究	○ 岡田 誠之 大古 道男 亀谷 圭三	東北文化学園大学 大丸鐵興(株) 大丸鐵興(株)	101
B-7	屋外貯水槽の凍結防止対策の実験的検討 第3報: 本実験結果と考察	○ 田中 和則 斎藤 俊幸 草刈 洋行 赤井 仁志 岡田 誠之 福井 啓太 前田 信治 久住 知裕	(株)ユアテック (株)ユアテック (株)ユアテック 福島大学 / 北海道大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 (有)前田衛生興業 宮城県生活環境事業協会	105
B-8	次世代中央式給湯システムデザインのための動的負荷の研究 第2報: 大浴場付きビジネスホテルの給湯負荷	○ 小原 雄輝 赤井 仁志 濱田 靖弘 望月 洋平	北海道大学 福島大学 / 北海道大学 北海道大学 関西電力(株)	107
B-9	貯湯槽の断熱性能向上に関する研究 第1報: FRP製と鋼製貯湯槽の断熱強化による損失熱量の変化	○ 山崎 森 赤井 仁志 濱田 靖弘 小原 雄輝 豊貞 佳奈子 周 潔 銚井 修一 伊庭 千恵美 竹内 進	北海道大学 福島大学 / 北海道大学 北海道大学 北海道大学 福岡女子大学 福岡女子大学 京都大学 京都大学 東北電力(株)	111

【騒音振動・光環境】		司会：赤井 仁志	福島大学 / 北海道大学	掲載 ページ
12:30～13:18 口頭発表B会場（工学基礎教育センター2階021教室）				
B-10	大学内で発生する空調設備の騒音に関する実測調査	○ 沼田 寿明 川村 広則 須藤 諭	東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学	115
B-11	低周波音が脳波に及ぼす影響に関する研究 その2 -脳波成分比率による評価-	○ 川村 広則 沼田 寿明 田原 靖彦	東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学	119
B-12	ワイヤを用いた吊り支持機器の制振補強方法	○ 品田 直也 永坂 茂之 田村 稔 中川 冬彦 水谷 国男	新日本空調(株) 新日本空調(株) 新日本空調(株) 新日本空調(株) 東京工芸大学	123
B-13	CIE標準一般天空の天空タイプ決定手法に関する研究 -由利本荘市測定データによる検証-	○ 菅原 彩夏 長谷川 兼一 細淵 勇人 松本 真一	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	125
【システム開発】		司会：田中 和則	㈱ユアテック	掲載 ページ
13:25～14:13 口頭発表B会場（工学基礎教育センター2階021教室）				
B-14	溶液除湿型冷却システムの提案に関する研究	○ 兪 帥 許 雷 裴 清清	東北工業大学 東北工業大学 広州大学	129
B-15	ゼオライト/水系を用いた一体型吸着蓄熱槽の性能試験	○ 佐々木 賢知 福森 幹太	三機工業(株) 三機工業(株)	133
B-16	中空糸膜式湿式デシカント空調における除湿液の状態による膜の 透湿性能に関する研究	○ 會田 良介 小林 光 弥富 飛鳥 村越 綾	東北大学 東北大学 東北大学 東北大学	137
B-17	建築設備設計におけるBIM技術の応用 -中国での利用現状	○ 謝 永杭 許 雷 裴 清清	東北工業大学 東北工業大学 広州大学	141
【災害避難・放射線】		司会：須藤 諭	東北文化学園大学	掲載 ページ
14:30～15:18 口頭発表B会場（工学基礎教育センター2階021教室）				
B-18	BIM技術を活用した学校の防災教育に関する研究	○ 相澤 拓弥 許 雷	東北工業大学 東北工業大学	143
B-19	高齢者施設における避難シミュレーションに関する研究	○ 車塚 亜美 許 雷	東北工業大学 東北工業大学	145
B-20	原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する 研究 その1 汚染土壌からの放射線が周辺建築環境に及ぼす影響に ついて	○ 本多 祥平 野崎 淳夫 小林 光 一條 佑介 土屋 貴寛 山守 諒 吉野 博	東北大学 東北文化学園大学 東北大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北大学 東北大学	147
B-21	原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する 研究 その2 放射線解析を用いた方向線量率の測定手法の検討	○ 山守 諒 小林 光 本多 祥平 吉野 博 野崎 淳夫 一條 佑介 吉田 浩子	東北大学 東北大学 東北大学 東北大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北大学	149

3. 技術展示

【技術展示】			司会: 山田 英明	東洋熱工業(株)
コアタイム 11:10~11:45 (展示は8:50~17:00)			技術展示会場 (工学基礎教育センター1階ラウンジ)	
展示 No.	展示題目	出展者		
T-1	配管材のオールプラスチック化	積水化学工業(株)		
T-2				
T-3	地中熱利用スパイラル型熱交換器	(株)イノアック住環境		
T-4	快適性の測定提案 温度、湿度、熱流、インピーダンス計測	日置電機(株)		
T-5	地中熱ヒートポンプによる、冷暖房システム	サンポット(株)		
T-6	最新空調機器のご紹介	三菱電機住環境システムズ(株)		
T-7	電気設計容量を軽減する、半導体式床暖房システム	(株)サンマックス		
T-8	データロガー(計測器)	江藤電気(株)		

4. 特別セッション

空気調和・衛生工学会100周年プレイベント 空気調和・衛生工学会東北支部 地区講演会

【特別セッション】			司会: 松木 石二	(株)朝日工業社	掲載 ページ
15:30~17:00 口頭発表A会場 (工学基礎教育センター1階011教室)					
「東北地方におけるスマート設備システムへの期待」					151
プログラム					
1. 開会挨拶	第6回学術・技術報告会組織委員長	小林 光	東北大学		
2. 主旨説明	空気調和・衛生工学会東北支部 事業委員会 幹事	渡邊 浩文	東北工業大学		
3. 主題解説	1) 諸外国の取り組み 2) 「エコ」と「防災」～東松島の復興まちづくり 3) 東北地方におけるスマート設備システムへの期待 - 地域の未来・設備・技術者 -	菅 健太郎 石垣 亨 内海 康雄	Arup東京事務所 東松島市復興政策部 仙台高等専門学校		
4. ディスカッション	・コーディネーター ・パネリスト	渡邊 浩文 菅 健太郎 石垣 亨 内海 康雄			
5. 閉会挨拶	空気調和・衛生工学会東北支部 副支部長	赤井 仁志	福島大学 / 北海道大学		

5. 閉会式

【閉会式】			司会: 小林 光	東北大学
17:00~17:15 口頭発表A会場 (工学基礎教育センター1階011教室)				
優秀発表奨励賞 発表	優秀発表奨励賞 選考・表彰委員会委員長	須藤 諭	東北文化学園大学	
優秀発表奨励賞 受賞式	空気調和・衛生工学会 東北支部長	内海 康雄	仙台高等専門学校	

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
第6回 学術・技術報告会
交 流 会

平成29年3月14日（火）

ホテル法華クラブ仙台 4階藤の間
（仙台市青葉区本町2-11-30）

★ 交流会

【交流会】	司会：船木 寮一	三建設備工業(株)
18:30～20:30 4階藤の間		[会費:5,000円]
開会挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長	内海 康雄 仙台高等専門学校
共催・協賛・後援団体代表祝辞	日本技術士会 東北本部長	吉川 謙造 (株)ダイワ技術サービス
乾杯	日本空調衛生工事業協会 東北支部長	小野寺 宏允 本山振興(株)
【 歓 談 】		
閉会挨拶	第6回学術・技術報告会 組織委員会委員長	小林 光 東北大学

A-1

緑のカーテンの熱環境負荷低減効果に関する研究

○須田美（東北文化学園大学）
高島健太，川村広則，須藤諭（東北文化学園大学）

A Study on the Effect of Heating Load Reduction of the Green Curtain.
Suda Yoshimi (Tohoku Bunka-Gakuen University),
Takashima Kenta, Kawamura Hironori, Sudo Satoshi (Tohoku Bunka-Gakuen University)

キーワード：緑のカーテン，熱環境負荷低減効果，日射遮蔽率，葉量密度

1. はじめに

前報¹⁾では、緑のカーテンによる日射遮蔽効果に関する実測例について報告し、前報²⁾では、葉量密度と日射遮蔽率の関係は対数関数的上昇であると予測を立てた。

2016年も5～9月にかけて東北文化学園大学南側壁面に高さ約4[m]、幅約24.4[m]の緑のカーテンを栽培した。繁茂状況はかなり良好であり葉量密度は、最高550[枚/m²]まで生育した。(図1)



図1 大学緑のカーテンの繁茂状況 2015年(上)2016年(下)

2. 実測概要

実測対象として当大学の図書館南側壁面に設置した緑のカーテンを対象とした。

図2にT型熱電対での温度測定、図3に日射量の測定図を示す。植物の種類は、前年度と同様、ゴーヤ、アサガオ、ユウガオを栽培したが、前報²⁾の植物種による日射遮蔽率の違いはあまりないといい結果から、ゴーヤを選定し測定した。

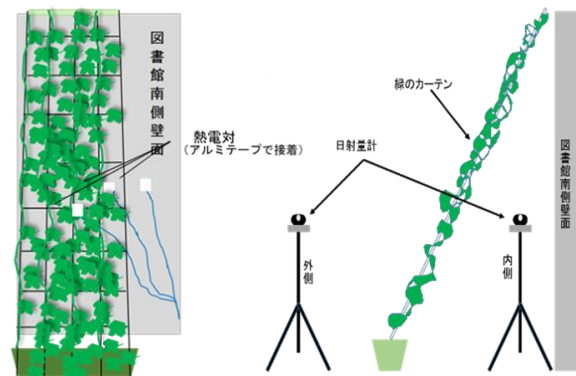


図2 熱電対による温度測定 図3 日射量測定図

3. 壁面温度の上昇抑制効果

3.1 測定概要

図4～8に熱電対による温度測定の結果を示す。計測項目は、直射日光が当たっている壁面、緑のカーテンによってできた日影部分、葉表面の温度とした。気温については、当大学の中庭に設置した気象記録装置の気温データを使用している。

3.2 測定結果

当大学南側図書館壁面の場合、13時半頃若しくは14時頃から日影になるため、直射日光があたっている壁面の温度は低下し始めている。そのため、壁面温度と日影部分の温度差が大きい時間帯は10時頃から13時頃の間によく見られた。

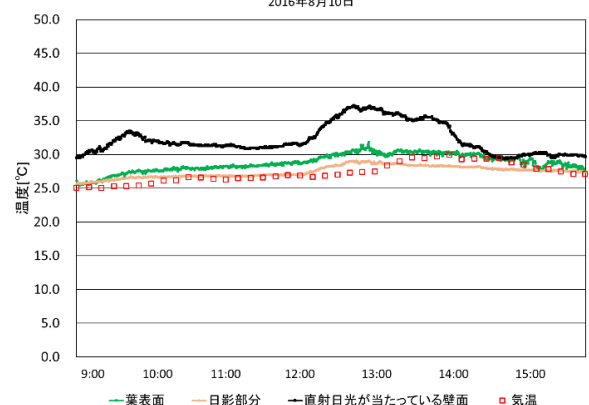


図4 温度測定結果①

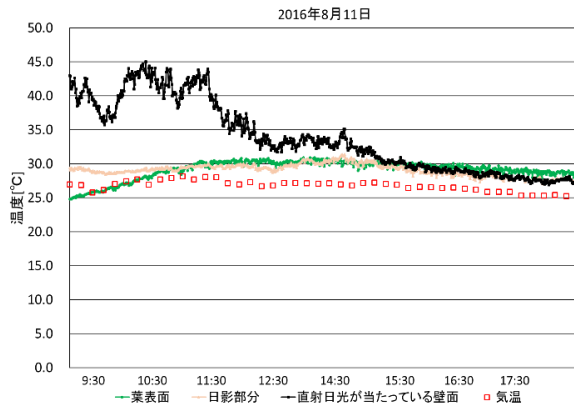


図5 温度測定結果②

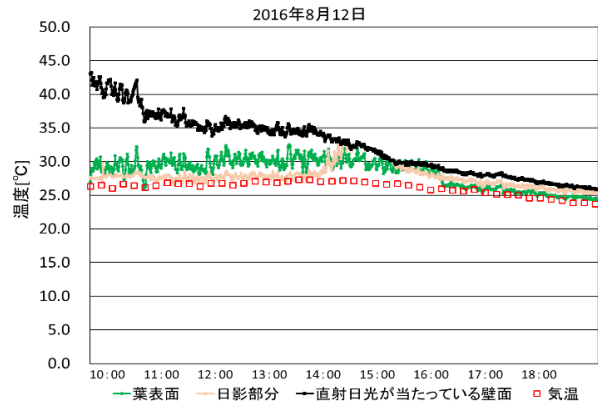


図6 温度測定結果③

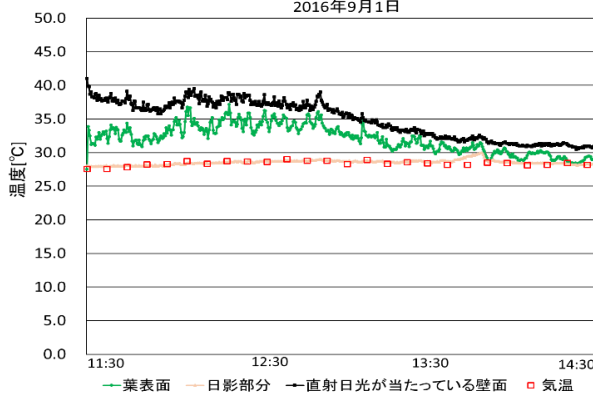


図7 温度測定結果④

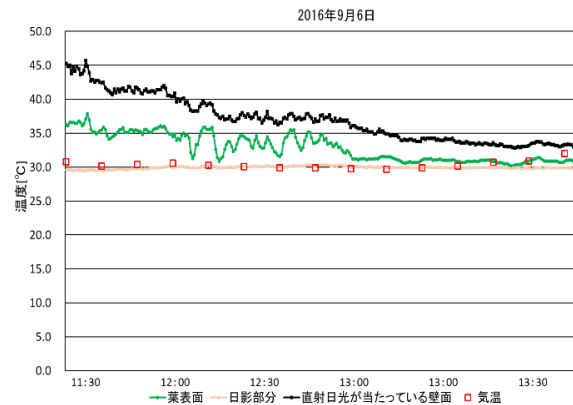


図8 温度測定結果⑤

図4 測定結果①では、直射日光が当たっている壁面温度は、最高 37.3[°C]に達し、同時刻の日影部分は 29.0[°C]と、8.3[°C]の温度上昇抑制効果を確認した。図5 測定結果②は、最高 45.0[°C]に対し日影 29.4[°C]であり、最高 15.9[°C]の温度上昇抑制効果を確認。図6 測定結果③は、最高 42.1[°C]に対し日影 28.3[°C]であり、最高 13.1[°C]の温度差を示し、図7 測定結果④では、最高 41.0[°C]に対し、日影 28.1[°C]であり、温度差は 12.9[°C]となった。図8 測定結果⑤は、最高 45.7[°C]に対し日影部分は 29.5[°C]と、16.2[°C]の壁面温度の上昇抑制効果を確認した。

3.2 まとめ

以上の実測結果から、夏期に緑のカーテンを設置し日影をつくることによって、具体的には8[°C]～16[°C]の低減効果が実測され、直射日光が当たることによる壁面温度の上昇を抑制することがわかった。

4. 葉量密度と日射遮蔽率の関係

4.1 概要

前報²⁾において、葉量密度と日射遮蔽率の関係は対数関数的上昇であると予測した。2016年は 550[枚/m²]まで生育したため、550[枚/m²]から 25[枚/m²]ずつ減らし、詳細な実測を行った。

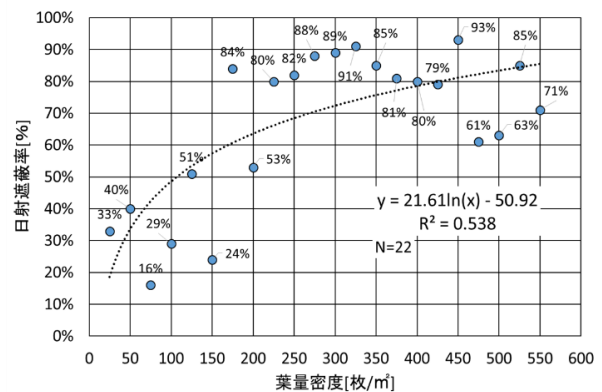


図9 葉量密度と日射遮蔽率の関係

4.2 結果

図 9 に葉量密度と日射遮蔽率の関係をプロットしたものを示す。図 9 は風が吹いている状態や雲がある状態等のデータが混在しており、ばらつきが見られたため、風の強さ、雲の量で分け分析を行った。

図 10 に弱風 (状態)、図 11 に微風 (状態) を示す。微風、弱風は気象庁が定義しており、微風は 10 分間平均風速が 0.3[m/sec]~1.5[m/sec]である風としており、弱風は 10 分間平均風速が 1.6[m/sec]~3.3[m/sec]である風としている。緑のカーテンの遮蔽性能としては、弱風状態よりも微風状態が高い数値を示している。

図 12 に雲量が 50[%]未満 (状態)、図 13 に雲量 50[%]以上 (状態) の関係を示す。

雲量 50[%]未満 (状態) の場合、葉量密度と日射遮蔽率の関係性を確認することができたが、雲量 50[%]以上 (状態) では、決定係数が低い値を示したことから、関係性は見られない結果となった。

緑のカーテンの遮蔽性能を表わす状態は、微風状態且つ、雲量 50[%]未満 (状態) の実測データであると考え、図 14 に示した。決定係数 $R^2=0.829$ となり、緑のカーテンの葉量密度と日射遮蔽率の関係は前報²⁾において予測した通り、葉量密度の上昇に対して日射遮蔽率の上昇は鈍化し、対数関数的関係であることがわかった。また、葉量密度が 200[枚/m²]に生育すれば、日射遮蔽率は 80[%]以上になることがわかった。

表 1 微風、弱風の定義

微風
10分間平均風速が0.3m/sec~1.5m/secである風
弱風
10分間平均風速が1.6m/sec~3.3m/secである風

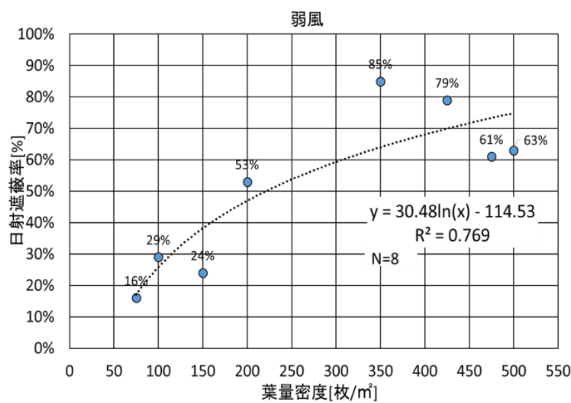


図 10 弱風状態

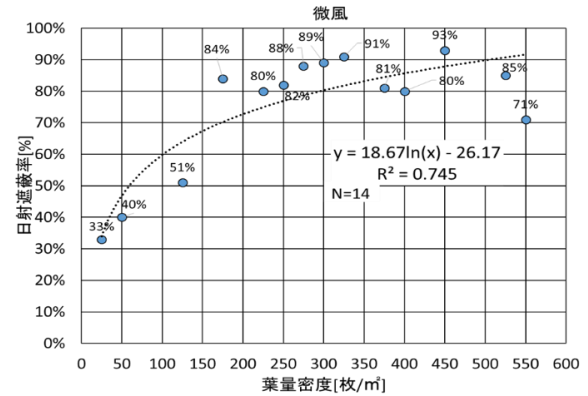


図 11 微風状態

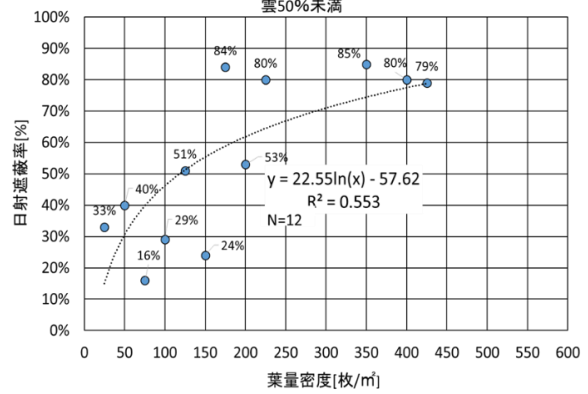


図 12 雲量 50[%]未満状態

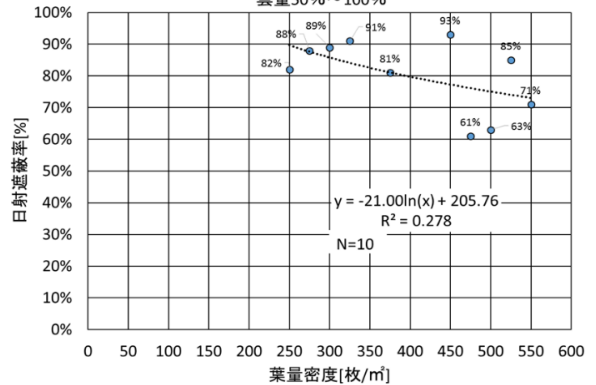


図 13 雲量 50[%]以上状態

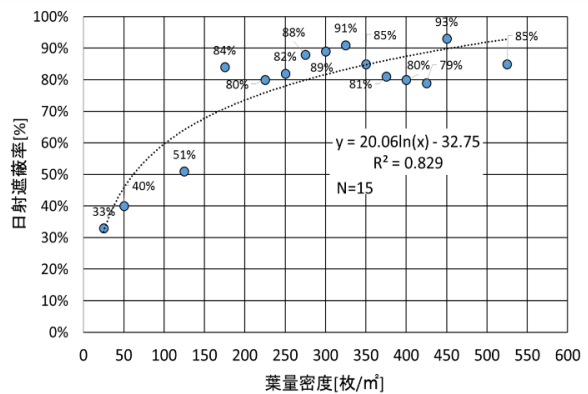


図 14 微風状態、雲量 50[%]未満状態

5. 緑のカーテンの熱環境負荷の低減に関する評価

5.1 概要

表 1 に対象とした本学の図書館南側壁面の概要、表 2 に壁素材の概要を示す。

5.2 結果

図 15 に壁 1[m²]当たりの熱取得、図 16 に窓ガラス 1[m²]当たりの熱取得を示す。遮蔽率は、ある程度生育すれば遮蔽率は 80[%]相当に達する結果から、80[%]として計算している。壁の熱取得の場合、最大値は 16 時の 10.68[W/m²]であり、緑のカーテンを設置すると 5.98[W/m²]と約 45[%]の低減効果が期待できる。南面の窓ガラスの場合、太陽は 12 時に真南に位置することから、12 時に最大となり 248.82[W/m²]となった。日射を遮蔽した場合、42.20[W/m²]となり 83[%]の熱取得削減が期待できることがわかった。図 17 に対象の立面図、図 18 に総熱取得を示す。総熱取得は、本大学図書館南側壁面の実際の熱取得を表しており、総取得熱約 75000[Wh]に対し、緑のカーテンを設置した場合は約 15000[Wh]になり、およそ 60000[Wh]の低減が期待できることがわかった。また、建物の窓面からの熱取得が絶大であるため、緑のカーテンは壁体よりも、窓面等に設置する方が効果は大きいことを確認した。

■謝辞

本研究の発表に当たり今井正樹博士による東北文化学園大学 奨学寄附金の支援を頂きました。記して感謝いたします。

■参考文献

- 1) 須田美,高島健太,伊藤梓,八十川淳,須藤諭「緑のカーテンによる日射量の遮蔽状況に関する実測調査」空気調和衛生工学会東北支部 第 4 回学術・技術報告会 pp25-28 (2014)
- 2) 須田美,高島健太,須藤諭「緑のカーテンの葉量密度の違いによる日射遮蔽率に関する実測調査」空気調和衛生工学会東北支部 第 5 回学術・技術報告会 pp159-162 (2016)
- 3) 成田健一「緑のカーテンは周囲空気を冷却するか？」環境情報科学論文集 (第 23 回環境研究発表会) 2009
- 4) 佐俣満夫・福田亜佐子「緑のカーテンによる省エネ及び CO2 削減効果の試算」横浜市環境科学研究所報 33,17-20 (2009)
- 5) 吉田伸治「実測による緑のカーテンの室内温熱環境緩和・日射遮蔽効果の分析」日本建築学会北陸支部研究報告集 (2009)
- 6) 村上順也,佐々木静郎「事務所建物外壁における緑のカーテンの生育と温熱環境改善効果に関する基礎的実験」2013 年度日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道),pp1163-1164

表 2 東北文化学園大学図書館南側壁面概要

	記号	面積[m ²]	熱貫流率	厚さ[mm]
総面積(壁面+窓面積)	A	115.128	0.98	200
壁面積	A	73.494	0.98	200
窓面積(1m ² 当)	A	6.939	6.2	3
窓総面積	A	41.634	6.2	3

表 3 壁素材概要

壁素材	厚さ[mm]
石こうボード	12
スチレン発泡版	25
コンクリート	163

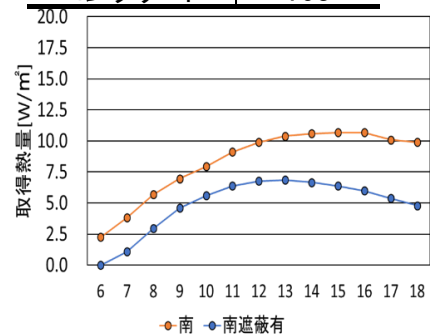


図 15 南側外壁 1 m²当たりの熱取得

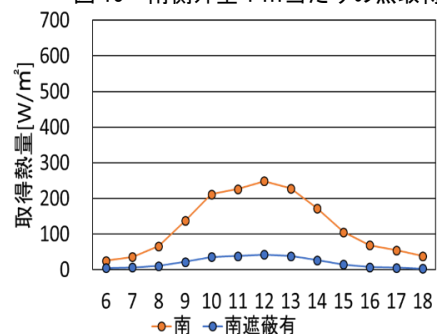


図 16 南側窓ガラス 1 m²当たりの熱取得

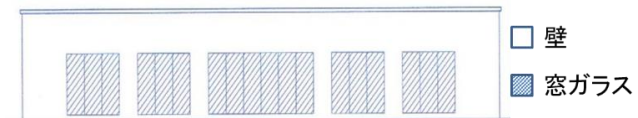


図 17 図書館南側立面図

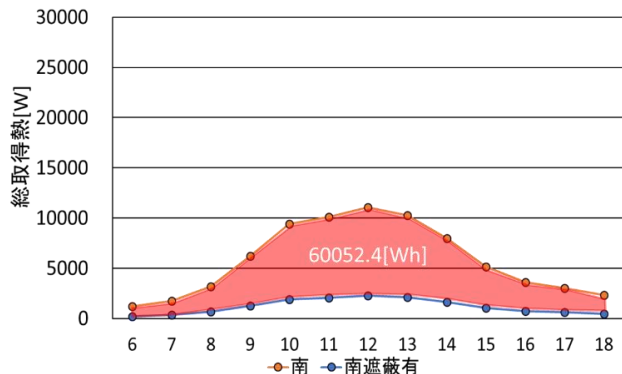


図 18 総熱取得

A-2

都市部オフィスビルにおける緑陰形成効果と空気熱源機器効率向上に関する研究

○土屋 茂樹 (三機工業株), 水出 喜太郎 (㈱日建設計), 後藤 悠 (㈱日建設計)

福森 幹太 (三機工業株), 新村 浩一 (三機工業株) 内田 一也 (三機工業株)

Effect of Shade Tree and Efficiency Improvement of Air-Heat Equipment of Office Building in Urban Area

Shigeki Tsuchiya (Sanki Engineering Co. Ltd.)

Kitaro Mizuide (Nikken Sekkei Ltd)

Yu Goto (Nikken Sekkei Ltd)

Kanta Fukumori (Sanki Engineering Co. Ltd.)

Koichi Shinmura (Sanki Engineering Co. Ltd.)

Kazuya Uchida (Sanki Engineering Co. Ltd.)

キーワード：ミスト噴霧 緑化 排熱利用

はじめに

大阪市中心部のAビルりは、様々な省エネルギー対策技術を導入した都市型低環境負荷建築となっている。そのうち、外構緑化及びミスト噴霧、屋上緑化、給湯機排熱の冷房利用について効果の検証を行ったので報告する。

1. 外構緑化及びミスト噴霧による暑熱環境緩和

1.1 概要

外構緑化及びミスト噴霧の概要を図-1に示す。建物の周りを囲むように、クスノキやカツラなど様々な樹木が植えられている。建物東側は、車道際に植栽帯を設けた並木道となっている。並木道の両側にある植込部にミスト装置が設置されており、並木道に向けて

噴霧する。ミストの仕様を表-1に示す。

1.2 測定方法

緑化及びミスト噴霧の効果を確認するため、外構周辺の温湿度を連続測定し、熱画像を撮影した。外気温やミスト噴霧量はBEMSデータを用いた。

温湿度の測定点(図-1)は、噴霧対象エリアの緑化部「緑化+ミスト」(3点)、非噴霧エリアの緑化部「緑化」(2点)、非噴霧エリアの非緑化部「緑化なし」(1点)の計6点とした。各点に日除け付きおんどりを設置した。

表-1 ミスト設備仕様、及び噴霧条件

＜機器仕様＞		＜噴霧条件＞	
・ノズル个数	80個	・期間	7/21～9/30(土日除く)
・流量	188L/h	・運転時間	8時～17時
・ポンプ圧力	6MPa	・制御条件	温度30℃以上 湿度80%未満

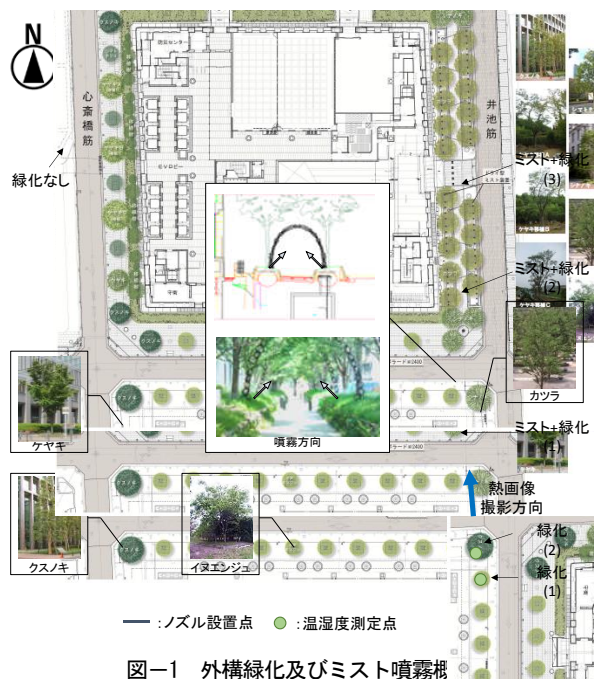


図-1 外構緑化及びミスト噴霧概

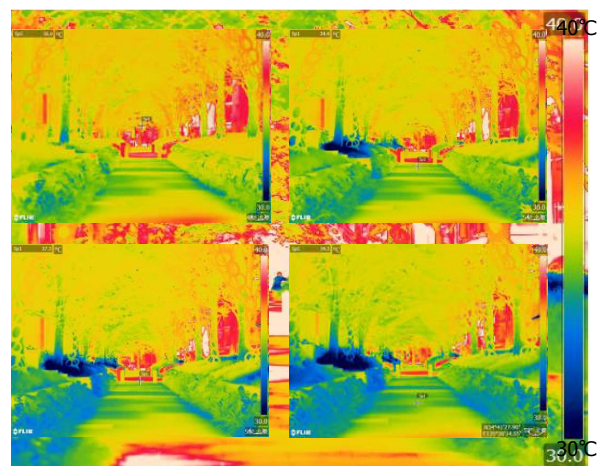


図-2 ミスト噴霧時の熱画像

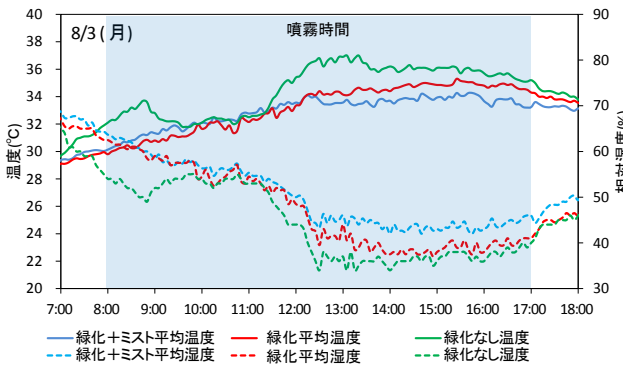


図-3 温湿度の経時変化

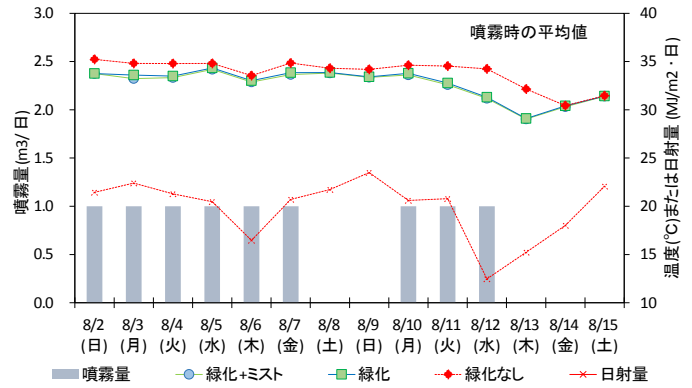


図-4 計測期間中の平均値

1.3 測定結果

噴霧開始からの時間ごとの熱画像を図-2 に示す。噴霧開始から時間が経つにつれ、植込部の温度が低くなっていることがわかる。熱画像の平均温度を比較すると、開始直後から 30 分後には 3.2°C 程度低くなっていた。

代表日の温湿度変化を図-3 に示す。日中ではミスト噴霧箇所である「緑化+ミスト」測定点の温度が低くなっており、ミストによる効果が確認された。「緑化+ミスト」と「緑化」の平均温度の差は最大で 1.5°C (16:10)であった。

測定期間中の噴霧量と各地点の温度、日射量の平均値を図-4 に示す。緑化部である「緑化+ミスト」「緑化」測定点の温度がいずれの日も低くなっており、緑化による効果が確認された。「緑化」測定点と「緑化なし」の平均温度の差は、最大で 3.1°C(8/13)であった。なお、8/13 の噴霧量が 1m³未満となっているのは、運転条件である外気 30°C以上の時間が短かったためである。

また同図より、測定期間中のミスト噴霧量は 9m³であった。そのため、水の蒸発潜熱を 2,500kJ/kg とした場合、合計で 22,500MJ の都市熱が緩和されたと考えられる。

測定期間中の噴霧時の各緑化部と、非緑化部との平均温度差を図-5 に示す。「緑化」平均温度差は-1.3°C、「緑化+ミスト」の平均温度差は-1.7°Cとなった。そのため、噴霧による温度低下は 0.4°C、緑化による温度低下は 1.3°Cであると考えられる。「緑化(1)」より「緑化(2)」のほうが温度低下しているのは、後者のほうは樹葉が多いためと考えられる。なお、「緑化+ミスト(2)」の温度差が小さい原因として、車両進入地点であるため、緑被率が小さいことが考えられる。

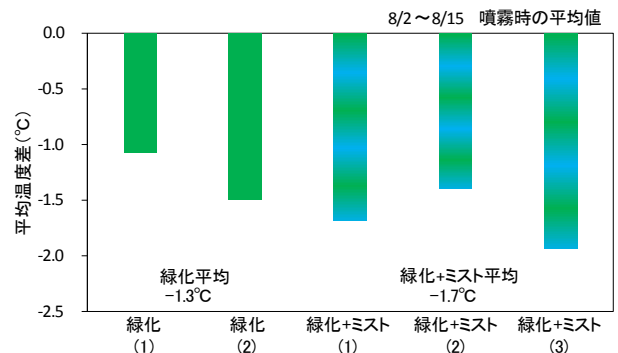


図-5 測定位置の比較

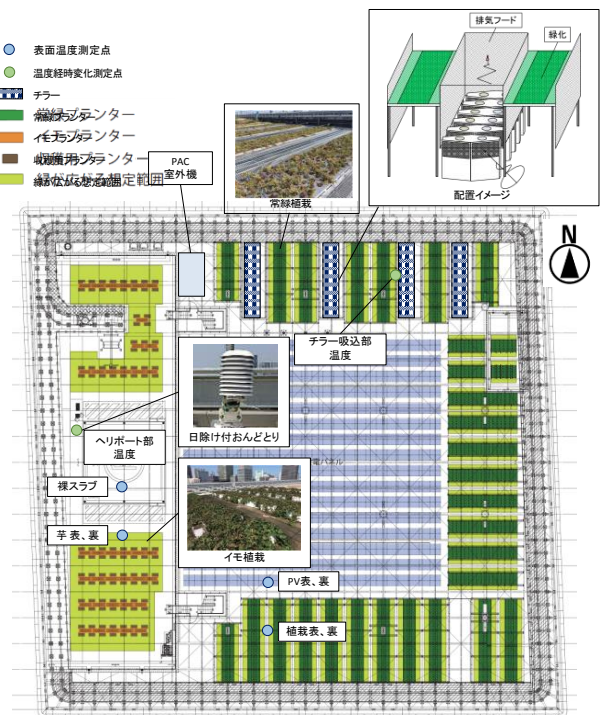


図-6 屋上緑化概要及び測定点

2. 屋上緑化による空冷熱源機器効率への影響

2.1 概要

屋上緑化の概要を図-6 に示す。中央に太陽光パネ

ル(PV)が設置されており、その他のメンテ通路などを除いた可能な限りのスペースを緑化している。緑化には、通常の樹種に比べて著しく葉の生育が速く、葉の蒸散作用及びCO₂の吸着量が多いイモを用いている。熱源機器の上部を緑化する事で、熱源機器の吸込み温度を低下させ、機器の効率向上を図っている。

2.2 測定方法

屋上緑化の効果をみるため、緑化部と非緑化部で各測定点(図-6)の表面温度を赤外線式表面温度計で測定し比較した。緑化部の空気温度は、チラー吸込部に日除け付温度ロガー(おんどとり Jr RTR-53A)を設置し連続測定した。非緑化部の空気温度は、ヘリポート部およびAビルに隣接しほぼ同じ高さの別棟の屋上部に日除け付温度ロガーを設置し測定した。また、日射量などのBEMSデータと比較した。

2.3 測定結果

各点の表面温度の経時変化を図-7に示す。夏期晴天時の日中において、PV表面は55°C程度、コンクリートスラブ表面では50°C近くに上昇するが、屋上緑化の葉面廻りの表面温度は30°C程度と終日気温よりもやや低く推移した。

各部の温度の経時変化を図-8に示す。日中の緑化部(チラー吸込部)と非緑化部(ヘリポート部、別棟屋上)の温度差は、最大で2.6°C(13:20)であった。

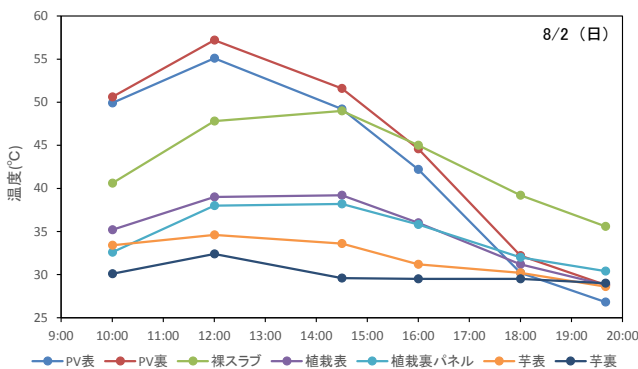


図-7 各点表面の経時変化(夏期晴天時)

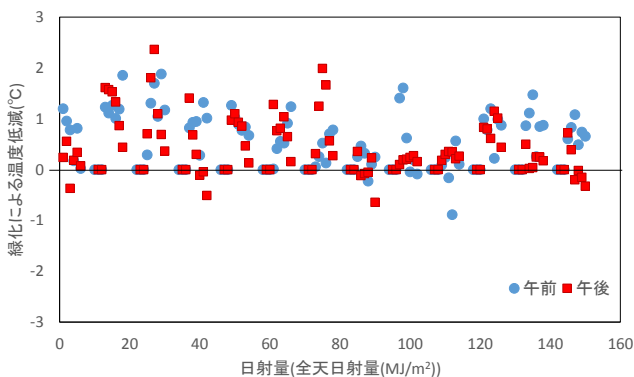


図-9 日射量と温度差の関係

2017.3.14 (東北学院大学 多賀城キャンパス)

空調稼動時における日射量と緑化に夜温度低減の関係を図-9に示す。緑化による温度低減は大きなバラつきがあり、日射量のみではなく風向などの影響も大きいと考えられるが、午前中で平均0.8°C、午後では0.5°Cであった。温度低減量や機器仕様から、午前中における全チラーの省エネルギー量を算出すると平均で一日あたり29.8kWhとなり、4.3%の効率向上となった。

3. ヒートポンプ給湯機排熱の冷房利用

3.1 概要

ヒートポンプ給湯機の冷排熱を冷房に利用するシステムの概要を図-10に示す。電気室はパッケージ空調機(PAC)により冷房されている。PACの消費電力の削減のために、ヒートポンプ給湯機稼動時の冷排熱を電気室に送風するシステムとなっている。

3.2 測定方法

測定点を図-11に示す。温度は、冷排熱吹出口(3点、1700mm×850mm)、室内中央部、室内西側、および吸込口(3点、熱源機械室への還気口)に温湿度ロガー(T社製おんどとり)を設置し測定した。風量は、給湯機の排気側(定格180m³/min、可変速、3台)をロガー付ベーン式風速計により測定した。得られた風量、温度から冷排熱量を算出した。

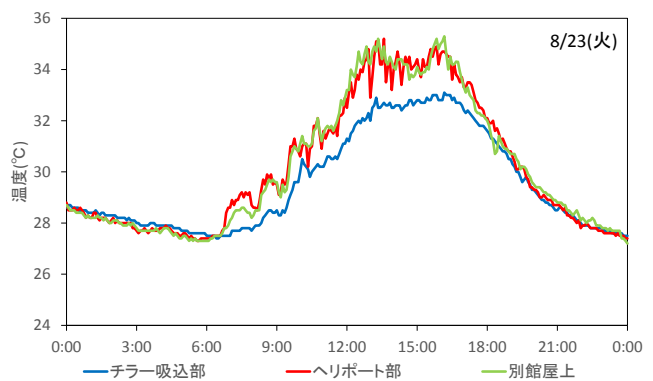


図-8 各部温度の経時変化

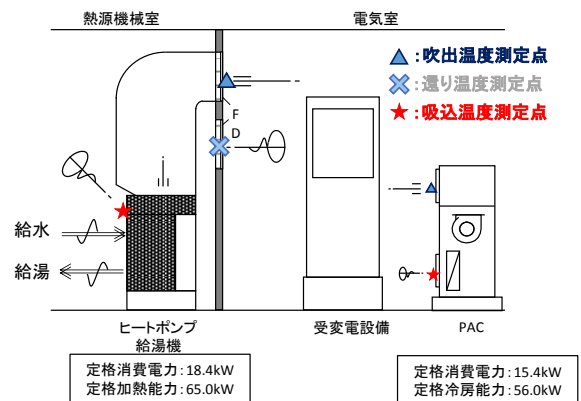


図-10 冷排熱の冷房利用 システムフロー

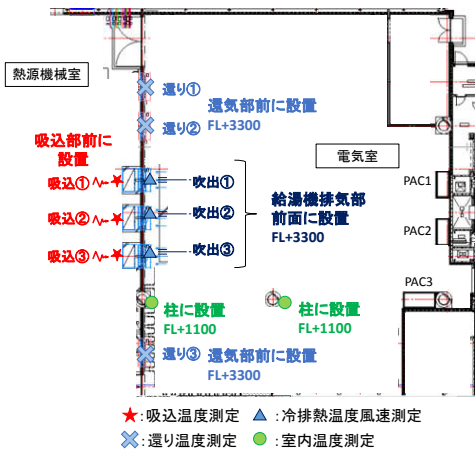


図-11 測定点平面

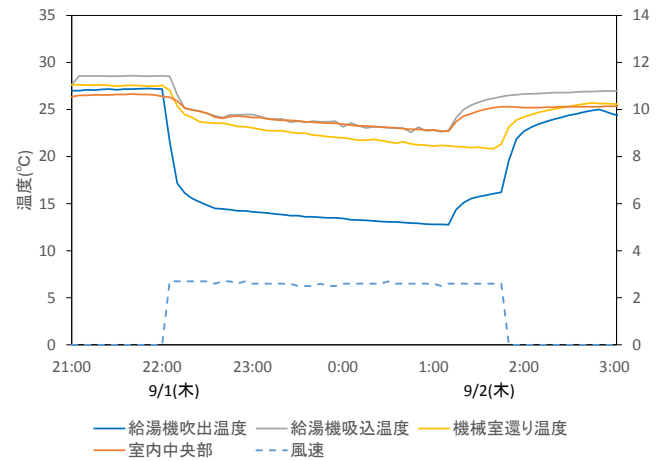


図-12 温度、風速の経時変化

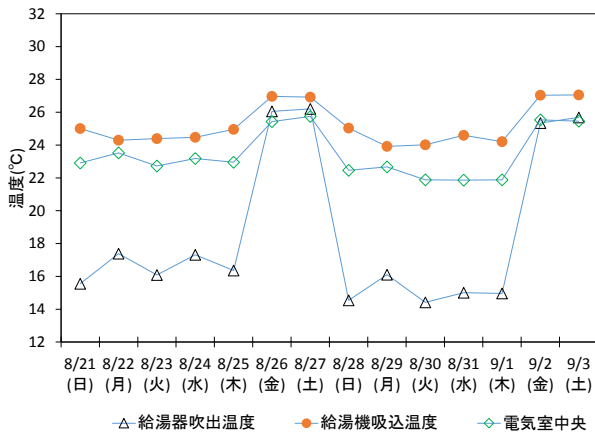


図-13 給湯機運転時間帯の平均温度

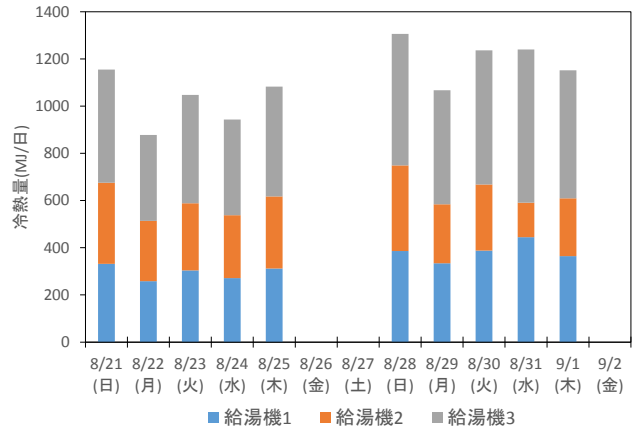


図-14 実測期間中の冷排熱量

3.3 測定結果

給湯機の冷排熱の温度と風速、及び給湯機の吸込温度の経時変化を図-12に示す。風速に変動が無いため、給湯機は定格で運転されており、出力はほぼ一定であったと考えられる。測定風速と定格面風速(2.1m/s)の値が異なるのは、風速の面分布の影響と考えられる。

給湯機的主要な運転時間帯である22時から25時までの温度の平均値を図-13に示す。冷排熱の温度は16°C程度であった。また給湯機運転日において、吸込温度と電気室中央部温度のいずれも非運転日よりも低くなっており、冷排熱の効果が室内中央まで到達していることがわかる。

各測定点の温度と風量から算出した1日あたりの冷排熱量を図-14に示す。給湯機稼動日における、3台合計の冷排熱量は最小878MJ、最大1306MJであり平均は1011MJであった。このとき、PACのCOPを3.6(定格)にした場合、一日あたりの省エネルギー量は85.7kWhと試算できる。日曜における冷排熱量が大きいのは、給湯量が長く運転時間が長かったためであると考えられる。

4. まとめ

本報では、都市部における低環境負荷建築に用いられている省エネルギー対策技術の概要を示し、効果を検証した。

外構緑化とミスト設備の効果の検証では、緑化による温度低下は平均1.3°Cであり、ミスト噴霧により更に0.4°C効果を加えていることがわかった。

屋上緑化の効果の検証では、緑化周りの温度が低減できていることを確認した。緑化と日除けを併用した空冷チャラーの吸い込み温度は、それらが無い場合と比較して概ね0.8°C低減できていることを確認した。

ヒートポンプ給湯機の冷排熱を電気室の冷房に利用したシステムについて効果を明らかにした。二週間の実測より、冷排熱量は1日あたり1306MJ有ることを確認した。

参考文献

- 1) 水出ら:全面有孔天井を用いた対流・放射空調を行うオフィスビルにおける室内環境に関する研究(その2) 建築・空調設備概要及び省エネルギー性能 空気調和・衛生工学会大会 2016.9 発表

A-3

伝統的民家の工夫を現代の建築設計に生かすための模型実験

—町家の冷氣積層型熱対流について—

○ 千葉玲奈（宮城学院女子大学大学院）

Model experiments for applying Traditional Technology of the House to Modern Architectural Design

Convective airflow inside the Cool air pool of traditional town house “Machiya”

Reina Chiba (Miyagi Gakuin Women’s University)

キーワード：町家，上方開放，熱対流

1. はじめに

近年の住宅は省エネを意識しており、高气密・高断熱への取り組みや、設備の高効率化は日々進歩している。しかし、建築的工夫が考慮されていないまま高气密・高气密化が先走ると、住宅では設備の使用が多くなり、それによって結局エネルギーは減少せずむしろ増加する可能性がある。また、2011年の東日本大震災後では、電力不足による夏場の節電への取り組みが行われたが、設備が十分に機能しない状況下での室内の暑さは多くの人が経験したはずである。今後、建築的工夫を見直し、高气密・高断熱化と合わせていくことで設備を必要以上に使わず、自然エネルギーも生かす住宅のあり方が重要になってくるのではないかと考えられる。

そこで本研究では、建築的工夫によって夏季の涼感を得ている京町家に注目し、その涼感に関わる「ゆらぎ」の気流性状を把握することを目的として、ゆらぎを模型で再現する実験を行った。

2. 京町家の環境特性

日本の伝統的民家は材料や建物の形態を工夫し、先人たちは蒸暑に対応してきた。その一つである京都の町家は、様々な工夫が組み合わさって「ゆらぎ」（熱対流現象）が発生している。それは以下のようなものである。

- ① 塀や蔵に囲まれており、日射や周辺からの輻射の断熱がされる。
- ② 1階を主な居住空間とすることで2階が日射の緩衝空間となる。
- ③ 坪庭と裏庭に挟まれている居室から庭に向かっ

て室内からの熱が排出され、庭から居室には蒸発冷気が流入する。

④ その蒸発冷気は町家内の安定した気温で室内に滞留した状態、つまり冷氣積層となり、それがわずかな浮力や日射からの条件によって動き、居室内の空気のゆらぎ（熱対流現象）を生み出す。

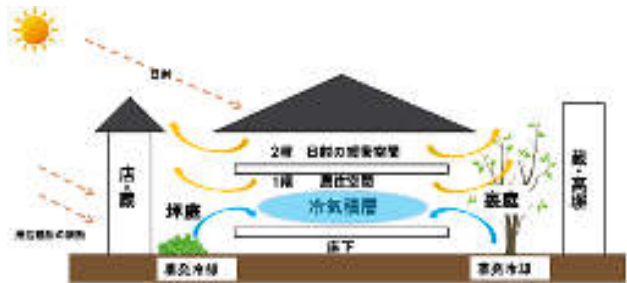


図1 町家断面の概念図

ゆらぎは居住者に涼感を与え、夏季の快適さに関わっているということは既往の研究で報告されている。しかし、町家で起こるゆらぎを実際に現代の住宅設計に応用可能な設計手法の実現はなされていない。

3. 模型実験の概要

3.1 町家模型

町家の主な構成要素である坪庭、座敷（1階・2階）、裏庭を簡略化し、町家を再現した20/1スタイロ模型を作成（W1290mmD60mmH25mm）。模型高さはSD選書59に収録されているいくつかの町家の平均の高さ、模型幅は既往の研究にある町家幅を参考に決定した。また、外部風の影響を受けないためのカバーも作成し、町家模型とカ

バーの一面は観測用にアクリル板となっている。

3.2 測定方法

(1) 使用機器

熱電対 (T 型)、面状発熱体 (100V/240W)、保冷剤 (ポリスチレン容器 W230D190H23)、データロガー GRAPHTEC midiLOGGER GL820、オイルレーザー

(2) 各条件の測定

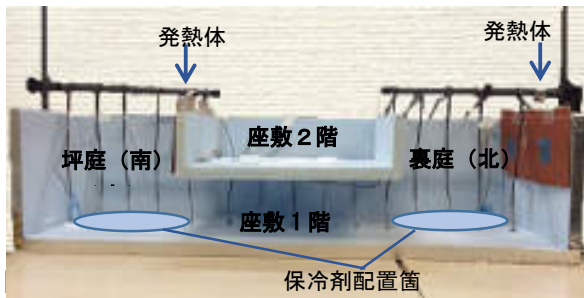
①太陽光：日射が当たる部分は、座敷 2 階南面と北の蔵・塀に該当する部分だと思われる。そこで、温度コントロールがしやすく、レーザー照射時の観測に影響の出にくい免状発熱体で日射の熱を再現する。

②庭の蒸発冷却：庭で起こる蒸発冷却の冷気は座敷 1 階に積層するため、冷気は保冷剤で再現する。

③外部風：今回は人工的に外部風を発生させることはしなかった。しかし、使用教室の換気口や扉からの風の影響はありと考え、それを外部風とした。

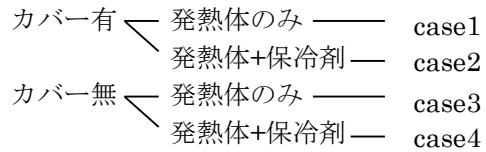
④温度分布：模型内に熱電対を 60mm×90mm の間隔で全 65 点設置し、データロガーで記録した。また、そのデータで温度分布のコンタを作成した。

⑤気流：気流を可視化するために、オイルレーザーを模型内に充満させてレーザー照射をし、動画撮影した。



3.3 実験条件

外部風の影響を受けないようにカバーを設置した場合と、カバーなしの 2 つの状態で行った。そして発熱体の加熱のみ、発熱体の加熱と保冷剤の設置の 2 つの場合の case1~case4 に分け、それぞれのケースで南北の温度差を温度差なし、25°C 差、5°C 差の 3 条件で気流がどう変化するかを比較した。



↓
各 case の南北の発熱体温度差

- ①温度差なし (保冷剤は南北に 2 個)
- ②25°C 差 (保冷剤は南 2 個、北 1 個)
- ③5°C 差 (保冷剤は南 2 個、北 1 個)

4. 実験結果

今回、全 12 パターンの実験を行っているが、実験結果の中から町家のゆらぎに関係していると思われるトレーサーの消失度 (模型内のトレーサーが消える様子)、気流動 (気流の動く大きさの様子)、往復動 (座敷部分の空気が一斉に動き、元に戻る様子) の 3 つの項目に関わるものについて報告する。

4.1 トレーサーの消失度と温度分布

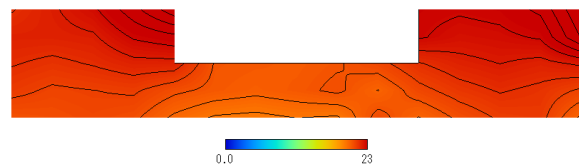
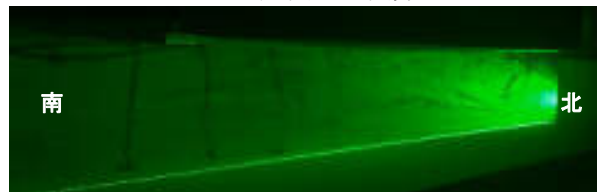


図 3 case1(カバー有、発熱体のみ)の模型内の様子
と温度コンタ

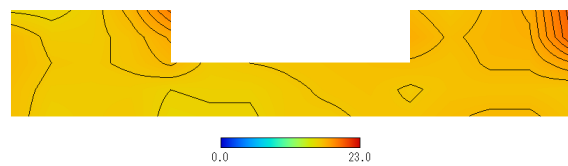
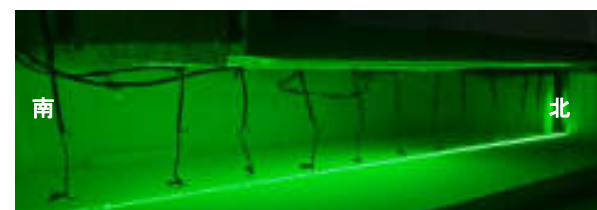


図 4 case3(カバー無、発熱体のみ)の模型内の様子
と温度コンタ

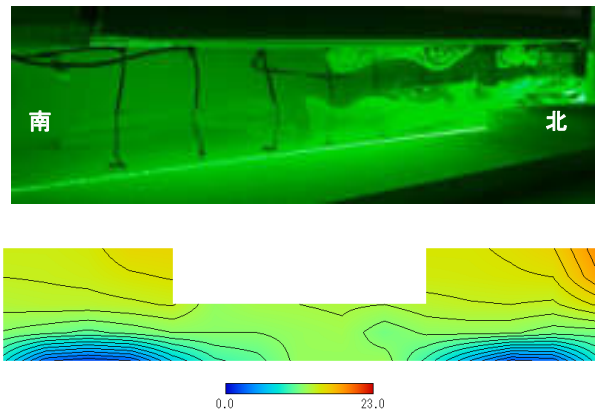


図5 case4 (カバー無、発熱体と保冷剤あり)の模型内の様子と温度コンタ

図3のcase1と図4のcase3ではカバーの有無によるトレーサーの消失度と温度分布の差が観察できた。気流速はcase1では0.9m/s、case3では3.0m/sだった。図3を見ると模型内全体にトレーサーが残っているが、図4ではトレーサーが完全に消えている。温度コンタによる模型内の温度分布をみると、カバー有りの図3では模型内全体が発熱体近辺の温度とほぼ変わらない温度分布になっている。しかし、図4のカバー無しでは模型内全体の温度分布が発熱体付近の温度よりも低い値で分布していた。カバーが無い場合には、発熱体によって模型内は暖められるが、トレーサーが模型内に無いことから、気流が庭の上方開放部から外部へ流れて模型内の温度上昇を抑えられていることが分かる。

また、図4のcase3と図5のcase4ではカバー無しで保冷剤の有無によるトレーサー消失度と温度分布の差が観察できた。case4の気流速は座敷上層部3.6m/s、座敷下層部1.8m/sだった。保冷剤を設置した図5では、カバー無しではあるがトレーサーが座敷天井部に若干と床付近の中層～下層部に留まっていることが分かる。この温度コンタを見てみると、保冷剤で冷やされた空気温度分布と、トレーサーがとどまっている場所がほぼ同じである。冷えた空気は上方開放部から外部へ流れにくいことが分かった。

4.2 往復動について

今回外部風を意図的には発生させていないが、実験を行った教室の換気口やドアからの外部風が

発生した。外部風発生時における模型内の気流の様子を図6と図7に示す。



図6-1 case3の外部風発生前



図6-2 case3の外部風発生後

case3 (カバー無し、発熱体温度差なし)では、外部風発生前の気流は座敷の位置にあることが図6-1で確認できる。しかし、南から北の向きに流れる外部風約3.0m/sが発生すると、図6-2で示すように気流が外部風と同じ方向に流れ、庭の上方開放部から外部へ模型内の気流が出て行った。



図7-1 case4の外部風発生前



図7-2 case4の外部風発生後

case4 (カバー無し、発熱体温度25℃差、保冷剤あり)の実験の際に外部風約3.0m/sが北から南方向に発生した。外部風発生前は座敷上方(気流速3.6m/s)の気流は北から南へ、座敷下方(気流速1.8m/s)では南から北へ向かう気流の傾向がみえる。(図7-1)外部風発生後は座敷上方の気流の向きは変わらないが、北から南へ向かう気流動が大

きくなった。座敷下方では発生前とは逆に北から南へと気流の方向が変化した。しかしその後、外部風が収まるとほぼ外部風発生前の状態に戻り、外部風と共に気流は完全に出て行かないことが観察できた。

4.3 気流の方向性

南北に設置した発熱体の温度差と、保冷剤の有無や設置個数による気流の方向性を表1～3に示す。また、方向性の表記は以下である。

南北の庭から、座敷中央へ向かう気流：C

南から北へ向かう気流：S→N

北から南へ向かう気流：N→S

表1 南北発熱体の温度差なしの場合

	case1	case2	case3	case4
天井付近	C	C	C	S→N
床付近	C	-	C	C
天井と床の関係	同方向	異なる	同方向	異なる

南北の発熱体温度が同じである場合、気流は南北の庭から座敷の模型中央に向かう気流の傾向が全ケースに表れた。case2の床付近の気流方向は、気流の動きがほぼ確認できなかった。また、case4の天井付近の方向は、温度コンタで確認すると北の発熱体温度が南よりも上がってしまっていたため、北の浮力が強く働いたことが考えられる。

表2 南北発熱体 25℃差の気流の方向性

	case1	case2	case3	case4
天井付近	N→S	N→S	N→S	N→S
床付近	S→N	C	S→N	S→N
天井と床の関係	逆方向	異なる	逆方向	逆方向

25℃差では天井付近の気流は発熱体温度の高い南へ動く傾向にあった。また、床付近は保冷剤2個を置いている南から北へ冷気が動き、保冷剤が無い場合でも床付近は天井付近よりも温度が低く、同じ動きになった。case2においては、カバーが有ることで冷気がより床付近に積層し、動きがほとんどなかった。

表3 南北発熱体 5℃差の気流の方向性

	case1	case2	case3	case4
天井付近	C	C	C	S→N
床付近	C	S→N	C	S→N
天井と床の関係	同方向	異なる	同方向	同方向

南北の発熱体温度差が 5℃では、温度差なしの場合と気流の傾向がほぼ変化しなかった。case4では南2個、北1個の保冷剤を置いていたため、冷気の方向性が天井付近にも影響したと考えられる。

5. まとめ

今回の模型実験の発熱体温度差や保冷剤の設置個数、カバーの有無による気流性状の様子から、模型内の空気が動くメカズムは以下のように考えられる。①発熱体によって庭上方部分の空気が温められて浮力が生じる。(庭部分に乱流の発生) ②その浮力で気流は回転運動始める。③冷気は比重が重いため、その回転運動にすべてが巻き込まれることはないが、座敷の中間層の温度が上層部に近い部分は回転運動に引っ張られて動き出す。④特に、発熱体の温度差が大きいと対称の庭の気流も動かすことになり、模型内全体に一方向の気流が生まれる。(座敷部分は層流、しかし座敷天井部付近は乱流)

以上のことから、加熱された空気の浮力が模型内の空気を動かすきっかけとなっている可能性が高く、そのきっかけで模型内には煙突効果のような作用が働いているのではないかと考えられる。外部風に関しては、模型内の気流は外部風の影響で大きく動き、また元の気流状態に戻る様子もあったが、外部風の影響以前に模型内の気流は動いていた。そのため、庭の空気が温まり、その浮力の動きに引っ張られて模型内の熱気や冷気が南や北に動く様子が「ゆらぎ」ではないかと考える。

参考文献

- 1) 荒谷登: 著書 住まいから寒さ・暑さを取り除く 採暖から[暖房]、冷暴から[冷忘]へ
- 2) 石田秀樹、荒谷登、佐々木隆、絵内正道: 開放系住居の夏の環境特性 町家の冷気積層型の上方向開放空間, 日本建築学会計画系論文報告集第408号, 1990年2月,
- 3) 芥川郁雄、赤木一郎、佐々木隆、林基哉、荒谷登: 町家における夏期の温熱環境体感調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 昭和63年10月

A-4

排湿層を有する塗壁外断熱システムの断熱・防露性能

○本間義規 (宮城学院女子大学)

Hygrothermal Performance of Exterior Insulation and Finish System with Moisture Expulsion Layer

Honma Yoshinori (Miyagi Gakuin Women's University)

キーワード：外張断熱, EIFS, 熱水分同時移動

はじめに

EIFS (Exterior Insulation and Finish System) は、それ自体が外装仕上げとなる外張断熱システムとして、北米・ヨーロッパで広く普及している工法であり、日本でも湿式外断熱外装システムとして知られている¹⁾。従来、外壁に接着層を介して貼付け施工されるが、躯体と EIFS 界面への水分浸透によるトラブルから、現在では防水工法やハウスラップ、ドレインシステムなどの対応がとられている。このうち排湿層 (空隙) を有する EIFS は、非密閉空気層を有することになるため、断熱性能の低下が懸念されている。

そこで本研究では、排湿層を有する塗壁外断熱システムの断熱・防露性能の評価を行うことを目的に、材料物性等の測定や実験を行うとともに数値シミュレーションを併用しながらそのメカニズムについて解明することを目的としている。今回は、透湿実験と数値シミュレーションによる事前検討を行ったので、その結果について報告する。

1. EIFS 透湿度実験

1.1 実験概要

(1) 試験体

今回の実験評価に用いる EIFS は、室内側に排湿層の溝のついた EPS の外側に、ガラスファイバーメッシュ+ベースコート、プライマー、フィニッシュコートの3層で仕上げられている。そこで、これら各々の層の透湿抵抗を求めるために、表1に示す4種類のボードについて実験を行った。

(2) 実験装置

図1に示す透湿ボックスを用いてドライカップ法にて試験を行った。試験は JIS, ISO, 日本建築学会規準に準じて行っている^{2)~4)}。透湿面積は 250mm×250mm とし、無水塩化カルシウム 500g をボックス内に入れて Hi-Mic-2045 (日本精蠟)

で封ろうした。これを恒温恒湿槽 (23°C85%) 内に電子天秤とともに設置し、1 分間隔で質量測定を行った。

表 1 試験体概要

番号	試験体
1	EPS+下塗材
2	EPS+下塗材+補強材+プライマー
3	EPS+下塗材+補強材+プライマー+仕上材
4	EPS

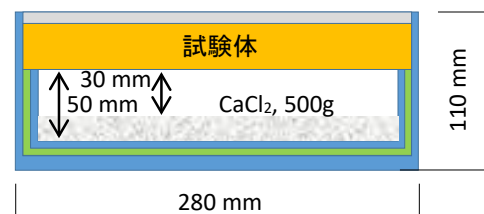


図 1 試験体概要 (ドライカップ法)

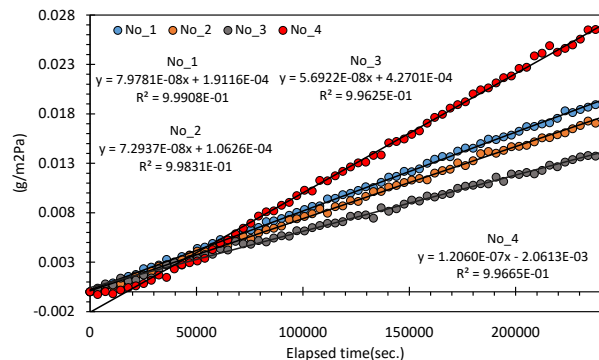


図 2 各試験体 (+ボックス) の質量変化

表 2 試験結果 (透湿抵抗・湿気伝導率)

材料	透湿抵抗 m ² sPa/ng	湿気伝導率 ng/msPa
下塗材	0.0042424	0.57514
補強材+プライマー	0.0011762	0.04251
仕上材	0.0038574	0.06740
EPS	0.0082919	3.58363

(3) 実験結果

図2に経過時間ごとの各試験体の質量変化を示す。試験体の質量変化の傾きが一定になった時点のデータを直線回帰してその傾きから透湿抵抗を算出し、また材料厚みとから湿気伝導率を算出した(表2)。この値を用いて数値シミュレーションを行う。

2. EIFS 壁体の熱水分同時移動シミュレーション

2.1 数値解析概要

(1)材料内の熱水分同時移動

排湿層を有する塗壁外断熱システムの断熱・防露性能を把握するため、ハイグロスコピック領域における1次元非定常熱水分同時移動シミュレーションを行う。基礎式・境界条件を(1)~(4)に示す。 κ 、 ν は逐次更新しながら計算する非線形な扱いとする⁶⁾。

$$(\Phi_0\gamma'+\kappa)\frac{\partial X}{\partial t}-\nu\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda_x\nabla^2 X \quad (1)$$

$$-r\kappa\frac{\partial X}{\partial t}+(c\rho+r\nu)\frac{\partial T}{\partial t}=\lambda\nabla^2 T \quad (2)$$

$$-\lambda_x\frac{\partial X}{\partial x}=\alpha_x\cdot(X_o-X) \quad (3)$$

$$-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}=\alpha\cdot(T_o-T) \quad (4)$$

記号: T:温度(°C), X:絶対湿度(g/kgDA), λ :熱伝導率(W/mK), λ_x :湿気伝導率(g/msPa), c:比熱(J/kgK), ρ :密度(kg/m³), r:潜熱(J/kg), Ψ :容積含水率(kg/m³), H:相対湿度(%), κ :絶対湿度変化に対する含水率変化率(kg/m³(kg/kgDA)), ν :温度変化に対する含水率変化率(kg/m³K), ϕ :材料空隙率(-), γ :空気密度(kg/m³), α :総合熱伝達率(W/m²K), α_x :湿気伝達率(g/m²sPa),

(2)排湿層内の通気量

今回の検討対象であるEIFSは、躯体に設置する際に通常の通気層(一般には18mm)と異なり0~3mm(平均1.5mm)厚である。そのため、排湿層出入口の形状抵抗、経路の摩擦抵抗の影響をより大きく受けると想定される。ISO15099ではAir gapの通気量計算法を定めているが⁶⁾、その考え方に準じながら通気量計算法を構築する。

通気層内の換気駆動力は浮力 ΔP_T と風圧力 ΔP_W であり、これら圧力と経路の摩擦損失 ΔP_{HP} 、通気出入口の形状抵抗損失 $\Delta P_{Z,in}$ 、 $\Delta P_{Z,out}$ との差が動圧 ΔP_B となるから、圧力平衡として次式が成立する。

$$\Delta P_B + \Delta P_{HP} + \Delta P_Z = \Delta P_T + \Delta P_W \quad (5)$$

動圧(Pa): $\Delta P_B = \frac{\rho}{2}v^2 \quad (6)$

摩擦損失(Pa): $\Delta P_{HP} = \lambda \frac{L_H}{D_{eq}} \cdot \frac{\rho}{2}v^2 \quad (7)$

摩擦抵抗係数 λ : $\lambda = \frac{X}{Re} = \frac{X\nu}{vD_{eq}} \quad (8)$

ただし, X=64(円管)~96(平行2平面)

出入口形状抵抗損失(Pa):

$$\Delta P_Z = (Z_{in} + Z_{out}) \cdot \frac{\rho}{2}v^2 \quad (9)$$

入口形状抵抗係数: $Z_{in} = \left(\frac{1}{0.6 \cdot S_{ratio,in}} - 1 \right)^2 \quad (10)$

出口形状抵抗損失: $Z_{out} = \left(\frac{1}{0.6 \cdot S_{ratio,out}} - 1 \right)^2 \quad (11)$

等価直径: $D_{eq} = \frac{4S_s}{L_r} \quad (12)$

以上より、通気層内風速は次式でもとめることができる。

$$v = \sqrt{\frac{2 \times |\Delta P_T + \Delta P_W|}{1 + Z_{in} + Z_{out} + \lambda \frac{L_H}{D_{eq}}}} \quad (13)$$

記号: ρ :空気密度(kg/m³), ν :通気層風速(m/s), ν :空気動粘性係数(1.5×10⁻⁴m²/s), $S_{ratio,in}$ ($S_{ratio,out}$):通気入口(出口)の見つけ面積に対する表面積の割合(N.D.), D_{eq} :等価直径(m), S_s :通気断面積(m²), L_r :通気断面の周囲長さ(m)

排湿層内が層流の場合、Hagen-Poiseuille流れであることが知られている。摩擦抵抗係数 λ は断面形状によって異なり、レイノルズ数をReとすると $\lambda=64/Re$ (円管)~ $96/Re$ (平行2平面)で表現される。今回の試験体形状はこれらの数値の間に存在すると考えられるので、これをパラメータとして解析する。なお、Re数は通気風速の関数であるため、本来は収束計算が必要となるが、今回は前時間ステップの風速を用いることにした。

(3) 排湿層内の放射対流伝熱および熱水分収支

排湿層内の放射対流伝熱は、これらを分離して扱う。熱水分収支は簡易的に1質点系として扱う。収支式を(14)、(15)式に示す。

$$T_{vent} = \frac{\alpha_{cv} L_W \cdot L_H (T_{o,surf} + T_{i,surf}) + c \rho_{out} Q_v T_o}{2 \alpha_{cv} L_W \cdot L_H + c \rho_v Q_v} \quad (14)$$

$$X_{vent} = \frac{\alpha_x L_W \cdot L_H (X_{o,surf} + X_{i,surf}) + \rho_{out} Q_v X_o}{2 \alpha_x L_W \cdot L_H + \rho_v Q_v} \quad (15)$$

記号: T_{vent} : 排湿層温度 (°C)、 X_{vent} : 排湿層絶対湿度(g/kgDA)、 T_{surf} : 排湿層内の表面温度 (°C、o: 外気側、i: 室内側)、 X_{surf} : 排湿層内の表面絶対湿度 (g/kgDA、o: 外気側、i: 室内側)、 α_{cv} : 対流熱伝達率 (W/m²K)、 α_x : 湿気伝達率(g/m²sPa)、 Q_v : 排湿層風量 (m³/s)、 L_W : 検討対象とする排湿層幅(m)、 L_H : 排湿層高さ(m)

2.2 室内側境界条件

既報⁵⁾同様、室内温湿度条件は日射入射のある室内と想定して(16)~(18)式で与える。また、室内絶対湿度は、外気絶対湿度を基準にして ΔX (g/kgDA)高いものとする。今回は $\Delta X=5\text{g/kgDA}$ (一般的な室内湿度環境よりも高湿) で与えた。

$$T = 23.0 + 4.0 \cdot \cos\left(\frac{2\pi(\text{DAY} - 212)}{365}\right) + 3.0 \cdot \cos\left(\frac{2\pi(\text{Time} - 14)}{24}\right) + \Delta T_{Jsun} \quad (16)$$

$$\Delta T_{Jsun} = J * S_{window} * \tau / (12558 * VOL) \quad (17)$$

$$X_{room} = X_{out} + 5 \text{ (g/kgDA)} \quad (18)$$

記号: J : 日射量(W/m²)、 VOL : 室容積(m³)、 $12558\text{J/m}^3\text{K}$: 空気・家具等の熱容量の合計、 τ : 分割時間(s)、 S_{window} : 窓面積(m²)、 X_h : 絶対湿度の増分(g/kgDA)、 DAY : 1月1日からの通算日、 time : 時刻

2.3 計算モデルおよび計算条件

計算モデルは木造繊維断熱 (HGW16k100mm) 充填壁体の外側に附加断熱として EIFS を設置するものとする (図3)。EIFS の排湿層は図4に示す形状をしている。排湿層の Air gap は 26mm 幅の二等辺三角形が縦方向に連通しており、その等価直径は 2.96mm、1gap あたりの断面積は $3.9 \times 10^{-5} \text{m}^2$ 、躯体に接する表面積は 2.5% 増加する。

構成材料の熱湿気物性値は表2および既報⁵⁾に示す値を用いた。計算対象地域は仙台、シミュレーション期間は2年とし、1年目を助走期間として2年目の結果で考察した。なお、気象データには、EA 気象データ標準年を用いた。

3. シミュレーション結果

3.1 排湿層の気流速度

排湿層の気流速度を図5に示す。排湿層風速は λ に比例し、その比率は λ の比に等しい。

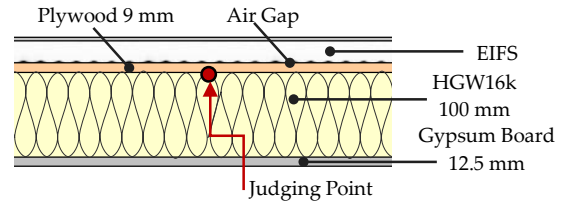


図3 検討した EIFS 付き断熱壁体の水平断面

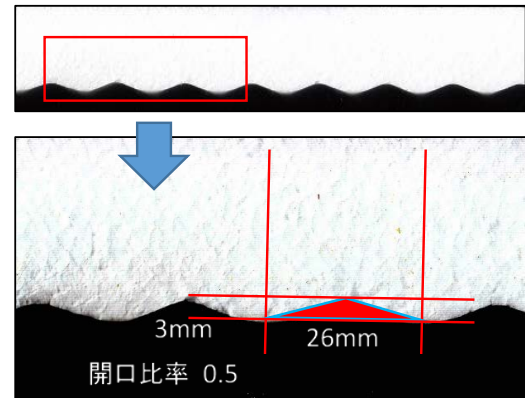


図4 EIFS の排湿層詳細

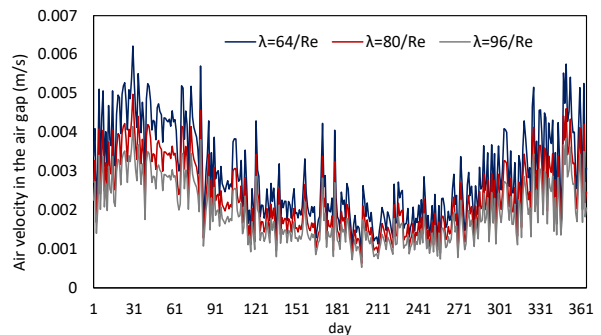


図5 排湿層内の気流速度(年変動)

年間の平均風速は $\lambda=64/\text{Re}$ 、 $80/\text{Re}$ 、 $96/\text{Re}$ の順に 0.029、0.0023、0.0019m/s であり、通常の通気層と比べて非常に緩やかな流れとなる。

3.2 HGW 外側(結露ポイント)の時系列変動

図6~8にグラスウール (HGW16K) 外側 (防湿層がない繊維系断熱材の外気側なので結露の危険性が高い) の温湿度年変動 (日平均値) を示す。排湿層のないもの (全面直付け) のものとはやや異なる変動となるが、摩擦抵抗係数の異なるものはほぼ同じ変動となる (これは日平均値だけでなく、時間変動についても同じ)。図5に見るように、排湿層の流量が非常に少ないため、排湿層の熱水分収支上は摩擦抵抗係数の差は効かないということを示している。ただし、温度、絶対湿度の微妙な差異が相対湿度変動に大きく影響している。年間では12~1月頃に90%を超える状況となっ

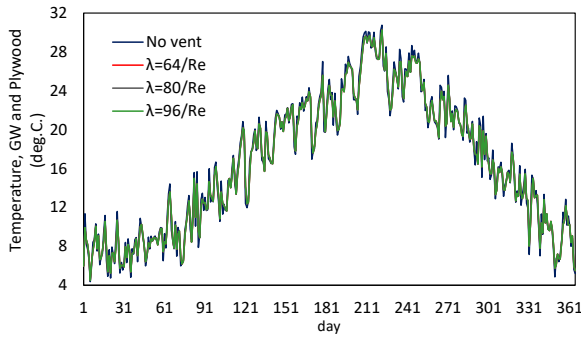


図 6 HGW 外側(結露ポイント)の温度年変動

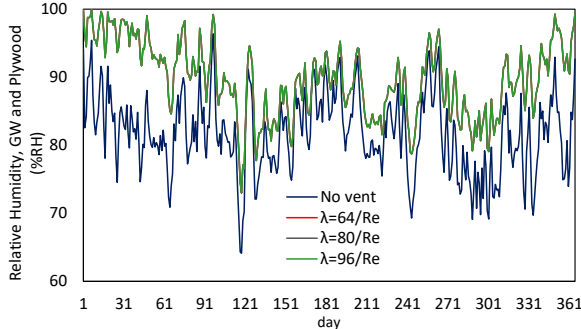


図 7 HGW 外側(結露ポイント)の相対湿度年変動

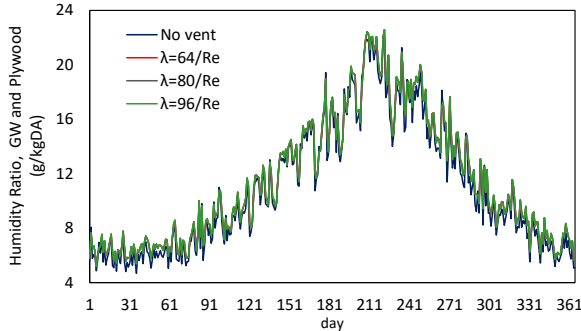


図 8 HGW 外側(結露ポイント)の絶対湿度年変動

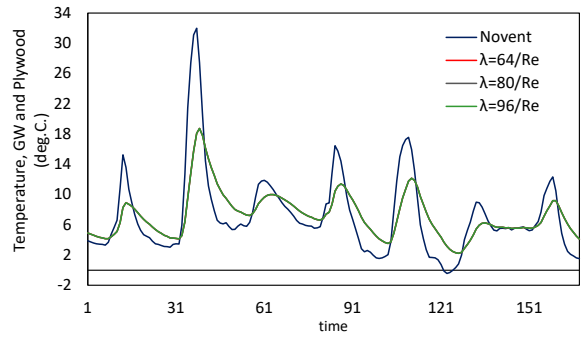


図 9 HGW 外側の温度年時間変動(1/1-1/7)

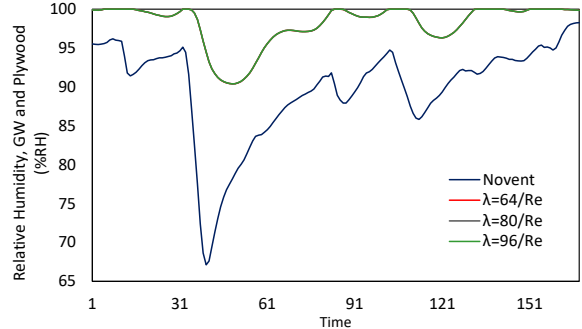


図 10 HGW 外側の相対湿度時間変動(1/1-1/7)

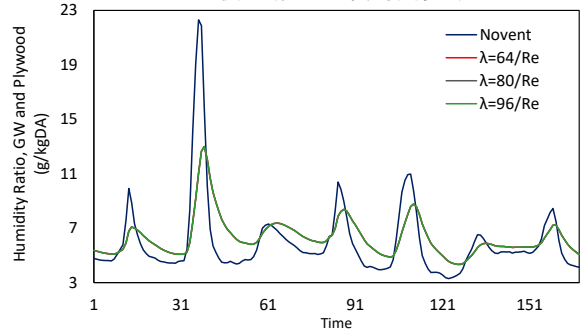


図 11 HGW 外側の絶対湿度時間変動(1/1-1/7)

ており、排湿層を設けることで逆に危険性が高まっている。図 9~11 は 1/1~7 における同ポイントの温湿度変動である。排湿層ありモデルは緩やかな変動になっており、排湿層がバッファの役目を果たしている。絶対湿度(図 11)をみると、排湿層によって低湿化しているが、その一方で相対湿度は結露時間帯が生じており、排湿層内を低温外気が流れることで、わずかながら温度が低下することが原因である。1 月熱流積算値(744 時間分)で比較すると、排湿層なし 11.48MJ/m²、排湿層あり 11.34MJ/m²で殆ど差がない。

4. まとめ

排湿層を有する塗壁外断熱システムの断熱・防

露性能について検討した。エネルギー的には殆ど差がないものの、排湿層が結露リスクをやや高めることが推測された。排湿層の気流速度については今後、通気実験を行い、理論と現象とが整合するかどうかを確認する予定である。

参考文献 1) EIMA, EIFS Industry Members Association, <http://www.eima.com/>, 2)JIS K7225:2005, 硬質発泡プラスチック・水蒸気透過性の求め方, 日本規格協会, 3)JIS Z0208:1976, 防湿包装材料の透湿度試験法, 日本規格協会, 4)ISO 12572 Hygrothermal Performance of Building Materials and Products - Determination of water vapor transmission properties, 2016, 5) 本間義規: 付加断熱した非防湿壁体の熱湿気性状に関する数値解析、空調調和・衛生工学会第 5 回学術・技術報告会論文集、31-35、H28 年 3 月, 6)ISO15099 Thermal performance of windows, doors and shading devices - Detailed calculations, 2003

謝辞: 本研究はオメガジャパン株式会社(代表取締役・斎藤元志氏)の受託研究の一環として実施している。ここに記して謝意を表する。

A-5

費用対効果の観点から見た断熱改修住宅の環境性能評価

○谷口 幸多 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学), 細淵勇人 (秋田県立大学),

松本真一 (秋田県立大学)

Evaluation of the environmental performance of detached houses renovated with thermal insulations from the viewpoint of cost effectiveness

Kota Taniguchi (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hayato Hosobuchi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：断熱改修, 室内温熱環境, エネルギー消費量

はじめに

住宅部門での二酸化炭素排出量削減が課題となっていることを背景に、新築住宅に関しては省エネルギー法が順次強化されている。しかし断熱レベルの低い既存住宅の高断熱・高気密化の推進、いわゆる断熱改修が住宅部門の二酸化炭素排出量削減のための対策として挙げられるものの、未だ浸透しているとは言い難い。この原因の一つとして、断熱改修の費用対効果が明確ではなく、居住者に対する有益な情報が少ないことが挙げられる。よって、既存住宅の断熱改修を促すためには、住宅性能の向上や温熱環境の評価、エネルギー消費量の削減等、断熱改修がもたらす効果、便益を明確にし、提示することが必要である。

そこで本研究では、断熱改修事例3件を対象とし、室内温熱環境やエネルギー消費量の実態調査、居住者の健康性等を評価し、投資した改修費用の金額に応じて得られる効果の検討を試みる。

1. 断熱改修事例

表1に改修事例の概要を示す。調査対象とした3件の住宅はいずれも山形県内の全体改修事例である。改修費用総額の内、外部建具、断熱・気密、暖冷房設備、換気設備に掛かった費用の合計を断熱改修費用とした。それぞれの事例の断熱改修費用は、K邸425万円、S邸753万円、ST邸426万円であり、単位床面積あたりに換算すると、K邸2.2万円/m²、S邸4.0万円/m²、ST邸3.8万円/m²である。S邸とST邸の断熱改修費用がK邸と比較し、高額である理由として、暖房設備にヒートポンプ式温水暖房システムを採用したことが共通してあげられる。

設計図書より算出した改修後のU_A値[W/(m²・K)]は、K邸0.66、S邸0.58、ST邸0.62であり、事例が位置する4地域の基準値0.75を全ての事例が満たし、断熱性能がそれぞれの事例で6割～8割と大幅に向上した。

表-1 改修事例の概要

住宅名称		K邸(増築+全体改修)		S邸(全体改修)		ST邸(全体改修)	
所在地		山形県鶴岡市三和町		山形県鶴岡市鼠ヶ関		山形県鶴岡市日和町	
家族構成		祖父母+夫婦+子供(2人)		夫婦+子(成人)+息子夫婦		夫婦+子(3人家族)	
概要項目		改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後
竣工年		1993年(築22年)	2016年	1977年(築33年)	2010年	1975年(築41年)	2016年
延床面積		154m ²	190.4m ²	188.52m ²	188.52m ²	116.8m ²	120.9m ²
断熱材*	天井・屋根	GW10K100mm	HGW16K200mm(小屋裏) FF50mm+XPS B3種30mm(屋根)	なし	HGW16K90mm FF50mm(天井) FF35mm+50mm(屋根)	GW10K50mm	FF50mm(天井) HGW10K100mm(屋根)
	壁	GW10K50mm	HGW10K100mm	なし	FF35mm HGW16K100mm	GW10K50mm	FF35mm HGW10K100mm
	床	なし	FF45mm	なし	XPS30mm(土間) XPS75mm(基礎)	なし	ウレタン40mm(基礎) XPS B3種25mm(土間)
窓	サッシ部	アルミ	樹脂+アルミ	アルミ	樹脂サッシ	アルミ	樹脂
	ガラス部	単板	Low-e複層	単板・複層	トリプルLow-e	単板	Low-e複層
暖房	設備(部屋)	石油ファンヒーター	FF式石油ストーブ ファンヒーター	FF式ストーブ ファンヒーター	HP式温水暖房	石油ファンヒーター	HP式パネルヒーター
	形態	部分暖房	部分暖房	部分暖房	全館暖房	部分暖房	全館暖房
給湯設備		瞬間式給湯器	自然冷媒HP給湯器	石油給湯器	自然冷媒HP給湯器	ガス給湯器	自然冷媒HP式給湯器
換気設備		第三種	第三種	なし	第三種	なし	第三種
熱源	給湯	灯油	電気	灯油	電気	ガス	電気
	暖房	灯油	電気・石油	灯油	電気	灯油	電気
	その他	ガス(調理)	電気(調理)	都市ガス(調理)	電気(調理)	ガス	電気(調理)
U _A 値[W/(m ² ・K)]		1.78[W/(m ² ・K)]	0.66[W/(m ² ・K)]	2.73[W/(m ² ・K)]	0.58[W/(m ² ・K)]	2.63[W/(m ² ・K)]	0.62[W/(m ² ・K)]
	工事費用	総額 1,522万円		2,933万円		1,952万円	
	断熱改修	425万円		753万円		426万円	

* GW: グラスウール, HGW: 高性能グラスウール, FF: フェノールフォーム, XPS: 押出法ポリスチレンフォーム

2. 室内温熱環境の実測調査

2.1 調査概要

ST 邸の改修前後における室内温熱環境を比較するため、実測調査を実施した。改修前は、室内4か所(居間、脱衣所、トイレ、2階寝室)と外気の計5か所、改修後は室内5か所(居間、洗面所、2階洋室、寝室、玄関)と外気の計6か所に小型温湿度データロガーを設置し、温湿度を20分間隔で測定した。なお、改修前は2016年2月15～2016年2月20日のデータ、改修後は2016年12月18日～2016年12月25日のデータを用いた。

2.2 実測調査結果

図1に改修前の各室における時刻別平均温度変動を示す。改修前は居間のみ石油ファンヒーターによって暖房をしていた。朝6:00頃に暖房を開始し、24℃程度まで室温が上昇している。日中は居住者が不在のため、暖房を行っていないことから居間の温度は15℃以下まで低下している。暖房を行っていない居間以外の部屋は、常に10℃前後と低い温度で変動している。居住者が帰宅した後、再び温度が上昇し始め、団らん時では25℃程度に推移している。居間と他室間で15℃程度と大きい温度差が生じており、暖房停止後の温度低下が顕著に表れている。

図2に改修後の各室における時刻別平均温度変動を示す。ヒートポンプ式温水パネルヒーターによる終日全館暖房と、外皮の高断熱化により外気温の影響が小さく、室内は20℃～23℃程度に維持されており、居間と他室の温度差も約2℃と極めて小さい。改修前と比較し、各室の室温が10℃以上上昇し、一日中安定した室温を維持していることが確認できる。

2.3 温熱環境のグレード評価

改修前後の実測データをもとに、吉野のグレード表¹⁾に従って温熱環境を1(劣)～5(優)の5段階で評価した。結果を表2に示す。山形県郡部の住宅はグレードが2や3といった値に集中しており、対して高断熱・床暖房グループは、全ての項目において4以上のグレードとなり、良好な温熱環境であることを示す。

ST 邸の温熱環境を評価した場合、改修前のグレードが3.0に対し、改修後は4.3に向上し、高断熱・床暖房と同程度の評価にまで改善した。特に、団らん時における寝室の温度と便所・廊下の温度の評価が大幅に向上している。改修前は、居間以外の空間は暖房しておらず、居間との温度差も顕著であったが、改修による高断熱化とパネル

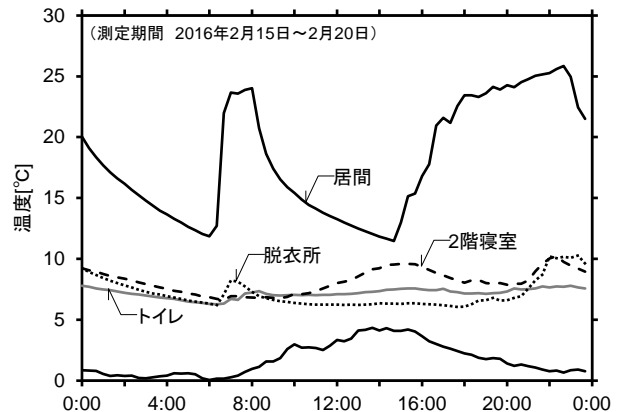


図-1 改修前における冬期温熱環境の時刻別平均温度変動

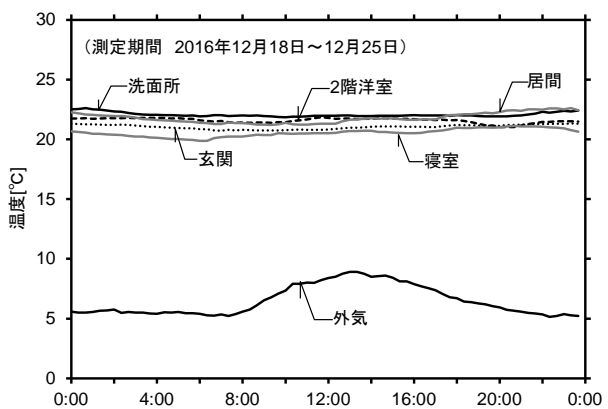


図-2 改修後における冬期温熱環境の時刻別平均温度変動

表-2 ST 邸における冬期温熱環境のグレード表

グレード		1	2	3	4	5	改修前	改修後	
居間 温度	床下1.1mの温度	12	15	18	21	24	5(24.1)	4(22.3)	
	上下温度差*1	10	8	6	3	0	3(6.3)	5(1.3)	
	グローブ温度差*2	-3	-2	-1	0	1	4(0)	4(-0.3)	
	明け方の最低温度*3	2	6	10	14	18	3(10.9)	4(16.1)	
寝室の温度(団らん時)*4		4	8	12	16	20	1(6.2)	4(18.4)	
便所・廊下の温度(団らん時)*4		2	5	8	11	14	2(5.4)	5(18.7)	
山形県郡部 高断熱・床暖房							平均	3	4.3

*1 床下1mの温度が20℃、外気温が0℃の時の値。

*2 グローブ温度と床下1m温度との差。

*3 外気温が0℃の時の値。

*4 団らん時に、居間の床下1mの温度が20℃、外気温が0℃の時の値。

ヒーターによる終日全館暖房の効果によって、居間と他室間の温度差、居間の床下1.1m温度と0.1m温度の温度差が解消されたことが、温熱環境の改善に大きく寄与している。

3. 改修前後の住宅の健康性評価

3.1 概要

住宅の健康性評価ツール「CASBEE 健康」²⁾を用いて、改修前後でST邸の健康性を評価した。CASBEE 健康は、住宅環境と関連が深い健康に関する50の項目に4段階評価で回答し、その回答のポイントの合計(320点満点)によって、住宅全体、各部屋、各健康要素で評価される。

3.2 結果

部屋ごとにおける評点の結果を図3、健康要素ごとにおける評点の結果を図4に示す。改修前のレーダーチャートを見ると「暖かさ」「清潔さ」の評点が特に低い。温熱環境の実測調査で示したように、改修前は居間のみ暖房をしていたため、居間以外の室温が低く、温度差を強く感じていた。また、「清潔さ」の評点が低い理由として、換気設備が備えられていなかったことから、「カビが発生している」「トイレやキッチンでにおいがこもる」といった問題が生じていたため、「清潔さ」の評価に影響を及ぼす結果となった。

改修後の結果を見ると、全ての評価項目において大幅に評点が向上している。断熱改修によって各室の温熱環境が改善されただけでなく、「清潔さ」や「静かさ」等の評価も「暖かさ」と同等の改善効果を示す結果となった。

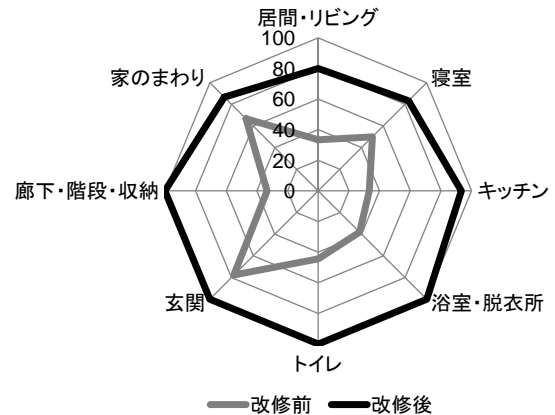


図-3 ST邸における部屋ごとの健康特性レーダーチャート

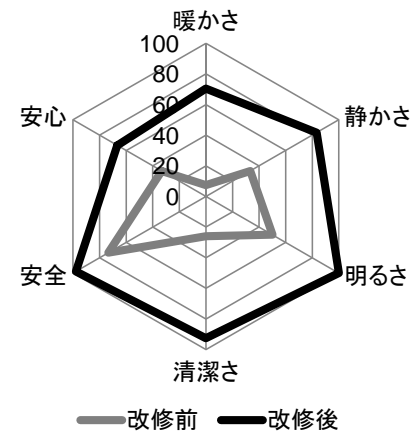


図-4 ST邸における健康要素ごとの健康特性レーダーチャート

4. エネルギー消費量と光熱費の実態調査

4.1 調査概要

K邸とS邸の電気、灯油、ガスの検針表を改修前後の1年分入手し、エネルギー使用用途を暖房、冷房、給湯、その他(家電、調理等)に分類し、用途別エネルギー消費量を算出した【注】。

4.2 調査結果

図5にK邸とS邸の年間用途別エネルギー消費量と光熱費を示す。K邸の改修後の年間エネルギー消費量は平均61.8%、光熱費は約31万円削減された。改修前、石油ファンヒーターを過剰に使用していた為、年間光熱費約54万円の内、約24万円を灯油が占めていた。改修後の高断熱化により、石油ファンヒーターの使用台数が減り、設定温度も控え目になった。また給湯の電化により、灯油の購入量が21万円分と大幅に削減された。

S邸の場合、改修後の世帯人数が2名増えたが、年間エネルギー消費量は約68%、光熱費は約6万円削減された。K邸同様、改修前の暖房と給湯の熱源は灯油であったが、高断熱化と全電化によって高い省エネルギー効果が発揮されたと言える。

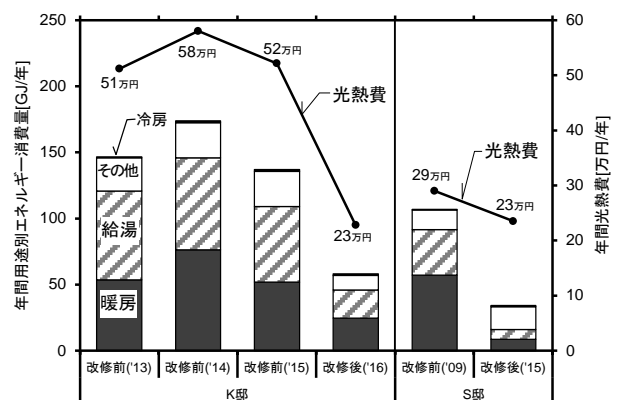


図-5 K邸とS邸における改修前後の年間エネルギー消費量と年間光熱費

5. 初期投資回収年数の評価

改修以降、年間で生じる便益の積算値から断熱改修費用の回収年数を算出する。光熱費削減額を指す直接的便益(EB)はK邸31万円、S邸6万円である。伊香賀ら³⁾は温熱環境の改善をもたらす間接的便益(NEB)は27,000[円/年・世帯]と示している。またNEBの算定に設定されている世帯数は2.63人/世帯であり、各事例の世帯人員数に換算した場合、K邸は61,597[円/年・世帯]、S邸は51,331[円/年・世帯]となる。さらに医療費の社会的負担を考慮した場合、59,000[円/年・世帯]の便益³⁾が生じ、同様に各事例の世帯人員数に換算するとK邸134,601円、S邸112,167円となる。よってEBとNEBの合計金額が1世帯あたりに生じる年間の便益となる。

図6、図7にK邸とS邸の便益の積算値と回収年数を示す。年間の便益を「EBのみ」、「NEBも考慮」、「社会的負担も考慮」の3通りで回収年数を算出した結果、K邸が14年、12年、10年となり、S邸が137年、71年、45年である。K邸は早期回収に期待でき、S邸はEBのみの回収は困難であるがNEBを考慮することで最短45年に短縮される。S邸の場合、暖房設備にヒートポンプ式温水パネルヒーターを採用しているため、断熱改修費用が比較的高額である。パネルヒーターによる温熱環境の改善効果はファンヒーターを用いた場合よりも高いが、その分設備の高額な投資を要するため、回収年数に長期間を要する結果となった。

6. まとめと今後の展望

断熱改修により、室内温熱環境の改善やエネルギー消費量、光熱費の削減効果だけでなく居住者の健康性も向上した。石油ファンヒーターによる部分暖房よりヒートポンプ式温水パネルヒーターによる終日全館暖房の方が温度むらや温度差が生じにくく、温熱環境のグレードが高い。また、健康性を評価した際、暖かさの改善率が約19%高いが費用が高額である分、回収年数に長期間を要する。

今後、あらゆる設備的手法による温熱環境の改善効果を調査することで、より明確な費用対効果の提示に期待できる。

【注】電気：3.6MJ/kWh、灯油：36.7MJ/L、ガス：99.1MJ/m³

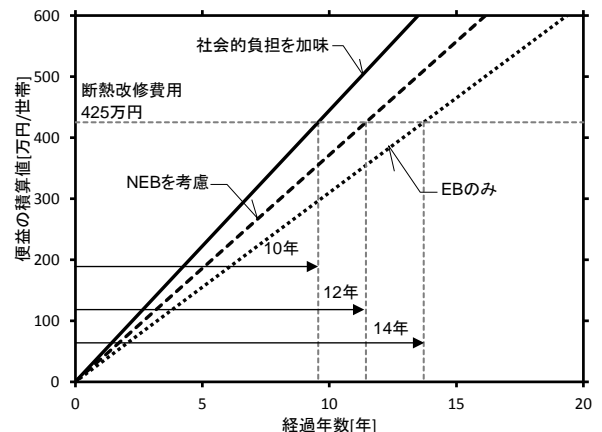


図-6 K邸における便益の積算値と投資回収年数

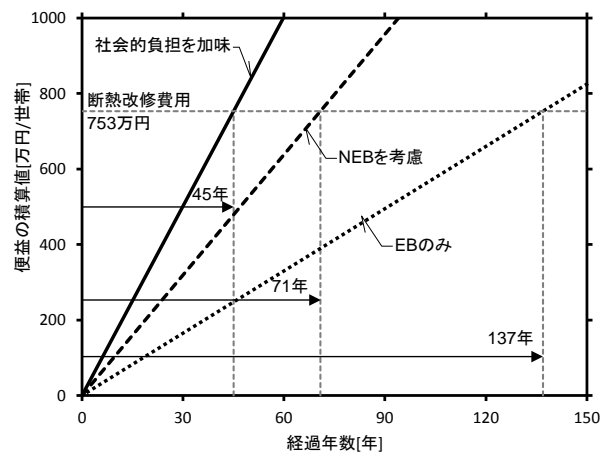


図-7 S邸における便益の積算値と投資回収年数

謝辞

本調査を進めるにあたっては、有限会社親和創建ならびに対象事例の居住者の皆様に多大なるご理解とご協力をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 長谷川房雄, 吉野博: 東北地方の各種住宅における冬期の室温に関する調査研究, 日本建築学会計画系報告集, 第371号, pp.18-26, 1987.1.
- 2) 住まいの健康性評価ツール CASBEE 健康チェックリスト
http://www.ibec.or.jp/CASBEE/casbee_health/index_health.htm
- 3) 伊香賀俊治ほか: 健康維持がもたらす間接的便益(NEB)を考慮した住宅断熱の投資評価, 日本建築学会環境系論文集, 第76巻, 第666号, pp.735-740, 2011年8月.

A-6

合宿研修所における温熱環境改善に関する研究

○岩原 春香 (仙台高等専門学校), 内海 康雄 (仙台高等専門学校),

生出 玲士 (仙台高等専門学校), 佐藤 優太 (仙台高等専門学校)

Study on Improving Thermal Environment of Training Camp in Summer
Iwahara Haruka (NIT, Sendai), Utsumi Yasuo (NIT, Sendai),
Oide Reiji (NIT, Sendai), Sato Yuta (NIT, Sendai)

キーワード：熱中症, 研修施設, 温熱環境, 部活動

1. はじめに

1.1 背景

近年、地球温暖化の影響により平均気温が上昇傾向にあり、熱中症患者数の増加が懸念されている^[1]。仙台高専名取キャンパスにおいては昨年度、夏季の部活動中に部員が熱中症を発症した事例がみられた。夏季にキャンパス内の合宿研修所（以下、研修所）を利用して放課後の部活動や合宿を行う部もあり、研修所利用中に熱中症を発症する可能性が示唆される。

1.2 目的

本研究では、高齢者の包括的見守り支援システムの構築を最終的に目指している(図1)。昨年度は、名取市が避難所に指定している研修所において熱中症に罹患した高齢者を想定した小範囲のパーティーション内部における実測を行った^[2]。研修所は今後、改修工事が行われる予定であるが、現在の研修所全体の室内環境や冷房の効果等については把握されていない。本報では、高齢者だけでなく学生もシステムを利用することを想定し、研修所の温熱環境に関する基礎的実測調査を行う。

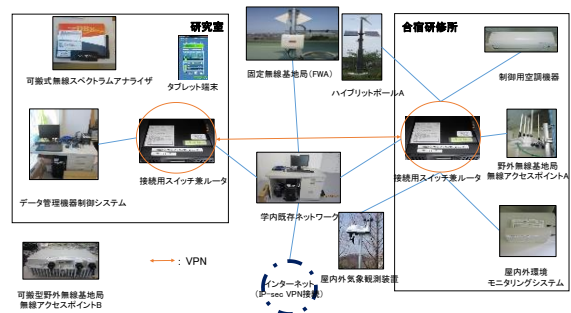


図1 システム概要図

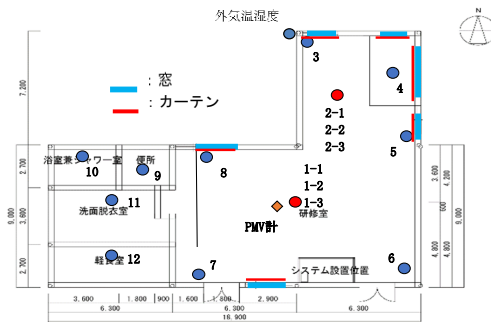


図2 研修所内平面図兼配置図 (S=1/300)

表1 実験機器表

2. 実測概要

2.1 対象建物と測定項目

仙台高専名取キャンパス内の合宿研修所を対象に測定を行う。平面図とそこに温湿度測定点、PMV 計の位置を Fig. 2 に示す。室内温湿度の測定は測定点 12 点におんどとり Jr. を設置(図2内赤点の位置に床上+100mm, 床上+1200mm, 天井-100mm, 青点の位置は床上+1200mm)して測定を行った。消費電力量はエアコン使用に生じた電力を把握するため、使用コンセントに消費電力量計を設置して測定した。使用した実験機器を表1に示す。

機器名	製造	型名	測定項目	測定時間間隔	ソフトウェア
 おんどとり Jr.	T&D Corporation	RTR-53A	室内外温・湿度	10分	RTR-50 for Windows
 ワイヤレスコミュニケーションポート		RTR-50	※おんどとり Jr. に集録される計測データを無線で受信する。		
 Bluetoothワットチェッカー	(株)RATOC Systems	REX - BTWATTC HI	消費電力量	1時間	RATOC ワットチェッカー
 ポータブルPMV計	京都電子工業(株)	AM-101	グローブ温度、気温、気流速度、湿度、PMV、PPD	10分	AM-WBGT 計測ソフトウェア

2.2 実験条件

研修所において、冷房を使用する際に、窓・カーテンの開閉、運転時間別の使用パターンを組み、条件ごとの室内温・湿度と消費電力量、PMV の値を測定した。設定温度は文献^[3]より全ての Case で 27℃とした。実験条件を表 2 に示す。

Case1~7 の他、実際に研修所が夏季合宿で利用されている際の温熱環境と冷房使用状況を把握するため、合宿日（在室時間帯あり）に測定を行った。合宿日の窓やカーテンの開閉は研修所利用者に委ねるものとし、冷房使用の有無は消費電力量により判断した。実験は、夏季実測として 2016 年 7 月 1 日から 9 月 10 日に行った。

3. 結果と考察

3.1 測定結果

温度の測定結果は、10 分間隔の測定値を 1 時間値として平均したものである。全天日射量の値は、気象庁 HP より仙台市の値を参照した。図 3~8 における参照用標準データは、Case ごとの室内温熱環境の傾向を把握するため測定日すべての平均を取りグラフ化したものである。測定点 1 と測定点 2 は鉛直方向 3 点で測定したが、グラフ内の値は鉛直方向 3 点の平均値である。なお、参照用標準データ作成にあたり使用した対象日はそれぞれ外気条件が同様な日（一日中晴天、最高外気温度 27℃以上、日積算日射量 4000W/m²以上）とした。

表 3 に、Case 1~Case 7 の 14 時台において室内温度が高い測定点から順に並べた表を示す。測定点 1, 4, 12 の温度が高く、9, 10, 11 の温度が低くなる傾向がみられた。

3.2 Case 1 と Case 2 の結果の比較

窓とカーテンを閉め切り、冷房停止させた場合の Case 1(基準ケース, 図 3)と Case 2(図 4)において測定点 1 と外気温度の差を比較する。Case 2 で窓を開けた午前 9 時から午後 5 時までをみると、Case 1 では冷房を稼働させていないため 4.0℃もの差がみられた。一方、窓を開けた Case 2 では同時時間帯の室内外温度差を最大でも 2.4℃に抑えられていた。また、Case 1 では測定点 9, 10, 11 を除く 9 点で午前 10 時を境に室内温度が外気温度を上回った。一方、Case 2 では測定点 1, 6, 7, 12 の 4 点のみ外気温度を上回り、その他の測定点は外気温度を下回る時間帯が見られた。

表 2 実験条件

	冷房運転	窓 (通風)	カーテン
Case 1	×	×	×
Case 2	×	9:00~17:00	9:00~17:00
Case 3	9:00~17:00	×	9:00~17:00
Case 4	9:00~17:00	×	×
Case 5	×	12:00~14:00	12:00~14:00
Case 6	12:00~14:00	×	12:00~14:00
Case 7	12:00~14:00	×	×

表 3 測定点別温度順位

高 ↑	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5	Case 6	Case 7
1	12	1	4	4	12	1	12
2	1	6	1	1	1	4	8
3	4	7	6	12	6	12	4
4	5	12	12	7	5	6	6
5	8	4	7	6	7	8	1
6	6	8	8	8	8	5	7
7	7	2	5	5	4	7	5
8	2	5	2	2	2	2	2
9	3	10	3	3	3	3	3
10	10	3	10	11	10	11	11
11	11	11	11	10	11	10	10
低 ↓	12	9	9	9	9	9	9

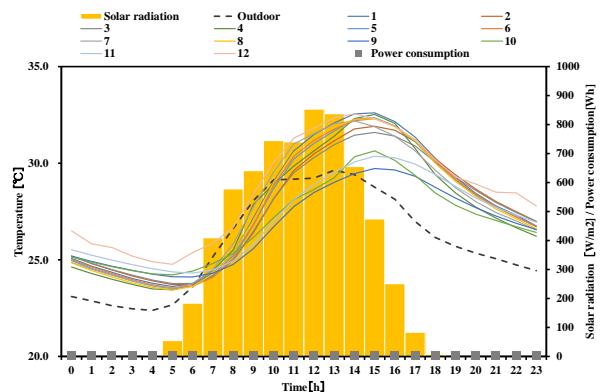


図 3 Case 1 参照用標準データ

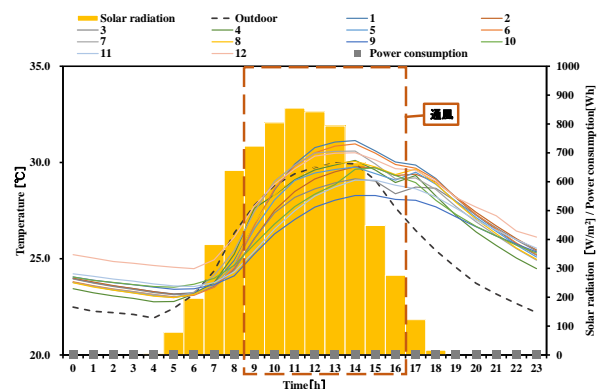


図 4 Case 2 参照用標準データ

3.3 Case 1 と Case 4 の結果の比較

Case 1(基準ケース, 図3)とCase 4(図5)で測定点1と外気温度の差を比較する。Case 4の居住域温度の中で最も高いのは測定点4だが、小部屋のドアを閉めて実測しており局所的に室内温度が上昇したと考えられるため、測定点1の温度で比較する。Case 4で冷房を運転させた午前9時から午後5時までをみると、Case 1の4.0℃の差に対し、Case 4では同時間帯の室内外温度差をCase 2の場合と同じく最大でも2.4℃に抑えられていた。

ただし、Case 4では正午12時頃まではほとんどの測定点が外気温度を下回っていたが、その後は測定点9, 10, 11以外の測定点すべてにおいて外気温度を上回っていた。

以上3.2節と3.3節の結果を踏まえ、現在の研修所においては冷房運転時よりも窓を開けた場合の方が室温を下げる可能性がある。

3.4 合宿中の冷房使用と室内温度の関係

部活動の夏季合宿において研修所が利用されている際の室内温度を、24時間運転日(図6)と一部時間帯運転日(図7)、冷房非稼働日(図8)の参照用標準データを用いて比較する。これら3つの参照用標準データのうち24時間運転日の参照用標準データで最高外気温度32℃を示した。すなわち、合宿中の学生は外気温度が高い日に24時間運転をしていた頻度が高いといえる。しかし、室内の温度グラフを見てみると、冷房連続稼働中にもかかわらず一部時間帯運転日、冷房非稼働日のグラフとの間に大差が見られず、室内外温度差は午後1時頃に2.5℃まで達した。外気温度の高さに起因しているものと思われる。この結果から、連続運転でも冷房効果が十分に発揮されておらず、連続通風をした方が室内温度を下げる可能性があるといえる。

3.5 日射量と室内温度、消費電力量の関係

Case 1~4の実測結果から、日積算消費電力量と室内居住域温度、水回り温度、日積算全日日射量および日平均外気温度の関係を図9~図12に示す。消費電力量と日射量は、冷房運転時間中の積算値とし、室温は居住域と水回りそれぞれの一日の平均値を用いた。

日射量と室内居住域温度並びに水回り温度は、正の相関があった($R^2=0.55$ ・ $R^2=0.45$)。水回りの測定点は北側で日射が入らず、床がコンクリート

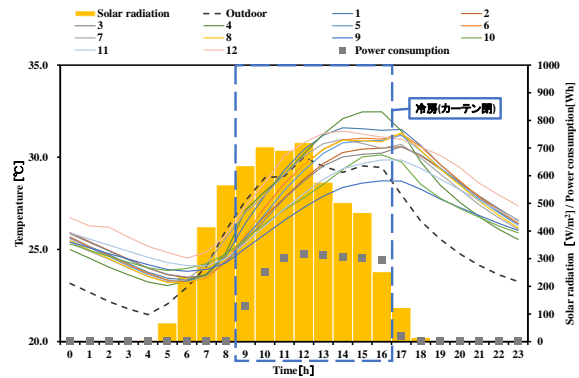


図5 Case 4 参照用標準データ

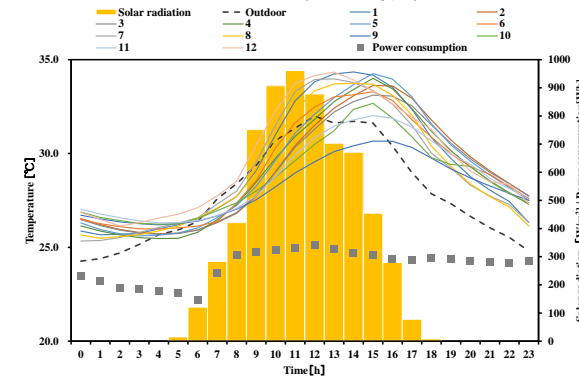


図6 合宿中(24時間運転日)参照用標準データ

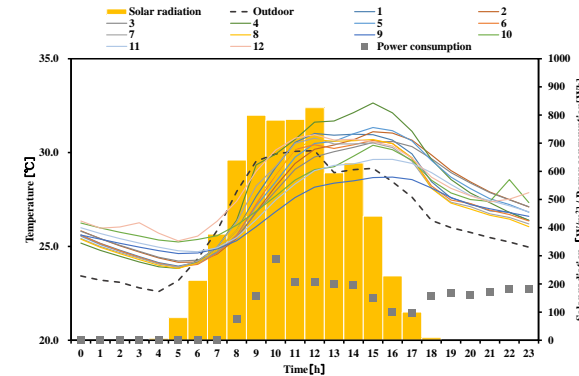


図7 合宿中(一部時間帯運転日)参照用標準データ

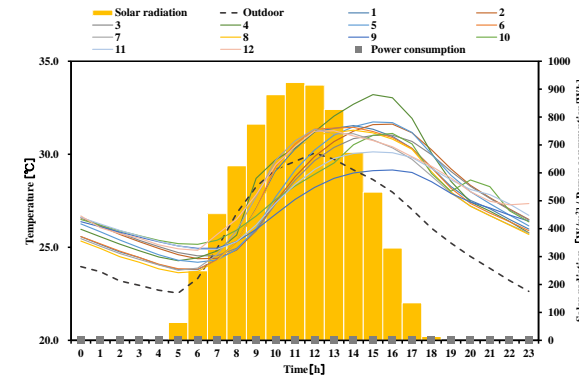


図8 合宿中(非稼働日)参照用標準データ

で熱容量が大きい室内居住域温度よりも日射量との相関が低くなったものと思われる。日射量と消費電力量についても正の相関があった($R^2=0.55$)。また、消費電力量と室内居住域温度についてはさらに高い相関($R^2=0.79$)を示した。図11内のCase 3において室内温度22℃、消費電力量2.0kWhの日があるが、この日は人の出入りがあった。すなわち日射量や室内居住域温度が高い場合、それに伴って消費電力量も増加している。

以上より、今回の実測において日射量、消費電力量、室内温度は互いに相関関係にあるといえる。

4. まとめ

以下に、今回の実測から得た知見を述べる。

- 1) 温度は、全ケースを通して測定点1, 4, 12が高く、測定点9, 10, 11が低い傾向がみられた。
- 2) 夏季の研修所では一日のうち最も室内温度が高い時間帯は午後2時前後であった。しかし、通風を行った場合には外気温度のピークと同様正午12時頃であった。
- 3) 冷房時よりも通風時の方が室内温度上昇を抑えられた。
- 7) 24時間の連続運転でも冷房の効果が十分に発揮されておらず、連続通風をした方が室内温度を下げる可能性がある。
- 9) 日射量、消費電力量、室内温度は互いに相関する。

今後は、24時間連続して通風を行った場合の実験やエアコンの設定温度を下げた場合の温度改善効果について知見を得たい。また、日射による研修所の壁体や屋根の温度上昇が高いことが示されたので、遮熱塗料を塗布した際の実測を行いたい。

参考文献

- [1] 厚生労働省 熱中症による死亡数人口動態統計 <http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/jinkou/tokusyuu/necchusho15/index.html> (参照日: 2017/01/16)
- [2] 村上美穂, 避難施設における熱中症を考慮した温熱空気環境の実測と対策, 空調調和・衛生工学会 東北支部第5回 学術・技術報告会, 2016.3
- [3] (財)建築環境・省エネルギー機構, 住宅事業建築主の判断におけるエネルギー消費量計算方法の解説, pp.46-47, 2009.3.

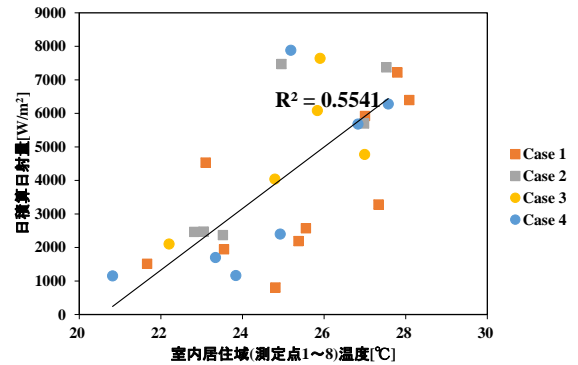


図9 日射量と室内居住域温度の関係

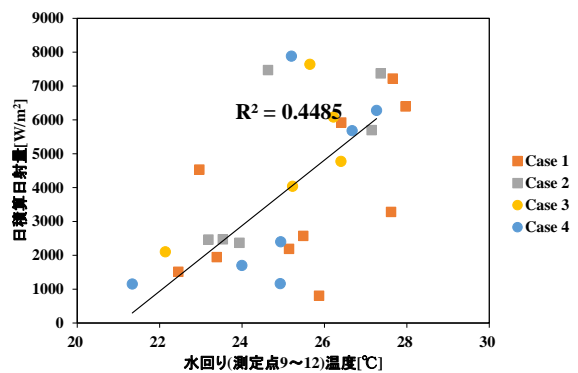


図10 日射量と水回り温度の関係

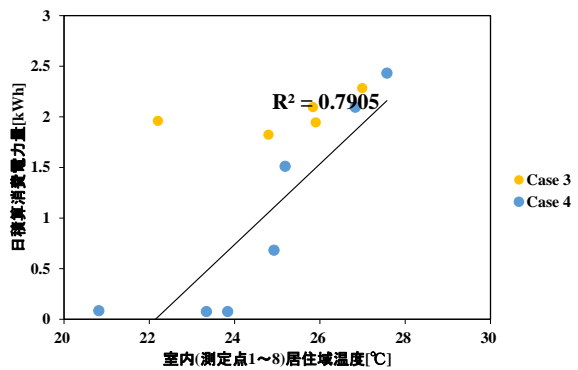


図11 消費電力量と室内居住域温度の関係

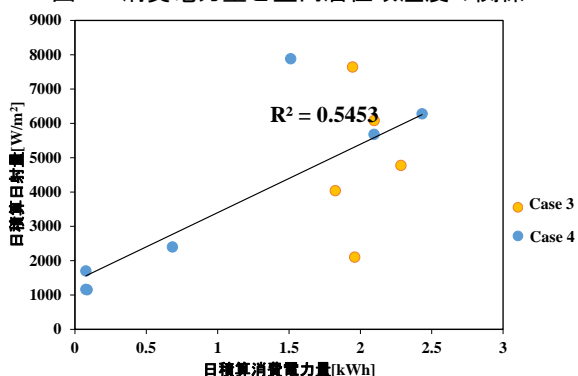


図12 日射量と消費電力量の関係

A-8

住宅用換気システムの違いが室内熱空気環境に与える影響に関する実験

○竹内信貴（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

細淵勇人（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Experimental study of indoor environmental characteristics
among several mechanical ventilation systems

Takeuchi Nobutaka(Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hosobuchi Hayato (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：換気システム，実験住宅，比較対照実験，室内温湿度，エネルギー消費量

はじめに

シックハウスの原因となる化学物質の室内濃度を下げるため、2003年に住宅への機械換気システムの設置が義務付けられた。住宅の居室には0.5回/h以上の換気回数を確保することが必要となったが、換気システムにはいくつかの種類があり、その違いにより換気性状や室内環境に差が生じる可能性がある。

本研究グループでは、換気システムの種類の違いが室内熱空気環境やエネルギー消費量にどの程度影響を与えているかを定量的に把握するために、実大試験家屋を用いた比較対照実験を企画した。本研究では、その概要を示すとともに、異なる換気システムを運用した場合の環境性能を考察する。

1. 実験概要

1.1 実験住宅と実験条件

実験家屋を図-1に、その概要を表-1に、試験室平面図を図-2に示す。実験住宅は秋田県立大学本荘キャンパス内に建設された秋田スギ実験棟であり、二階の2室(C室、D室)を実験に使用する比較対照実験を実施する。両室共に、床面積33.1m²(南:20.7m²、北:12.4m²)、居室容積92.7m³(南:58.0m³、北:34.7m³)であり、南室と北室に仕切られた部屋がある。実験では南室を空調室、北室を非空調室として南室のみ温湿度を制御する。実験中、電気ヒーターにより暖房し、20℃に設定して常時稼働させる。6時から8時と18時から21時の間に一人の成人男性が南室にいることを想定した加湿量(34g/h)を加湿器により維持した。表-2



図-1 試験室平面図

表-1 試験家屋概要

竣工	2003年3月		
構造規模	木造2階建て		
主要用途	実験用建物		
工事種別	新築		
面積	建築面積	115.9m ²	
	延床面積	176.6m ²	
	試験室面積	南室	20.7m ²
北室		12.4m ²	
容積	試験室容積	南室	58.0m ³
		北室	34.7m ³
隙間相当面積(C値)		C室	1.4cm ² /m ²
		D室	1.4cm ² /m ²

に使用する換気システムの仕様を、図-3に実験条件と矢印で換気経路を示す。実験1では両室の環境性能が同等であるかを確認するために、両室にある排気用パイプファンを用いて第三種機械換気システムで検証する。実験2では第三種と第一種の機械換気システムの違いを評価する。実験3では南室のみを用いて、第一種機械換気システム(壁

掛式)の顕熱交換と全熱交換の違いを評価する。実験 4 では第一種機械換気システム(ダクト式)の全熱交換と第三種機械換気システムの違いを評価する。実験 2 と 4 では D 室(第三種機械換気)を標準とする。

1.2 各種物理量の計測方法

両室の温度は熱電対(温度測定精度±0.2℃)を、相対湿度は温湿度センサー(湿度測定精度±3%)を用いて測定し、データロガーにて 10 分間隔で自動記録する。また、加湿器の加湿量を電子天秤を用いて重量変化により把握した。さらに、換気システムと電気ヒーターの電力量も計測する。

2. 両室の気密性能と換気量測定

両室の隙間相当面積(C 値)を気密測定器(KNS-4000 II)で計測したところ、両室共に 1.4cm²/m² となり、同等の気密性能であることを確認した。部位別の気密測定試験では、南室と北室にある窓周りを調べた。初めに南室の窓周りと北室の窓周りにシールをして測定し、順次、南室の窓周り、北室の窓周りのシールを外して測定した。各々の測定値の差によって、部位の総相当隙間面積が算出され、その結果を表-3 に示す。北室と南室の窓周りには合計 20cm² 程度の隙間が存在し、建物全体の約 40%の隙間が集中していることが分かる。その他は、壁と床・天井との取り合

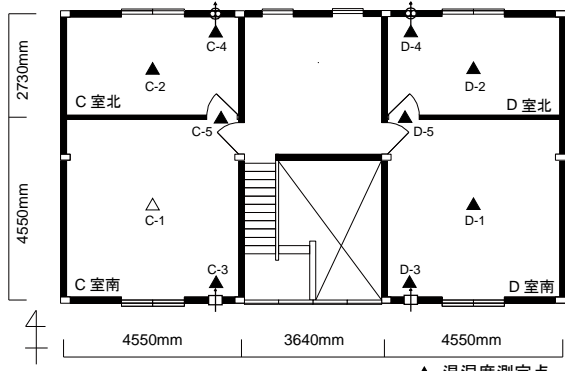
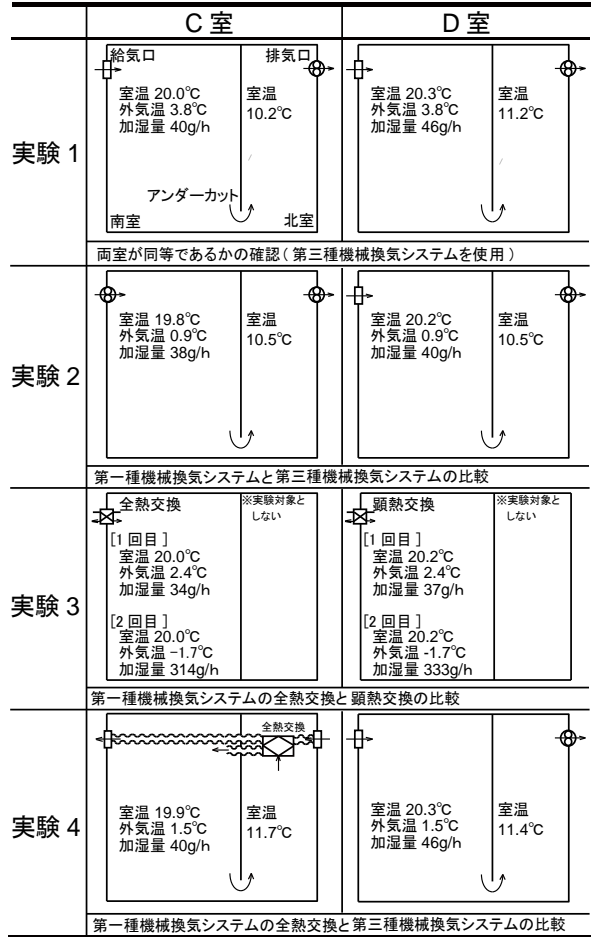


図-2 試験室平面図



□ 自然給排気 □ 機械給排気(壁掛型の熱交換器) ≈ ダクト
 ⊕ 機械給排気 ⊗ 機械給排気(ダクト式の熱交換器)
 室温は南室の平均測定温度と北室の平均測定温度を記す
 加湿量は加湿時間に加湿器から出た平均水蒸気量を記す

図-3 換気経路と実験条件

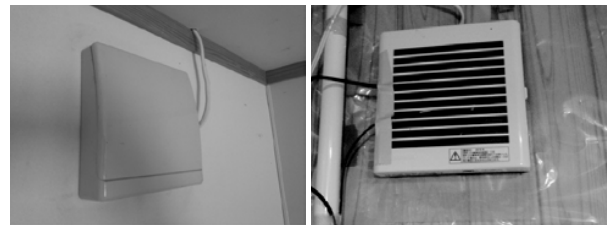


図-4 排気用(左)と給気用(右)パイプファン

表-2 換気システムの仕様

換気システムの種類	消費電力(W)	換気風量(m ³ /h)	騒音(dB)	質量(kg)	顕熱交換率(%)	エンタルピー交換率(%)
排気用のパイプファン	3.2	60.0	22	0.82		
給気用のパイプファン	2.9	50.0	27	0.67		
壁掛け式的全熱交換器	12.5	31.5	29	4.30	75	
壁掛け式の顕熱交換器	12.5	28.5	26	4.30	70	
ダクト式熱交換器	8.0	75.0	24	12.5	82	78

い部に存在するものと推察される。また給気口、排気口、アンダーカットの総相当隙間面積を表-4に示す。これらのデータは今後予定している数値解析のための基礎データに用いる。

また、両室にある排気用パイプファンの換気量を風量測定器(KNS-233 型)で計測したところほぼ同等であり、C室は42.4m³/h(0.46回/h)、D室は42.0m³/h(0.45回/h)であることを確認した。

3. 実験結果と考察

3.1 両室が同等であるかの確認(実験1)

両室の同等性を確認するため、暖房設定温度、加湿量を同じにして連続する3日間を計測した。南室では両室ともにほぼ同じ温度であったが、北室と排気口では両室に平均1.0℃の差が生じ、D室の温度が高い。今後の実験では、この程度の差があることを前提に考察する。図-5に各実験の日積算電力量を示す。実験1の電力量を見ると、D室の電気ヒーターの日積算電力量が0.7kWh、C室より大きくなった。今後の実験ではこの差を考慮する。

3.2 第一種と第三種機械換気システムの比較(実験2)

図-6に両室の南室、給気口の温度と日積算電力量を、図-7に両室の南室、給気口の絶対湿度と加湿量を示す。図-6を見ると、第一種換気であるC室の方が確実に既定の換気がされている様子が窺える。特にC室の給気口の温度は外気とほぼ同じであり、外気が取り込まれているのに対して、D室では室温に近く、十分な外気の流入が確認できない。図-6の日積算電力量を見ると、換気量が確保されている分、C室の方が多くなっている。

3.3 第一種機械換気システムの全熱交換と顕熱交換の比較(実験3)

実験3を2回実施し、1回目34g/h、2回目350g/hの加湿量であった。図-8に両室の南室、給気口の温度と日積算電力量を、図-9に両室の南室、給気口の絶対湿度と加湿量を示す。南室と給気口の絶対湿度はD室よりもC室の方が高くなっている。これはC室で全熱交換されているためであり、冬季の室内での過乾燥防止に寄与することが期待できる。電力量を見ると、C室よりもD室の方が大きい。これは表-2に示すとおり、C室の全熱交換器の方が顕熱交換率が高いためと考えられる。

表-3 窓周りの総相当隙間面積(αA)測定結果

	C室※	D室※
北室の窓周り	7.0cm ² (15%)	8.5cm ² (18%)
南室の窓周り	13.0cm ² (28%)	12.0cm ² (26%)
その他	26.3cm ² (57%)	25.8cm ² (56%)
合計	46.3cm ²	46.3cm ²

※()内は部屋全体の隙間の割合を示す

表-4 給気口などの総相当隙間面積(αA)測定結果

	C室	D室
給気口	8.5cm ²	
排気口	15.5cm ²	
アンダーカット	52.0cm ²	

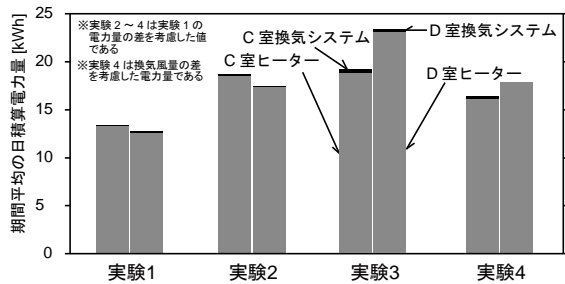


図-5 各実験の日積算電力量

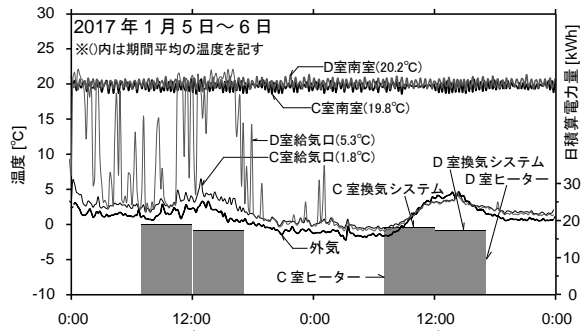


図-6 南室、給気口の温度と日積算電力量(実験2)

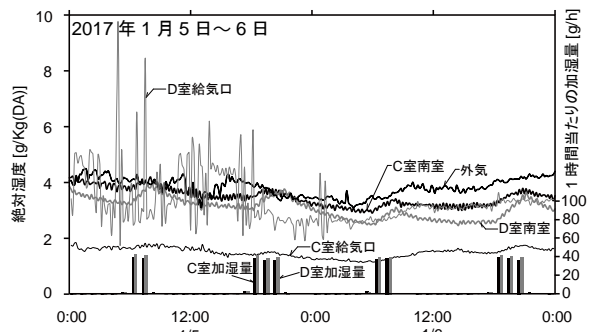


図-7 南室、給気口の絶対湿度と加湿量(実験2)

3.4 第一種の全熱交換と第三種換気の比較 (実験4)

図-10 に両室の南室, 北室の温度と日積算電力量を, 図-11 に両室の南室, 北室の絶対湿度と加湿量を示す。南室の絶対湿度は全体的に C 室の方が D 室よりも高く, 第一種の全熱交換器を使用することで, 南室では過乾燥が防止できる可能性がある。また, 北室では D 室の方が C 室よりも絶対湿度が高い。表-2 に示すように, C 室の方が 25%程度換気量が多いため, 北室の温湿度は南室に近くなると考えられるが, 非暖房室が高湿度になることを抑制している。図-10 の換気システムの日積算電力量を見ると, C 室の方が D 室より 0.1kWh 程度大きくなっているが, 全体でみると C 室の方が電力量は少ない。

4. 結論

本研究により以下のことが分かった。

(1)換気システムの違いによって室内の温湿度やエネルギー消費量に違いが現れる。

(2)熱交換器には全熱交換と顕熱交換があるが, 室内の絶対湿度に明確な差が確認できた。

(3)第一種機械換気システムでは安定した換気量が得られる。さらに全熱交換にすることにより, 暖房時の電力量を少なくすることができるとともに, 冬の過乾燥防止や非暖房室の高湿度状態を抑制する可能性がある。

謝辞

本実験を進めるにあたっては, パナソニックエコシステムズ株式会社より換気用機材の提供を頂きました。ここに記して, 深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本サステナブル建築協会: 省エネ技術を用いた室内高温化及び室内空気汚染の抑制手法に関する検討調査報告書, 第 4 章, (2012-3), pp.47-92
- 2) 渡辺要編: 建築計画原論Ⅲ, (1965), pp.161

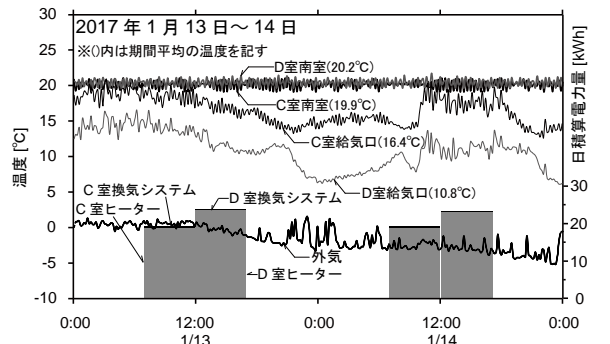


図-8 南室, 給気口の温度と日積算電力量(実験3)

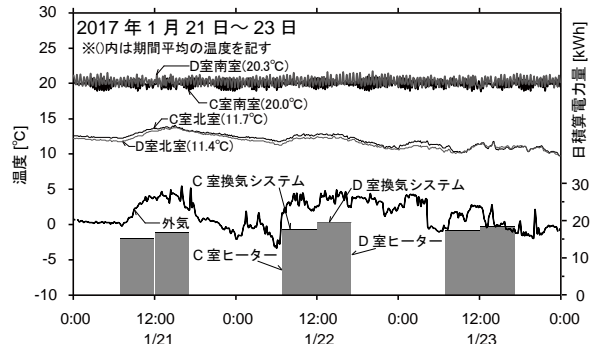


図-10 南室, 北室の温度と日積算電力量(実験4)

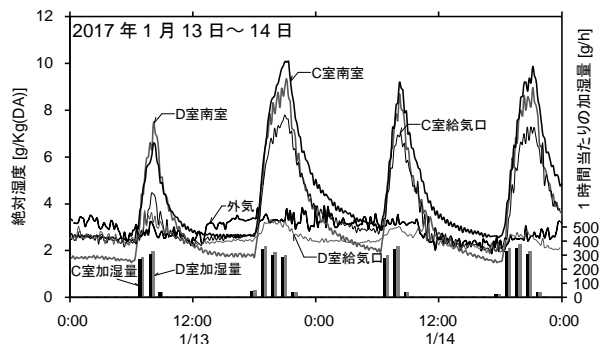


図-9 南室, 給気口の絶対湿度と加湿量(実験3)

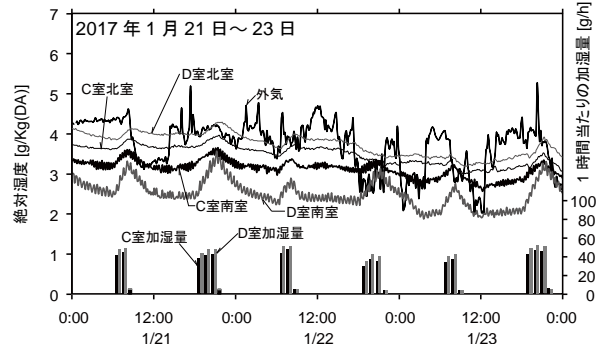


図-11 南室, 北室の絶対湿度と加湿量(実験4)

A-9

住宅のダンプネスとアレルギー疾患の因果構造の解明に向けた基礎研究

○佐藤 有希 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学), 細淵勇人 (秋田県立大学),

松本真一 (秋田県立大学)

Evaluation of the causal structures of the association between home dampness and allergic disease

Sato Yuki (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hosobuchi Hayato (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：ダンプネス, アレルギー疾患, 因果構造

はじめに

住宅のダンプネス（高湿度環境）と喘息やアレルギー性鼻炎などの健康影響との関係に着目した先行研究は多い。WHO（世界保健機関）は2009年にダンプネスとカビに関する室内環境ガイドライン¹⁾をまとめ、ダンプネスに関連する知見を整理している。その上で、ダンプネスと健康影響との関連には解明されていない点があるものの、ダンプネスを無視できない問題としている。しかし、化学物質や真菌などの具体的な曝露要因との因果関係を明示する知見は少なく、現段階では、ダンプネスという包括的に表現された指標との関連性が確認できるのみである。

ダンプネスから健康に連鎖する因果構造は、図-1に示すように、室内環境の汚染が介在していると仮定できる。このような構造が明らかになれば、建築的な防除策の構築につながると期待できる。そこで本研究では、全国的な調査データを用いて、①ダンプネスの程度が重篤である住宅の室内環境を明らかにすること、②住宅のダンプネスと健康影響との因果構造を統計的に分析し、因果関係を明らかにすること、を目的とする。

1. 研究方法

1.1 調査概要

調査では、2015年1月に実施したインターネットを介したアンケート調査のうち、実測調査に協力できると回答した東日本の住宅60件を対象とした。アンケート調査では、冬期の室内環境に着目し、暖房・換気設備の種類や使用状況、加湿・除湿の状況、室内環境として結露・カビの発生や

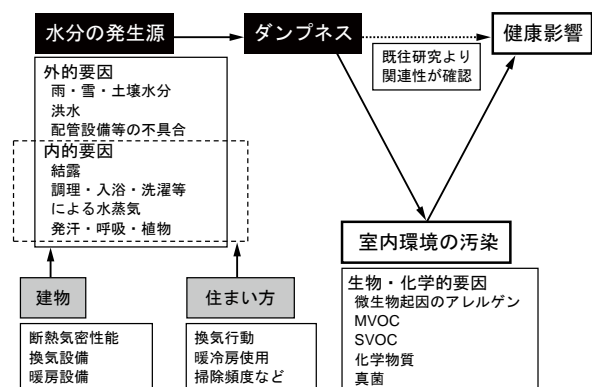


図-1 ダンプネスと健康の因果構造の例
(文献2をもとに作成)

窓ガラスの結露の程度・頻度などについて尋ねた。また、医師の診断に基づくアレルギー疾患の有無やアンダーソンの定義に基づく自覚症状³⁾の有無により子供の健康状態を把握する。

実測調査は、30件に分けて2015年2月上旬と下旬の連続する5日間に実施し、居間と寝室の室内温湿度、化学物質濃度、窓ガラスの結露量、床ダスト内に含まれる微生物量を測定した。床ダスト内に含まれる微生物はDNA解析により真菌などを同定する。各項目に対応する測定キットを対象住宅に送付し、居住者に計測機器の設置や窓ガラスの結露水・床ダストの採取を依頼した。

1.2 ダンプネスの評価法

表-1に示すように、回答者が容易に観察可能な結露・カビの発生や、知覚可能なカビ臭を評価項目とする。結露の発生箇所では、窓以外での発生を重篤な状態とし、冬期にガラス面での結露の程

度・頻度が高いほど点数が高くなる。カビ・カビ臭の発生箇所では、水回り以外での発生を重篤な状態とする。以上8種類の各評価項目を3点満点とし、その合計(24点満点)よりダンプネスの程度を評価する。

2. ダンプネスの程度の評価結果

図-2にダンプネスの程度の分布を示す。ダンプネスの程度は上記に示した評価法で点数を付け、2013年度の全国調査の結果²⁾をもとに、評点0~6.3をランク1、評点6.3~10.5をランク2、評点10.5~13.3をランク3、評点13.3~24.0をランク4とする。ランク4をダンプネスの程度が最も重篤であると判別している。図を見ると、評点2~24の広い範囲に分布している。

3. ダンプネスの室内環境に関する要因解析

3.1 解析概要

ダンプネスの程度と各種物理量との関連を評価するため、Kruskal-Wallis検定と重回帰分析を用いて統計分析を行った。分析にはIBM SPSS Statistics Ver.20を用いた。

Kruskal-Wallis検定はノンパラメトリック検定の一つで、3群以上における代表値の差の検定である。室内温湿度や化学物質濃度などの代表値を従属変数、ダンプネスの程度を4つのランクに分類し、それらを独立変数とした。

重回帰分析は多変量解析の一つで、一つの従属変数を複数の独立変数から予測・説明する統計手法である。ダンプネスの評点(0~24点)を従属変数、単変量解析の結果をもとに選定した物理量を独立変数とした。

3.2 解析結果

図-3にダンプネスの程度と在室時の絶対湿度との関係を示す。Kruskal-Wallis検定の結果、居間において有意な関連性があり、居間・寝室ともにダンプネスの程度のランクが高くなると在室時の絶対湿度も高くなる傾向がある。ランク1と比較して、ランク3・ランク4の居間における在室時の絶対湿度は有意に高い。

図-4にダンプネスの程度と絶対湿度の日較差との関係を示す。Kruskal-Wallis検定の結果、居間・寝室ともに有意な関連性があり、ダンプネスの程度のランクが高くなると絶対湿度の日較差も

表-1 ダンプネスの評価法

(1)居間・寝室の結露箇所(6点)	「窓ガラス、窓枠、外気に面する扉等」とそれ以外での発生箇所の数により評価
(2)居間・寝室の窓ガラスの結露の程度(6点)	「なし」~「水滴が流れる程度」までの程度により評価
(3)居間・寝室の窓ガラスの結露の頻度(6点)	「なし」~「常に発生する」までの頻度により評価
(4)浴室以外のカビの発生箇所(3点)	「なし」~「3箇所以上」までの発生居室の数により評価
(5)カビ臭の発生箇所(3点)	「台所・洗面所・浴室」とそれ以外での発生居室の数により評価

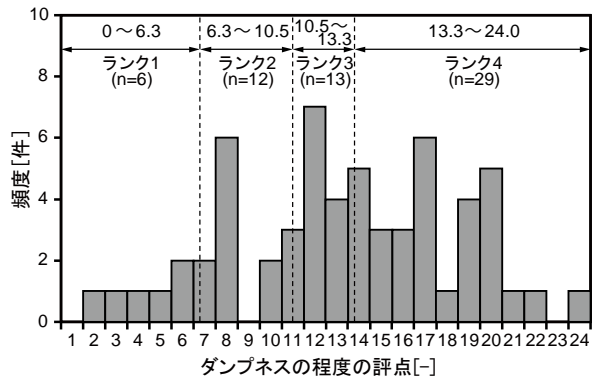


図-2 ダンプネスの程度の分布

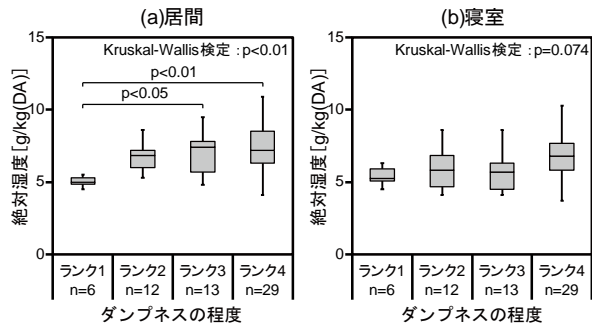


図-3 ダンプネスの程度と在室時の絶対湿度との関係

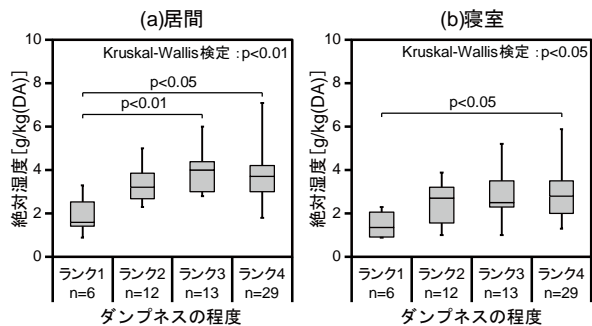


図-4 ダンプネスの程度と絶対湿度の日較差との関係

大きくなる傾向がある。居間・寝室ともに、ランク1と比較して、ランク4の絶対湿度の日較差は有意に大きい。

図-5 にダンプネスの程度とアセトン/アクロレインの濃度との関係を示す。Kruskal-Wallis 検定の結果、居間において有意な関連性があり、居間・寝室ともにダンプネスの程度のランクが高くなるとアセトン/アクロレインの濃度も高くなる傾向がある。ランク1と比較して、ランク4の居間でのアセトン/アクロレイン濃度は有意に高い。

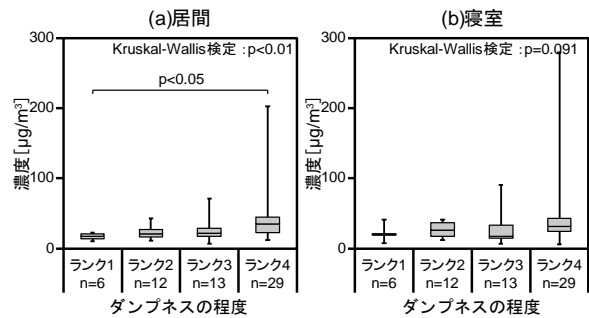


図-5 ダンプネスの程度とアセトン/アクロレインの濃度との関係

表-2 に重回帰分析の結果を示す。ANOVA (分散分析表) の結果は有意で、決定係数 R^2 は 0.64 であったため、適合度は高いといえる。標準偏回帰係数とは、各独立変数が従属変数にどの程度影響しているかを示す係数である。*Sordaria macrospora* と *Penicillium digitatum* を除く全ての要因の標準偏回帰係数の値が正であり、ダンプネスを重篤化させる要因であると考えられる。各要因の標準偏回帰係数の値に大きな差がなく、いずれの要因もダンプネスへ有意な影響を及ぼしていると考えられる。

表-2 重回帰分析結果

要因	偏回帰係数	標準偏回帰係数	95%信頼区間		有意確率
			下限	上限	
寝室絶対湿度の日較差	1.25	0.26	0.43	2.07	0.004**
2-エチル-1-ヘキサノール	0.30	0.30	0.12	0.48	0.001***
2-メチル-1-ブタノール	1.95	0.25	0.53	3.38	0.008**
アセトン/アクロレイン	0.06	0.33	0.03	0.09	0.001***
<i>Chaetomium thermophilum</i>	3.11	0.41	1.66	4.57	0.000***
<i>Penicillium digitatum</i>	-2.43	-0.20	-4.86	-0.01	0.049*
<i>Sordaria macrospora</i>	-0.50	-0.30	-0.81	-0.20	0.002**
定数	5.70		2.96	8.43	0.000***

$R^2 = 0.64$, ANOVA $p < 0.001$
 *** $p < 0.001$, ** $0.001 < p < 0.01$, * $0.01 < p < 0.05$

4. ダンプネスの因果構造の解析

4.1 解析概要

住宅のダンプネスと健康影響との因果関係を明らかにするため、共分散構造分析を行った。共分散構造分析とは、直接観測できない潜在変数を用いて、構成概念間の関係を検討する統計手法である。分析には IBM SPSS Amos Ver.21 を用いた。

住宅のダンプネスが健康に影響を及ぼすという仮説のもと、その因果関係を検証するとともに、因果関係の強さや各要因の影響度を分析する。本研究では、調査対象の住宅の中学1年生までの子供 87 人分のデータを使用した。Kruskal-Wallis 検定や重回帰分析の結果を踏まえて潜在変数の測定指標を選択した。また、健康影響として、医師の診断に基づく「アレルギー疾患」とアンダーソンの定義に基づく「自覚症状」のそれぞれについて統計モデルを作成した。最適モデルを作成するため、仮説の範囲内で測定指標の変更などの修正を行っている。

統計モデルの適合度を判断するため、 χ^2 適合度検定^{注1)} や GFI (Goodness of Fit Index)^{注2)} などを用いた。

4.2 解析結果

図-6 にダンプネスとアレルギー疾患の共分散構造分析結果を示す。 χ^2 値=29.868, p 値=0.054, GFI=0.914 であり、適合度は高い。「ダンプネス」から「*Chaetomium thermophilum*」「*Aspergillus fumigatus*」「相対湿度の日較差」へのパス係数が大きく、これらの要因はダンプネスに大きく影響していると考えられる。「ダンプネス」から「アレルギー疾患」へのパス係数は 0.11 で大きくはないものの、アレルギー疾患はダンプネスが原因の一つであるという因果関係は明確である。

図-7 にダンプネスと自覚症状の共分散構造分析結果を示す。 χ^2 値=28.943, p 値=0.067, GFI=0.929 であり、適合度は高い。ダンプネスとアレルギー疾患の因果モデルと同様に、「ダンプネス」から「*Chaetomium thermophilum*」「*Aspergillus fumigatus*」「相対湿度の日較差」へのパス係数が大きい。「ダンプネス」から「自覚症状」へのパス係数は 0.79 であり、住宅のダンプネスが自覚症状の発症に大きく影響している。

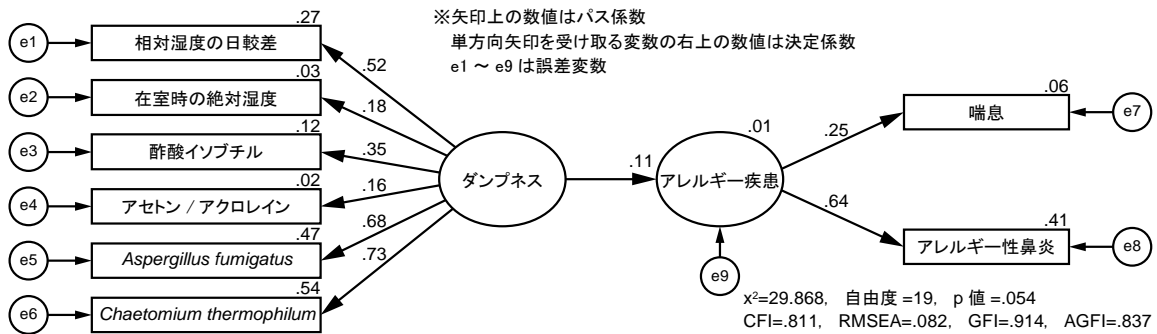


図-6 ダンプネスとアレルギー疾患の因果モデル

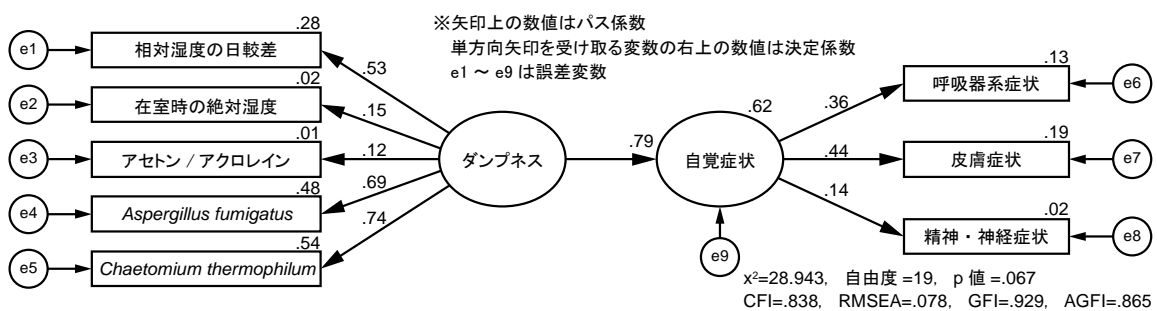


図-7 ダンプネスと自覚症状の因果モデル

5. 結論

ダンプネスの程度が重篤である住宅の室内環境を明らかにし、住宅のダンプネスと健康影響との因果関係を明らかにするため、調査データを統計的に分析した。その結果、ダンプネスに大きく影響している物理量として、真菌濃度や湿度が確認できた。また、ダンプネスと健康影響との因果関係が明示され、特に自覚症状の発症にはダンプネスが大きく影響していることがわかった。本研究の結果を踏まえると、健康に影響を及ぼすダンプネスの防除策として、湿度調整や適切な換気的重要性が確認できる。

謝辞

本研究は、秋田県立大学学長プロジェクト研究費・重点プロジェクト研究（研究代表者：長谷川兼一）ならびに、科学研究費補助金・基盤研究(B)「住宅の Dampness による健康損失の評価と建築的防除策に向けた因果構造の解明（研究代表者：長谷川兼一、課題番号：24360239）」の補助により実施した。本報にて示した調査を行うにあたっては、関係各位に協力を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。なお、本調査の

実施に対して、秋田県立大学・倫理審査委員会の承認（受付番号倫第 15-19 号）を得ている。

注釈

- 1) χ^2 適合度検定はモデルとデータのズレの大きさを測って行う検定で、 χ^2 値が小さいほどモデルはデータに適合している。
- 2) GFI は観測データをモデルが表している割合である。0.9 より大きい場合があたりはまりの良いモデルと判断される。

参考文献

- 1) WHO : WHO Guidelines for Indoor Air Quality, Dampness and Mould, 2009
- 2) 長谷川兼一 他:住宅のダンプネスのアンケートによる評価法の提案と子供のアレルギー疾患に及ぼす影響に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集, 第 81 巻, 第 723 号, pp.477-485, 2016 年 5 月
- 3) K. Andersson et al. : Questionnaire as an instrument when evaluating indoor climate, Proceedings of Healthy Buildings 88 Stockholm, vol.1, pp.139-146, 1988

A-10

住宅のダンプネスの経年変化が小児・児童の呼吸器系症状に及ぼす影響に関する研究

○佐藤愛美（秋田県立大学）、長谷川兼一（秋田県立大学）、細淵勇人（秋田県立大学）、

松本真一（秋田県立大学）

Association between yearly changes of home dampness and respiratory symptoms among children

Manami Sato (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hosobuchi Hayato (Akita Prefectural University), Matumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：ダンプネス 経年変化 アレルギー性症状

はじめに

住宅のダンプネス(湿気が高い状態)により、室内環境が汚染され、その結果アレルギーの発症や悪化を誘発することが既往研究¹⁾において指摘されている。通常、このような関連性を評価する場合、調査時点の室内環境や子供の健康状況を尋ねて分析することが多い。通常、アレルギー性症状の発症と室内環境との関連性を評価する場合、調査時点の室内環境や子供の健康状況を尋ねて分析することが多い。しかしながら、ダンプネスが健康に影響しているといったエビデンス(証拠)を得るためには、調査時点では、症状と室内環境との因果関係が明確にはならない。そこで、同じ世帯を対象とし、一定期間の曝露環境や症状の経過を追跡することで、相互の関連の強さに基づいて、有効な防除するための対策を選択できると期待している。

本研究では、アレルギー性症状と住宅のダンプネスとの関連性を明らかにするために、子供のアレルギー性症状と住宅のダンプネスによる室内環境汚染への曝露に関するアンケート調査の結果を用いて、一年間ではあるが室内環境の悪化が子供の呼吸器系症状にどの程度影響しているかを統計的に分析した。

1. ダンプネスと子供の健康に関する調査結果

1.1 調査概要

本調査は、インターネットを介したアンケート調査であり、2013年度と2014年度の二時点に同じ対象に回答を求めた。調査対象地域は表1に示す通り全国の都道府県であり、地域1から6に対

して協力を依頼した。調査では小学生以下の子供が含まれる家族世帯を回答者として募り、条件に合う世帯を無作為に抽出した。回答は保護者が行い、2名までの子供(N=4,343)の健康状態を尋ねた。

調査の結果、表-1に示すように、十分な有効回答(3,765世帯、回収率：74.2%)が得られた。健康状態の自覚症状では、アンダーソンの定義²⁾に基づき、眼症状(目のかゆみ等)、鼻症状(鼻水、鼻づまり等)、喉症状(のどが痛い、咳が出る等)、皮膚症状(手が乾燥する等)、精神・神経症状(頭が痛い等)の5症状に注目した。

1.2 調査期間

調査は連続する2年(二時点)の厳寒期に行われた。1年目の調査は2014年1月31日～2月3日、2年目の調査は2015年1月23日～26日に実施され、それぞれその時点での室内環境等の回答を求めた。

表-1 調査地域と配布数・回収率

	地域	配布数	有効回答数	回収率(%)
地域1	北海道	514	371	72.2
地域2	青森, 秋田, 岩手	296	211	71.3
地域3	宮城, 山形, 福島, 栃木, 新潟, 長野	815	600	73.6
地域4	茨城, 群馬, 埼玉, 富山, 石川, 福井, 山梨, 岐阜, 滋賀, 京都, 兵庫, 奈良, 鳥取, 島根, 岡山, 広島	1,613	1,206	74.8
地域5	千葉, 東京, 神奈川, 静岡, 愛知, 三重, 大阪, 和歌山, 山口, 徳島, 香川, 愛媛, 高知, 福岡, 佐賀, 長崎, 熊本, 大分	1,628	1,238	76.0
地域6	宮崎, 鹿児島, 沖縄	205	139	67.8
	合計	5,071	3,765	74.2

1.3 ダンプネスの評価法

表-2にダンプネスの程度の評価法を示し、回答者が容易に観察可能な結露・カビの発生や、知覚可能なカビ臭を評価項目に基づき評価した。アンケート調査ではそれぞれの評価項目について居住者の主観で回答を求めた。結露の発生箇所は窓以外での発生を重篤な状態とし、冬季にガラス面での結露の程度・頻度が高い程、点数が加算されていく。表に示す8種類の項目を3点満点で評価し、その合計(満点 24 点)によりダンプネスの程度のランクを評価する。

表-2 ダンプネスの程度の評価法²⁾

(1)居間・寝室の結露箇所(6点)	「窓ガラス、窓枠、外気に面する扉等」とそれ以外での発生箇所の数により評価
(2)居間・寝室の窓ガラスの結露の程度(6点)	「なし」～「水滴が流れる程度」までの程度により評価
(3)居間・寝室の窓ガラスの結露の頻度(6点)	「なし」～「常に発生する」までの頻度により評価
(4)浴室以外のカビの発生箇所(3点)	「なし」～「3箇所以上」までの発生居室の数により評価
(5)カビ臭の発生箇所(3点)	「台所・洗面所・浴室」とそれ以外での発生居室の数により評価

2. 調査結果

2.1 ダンプネスの程度

図-1に二時点におけるダンプネスの程度のランクの関係を示す。図は分析対象とした子供の数(N=4,343)に基づいており、同じ住宅に住んでいても別の住宅の結果として扱った。

図を見ると前年度にダンプネスのランク 1, 2 に評価されている住宅であっても、次年度にはダンプネスのランク 3, 4 に変化する場合がある。このような住宅は、2年目にダンプネスによる室内環境汚染が重篤化した群とみなせ、全体の26.3%が該当する。また、前年度、ダンプネスの程度のランク 4 に評価されている住宅が20.1%であったが、次年度は18.7%となり1.4ポイント減少した。

2.2 アレルギー性症状の申告割合とダンプネスの程度

図2に、二年目におけるダンプネスの程度のランクと各ランクにおけるアレルギー性症状の申告割合の関係について示す。住宅のダンプネスの程

度のランクが高くなると症状の申告割合が有意に高くなることが分かる。

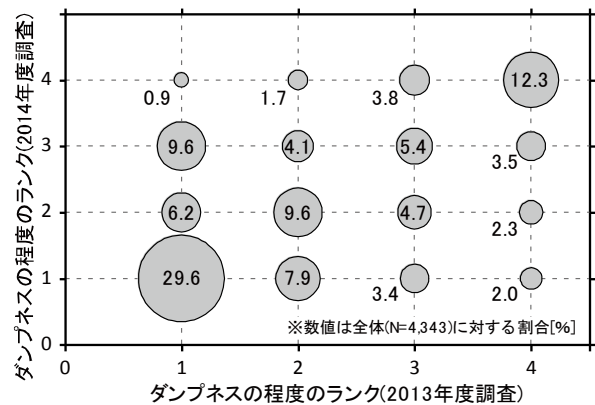


図-1 ダンプネスの程度と症状の申告割合

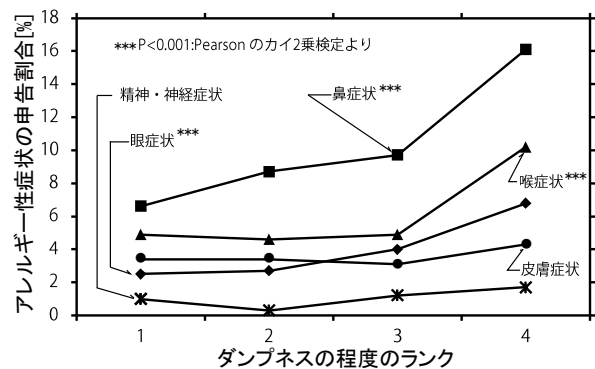


図-2 二年間におけるダンプネスの程度のランク

また、鼻症状に関しては、どのダンプネスの程度のランクにおいても最も割合が高く、ランクが高くなるにつれて傾きも他の症状に比べ、上昇すること、次いで喉症状も鼻症状同様に高い割合を示していることから、高湿度環境に曝露されると呼吸器系の症状を誘発するという既往の研究の見解⁵⁾と照合する。

2.3 2年間での自覚症状と申告割合

各自覚症状の有症率は、眼症状 3.6%、鼻症状 9.4%、喉症状 5.9%、皮膚症状 3.6%、精神・神経症状 1.0%である。

図-3に二年目調査でのアンダーソンの定義に基づく自覚症状の申告割合を男女別・年代別を示す。各症状についてみると、全体的に鼻症状の申告割合が高い。鼻症状では4~6歳、小学校低学年、小学校高学年の年代で男児の方の割合が高く、それぞれ9.4%、11.5%、9.6%となってい

る。喉症状において、男児は年代が上がることに申告割合が減少していることが確認できる。一般に、男児の方がアレルギー性症状が出やすいといわれて言われているが、今回の結果では必ずしも合致しているわけではない。

各症状とも、2年目に初めて症状を発症し始めた割合は、全体的に割合が高くなっていることが確認できる。鼻症状において、次年度に症状を申告し始めた割合は5.0%を超えている。特に3歳以下の男女では、男児7.0%、女児7.6%と高い割合を示す。これは、他の年代よりも住宅にいる時間が長いことが考えられる。すべての年代でこの結果は室内環境汚染に一定期間曝露されたことによる影響が含まれると考えられる。

3. ロジスティック回帰分析による要因解析

3.1 分析方法

小児・児童の健康に影響を及ぼす環境要因を分析するために、交絡因子の影響を取り除いた上で、2つの観点からロジスティック回帰分析を行った。1つは、2年目でダンプネスが重篤化した世帯を従属変数に、各環境要因を独立変数として、もう1つは、アンダーソンの定義に基づく5症状の2年目での発症の有無を従属変数、ランクの変化の有無、2年目のダンプネスの程度のランクを独立変数とした。

統計分析では、まず、単変量解析を行い、有意確率が $p < 0.2$ であった要因を抽出した。次に、これらを独立変数として多変量解析を行い、尤度比

に基づく変数減少法により、調整オッズ比^{注1)}を算出した。交絡因子として個人属性の項目を強制投入している。なお、解析にはIBM SPSS Statistics Ver.23を用いた。

3.2 分析結果

(1) 環境要因とダンプネスとの関係

表-3に、ダンプネスが重篤化した世帯に対する環境要因の調整オッズ比を示す。居間の起床時の寒さでは、特に「やや寒い」～「非常に寒い」の調整オッズ比が有意に1より大きく、住宅の断熱性能が低くなると、ダンプネスが重篤化するリスクが高まると考えられる。浴室換気では「換気設備を使用していない」の調整オッズ比が1.67($p < 0.05$)となり、湿度が高い浴室の換気が行われないとダンプネスが重篤化する傾向が確認できる。

表-3 ダンプネスが重篤化した世帯に対する環境要因の調整オッズ比

要因	度数	調整オッズ比	95%信頼区間	有意確率
居間起床時寒さ	どちらでもない	454	1.00	
	非常に寒い	312	2.98**	1.59 - 5.61 0.001
	寒い	926	3.28***	1.90 - 5.68 0.000
	やや寒い	984	2.26**	1.30 - 3.95 0.004
	暑い	21	7.29**	2.16 - 24.58 0.001
	p for trend			
浴室換気扇	終日運転	649	1.00	
	状況に応じて	1645	0.80	0.58 - 1.12 0.192
	使用していない	240	1.67*	1.04 - 2.69 0.033
	換気設備がない	163	0.59	0.29 - 1.20 0.147
	p for trend			

*** $P < 0.001$ ** $0.001 < P < 0.01$ * $0.01 < P < 0.05$
 適合率91.7% HosmerとLemeshowの検定 0.318
 交絡因子: 地域区分, 住宅形式

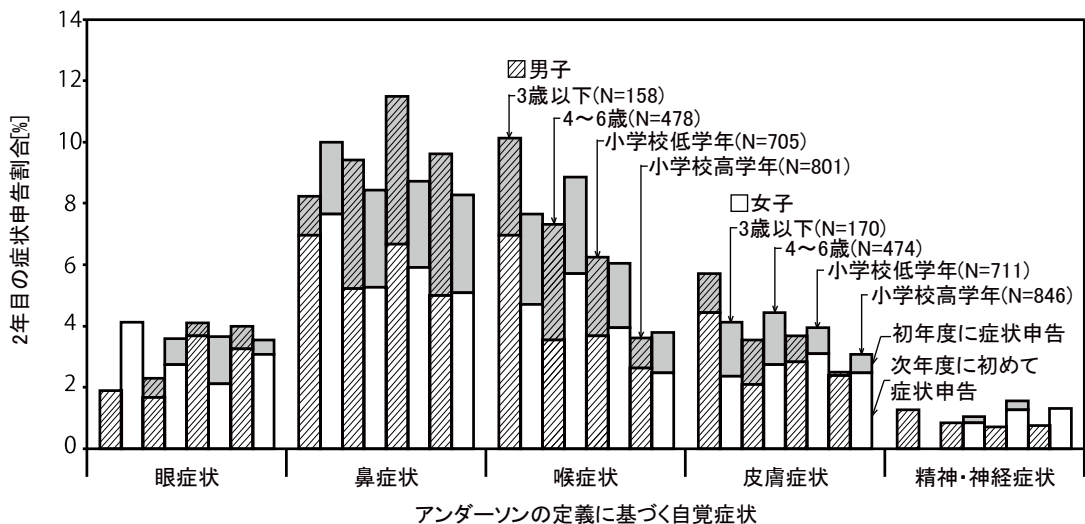


図-3 二年目調査での自覚症状の申告割合

(2) 子供の健康影響

表-4に、鼻症状に対するダンプネスの変化の調整オッズ比を示す。「ダンプネスの程度のランクに変化なし世帯」に対する「2年目でダンプネスの程度のランク4に評価された世帯」の調整オッズ比が2.42(p<0.001)となる。また、ダンプネスの程度のランクが大きくなるほど有意に調整オッズ比が大きくなることが示され、鼻症状へのリスクを高めている。

表-5に、喉症状に対するダンプネスの変化の調整オッズ比を示す。「2年目でダンプネスの程度のランク4に評価された世帯」の調整オッズ比が1.85(p<0.05)となる。また、ダンプネスの程度のランクでは重篤であるランク4で3.01(p<0.001)になり、ダンプネスが重篤化するほど、喉症状においても同様に発症リスクが高まると考えられる。

表-4 鼻症状に対する環境変化の調整オッズ比

要因	度数	調整オッズ比	95%信頼区間有意確率	
ランク変化	変化なし	2231	1.00	
	重篤	100	2.42 **	1.43-4.10 0.001
*** P<0.001 ** 0.001<P<0.01 * 0.01<P<0.05 適合率90.6% HosmerとLemeshowの検定 0.479 交絡因子:地域区分, 子供性別年代, 回答者自身のアレルギーの有無				
要因	度数	調整オッズ比	95%信頼区間有意確率	
ダンプネスの程度のランク	ランク1	1208	1.00	
	ランク2	375	1.11	0.69-1.79 0.662
	ランク3	210	2.93 ***	1.86-4.60 0.000
	ランク4	538	2.95 ***	2.11-4.13 0.000
	p for trend			0.000
*** P<0.001 ** 0.001<P<0.01 * 0.01<P<0.05 適合率90.6% HosmerとLemeshowの検定 0.574 交絡因子:地域区分, 子供性別年代, 回答者自身のアレルギーの有無				

表-5 喉症状に対する環境変化の調整オッズ比

要因	度数	調整オッズ比	95%信頼区間有意確率	
ランク変化	変化なし	2332	1.00	
	重篤	105	1.85 **	1.02-3.35 0.042
*** P<0.001 ** 0.001<P<0.01 * 0.01<P<0.05 適合率92.2% HosmerとLemeshowの検定 0.211 交絡因子:地域区分, 子供性別年代, 回答者自身のアレルギーの有無				
要因	度数	調整オッズ比	95%信頼区間有意確率	
ダンプネスの程度のランク	ランク1	1234	1.00	
	ランク2	403	1.77 **	1.13-2.75 0.012
	ランク3	220	1.62	0.91-2.88 0.099
	ランク4	580	3.01 ***	2.11-4.29 0.000
	p for trend			0.000
*** P<0.001 ** 0.001<P<0.01 * 0.01<P<0.05 適合率92.2% HosmerとLemeshowの検定 0.222 交絡因子:地域区分, 子供性別年代, 回答者自身のアレルギーの有無				

4. まとめと今後の展望

本研究では、短期間ではあるがダンプネスの程度が重篤化するに伴い、呼吸器系症状の発症のリスクが高くなることを示すことができた。

今後は、長期的に継続された調査データを用いて、高湿度環境への曝露と症状の発症との関連性を明らかにすることが必要である。特に、アレルギー性症状は出生時から小学生までの間で発症、治癒するといわれている。このような期間で、ダンプネスと症状の有無を調査すれば、ダンプネスが呼吸器系症状の発症に影響していることが明確になるため、健康面から見た住環境整備に大いに貢献できる。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(B)「住宅の Dampness による健康損失の評価と建築的防除策に向けた因果構造の解明(研究代表者:長谷川兼一, 課題番号:24360239)」の補助により実施した。本報にて示した調査を行うにあたっては、関係各位に協力を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

注釈

- 1) オッズ比とは、ある要因を有する人がそれを有しない人に比べて、ある結果をもたらす可能性の高さを示す統計的な尺度のことである。単変量解析で得られるオッズ比を調整しないオッズ比といい、多変量解析で得られたオッズ比を調整オッズ比と呼ぶ。

参考文献

- 1) K. Andersson and I. Fagerlund : Questionnaire as an instrument when evaluating indoor climate, Proceedings of Healthy Buildings 88 Stockholm, vol.1, pp.139-146, 1988
- 2) 長谷川兼一 他:住宅のダンプネスのアンケートによる評価法の提案と子供のアレルギー疾患に及ぼす影響に関する全国調査, 日本建築学会環境系論文集, 第81巻, 第723号, 477-485, 2016年5月
- 3) Institute of Medicine, Committee on Damp Indoor Spaces and Health. Damp in door spaces and health. Washington, DC: The National Academies, Press, 2004.

A-11

中規模オフィスビルにおけるエネルギー消費量調査(その 1)

震災前後のエネルギー消費量の比較

○菅 晃希, 三浦健太, 許 雷 (東北工業大学)

Energy Consumption Survey in a Medium Scale Office Building Part1 Comparison Before and After The Great East Japan Earthquake

Kan Koki, Miura Kenta, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：オフィスビル, 震災前後の比較, 削減率, 電力消費量

はじめに

日本において節電対策の検討及び再生可能エネルギーを含むスマートエネルギーの整備促進への機運が高まる中、最大電力を含めて建物のエネルギー消費構造を詳細に分析可能な時刻別データ整備に対する社会ニーズが高まっている。

オフィスビルでは長期休暇がなく照明、コンセント、冷暖房設備などを長時間利用するためエネルギー消費量が多い傾向がある。オフィスビルのエネルギー消費の特徴としては時間帯によって異なる。操業時間帯においては、全日のうち最もエネルギー消費が大きい。特に夏期においては電力の最大値が発生する。このため使用者自らの省エネルギーへの取り組みが消費量に大きく影響する。

本研究では東日本大震災の震災前後のエネルギー消費量の比較に重点を置きながら解析を行い、オフィスビルにおける省エネルギー対策を分析していく。

1. 調査概要

本研究の調査対象である A ビルは、東京都品川区に立地している地上 8 階、地下 1 階の鉄筋コンクリート造の建物である。延べ床面積は 9,600 m²、基準階面積は 900 m²となっており、賃貸事務所面積は各階によって面積が異なっている。調査期間は 2010 年 4 月～2013 年 3 月の 3 年間であるが東日本大震災の影響で 2011 年 3 月のデータは含まれていない。

A ビルの主なエネルギー消費先として専有部室内機・室外機のインテリア系統、専有部室内機・室外機のペリメータ系統、コンセント、照明、空気搬送がある。その他の用途として ELV・自動販売機・シャッター等となっている。

2. A ビルの調査結果

2.1 年度別電力消費量及び用途別削減率

2010 年度～2012 年度の年度別一次エネルギー消費量及び用途別二次エネルギー電力消費量を表-1 および図-1 に示す。3 年間で比較すると震災前の 2010 年度の一次エネルギー消費量は最も大きく 2561.1MJ/(m²・年)である。震災後の年度別消費量と比較すると特に震災直後の 2011 年度は 1689.8MJ/(m²・年)と 34%削減されているのがわかる。しかし翌年の 2012 年度は 1865.2MJ/(m²・年)と 27%削減されているが前年に比べ消費量が増えている。用途別では 3 年間それぞれコンセントの消費量が最も多くなって次いで熱源・熱搬送となつている。空気搬送の消費量においては震災前よりも震災後の 2012 年度が上回る結果となった。

表-1 年度別一次エネルギー消費量 (単位: MJ/m²・年)

	2010 年度	2011 年度	2012 年度
一次エネルギー	2561.1	1689.8	1865.2

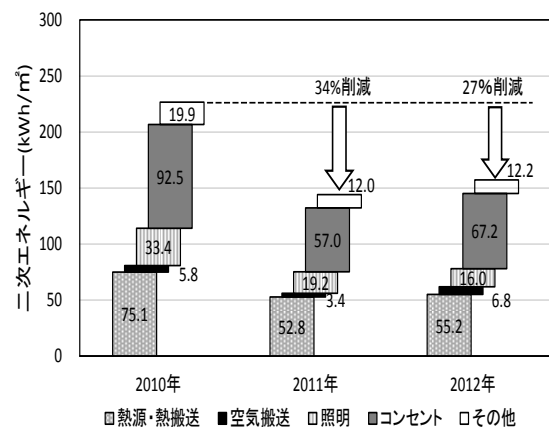


図-1 用途別二次エネルギー消費量及び削減率

2.2 月別電力消費量の比較

2010年度～2012年度の月別電力消費量を図-2に示す。震災前後の夏季を比較すると震災前の2010年度に比べて震災後の2011年度は消費量が大幅に減っている。また他の季節と比較しても夏季が最も削減されているため、夏期に積極的に節電が行われたことが考えられる。2011年度の4月～6月にかけて消費量が多くなっているのは震災直後の復旧作業が原因と考えられる。

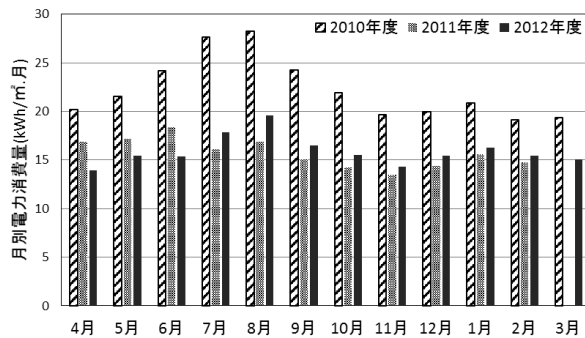


図-2 月別電力消費量(kWh/m².月)

2.3 夏季・冬季における月別電力消費量及び削減率

6月から9月までに照明、コンセント、空調、その他などを含む電力消費量の合計値を表-3に示す。2010年は100.5万kWh(104.4kWh/m².月)であるが、2011年は63.9万kWh(66.4kWh/m².月)であり、電力消費量は36%削減されている。2年間では7月が最も電力が削減されており震災前の26.6万kWh/月(27.7kWh/m².月)から震災後の15.5万kWh/月(16.1kWh/m².月)に減った。7月と8月の削減率が特に大きくなっており7月が41.9%、8月が40.2%になり、次いで9月の37.8%となる。6月の削減率が24.1%となり最も小さい。

表-3 月別電力消費量及び削減率(夏季)

月別	電力消費量(kWh)		平米あたり電力量(kWh/m ² .月)		電力消費量削減率
	2010年	2011年	2010年	2011年	
6月	232,913	176,806	24.2	18.3	24.1%
7月	266,685	155,000	27.7	16.1	41.9%
8月	271,940	162,518	28.2	16.9	40.2%
9月	233,936	145,486	24.3	15.1	37.8%
合計	1,005,474	639,810	104.4	66.4	36.0%(平均)

次に冬季の12月から2月までの電力消費量の合計値を表-4示す。2010年は57.7kWh(59.9kWh/m².月)であるが、2011年は43.1万kWh(44.8kWh/m².月)であり、電力消費量は25%削減されている。2年間では、いずれも1月に電力消費量のピークを迎え、震災前から25.3%削減されている。しかし、夏季に比べ全体的に削減率が低い数値となっている。

表-4 月別電力消費量及び削減率(冬季)

月別	電力消費量(kWh)		平米あたり電力量(kWh/m ² .月)		電力消費量削減率
	2010年	2011年	2010年	2011年	
12月	192,223	138,942	19.9	14.4	27.7%
1月	201,282	150,432	20.9	15.6	25.3%
2月	184,016	142,500	19.1	14.8	22.6%
合計	577,521	431,874	59.9	44.8	25.2%(平均)

4 結論

本研究では DECC データを基にオフィスビルにおける震災前後のエネルギー消費量の分析、省エネルギー対策を調査することができた。

標準的な5000m²のオフィスビルにおいての用途別エネルギー消費量の割合では空調が49%、照明が25%である²⁾。本調査結果では熱源・熱搬送が33%、照明・コンセントが56%となっており、空調よりも照明・コンセントの割合が多くなっている。

全体を通して、震災後は消費量が少なくなっており、特に夏季の削減率が大きく、ピークの8月では削減率が40%である。また震災前の2010年度から震災後の2011年度における削減率は34%であった。このことから震災後は節電を徹底した成果がみられた。しかし2012年度は2011年度に比べ削減率が27%と減少し、消費量も増加しているため時間が経過するにつれて節電の意識が薄れていることが考えられる。

参考文献

- 1) 日本サステナブル建築協会：業務用建物の用途別エネルギー消費分析 平成25年度ガス三社報告書(平成26年6月)
- 2) 平成25年住宅・建築物の省エネルギー基準解説書編集委員会：平成25年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説I 非住宅建築物(第二版)(平成26年4月1日)

A-12

中規模オフィスビルにおけるエネルギー調査 (その2)

用途別エネルギー消費パターンの解析

○三浦健太, 菅 晃希, 許 雷 (東北工業大学),

Energy Consumption Survey in a Medium Scale Office Building Part2
 Energy Consumption Pattern Before and After The Great East Japan Earthquake
 Miura Kenta, Kan Koki, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology),

キーワード：エネルギー消費 負荷パターン

はじめに

その1ではオフィスビル全体のエネルギー消費量を記載した。その2ではオフィスビルの用途別エネルギー消費量について調査を行った。また電力負荷や削減率、用途別負荷パターン、平均時刻別パターンについて報告を行う。

力負荷を示す。夏季・冬季ともに8時から急激に負荷が大きくなる傾向が見られる。夏季にかけては震災後に負荷が小さくなっているが冬季にかけては震災後にピーク時の負荷が大きくなっている。またオフ時にかけて震災後は負荷が小さくなっている。

1 用途別エネルギー消費量削減率

2010年度に対して震災後2年間の用途別エネルギー消費量削減率を表-1に示す。2年間を比較すると2011年度は照明以外の用途で削減率が大きくなっている。用途別にみても照明の削減率が最も大きく、2012年度では52.1%と最も大きくなっている。そのため照明が最も節電しやすい環境にあるが熱源・熱搬送は削減率が低いことから節電しにくいことが考えられる。

表-1 用途別エネルギー消費量削減率

	熱源・熱搬送	照明	コンセント	その他
2011年	29.6%	42.5%	38.4%	39.7%
2012年	26.5%	52.1%	27.4%	38.7%

2 時刻別電力負荷の比較

図-1および図-2に照明における時刻別電力負荷を示す。最大値は夏季13時～15時の6.5W/m²で12時～13時の間に負荷が小さくなっている。また震災後以降ほどの時間も震災前に比べ負荷が小さくなっている。

図-3および図-4にコンセントにおける時刻別電力負荷を示す。最大値は夏季13時～16時の16.0W/m²で2010年度から2011年度夏季の12時～13時にかけては負荷が小さくなっているが2011年度冬季からは負荷が変化しなかった。

図-5および図-6に熱源機器における時刻別電

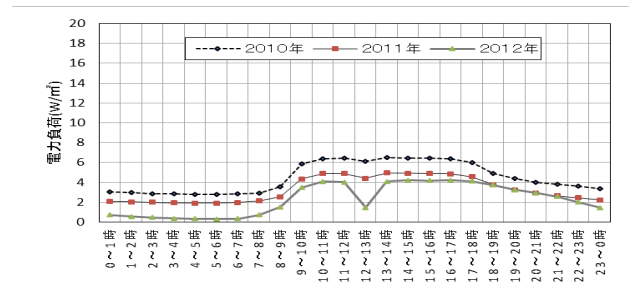


図-1 照明(夏季)時刻別負荷

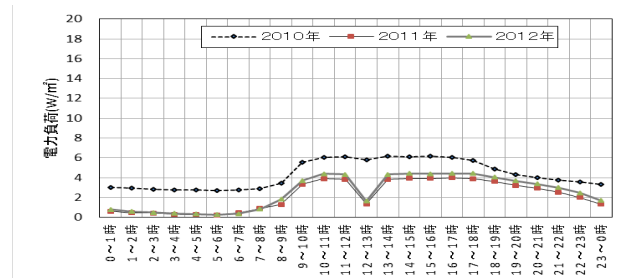


図-2 照明(冬季)時刻別負荷

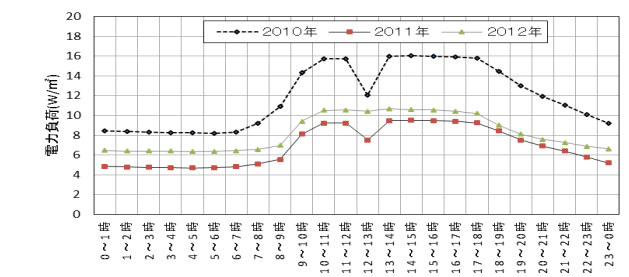


図-3 コンセント(夏季)時刻別負荷

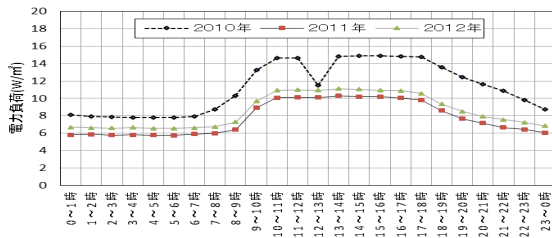


図-4 コンセント(冬季)時刻別負荷

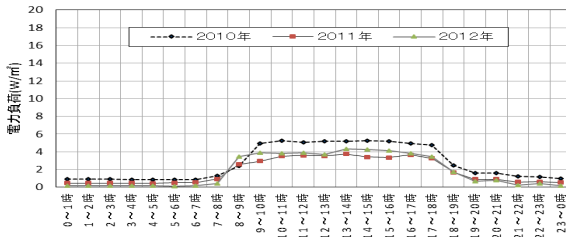


図-5 熱源機器(夏季)時刻別負荷

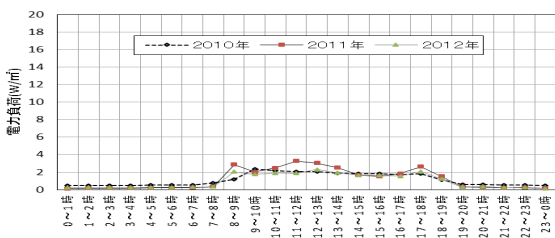


図-6 熱源機器(冬季)時刻別負荷

3 平日時刻別負荷パターン

図-7に夏季における全体の平均時刻別パターンを示す。震災前後の2010年度から2012年度の夏期を見ていく。グラフの形状としてはほぼ同じようなパターンになっている。8時から負荷の割合が高くなり始め、10時～18時までピークを迎え、19時から負荷の割合が低くなる。これは震災前後共にほぼ同じである。最大値はそれぞれ、2010年度は13時～16時の4.8%、2011年度は13時～16時の5.2%、2012年度は15時～16時の4.9%となっている。

図-8に冬季における全体の平均時刻別パターンを示す。震災前後の2010年度から2012年度の冬期を見ていく。グラフの形状としては震災前後共にほぼ同じようなパターンになっていて、1日を通してほとんど変化が見られない結果となった。昼間に負荷パターンがやや大きくなるが夜間と比較しても値はほとんど変わらないことが分かる。最大値はそれぞれ、2010

年度は16時～18時の4.5%、2011年度は16時～18時の4.6%、2012年度は13時～18時の4.5%となっている。

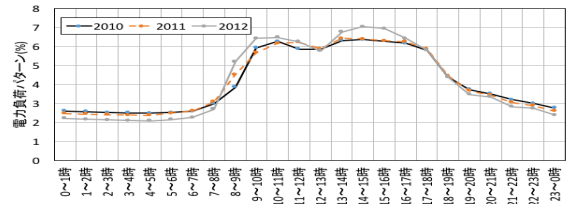


図-7 夏季における平日時刻別パターン

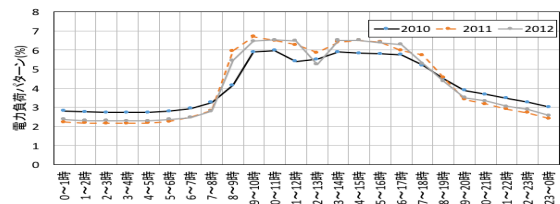


図-8 冬季における平日時刻別パターン

結論

本研究では用途別のエネルギー消費量についての解析を行った。

負荷パターンに関しては震災後のオフ時は負荷が小さくなっているため、夜間など利用時間以外には無駄な電力を使用しないようにしていることが考えられる。また、時刻別データ12時から13時にかけて負荷が小さくなっているのは昼休みに事務所の照明の消灯を徹底しているためだと考えられる。

今回調査したオフィスビルでは照明・コンセントにおいて昼休憩の節電やオフ時に無駄な電力の使用を控える省エネルギー対策が行われていた。熱源機器は夏季のみ電力の削減がみられた。

謝辞

本研究は国土交通省の支援のもとに一般社団法人日本サステナブル建築協力(JSBC)に設置された「非住宅建築物データベース検討委員会」(委員長:村上周三(一財)建築環境・省エネルギー機構理事長)の活動の一環として実施したものである。ここに謝意を表します。

A-13

超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その1)

震災前後のエネルギー消費量の比較

○青砥大起, 横澤颯太, 許雷(東北工業大学)

Energy Consumption Survey in a High-Rise Office Building (Part1)

Energy Consumption Comparison Before and After The Great East Japan Earthquake

Aoto Daiki, Yokosawa Sota, Lei Xu(Tohoku Institute of Technology)

キーワード：電力消費量、電力負荷、エネルギー調査

1. はじめに

我が国のエネルギー自給率は2012年で5%と極めて低く、大半のエネルギーを海外に依存している状況である¹⁾。建築物分野で消費されるエネルギーは、全分野の1/3を占め、他部門(産業・運輸)と比べ増加が顕著である。特に東日本大震災以降、エネルギー需給構造の安定化が不可欠となっている。建築物で消費されるエネルギーを削減することは重要な課題であり早急に取り組むべきであると考えられる。

2. 調査概要

本研究の調査対象であるオフィスビルは首都圏に立地している。建物は地下4階、地上54階、塔屋3階で構成され、主要用途は、事務室、店舗、駐車場、診療所であり、延べ床面積は約183000㎡である。本建物は、地域冷暖房(以下DHC)から冷熱、温熱を受給している。

中央監視設備(BEMS)で記録された時刻別電力消費量を解析、調査する。その際、電力消費量と冷熱使用量、温熱使用量を比較できるようにするために一次エネルギーに換算する。換算係数は電力では昼間9.97MJ/kwh、夜間9.28MJ/kWhであり、冷熱と温熱は共に1.36MJ/MJである²⁾。そこから建物全体の各負荷や用途ごとの負荷を算出し、震災前後で比較する。本研究で算出したものは、電力負荷、冷房負荷、暖房負荷(給湯負荷を含む)である。冷房負荷、暖房負荷においては地域冷暖房からの冷熱と温熱の供給から算出した。

3. 調査結果と分析

3.1 年度別の一次エネルギー消費量の比較

年間一次エネルギー消費量のグラフを図-1に

示す。用途ごとの値も一緒に示すが、全体は2010年の値が約2583.0MJ/(㎡・年)、2011年の値が約2140.5MJ/(㎡・年)、2012年の値が約2223.6MJ/(㎡・年)となっている。2010年から2011年の削減率は17.1%、2010年から2012年の削減率は13.9%と震災前後で消費量が減っていることが分かる。しかし、削減率が小さくなっていることから電力消費量が戻りつつあることが考えられる。

表-1に用途ごとの割合を示す。これより、各年照明・コンセントの割合が約半分占め、他よりも明らかに高いことが分かる。年度別に比較するとどの年度においても割合に大きな変化は見られなかったため、エネルギー消費量が全体的に削減されていたことが分かる。

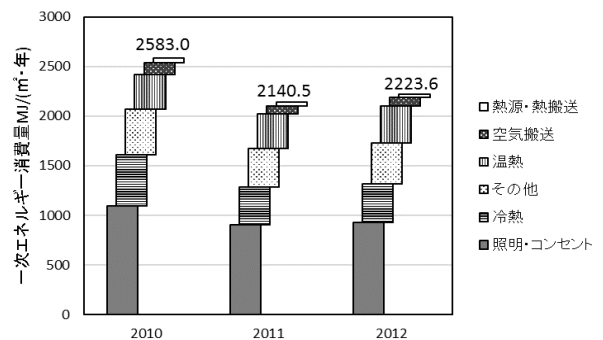


図-1 年間一次エネルギー消費量

表-1 年間一次エネルギー消費量の割合(%)

	照明コンセント	冷熱	その他	温熱	空気搬送	熱源熱搬送
2010	42	20	18	13	5	2
2011	47	18	18	16	4	2
2012	46	17	18	17	4	2

3.2 月別の一次エネルギー消費量

年度ごとの月別の建物全体の一次エネルギー消費量のグラフを図-2に示す。各年度で7月、8月にピークを迎え、4月、5月、10月、11月の中間期はエネルギー消費量が少ない傾向がある。

8月のエネルギー消費量をみると2010年度が約277.1MJ、2011年度が約208.8MJ、2012年度が約208.9MJである。2010年度から2011年度の削減率は約24.6%、2010年度から2012年度の削減率も前年と同じで約24.6%となっている。

全体を通してみると夏期は大幅に削減されているが、中間期においては削減率が下がっていることが分かる。冬期において削減はされているものの他の時期と比べると削減率が低い傾向にある。

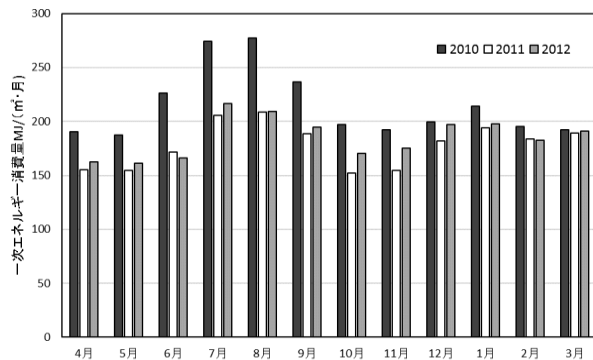


図-2 月別の建物全体の一次エネルギー消費量

3.3 平日における時刻別電力負荷の比較

平日の時刻別電力負荷パターンの比較を図-3に示す。グラフより、夏期(6月～9月)を中心に震災前の2010年に比べて震災後の2011年、2012年は電力消費量が抑えられているのが分かるが、冬期(12月～3月)にはあまり差が見られない。これより、夏期の節電がよくわかる。

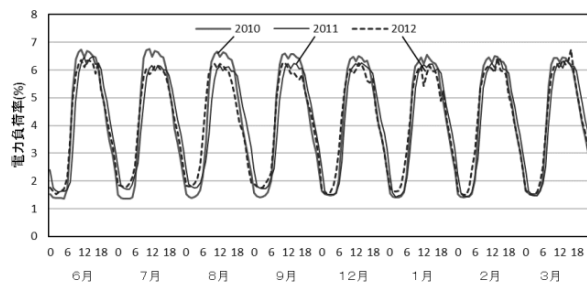


図-3 平日における時刻別電力負荷率

3.3 7月平日の時刻別電力負荷

年度別の7月平日の時刻別電力負荷を図-4に示す。年間を通して最も電力負荷の高い7月を比較する。2010年度は、各年度の中で最も高く最大値は約41W/m²である。2011年度は午前中のオフィスの立ち上がり時間が遅く、最大値は約28W/m²であり、2010年度と比べると電力負荷も大幅に削減されている。2012年度においてはオフィスの立ち上がり時間が2010年度と同じ程度に戻ったが、電力負荷は継続して削減されており、最大値は約30W/m²である。

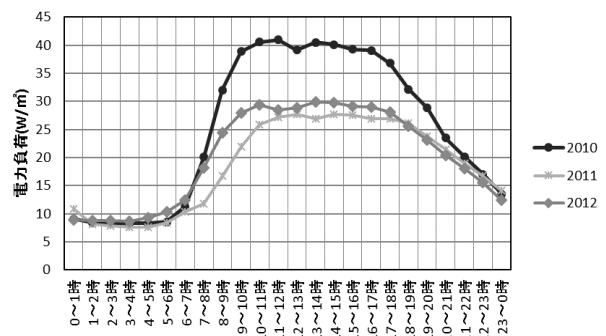


図-4 7月平日の時刻別電力負荷

4 結論

全体を通してみると2010年度のエネルギー消費量が各年度の中で最も多い傾向が見られた。2011年度は2010年度と比べると削減され、2012年度は2010年度に比べると削減されており2011年度と比べると増加する傾向が見られた。

震災直後は省エネルギーに対する意識が感じられたが、管理者だけでなく使用者1人1人が省エネルギーに対する意識を向上させることが必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 関西電力：日本のエネルギー事情、
http://www.kepcoco.jp/energy_supply/energy/nowenergy/japan_energy.html (参照日 2016, 12)
- 2) JSBC 日本サステナブル建築協会:DECC 非住宅建築物の環境関連データベース
<http://www.jsbc.or.jp/decc/index.html> (参照日 2016,12)

A-14

超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その2)

震災前後の用途別エネルギー消費量のパターン

○横澤颯太(東北工業大学), 青砥大起(東北工業大学), 許雷(東北工業大学)

Energy Consumption Survey in a High-Rise Office Building
 Energy Consumption Pattern Before and After The Great East Japan Earthquake
 Aoto Daiki, Yokosawa Sota, Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：電力消費量、電力負荷、エネルギー調査

はじめに

超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その1)では建物全体の消費量の比較について説明したが、超高層オフィスビルにおけるエネルギー消費量の調査(その2)では東日本震災前後の用途別エネルギー消費量の比較について報告する。

1. DHCのエネルギー消費量

1.1 月別冷熱使用量(DHC)の比較

図-1にDHCからの月別冷熱引き込み量(MJ/m²)を示す。夏期(4月～9月)は8月にピークを迎え、冬期(10月～3月)においてはほとんど使用していないことが分かる。年度別に比較すると、どの月においても2010年度の値が最も高く、2011年度と2012年度においては大きな差は見られない。2010年度と2011年度の8月の冷熱使用量を比較すると削減率は26.6%とおおよそ1/4削減している。年間を通してみると冷熱使用量は、冬期は使用量が少なく、使用量が多い夏期には震災前後において大きく削減されていることが分かった。

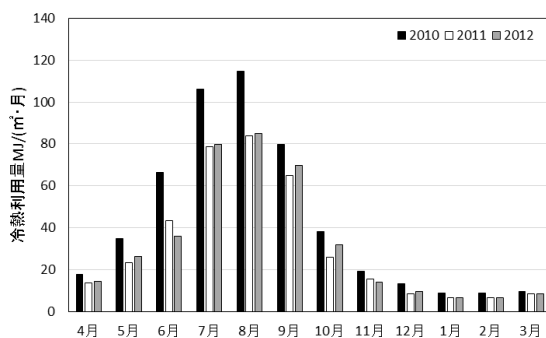


図-1 DHC 冷熱一次エネルギー消費量

1.2 月別温熱使用量(DHC)の比較

図-2にDHCからの月別温熱使用量(MJ/m²)を示す。冬期は1月にピークを迎え、夏期においてはほとんど利用していないことが分かる。使用量が多い12月～3月においては2010年度の値が最も低く2011年度、2012年度はほぼ同じ値を示している。年間を通してみると温熱使用量は震災前後において削減されるどころか増加傾向にあることが分かった。以上から、温熱使用量は冷熱使用量とは違い削減しにくい項目であると考えられる。

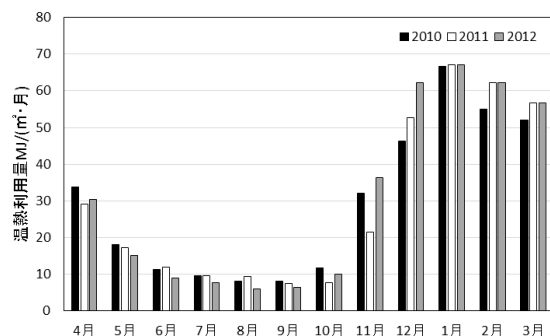


図-2 DHC 温熱一次エネルギー消費量

2 照明・コンセントのエネルギー消費量

2.1 月別の電力消費量

図-3に照明・コンセントにおける月別一次エネルギー消費量を示す。毎月2010年の電力消費量よりも2011年、2012年の電力消費量のほうが削減されている。8月、9月、2月のみ2011年よりも2012年の電力消費量のほうが削減されている。

表-1に照明・コンセントにおける時期ごとの電力消費量削減率を示す。時期で比較すると2010年から2011年の夏期の削減率が22.1%に対して冬期が9.7%、2010年から2012年の夏期の削減

率が 21.5%に対して冬期が 9.0%と大きな差が見られた。

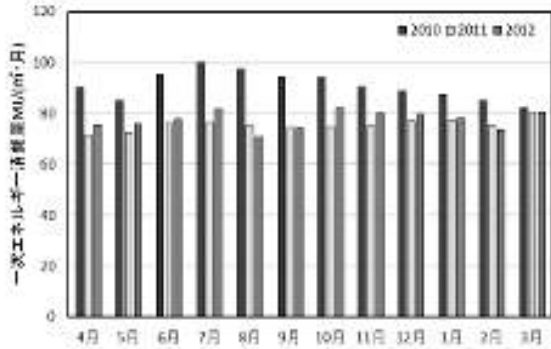


図-3 照明・コンセント月別一次エネルギー消費量

表-1 時期ごとの照明・コンセント削減率 (%)

	夏期	冬期
2011年	22.1	9.7
2012年	21.5	9.0

注)2010年を基準とする

2.2 夏期平均の時刻別電力消費量

図-4に夏期平均の時刻別電力消費量を示す。震災前後で勤務時間帯に変化が見られる。2010年と2011年で最大 $7W/m^2$ の差が生まれた。また、2011年は他の年と比べて消費量の上がり始めの時間と昼に下がる時間にずれが生じているのがわかる。

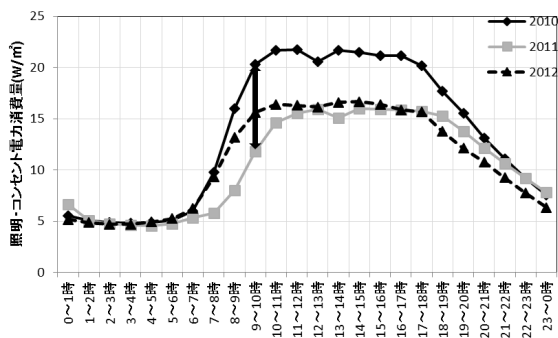


図-4 夏期平均の時刻別電力消費量

2.3 冬期平均の時刻別電力消費量

図-5に冬期平均の時刻別電力消費量を示す。夏期ほどの変化は無いがこちらも震災前後で勤務時間帯に変化が見られる。2010年と2011年で最大 $5W/m^2$ の差が生まれた。また、夏期と同様に2011年は他の年と比べて消費量の上がり始めの時間と

昼に下がる時間にずれが生じている。

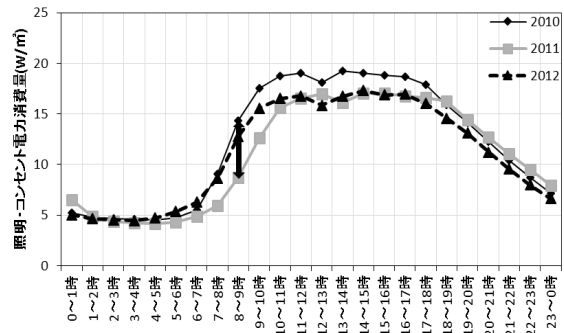


図-5 冬期平均の時刻別電力消費量

3. 結論

本研究は超高層オフィスビルの BEMS データを基に震災前後で比較を用途ごとに行った。また、今回の研究対象のオフィスビルが地域冷暖房の利用があるため冷房負荷、暖房負荷を DHC 冷熱、温熱の消費量として比較した。

消費量が最も多い照明・コンセントは全体の約半分を占め、削減率が 2010年から 2011年で約 17%、2010年から 2012年で約 15%であった。夏期の削減が大きく影響されている。冷熱は削減率が 2010年から 2011年で約 27%、2010年から 2012年で約 25%であった。温熱に関しては 2010年から 2012年まで削減されず、毎年少しずつ電力消費量が増えるという結果になった。冬期よりも夏期のほうが節電しやすい環境にあるといえる。

これらより震災後の 2011年は震災前の 2010年よりも温熱を除いて消費量の削減に成功している。特に夏期における節電が目立っている。

しかしながら 2011年と 2012年を見るとどの用途も増加傾向にあることがわかる。震災により節電する傾向があったが意識の薄れにより再び電力消費量が増えているのではないかと考える。

謝辞

本研究は国土交通省の支援のもとにいいパン社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)に設置された「非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会」(委員長:村上周三(一財)建築環境・省エネルギー機構理事長)の活動の一環として実施したものである。ここに謝意を表します。

A-15

事務所建築での内部発熱の変化による空調負荷とヒートポンプへの影響

○赤井仁志（福島大学），奥野敏彦，瀬川和幸（東北電力株式会社），草刈洋行（株式会社ユアテック），

二宮秀典（鹿児島大学），西山尚弘（株式会社大林組），長野克則，葛隆生（北海道大学）

Influence to Thermal Load and Heat Pump Energy Consumption to use for Heating and Cooling with Internal Heat Generation Decrease in Office Buildings at the Tohoku Region in Japan

AKAI Hitoshi (Fukushima Univ.), OKUNO Toshihiko,

SEGAWA Kazuyuki (Tohoku Electric Power Co., Inc.), KUSAKARI Hiroyuki (Yurtec Corporation),

NIMIYA Hideyo (Kagoshima Univ.), NISHIYAMA Naohiro (OBAYASHI CORPORATION),

NAGANO Katsunori, and KATSURA Takao (Hokkaido Univ.)

キーワード：節電化，LED 照明，空調熱負荷，ヒートポンプ

はじめに

OA 機器の節電化や照明器具の LED 化、一人当たりの専有面積の拡大等に伴い、事務所建築や事務所系テナント建築の執務室などで、内部発熱量に減少傾向が見られる。これにより、暖房熱負荷が増え、冷房熱負荷が減ることから、暖冷房熱源のエネルギー消費量にも影響を与える。

このため空調熱源や換気方式の選択、省エネルギー手法が変化する可能性がある。また、寒冷地・積雪地での執務スペースの無暖房熱源エリアや、年間外気冷房箇所の見直しなどが生じることも予想される。

そこで、新潟県を含む東北7県に建つ事務所系ビルが、OA 機器の節電化や照明 LED 化で、冷房時と暖房時の空調熱負荷が変化することによって、4つの異なるヒートポンプ熱源のエネルギー消費量にどのように影響を与えるかを考察したので報告する。

1. 建築・OA 機器・照明器具等の内部発熱など条件

空調対象面積約 810 m²、RC 造の事務所系建築を想定して、在室人員や OA 機器を表-1 の通り、条件を変えた。

表-1 在籍人員と OA 機器の試算条件

	従来の内部発熱条件に用いた値	節電化後の内部発熱条件に用いた値
在室人数[人/m ²]	0.2 ※ ¹	0.1 ※ ²
OA機器[W/m ²]	20.0 ※ ¹	12.0 ※ ²

※1 国土交通省：H22年度建築基準整備促進事業「業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する基礎的調査」調査報告書より

※2 財団法人建築環境・省エネルギー機構：H15「建築物の省エネルギー基準と計算の手引き」性能基準(PAL/CEC)より

従来の内部発熱の条件は、国土交通省の平成 22 年度建築基準整備促進事業「業務用建築物のためのエネルギー消費量評価手法に関する基礎的調査」調査報告書を参考にした。節電化後の内部発熱の条件は、財団法人建築環境・省エネルギー機構 (IBEC) の平成 15 年「建築物の省エネルギー基準と計算の手引き」性能基準 (PAL / CEC) とした。照明は、Hf 蛍光灯を中心とした照明器具から、LED に変更したこととした。なお、照明の内部発熱は、空調が施された箇所のみで試算した。

断熱は、事務所系建物の建築場所に関わらず、外壁を発泡ウレタン 25 mm 厚、屋根を発泡ウレタン 40 mm 厚とした。外壁に取り付ける窓ガラスは、複層普通ガラスとした。

空調と照明の稼働日と時間は、つぎの通りである。

- ・暖房：12月～3月、83日/年
- ・冷房：5月～10月、126日/年
- ・照明：250日/年
- ・1日の稼働時間：12h/日（8時～20時）

暖房季と冷房季に分けたが、部屋の配置や方角により、後述するように暖房季に冷房熱負荷が出現したり、冷房季に暖房熱負荷が生じたりする。

以上の条件に従って、HASP/ACLD（建物の熱応答計算プログラム）を用いて、改修前後の1年間の暖冷房の熱負荷の推移を試算した。試算した地点は図-1 であるが、紙面の関係で抜粋して報告する。なお、外気温度や湿度は、各地点の AMeDAS 標準気象条件とした。

2. 暖冷房熱負荷

AMeDAS 観測点・福島の従来の内部発熱の条件による暖冷房熱負荷の年間推移が図-2 である。節電化後の内部発熱の条件によるものが、図-3 である。暖房熱負荷が増

えて、冷房熱負荷が減ることが分かる。節電化後に、冷房季に暖房熱負荷が出現するのが増える。



図-1 試算対象地点

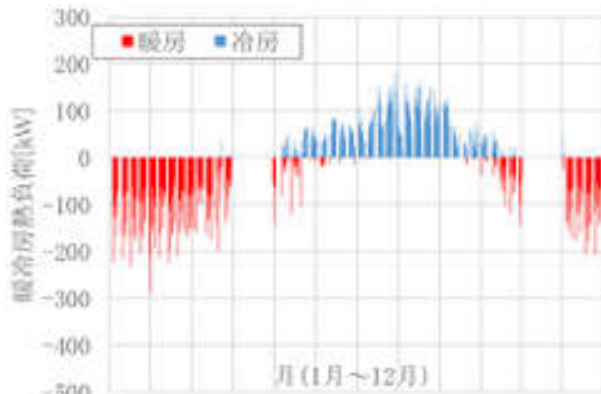


図-2 暖冷房熱負荷の年間推移 (福島・従来の内部発熱条件)

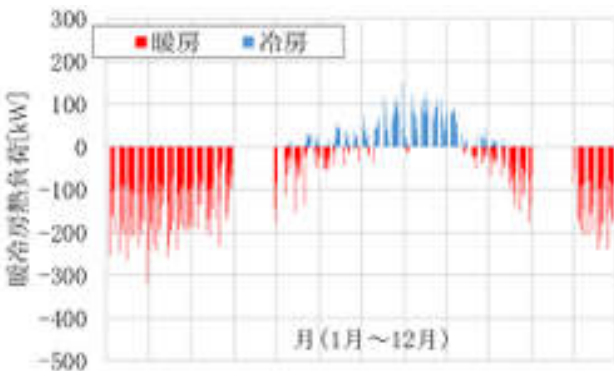


図-3 暖冷房熱負荷の年間推移 (福島・節電化後の内部発熱条件)

暖房熱負荷と冷房熱負荷の推移を明確にするために降順図を用いた。図-4 が従来の内部発熱の条件、図-5 が節電化後の内部発熱の条件である。福島も含めた AMeDAS 観測地点での最大暖冷房熱負荷が表-2、年間暖冷房熱負荷が表-3 である。

執務空間の節電化による内部発熱減少に伴い加熱負荷が減るのは当然であるが、暖房熱負荷が大きく増えた。

3. ヒートポンプ熱源方式ごとのエネルギー消費量

前項の暖冷房熱負荷に従い、4 種類のヒートポンプチリングユニットごとにエネルギー消費量を求めた。チリングユニットの種類とシミュレーション用いたチリングユニット機種は、つぎの通りである。

- ・高効率空冷式：M 社 MCHV-P
- ・寒冷地対応型空冷式：M 社製 MCHV-HP
- ・地中熱利用 (open)：D 社製 SI TUR+
- ・地中熱利用 (close)：D 社製 SI TUR+

地中熱利用 (open) は、オープン・ループ方式の略で、地下水利用ヒートポンプである。地中熱利用 (close) は、クローズド・ループ方式の略で、U 字型の架橋ポリエチレン製の地中熱交換器を埋設したものである。

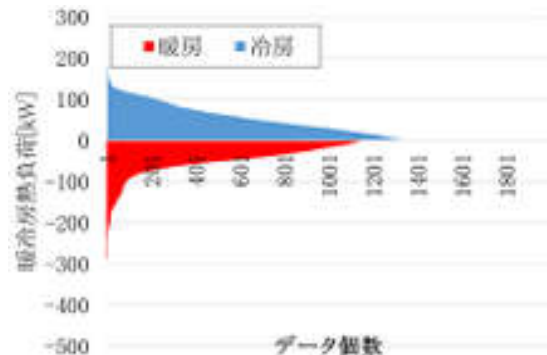


図-4 暖冷房熱負荷の降順図 (福島・従来の内部発熱条件)

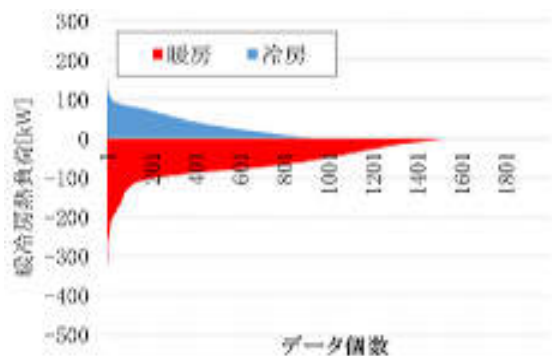


図-5 暖冷房熱負荷の降順図 (福島・節電化後の内部発熱条件)

表-2 従来と節電化後の内部発熱条件の違いによる最大暖冷房熱負荷の比較

県名	AMeDAS 観測地点名	暖房[kW]		冷房[kW]	
		従来	節電化後	従来	節電化後
青森	青森	294.0	325.7	153.8	121.2
	むつ	327.3	358.4	148.4	116.0
	八戸	278.9	358.4	174.2	115.5
岩手	盛岡	339.1	369.9	170.1	137.9
	宮古	296.1	327.6	150.1	117.4
秋田	鹿角	339.2	410.1	132.6	95.5
	秋田	330.6	362.2	178.3	141.9
宮城	仙台	268.6	300.3	168.9	136.5
	石巻	263.5	295.4	184.8	152.4
山形	山形	277.0	308.6	166.0	133.4
	酒田	268.0	299.8	184.2	151.6
福島	福島	288.5	320.1	180.4	147.9
	小名浜(いわき市)	216.6	228.9	173.8	127.6
	白河	334.2	364.9	167.5	135.0
	若松(会津若松市)	317.1	348.6	181.8	149.3
新潟	新潟	245.0	276.7	199.7	163.3
	高田(上越市)	272.7	303.7	205.7	173.3
	相川(佐渡市)	251.7	283.3	194.4	157.8

表-3 従来と節電化後の内部発熱条件の違いによる年間暖冷房熱負荷の比較

県名	AMeDAS 観測地点名	暖房[kW/年]		冷房[kW/年]	
		従来	節電化後	従来	節電化後
青森	青森	88,570	136,530	55,914	24,941
	むつ	97,240	149,261	46,002	19,145
	八戸	84,431	149,432	49,611	19,045
岩手	盛岡	93,273	141,390	58,237	27,506
	宮古	73,861	124,664	50,595	22,470
秋田	鹿角	88,327	151,291	53,991	26,556
	秋田	79,788	125,254	69,870	36,447
宮城	仙台	61,228	106,203	64,191	30,232
	石巻	64,341	109,567	61,921	28,244
山形	山形	77,532	122,131	69,839	35,525
	酒田	66,020	109,478	73,940	38,475
福島	福島	60,533	102,198	75,766	38,485
	小名浜(いわき市)	40,459	72,358	76,526	34,625
	白河	68,913	114,245	65,317	31,747
	若松(会津若松市)	78,951	121,396	79,534	43,061
新潟	新潟	56,942	96,124	87,889	48,111
	高田(上越市)	57,397	97,038	89,708	50,417
	相川(佐渡市)	55,496	96,716	79,000	41,301

空気熱源チリングユニットのエネルギー消費量の試算では、温湿度補正と着霜補正を行っている。しかし、雪や雹等が付着することによる能力低下の正確なデータを得ることができなかったために、補正は省いた。

地中熱利用 (open) のチリングユニットの熱源水の入口温度は、AMeDAS 観測点ごとに年平均気温とした。また、井水ポンプの搬送動力は、エネルギー消費量に含めていない。同様に、地中熱利用 (close) の1次側循環ポンプの搬送動力も含めていない。

地中熱利用 (close) は、暖冷房熱負荷の値を地中熱交換器採放熱量 60.0W/m で除して、長さを求め、100m/本に繰り上げた本数で換算した。地中熱交換器の採熱量を 60.0W/m とした根拠は、国土交通省「官庁施設の熱源設備における地中熱利用システム導入ガイドライン(案)」で、設計時の地中熱交換器の採放熱量に、この値が示されていることによる。

図-6 と図-7 は、従来の内部発熱の条件と節電化後の内部発熱の条件のヒートポンプ熱源方式ごとの福島での暖房と冷房の年間電力消費量である。OA 機器や照明の節電化は、暖冷房熱源のエネルギー消費量の増加に繋がるこ

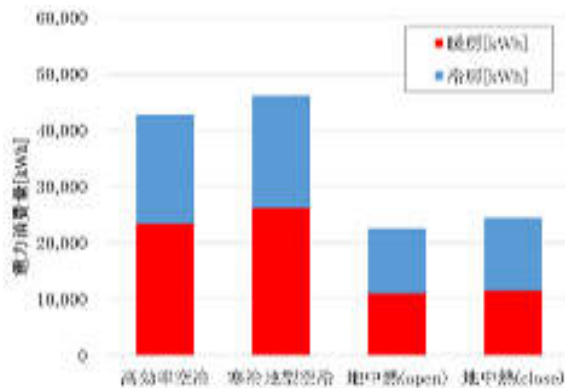


図-6 ヒートポンプ熱源ごとの電力消費量 (福島・従来内部発熱・暖冷房熱源分のみ)

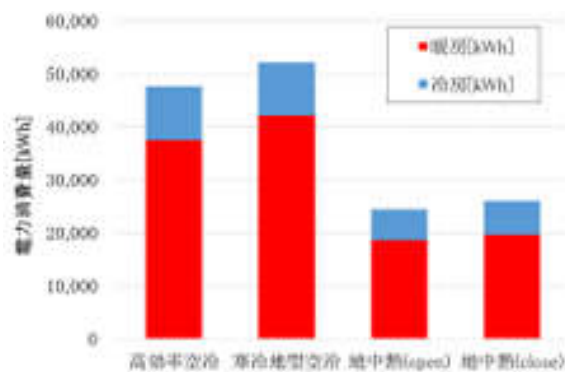


図-7 ヒートポンプ熱源ごとの電力消費量 (福島・節電化後内部発熱・暖冷房熱源分のみ)

とがわかる。福島も含めた AMeDAS 観測地点での、暖房の年間電力消費量が表-4、冷房の年間消費電力量が表-5、暖房と冷房を合わせた年間電力消費量 (年間暖冷房電力消費量) が表-6 である。

この年間暖冷房電力消費量に、照明の年間電力消費量を加えたものが、図-8 と図-9 である。

照明の年間電力消費量は、Hf 蛍光灯を中心とした従来の内部発熱条件が 45,957kWh/年、LED にした節電化後の内部発熱条件が 13,846kWh/年である。暖冷房に関わる電力消費量に照明の電力消費量を合わせれば合計のエネルギー消費量は、改修後に減じる。

まとめ

寒冷地・積雪地の事務所系建物では、執務スペースの内部負荷減少が、空調熱源のエネルギー消費量の増加を招くことがわかった。空調・換気システムの計画では、つぎのことに留意する必要がある。

- ・高効率の空調方式や換気方式の選定、建物の断熱性・気密性の設定等の考慮が必要
- ・空調熱源では、地中熱利用ヒートポンプの導入

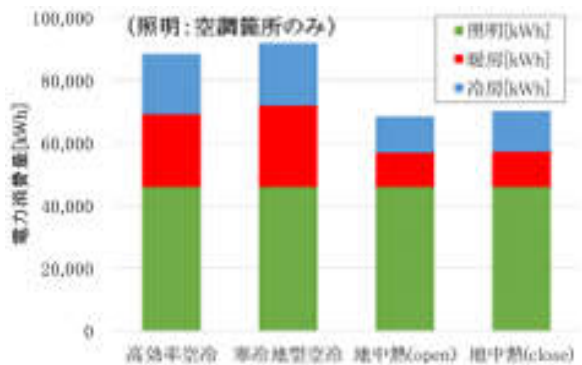


図-8 ヒートポンプ熱源ごとの電力消費量 (福島・従来内部発熱・暖冷房熱源+照明)

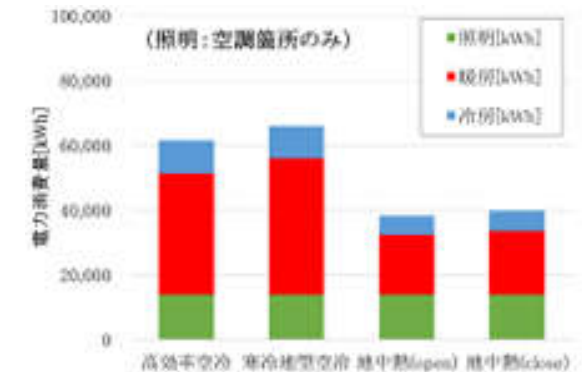


図-9 ヒートポンプ熱源ごとの電力消費量 (福島・節電化後内部発熱・暖冷房熱源+照明)

- ・しかし、暖房熱負荷が増えることから、地中熱利用ヒートポンプ (close) の採用にあたっては長期的な地中温度の低下防止を考慮
- ・搬送 (ポンプ) 動力のインバータ制御を含めた高効率システム

- ・換気方式では、顕熱交換器の活用による外気導入による熱負荷の低減手法の導入
- 中でも、地中熱利用ヒートポンプシステムの導入は効果的と考えられる。

表-4 従来と節電化後の内部発熱条件の違いによるヒートポンプ熱源ごとの暖房分電力消費量の比較

県名	AMeDAS 観測地点名	従来の内部発熱条件[kWh/年]				節電化後の内部発熱条件[kWh/年]			
		高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱 (open)	地中熱 (close)	高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱 (open)	地中熱 (close)
青森	青森	36,659	41,134	16,807	17,910	53,738	60,543	25,907	27,912
	むつ	35,795	40,110	15,606	19,962	49,319	55,253	21,659	31,024
	八戸	34,137	38,281	16,144	17,121	56,833	64,041	28,572	30,613
岩手	盛岡	39,220	44,015	17,834	18,851	56,906	64,103	27,034	28,921
	宮古	29,629	33,181	14,042	14,745	46,651	52,481	23,700	25,215
秋田	鹿角	42,823	48,110	19,507	20,981	60,553	68,257	28,817	31,330
	秋田	32,543	36,471	14,803	15,554	48,588	54,697	23,238	24,711
宮城	仙台	23,660	26,457	11,234	11,778	38,617	43,426	19,487	20,720
	石巻	24,838	27,792	11,982	12,608	39,983	44,937	20,404	21,763
山形	山形	31,144	34,902	14,411	15,293	46,651	52,563	22,701	24,403
	酒田	25,620	28,683	12,069	12,703	40,318	45,372	20,014	21,372
福島	福島	23,403	26,177	10,986	11,461	37,485	42,164	18,548	19,627
	小名浜(いわき市)	14,224	15,869	7,277	7,586	26,241	29,472	14,325	15,179
	白河	27,411	30,721	12,881	13,457	42,795	48,219	21,354	22,576
	若松(会津若松市)	31,900	35,757	14,675	15,488	46,943	52,833	22,564	24,090
新潟	新潟	20,717	23,148	10,205	10,719	33,400	37,469	17,227	18,367
	高田(上越市)	21,199	23,710	10,323	10,818	33,915	38,102	17,453	18,542
	相川(佐渡市)	20,190	22,560	9,963	10,453	33,333	37,427	17,364	18,459

表-5 従来と節電化後の内部発熱条件の違いによるヒートポンプ熱源ごとの冷房分電力消費量の比較

県名	AMeDAS 観測地点名	従来の内部発熱条件[kWh/年]				節電化後の内部発熱条件[kWh/年]			
		高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱 (open)	地中熱 (close)	高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱 (open)	地中熱 (close)
青森	青森	13,626	15,118	8,187	8,899	6,275	6,724	3,652	3,844
	むつ	10,927	12,642	6,718	7,047	4,668	5,323	2,803	2,864
	八戸	12,037	13,367	7,264	7,844	4,684	5,069	2,788	2,879
岩手	盛岡	14,334	15,637	8,527	9,113	6,943	7,335	4,027	4,195
	宮古	12,244	13,584	7,408	8,010	5,622	6,037	3,290	3,454
秋田	鹿角	13,867	15,362	8,254	8,642	6,647	7,174	3,877	3,970
	秋田	17,512	18,580	10,336	11,433	9,372	9,592	5,392	5,764
宮城	仙台	15,833	17,110	9,609	10,818	7,704	8,000	4,526	4,884
	石巻	14,925	16,876	9,066	10,204	6,982	7,713	4,135	4,458
山形	山形	17,651	18,432	10,270	11,656	9,272	9,259	5,224	5,694
	酒田	18,468	19,602	11,136	12,728	9,889	10,092	5,794	6,314
福島	福島	19,319	19,962	11,550	12,982	10,145	10,002	5,867	6,323
	小名浜(いわき市)	18,392	20,862	11,810	13,677	9,042	10,063	5,673	6,156
	白河	15,971	17,546	9,563	10,514	7,966	8,519	4,648	4,955
	若松(会津若松市)	20,152	21,192	11,696	13,144	11,179	11,362	6,333	6,845
新潟	新潟	22,203	23,348	13,669	15,952	12,448	12,650	7,482	8,173
	高田(上越市)	22,819	23,826	13,844	15,954	13,132	13,267	7,780	8,487
	相川(佐渡市)	19,542	21,137	12,248	14,106	10,471	10,986	6,403	6,946

表-6 従来と節電化後の内部発熱条件の違いによるヒートポンプ熱源ごとの暖房+冷房分電力消費量の比較

県名	AMeDAS 観測地点名	従来内部発熱条件[kWh/年]				節電化後の内部発熱条件[kWh/年]			
		高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱(open)	地中熱(close)	高効率空冷式	寒冷地空冷式	地中熱(open)	地中熱(close)
青森	青森	50,285	56,251	24,993	26,808	60,013	67,267	29,559	31,755
	むつ	46,722	52,752	22,324	27,009	53,988	60,577	24,462	33,888
	八戸	46,175	51,648	23,407	24,965	61,516	69,110	31,360	33,492
岩手	盛岡	53,554	59,653	26,361	27,964	63,849	71,437	31,062	33,117
	宮古	41,873	46,765	21,450	22,755	52,273	58,518	26,990	28,669
秋田	鹿角	56,690	63,471	27,761	29,624	67,200	75,431	32,694	35,300
	秋田	50,055	55,050	25,139	26,986	57,961	64,289	28,630	30,475
宮城	仙台	39,493	43,568	20,844	22,595	46,321	51,426	24,012	25,604
	石巻	39,763	44,669	21,048	22,811	46,964	52,650	24,539	26,221
山形	山形	48,795	53,334	24,682	26,949	55,923	61,822	27,925	30,097
	酒田	44,088	48,285	23,205	25,431	50,207	55,464	25,809	27,685
福島	福島	42,722	46,139	22,536	24,444	47,629	52,166	24,414	25,951
	小名浜(いわき市)	32,616	36,731	19,086	21,263	35,283	39,534	19,997	21,334
	白河	43,382	48,267	22,444	23,971	50,760	56,738	26,002	27,530
	若松(会津若松市)	52,053	56,950	26,371	28,632	58,123	64,195	28,897	30,934
新潟	新潟	42,920	46,496	23,873	26,671	45,848	50,119	24,709	26,540
	高田(上越市)	44,018	47,536	24,167	26,772	47,047	51,369	25,233	27,029
	相川(佐渡市)	39,732	43,698	22,211	24,559	43,804	48,412	23,767	25,405

参考文献

- 1) 国土交通省 大臣官房官庁営繕部 設備・環境課：官庁施設の熱源設備における地中熱利用システム導入ガイドライン (2013-10)
- 2) 赤井仁志・草刈洋行・一瀬茂弘・宇佐美勇氣・二宮秀興：地中採熱技術の暖冷房とロードヒーティングへの適用のための事前評価 (第1報) モデルシステム策定とインシヤルコスト, 電気設備学会全国大会講演論文集, 大阪府立大学 (2013-9)
- 3) 宇佐美勇氣・一瀬茂弘・赤井仁志・草刈洋行・二宮秀興：地中採熱技術の暖冷房とロードヒーティングへの適用のための事前評価 (第2報) ランニングコストと経済評価, 電気設備学会全国大会講演論文集, 大阪府立大学 (2013-9)
- 4) 西山尚弘・二宮秀興・宇佐美勇氣・赤井仁志・草刈洋行・葛隆生：地中採熱技術の暖冷房とロードヒーティングへの適用のための事前評価 (第3報) 空調設備の条件と熱負荷, エネルギー消費量, 電気設備学会全国大会講演論文集, 東北文化学園大学 (2014-8)
- 5) 中山浩・宮岡洋一・加藤直樹ほか：LED照明が照明・空調エネルギーに与える影響に関する研究 (第1報) 照明変更前のエネルギー計測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 大阪大学 (2015-9)

秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオの提案

家庭内エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の将来推計

齊藤 正浩（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），細淵勇人（秋田県立大学），

松本真一（秋田県立大学）

Proposal of Scenarios in Residential Sector Towards Low Carbon Society at Akita prefecture
-Future Estimation of Energy Consumption and Carbon Dioxide Emission in the Houses-

Saito Masahiro (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hayato Hosobuchi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：民生家庭部門，エネルギー消費量，二酸化炭素排出量，マクロモデル，低炭素化

はじめに

近年、地球温暖化やエネルギー資源の枯渇が問題となっている。2016年にパリ協定が発効され、日本は新たに「地球温暖化対策計画」¹⁾を策定した。削減目標は、民生家庭部門で二酸化炭素排出量を2030年時2013年比39.3%削減である、さらに、2050年にゼロエミッション(以後、ゼロエミ)化達成を掲げている。秋田県は、「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画(素案)」²⁾を作成しているが、各種対策の実効性を高め、確実に二酸化炭素排出量を削減することが期待される。そのためには、確度の高い将来予測を行い、ライフスタイルや家族構成、気象の変化に対応できるマクロモデルによる推計が有効である。

既往研究³⁾では、民生家庭部門のエネルギー消費量の予測のためにマクロモデルを構築し、秋田県での将来推計を試みた。しかしながら、冷房用、家電機器用エネルギー消費量の予測精度に課題を残した。そこで本研究では、マクロモデルの予測精度の向上に取り組み、さらに秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオの提案を行う。

なお、本研究では削減割合が大きい国の削減目標を最終目標としている。

1. マクロモデルの概要

1.1 マクロモデルの構成

図1にマクロモデルの計算フローを示す。灰色の欄は既往研究から改良した項目を示す。既往研



図-1 マクロモデルの計算フロー

究³⁾を参考に、用途別(暖冷房用, 給湯用, その他用)に7家族類型別(2.5に示す)・3住戸形態別(戸建住宅・RC造集合住宅・木造集合住宅)エネルギー消費量を市町村毎に算出し、家族類型別世帯数を乗じることで秋田県全体のエネルギー消費量を算出した。なおこのモデルは、家族類型毎の一般的なエネルギー消費量を推計し、それぞれに年代別世帯数を乗じるマクロな視点で構築されている。

二酸化炭素排出量の推計では、用途ごとにエネルギー源を分類し、二酸化炭素排出係数^{4) 5)}を乗じた。2011年に生じた東日本大震災の影響により二酸化炭素排出係数は2015年に増加しているが、それ以降の二酸化炭素排出係数を一定と想定して推計する。気象データは、拡張アメダス気象データ⁶⁾を用いる。

1.2 暖冷房用マクロモデル

拡張デグリーデー法⁷⁾を用いて住戸形態別、断熱水準別に暖冷房負荷を計算する。冷房負荷の算定に相当外気温を用いることにより、予測精度の向上を図った。

1.3 給湯用マクロモデル

生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0⁸⁾を用いて行為別に使用頻度、水量を算出した。給湯設定温度と市町村毎の気温との差から、給湯負荷を求める。

1.4 その他用マクロモデル

照明・厨房・娯楽情報・家事衛生・その他に分類した。家族類型別に機器の使用時間、消費電力を生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver2.0⁸⁾を用いて求めた。既往研究³⁾では一定としていた機器効率、所有台数を参考資料^{9) 10) 11)}より年代別に設定した。

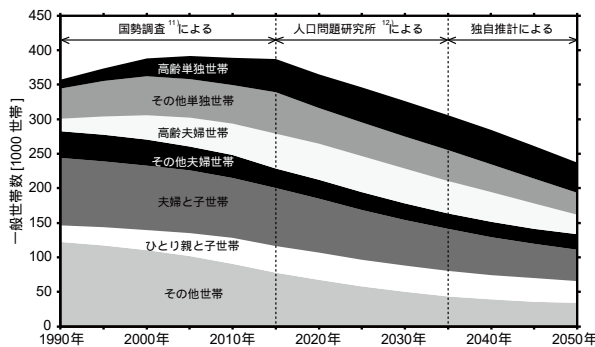


図-2 家族類型別世帯数の推移

1.5 家族類型

高齢単独世帯・その他単独世帯・高齢夫婦世帯・その他夫婦世帯・夫婦と子からなる世帯・ひとり親と子からなる世帯・その他世帯の7家族類型に分類した。家族類型別世帯数の推移を図2に示す。2015年までを国勢調査¹²⁾の統計値、2020年から2035年までを人口問題研究所¹³⁾の推計値を用いた。2040年から2050年までは、2020年から2035年の人口問題研究所¹³⁾による推計値から作成した近似式に、推計する年代を代入することにより独自推計を行った。

2005年に世帯数は最大となり、その後は減少傾向を示す。夫婦と子世帯、その他世帯が減少しているが、高齢世帯では顕著な減少傾向は見られない結果となった。これは秋田県の少子高齢化問題を表しているといえる。

1.6 断熱水準別住宅シェア

住戸形態別住宅ストックにおける断熱水準毎のシェアを、年代別に推計する。なお、2020年以降のすべての新築住宅は、省エネルギー基準が適用されると想定した。

2. マクロモデルを用いた将来推計

2.1 マクロモデルの精度検証

図3に1990年から2010年までの秋田県全体の用途別民生家庭部門エネルギー消費量を、統計値¹⁴⁾と比較して示す。推計値と統計値との差は最大6.4%となった。また、既往研究³⁾の推計値と比較すると、1990年で統計値との差を2.6ポイント改善することができた。2000年以降は統計値と比較し±1%という結果だが、それ以前はその他の用途で統計値と差が生じており、課題を残した。

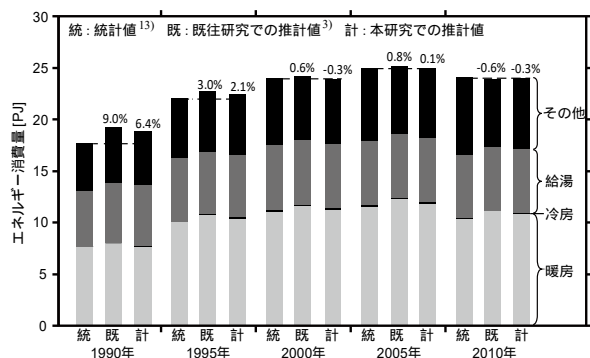


図-3 推計値と統計値の比較

2.2 低炭素化シナリオの設定

表 1、2 に本研究で設定した 2 つのシナリオを示す。なお、BAU の条件では 2015 年の状態が継続すると想定した。表 1 の県対策シナリオは、参考資料²⁾を基に作成した。住宅の断熱水準向上、高効率機器の普及、HEMS 導入によるエネルギー消費量の削減を反映した。なお住宅性能の向上による二酸化炭素排出量の削減を推計するため、国民運動による削減対策は反映していない。表 2 のゼロエミッションシナリオは県対策シナリオに加え、機器の効率、普及率向上と太陽光パネルによる発電を反映させたが、併せてゼロエミ化達成にどの程度創エネが必要かを検討する。暖房機器の効率向上はトップランナー制度を参考とした。普及率、発電量が想定可能な太陽光発電、風力発電のみをゼロエミシナリオにおける創エネの対象とした。太陽光パネルの発電電力は、参考文献^{15) 16)}を参考に算出した。風力発電における設備利用率を、沿岸部では 30%、内陸部では 20%と設定した。

なお県対策、ゼロエミシナリオ共に削減対策は 2020 年から適用されると設定した。

2.3 推計結果

図 4、5 にシナリオ毎の推移を、図 6、7 には、2030 年、2050 年の推計値を抜粋したグラフを示す。国の削減目標は民生家庭部門で、二酸化炭素排出量を 2030 年時 2013 年比 39.3%削減、2050

年にゼロエミッション化達成である。BAU シナリオでは世帯数の減少に伴い二酸化炭素排出量が減少しており、省エネルギー基準を満たす住宅が増えることにより暖房用エネルギー消費量が減少していることが分かる(図 6 参照)。しかしながら、2030 年、2050 年における国の削減目標を達成できない。県対策シナリオにより、2030 年の削減目標は達成可能となるが 2050 年にゼロエミ化は達成出来ない。ゼロエミ化するには、ゼロエミシナリオに加えて、6.6[PJ]創エネが必要である(図 4 参照)。これは太陽光発電量に換算すると、表 2 に示した能力を持つ太陽光パネルが 11.4[km²]必要となる。風力発電量に換算すると、内陸の場合 104.8 [万 kW]、沿岸の場合 69.9 [万 kW]の発電容量を持つ設備による発電が必要となる。

3. 結論

民生家庭部門の低炭素化シナリオを提案するためにマクロモデルを構築し、3 パターンのシナリオを推計した。その結果、県の対策により 2030 年の二酸化炭素削減目標を達成できるが、2050 年のゼロエミッション化達成には、更なる省エネ・創エネが必要であることが分かった。今後は建設・解体段階のモデルを追加し、確度の高い将来推計が望まれる。

表-1 県対策シナリオの設定条件

対策内容	導入目標(目標:2030年度)
住宅の省エネ化	<ul style="list-style-type: none"> ・新築住宅の省 エネ基準適合率 100% ・省エネ基準を満たす住宅ストックの割合 30%
高効率機器の普及	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率給湯器の累計導入台数 2013年度比 5倍 ・高効率照明の累計導入割合 100% ・家電機器の消費電力改善(2012年度比) <ul style="list-style-type: none"> テレビ: 20.3%改善 炊飯器: 3.5%改善 DVD: 12.5%改善 冷蔵庫: 19.6%改善 温水便座: 27.8%改善
エネルギー管理	HEMS 等の導入率が 100%

表-2 ゼロエミッションシナリオの設定条件

対策内容	導入目標(目標:2050年度)
高効率機器の普及	<ul style="list-style-type: none"> ・高効率給湯機の類型導入割合 100% ・暖房機器の効率向上 <ul style="list-style-type: none"> 電気COP: BAU= 1.00 → 2030= 1.17 2050= 5.05 ガスCOP: BAU= 0.82 → 2030= 0.86 2050= 0.86 灯油COP: BAU= 0.85 → 2030= 0.86 2050= 0.86
太陽光パネル普及	発電容量:3.3[kW], 発電面積:33[m ²]が戸建てで20%普及

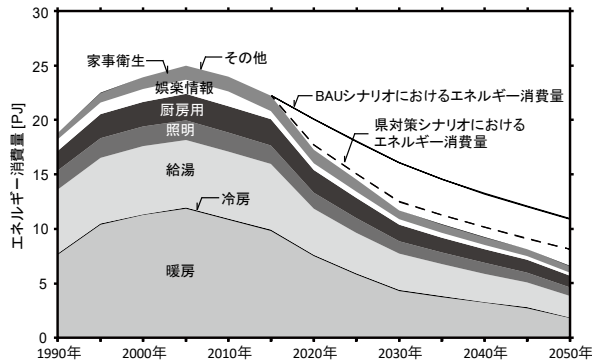


図-4 ゼロエミシナリオのエネルギー消費量

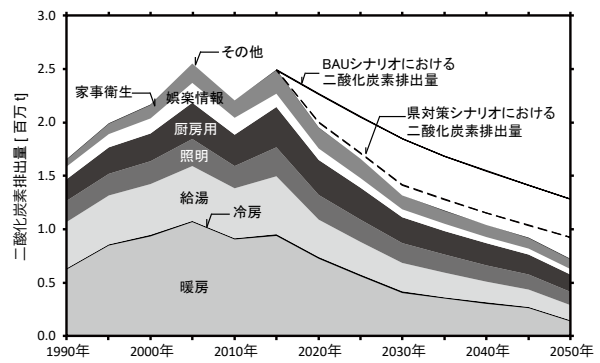


図-5 ゼロエミシナリオの二酸化炭素排出量

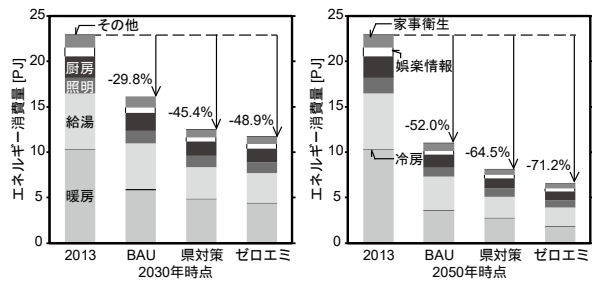


図-6 エネルギー消費量のシナリオ間比較

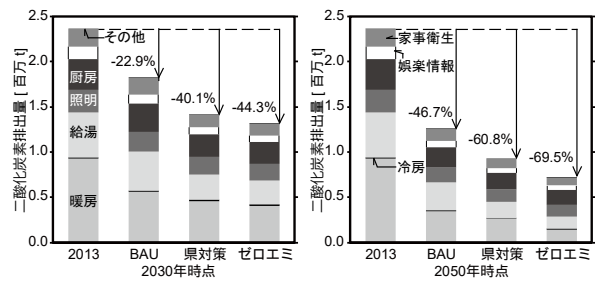


図-7 二酸化炭素排出量のシナリオ間比較

参考文献

- 1)環境省：地球温暖化対策計画(2016.5.閲覧)
- 2)秋田県生活環境部温暖化対策課：第2次秋田県地球温暖化対策推進計画(2016.12 閲覧)
- 3)高橋徹：秋田県における住宅内エネルギー消費量の将来推計~拡張デグリーデー法による予測暖冷房負荷の適用~,秋田県立大学システム科学技術学部,卒業論文(2013-3.)
- 4)地球温暖化対策の推進に関する法律施行令第三条.
- 5)東北電力:2015年度 CO2 排出実績について.
<http://www.tohoku-epco.co.jp/enviro/picup/co.html> (2016-7 閲覧)
- 6)日本建築学会：拡張アメダス気象データ1981-2000(2005-8.)
- 7)社団法人北海道建築技術協会：北方型住宅の熱環境計画(2010-1)
- 8)空気調和・衛生工学会 住宅用エネルギーシュミレーション小委員会：生活スケジュール自動生成プログラム, SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル(2003-3.)
- 9)内閣府：主要耐久消費財等の保有数量.

- <http://www.esri.cao.go.jp/jp/stat/shouhi/shouhi.html>. (2016-6 閲覧)
- 10)経済産業省:省エネ性能カタログ 2011,2015 年度
- 11)ecostPlus <http://www.ecost-plus.jp>(2016-7 閲覧)
- 12)総務省：平成 22 年度 国勢調査
<http://www.stat.go.jp/data/kokusei/2010/index.html>. (2016-6 閲覧)
- 13)国立社会保障・人口問題研究所：日本の都道府県別将来推計人口.
<http://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2014/setai/s-hosai.asp>. (2016-7 閲覧)
- 14)経済産業省：都道府県別エネルギー統計表.
http://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/results.html#headline2 (2016-7 閲覧)
- 15)岩崎隼：秋田県の住宅における太陽光エネルギー利用の可能性に関する考察,秋田県立大学システム科学技術学部 建築学研修報告書(2013-8.)
- 16)三浦秀一 佐賀武義：住宅における太陽光エネルギー導入のための地域別可能性評価に関する調査研究,日本建築学会東北支部研究報告集,計画系第 65号(2002-6), pp.127-132

A-17

太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討

その2 仙台地区における建物の省エネルギー化が
街区内の電力自給率に与える影響の研究

○菅野 智之 (東北学院大学), 鈴木 道哉 (東北学院大学)

Study of Energy Self-Sufficient Urban Development by Solar Power

Part2: Effect of Energy-saving of Buildings to Self-sufficiency of
Electric Demand in Sendai Area

Kanno Tomoyuki(Tohoku Gakuin University), Suzuki Michiya(Tohoku Gakuin University)

キーワード：省エネルギー，太陽光発電，電力自給

はじめに

最近の新規のまちづくりでは、地球温暖化等に対する措置の1つとして低炭素化に向けた目標が掲げられ、また災害時等における自立性確保の観点から、街区内でのエネルギー自給に着目した事例が増えている。前報¹⁾では仙台都市圏内の立地を想定した仮想街区を対象に、太陽光発電を用いた電力自給のシミュレーションを行った。その結果、建物用途間での電力融通と蓄電池の使用により街区内の年間電力の約7割が自給可能であり、さらに約3割の電力需要低減により完全な電力自給達成が可能であるという結論を得られた。

そこで本報告では通常と、建物における一般的な省エネルギー手法を導入した場合の2つのシミュレーション結果を比較することで、省エネルギー化によりどれ程完全な電力自給達成に近づけることが可能かを明らかにした。

1. 街区条件設定

シミュレーション対象の仮想街区の総敷地面積は前報¹⁾と同様に41万㎡とし、立地する建物用途とその構成割合も同様に日本全国の延床面積の統計に準じた。しかし構成割合については、最新の統計調査の結果などにより再推計したため、前報¹⁾との差分と共に表-1に示す。建物用途毎の延床面積の推計方法については表-2に示す。

また容積率と建ぺい率の設定値は、戸建住宅は最新の総務省の統計調査²⁾の値を使用し、その他の建物用途は前報¹⁾と同様に実在する建物数棟をモデルに算出した値の平均値を使用した。以上の設定値と、表-1の構成割合の「本報告」より算出された各面積の想定値を表-3に示す。

表-1 全国統計(H25年度・コンビニのみH19年度)

建物用途	延床面積(十萬㎡)		選定No.	構成割合(%)		差分(%)
				本報告	前報 ¹⁾	
住宅	戸建住宅	37,133	1	59.6	57.3	+2.3
	集合住宅	11,645	2	18.7	20.0	-1.3
工場・倉庫・市場	12,936		-	選定から除外		-
事務所	4,836		3	7.8	7.2	+0.6
店舗	小売店	3,140	4	5.0	6.9	-1.9
	飲食店	654	5	1.1	0.9	+0.2
	コンビニ	81	6	0.1	0.1	+0.0
学校	3,648		7	5.9	5.1	+0.8
病院	1,130		8	1.8	2.5	-0.7
ホテル	912		-	不選定		-
劇場	357		-	不選定		-
計	76,472			100.0	100.0	

表-2 延床面積統計値の推計方法

建物用途	項目	延床面積の推計方法
住宅	戸建住宅	a1 総務省の統計調査 ²⁾ の全国の戸建の総数に、1住宅当たりの延べ面積を乗じたものによる
	集合住宅	a2 総務省の統計調査 ²⁾ の全国の長屋建及び共同住宅の総数に、1住宅当たりの延べ面積をそれぞれ乗じたものの和による
工場・倉庫・市場	b	総務省の統計書 ³⁾ の全国計の木造家屋の工場・倉庫及び、木造以外の家屋の工場・倉庫・市場の床面積の総数の和による
事務所	c	業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
店舗	小売店	d1 総務省の統計書 ³⁾ の全国計の木造家屋の事務所・銀行・店舗及び、木造以外の家屋の事務所・店舗・百貨店・銀行の床面積の総数の和からc、d2、d3を減じたものによる
	飲食店	d2 業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
	コンビニ	d3 商業統計表 ⁵⁾ の業態別売場面積のコンビニエンスストアに、ある一般的なコンビニの店舗から算出した売場面積に対する延床面積の倍率1.61を乗じたものによる
学校	e	業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
病院	f	業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
ホテル	g	業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
劇場	h	業務用建物床面積の統計データ ⁴⁾ による
計		a1~hの和による

表-5 各内部発熱および空調スケジュール設定

建物用途	内訳	内部発熱スケジュール	空調スケジュール	建物用途	内訳	内部発熱スケジュール	空調スケジュール
戸建住宅	LDK	月～金 6:00-8:00-17:00-23:00 (100%) (0%) (100%) 土日祝 8:00-23:00 (100%)	月～金 6:00-8:00、 17:00-23:00 土日祝 8:00-23:00	集合住宅	LDK	月～金 6:00-8:00-17:00-23:00 (100%) (0%) (100%) 土日祝 8:00-23:00 (100%)	月～金 6:00-8:00、 17:00-23:00 土日祝 8:00-23:00
	子供室1	20:00-24:00 (100%)	20:00-24:00		洋室1	20:00-24:00 (100%)	20:00-24:00
	子供室2	20:00-24:00 (100%)	20:00-24:00		洋室2	20:00-24:00 (100%)	20:00-24:00
	寝室	23:00-24:00 (100%)	23:00-24:00		和室	23:00-24:00 (100%)	23:00-24:00
事務所	玄関ホール	月～金 9:00-20:00 (100%) 土日祝 終日0%	月～金 8:00-19:00 土日祝 終日空調なし	小売店	売場	[人体・照明] 9:00-21:00 (100%) [コンセント] 終日100%	9:00-21:00
	事務室	月～金 [人体・コンセント] 9:00-12:00-13:00-18:00-19:00 (100%) (50%) (100%) (50%) 月～金 [照明] 9:00-12:00-13:00-19:00 (100%) (70%) (100%) 土日祝 終日0%	月～金 8:00-19:00 土日祝 終日空調なし		事務室	8:00-13:00-22:00-23:00 (80%) (100%) (50%)	9:00-19:00
			作業室		8:00-12:00-13:00-18:00-21:00 (100%) (80%) (100%) (80%)	9:00-19:00	
			その他		9:00-21:00 (100%)	9:00-21:00	
学校	1F講義室	月～金 9:00-12:00-13:00-18:00 (60%) (20%) (60%) 土日祝 終日0%	月～金 9:00-18:00 土日祝 終日空調なし	病院	病室	[人体] 終日100% [コンセント・照明] 7:00-21:00 (100%)	7:00-21:00
	2F講義室	月～金 9:00-12:00-13:00-18:00 (60%) (20%) (60%) 土日祝 終日0%	月～金 9:00-18:00 土日祝 終日空調なし		診療室等	月～金 8:00-18:00 (100%) 土日祝 終日0%	月～金 8:00-18:00 土日祝 終日空調なし
	3F南側研究室	月～金 9:00-12:00-15:00-18:00 (60%) (80%) (60%) 土日祝 終日0%	月～金 9:00-18:00 土日祝 終日空調なし		売店・薬局等	月～金 8:00-18:00 (100%) 土日祝 終日0%	月～金 8:00-18:00 土日祝 終日空調なし
	3F北側研究室	月～金 9:00-12:00-15:00-18:00 (60%) (80%) (60%) 土日祝 終日0%	月～金 9:00-18:00 土日祝 終日空調なし		ナースsta.	終日100%	終日空調あり
	4F製図室	月～金 15:00-18:00 (50%) 土日祝 終日0%	月～金 15:00-18:00 土日祝 終日空調なし		事務室	月～金 8:00-18:00 (100%) 土日祝 終日0%	月～金 8:00-18:00 土日祝 終日空調なし
					ホール・廊下	7:00-21:00 (100%)	7:00-21:00

6 建物用途の空調に係る部分以外の電力需要量は、既存エネルギーデータ¹⁴⁾から入手した。さらに上記以外の2建物用途(飲食店、コンビニ)の電力需要量も既存エネルギーデータ¹⁴⁾から入手したが、これらは面積割合が小さいことから省エネルギー化の対象からは除外した。

以上より算出・入手した建物用途毎の電力需要量を時刻別の延床面積あたりに換算し、表-3の延床面積の想定値を乗じることで、365各日の時刻別の電力需要量を推計した。

3. 太陽光発電量の推計方法

3.1 太陽電池パネルの条件設定

太陽電池パネルの設置場所は、建物屋上(屋根)と戸建住宅以外の建物用途における平置き駐車場の駐車スペース部分の上部とした。設置割合は前報¹⁾と同様とし、算出された建物用途毎の太陽電池パネル面積の想定値を表-6に示す。

また太陽電池パネルのアレイ出力は、市販されている中での最高クラスのもの値を採用し、戸建住宅は201W/m²^[注9]、戸建住宅以外の建物用途は212W/m²^[注10]とした(JIS C 8918 標準状態下)。これに建物用途毎の太陽電池パネル面積の想定値を乗じ、それぞれの太陽電池アレイ出力合計を算出した。表-6に併せて示す。さらにパワーコンディショナも同様に、変換効率が最高クラスのもの値を採用し、戸建住宅は98.0%^[注11]、戸建住宅

以外の建物用途は98.6%^[注12]とした。

3.2 太陽光発電量の算出式

発電量の算出式は式(1)の通りとした。これは文献¹⁵⁾中に記載のある年間発電量の算出式を時刻別に置き換えたものである。式(1)中の時刻別アレイ面日射量は前報¹⁾と同様に日射量データベース¹⁶⁾から入手したが、月毎の時刻別に平準化したものを使用した前報¹⁾に対し、今回は365各日のものを使用し時刻別の発電量E_h(kWh)を推計した。

$$E_h = (P_{AS} \cdot H \cdot K) / G_s \quad \dots(1)$$

P_{AS} : 標準状態下の各太陽電池アレイ出力合計(kW)

H : 時刻別アレイ面日射量(kWh/m²)

K : 総合設計係数

(各パワーコンディショナ変換効率、結晶系シリコン太陽電池の月毎の補正係数参考値¹⁷⁾およびその他汚れ等の損失補正係数として0.95を乗じた値)

G_s : 標準状態下の日射強度(kW/m²)=1

表-6 太陽光発電のシミュレーション想定値

選定 No.	建物用途	太陽電池パネル面積の想定値(百m ²)			太陽電池アレイ出力合計(kW)
		建物屋上(屋根)	駐車スペース部分の上部	合計	
1	戸建住宅	218	0	218	4,377
2	集合住宅	37	52	89	1,887
3	事務所	8	20	28	588
4	小売店	61	45	106	2,245
5	飲食店	13	20	33	697
6	コンビニ	2	2	4	77
7	学校	8	3	11	240
8	病院	4	8	12	254

4. 電力需要量・発電量の算出結果

建物用途毎の各仕様における時刻別電力需要量および時刻別発電量の算出結果を図1～図5に示す。ここでは365各日のうち中間期(5月)の、電力需要量に関しては代表日、発電量に関しては時刻別に平均した算出結果を示す。また各図中の凡例は全て共通で、「街区全体」は立地を想定した8建物用途の時刻毎の合計値を示している。

5. 電力自給達成の評価

5.1 電力自給率の算出方法

前報¹⁾と同様に電力自給達成に向けた評価指標を電力自給率(%)と呼称し、式(2)の通り定義した。また発生する余剰発電量の低減を図るために以下の3パターンを想定し、電力自給率を算出した。
 (I) 街区内の建物用途間で電力融通を行わない
 (II) 街区内の建物用途間で電力融通を行う
 (III) 電力融通に加え、蓄電池を使用する

$$(\text{電力自給率}) = \{ \Sigma(A - B + C) / \Sigma D \} \times 100 \quad \dots(2)$$

- A: 年間総発電量(kWh)
- B: 年間総余剰発電量(kWh)
- C: 年間総蓄電量(kWh) *パターン(I)・(II)の場合はゼロ
- D: 年間総電力需要量(kWh)

5.2 電力自給率の算出結果

算出結果を前報¹⁾の結果も併せて表-7に示す。

表-7 パターン毎の年間の電力自給率

	パターン想定		年間の電力自給率(%)		
	建物用途間 電力融通	蓄電池 使用	前報 ¹⁾	本報告	
			通常仕様	省エネ仕様	
(I)	×	×	40.0	33.1	35.2
(II)	○	×	45.2	36.6	37.9
(III)	○	○	67.9	70.8	80.1

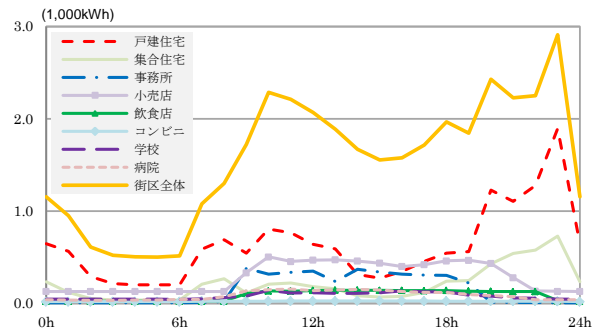


図-1 平日時刻別電力需要量 (通常仕様)

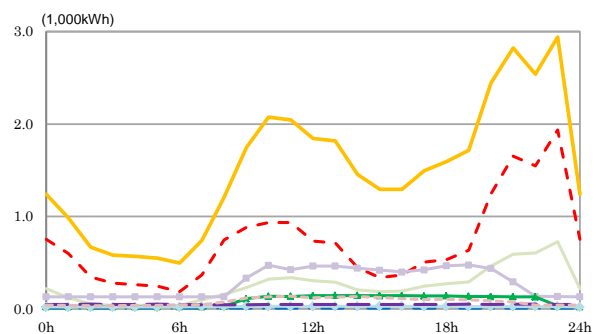


図-2 休日時刻別電力需要量 (通常仕様)

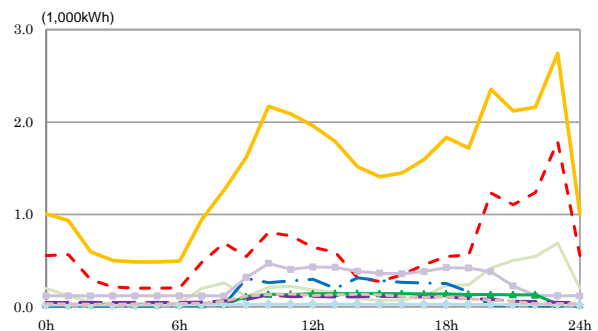


図-3 平日時刻別電力需要量 (省エネ仕様)

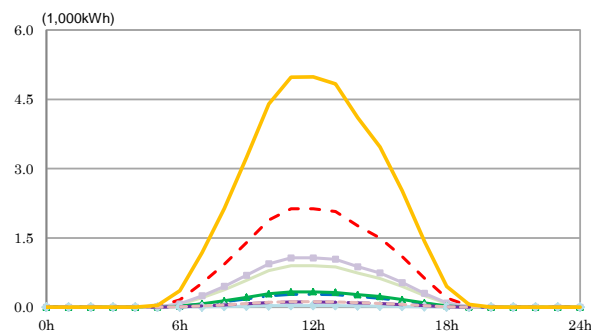


図-5 平日・休日時刻別発電量 (仕様共通)

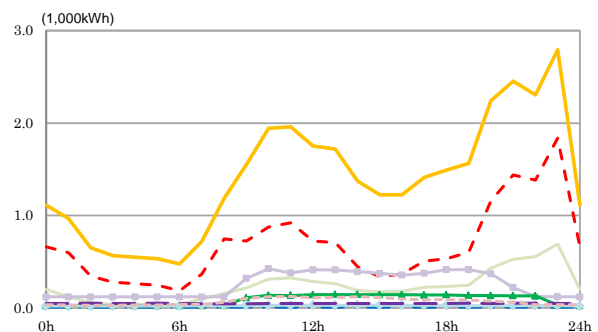


図-4 休日時刻別電力需要量 (省エネ仕様)

5.3 考察と検討

表-7における通常仕様の「本報告」と「前報¹⁾」を比較すると、(I)および(II)のパターンでは年間の電力自給率に約7~9%の差が生じる結果となった。これは計算に使用したデータ数の違いによるものと考えられる。「前報¹⁾」では、電力需要量は各月代表2日(平日・休日)×12か月×毎時、日射量は各月代表1日×12か月×毎時に対し、「本報告」では共に365各日×毎時のデータを使用した。そのため「本報告」の方が日々の電力需要量や発電量の変動が大きく、電力自給率の算出結果に影響したと考えられる。一方、(III)のパターンでは、蓄電池の損失を除いた発電量の積算値全てが電力自給率の計算に加えられるため、算出結果の差も小さくなったと考えられる。これより本報告における蓄電池を大規模に使用する前提の計算では、天候などによる気温や日射量の変動は、年間の電力自給率の算出結果にそれ程大きな影響は与えないことが明らかとなった。

続いて「本報告」の「通常仕様」と「省エネ仕様」の算出結果を比較すると、(I)および(II)のパターンでは電力自給率の上昇は約2~3%に過ぎず、(III)のパターンでも10%弱しか上がらなかった。これより建物における一般的な省エネルギー手法を導入し、街区内の建物用途間の電力融通と蓄電池を使用した場合でも、本報告では完全な電力自給達成には届かないことが明らかとなった。達成のためには、さらなる高度な省エネルギー手法の導入や、住民の意識を高め省エネルギー行動を促すなどの策を講じる必要があると考えられる。

さらにもう1つの検討として、HASPで計算した6建物用途の年間総電力需要量を各仕様において求め、その低減割合を省エネルギー率として算出した。結果を併せて図-6に示す。建物用途毎に比較すると、延床面積あたりでは事務所が最も高く、小売店と病院も比較的高い値となった。これより本報告の計算条件においてはこの3建物用途が、省エネルギー手法の導入による電力需要量削減効果が大きいことが明らかとなった。以上より省エネルギー化の観点での事務所と小売店、そして病院は、街区内の電力自給率に与える影響が大きい建物用途であるといえる。

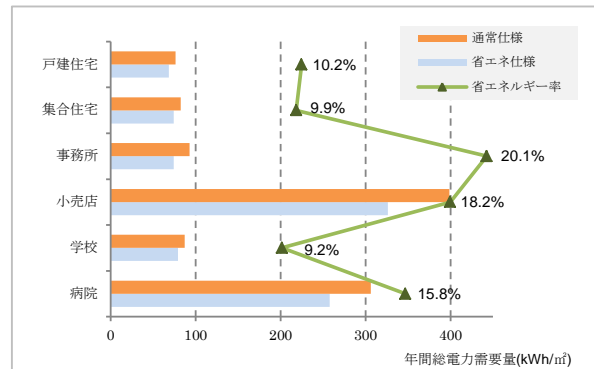


図-6 建物用途毎の省エネルギー率

6. 結論

本報告において得られた知見を以下にまとめる。なおこの結論は、仙台都市圏内(仙台市内およびその周辺近接地域)にて適用される。

- (i) 一般的な想定と省エネルギー手法を導入した想定建物の空調負荷計算を行い、建物用途毎の時刻別電力需要量を算出した。
- (ii) 本報告の条件下では、建物用途間の電力融通を行わない・行う場合を想定し建物の省エネルギー手法を導入しても、街区内の電力自給率の上昇は少ないことが明らかとなった。
- (iii) 本報告の条件下では、建物用途間の電力融通と蓄電池を使用する場合を想定し建物の省エネルギー手法を導入することで、街区内の電力自給率は約10%上昇することが明らかとなった。しかしながら年間で100%には届かず、完全な電力自給達成はならなかった。
- (iv) 本報告の条件下では、HASPによる空調負荷計算を行った6建物用途(戸建住宅、集合住宅、事務所、小売店、学校、病院)のうち、事務所が省エネルギー手法の導入による延床面積あたりの電力需要量削減効果が大きく、次いで小売店と病院が大きいことが明らかとなった。これら3建物用途は電力自給率に与える影響が大きいといえ、これらの構成割合が大きい街区においては建物の省エネルギー手法の導入は、電力自給率の観点でより効果的であると考えられる。

注 釈

- [注 1] T 社蛍光灯型番:FCL30EX-D/28-Z
 [注 2] T 社 LED ランプ 型番:LEDH81800-LC
 [注 3] M 社住宅用ルームエアコン(共通)
 <通常仕様> 型番:MSZ-AX50HS-T
 <省エネ仕様> 型番:MSZ-X6316S-W
 [注 4] M 社住宅用全熱交換器 型番:VL-08SR2
 [注 5] P 社蛍光灯型番:FSA41038F VPN9
 [注 6] T 社 LED ランプ 型番:LEDT-54521HNK-LS9
 [注 7] M 社空冷ヒートポンプ式パッケージエアコン(共通)
 <通常仕様> 室外ユニット型番:PUHY-P450M-E
 室内ユニット型番:PLFY-P45AM(H)-E
 (室外ユニット 1 台につき 10 台設置)
 <省エネ仕様> 室外ユニット型番:PUHY-GP450SDMG3
 室内ユニット型番:PLFY-EP45EMG3
 (室外ユニット 1 台につき 10 台設置)
 [注 8] M 社業務用全熱交換機 型番:LGH-N50CX
 [注 9] S 社太陽電池パネル 型名:SPR-250NE-WHT-J
 [注 10] S 社太陽電池パネル 型名:SPR-X21-345-COM
 [注 11] M 社パワーコンディショナ 型名:PV-PN44KX22
 [注 12] T 社パワーコンディショナ 型名:PVL-LO500E(J)

参 考 文 献

- 菅野智之・鈴木道哉:太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討, 空気調和・衛生工学会東北支部第 5 回学術・技術報告会論文集, (2016-3), pp.73~76
- 総務省・統計局:平成 25 年住宅・土地統計調査結果, <<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/>>, (2016.5.18 最終閲覧)
- 総務省:平成 25 年度固定資産の価格等の概要調書, p. 158, pp.168~169
- 日本エネルギー経済研究所:EDMC エネルギートレンド, (2014-11)
- 経済産業省:平成 19 年商業統計表(二次加工統計表), (2009-2), p. 31
- 赤林伸一・坂口淳ほか:住宅用エアコンの COP の現状と APF の地域特性に関する研究, 日本建築学会技術報告集, (2014-2), pp.187~190
- フラット 35:断熱等性能等級 4 技術基準, (2016-4), p. 2, p. 9, p. 11, p. 13
- 株式会社野村総合研究所:住宅・建築物の省エネ基準適合義務化に係る調査, (2012-2), pp.18~19

- Panasonic:おすすめの畳数設定について, <http://panasonic.jp/light/jou_su/>, (2016.9.15 最終閲覧)
- 三菱電機:必要換気量の求め方, <http://www.mitsubishielectric.co.jp/ldg/ja/products/air/lineup/industrialfan/knowledge/ventilation_01.html>, (2017.1.28 最終閲覧)
- 菅原諒:大学施設のエネルギー消費実態と省エネルギー化に関する研究, 東北学院大学平成 24 年度修士論文, (2013-2), p. 113
- 文部科学省・日本学校保健会:学校環境衛生の基準, (2004-2), p. 3
- Panasonic:病院の照明, <<http://www2.panasonic.biz/es/lighting/plam/knowledge/document/0210.html>>, (2016.9.15 最終閲覧)
- 成田政杜:多賀城市における建築物のエネルギー消費量削減に関する調査研究, 東北学院大学平成 26 年度修士論文, (2015-2), pp.20~24, pp.35~40, pp.47~49
- NEDO:太陽光発電導入ガイドブック(本編), (1998-8), pp.76~77
- NEDO:日射量データベース閲覧システム, <<http://app0.infoc.nedo.go.jp/metpv/metpv.html>>, (2016.4.26 最終閲覧)
- JPEA:太陽光発電協会 表示ガイドライン(平成 26 年度), (2014-9), p. 3

福島県新地町における家庭の電力モニタリングに関する研究

○中村省吾（国立環境研究所），平野勇二郎（国立環境研究所）

Study on Residential Electricity Monitoring in Shinchi-Town, Fukushima Prefecture

Nakamura Shogo (National Institute for Environmental Studies),
Hirano Yujiro (National Institute for Environmental Studies)

キーワード：電力消費，モニタリング，スマートメータ，情報通信システム

はじめに

福島県新地町は環境未来都市に選定され、環境・経済・社会の価値を高める「スマート・ハイブリッドタウン」構想を掲げ、地域における省エネルギー行動を支援する地域の情報ネットワークシステム（地域 ICT システム）の導入を進めている。この構想では、地域住民と自治体や研究機関、企業の間を双方向型の情報ネットワークで繋ぎ、地域環境や生活の情報を共有する新しい地域情報基盤のプロトタイプを構築する。この技術開発・実装に向けて、2013年3月には新地町と国立環境研究所の間に連携・協力に関する基本協定が締結された。現在、新地町の住宅や公共施設等にタブレット端末を整備してスマートメータによるエネルギー消費情報の表示や、健康・福祉、交通などの地域における社会コミュニティ活動や復興まちづくりに関する情報を共有する地域 ICT システムの構築を進めている。この地域 ICT システムは、ユーザー側からはタブレット端末「新地くらしアシストタブレット」を介して、自治体からユーザーへ種々のサービス情報の発信や、ユーザー間のコミュニケーションなど、双方向的な情報の発受信が可能である。このシステムから取得した地域情報データを解析し、復興まちづくり支援や地域活性化に貢献することを目的としている。

本稿ではこの地域 ICT システム開発の一環として、住戸における電力計測機器とクラウドサーバ、タブレット型携帯端末を利用した家庭のエネルギー消費モニタリングの事例を紹介する。

1. 地域 ICT システムの機能

図-1 に現在開発を進めているシステムのエネルギー部分の概念図を示す。基本コンセプトとして、まず供給側では火力発電や自然エネルギーを併用し、発電量と CO₂ 排出量を予測し、その予測情報を制御情報として活用する。一方、需要家側

では各家庭においてスマートメータを導入し、「新地くらしアシストタブレット」をスマートメータの表示端末として用いる。このシステムは双方向型の情報端末であり、供給側と需要側の情報がスマート・ハイブリッドセンターに集積され、エネルギー需給情報を一括管理する。この情報システムを用いて、例えば需給情報に応じた需要側への節電メッセージの送付、節電行動の「見える化」、地域内での省エネランキング情報の提供などを行う。最終的には、需要側と供給側を地域 ICT システムにより直接結びつけることによるエネルギー価格のダイナミックプライシングを導入し、需給平滑化による自然エネルギー導入拡大とそれに伴う CO₂ 排出削減の実現を目指す。

このシステムの機能の詳細は開発中であるが、すでにエネルギー使用量の見える化や他の種々の機能を実装し、新地町において約 100 世帯にタブレット端末を配布して実証実験を進めている。また、本稿はエネルギーに着目しているが、他にも例えば地域情報マップ、地域掲示板、災害情報の表示、町の新着情報の表示、町役場によるアンケートの効率化などの様々機能を実装している。

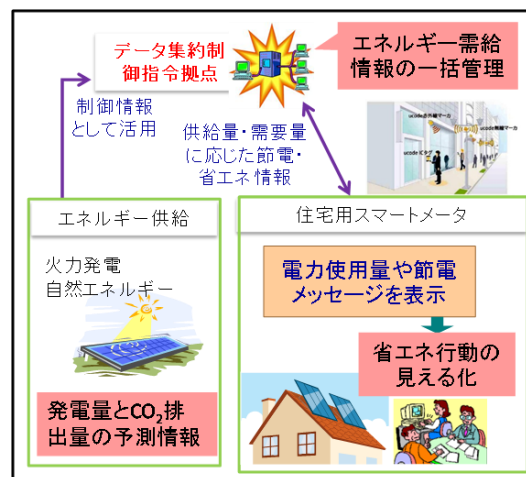


図-1 地域 ICT システムの概念図（一部）

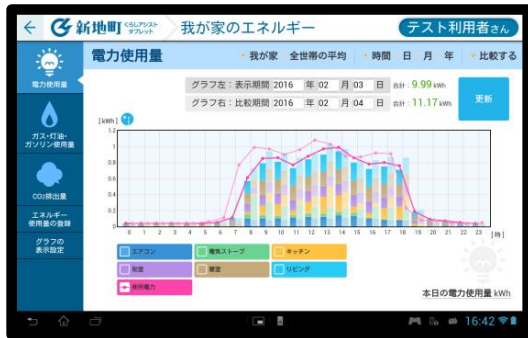


図-2 エネルギー画面の表示例

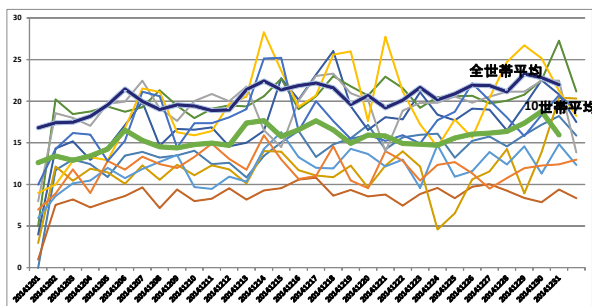


図-3 日別消費電力の例 (2014年12月)

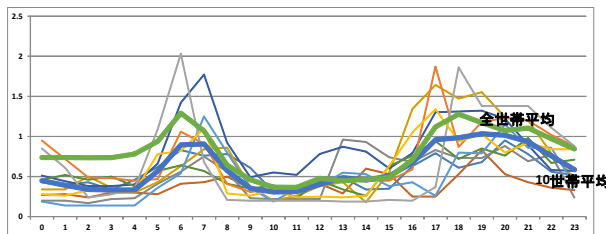


図-4 時刻別消費電力の例 (2014年12月8日)

2. エネルギーモニタリング

図-2 にタブレット端末における表示例を示す。この画面では、電力消費量をリアルタイムで見える化するするとともに、多世帯と比較する省エネランキングの表示や地域内電力使用状況の表示を可能にする。また、地域の省エネキャンペーンによるインセンティブの付与や、各世帯の電力使用状況に応じた省エネ情報の提供が可能である。

図-3、図-4 にこのシステムにより取得した電力データの例を示す。ここでは日別、時刻別のデータの例を示した。なお、図の細線は個別サンプルのデータであるが、ここでは見やすさを考慮して10世帯のみを抽出して図化し、これとあわせて抽出した10世帯の平均と全体の平均を太線で図化した。これはごく一例であり、サーバには全ての

モニター世帯の時刻別のデータが常に蓄積されている。また、電力計測は6系統に分かれてデータ取得しているため、主要機器情報と合わせて大体の用途の把握が可能である。

3. 省エネキャンペーン

地域 ICT システムの活用事例として、世帯単位での省エネルギーに向けた取組みの推進と、情報提供によってモニターに気づきをもたらすため、エネルギー機能を活用したキャンペーン形式の省エネ実験を実施した。

このキャンペーンは、節電率により各世帯の順位づけを行ない、期間を通じた平均節電率によるランキングで上位の世帯に報奨を贈呈することとした。報奨は町内施設で利用可能な商品券とした。キャンペーンはこれまでに3回実施し、報奨や事前情報提供などを変化させて種々の実験を行っている。この省エネキャンペーンは研究者サイドからは省エネルギー行動実施に関する実証実験でもあり、住民への経済的インセンティブの付与や省エネ情報提供の効果についての有益な成果を得た。結果の詳細は文献¹⁾を参照されたい。

まとめ

本稿では著者らが新地町において開発を進めている地域 ICT システムによる電力モニタリングの例を紹介した。この例はまだ開発中であるが、その後の状況として新地町はスマートコミュニティ事業に採択されており、今後、このエネルギーネットワークに地域 ICT システムを結びつける予定である。また、現在は見える化の段階であるが、次に地域における節電のポイントシステム、さらにダイナミックプライシングや自動デマンドレスポンスへと発展させる予定である。

謝辞

本研究は環境省「平成28年度 CO₂テクノロジーアセスメント推進事業委託業務」の一環として実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) H. Shiraki, H. Tanaka, S. Nakamura, Effect of Energy Saving Campaign in Fukushima (2016年11月) 国立環境研究所 Booklet series of environmental emergency research Vol.3, 6-10.

A-19

福島県における市町村別の家庭用エネルギー消費量推計

○平野勇二郎, (国立環境研究所), 中村省吾 (国立環境研究所),

五味馨 (国立環境研究所), 藤田壮 (国立環境研究所)

Residential Energy Consumption Estimation Per Municipality in Fukushima Prefecture

Hirano Yujiro (National Institute for Environmental Studies),
 Nakamura Shogo (National Institute for Environmental Studies),
 Gomi Kei (National Institute for Environmental Studies),
 Fujita Tsuyoshi (National Institute for Environmental Studies)

キーワード：家庭部門エネルギー, 生活行動, 間接 CO₂ 排出, 地方自治体

はじめに

地域における省エネルギーや CO₂ 排出量の削減は地方自治体にとってきわめて重要な課題である。とくに、生活行動に伴うエネルギー消費起源の CO₂ 排出削減に関する研究事例として、都市域におけるモニタリングや建築レベルのシミュレーションの事例は多い。また、全国レベルではマクロモデルに基づく推計も行われている。しかしながら、大都市から離れた中山間地などでは人口減少が進んでいることから、都市以外の地域における様々な地域条件において調査事例を蓄積することが必要である。とくに地域の低炭素型ライフスタイルによる対策を考えた場合、民生・産業・運輸の全部門を通じた CO₂ 排出を消費者側から把握することも重要である。このためには、工業製品購入による CO₂ 排出も工場側ではなく消費者側の地域においてカウントすることも必要となる。こうした背景から、本研究では自治体スケールの詳細なエネルギー消費とそれに伴う CO₂ 排出量の推計を行った。

1. 解析対象地域とモデル

本研究では対象地域として福島県の各市町村を選択した。ただし現在の福島県は東日本大震災に伴う原子力発電所の事故による避難指示等で種々のデータも不十分であり、非常に現状が把握し難い状況である。そこで本研究では震災前の 2010 年を対象年とした。ただし、データの都合で必要に応じて他年次データも用いた。

本研究では民生家庭部門におけるエネルギー消費起源の CO₂ 排出に加えて、自家用車の利用によるガソリン消費起源の CO₂ 排出、工場や業務施設

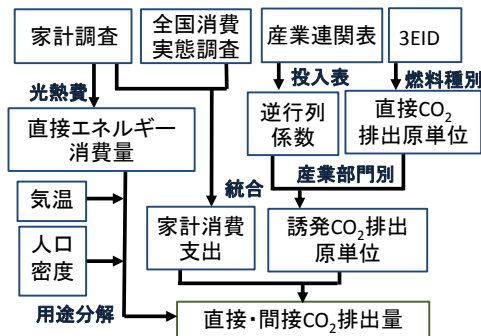


図-1 本研究の手法

におけるエネルギー消費起源の CO₂ 排出を消費者側から比較可能な形で示した。本研究における推計手法を図-1 に示す。推計手順として、まず家計調査による光熱費の支払額と小売物価統計によるエネルギー価格から直接エネルギー消費を算出し、著者らによる用途分解手法¹⁾により気温と人口密度から地域およびエネルギー利用の用途に分解した。また、井原ほか²⁾の手法を参考に、2005 年の産業連関表を用いて直接・間接 CO₂ 排出を算出し、直接 CO₂ 排出および電力消費による間接 CO₂ 排出を前述の直接エネルギー消費による CO₂ 排出と対応させることにより用途分解した。その際、市町村別の消費支出データは家計調査の市町村別推計値³⁾を用いた。

2. 推計結果

エネルギー源別の CO₂ 排出の推計結果を図-2 に示す。ここでは生活行動に伴う CO₂ 排出を検討するため、間接 CO₂ 排出も対等に比較可能な形で示した。この結果、直接エネルギー消費に関して

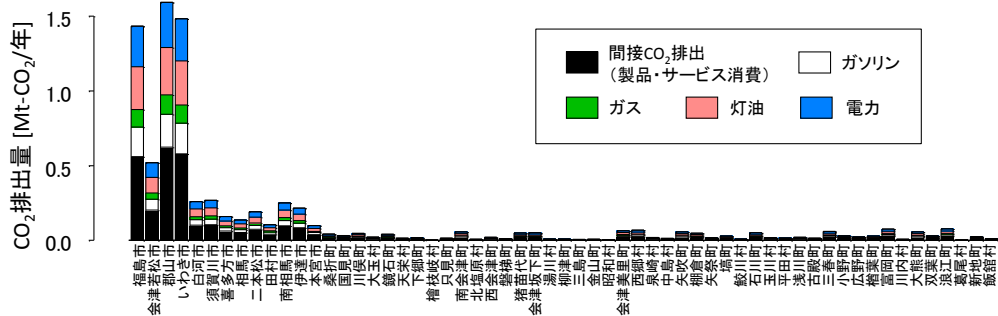


図-2 エネルギー源別の CO₂ 排出量の算定結果

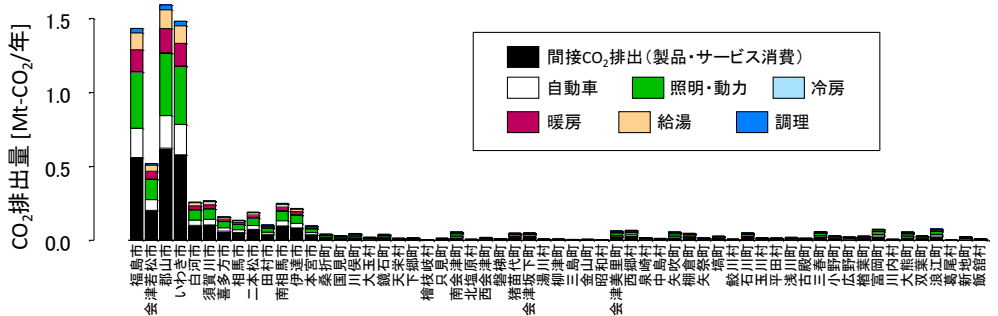


図-3 エネルギー消費による CO₂ 排出量の用途分解の結果

は灯油の消費量が比較的大きく、著者らの既報と比較すると寒冷地の特徴が読み取れる。また、電力起源の CO₂ 排出と燃料消費の CO₂ 排出を合わせて考えた場合、平均的には他の間接 CO₂ 排出よりも若干大きい。この結果から、当然ながら CO₂ 削減のためには当然ながら省エネルギー行動は重要であるが、間接 CO₂ 削減も同様に重要であることが推察される。

次に直接エネルギー消費分を用途別に分解した結果を図-3 に示す。この図から、照明・動力の CO₂ 排出量は比較的多く、直接エネルギー消費分の約半分を占めるという結果となった。また、寒冷地の特徴として暖房と給湯も比較的大きいことから、温熱供給方法も例えば太陽熱利用やコージェネレーションなど様々な方策について検討する価値がある。一方、寒冷地であるため、冷房は暖房や給湯と比較し非常に小さく、図-3 上ではほとんど確認できない結果となった。

3. まとめと今後の課題

本稿では福島県の各市町村を対象として、エネルギー消費起源の CO₂ 排出量の推計結果を示した。ただし人口密度が極端に低い場合に既往研究³⁾のモデル式の適用性については検証が必要であ

る。また、間接 CO₂ 排出推計では、消費支出のデータとして家計調査の地域別推計値³⁾を用いたが、この CO₂ 排出の推計精度は家計調査の地域別推計精度に依存するため、今後検証が必要である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、東京大学の井原智彦准教授にご指導を頂きました。本研究は環境省「平成28年度 CO₂ テクノロジーアセスメント推進事業委託業務」の一環として実施されました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平野勇二郎・戸川卓哉: 家庭部門における CO₂ 排出量推定モデル. 2013年度日本建築学会大会, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2013), pp.671~672.
- 2) 井原智彦・本瀬良子・工藤祐揮: 産業連関表を用いた家計消費支出に伴う CO₂ 排出解析の考察, 環境システム研究論文発表会講演集, 37, (2009), pp.267~273.
- 3) JPS: 消費支出推計データ 2010 (市区町村/メッシュ), JPS データベースライブラリー.

秋田県の戸建住宅における地中熱ヒートポンプ空調システムの 省エネルギー性に関する事例研究

田村和輝（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），
細淵勇人（秋田県立大学），

Case study of energy performance in a detached house with
grand source heat pump system in Akita

Tamura Kazuki(Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural
University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hosobuchi Hayato (Akita
Prefectural University)

キーワード：住宅用地中熱ヒートポンプ，省エネルギー性，温熱環境，実測調査

はじめに

地球温暖化問題に対して，住宅分野で省エネルギー住宅の普及が進められているが，その環境計画手法の一つとして自然エネルギーの利用が挙げられる。現在，自然エネルギー利用技術の一つとして地中熱ヒートポンプ（以降，GSHP）が実用段階にあるが，実際に居住者が使用している状態での実測を実施した例が少ないのが現状である。したがって，室内温熱環境やエネルギー消費量の実態を把握し，空調システムの高効率設備としての有用性を評価することは，意義あることである。

本研究グループでは，すでに居住状態の住宅一件を対象とした実測調査を通じて GSHP の省エネルギー効果を検証¹⁾したが，薪ストーブを主として使用しているため GSHP の稼働率が低く，SCOP は定格値を下回っていた。その後，GSHP のみで暖冷房を行う事例の室内温熱環境やエネルギー消費量を調査する機会を得たため，改めて長期の実測を企画した。本研究では 2016 年 3 月から同年 12 月までを計測したデータを分析する。

1. 住宅概要

表-1 に対象住宅の概要 図 1 に平面図を示す。調査対象は秋田県能代市に立地する居住状態の戸建住宅である。居住者は夫婦と子供 3 人の 5 人家族である。暖冷房設備には GSHP を利用した FCU と温水パネルを使用している。住宅の断熱仕様は，

表-1 に示す通りであり，十分な断熱が施されており，開口部のサッシは樹脂製で，ガラスは Low-e 複層ガラスである。住宅の断熱性能(U_A 値)を省エネルギー基準に準じて算出²⁾したところ， $0.57W/(m^2 \cdot K)$ となり，基準値(0.75)を十分に満たす。給湯設備は，自然冷媒(CO_2)ヒートポンプを使用している。換気設備は第 3 種機械換気である。

GSHP の仕様として 地中熱交換器の深さは 100 m，定格運転時の暖冷房出力が 10kW，成績係数 COP が暖房時 3.7，冷房時 3.2 である。また，GSHP システム全体の成績係数である SCOP は暖房時 3.2，冷房時 2.9 である。配管内を循環する不凍液は，1 次側ではエチレングリコール，2 次側ではプロピレングリコールが使用されている。電力消費量は冷房で 3.38kW，暖房で 3.06kW で定格流量は 20L/min である。

2. 実測調査概要

測定項目は，室内外の温湿度，GSHP 室外機の 1・2 次側の往還配管表面温度である。図-1 に平面図とともに主な測定箇所を示す。配管表面温度は，往還配管に熱電対を貼付し，1 分間隔で測定した。室内外の温湿度は小型データロガーを 1m 付近の高さに設置し，20 分間隔で測定した。なお，GSHP の電力消費量と不凍液の 1 次側往還温度については，施工を担当した企業が計測しているためデータを共有した。

表-1 住宅概要

所在地	秋田県能代市	
構造	木造2階建	
住宅形式	戸建住宅	
家族構成	夫婦+子供3人	
竣工年	2015年12月	
延床面積	240.98㎡	
断熱材	天井・屋根	高性能グラスウール24K 150mm
	壁	フェノールフォーム1種2号 50mm
	基礎	押出法ポリスチレンフォーム3種 30mm
窓	サッシ	樹脂サッシ
	ガラス	Low-e 複層ガラス
設備	給湯	自然冷媒(CO ₂)ヒートポンプ
	換気	第3種
	暖房	温水パネル
	冷房	ファンコイルユニット
外皮平均熱貫流率(U _a 値)[W/(m ² ·K)]		設計値 0.57 基準値 0.75

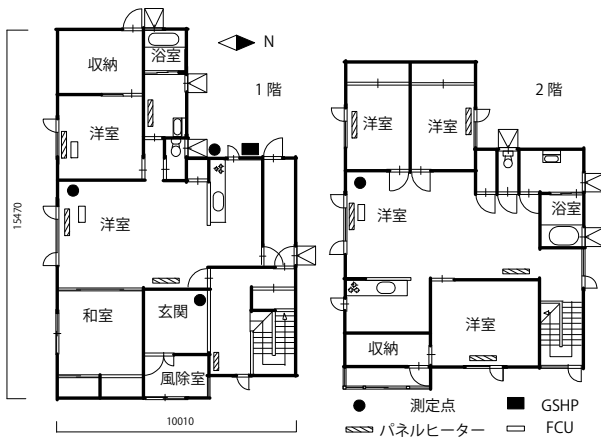


図-1 住宅平面図

3 実測結果

3.1 室内温熱環境

図-2に夏季(2016年8月1日~8月31日), 図3に冬季(2016年11月10日~12月10日)の約1か月の室内外温度と室内外湿度を時刻別平均にて示す。

夏季は冷房使用により室内温度は25程度で安定している。昼と夜間の外気温の差は10程度あり, 夜間に外気温が20近くまで低下しているが, 室内温度は昼の時間帯との変動が小さい。このことから, 夏季の室内温度は外気温の影響が小さいといえる。冬季も外気温に影響されず, 22程度で一定となっている。いずれも室内温度の変動や分布が小さく, 断熱性能の高さが効果を発揮していると判断される。夏季の室内における相対湿度は60から70%で推移している。冬季の室内における相対湿度は40から60%と夏季よりばらつきがある。1階や玄関は40から50%であり, 2階は60%程度となっている。これは, 主な生活空間が2階であることが原因の一つとして考えられる。

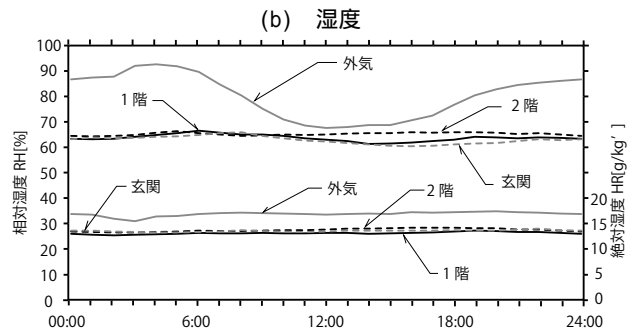
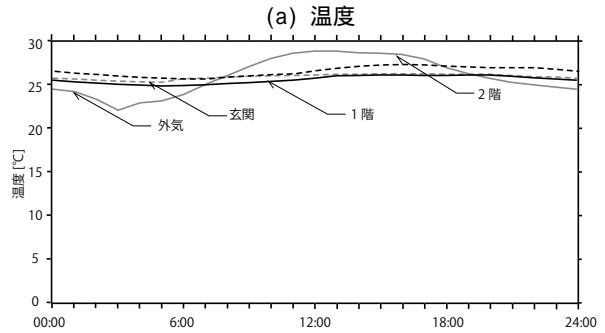


図-2 夏季における時刻別平均の温度・湿度変動 (2016.8/1~2016.8/31)

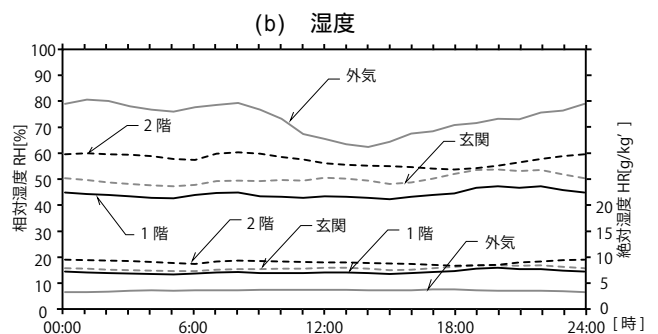
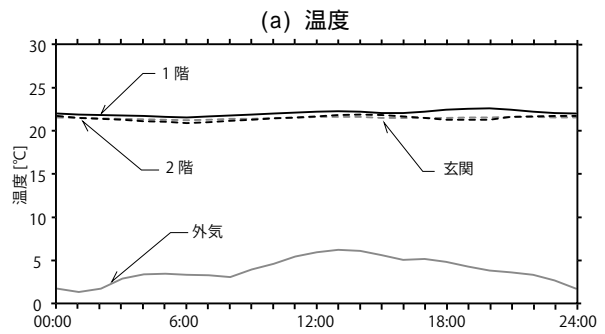


図-3 冬季の時刻別平均の温度・湿度変動 (2016.11/10~2016.12/10)

3.2 GSHP の稼働状況

図-4, 5 に, 夏季と冬季 1 週間の各部温度, 室内外温度, 熱負荷^{注)}, 電力消費量, SCOP^{注)}の推移を 1 時間間隔にて示す。夏季の SCOP は 2.0 から 3.0, 冬季の SCOP は 1.5 から 3.5 程度で推移し, 定格 SCOP を下回る結果となった。これは, 夏季の電力消費量が定格の値の約 15% 程度であり, かつ, 熱負荷は定格の値の約 10% 程度となっている。

3.3 SCOP と室内外温度の関係

図-6 に SCOP と室内外温度の関係を示す。図には非居住状態の展示用住宅(UA 値 0.22W/(m²・K))として既往の研究で調査した結果¹⁾を併せて示す。夏季, 冬季の両事例は室内外温度が大きくなると SCOP がわずかに小さくなっている。居住状態は非居住状態より SCOP が低く, 室内外温度差が高い。

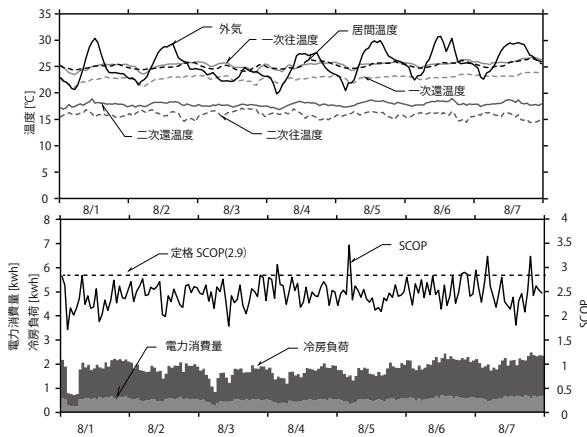


図-4 夏季の各部温度と電力消費量・SCOP の推移 (2016.8/1 ~ 2016.8/7)

3.4 1 次行き温度と放熱量 (採熱量) の関係

図-7 に 1 次行き温度と放熱量 (採熱量) の関係を示す。居住状態では非居住状態より 1 次行き温度の値が大きくなっていることが多い。夏季において両住宅は放熱量が類似し, 1 次往温度差は 5 しかない。冬季では 1 次行き温度が大きくなるにしたがって 採熱量が減少している。これは, 1 次往温度と地中温度の差が小さくなることで採熱量が減少しているのだと考えられる。

3.5 暖房負荷と電力消費量の関係

図-8 に, 暖冷房負荷と電力消費量の関係を示す。夏季の結果では, 電力消費量が大きくなるにつれて, 冷房負荷が大きくなる。冬季では電力消費量に対する熱負荷の発生が小さくなっている。居住状態における夏季, 冬季の両方では非居住状態に比べて傾きが小さくなっている。

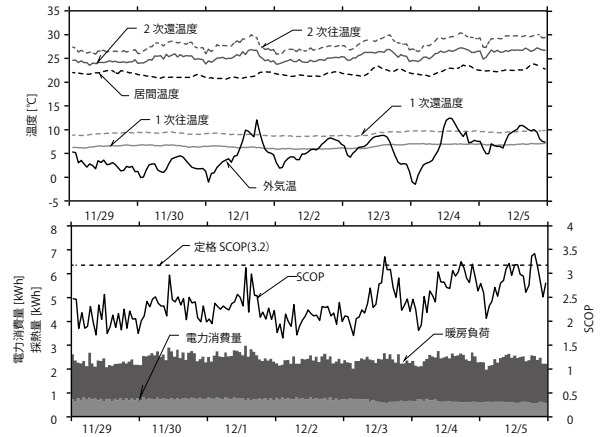


図-5 冬季の各部温度と電力消費量・SCOP の推移 (2016.11/29 ~ 2016.12/5)

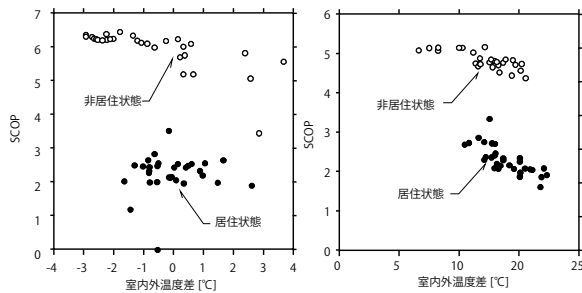


図-6 SCOP と室内外温度の関係 (夏季, 冬季)

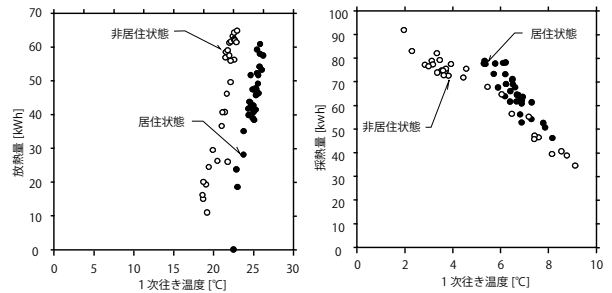


図-7 1 次行き温度と放熱量 (採熱量) の関係 (夏季, 冬季)

3.6 電力消費量と室内外温度差の関係

図-9 に電力消費量と室内外温度差の関係を示す。居住状態では内部発熱の影響があるため、非居住状態の内部と単純に比較できなが、室内外温度差と暖冷房時の電力消費量には明確な関連が見られる。夏季において室内外温度差が小さいほど電力消費量が大きくなっている。これは、冷房が安定して行われていることが示される。冬季では両事例におけるグラフの傾きは類似しており、室内外温度差が増加すると比例して電力消費量も増加する。これは 室内外温度差が大きくなるほど、GSHP の稼働率が高くなるためであると考えられる。

4 地中温度の比較

図-10 に地中温度(深さ 20m,40m,60m,100m)、放熱量(採熱量)、外気温、居間温度の 5月~12月までを1月ごとに平均した値を示す。地中温度は外気温に影響されるが、およそ 10 から 20 の間を推移している。地中温度は深くなるほど 15 程度に近い値になることが分かる。夏季の放熱をしている 7月から9月の期間では、地中温度は外気温より常に 5 程度低い値を示している。

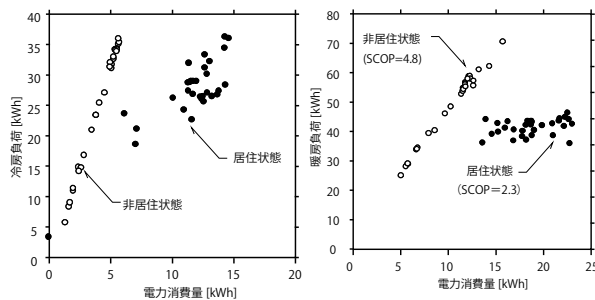


図-8 暖房負荷と電力消費量の関係 (夏季, 冬季)

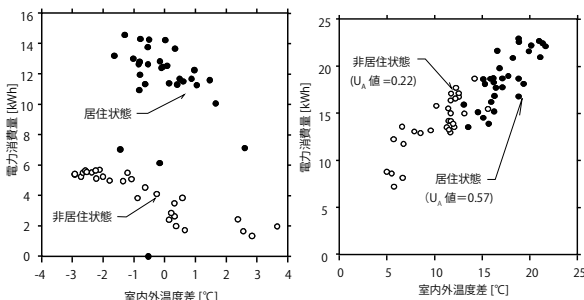


図-9 電力消費量と室内外温度差の関係 (夏季, 冬季)

冬季の採熱をしている 11月から12月の期間では地中温度は外気温より約 5 程度高い値を示している。

結論

居住状態の温熱環境は良好であることが確認できたが、GSHP は定格通りの SCOP で稼働していることを確認することができなかった。原因には不明な点が多いため、引き続き事例の評価を行う必要がある。

謝辞

本研究を進めるに当たり、測定にご協力いただいた居住者の皆様、並びにサクラバ設計・桜庭徹氏に多大なご協力を頂きました。ここに記して謝意を表します。

注

暖房(冷房)負荷： $Q_2 = C_{2b} \rho_{2b} m_{2b} (T_{2out} - T_{2in})$

C_{2b} : 2次側ブライン比熱[kJ/kg/K]

ρ_{2b} : 2次側ブライン密度[kg/l]

m_{2b} : 2次側ブライン流量[l/s]

T_{2out} : 2次側ブライン還り温度[]

T_{2in} : 2次側ブライン行き温度[]

$$SCOP = \frac{Q_2}{\text{電力消費量}}$$

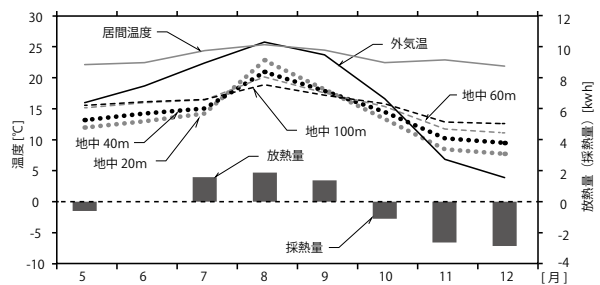


図-10 地中温度の比較

参考文献

- 1) 阿部 友紀：秋田県の戸建住宅における地中熱ヒートポンプ空調システムの省エネルギー性に関する研究,平成 27 年度修士論文,2016 年 3 月.
- 2) 国土交通省住宅局：平成 25 年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説 住宅, 2013 年 5 月

浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法

第2報 設計・性能予測手法の精度向上の検討と実導入事例との比較による精度検証

○東谷貴（北海道大学），葛隆生（北海道大学），長野克則（北海道大学），

大江基明(㈱イノアック住環境)，安江伸二(㈱イノアック住環境)，赤井仁志（福島大学/北海道大学）

Design and performance prediction method for vertical type spiral ground heat exchanger buried in shallow layer

Higashitani Takashi (Hokkaido University), Katsura Takao (Hokkaido University),
Nagano Katsunori (Hokkaido University), Oe Motoaki (Inoac Corporation),
Yasue shinzi (Inoac Corporation),
Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University),

キーワード：地中熱ヒートポンプシステム，螺旋状地中熱交換器，浅層土壌，設計・性能予測手法

はじめに

近年、再生可能エネルギーの一つとして地中熱ヒートポンプシステム(以下 GSHP)システムが日本でも注目されているものの、地中熱交換器(以下 GHEX)の設置コストの削減が未だに大きな課題となっている。設置コストの削減の方法としては小規模建物であれば、配電工事用建柱車を活用した垂直スパイラル型地中熱交換器 (VSGHEX) の設置が有効であると考えられる。近年では GHEX の設置方法の標準化や熱交換器(螺旋状コイル)の汎用化も進められ、これら技術を活用することにより今後十分なコスト競争力を持つ GSHP システムが確立されることが期待される。一方で VSGHEX については、深度 4~20m 程度の浅層土壌を利用し、かつ口径が数百 mm になる螺旋状コイルを用いるため、地表面の影響とボアホール内部の熱容量を考慮した GHEX の設計・性能予測手法が求められている。

本論文ではまず、既報¹⁾で開発された VSGHEX の計算モデルの精度を向上させることを試みた。さらに VSGHEX を用いた地中熱ヒートポンプシステムの実測を行い、VSGHEX の性能を評価すると共に、実測値と計算値の比較を行い、計算モデルの精度を検証した。

1. 螺旋状地中熱交換器の計算モデルの精度向上

既報¹⁾では螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法として、図1のような熱回路網を用いた計

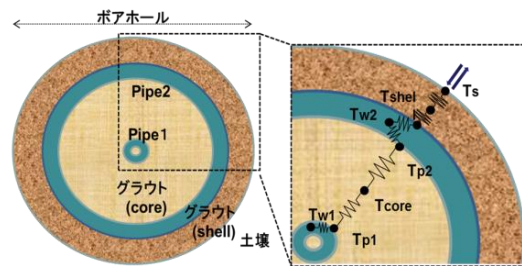


図1 熱回路網を用いた計算モデル

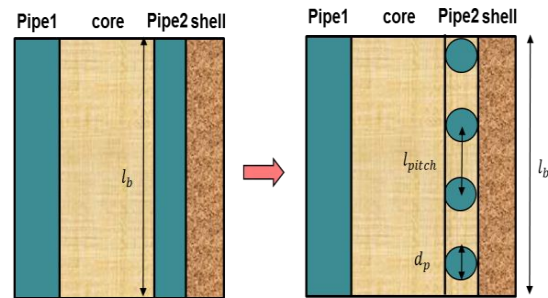


図2 熱回路網におけるモデルと実際の形状

算モデルが開発された。この熱回路網による計算モデルのグラウト core 部(VSGHEX の中心部)、グラウト shell 部(VSGHEX の遠心部)の熱収支はそれぞれ以下の式で表される。

$$\frac{T_{shell} - T_{core}}{2\pi l_b \lambda_{grout} \ln\left(\frac{r_{shell}}{r_{core}}\right)} + \frac{T_{p2} - T_{core}}{2\pi l_b \lambda_{grout} \ln\left(\frac{r_{p2}}{r_{core}}\right)} = c_{grout} \rho_{grout} l_b \pi r_{p2}^2 \frac{dT_{core}}{dt} \quad (1)$$

$$\frac{T_{p2} - T_{shell}}{2\pi l_b \lambda_{grout} \ln\left(\frac{r_{shell}}{r_{p1}}\right)} + \frac{T_s - T_{shell}}{2\pi l_b \lambda_{grout} \ln\left(\frac{r_b}{r_{shell}}\right)} + \frac{T_{core} - T_{shell}}{2\pi l_b \lambda_{grout} \ln\left(\frac{r_{shell}}{r_{core}}\right)} = c_{grout} \rho_{grout} l_b \pi (r_b^2 - r_{p1}^2) \frac{dT_{shell}}{dt} \quad (2)$$

(1)、(2)式の左辺の熱抵抗の計算において、図2の左図のようにVSGHEXを円筒と見立てて計算を行っているが、実際の形状は図2の右図のように螺旋状であるため、この式を用いて計算すると誤差が生じる。そのため、(1)式と(2)式の左辺にある l_b を l_{p2} に変更した。 l_{p2} はVSGHEXを仮想的に円筒とみなした際の高さに相当するものである。 l_{p2} は、最大 l_b 、最小で d_p となることから式(3)と置いた。

$$l_{p2} = d_p \times \left(\frac{l_b}{d_p}\right)^c \quad (3)$$

l_{p2} の係数である c を求めるために第1報²⁾で開発された比較的精度の高い数値解析モデルと熱流の値を比較することにより精度の向上を図った。方法はまず図3のように地中熱交換器の中心部を通るパイプ(Pipe1)とパイプ内部を流れる流体については考慮せず、熱交換器の螺旋一巻き分をモデル化した。境界条件としてパイプの温度を1°C、土壌の温度を0°Cに固定し、深さ方向に断熱境界を与えた時の熱流の比較を行い、ボアホール表面から土壌への熱流である貫流の定常値がよく合う l_{p2} を求めた。この比較を表1のように d_p 、 d_b 、 l_{pitch} をそれぞれ変更させて計算し、 l_{p2} の係数 c を d_p 、 d_b 、 l_{pitch} の関数として考え、重回帰分析を行い、以下の式(4)を作成した。

$$c = 0.826 - 5.43d_p - 0.848l_{pitch} + 0.154d_b \quad (4)$$

図4と表2は(3)、(4)式を用いて計算した熱流と数値解析により計算された熱流の比較結果である。パイプからグラウトへ移動する熱流を吸熱、ボアホールから土壌へ移動する熱流を貫流と呼ぶが、両方の定常値がよく一致している結果が得られた。

2. 垂直スパイラル型地中熱交換器を用いた地中熱ヒートポンプシステムの実測結果

宮城県美里町で図5に示すような延床面積57㎡、1階建て、Q値が2.92W/㎡/Kの住宅に導入されたVSGHEXを用いた地中熱ヒートポンプシステムを対象に1年間実測を行った。今回の実測では深さ4m、スパイラル径600mm3基、400mm3基のVSGHEX計6基を隣接するVSGHEXの採放熱による影響が少ないように図6のように3~5m間隔を空けて配置した。図7にGSHPシステム系統図を示す。汎用のヒートポンプにVSGHEXを組み込み、冷暖房機器はファンコイルユニット1台を使用した。実測対象住宅では実際に人が生活をしていたため、運転温度設定は不

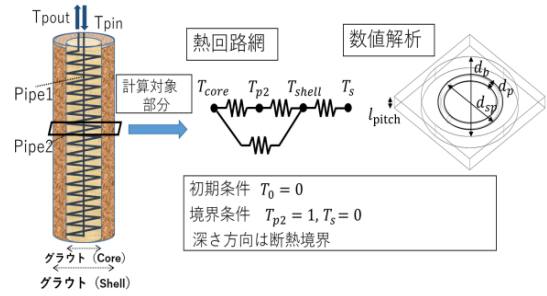


図3 計算モデル比較条件

表1 地中熱交換器条件

	チューブ口径 dp[mm]	ボアホール直径 db[mm]	スパイラルピッチ lpitch[mm]
CASE1	16	450	60
CASE2	16	450	35
CASE3	16	450	140
CASE4	16	800	60
CASE5	16	800	35
CASE6	16	800	140
CASE7	20	450	140
CASE8	25	450	140

図4 熱回路網と数値解析比較の一例

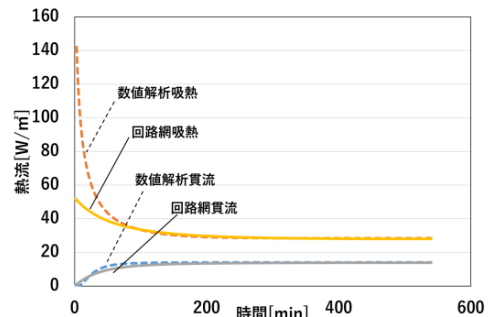


表2 貫流の定常値比較

	数値解析	回路網	相対誤差(%)
CASE1	14.06	13.86	1.4
CASE2	15.11	15.34	1.5
CASE3	10.58	10.50	0.8
CASE4	15.84	15.60	1.5
CASE5	16.93	16.94	0.1
CASE6	12.04	12.29	2.1
CASE7	11.31	11.24	0.6
CASE8	12.15	12.18	0.2



竣工年	2016.1
延床面積	57㎡
階数	1階
熱損失係数(Q値)	2.92

図5 住宅写真と概要

在時のみ表3の設定温度でそれぞれの期間固定したが、在室時は居住者に任せた。

年間の消費電力、採放熱量、出力、SCOPの結果を図8に、年間実測負荷を図9に、年間実測1次側温度を図10に、冬季代表日の1次側温度と流量を図11に、消費電力、採放熱量、出力、SCOPの結果を図12に、夏季代表日の1次側温度と流量を図13に、消費電力、採放熱量、出力、SCOPの結果を図14にそれぞれ示す。冬季代表日は2/10を、夏季代表日は7/31を選択した。

年間の消費電力は1338kWh、採放熱量は4517kWh、出力は3434kWh、SCOPは冬季で3.24、夏季で3.75という結果が得られた。図12、図14からもわかるように今回の条件では地中熱交換器能力に対して負荷が小さいことから、連続運転ではなくこまめに発停を繰り返す運転となった。基本的に間欠運転は連続運転と比べると、運転効率が良くない。そのため、連続運転であれば、今回の結果以上のSCOPを得ることが可能であると推察される。また、図10の実測による温度変化をみると、冬季に比べて、夏季の温度変化が大きい。これは冬季の採熱量は出力-消費電力であるのに対し、夏季の放熱量は出力+消費電力となるのが原因であると考えられる。図11、図13をみると、両方の出力の最大値が2kWh程度であるが、冬季の採熱量の最大が1.5kWh程度、夏季の放熱量の最大が2.5kWh程度となる。今回の実測地は日本の中でもそれほど気温が高くない場所であるが、冷房負荷に対し、35℃近くまで還り温度の上昇が見られた。このことから宮城県以南の地域で地中熱を利用する場合には、冷房負荷による地中温度の変化も十分考慮する必要があるといえる。

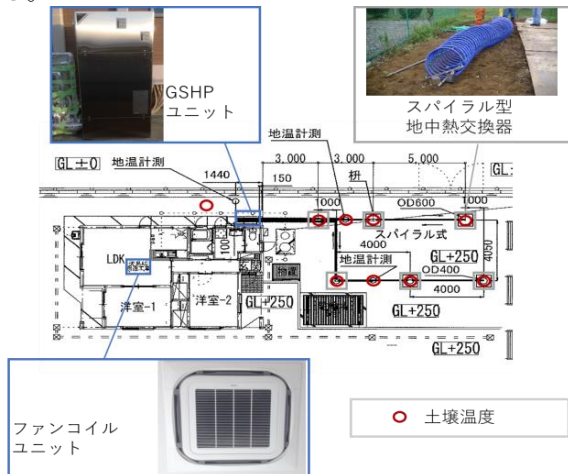


図6 実測地点平面図および測定点

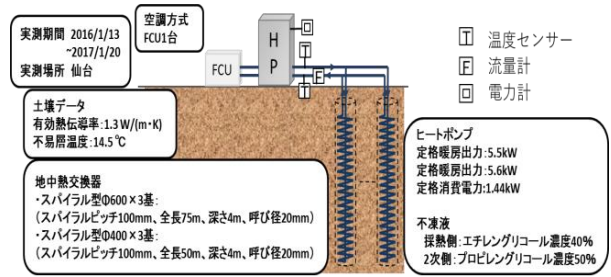


図7 GSHPシステム系統図および測定点

表3 GSHPシステム運転期間と運転条件

	期間	二次側循環温度[°C]	室内設定温度[°C]	空調面積[m ²]
冬季	1/13~3/16	40	20	31
			任意(在室)	31
夏季	6/15~9/30	10	24	46
			任意(在室)	31
冬季	11/1~1/20	40	22	31
			任意(在室)	31

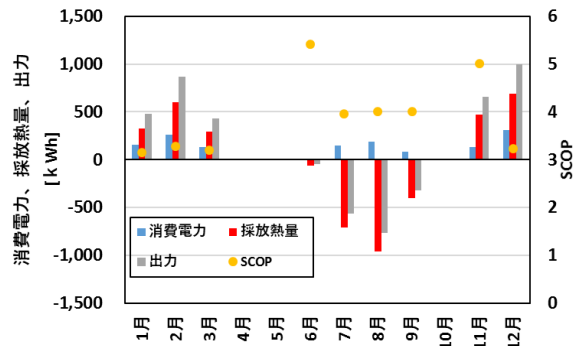


図8 年間の実測結果(消費電力、採放熱量、出力、SCOP)

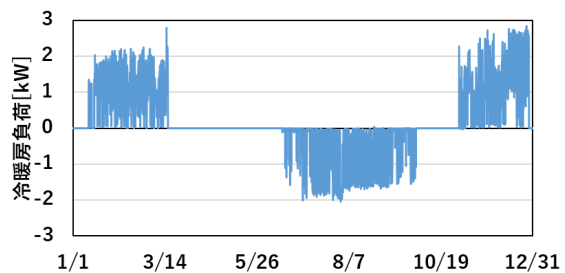


図9 年間の実測負荷

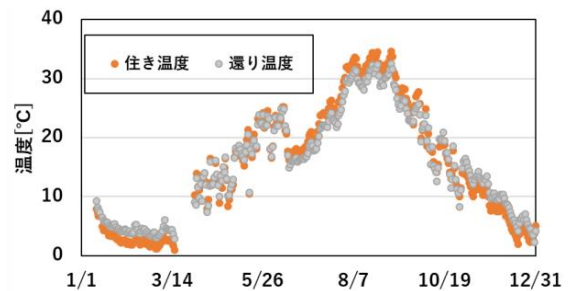


図10 年間実測1次側温度

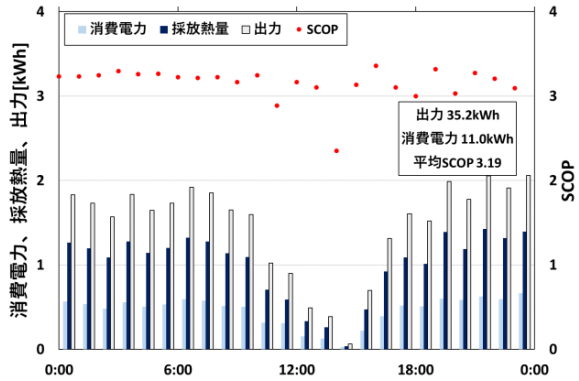


図 11 冬季代表日の実測結果
(消費電力、採放熱量、出力、SCOP)

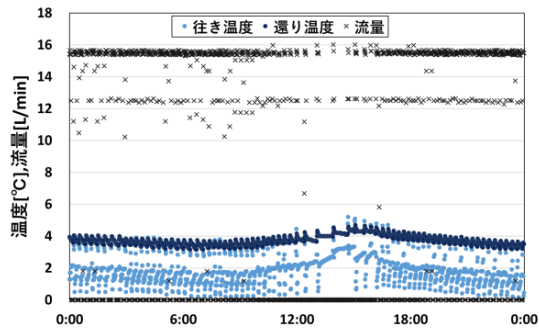


図 12 冬季代表日の実測結果 (一次側温度、流量)

3. 実測結果と計算結果の比較による計算モデルの精度検証

実測結果と計算結果を比較し、計算モデルの精度を検証した。改良した計算モデルを組み込んだ GSHP システム設計・性能予測ツールに実測で得られた負荷を与え、年間計算を行った。図 15 に実測と計算のヒートポンプ入口温度、図 16 に実測と計算の比較を示す。実測値と計算値の誤差は最大でも 2℃程度であり、計算は実測を実用可能な範囲で再現できていると考えられる。

4. まとめ

- 1) 垂直スパイラル型地中熱交換器の計算モデルの精度を向上させた。
- 2) 垂直スパイラル型地中熱交換器を用いた地中熱ヒートポンプシステムを導入した住宅の実測を行い、性能を評価した。
- 3) 実測と計算結果を比較し、計算モデルの精度検証を行い、その再現性を確認した。

【参考文献】

- 1) 葛隆生他: 垂直スパイラル型地中熱交換器を用いた浅層地中熱ヒートポンプシステムの設計・性能予測ツールの開発とその応用, 日本冷凍空調学会年次大会論文集 (2016)
- 2) 葛隆生他: 浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法 第 1 報, 空気調和・東北支部学術・技術報告会

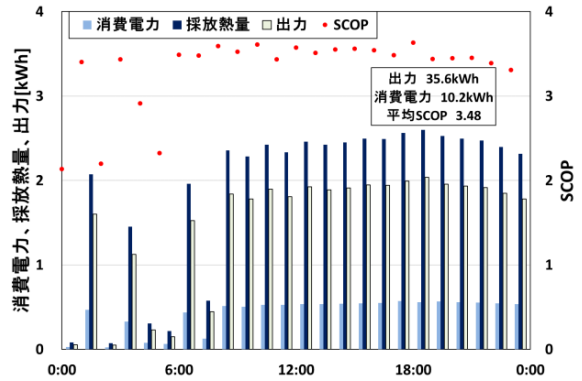


図 13 夏季代表日の実測結果
(消費電力、採放熱量、出力、SCOP)

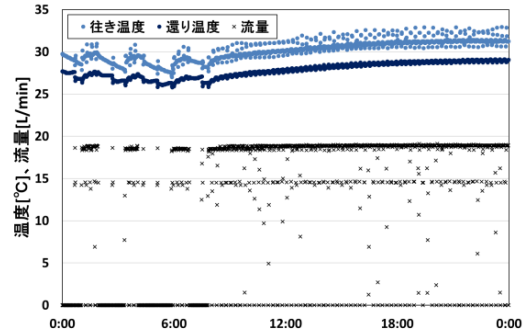


図 14 夏季代表日の実測結果 (一次側温度、流量)

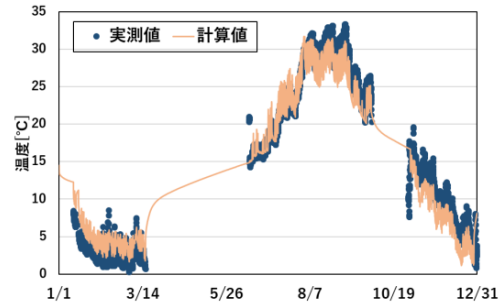


図 15 実測と計算のヒートポンプ入口温度

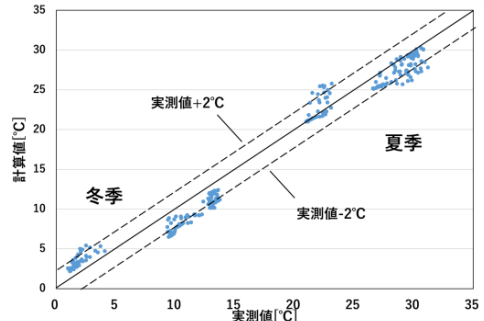


図 16 実測値と計算値の比較

論文集 (2016)

【記号】 c: 比熱[kJ/(kg・K)], d: 直径[m], L: 深さ[m], T: 温度[°C],
λ: 熱伝導率[W/m/K], ρ: 密度[kg/m³]
【添え字】 b: ボアホール, core: グラウト core 部, grout: グラウト, pitch: スパイラルピッチ, p1: パイプ 1, p2: パイプ 2, s: 土壌, shell: グラウト shell 部,

A-22

浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法

第3報：設計・性能予測手法を用いた必要地中熱交換器本数の検討

○葛隆生（北海道大学），東谷貴（北海道大学），長野克則（北海道大学），

赤井仁志（福島大学/北海道大学），奥野敏彦（東北電力㈱），

瀬川和幸（東北電力㈱），山本昌志（㈱ユアテック），

草刈洋行（㈱ユアテック），大江基明（㈱イノアック住環境）

Design and performance prediction method for vertical type spiral ground heat exchanger buried in shallow layer

Katsura Takao (Hokkaido University), Higashitani Takashi (Hokkaido University), Nagano Katsunori (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University), Okuno Toshihiko (Tohoku-Electric Power Co.), Segawa Kazuyuki (Tohoku-Electric Power Co.), Yamamoto Masashi (Yurtec Corporation),

Kusakari Hiroyuki (Yurtec Corporation), Oe Motoaki (Inoac Corporation)

キーワード：地中熱ヒートポンプシステム，螺旋状地中熱交換器，浅層土壌，設計・性能予測手法

はじめに

筆者らは地中熱ヒートポンプ(以下 GSHP)システムに関して、配電工事用建柱車を活用した螺旋状地中熱交換器(以下 VSGHEX)の開発を行っており、本研究は VSGHEX を用いた GSHP システムの設計・性能予測手法の開発に関するものである^{1)~2)}。前報²⁾においては、VSGHEX 内部の熱媒および充填材温度の計算手法について精度向上を図り、さらには実測データとの比較により、実用可能な範囲で性能予測を行えることを確認した。

本報では、その VSGHEX を用いた GSHP システム設計・性能予測ツールを使用して、東北地方の各県と新潟県の各県庁所在地を対象地域として、戸建て住宅に GSHP システムを導入した場合の VSGHEX の必要本数について検討を行った。さらにはその結果をもとに、計算条件などとして与えた各パラメータと VSGHEX の必要本数の関係を分析し、必要本数に与える影響の大きいパラメータを割り出し、VSGHEX 本数を簡易的に推定する方法や、標準的な運転方法に対して VSGHEX の採放熱量を推定する方法を検討した。

1. 必要な螺旋状地中熱交換器本数の検討概要および計算条件

住宅の断熱性能、地域(都市)、土壌の熱伝導率、



図1 標準住宅の平面図

冷暖房の運転条件を変更し、それぞれの条件に対して必要な VSGHEX 本数の検討を行った。住宅の条件として、図1で示される日本建築学会で定められている延床面積 125 m²の標準住宅を設定した。都市については東北地方の県庁所在地である青森、盛岡、秋田、仙台、山形、福島と新潟の7都市を選定した。断熱性能は表1に示す通り地域ごとに、次世代省エネ基準として定められている熱損失係数(Q値)を満たす住宅と、更に高断熱を想定した住宅の2条件を設定した。冷暖房設定温度は冷房28℃、暖房20℃と冷房26℃、暖房22℃の2条件を与えた。運転スケジュールは、特に暖房運転において間欠運転となるとピーク負荷が突

出し、必要 VSGHEX 本数が多くなるのがこれまでの研究で明らかとなっている³⁾ため、図 2 に示すように就寝時や在室人数が少ない時間帯には設定温度を低めにした運転を行うように設定した。これら条件をもとに汎用熱負荷計算ソフトの AE-CAD/AE-Simheat を用いて時刻毎の熱負荷を算出した。計算結果として得られた各都市の断熱性能の条件、設定温度条件に対する暖房負荷合計値、暖房最大負荷、冷房負荷合計値、冷房最大負荷を表 2 に示す。計算結果より Q 値の変化は暖房負荷に与える影響は大きい、冷房負荷に与える影響は小さいことが分かる。また、設定温度の変更は暖房負荷合計値、冷房負荷合計値、冷房最大負荷に与える影響は大きい、暖房最大負荷に与える影響は小さいことが伺える。

この負荷を計算条件として与え、VSGHEX を用いた地中熱ヒートポンプ設計・性能予測ツールにより年間計算を行った際の必要本数を求めた。システム及び地盤条件を図 3 に示す。ヒートポンプ熱源機は家庭用の汎用の機器を用いることを想定した。地中熱交換器は螺旋口径 500mm の VSGHEX を用いることとし、VSGHEX の深度については 4m、8m の 2 条件を考え、それぞれ深さ 1~5m、1~9m の地点に埋設するものとした。地盤およびグラウトの物性値は同じとして考え、熱伝導率は 1.2、1.5、1.8 の 3 条件を与えた。地中温度(不易層温度)については、表 1 に示される温度を与えた。VSGHEX の必要本数については、ヒートポンプ熱源機入口の熱媒温度の最低温度 -5℃、最高温度 35℃を制約条件として、この範囲に収まる最小限の本数を必要本数として求めた。

2. 地中熱交換器必要本数計算結果

北部の 5 都市(青森、盛岡、秋田、仙台、山形)については、暖房期間の制約条件(最低温度 -5℃)により必要本数が決定され、南部の 2 都市(福島、新潟)については、冷房期間の制約条件(最高温度 35℃)により必要本数が決定された。結果として、図 4、図 5 に北部 5 都市の地中熱交換器必要本数を、図 6、図 7 に南部 2 都市の地中熱交換器必要本数を示す。まず、図 4 と図 5、図 6 と図 7 の比較から、熱伝導率が同じ場合には深さ 4m と 8m では、必要本数が 4m は 8m のほぼ 2 倍の本数となることが分かり、地表面の影響は少なく、深さ

表 1 対象都市と断熱性能の条件

代表都市	地域区分	Q値		不易層温度[°C]
		省エネ基準	高断熱	
青森	4 地域	2.4	1.8	12.4
盛岡	3 地域	1.9	1.3	12.2
仙台	4 地域	2.4	1.8	14.0
秋田	4 地域	2.4	1.8	13.2
山形	4 地域	2.4	1.8	13.2
福島	4 地域	2.4	1.8	14.5
新潟	5 地域	2.7	2.0	15.4

時間	暖房20℃冷房28℃					
	居間・和室		夫婦寝室・予備室		子供寝室	
	暖房	冷房	暖房	冷房	暖房	冷房
0						
1						
2	18	運転せず				
3						
4						
5						
6						
7	20					
8						
9						
10	18		18		18	
11						
12						
13	20					
14	18					
15						
16						
17						
18	20					
19						
20				30		30
21			20	28	20	28
22	18	運転せず				
23			18	運転せず	18	運転せず

図 2 暖冷房の運転スケジュール

(暖房 22℃の時は 18℃→20℃、20℃→22℃、冷房 26℃の時は 28℃→26℃、30℃→29℃に変更)

あたりの性能にほとんど差が無い結果となった。次に有効熱伝導率λの違いによる比較では、λを 1.2 W/(m・K)から 1.8 W/(m・K)に変更すると、必要本数は 1~3 本減少する結果となり、平均で約 8 本(λ=1.2 W/(m・K))から約 6 本(λ=1.8 W/(m・K))という約 25%の減少となることが分かった。また、北部 5 都市の結果では Q 値を省エネ基準から高断熱仕様に変えると、必要本数は 1~3 本減少し、こちらも平均で約 25%の減少となる結

表 1 各都市の暖房負荷合計値、暖房最大負荷、
冷房負荷合計値、冷房最大負荷

地域	Q値	温度設定	暖房負荷	暖房最大	冷房負荷	冷房最大
			合計 [GJ]	負荷 [kW]	合計 [GJ]	負荷 [kW]
青森	1.8	22-26	36.9	6.1	4.0	5.7
		20-28	30.0	5.7	2.3	3.9
	2.4	22-26	53.9	7.8	3.9	6.0
		20-28	44.5	7.3	2.2	4.1
盛岡	1.3	22-26	24.8	4.9	3.3	6.2
		20-28	20.7	4.6	2.0	4.7
	1.9	22-26	41.4	6.6	3.2	6.0
		20-28	33.8	6.1	1.5	4.2
秋田	1.8	22-26	33.2	6.1	4.9	6.3
		20-28	26.7	8.0	3.2	5.0
	2.4	22-26	48.7	7.9	5.0	6.8
		20-28	39.8	7.4	3.2	5.3
仙台	1.8	22-26	35.1	5.7	2.1	7.1
		20-28	27.9	5.3	1.0	5.2
	2.4	22-26	49.9	7.2	2.2	7.1
		20-28	40.4	6.7	1.0	5.4
山形	1.8	22-26	32.4	5.7	5.3	6.0
		20-28	26.0	5.3	3.5	6.9
	2.4	22-26	48.0	7.4	5.4	6.4
		20-28	39.1	6.8	3.5	4.6
福島	1.8	22-26	25.3	5.3	5.3	6.1
		20-28	19.3	4.9	3.5	4.4
	2.4	22-26	38.5	6.8	5.5	6.5
		20-28	30.3	6.3	3.5	4.6
新潟	2.0	22-26	33.4	6.3	5.9	6.7
		20-28	26.6	5.9	4.0	4.9
	2.7	22-26	48.6	7.6	6.1	8.6
		20-28	39.7	7.0	4.2	7.5

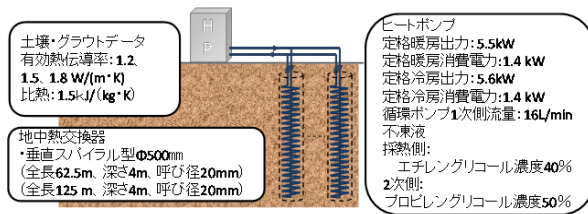


図 3 地中熱ヒートポンプシステムおよび地盤条件

果が得られた。それに対し、南部 2 都市は冷房期間の制約条件で必要本数が決定しているため、Q 値の変更による本数の変化はほとんどないことが分かった。一方で、設定温度の影響が大きく、設定温度の変更で 1~2 本の必要本数が減少することが確認された。

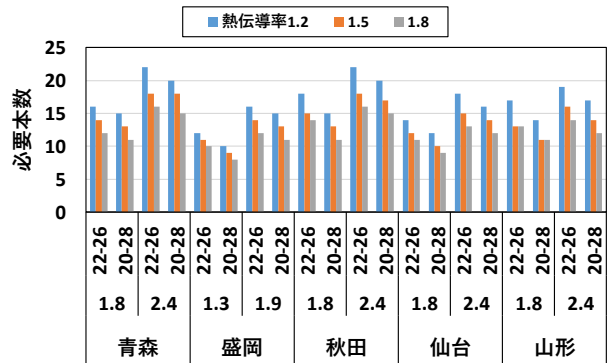


図 4 地中熱交換器の必要本数(北部 5 都市、深さ 4m)

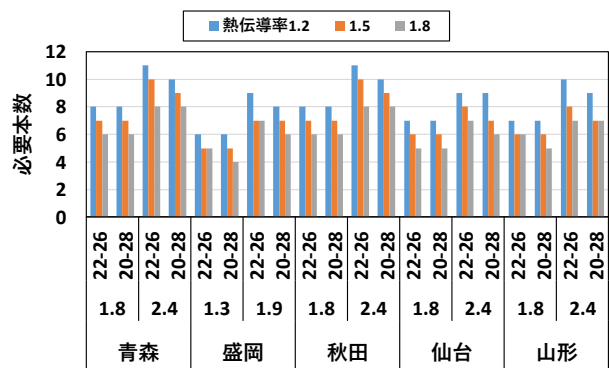


図 5 地中熱交換器の必要本数(北部 5 都市、深さ 8m)

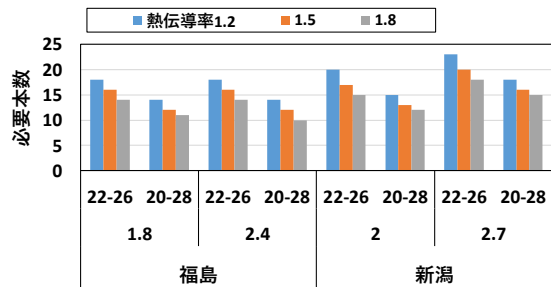


図 6 地中熱交換器の必要本数(南部 2 都市、深さ 4m)

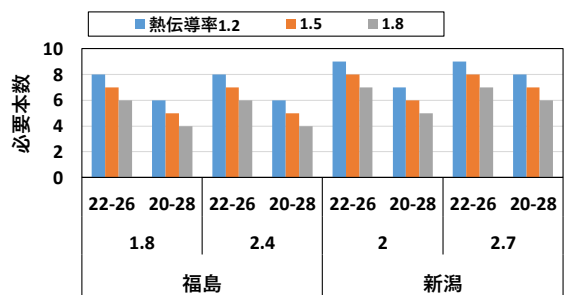


図 7 地中熱交換器の必要本数(南部 2 都市、深さ 8m)

3. 地中熱交換器必要本数に影響を与える要因の分析と考察

VSGHEX の必要本数に対する暖房負荷合計、暖房最大負荷、冷房合計負荷、冷房最大負荷、有効熱伝導率λの寄与率(決定係数)をそれぞれ算出し、VSGHEX の必要本数に影響を与える要因の分析を行った。ここでは、暖房期間の制約条件により必要本数を決定した5地域の結果をもとに計算を行った。結果を表4に示す。この結果より、暖房負荷合計と暖房最大負荷、λが必要本数決定に影響を及ぼすことがわかる。しかしながら、暖房負荷合計と暖房最大負荷にも強い相関があるため、必要本数は暖房最大負荷とλの2変数である程度決定できるものと考えられる。そこで暖房最大負荷 Q_{hmax} とλを変数として、深さ8mのVSGHEX の必要本数について重回帰分析を行った結果、以下の近似式を得ることができた。

$$\text{必要本数} = 4.58 + 1.22 * Q_{hmax} - 3.45 * \lambda$$

上記式で得られる必要本数は、本来の必要本数と比較して、平均二乗誤差で0.43本、相対誤差で5%の範囲内で収まることが分かった。また、誤差の最大値は0.9となり、誤差1本以内の範囲で必要本数を推定できることが分かった。

また、それぞれのλにおいて暖房最大負荷と必要本数の関係を表したものを図8～図10に示す。この結果からも暖房最大負荷と必要本数には強い相関があることが伺えるが、この結果から、λ = 1.2 W/m/K の場合、深さ8mのVSGHEX1本あたり対応可能な暖房最大負荷は約750W、λ = 1.5 W/m/K の場合は約833W、λ = 1.8 W/m/K の場合は約1,000Wになる。この結果から、ヒートポンプ熱源機のCOPを4と仮定した場合、今回のような比較的一般的な住宅の暖房を行った条件では、深さ8mのVSGHEXの採熱量は750～1,000W程度の4分の3、即ち560～750W程度となるということが結論付けられた。

まとめ

以下に本研究のまとめを示す。

- 1) 住宅の断熱性能、地域(都市)、土壌の熱伝導率、冷暖房の運転条件を変更し、それぞれの条件に対して必要なVSGHEX本数の検討を行った。熱伝導率が同じ場合には深さ4mと8mでは、必要本数が4mは8mのほぼ2倍の本数となる

表4 熱交換器本数への寄与率

	暖房負荷合計 [GJ]	暖房最大負荷 [kW]	冷房負荷合計 [GJ]	冷房最大負荷 [kW]	熱伝導率 [W/m/K]
寄与率	0.8087	0.9548	0.0761	0.0011	0.2916

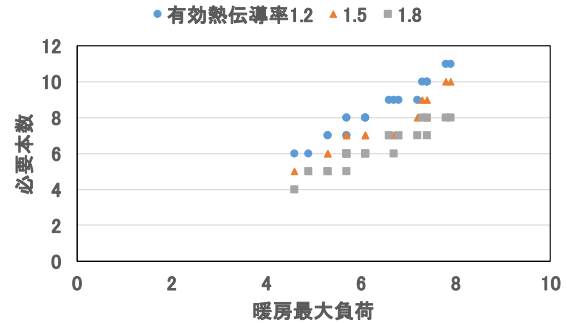


図8 暖房最大負荷と必要本数の関係

- 分り、地表面の影響が小さい結果となった。
- 2) 暖房で本数が決定する地域は建物の断熱性能が、冷房で本数が決定する地域は冷房時の室温設定が、地中熱交換器の本数に与える影響が大きいことが分かった。また、暖房で本数が決定する地域は暖房最大負荷と地盤の有効熱伝導率で必要地中熱交換器本数を推定できることが伺えた。
 - 3) 今回のような住宅の暖房を行った条件では、深さ8mのVSGHEXの採熱量は560～750W程度となるということが結論付けられた。

謝辞

本研究を行うにあたって新日本空調(株)永坂茂之様、ジャパンパイル(株)よりご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 葛隆生他：浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法 第1報, 空気調和・東北支部学術・技術報告会論文集 (2016)
- 2) 東谷貴他：浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の設計・性能予測手法 第2報, 空気調和・東北支部学術・技術報告会論文集 (2017)
- 3) NGUYEN HAI DANG 他：温暖地域の戸建て住宅における地中熱ヒートポンプシステム設計に関する研究, 平成27年度空気調和・衛生工学会全国大会学術講演会論文集 (2015)

A-23

酒田市庁舎における地中熱利用システムの施工事例紹介

○正会員 昆野 充 (新日本空調株),

正会員 佐々木 匡 (新日本空調株)

Construction and performance of cooling and heating system by ground thermal energy

Mitsuru Konno(Sin Nippon Air Technologies), Tadashi Sasaki(Sin Nippon Air Technologies)

キーワード：現場打ち基礎杭利用地中熱交換器、帯水層利用蓄熱

はじめに

本計画地の山形県酒田市は、最上川に隣接した扇状地に位置しており、地盤は砂質で地下水位が高い特徴を持っている。

本建物では、この特徴を最大限活用する為に、地中熱ヒートポンプ (GSHP) システムをベース熱源に位置づけている。さらに、帯水層の地下水を冬期の融雪及び夏期の冷房に利用し、季節蓄熱を行う帯水層蓄熱システム (ATES) も併用し、省エネ性の高いグリーン庁舎を目指している。

1. 施設概要

本計画は、老朽化した庁舎の建て替え工事であり、I期工事で延べ床面積の約7割、II期工事で残り3割を整備する計画となっている。

本施設は、災害拠点として機能する必要があるため、基礎免震構造、都市ガスの中圧供給等の防災対策が講じられている。



写真-1 建物全景

表-1 建物概要

主要項目	内容
工事期間	2013年9月～2017年3月
計画地	山形県 酒田市
主要構造	RC造 (基礎免震構造)
階数	地下1階、地上8階
建築面積	2,933 m ² (I・II期計)
延べ床面積	14,899 m ² (I・II期計)

2. 熱源設備

2.1 熱源システム構成

本計画の熱源システム概念図を図-1に、熱源の主要機器表を表-2に示す。

冷房時、地中熱ヒートポンプチラー (GSHP) をベース熱源とし、負荷増大時は水冷スクリーチラー (RS) を追いかけ運転する。これらで、ほぼ冷房負荷に対応できるが、ピーク時には不足分を直焚冷温水発生機 (RH) により賄う。

電力主体の運用を想定しているが、エネルギー単価の変動時には、都市ガス熱源優先運転も可能なシステム構成としている。

GSHPシステムの放熱先は、基礎杭利用型地中熱交換器を主体とするが、補助として夏期用の井戸から揚水した井水との熱交換により、熱源水温度の低下を図ると同時に帯水層に蓄熱する (ATES) システムとしている。

また、暖房時にも GSHP システムをベースとして運用し、負荷増大時には真空式温水発生機 (BH)、次いで直焚冷温水発生機 (RH) を稼働させる計画としている。

尚、冬期において ATES システム (井水) は、無散水融雪設備 (ロードヒーティング) 専用で利用するため、空調用熱源システムとしての運用は行わない。

冬期は夏期と反対側（夏期の還元側）の井戸から夏期運転で温度上昇した井水を揚水して融雪に利用し、温度が下がった井水を夏期の揚水側へ還元する。

この様に夏一冬で逆向きの井水熱利用を行うことにより、帯水層に季節蓄熱を行う。

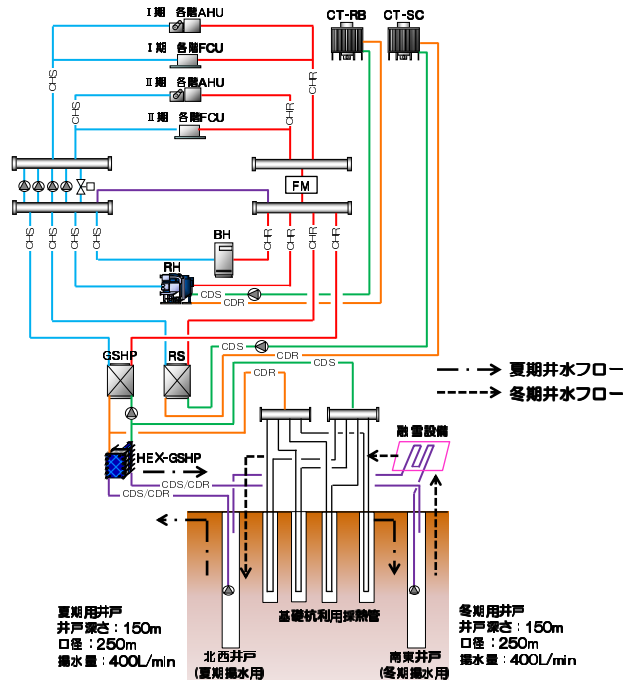


図-1 熱源システム図

表-2 主要熱源機器表

主要熱源機器	台数	容量
水冷スクリーチャー (RS)	1基	冷熱：527kW
地中熱 HP チラー (GSHP)	1基	冷熱：527kW 温熱：566kW
直燃冷温水発生機 (ガス焚) (RH)	1基	冷熱：844kW 温熱：676kW
真空式温水発生機 (ガス焚) (BH)	1基	温熱：349kW
補助熱交換器 (HEX-SHP)	1基	交換熱量：350kW

3. GSHP システムと施工方法

3.1 GSHP システム概要

GSHP システムの概要を表-3 に示す。地中熱交換器（以降採熱管）は、据付可能な基礎杭のほぼ

全てに設置する。（Ⅰ期工事：48本、Ⅱ期工事：27本）図-2 に採熱管の配置図を示す。

杭長さは57~64mあり、採熱管据付長さは、予長も考慮し50mとした。採熱管の杭への据え付け概念図を図-3 に示す。杭内採熱管は高密度ポリエチレン製20AのU字管である。各杭に対しては4セットの採熱管をセットしたが、可能な限り採熱効率を上げるために、45°刻みで採熱管の行き還り管の離隔を取って設置した。各杭内の4セットの採熱管は、各杭上部で行き還りそれぞれ集合し、さらにピット内で各ゾーンの配管を統合した上で機械室まで配管した。

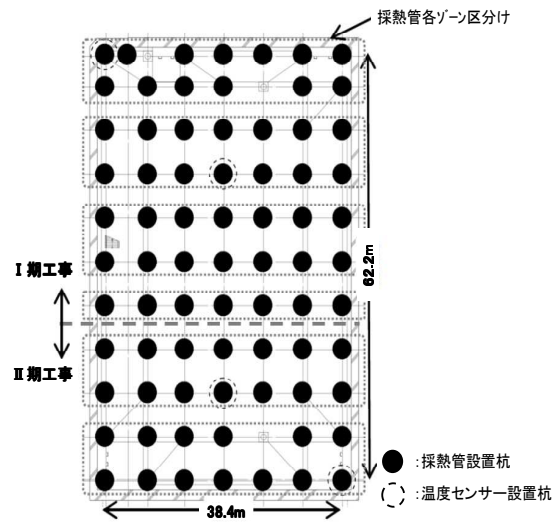


図-2 採熱管・センサー配置図

表-3 GSHP システム概要

項目	仕様
採熱管据付杭本数	75本 (Ⅰ期48本,Ⅱ期27本)
採熱設置深さ	50m
各杭採熱管設置本数	4対のU字状採熱管
採熱管材質(U字管)	高密度PE管
採熱管口径(杭内/水平)	20A/25A
水平埋設管総延長(Ⅰ/Ⅱ期)	1,640/1,064m
冷却時出入口温度条件	7.0/14.0°C
加熱時出入口温度条件	45.0/38.0°C
冷温水量	1080L/min
熱源水量	1760L/min
補機冷温水一次ポンプ動力	4.0kW(INV)
補機熱源水ポンプ動力	18.5kW(INV)

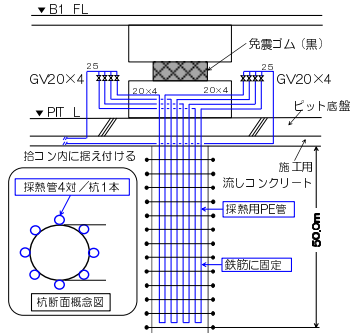


図-3 採熱管・センサー配置図

3.2 地中採熱管施工方法

計画地柱状図と杭断面の概念図を図-4 に示す。杭は全て地下水位より下部にあり、地中での熱交換に優れている事が推察される。

基礎杭への採熱管の取り付け工程は、概略下記の手順である。(建築工事工程を含む)

- ① 孔の掘削完了後に、杭施工位置を取り囲んで、4方向に作業台を設置する。(写真-2)
- ② 鉄筋かご下部に採熱管先端部保護兼採熱管取り付け用の金物を取り付ける。
- ③ 鉄筋かごをクレーンで孔内へ吊り下ろす建込み工程と並行して、立て込む鉄筋に採熱管を4方向から取り付けていく。取り付けは結束バンドを利用し、等間隔で鉄筋かごに結束する。(写真-3)
- ④ 掘削 → 杭頭処理。
- ⑤ 水平埋設管敷設。(写真-4)
- ⑥ 捨てコンクリート打設。
- ⑦ マットスラブ構築。
- ⑧ ヘッダー設置・接続。(写真-5)

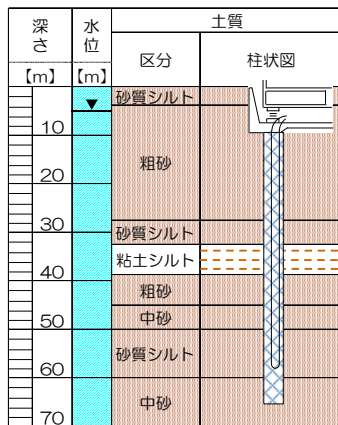


図-4 計画地概略柱状図・杭断面概要図



写真-2 作業台設置

写真-3 採熱管取付状況



写真-4 水平敷設

写真-5 杭内採熱管ヘッダー

3.3 熱応答試験

地中熱交換器の性能を確認する為、熱応答試験(サーマルレスポンステスト)を行った。試験結果より、有効熱伝導率の推定値は、 $\lambda = 3.40 [W/(m \cdot K)]$ であり、砂地盤で含水率が高い場合の一般的な値である2.5~3.0を超える高い値となった。

これにより、GSHPシステムの計画地としては適当であると確認された。概要・結果を表-4、図-5に示す。

表-4 熱応答試験概要

項目	容量
測定開始日時	2015年5月26日 8:00
測定終了日時	2015年6月18日 8:00
試験実施場所	免震ピット内
試験用熱交換器長さ	50m
発熱体定格発熱量	4.0kW
発熱体期間平均発熱量	4.09kW ※実測による

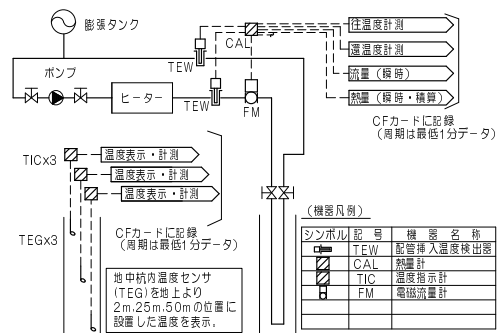


図-5 熱応答試験装置配管概念図

4. 竣工1年目における運転実績

4.1 冬期 GSHP 運転実績

図-6 に暖房熱源機器 3 台の供給熱量を示す。供給熱量に占める割合は、地中熱ヒートポンプチャラー(GSHP)が約 63%、ガス焚温水器(BH)が約 33%、ガス焚冷温水器(RH)が約 4%となった。

図-7 に GSHP 本体、熱源水ポンプ(PCD-GSHP)、冷温水一次循環ポンプ(PSH-GSHP) の消費電力量及び COP を示す。1 月中旬から 3 月中旬は約 4.4~4.5 で推移した。3 月中旬以降は暖房負荷が減少し、低負荷運転となった為、COP が低下している。

またこれに伴って、補機動力の割合が大きくなり、SCOP も低下している。

4.2 夏期 GSHP 運転実績

熱源機器の機能保全を目標として、RS 及び RH を強制的に優先運用した期間を除き、ほぼ GSHP のみで負荷をまかなうことができている(図-8)。

今シーズンの GSHP の COP は、8.0~9.0、SCOP は、5.0~6.0 と良好な結果が得られた。

5. まとめ

熱応答試験の結果、 $\lambda=3.40[W/(m \cdot K)]$ と大変高い結果を示した。

GSHP 単体の COP は暖房期間平均 4.39、冷房期間平均は 7.87 を得ることができた。

I 期工事の竣工1年目における GSHP の運転は、良好な結果が得られた。

来シーズン以降は、夏期・冬期とも II 期工事部分も使用開始して空調面積が増えるため、GSHP の負荷率が上がり、SCOP の改善が見込まれる。

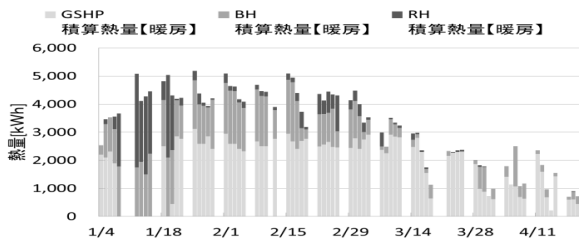


図-6 暖房運転における各熱源機器の供給熱量

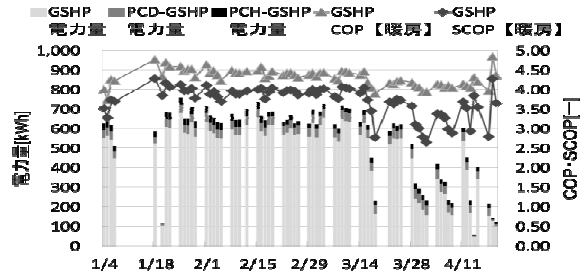


図-7 冬期 GSHP システムの消費電力と COP

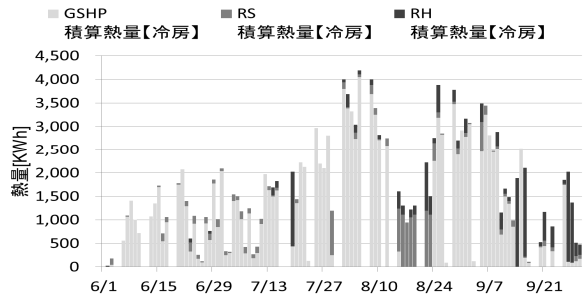


図-8 冷房運転における各熱源機器の供給熱量

謝辞

本プロジェクトを遂行するにあたり、酒田市役所の政策推進課、新庁舎建設室の担当各位、工事に関係した全ての皆様、そして、工事期間中にご迷惑をお掛けした、市民の皆様に対し、ここに厚く御礼申し上げます

参考文献

- 1) 長野克則：ボアホール型地中熱交換器に対する加熱法による熱応答試験の標準試験方法について (財)ヒートポンプ蓄熱センター地下熱利用とヒートポンプ研究会 (2010.9)
- 2) Stephen P.Kavanaugh et.al GROUND SOURCE HEAT PUMPS ASHRAE, INC; p26 (1997)

B-1

建築設備分野での珪藻土式ろ過器の性能評価方法立案のための検討

第2報：構成と種類等、性能評価の課題と考察

○赤井仁志（福島大学）、紀谷文樹（東京工業大学）、

野知啓子（関東学院大学）、松村佳明（榊山下設計）、松鶴さとみ（鹿児島大学）、

福島雅弘（㈱アクアプロダクト）、佐藤隆（フジカ濾水機㈱）、野崎英之（ミウラ化学装置㈱）

Investigation for Performance Evaluation Framing on Diatomaceous Earth Filters used for Plumbing Systems, Part 2: Constitution and Style, Problem and Consideration of Performance Evaluations

Akai Hitoshi(Fukushima Univ.), Kiya Fumitoshi(Tokyo Institute of Technology),
Nochi Keiko(Kanto Gakuin Univ.), Matsumura Yoshiaki(Yamashita Sekkei, Inc.),
Matsuu Satomi(Kagoshima Univ.), Fukushima Masahiro(AQUA PRODUCT CORPORATION),
Satou Takashi(FUJIKAROSUIKI, CO LTD.),
Nozaki Hideyuki(MIURA CHEMICAL EQUIPMENT CO.,LTD.)

キーワード：珪藻土式ろ過器，水泳プール，業務用浴槽，ろ過工程，仕組み，種類

1. 珪藻土式ろ過器の構成、工程と仕組み

1.1 装置の構成

珪藻土式ろ過装置は、つぎの機材や配管で構成される。

・ヘアキャッチャ（集毛器）：ろ過器の上流側で毛髪などを取り除く装置

・珪藻土溶解槽（プレコートタンク）：定量のろ過助剤を投入して、水と混合させる槽。この槽で溶解したものを、水流を利用してろ過面に付着させる。

- ・循環ポンプ
- ・ろ過器
- ・以上の装置をつなぐ配管、附属機器など

1.2 ろ過工程と仕組み

プレコートやろ過、逆洗等の工程と仕組みはつぎの通りである。

(1) 充液

珪藻土溶解槽へ、液を溜める。

(2) ろ過助剤投入と混合

所定の量のろ過助剤を珪藻土溶解槽へ投入して、予め溶解槽に溜まっていた液と混合する。

(3) プレコート（プリコート）

液と混合したろ過助剤を、水流を利用してろ過器に送り、ろ材に付着・堆積させて、ろ過膜を作る。

(4) ろ過

ろ過膜に、プール水中や浴槽水中の懸濁物質が

捕捉される。ろ過運転を継続するに従い、ろ過膜に汚れが溜まり目詰まり状態になる。これにより、ろ過抵抗が上昇するために、ろ過水量が減少する。

(5) 洗浄（逆洗）

ろ過抵抗が限界に達したら、ろ材に捕捉された懸濁物質とろ過助剤を洗浄する。

2. 珪藻土式ろ過器の種類

珪藻土式ろ過器の主な種類は、つぎの3種類である。

2.1 外面プレコート式葉状（図-1）

最も一般的な方式で、通称、加圧式葉状。タンク式とも呼ばれる。ろ材は、葉状か円板状である。珪藻土溶解槽へ投入した珪藻土を、ポンプ循環によってろ材表面に付着させてろ過膜を形成する（プレコート）。ろ過は、弁を操作して行う。ろ過膜に懸濁物質が溜まり、ろ過抵抗が限界に達した時点で、弁を操作してろ過膜表面の懸濁物質とろ過助剤をシャワーで洗浄して排出する。

2.2 内面プレコート式葉状（図-2）

通称、密閉式葉状。多数のリーフ（ろ材）を内蔵した密閉型ろ過タンク内のリーフの内側へ珪藻土を混合した水をポンプで送り込んでプレコートを行う。リーフの外側から出てきた水を、ポンプの圧力でプールに還流する。

2.3 可逆式 (図-3)

1 個の五方弁の操作で、周期的にろ材を通過する水の方向を逆転させる。ろ材の両面を利用するために、プレコート→ろ過→逆洗を可逆的に繰り返すことができる。

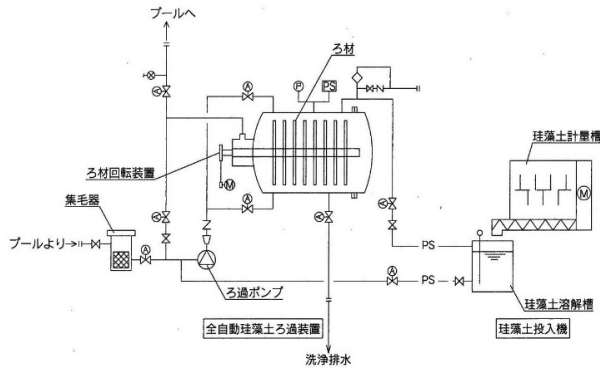


図-1 外面プレコート式葉状珪藻土式ろ過器の循環系統図⁴⁾

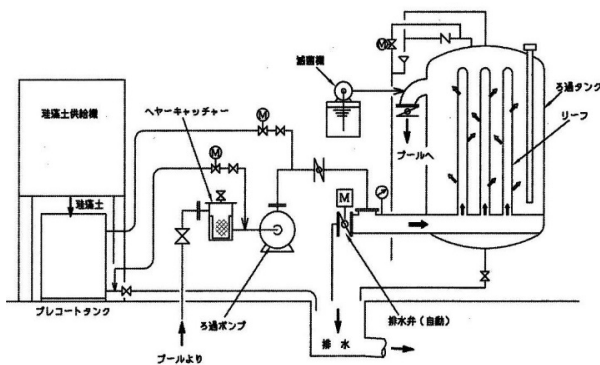


図-2 内面プレコート式葉状珪藻土式ろ過器の循環系統図⁵⁾

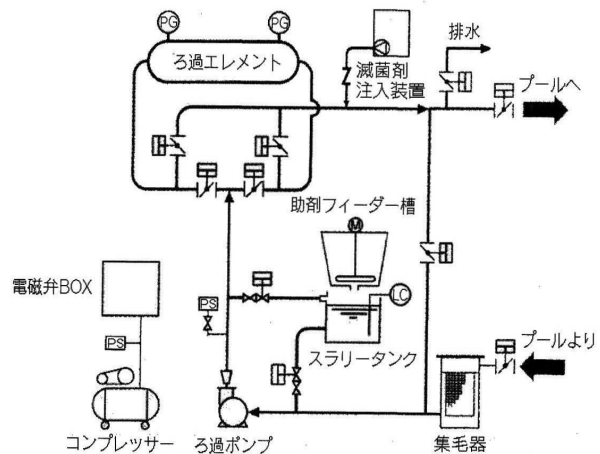


図-3 可逆式珪藻土式ろ過器の循環系統⁶⁾

3. 性能評価の課題と考察

砂式ろ過器に較べて、捕集できる懸濁物質の粒子が細かく、ろ過精度が高い。砂式のろ過精度 20~50 μ m に対して、珪藻土式は 5 μ m 程度以下とされている。また、ろ過速度は、砂式が 40m/h であるのに対して、珪藻土式は 4~5m/h とされている。

これらの特徴や特性、珪藻土式ろ過器の原理などを踏まえて、“SHASE-S219-2010 循環式浴槽用砂式ろ過器の性能評価方法”（以降、砂式評価法と記す）を珪藻土式に準拠した場合の主要な課題と考察をする。

砂式評価法のろ過性能測定では、濁度の懸濁物質にカオリンを用いている。ろ過精度の高い珪藻土式の評価で、要求される水質や性能を含めて、妥当かの検証が必要である。また、ろ過助剤で、同一製造者・同一商品に複数の異なった番手があり、粒度と透過率に差がある。また、ろ過助剤の使用量により、プレコート層の厚みに違いが生じる。これらのことから、水泳用プール向けと業務用大型浴槽向けで、予め条件を決めておく必要があると考える。

砂式評価法では、ろ過器への流入水の温度を 40 \pm 3 $^{\circ}$ Cとしている。ろ過器の種類の中に、浴槽用を想定していない機種もある。このために、プール用と浴槽用で、別の水温を設定する必要がある。

珪藻土式の逆洗は、砂式とは全く異なる。このために、砂式評価法と別の評価法を考案しなければならない。

以上の事項を含めて、今後、検討を行っていきたい。

参考文献

- 1) 日本プールアメニティ協会：水泳プール総合ハンドブック，（2015），p.85-88・pp.90-92
- 2) 水泳プール浄化装置工業連盟（現・日本浄水機械工業会）：水泳プール浄化装置の基準書，2001年版，（2001），p.16・pp.20-25
- 3) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課監修，公共建築協会編集：建築設備設計基準，平成21年度版，（2009），pp.678-680
- 4) A社：技術資料（2015）
- 5) F社：技術資料（2015）
- 6) M社：技術資料（2015）

B-2

災害時のLCPを考慮した建物の給排水設備計画・設計手法に関する研究

-その1 計画・設計フローの提案と集合住宅への適用の検討-

○亘理 咲綺 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 松尾 隆史 (関東学院大学),

山海 敏弘 (国立研究開発法人 建築研究所)

Study on the Water Supply and Drainage Planning and Design Procedure of the Building Considering LCP at the time of the Disaster.

-Part1 A Proposal of Planning and Design Flow

and Study of the Application to Apartment House-

Saki Watari (Kanto Gakuin University), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin University),

Takafumi Matsuo (Kanto Gakuin University),

Toshihiro Sankai (Building Research Institute of JAPAN)

キーワード：災害，LCP，給排水設備計画

はじめに

東日本大震災等の大規模災害において、上下水道が長期間に渡り途絶した場合、給排水設備の役割は、特にBCP(事業継続計画)・LCP(生活維持継続計画)の観点から極めて重要である。しかし、震災時の被害状況等の報告¹⁾はあるが、その具体的な計画・設計手法は十分に検証されていない。そのような背景のもと本研究では、非常時における給排水設備に関する既往文献等を調査し、特に給水・排水設備機器容量の算定のための基本原単位を整理するとともに、BCP・LCPを考慮した容量算定フローを示し、標準的な集合住宅を一例に試算方法と結果を提示し、考察する。

1. 調査概要

まず、既往文献と国・各自治体の防災計画等を調査し、災害時の生活水量やライフラインの復旧期間等を想定し、上水・雑用水用水槽、排水槽の有効容量の計画・設計フローを提案する。次にライフラインの被害と復旧の状況を段階的に想定し、提案したフローを用いて高層規模の集合住宅における給排水設備機器の有効容量を試算し、その結果を考察する。以降で述べる水槽類の機器容量とは有効容量分の値である。

2. 結果及び考察

2.1 災害時の提案水量

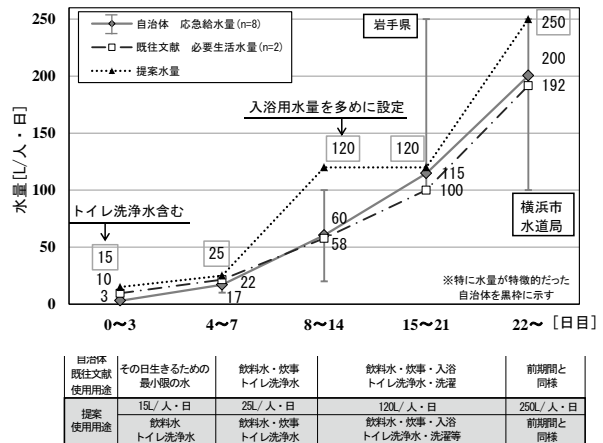


図1 災害時の生活水量と使用用途

表1 インフラの途絶レベル

途絶レベル	I	II	III	IV
上水道	4日間	8日間	22日間	2ヶ月間(61日間)
下水道	2日間	4日間	2週間(14日間)	5週間(40日間)
電力	1日間	2日間	1週間(7日間)	2週間(14日間)

図1に災害時の生活水量と使用用途を示す。同図は既往研究²⁾や自治体の防災計画等^{1)3)~8)}を参考に作成したものである。図中に示す数字は自治体が防災計画等で提示している災害時に供給する水量(応急給水量)、それ以外に既往文献で検討されている災害時の生活に必要なとされる水量(必要生活水量)、それらを参考に本報で提案する災害時の生活水量(提案水量)のそれぞれの値である。同図より、経過に伴う応急給水量と必要生活水量を比較すると、被災から7日目までは応急給水量は

必要生活水量に満たないが、8日目以降からは必要生活水量を満たす状況にあることがわかる。

一方、阪神・淡路、東日本の両大震災における断水で最も問題となったのは災害時の生活用水の中でもトイレ洗浄水の確保とその排水排除であったことが報告されている¹⁾。このことを考慮し、応急給水量や必要生活水量を上回るように設定した水量が本報における提案水量である。以降の検討では提案水量を災害時の生活水量として用いる。提案水量の使用用途は、被災から3日目まではトイレの洗浄水を含むものとし、8~14日目では応急給水量や必要生活水量よりも入浴に使用できる

水量を多く確保するために15~21日目と同様の水量とした。なお、災害時に確保できる水量が提案水量に満たない場合は、適宜、自治体からの応急給水や井水等を利用するものとする。

2.2 ライフラインの被害想定

表1に本報において設定したインフラの途絶レベルを示す。同表に示す途絶期間は、図1に示した提案水量の変化に応じた期間としており、途絶レベルI・IIは早期復旧の阪神・淡路大震災、東日本大震災規模、レベルIIIは熊本地震規模、レベルIVは阪神・淡路大震災、東日本大震災、南海トラフ巨大地震規模の被害を想定したものである。

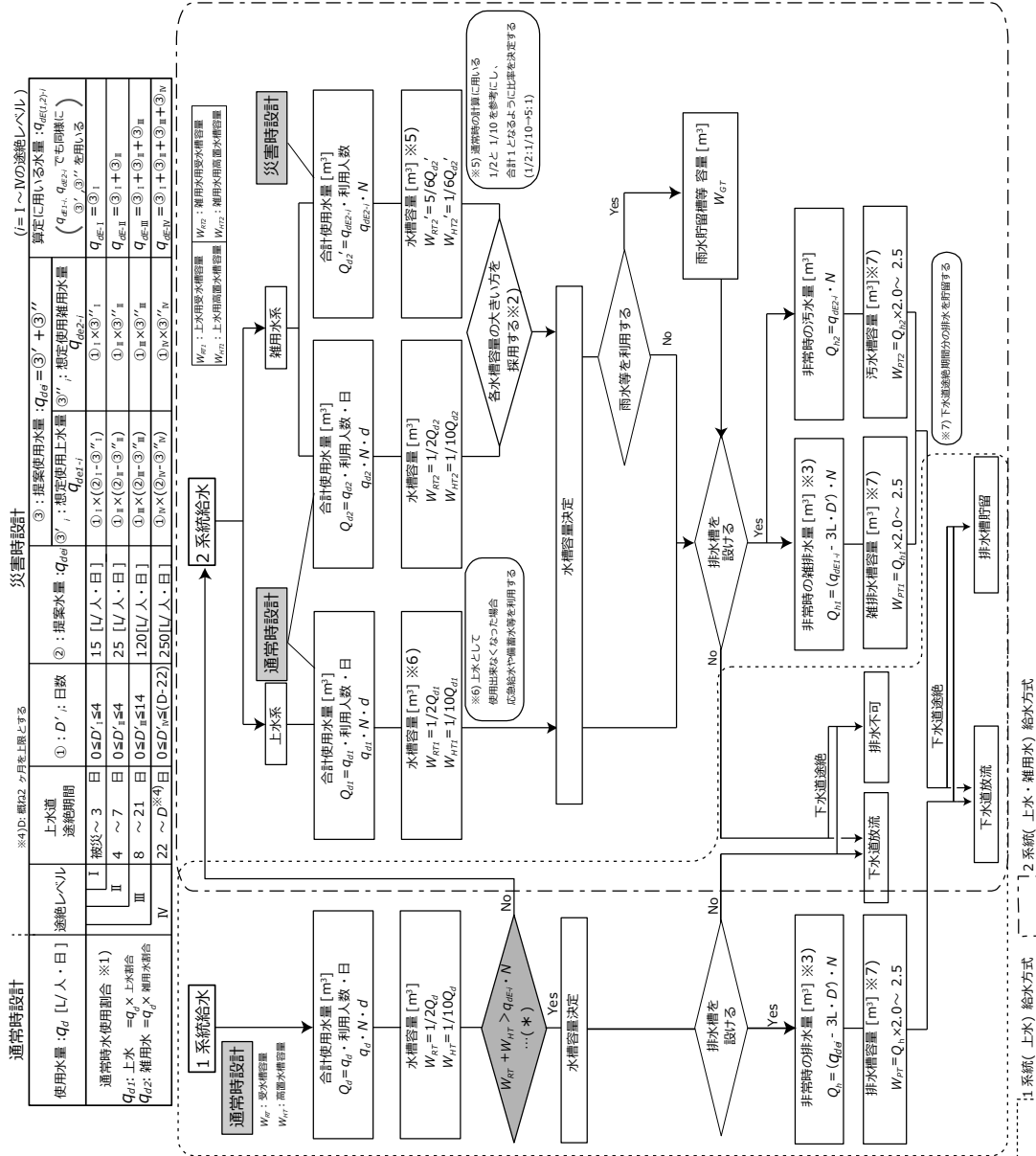


図2 給排水設備機器容量計画・設計フロー

2.3 給排水設備機器容量計画・設計フローの提案

図2に本報で提案する給排水設備容量の計画・設計フローを示す。今回は新築の住宅を想定したことから、通常水使用割合は上水 80%、雑用水 20%とするが⁹⁾、この割合は建物用途によって変更する(図2中の※1)。災害時の使用水量には図1に示した提案水量を用いる。ここでは非常用水の確保を念頭に置き、高置水槽方式を想定した。一般的な上水のみでの1系統給水方式では、水槽容量を確定するために、通常時設計の受水槽容量 W_{RT} 、高置水槽容量 W_{HT} の合計と災害時の提案使用水量の合計 q_{dE-i} を比較する。 W_{RT} と W_{HT} の合計の方が小さい場合は、上水と雑用水を併用した2系統給水方式を集合住宅においても導入することを提案する(図2中の*)。2系統給水方式の上水槽の算定方法は1系統給水方式の算定式に水使用割合を考慮したものとし、雑用水槽は通常時設計の水槽容量 (W_{RT2} 、 W_{HT2}) と災害時設計の水槽容量 (W_{RT2}' 、 W_{HT2}') を比較し、容量の大きい方を採用する(図2中の※2)。排水槽(雑排水槽)容量を求める際に用いる排水量は災害時の使用水量 $q_{dei}(q_{dE1-i})$ から飲料水分の想定水量(最少 3L)を除

いたものとする(図2中の※3)。

2.4 集合住宅の水槽容量計算への適用

図3に災害時対応の給排水設備のグレードの概念図を示す。給排水設備グレードとはLCPを考慮した給排水設備システムを3種類に分けたものである。グレード1は1系統給水方式、グレード2は2系統給水方式、グレード3は途絶レベルに応じた給水方式に災害用トイレ施設を設けたものとし、雑用水はトイレ洗浄水として使用する。なお、2系統給水方式を採用するグレード2は雨水利用無し、グレード3は、雨水等を雑用水として利用することを検討する。

表2に検討の対象とする集合住宅における建築・設備の条件を示し、図4に6m×5m×2m(1区画の有効容量分)のピットが20区画分となる対象集合住宅の地下ピット平面図を示す。図2及び表2を用いて、図3のグレード毎にLCPを考慮した集合住宅における給排水設備の機器容量について検討する。

(1) 給排水設備グレード1、2

図5に居住者のみを対象とした途絶レベル毎の給排水設備機器容量の試算結果を示す。途絶レベルIは通常時水槽容量の合計の方が多くなり、上水で賄えることから1系統給水方式のグレード1、

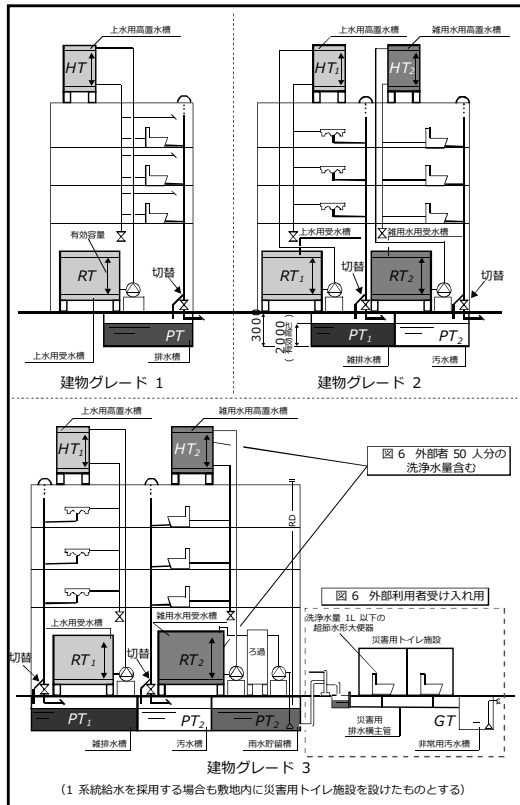


図3 給排水設備グレード概念図

建物概要	100戸の集合住宅 居住者 300人 集水面積 965.69m ²
立地	横浜市の内陸部に位置する集合住宅 (降水量: 最少月約54.8mm/月、約1570mm/年 ¹⁰⁾)
通常使用水量	250L/人・日 (上水・雑用水使用割合80%・20%) (上水200L/人・日、雑用水50L/人・日)
給排水設備等の構成・対応	①災害時でも給水が可能な高置水槽方式を採用 ②洗浄水量6.0L/回ロータンク式大便器 ③井水利用 (上水槽の水が使用不可: 緊急時浄水装置により、上水利用) ④蓄電池及び太陽光発電による電力利用 (停電時、排水横主管洗浄のためのポンプ等を稼働させる)
トイレ	1人当たり平均6回/日使用 災害時の既設設備利用: 被災1週間は通常時洗浄水量の1/3 1人当たりの使用雑用水量 0~7日目: 12L/日、8日目~: 36L/日
排水処理	非常用排水槽を設ける(容量算定のために用いる係数: 2.0) 通常時は通常通り下水道放流、途絶時は非常用排水槽に貯留
その他	居住者には災害時使用水量に関して管理者・組合等から指導を行うものとする
建物グレード	1: 上水のみでの1系統給水方式 (居住者のみが利用300人) 2: 上水+雑用水利用の2系統給水方式 3: 災害用トイレ施設 (2.5m×3.3m×3m) 設置、外部利用者 50人 参考文献 ²⁾ の器具数算出方法より、 洗浄水量1L以下の超節水形大便器3台設置 (既設設備利用(居住者300人))

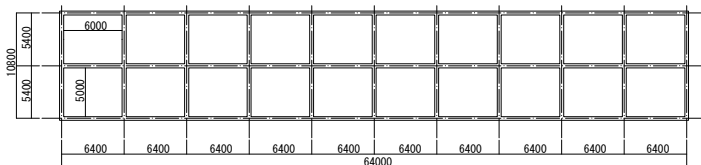


図4 対象集合住宅の地下ピット平面図

注) 深さ: 3000mm (有効深さ 2000mm)

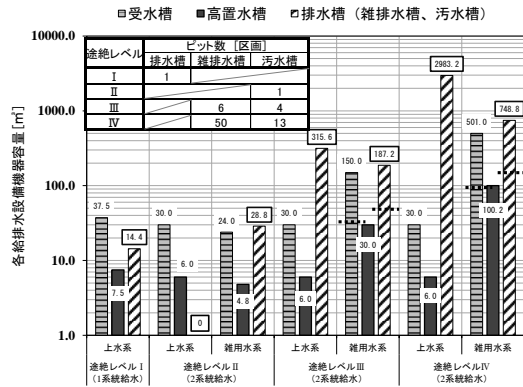
途絶レベルⅡ～Ⅳは q_{dE-i} の方が多くなることから2系統給水方式のグレード2を採用した。

(2) 給排水設備グレード3

グレード3では敷地内に洗浄水量1L以下の超節水形大便器¹¹⁾を用いた災害用トイレ施設を設け、外部利用者を受け入れる。基本的には居住者が既設設備、外部者が災害用トイレ施設を使用すると仮定し検討する。トイレ洗浄水が不足し、災害用排水横主管での汚物の停滞によるトラブルを回避するために、超節水形大便器を90回使用する毎に洗浄水量40Lを災害用排水横主管に送水し、非常用汚水槽まで汚物を搬送する¹¹⁾。この洗浄水として、貯水していた雨水を利用する。

災害時の想定使用雑用水量 q_{de2-i} には居住者分の雑用水量に $+a$ として、[外部者50人分の洗浄水量(1L/回×6回/人・日)×途絶日数 D']を付加し、雑用水槽容量を検討した。また、外部利用者50人分の汚水量に[災害用排水横主管洗浄水量の合計160L/日× D']を付加したものを非常時の汚水量として非常用汚水槽容量を算定した。また、災害用トイレ施設の使用期間は被災当日から下水道が復旧するまでとした。雨水貯留槽容量 W_{GT} は参考文献¹⁰⁾と同様の算出方法を用いる。以上のことを踏まえ、検討した結果を図6に示す。雑用水槽容量は災害時設計の W_{RT2}' 、 W_{HT2}' を採用する結果となった。

図5、図6より、図4に示した地下ピットを利用する各水槽の有効体積を把握した。レベルⅠ、Ⅱの機器容量は外部者の利用を考慮した場合でも対象集合住宅の地下ピット3~4区画程度の容量を確保することで賄うことができ、比較的現実的であると言える。しかし、レベルⅢ、Ⅳの機器容量は対象集合住宅の地下ピットのみで賄うには過大であるため、別途、敷地内に一時貯留用排水槽を設ける等の対応が必要となる。また、バキュームカーによる排水回収等の対応にも期待しなければならない。さらに、防災型超々節水システムの活用¹²⁾や通常時・非常時兼用節水型トイレ(6.0L/回~1.0L/回の可変式)の開発及び普及が必要と考える。仮に洗浄水量1L/回以下の超節水形大便器を対象集合住宅内で使用した場合、雑用水槽、排水槽の容量を18~27%程度まで削減することが可能である。また、今回は内陸部を想定しているが、臨海部等での検討は今後の課題である。



※図中の破線は、超節水型大便器を使用した際の機器容量を示す。

図5 居住者のみを対象とした給排水設備機器容量

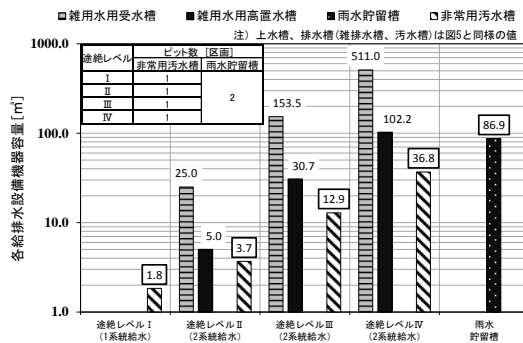


図6

3. まとめ

途絶レベルをⅠ～Ⅳまで想定し、給排水設備機器容量の試算を行った結果、LCPを考慮する場合は雑用水を導入すべきであると考えられる。なお、現実の被災においては、被害が想定した程度を超える可能性もあり、緊急的な節約、外部からの補給・支援、代替手段による対応を容易にする等、柔軟な対応が可能なシステムの構築によるレジリエンス向上が必要と考えられる。

【参考文献】

- 1) 空調調和・衛生工学会;新版 災害時の水利用 飲める水・使える水, (2013. 11)
- 2) 宮良拓百他;被災後に必要となる生活用水量の提案とトイレ器具数に関する算定, 日本建築学会大会技術梗概集(北海道), pp457-460, (2013. 8)
- 3) 岩手県環境生活部;岩手県水道広域的防災構想, <http://www.pref.iwate.jp/anzananshin/suido/002838.html>, (2014. 1)
- 4) 福島県防災会議;福島県地域防災計画 一般災害対策編, (2016. 2), P238
- 5) 浦安市防災会議;浦安市地域防災計画(震災編), (2014), P95
- 6) 横浜水道局;平成28年度横浜水道事業概要 第6章 災害に強い水道づくり, (2016)
- 7) 神戸市防災会議;神戸市地域防災計画 地震・津波対策編, (2016. 9), P86
- 8) 緊急時水循環機能障害リスク検討委員会;緊急時水循環機能障害リスク検討委員会報告書, (2007. 3)
- 9) 空調調和・衛生工学会;第14版 空調調和・衛生工学便覧 4 給排水衛生設備編, (2010. 2), P109
- 10) 公共建築協会;雨水利用・排水再利用設備計画基準・同解説, (2016. 9)
- 11) 村井達典他;洗浄水量1L以下の超節水トイレシステムの排水性能評価に関する研究, 日本建築学会大会技術梗概集(関東), (2015. 9), P587-588
- 12) 山海敏弘;住宅・建築物におけるライフライン途絶への対応技術

B-3

台所用途の多種節湯型水栓の節湯効果の評価手法に関する研究

○奥野 健太 (関東学院大学), 大塚雅之 (関東学院大学)

吉田衣里瑚 (関東学院大学), 矢部暁 (UR 都市機構)

A Study on the Evaluation of Usability Hot Water-Saving Effects of Various Water-Saving Kitchen Faucets

Okuno Kenta(Kanto Gakuin University), Otsuka Masayuki(Kanto Gakuin University), Yoshida Eriko (Kanto Gakuin University), Yabe Satoru (Urban Renaissance Agency)

キーワード：節湯型水栓, 節湯効果, 使い勝手

1. はじめに

現在、住宅・建物内の省エネ基準において、浴室や台所に設置する各種節湯型水栓の基準が規定されている。その中で各種水栓は機能別に、手元止水の節湯 A1 型、小流量吐水の節湯 B1 型、水優先吐水の節湯 C1 型に区分され、従来型に比べ湯水総使用量の削減率がそれぞれ用途ごとに規定されている。

本研究では、まだ節水効果が明記されていない台所用水栓における節湯 B1 型の基準値に着目し、各種水栓について洗浄実験と使い勝手のアンケート調査を通し、節湯 B1 型の基準値を策定することを目的とする。既報²⁾までに最適流量と湯水使用量の削減を指標に、使用感も含めた節湯効果の評価手法を提案し、各種シャワー水栓の節湯効果を調べた。本報では更に供試シャワー水栓を 4 種追加し、節湯効果についての知見を拡充するとともに既報²⁾までの節湯効果の評価手法の凡用性や妥当性を含め検討した。

2. 実験概要

台所流し台に、図 1 に示す実験システムを設置し、表 1 に示す基準器である整流吐水 1 種、節湯型のシャワー吐水 4 種の計 5 種類の水栓を、順番に変更しながら設置し被験者実験を行う。

既報¹⁾により把握した各水栓の性能について図 2 に示す。同図には、総穴面積と最適流量、及びそれらから算出した吐水流速の値を示してある。既報²⁾より同図に示す満足度の良い総穴面積の範囲について調査したため、本報では、その範囲から大きく外れた位置にある水栓 No. 1, No. 3, 近い位置にある水栓 No. 27、範囲内に位置する水栓 No. 16 を選択し、適用の可能性の範囲を広めて、データを拡充した。シャワー吐水は、住宅・建築物の省エネ基準において節湯 B1 基準で規定されている浴室シャワー水栓の「削減率 15[%]以上であること」とする基準値を指標に評価する。洗浄

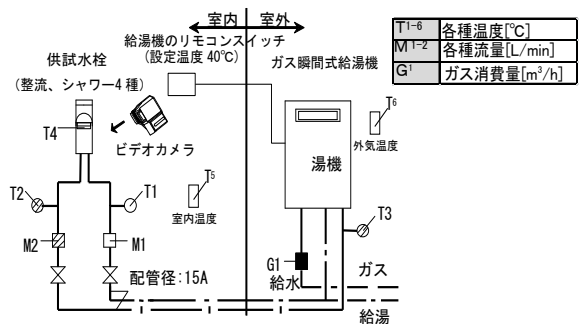


図 1 実験システム

表 1 使用水栓一覧

水栓番号	22	1	3	16	27
水栓外観					
散水板外観					
総穴数[個]	1	180	60	180	72
総穴面積 [mm ²]	176.6	50.9	16.9	35.3	27.7

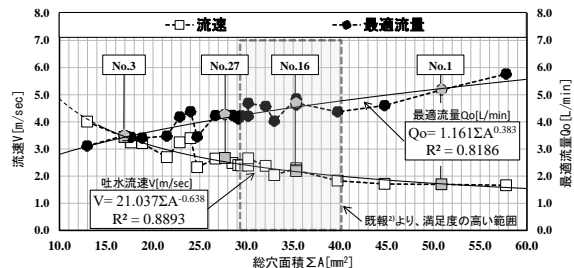


図 2 総穴面積と吐水流速・最適流量の関係

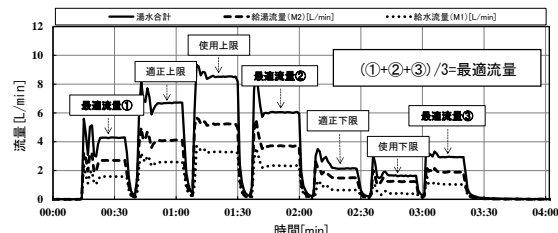


図 3 簡易実験生波形の一例

実験は、最適流量を求める(1)簡易実験と、実際に食器を洗浄し節水・節湯効果を定量的に捉える(2)食器洗浄実験とする。実験期間は2016年6月9日～2017年1月7日とし被験者は年齢が26～73歳の主婦37名を対象とした。

(1)簡易実験は、洗剤泡を付着させた中皿1枚を使用する。写真1に示すように中皿を洗い流す際、調節した流量から、図3のように、5項目(最適流量、適正上下限流量、使用上下限流量)の各流量を順次決定してもらう。最適流量については図中の①～③の最適流量の平均値を使用する。(2)食器洗浄実験では、各水栓毎に湯水混合比を調節し、食器洗浄中は統一して行う。実験は各水栓で、写真2で示すように「(一財)ベターリビング優良住宅部品性能試験方法書食器洗い機BLT DW：2005」に基づき、疑似汚れを付着させた計44点の食器を各水栓で1回ずつ洗浄してもらい、湯水総使用量を測定する。(3)アンケート調査は(1)簡易実験(2)食器洗浄実験の各実験終了後に行う。その際のアンケート調査の内容は、表2に項目と内容の一部を示す。具体的には、各水栓の「流量決定要因」と、その流量決定に影響を与える「水の勢い」「水の広がり」「水はね」「泡切れ」「レバーの調整」という要因のほか、その要因を含め、使い勝手の良い水栓を選定する「満足度」等がある。

この結果より(1)簡易実験(2)食器洗浄実験の2つを通し、(3)アンケート調査で満足度が過半数の50[%]以上かつ洗浄実験の結果より、削減率15[%]以上の両方の条件を満たす水栓を選定する方法とする。

3. 実験結果及び考察

3.1 簡易実験

3.1.1 最適流量及び削減率の比較

図4に、各期間における各水栓の最適流量を示す。また、参考値として既報¹⁾より、基準となる整流吐水の最適流量5.4[L/min](全期間平均値)と、その値に対する削減率を併記した。期間平均での削減率は、基準の整流吐水の最適流量(全期間平均値)に対して、2.6～36.6[%]となり、全ての水栓で削減効果が見られた。既に規定されている節湯B1基準の浴室シャワー水栓の削減率が15[%]以上であり、それを満たす水栓はNo.3, No.16, No.27となった。水栓No.1は表1に示すとおり総穴面積が50.9[mm²]と大きく、洗浄時に必要となる吐水流速を得るため一定以上の水量が必要となり、基準を満たすことができなかったものと考えられる。

3.1.2 アンケート調査結果

図5(1)に簡易実験の流量決定要因について、水



写真1 簡易実験



写真2 疑似汚れ付食器

表2 アンケート項目

水の勢い	弱すぎる	やや弱い	ちょうど良い	やや強い	強すぎる
水の広がり	狭すぎる	やや狭い	ちょうど良い	やや広い	広すぎる
水はね	気になる		やや気になる	気にならない	
泡切れ	悪い		やや悪い	気にならない	
流量の調整	しにくい		ややしにくい	しやすい	
満足度	満足	やや満足	どちらでもない	やや不満	不満
流量決定要因	水の勢い	水はね	水の広がり	泡切れ	その他

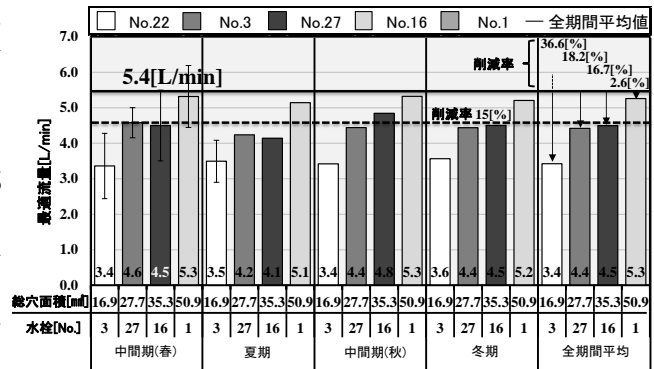
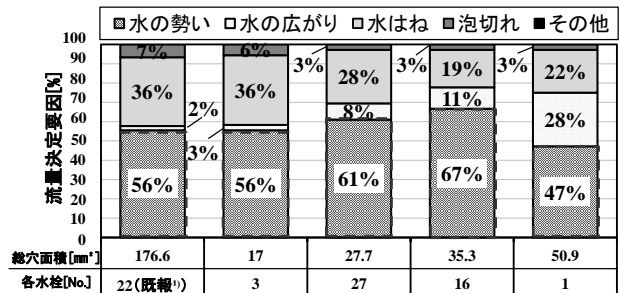
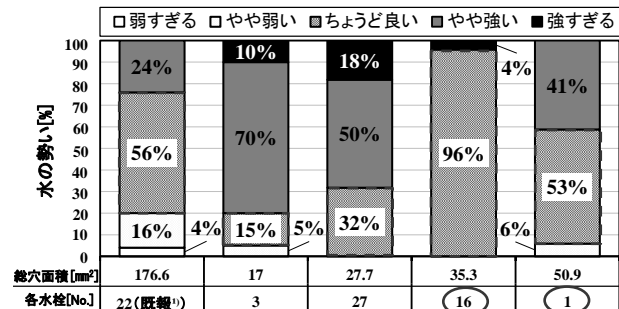


図4 総穴面積順による最適流量及び削減率の比較



(1) 流量決定要因



(2) 水の勢い

栓ごとに「水の勢い」「水の広がり」「水はね」「泡切れ」「その他」の5項目で比較したアンケート結果を示す。また、洗浄実験と同様に参考値として既報¹⁾の整流吐水の値を示す。同図より、最適流量を決定する上で「水の勢い」を要因として挙げる被験者の割合が47~67[%]と最も高い結果となった。

図5(2)に、最も回答率が高かった「水の勢い」を流量決定要因のアンケートで選択した被験者のみで「弱すぎる」、「やや弱い」、「ちょうど良い」、「やや強い」、「強すぎる」の5段階での回答結果を示す。同図より、No. 1, 16 のシャワー水栓において被験者が「ちょうど良い」と回答した割合が50[%]以上となった。

図5(3)に、簡易実験におけるアンケート調査結果より、満足度について各水栓を総合的に評価し、「満足」、「やや満足」、「どちらでもない」、「やや不満」、「不満」の5段階で回答してもらった結果を示す。同図より、総穴面積が35.3mm²と50.9mm²のNo. 1, 16の水栓において、使い勝手が良いと考えられる「満足」、「やや満足」を合わせた結果、50[%]以上となる。3.1.1ではNo. 16の水栓において削減率が節湯B1基準を満たし、「満足」、「やや満足」の回答が過半数を超える結果となった。よって今回の簡易実験において、先に判定条件を述べたように削減率が基準値を満たし、総合的に使い勝手の良いとされる水栓はNo. 16であることを確認した。

3.2 食器洗浄実験

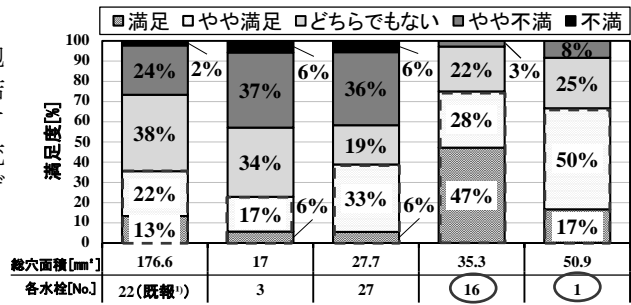
3.2.1 湯水総使用量及び削減率の比較

図6に、各期における各水栓の湯水総使用量を示す。また、図4と同様に、既報¹⁾より基準となる整流吐水の湯水総使用量37.2[L/回]（全期間平均値）と、それに対する削減率を併記した。同図より、全期間平均の湯水総使用量は25.4~33.3[L/回]となり基準器である整流吐水に対し、削減率は10.4~31.6[%]となった。また、節湯B1基準の浴室シャワー水栓の削減率15[%]以上を満たす水栓は、簡易実験と同様にNo. 3, No. 16, No. 27であった。

3.2.2 アンケート調査結果

図7(1)に3.1.2より把握した、流量決定要因となる「水の勢い」の回答率を(1)簡易実験と(2)食器洗浄実験で比較して示す。また、洗浄実験と同様に参考値として既報¹⁾の整流吐水の値を示す。同図より、「水の勢い」との両実験での回答率の傾向は類似しており、各水栓での差異は概ね10[%]程度となり、その差は小さく流量を決定するうえで重要な要因であると推察する。

図7(2)に、両実験より最適流量を決定する上で



(3) 満足度

図5 簡易実験アンケート調査結果

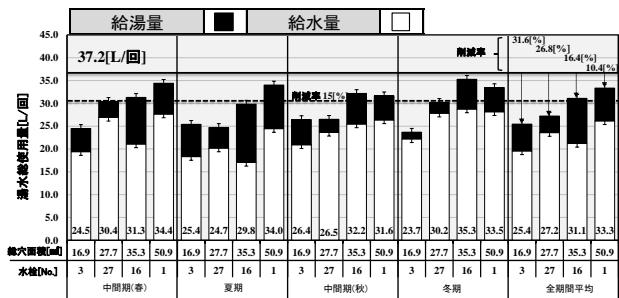
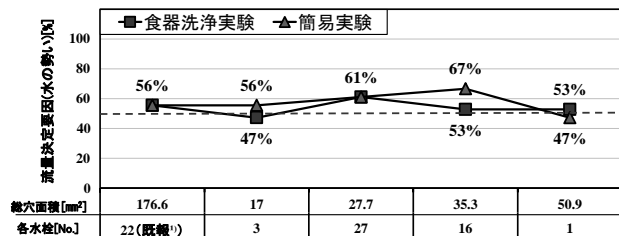
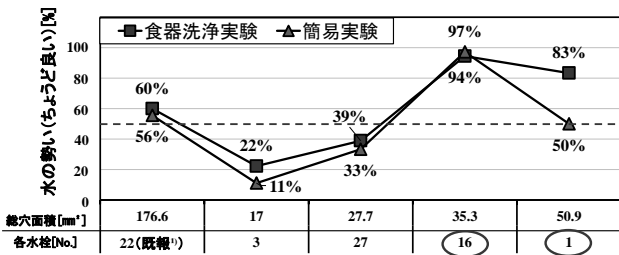


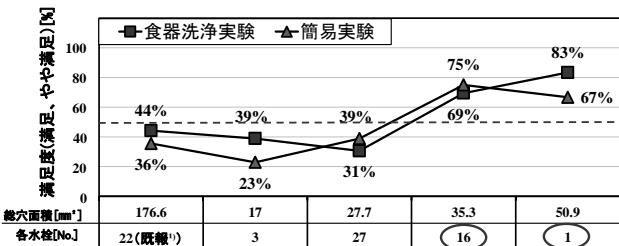
図6 総穴面積順による最適流量及び削減率の比較



(1) 流量決定要因(水の勢い)



(2) 水の勢い(ちょうど良い)



(3) 満足度(満足、やや満足)

図7 両実験アンケート調査結果

最も大きな要因であると考えられる「水の勢い(ちょうど良い)」について各水栓を総合的に評価した結果を比較して示す。同図より、No. 1, No. 16の水栓において「水の勢い(ちょうど良い)」と挙げる被験者の割合が共に50[%]以上と高く、特に、No. 16においては両実験ともに90[%]以上と最も高い割合となった。しかし、No. 3, No. 27の水栓においては、「水の勢い(ちょうど良い)」と挙げる被験者の割合が50[%]を下回る結果となった。また、No. 1の水栓において30[%]以上の差が生じた要因として、簡易実験では適正上限流量、使用上限流量と必要以上の流量を要求した際に、総穴面積が大きいことため一定以上の吐水流速が得られず、評価が下がったと考えられる。対して食器洗浄実験ではちょうど良い流量で洗い続けるため、吐水流速に不足感はなかったと推察できる。

図7(3)に、両実験より使い勝手の良い水栓を選定する「満足度(満足、やや満足)」について各水栓を総合的に評価した結果を比較して示す。同図より、簡易実験での満足度と比較すると両実験の差異は20[%]以内に収まり、両実験において、使い勝手の良いとされる水栓は、過半数の50[%]以上が「満足」、「やや満足」と回答しているNo. 1, No. 16であるとみなせる。No. 1, No. 16は、自宅で使用しているシャワー水栓に吐水形状等が最も近いというコメントが37名中17名と多数あるため、結果的に使い慣れていることが、満足度が高くなった要因の1つであると考えられる。

3.2.3 最適流量と湯水総使用量及び削減率比較

図8に、簡易実験により得られる最適流量と食器洗浄実験により得られる湯水総使用量を比較した結果について、既報²⁾の結果と併わせて示す。前述までのアンケート調査結果より把握した、使い勝手の良い水栓の総穴面積を図2の近似曲線の回帰式を用いて算出した最適流量が4.5～5.2[L/min]となるので図8中の一次回帰式より、湯水総使用量は約29.0～32.0[L/(回・人)]となり、最適流量との相関を把握できた。これにより簡易実験から得られる最適流量は、食器洗浄実験の状態を示すものとして、湯水使用量や削減率の評価に活用できるものと判断する。

図9に、簡易実験により得られる最適流量と食器洗浄実験より求めた基準水栓に対する湯水の削減率の関係を示す。また、既報¹⁾²⁾の水栓の値も併記した。同図より、アンケート調査結果で把握した使い勝手が良いとされる最適流量4.5～5.2[L/min]の範囲において、簡易実験では3.6～16.6[%]、食器洗浄実験の削減率は15.1～22.9[%]となった。これより厳しい条件となる簡易実験の値を使用する。この結果に3.2.2の「満

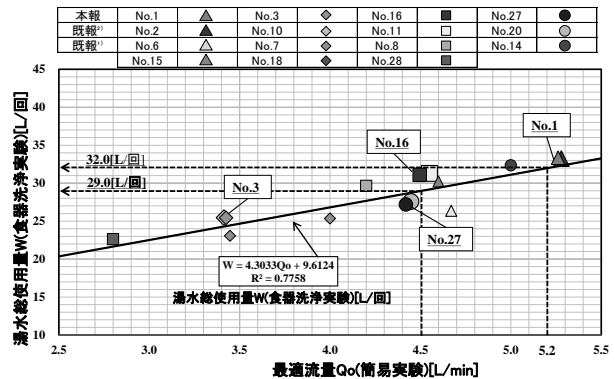


図8 最適流量と湯水総使用量の関係

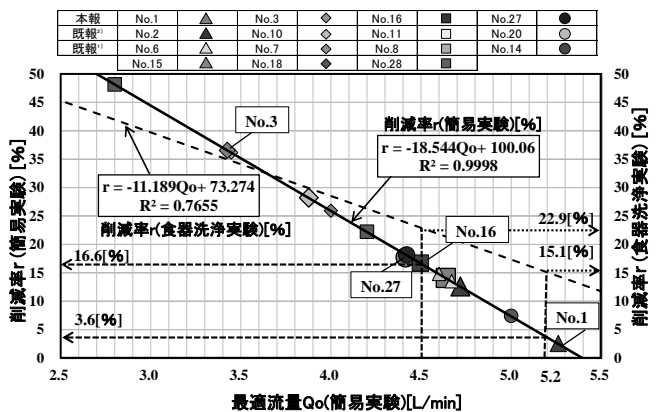


図9 最適流量と削減率の関係

足度)が過半数の50[%]以上という条件を加えると、算出した削減率の範囲と節湯B1基準の削減率15[%]以上をクリアする水栓は最終的にNo. 16となった。

4. まとめ

既報¹⁾²⁾の11種に今回の4種を加え、計15種の節湯型水栓を用い総合的に評価を行った結果、最適流量と湯水削減率の関係に、使い勝手の良さも加味した評価判定用の線図も作成することができ、これを用いてシャワー水栓の節水・節湯効果の評価ができるものとなった。よって前報より提案してきた最適流量と削減率の関係図による評価手法は有効であることが確認できた。

【参考文献】

- 1) 鳥海翔: 台所用途の多種節湯型水栓の節湯効果の評価に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2014.12.4
- 2) 太田恭平: 台所節湯型水栓の使い勝手を考慮した節湯効果に関する研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2016.2
- 3) 一般社団法人日本バルブ工業会ホームページ, <http://www.j-valve.or.jp/>, 2015.9.29 閲覧

*1, 2 関東学院大学建築学科専攻 4年

*3 関東学院大学建築・環境学科教授

*4 (現)UR 都市機構: (元)関東学院大学建築工学研究科

B-4

業務用建物への連立節水形トイレの適応の可能性

○川口俊哉（関東学院大学），大塚雅之（関東学院大学），
石原唯（関東学院大学），和泉光（関東学院大学）

Possibility of Adaptation of Water Saving Combined Toilets for Commercial Office

Kawaguchi Toshiya (Kanto Gakuin University), Otsuka Masayuki (Kanto Gakuin University),
Ishihara Yui (Kanto Gakuin University), Izumi Hikaru (Kanto Gakuin University)

キーワード：節水形大便器，器具排水特性，搬送性能，定時間後洗浄，シミュレーション

1. はじめに

現在、国内外において節水形大便器の普及が進み、日本においても JIS A 5207-2014 で、節水Ⅰ形(洗浄水量 8.5L 以下)、節水Ⅱ形(洗浄水量 6.5L 以下)が規定されている。また昨今では、住宅用途のみならずオフィス等の業務用途においても節水形大便器を用いた 5 連程度のスラブ上での配管の連立トイレシステムの採用が進んでいるが¹⁾、多数の大便器を連立させたシステムでは、スラブ上の寸法のおさまりの問題から、いまだスラブ下での配管施工の事例が多い。しかし、その排水特性や搬送性能データは十分に収集されておらず、また、様々な配管条件への応用として搬送性能のシミュレーション手法も確立していない。本報では、スラブ下での配管を用い、SHASE-S206 でも逃し通気管を必要とする 8 個以上が接続された排水横枝管に関する規定を参考に、8 連節水形トイレシステムの器具排水特性と搬送性能について先ず実験的に検討する。さらに搬送性能シミュレーション手法の基礎的データの収集も一部で試みた。

2. 実験概要

2.1 供試排水横枝管システム

実験は、オフィスビルのトイレブースを想定した図 1 に示す、配管長 8.5m の供試排水横枝管システムを用い、公称洗浄水量 6.0L の節水Ⅱ形大便器を設置し行う。また供試大便器と排水横枝管を接続する排水管の形状は、図 2 に示すように、LT 継手を用いた器具排水管と排水横枝管との接続部継手の流入角が 90° のもの(以下、LT 継手)と、45° Y 継手と 45° エルボを用いた流入角 45° のもの(以下、45° Y 継手)の 2 種類とした。供試大便器は、大便器の排水口芯より 1m 間隔で並列に設置し、最上流の供試大便器を①、そこから下流に②～⑦、

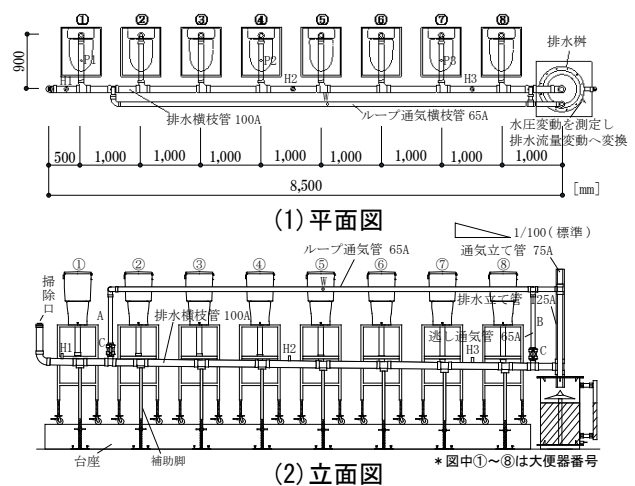


図 1 供試排水横枝管システム

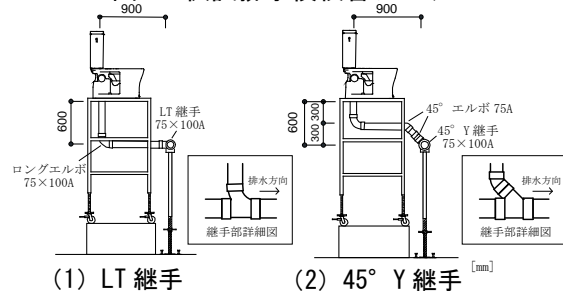


図 2 接続排水横枝管の継手形

最下流を⑧とする。排水横枝管には透明硬質塩化ビニル管を使用し、呼び径は 100A(実内径 103.7mm)とし、末端には JIS-DT 継手(100A×125A)を設置する。また、こう配は最小こう配 1/100 とする。最上流大便器①とその一つ下流の大便器②の間にループ通気管(図 1 中 A 点)を、最下流大便器⑧の下流側には逃し通気管(図 1 中 B 点)を立ち上げ、どちらも開閉バルブ(図 1 中 C 点)を設け、通常は閉とし実験に応じて開閉を行う。実験は表 1 に示す単独排水、合流排水の排水パターンにおいて器具排水特性実験、及び搬送性能実験の 2 つ

を行う。また、汚物が管内に停滞した際の洗浄による排出を想定した定時間後洗浄実験も行う。各実験の測定項目及び方法は、図1中に示すH1～H3点で管内水位を超音波水位センサで、P1～P3点で管内圧力を圧力センサで測定する。排水樹ではSHASE-S220 器具排水特性実験法に準拠し、管内排水流量変動 $Q[L/s]$ と器具排水量 $W[L]$ を測定する。

2.2 器具排水特性実験

各排水パターンにおいて、汚物を含まない清水による器具排水特性の測定を行う。

2.3 搬送性能実験

表2に示す、供試代用汚物D、D'、BLの3種類のいずれかを排水する供試大便器に投入し、15秒間浸した後に洗浄を行い、最上流大便器①と排水横枝管接続部の管芯から、停止した供試代用汚物の最後尾までの搬送距離を測定する。単独搬送実験では供試大便器①～⑧のうち1器具に供試代用汚物を投入し排水を行い、搬送距離を測定する。合流搬送実験では、排水するすべての供試大便器に供試代用汚物を投入し測定を行う。合流搬送実験での排水のタイミングは、最上流大便器①の排水後から1秒ずつタイムラグを設け、合流部で流下した排水が重なるように順次排水する。また、ループ通気管及び逃し通気管の両者とも有効にした場合とループ通気管のみを有効にした場合での管内圧力、封水損失値の比較も行う。

2.4 定時間後洗浄実験

単独搬送実験で最も搬送距離が短い排水パターンにおいて供試代用汚物が停滞してから1時間後に最上流に設置した供試大便器①から清水排水を行い、停滞した供試代用汚物に対する後追い排水による搬送距離の測定を行う。また、清水排水は供試代用汚物が排水立て管まで完全搬送されるまで連続で行い、その回数をカウントする。供試代用汚物は最も条件の厳しいD'を用いる。

2.5 シミュレーション方法での検討

既報²⁾において、手法を確立している管径75Aでの計算モデル(図3)の知見をもとに、排水特性のシミュレーションを行う。図4に示す装置を用いた器具排水特性実験を行い、その結果から初期条件を算出する。その値を式(1)の連続式と式(2)の運動方程式に代入することで、時間変化をとともなって変化する排水流量 $Q [L/s]$ 及び管内水位変動 $H [mm]$ を算出する。算出結果より排水流量波形を作成し、計算波形と実測波形の比較を行う。また、搬送性能の指標となる排水管接続器具平均排

表1 排水パターン (1) 単独排水 (2) 合流排水

排水パターン	供試大便器								排水パターン	供試大便器							
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
単独排水	No.1	○							4箇所	No.9	○	○	○	○			
	No.2		○							No.10	○	○	○	○			
	No.3			○						No.11	○	○	○	○	○	○	○
	No.4				○					No.12	○	○	○	○	○	○	○
	No.5					○											
	No.6						○										
	No.7							○									
	No.8								○								

○:排水箇所

表2 供試代用汚物

種類	供試代用汚物写真	供試代用汚物概要
D		シングル仕様トイレトーパー 1mカット 6枚重ね
D'		ダブル仕様トイレトーパー 1mカット 6枚重ね
BL*		シングル仕様トイレトーパー 0.9mカット 4枚重ね

*(-財)ベターリビング, BLE WC:2013 供試大便器

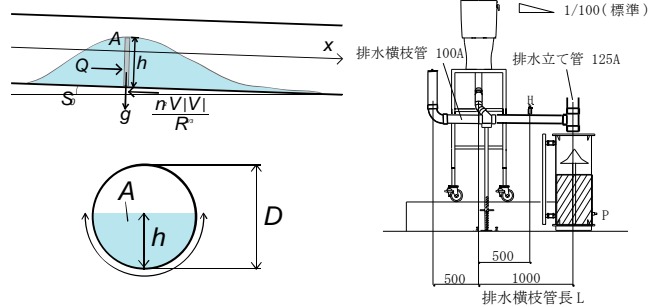


図3 計算モデル 図4 器具排水特性測定装置

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad \dots (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} + Agh \right) = gA \left(S_0 - \frac{n^2 V |V|}{R^{4/3}} \right) \quad \dots (2)$$

$$qd, qd' = \frac{0.6 \times W}{td} \quad \dots (3)$$

Q:排水流量[m³/s] A:充水面積[m²] V:流速[m/s] t:時間[sec] x:管軸方向長さ[m] g:重力加速度[m/s²] h:水深[m] R:動水半径[m] S₀:こう配 n:マンニングの粗度係数[s/m^{1/3}] P:潤辺長[m]

水流量 qd' 値と、単独搬送性能実験から得られた搬送データから搬送限界器具平均排水流量 qd'_{cp} を求め検討を行う。

3. 実験結果及び考察

3.1 器具排水特性実験

図5に各継手形状の排水流量曲線のうち、上流、中流、下流の各位置の代表例として供試大便器①、④、⑧からの排水時の比較を示す。また、図中には各継手形状でのH2点からH3点間の流速を、水位センサの立ち上がり時間差より求め併記した。同図より、LT継手に比べ、45° Y継手の方が、流速、また最大排水流量が大きく、供試大便器⑧で

は約 0.36L/s、供試大便器④では 0.56L/s、供試大便器①では約 0.25L/s の差となり、約 28.8~57% 程度の差が見られた。図 6 に、供試大便器⑤から清水排水を行った際の、H2、H3 点での水位変動の比較を示す。これより、排水した大便器より上流に位置する H2 において、LT 継手に比べ 45° Y 継手は逆流水位（バックフロー）が少ないことがわかる。また、下流に位置する H3 では、45° Y 継手に比べ LT 継手の方が抵抗が小さく水位が低く、45° Y 継手の方が高水位で排水されていることがわかる。これらの結果より、LT 継手に比べ、45° Y 継手では高水位、かつ速い流速で排水が流れるため、図 5 のように最大排水流量に大きな差が生じたものと考えられる。

3.2 搬送性能実験

(1) 搬送性能の把握

図 7 に単独搬送性実験の比較を示す。同図より、LT 継手では、ほぼ全てのパターンで 3 種の供試代用汚物が管内に多く停滞する結果となった。また、LT 継手に比べ、45° Y 継手では、供試代用汚物 D 以外の D、BL は全て排水立て管まで完全搬送された。45° Y 継手では、45° の流入角度を設けているため、排水の際に抵抗が小さく流動がスムーズであり、LT 継手のように継手部において汚物が停滞することはなかった。また、供試代用汚物 D' では排水パターン No. 5~8 で汚物が排水立て管まで完全搬送されたが、排水パターン No. 1~4 においては、汚物は停滞するが搬送距離は LT 継手よりも長くなり、最大で約 4.5m の差が確認された。

図 8 に、各継手形状の合流搬送性能実験の代表例として、排水パターン No. 10、No. 11 の搬送結果を示す。同図より、どちらの継手形状においても、供試代用汚物 BL を流した場合では、排水立て管まで完全搬送される結果となった。また、45° Y 継手は搬送性能が良く、どの供試代用汚物でも全ての排水パターンで完全搬送されるが、LT 継手では供試代用汚物の D'、D の 2 種類で排水横枝管内に停滞する結果となった。供試代用汚物 D では最上流大便器①からの汚物のみ停滞するが、最も負荷の大きい代用汚物 D' では上流側の大便器である①から③までの汚物が管内で停滞した。

(2) 搬送限界器具平均排水流量 qd'_{cp} の検討

搬送性能を確保するための搬送限界器具平均排水流量 qd'_{cp} を、供試代用汚物 D' について実測値と計算値で求める。ここでは、継手部の抵抗が小さく、モデル化のしやすい 45° Y 継手の場合で

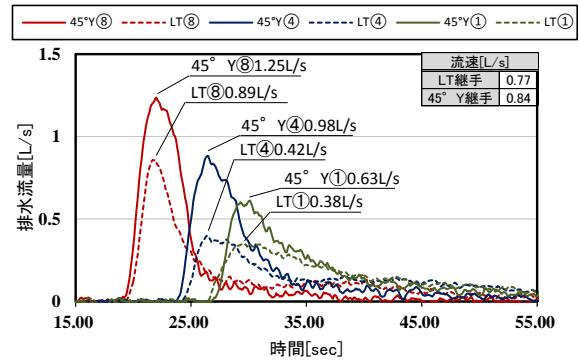
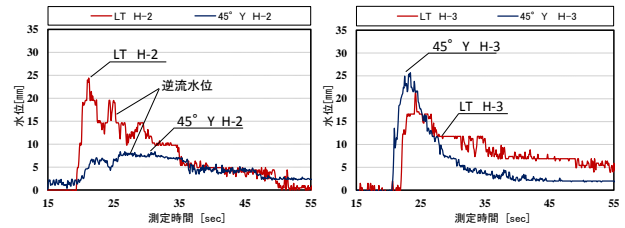


図 5 各継手形状の排水流量曲線の比較



(1) 水位センサーH2 (2) 水位センサーH3

図 6 供試大便器⑤排水時の水位変動

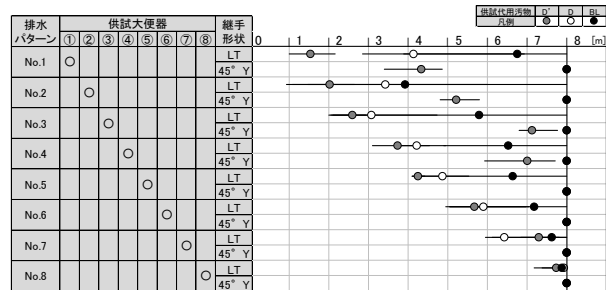


図 7 単独搬送実験結果



図 8 合流搬送実験結果

検討する。図 9 に、排水流量曲線と、 qd' 値と配管長の関係図から算出した qd'_{cp} の計算値と実測値の比較を示す。同図より、排水流量曲線では、曲線の推移は大きな差もなく概ね一致していることがわかる。また、 qd'_{cp} 値は、実測値では 0.43L/s、計算値では 0.39L/s となり、その差は小さく、排水曲線と同様に計算値と実測値は概ね一致した。また、供試代用汚物 D' を搬送させる場合には、0.43L/s 以上の qd' 値を確保できるように配管長を設定する必要があると考えられる。

(3) ループ通気管の影響評価

図10に、45° Y継手時の排水パターンNo. 11(上流側3台、下流側3台排水)における、通気の有無による管内圧力、通気流量の比較を示す。同図より、管内圧力変動では通気無し時に、SHASE-S 218の判定基準値である-400Paを超えているのがわかる。しかし、通気管を有効とした場合には管内圧力が判定基準値以内に収まる結果となった。また、ループ通気管及び逃し通気管を開とした場合と、ループ通気管のみを開とした場合には、管内圧力、通気流量ともに大きな差は見られず、逃し通気管を使用せずループ通気管のみとした場合でも、通気は確保できており、管内圧力も同程度のため、逃し通気管の効果がみられない。また、図11、図12に各継手形状の、通気の有無による合流排水時の管内圧力と封水損失の比較を示す。なお、排水箇所以外での管内最大圧力 P_{max} 、最小圧力 P_{min} と封水損失値 Δh は、図1中に示す圧力センサを設置しているP1~P3のうち、合流排水を行った際に排水を行っていない排水箇所の大便秘器の接続された器具排水管での値を示した。同図より、基準値-400Paを超えたのは、45° Y継手の排水パターンNo. 11の通気無しの場合のみであり、LT継手では、通気の有無にかかわらず管内圧力、封水損失値に大きな差は見られなかった。

3.3 定時間後洗浄実験

図13に、汚物停滞1時間後に清水排水を繰り返した定時間後洗浄実験の結果を示す。同図より、LT継手では、はじめの汚物搬送時の距離が平均で1.14mの位置で停滞し、その後清水排水を3回、45° Y継手では、汚物搬送時の距離が平均で4.91m、その後清水排水を1回行うことで完全搬送される結果となった。よって、そのような排水を器具よりプログラム化させて排水させる方法などを検討することが有効である。

4. まとめ

スラブ下での配管の8連節水形トイレシステムにおいて、45° Y継手は搬送性能が高いが、無通気時に、管内圧力が基準値-400Paを超える結果となり、この程度のシステムではループ通気管が必要であることが確認できた。定時間後洗浄実験では、LT継手で18L、45° Y継手で6Lの清水排水を行うことで、排水横枝管に停滞した汚物が排水立て管まで搬送されることが確認でき、上流側器具で定期洗浄をプログラム化させるための基礎デー

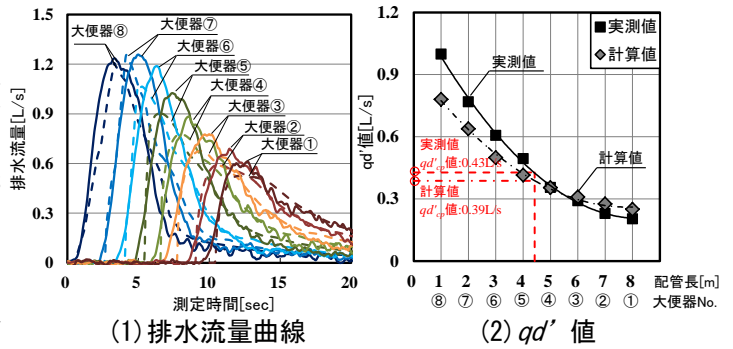


図9 計算値と実測値の比較

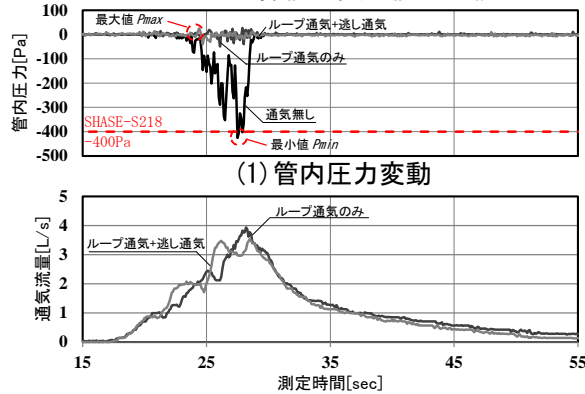


図10 排水パターンNo. 11における通気の有無による影響

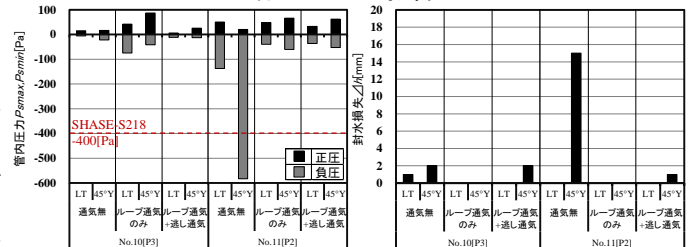


図11 管内圧力 (P_{max} , P_{min})

図12 封水損失値

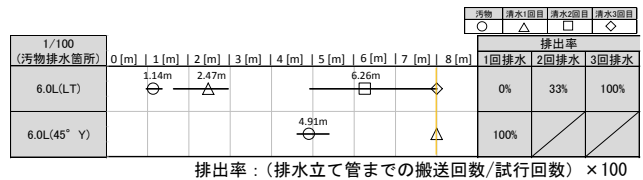


図13 定時間後洗浄による搬送結果

タを収集できた。また、搬送限界器具平均排水流量 qd'_{cp} を求めることができたことを確認した。

参考文献

- 川口俊哉, 大塚雅之: 節水形連立トイレの搬送性能の向上を可能にするシステム開発に関する研究, 空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp97~100(2016.9)
- 重藤博司, 大塚雅之, 秋山和也, 松尾隆史: 節水形大便器の排水横枝管内における器具排水特性のシミュレーション手法に関する研究 第3法-トイレペーパーの搬送シミュレーション手法の提案と検証, 空調調和・衛生工学会論文集 NO. 237

B-5

建築物の全国的データベースによる水消費原単位の実態に関する研究

○高島健太 (東北文化学園大学), 須田 美, 川村広則, 須藤諭 (東北文化学園大学)
A Study on the actual situation of water consumption unit by the National Database for Building

Takashima Kenta(Tohoku Bunka Gakuen University), Suda Yoshimi,
 Kawamura Hironori, Sudo Satoshi

キーワード：非住宅建築物, 商業施設, 宿泊施設, 水消費原単位

1. はじめに

日本サステナブル建築協会に設置された「非住宅建築物の環境関連データベース委員会」では、各種用途建築物のエネルギー消費や水消費に関する全国データベース(Database for Energy Consumption of Commercial Building DECC)を構築している。DECC データを用いた報告は多くなされているが、多くはエネルギー消費に関するものである。水消費に関する地域別での分析が行われている^{(1)~(5)}が、全国データを対象とする報告例は少ない。全国データを用いた分析事例としては池田、村川らが、事務所・庁舎に関して、唯一行っている⁽⁶⁾⁽⁷⁾。

そこで、本研究では、全国の商業施設、宿泊施設における水消費実態を把握するとともに、水消費原単位に影響を与える要因を明らかにすることを目的とした。ここでは、平成 19 年度調査(平成 18 年度実績値データ)、平成 20 年度調査(平成 19 年度実績値データ)、平成 21 年度調査(平成 20 年度実績値データ)を対象とした。

2. 基礎データ分析

表 1 に商業施設のデータ件数、表 2 に宿泊施設のデータ件数を示す。また、分析対象とする有効データの抽出に関するフローチャートを図 1 に示す。建物主用途が商業施設又は宿泊施設でないもの、延床面積の回答がなく、明らかな記入ミスがあるもの、水消費量欄の回答がないものを除外し、グループ B とした。グループ B の年間上水消費原単位を求め、原単位が平均の 1/10 以上、10 倍未満となったものをグループ C とした。さらに、グループ C のデータについてスミルノフ・グラブス検定を有意水準 5% で行い、除外されなかったデータをグループ D とした。年間値はグループ D のデータを用いて分析

した。グループ D の中で水消費量欄に 12 ヶ月分の回答が全て記入されているものをグループ E として、月別値の分析対象とした。

表 1 商業施設のデータ件数

	A(元データ)	B(回答有)	C(平均値の1/10以上・10倍以下)	D(年間値)	E(月別値)
2006年	1045	892	826	801	611
2007年	990	804	743	731	567
2008年	740	623	551	532	482
全	2775	2319	2120	2064	1660

表 2 宿泊施設のデータ件数

	A(元データ)	B(回答有)	C(平均値の1/10以上・10倍以下)	D(年間値)	E(月別値)
2006年	564	482	400	363	279
2007年	532	448	377	352	323
2008年	567	432	346	323	297
全	1663	1362	1123	1038	899

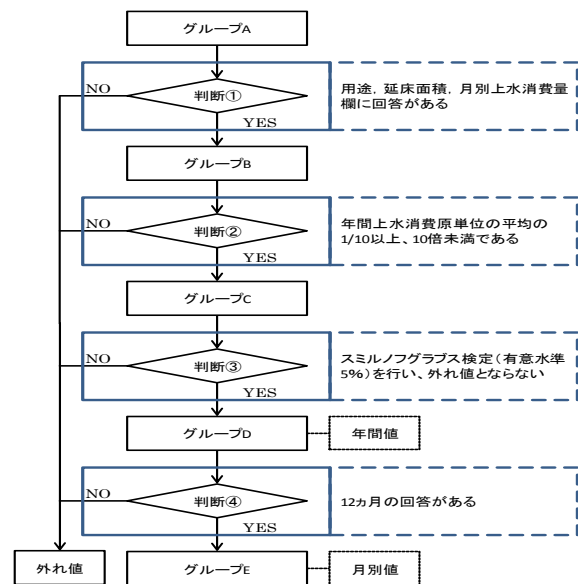


図 1 有効データの抽出フローチャート

3. 商業施設に関する基礎データ分析

3.1 延床面積と水消費量の関係

図2に延床面積と水消費量の関係(2006年)、
図3に延床面積と水消費量の関係(2007年)、

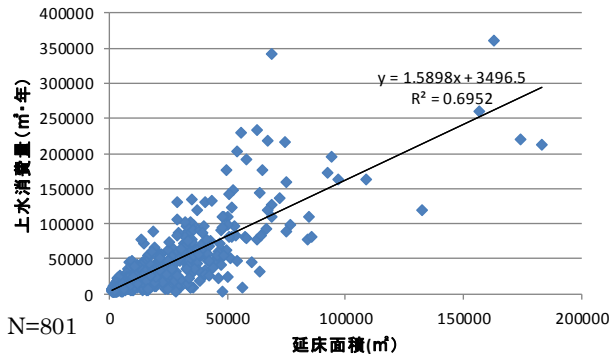


図2 延床面積と水消費量の関係(2006年)

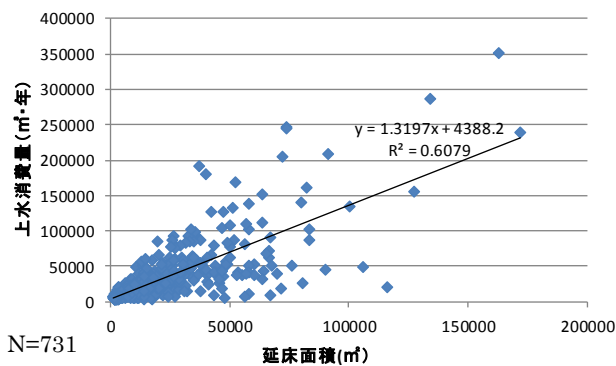


図3 延床面積と水消費量の関係(2007年)

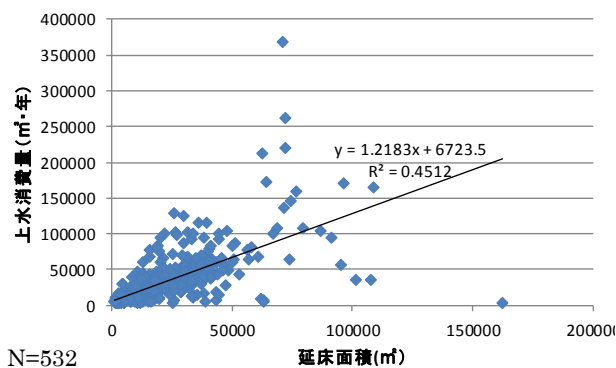


図4 延床面積と水消費量の関係(2008年)

表4 水消費原単位の統計値(3カ年)

	データ年度	25%値	平均値	中央値	75%値	標準偏差	サンプル数
延床面積あたり ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}$)	2006年	1.44	2.34	2.09	3.02	1.28	801
	2007年	1.36	2.16	2.00	2.77	1.14	731
	2008年	1.22	2.06	1.76	2.58	1.26	532

図4に延床面積と水消費量の関係(2008年)を示す。決定係数は2006年で $R^2=0.69$ 、2007年で $R^2=0.60$ 、2008年で $R^2=0.43$ となった。この結果により、水消費原単位として延床面積あたりの水消費量を用いることの妥当性を確認した。

3.2 水消費原単位(年間値)

表3に水消費原単位の統計値を示す。各年度の平均値としては、2006年で $2.34(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 、2007年で $2.16(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 、2008年で $2.06(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ となった。商業施設の年間平均は $2.0(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年}) \sim 2.3(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ の範囲となった。

3.3 3カ年の動向

図5に地域別年間水消費原単位の3カ年の推移を示す。地域別に見ると、法則性は見出せなかった。図6に規模別年間水消費原単位の3カ年の推移を示す。規模別に見ると、年度別については3カ年の変動はあまり大きくないのに対して、規模別では規模が大きい程、原単位が小さくなる傾向が見られた。

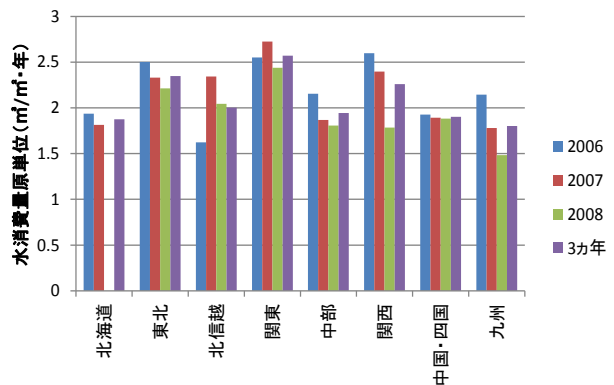


図5 地域別年間水消費原単位の3カ年の推移

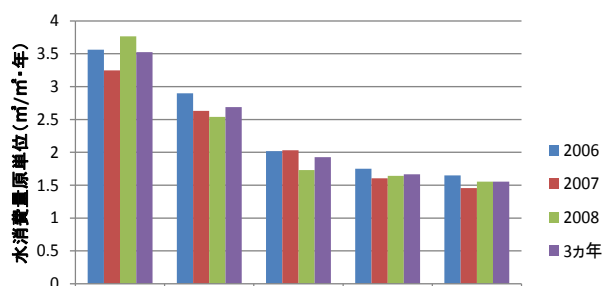


図6 規模別年間水消費原単位の3カ年の推移

3.4 水消費原単位(月別値)

図7に規模別月別水消費原単位(2006年)、図8に規模別月別水消費原単位(2007年)、図9に規模別月別水消費原単位(2008年)を示す。年間分析において、全年度で規模の大小で原単位に変動が見られたため、月別分析でその傾向を確認した結果、月ごとの変動は小さく、規模が大きくなるにつれ原単位が小さくなる傾向が見られた。また、地域別月別水消費原単位についても分析したが、明確な法則性は見出せなかった。

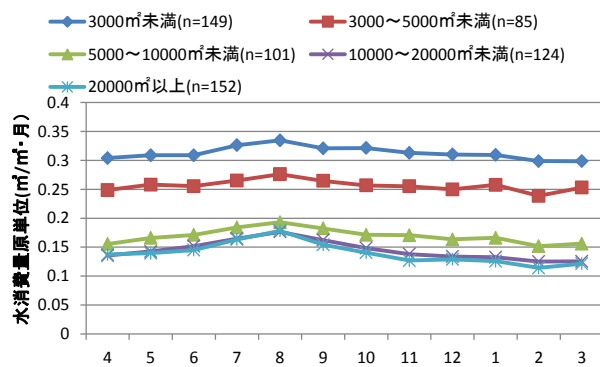


図7 規模別月別水消費原単位(2006年)

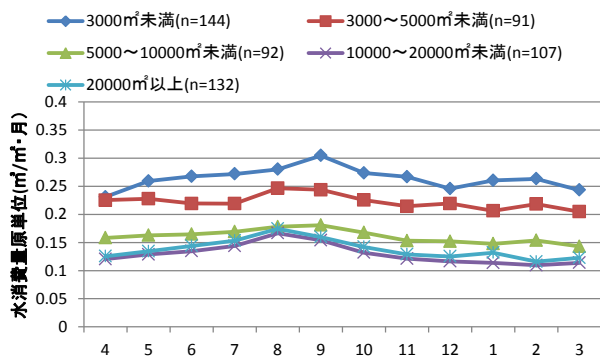


図8 規模別月別水消費原単位(2007年)

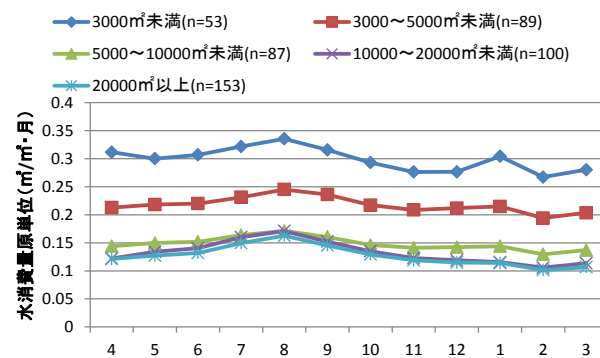


図9 規模別月別水消費原単位(2008年)

4. 宿泊施設に関する基礎データ分析

4.1 延床面積と水消費量の関係

図10に延床面積と水消費量の関係(2006年)、図11に延床面積と水消費量の関係(2007年)、図12に延床面積と水消費量の関係(2008年)を示す。決定係数は2006年で $R^2=0.55$ 、2007年で $R^2=0.56$ 、2008年で $R^2=0.70$ となった。この結果により、水消費原単位として延床面積あたりの水消費量を用いることの妥当性を確認した。

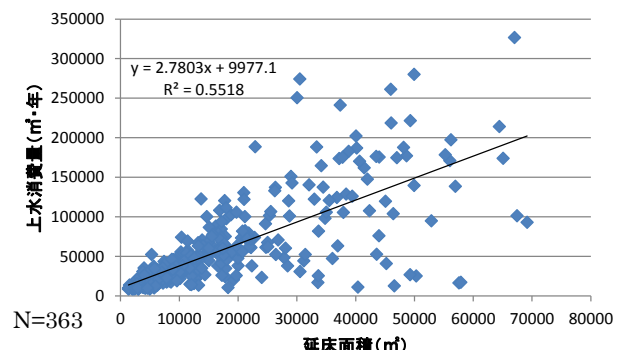


図10 延床面積と水消費量の関係(2006年)

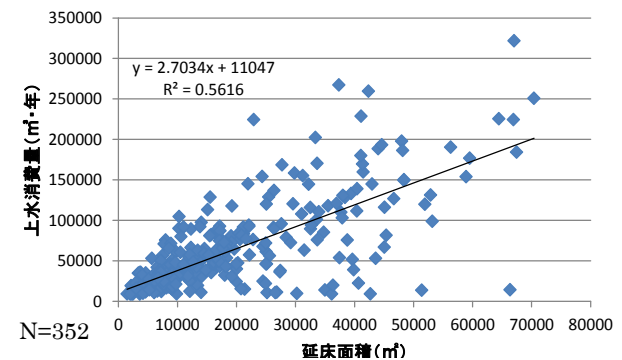


図11 延床面積と水消費量の関係(2007年)

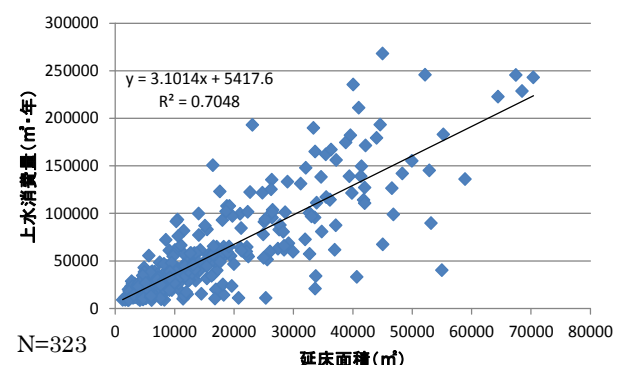


図12 延床面積と水消費量の関係(2008年)

4.2 水消費原単位(年間値)

表4に水消費原単位の統計値を示す。各年度の平均値としては、2006年で3.70(m³/m²・年)、2007年で3.84(m³/m²・年)、2008年で3.76(m³/m²・年)となった。宿泊施設の年間平均は3.7(m³/m²・年)~3.8(m³/m²・年)の範囲となった。

4.3 3カ年の動向

図13に地域別年間水消費原単位の3カ年の推移を示す。地域別に見ると、法則性は見出せなかった。図14に規模別年間水消費原単位の3カ年の推移を示す。規模別に見ると、年度別については3カ年の変動はあまり大きくないのに対して、規模別では規模が大きい程、原単位が小さくなる傾向が見られた。

4.4 水消費原単位(月別値)

図15に規模別月別水消費原単位(2006年)、図16に規模別月別水消費原単位(2007年)、図

表4 水消費原単位の統計値(3カ年)

	データ年度	25%値	平均値	中央値	75%値	標準偏差	サンプル数
延床面積あたり (m ³ /m ² ・年)	2006年	2.77	3.70	3.64	4.52	1.55	363
	2007年	2.76	3.84	3.61	4.55	1.84	352
	2008年	2.71	3.76	3.45	4.51	1.72	323

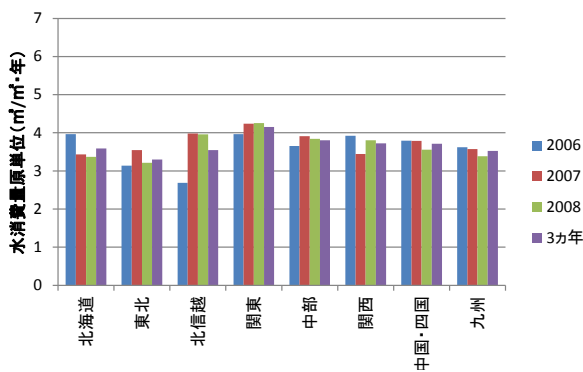


図13 地域別年間水消費原単位の3カ年の推移

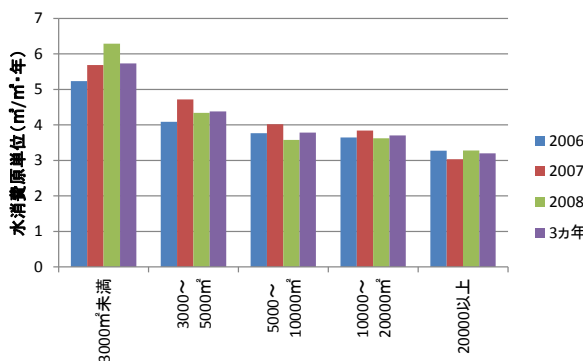


図14 規模別年間水消費原単位の3カ年の推移

に規模別月別水消費原単位(2008年)を示す。年間分析において、全年度で規模の大小で原単位に変動が見られたため、月別分析でその傾向を確認した結果、月ごとの変動は小さく、規模が大きくなるにつれ原単位が小さくなる傾向が見られた。また、地域別月別水消費原単位についても分析したが、明確な法則性は見出せなかった。

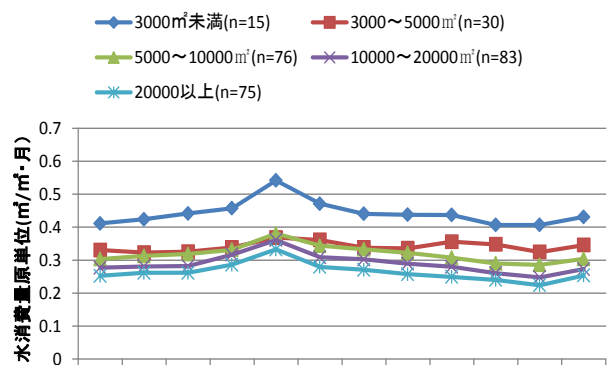


図15 規模別月別水消費原単位(2006年)

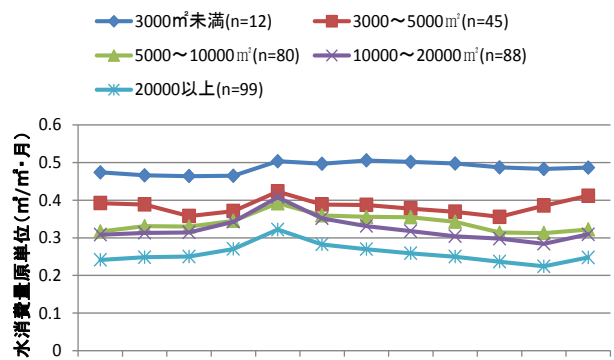


図16 規模別月別水消費原単位(2007年)

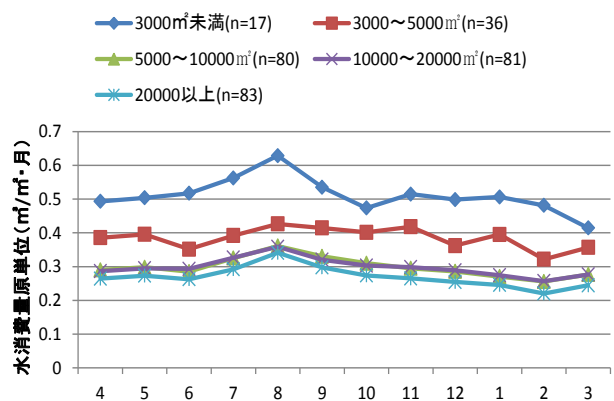


図17 規模別月別水消費原単位(2008年)

5. 規模が水消費原単位に与える影響

5.1 商業施設の規模別データ分布の検定

商業施設の規模が大きくなるにつれ、原単位が小さくなる傾向が統計的に認められるかを確認するため、クラスカル・ウォリス検定を行った。その結果を図 18 に規模別データ分布・検定値 (2006 年)、図 22 に規模別データ分布・検定値 (2007 年)、図 19 に規模別データ分布・検定値 (2007 年)、図 23 に規模別データ分布・検定値 (2008 年) を示す。全年度において有意水準 1% でこの傾向が認められた。

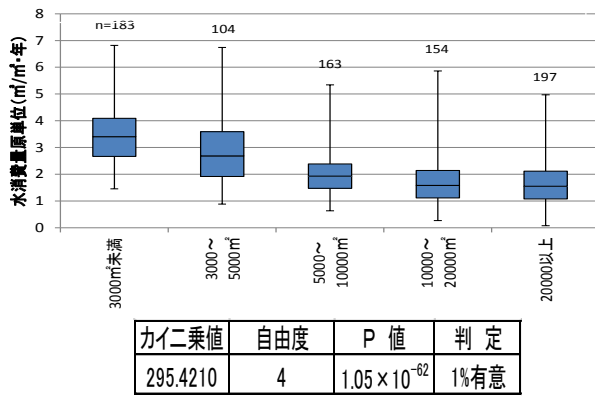


図 18 規模別データ分布・検定値 (2006 年)

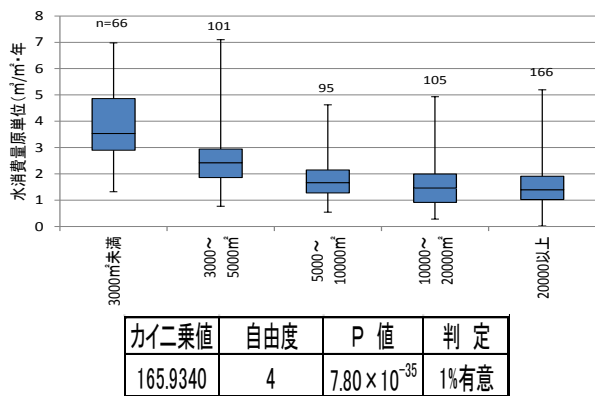


図 19 規模別データ分布・検定値 (2007 年)

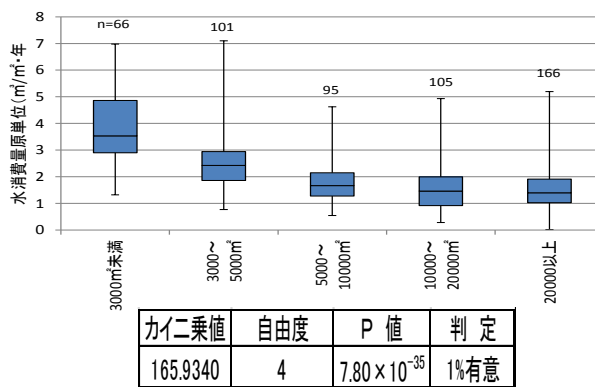


図 20 規模別データ分布・検定値 (2008 年)

5.2 宿泊施設の規模別データ分布の検定

宿泊施設の規模が大きくなるにつれ、原単位が小さくなる傾向が統計的に認められるかを確認するため、クラスカル・ウォリス検定を行った。その結果を図 21 に規模別データ分布・検定値 (2006 年)、図 22 に規模別データ分布・検定値 (2007 年)、図 23 に規模別データ分布・検定値 (2008 年) を示す。全年度において有意水準 1% でこの傾向が認められた。

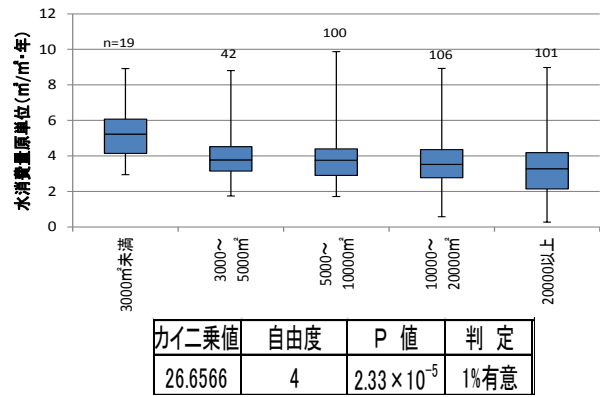


図 21 規模別データ分布・検定値 (2006 年)

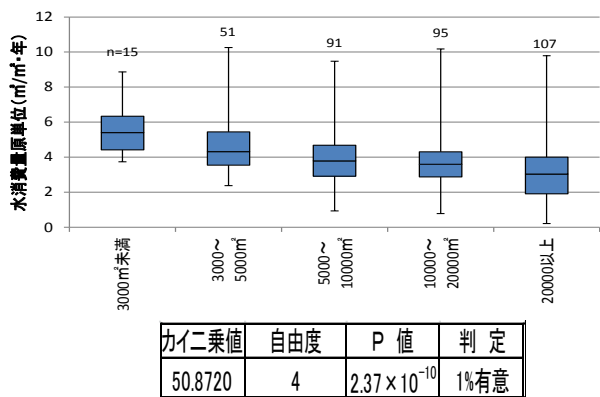


図 22 規模別データ分布・検定値 (2007 年)

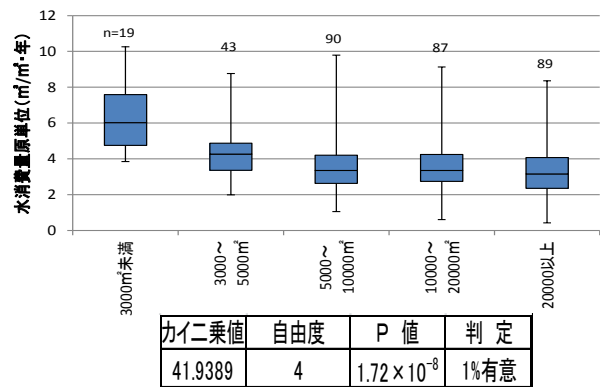


図 23 規模別データ分布・検定値 (2008 年)

6. おわりに

年間水消費原単位は商業施設で $2.0(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ ～ $2.3(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 、宿泊施設で $3.7(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ ～ $3.8(\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{年})$ の範囲となった。クラスカル・ウォリス検定については規模が大きくなると水消費原単位は小さくなることが有意水準1%で認められた。

【謝辞】

本研究は国土交通省の支援のもとに一般社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)に設置された「非住宅建築物の環境関連データベース検討委員会」(委員長:村上周三(一財)建築環境・省エネルギー機構理事長)の活動の一環として実施したものである。ここに謝意を表します。また、本研究の発表に当っては、今井正樹博士による東北文化学園大学奨学寄附金の支援をいただきました。記して感謝いたします。

【参考文献】

1)須藤諭、他 5 名：非住宅(民生業務部門)建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 97、東北地方の各用途建物における水消費の実態(DECC 平成 19～21 年度調査による分析), 日本建築学会大会学術講演梗概集

4) 馬場雅裕、他 9 名：非住宅(民生業務部門)建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 30、関東地区における一次エネルギー消費量および水消費量, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009 年度大会

5)田中絵梨香、他 5 名：非住宅建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 35、九州におけるエネルギー・水消費の実態について(平成 20 年度調査), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2009 年度大会

6)池田大輔、他 14 名：非住宅(民生業務部門)建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 131、事務所建物における水消費実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015 年度大会

7)岡野真一、他 14 名：非住宅(民生業務部門)建築物の環境関連データベース構築に関する研究 その 132、ホテル・旅館施設と病院施設における水消費実態, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015 年度大会

B-6

災害用貯水槽内の水の動きに関する研究

技術フェロー 岡田 誠之 (東北文化学園大学) 正会員 大古 道男 (大丸鐵興(株))

正会員 亀谷 圭三 (大丸鐵興(株))

Seishi OKADA*¹ Michio OOKO*² Keizo KAMETANI*²

Tohoku Bunka Gakuen Univ. *¹ DAIMARU steel industry corporation *²

キーワード：貯水槽、水の動き、Morril 指数、災害時対応

はじめに

これまで渇水や大きな災害が起こるたびに飲み水が話題となるが、時が過ぎれば関心が薄れるという繰り返しが過ぎてきた。しかし、1995年の阪神淡路大震災、2011年の東日本大震災時の長期間の断水を経験して飲料水の確保に本格的に取り組まなければならないと考えられるようになった。飲料水の確保ではペットボトル、20L程度のタンク、飲料水製造装置等であげられてきた。水量の検討¹⁾は各地方公共団体をはじめとして日本水道協会が発災からの経過日数に応じて必要水量を行政として提案している。一方、容器内の水質劣化の検討は円谷ら²⁾の遊離残留塩素から容器の注意事項と安全な使用日数を検討している。また、園田ら³⁾による上水道の大型緊急貯水槽内の残留塩素濃度の劣化予測調査があるが、水槽内の水の流れの解明までには至っていない。岡田⁴⁾は水槽内の水の流れを押し出し流、短絡流について検討している。また、水槽内の残留塩素の消失調査例は笹野⁵⁾、北角⁶⁾、阿部⁷⁾、石塚⁸⁾の報告があるが、水槽内の構造までは検討されていない。

本研究は給水タンクとして住宅用災害給水タンクとに着目して以下の実験的検討を行った。住宅用災害給水タンクは住宅の床下に貯留槽を設け、水道水を通過させながら貯留する方式の給水タンクである。水槽内の水の流れをノズルの形状によって、槽内水流の変化や内のよどみをできるだけ少なくすることを目的に実験的検討をした。

1 実験方法

住宅の床下に設置される給水タンクを想定した実験を行った。実大の容量の1/2スケールモデルを模型の実験装置とした。

実大：内径 312.5mm、全長 2138mm、内容積 163L

模型：内径 156mm、全長 1080mm、内容積 20.5L

日本水道協会⁹⁾の給水栓の標準使用流量は13mm口径

2017.3.14 (東北学院大学 多賀城キャンパス)

であれば、17L/minとしているが、容器内の水の流れはむしろ、低流量時の場合を検討することによって水の流れが評価しやすいと考え、使用流量を5.6L/minとした。実験装置の流入水量は実験時の水温時の動粘性係数を用いて、レイノルズ数を実大と模型で同じ数値として、3L/minを算出した。

(1) 実験装置

実験用模型槽および実験装置を図-1に示すとおりで

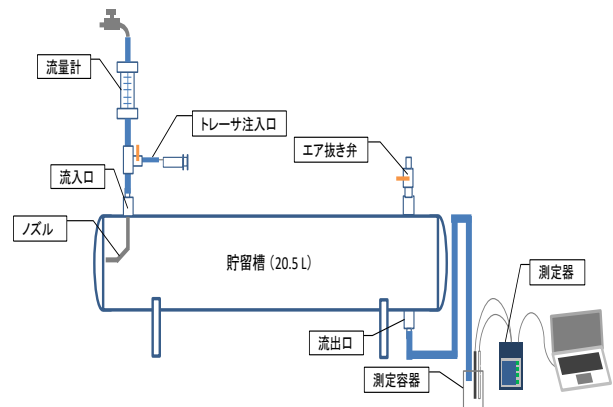


図-1 実験装置及び測定器

ある。透明塩化ビニル板で作成した実験槽に、ホースで水道水を直結して流量は流量計で調整して流入させた。槽容量は20.5Lである。流入水量は3L/minで行った。ノズルは図-2に示す3種類のノズルとし、実験の種類は垂直に短いA型、このA型を斜め45°、B型は槽底面から流入する、C型は槽の中間の位置で流入する4種類とした。

(2) 測定

図-1に示した装置の流量計の前部から注射器で、模型槽容量に対して10mg/Lのトレーサ(ふっ化ナトリウム

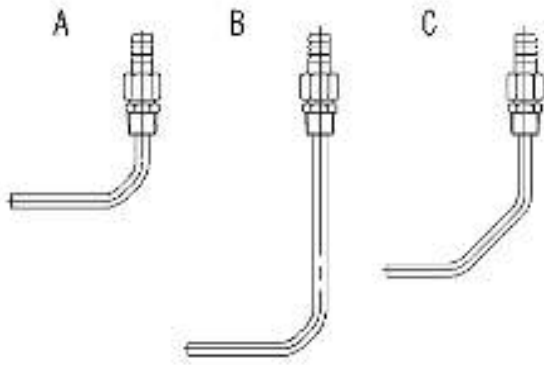


図-2 ノズルの種類

溶液)を瞬間的にホース内に注入する。トレーサ注入と同時に流出口のフッ素イオン濃度を10秒毎に自動計測する。流出濃度が水道水のフッ素イオン濃度になるまで測定を継続する。このトレーサ濃度を経過時間ごとに模式的に現したものが図-3である。また、実験槽内部の水流を見るために実験槽内に着色液(メチレンブルー水溶液)10mLを瞬間的に注入し、流出口から排出されるまでの時間を可視化によって評価した。

2 解析方法

まず、対象とした水槽から流出する物質濃度と経過時間を無次元化して、図によって解析することを試みた。さらに流入する水が強い外力のエネルギーによ

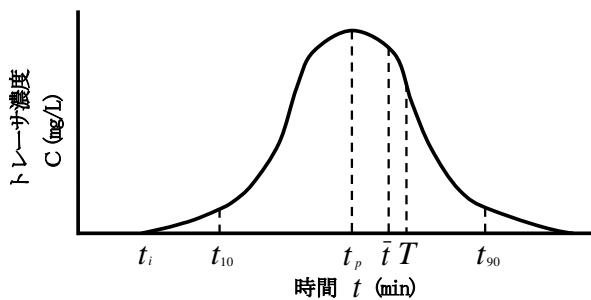


図-3 トレーサ濃度カーブとパラメータ

記号説明

- t₁₀ : トレーサの濃度10%が通過する時間
- t₉₀ : トレーサの濃度90%が通過する時間
- t_p : トレーサのピーク濃度が通過する時間
- \bar{t} : トレーサが滞留する実際平均滞留時間
- C : 濃度
- T : 理論滞留時間

て流入して、槽内の水の動きに影響を与えないことを前提条件とすると、槽内は押し出し流れが、理想的な流れであると考えて実験を進めた。そこで、押し出し流れを最も表す指標として Morril 指数を検討対象とした。

トレーサ濃度を無次元化し、経過時間の関係から押し出し流れの程度を Morril 指数の程度を把握することを試みた。

Morril 指数は押し出し流れを理想流れと考えたものであり、1に近いほど押し出し流れを示している。下記の式(1)で表すことができる。

$$\frac{t_{90}}{t_{10}} \dots \dots (1)$$

3 測定結果

(1) Morril 指数の評価

4種類のノズルに対して各5回の実測を行い、表-1に Morril 指数の平均値と範囲とトレーサ排出終了時間を示した。

A型は Morril 指数の平均値 9.4 (8.4~12.0)、トレーサ排出終了時間が 2694 秒であった。

A型斜め 45° は Morril 指数の平均値 9.0 (8.4~10.7)、トレーサ排出終了時間が 2128 秒であった。

B型は Morril 指数の平均値 10.2 (9.5~10.8)、トレーサ排出終了時間が 2898 秒であった。

C型は Morril 指数の平均値 11.6 (9.6~15.5)、トレーサ排出終了時間が 3676 秒であった。

表-1 Morril 指数及びトレーサ排出時間

ノズルの種類		Morril指数	トレーサ排出時間 (s)
A型	範囲	8.4~12.0	2010~3610
	平均値	9.4	2694
A型45°	範囲	8.4~10.7	1460~2550
	平均値	9.0	2128
B型	範囲	9.5~10.8	2160~3380
	平均値	10.2	2898
C型	範囲	10.4~15.5	3490~3940
	平均値	11.6	3676

(2) 着色液投入の評価

実験槽内に瞬間的に着色液(メチレンブルー)を注入し、流出口に到達するまでと完全に換水する時間を目視で測定したものである。槽内の数字は着色液注入からの時間(秒)である。図-4に示すノズルA型では着色液注入後約50秒で流出口に着色液が確認でき、完全換水時間は2160秒であった。図-5に示すノズルA型斜め45°では着色液注入後約25秒で流出口に着色

液が確認でき、完全換水時間は1980秒であった。図-6に示すノズルB型では着色液注入後約40秒で流出口に着色液が確認でき、完全換水時間は2280秒であった。図-7に示すノズルC型では着色液注入後約210秒で流出口に着色液が確認でき、完全換水時間は3054秒であった。この数値はフッ素イオンをもちいたトレーサ排出時間と同じ傾向を得ることができた。

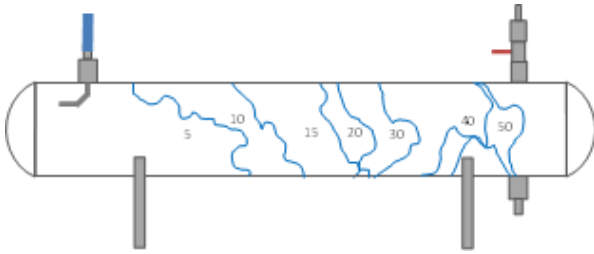


図-4 ノズルA型による水流の変化

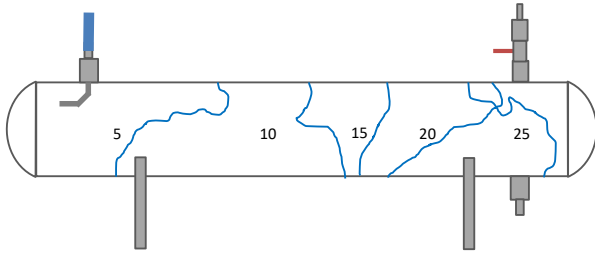


図-5 ノズルA型斜め45°による水流の変化

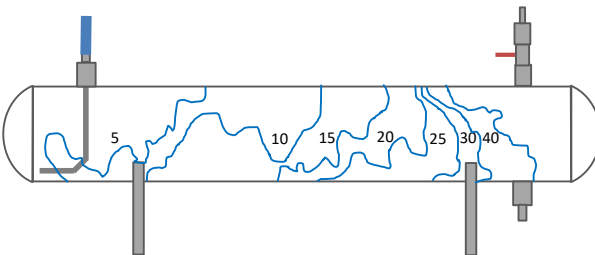


図-6 ノズルB型による水流の変化

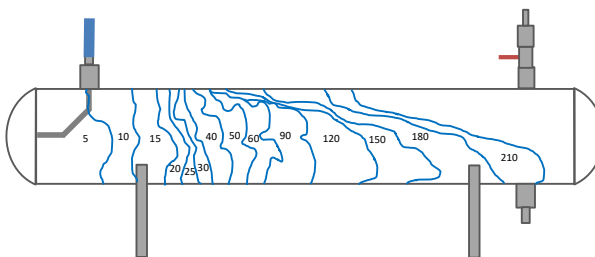


図-7 ノズルC型による水流の変化

表-2 排出終了時間の比較

ノズル種類	フッ素イオンを用いた排出時間	メチレンブルーを用いた排出時間	メチレンブルーを用いた
	(イオン電極による測定)	(目視による測定)	排出口に到達時間 (目視による測定)
A型	2694秒	2160秒	50秒
A型45°	2128秒	1980秒	25秒
B型	2898秒	2280秒	40秒
C型	3676秒	3054秒	210秒

表-2に排出終了時間を示した。イオン電極と目視による排出終了時間はノズルの種類すべてにおいて、イオン電極の排出終了時間は目視の排出終了時間と比べて排出終了時間が長くなっている。また、着色初期の排出口到着時間と併せてみると、着色液が槽内で早く排出されるノズルはA型斜め45° < A型 < B型 < C型の順となり、先に示した Morrill 指数は数値の低い順に並べるとA型斜め45° < A型 < B型 < C型となった。したがって、着色液の排出時間が短く、Morrill 指数が低いノズルが斜め45°であった。

4 給水タンクの概要

非常時給水タンクシステムの給水タンクは図-8に示すとおり、水道管直結の給水タンクで、図-9に示すように水道メーターの2次側に繋ぎ、床下に設置するタンクを経由後ヘッダーから分岐して各給水用具に水が流れる。給水タンクを給水配管の一部として設置するので維持管理する必要はない。



図-8 2槽の給水タンク

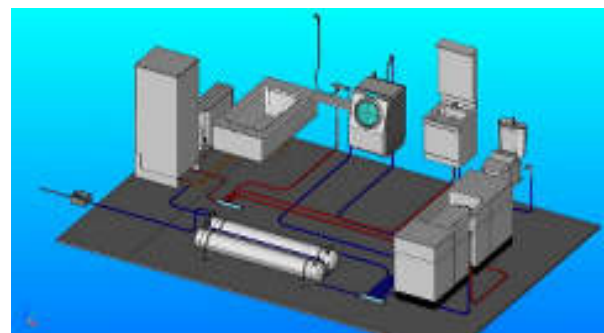


図-9 床下設置図



図-10 断水時の給水タンクにエアポンプ接続

通常の生活では、水を使用するごとに給水タンク内には常に新鮮な水道水が流れるので安全安心な水が確保される。給水タンクはステンレス製で1本163Lの容量があり、図-8のように2本設置でも1日の使用水量でタンク内の水は十分入れ替わる量である。

万が一に災害などで断水した場合は、給水タンクに付設している逆止弁により水道水の確保がなされている。図-10に示すとおり加圧給水タンクに付設している空気抜き弁を閉じて、手動のポンプなどを空気バルブに繋ぎタンク内に空気を送り込み、その空気圧で水を押し出す。ヘッダーを介して繋がっているので蛇口からはもちろんトイレにも水を流すことができる。復旧後には、空気抜き弁を開けることでタンク内に水が流れ込み貯水され、普段と変わらずに生活できるようになる。

水道配管の破損修復後の復旧には泥水が出ることもあるため、給水タンク設置時にバイパス配管を敷設しておけば、給水タンクを通さずに水を流し泥水が流れなくなり次第、給水タンク経由に切り替えることが可能で給水タンク内が汚れることがなくなる。

5 給水タンクの設置例

給水タンクの設置例を新築の床下と既存家屋屋外設置について以下に示す。

①新築設置

建築時の床下に設置し、給水配管を敷設する。自動空気抜き弁及びエアバルブを操作するため点検口を設けて弁の操作ができるようにする(図-11)。

②既存家屋屋外設置

建屋横に基礎を施設し給水タンクを設置後に給水配管を繋ぎカバーにて覆う。カバーは左右扉が開閉でき、空気抜き弁及びバイパス配管の切り替えを行う。エアバルブは建屋内床に配置する(図-12)。

おわりに

水道の断水時の飲用水の確保できる貯水タンクを提案し、このタンク内の水の流れで最も押し出し流れになるノズルを選定して、実機を作成することができた。



図-11 新築設置例 (写真は流出側)



図-12 既存家屋屋外設置例

参考文献

- 1) 水道の耐震化計画等策定指針(2006年3月厚生労働省)
- 2) 円谷創、岡田誠之: 災害用容器中の飲料水の水質に関する研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 pp1597~1600 (2006)
- 3) 園田克樹他: 大型緊急貯水槽の残留塩素濃度変化の予測、水道協会誌(2000), No.685, pp.87~90
- 4) 岡田誠之: 給水タンクにおける水質劣化防止を考慮した内部の構造に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会論文集, No.94(2004-7), pp.79~86, 空気調和・衛生工学会
- 5) 笹野英雄: 保健の科学、飲料水の保存について, 31(11), pp.702~709, (1989), 杏林書院
- 6) 北角彰他: ビルの環境衛生管理、学校の長期休暇時における給水の残留塩素の消失について, 12, pp.40~45, (1981), ビル管理教育センター
- 7) 阿部芳久他: 第26回建築物環境衛生管理全国大会抄録集、貯水槽における飲料水の再消毒について, pp.36~37, (1999), ビル管理教育センター
- 8) 石塚雄三他: FRP製高置水槽における残留塩素の挙動、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.397~400, (1980), 空気調和・衛生工学会

この研究は「KCみやぎ推進ネットワーク」の活動の一環で行われたことを記す。また、本研究は東北文化学園大学大学院久住知裕氏に協力をいただいた。誌上をもって感謝申し上げる。

B-7

屋外貯水槽の凍結防止対策の実験的検討

第3報：本実験結果と考察

○田中和則，斎藤俊幸，草刈洋行（株ユアテック），赤井仁志（福島大学），

岡田誠之，福井啓太（東北文化学園大学）前田信治（㈲前田衛生興業），

久住知裕（(公社)宮城県生活環境事業協会）

Experimental Examination on Preventive Measures Freeze Proofing of Outdoor Water Storage Tanks, Part 2: Experiment Plan by Using of Real Size Model of Actual Phenomenon
Tanaka Kazunori, Saitoh Toshiyuki, Kusakari Hiroyuki (Yurtec Corporation),
Akai Hitoshi(Fukushima University)

Okada Seishi ,Fukui Keita (Tohoku-Bunka-Gakuen University), Maeda Nobuharu (Maeda Clean Service Inc.), Kusumi Tomohiro (Miyagi Prefectural Authority for Living Environment)

キーワード：貯水槽，屋外設置，凍結，寒冷地，実寸大実験，自然通風（換気）

はじめに

寒冷地では気温が氷点下4度以下になると、水道が凍結しやすくなり、屋外、北側で日が当たらない場所、風当りの強いところでは水道管等に凍結防止ヒーターを施し、対策を図っている。しかし、屋外に設置された受水槽や高置水槽は対策が不十分であることから、水槽内部の水面やボールタップ等が凍結する事象が見受けられる。貯水槽内部が凍結するメカニズムとして、溢水管（オーバーフロー管）から冷やされた外気が貯水槽に侵入し、通気口から抜ける際に槽内の気相部が冷却されることが要因として考えられる。実験は冬期の屋外環境を再現するため、山形県新庄市雪氷防災研究センターにおいて実施した。今般、貯水槽の水面凍結の実証実験の結果を報告する。

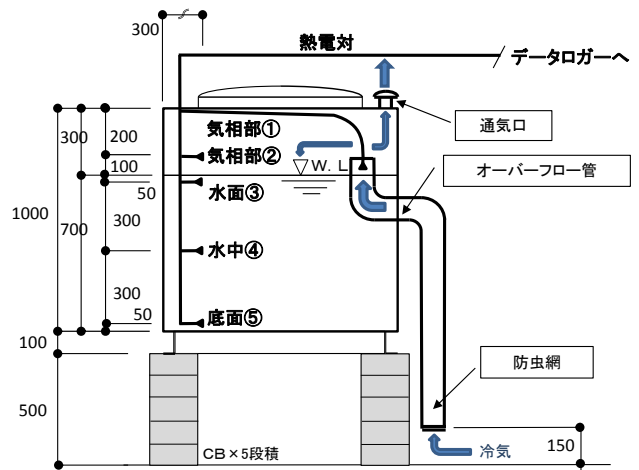


図-1 試験水槽詳細図

1. 実験方法

FRP製水槽（1.0m×1.0m×1.0mH）を4基設置する。各水槽（A,B,C,D）異なった対策のもと、比較実験を行った（図-1～2・表-1）。熱電対を用いて各水槽内部の温度を連続的に測定した。測定点は気相部①（溢水管の上部）、気相部②（槽内）、水面③、水中④、底面⑤の5ヶ所とし、室内設定温度条件は-10℃と-5℃の2条件で実施した。なお、同じ環境条件とするため、全ての対策方法において溢水管端に向かって扇風機を運転した。

表-1 実験条件

室内設定温度		水槽	対策方法
-10℃	-5℃	A	対策なし
		B	溢水管を塞ぐ
		C	溢水管を塞ぎ、ブロワで攪拌
		D	溢水管に電気ヒーター設置

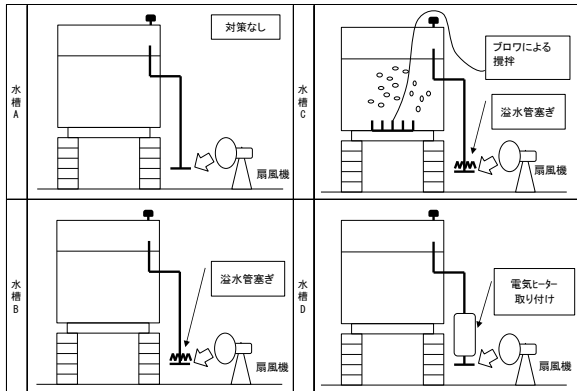
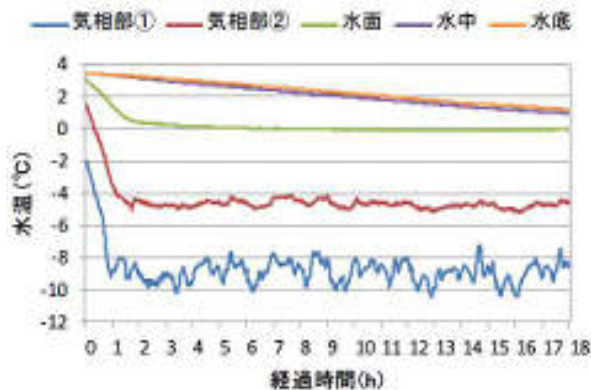


図-2 対策方法

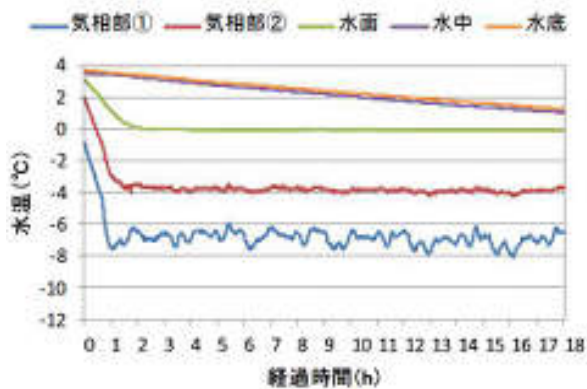
2. 測定結果

測定データを図-3～図-6に記す。



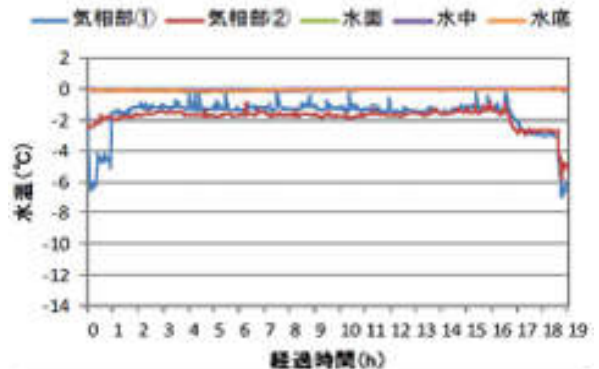
水槽A	気相部①	気相部②	水面	水中	水底
開始時 (°C)	-1.99	1.51	3.09	3.42	3.42
終了時 (°C)	-9.14	-4.89	-0.08	0.95	1.18

図-3 水槽A (対策なし)



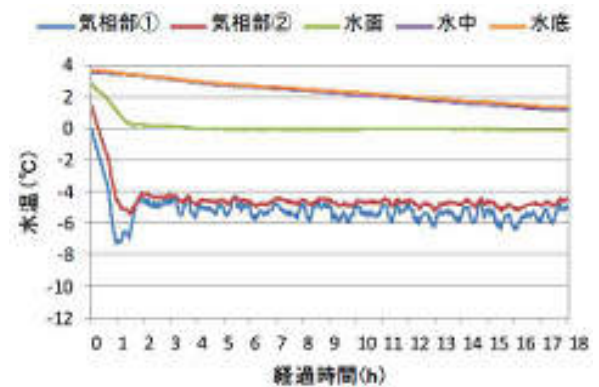
水槽B	気相部①	気相部②	水面	水中	水底
開始時 (°C)	-0.85	1.96	3.09	3.48	3.66
終了時 (°C)	-6.54	-3.83	-0.01	1.04	1.26

図-4 水槽B (溢水管を塞ぐ)



水槽C	気相部①	気相部②	水面	水中	水底
開始時 (°C)	-1.72	-1.98	0.00	0.01	0.00
終了時 (°C)	-3.11	-2.71	0.00	0.01	0.00

図-5 水槽C (溢水管を塞ぎ、ブロウで攪拌)



水槽D	気相部①	気相部②	水面	水中	水底
開始時 (°C)	-0.02	1.43	2.86	3.49	3.63
終了時 (°C)	-5.07	-4.21	-0.01	1.19	1.32

図-6 水槽D (溢水管に電気ヒーター設置)

3. まとめ

屋外を想定した凍結対策として有効な手法は溢水管を塞ぎブロウで攪拌する「水槽C」であった。しかし、飲料水は残留塩素濃度の基準値があるため、曝気による塩素消失は衛生上望ましくない。また、溢水管を塞ぐ「水槽B」と溢水管に電気ヒーターを設置する「水槽D」はほぼ同程度の数値であったが、水槽Dは電源を必要とする。実験結果から、溢水管を塞ぐ手法(水槽B)が対策なし(水槽A)と比較した場合に気相部①②で1～3°C程度高いことがわかった。このことから、風(熱伝達)などの周囲環境を考慮するとともに、本来の排水機能を持たせることによって、凍結防止対策として期待できるものと考えられる。

B-8

次世代中央式給湯システムデザインのための動的負荷の研究

第2報：大浴場付きビジネスホテルの給湯負荷

○小原雄輝（北海道大学），赤井仁志（福島大学/北海道大学），濱田靖弘（北海道大学）

望月洋平（関西電力㈱）

Study on Dynamic Load for Next-generation Central Hot Water Supply Systems Design

Kohara Yuki (Hokkaido University),

Akai Hitosi (Hukushima University / Hokkaido University),

Hamada Yasuhiro (Hokkaido University), Mochizuki Youhei (Kansai Electric Power Company)

キーワード：給湯，動的負荷，機器容量，宿泊施設

はじめに

業務他部門のエネルギー源の大部分は電力・化石燃料である。しかし近年電気料金は値上がりし、化石燃料についても依存の増大・価格の乱高下といった向かい風を受けている。この現状を改善するために、今後は自然エネルギー・高効率機器を用いた省エネルギーシステムの導入が重要となる。

本研究では、業務他部門中のエネルギー消費のうち15%を占めている給湯について取り扱う。従来の給湯機器容量算定方法では、科学的な裏付けが取れない数値や経験則に基づいた数式が用いられている場合がある。特に季節・時刻別などの動的な変化が考慮されていない。給湯負荷の変動には施設の規模や用途といった特徴が表れる。これを考慮した設計を行うことはイニシャル・ランニングコストの削減に繋がる。そこで本研究ではこの現状を見直し、動的負荷を考慮した新たな給湯設備設計手法を構築することを目的とした。

本報では第1報¹⁾を踏まえ、大浴場付きビジネスホテルの給湯負荷について解析を行った。

表-1 対象施設概要

所在地	関西(京都)
計測開始日	2010年4月7日
計測終了日	2012年3月30日
データ時間幅	10分
チェックイン	15:00
チェックアウト	11:00
給湯温度	60℃
部屋数	202(397人)
大浴場	有

1. 日給湯負荷の算出

1.1 概説

対象施設の概要を表-1に示す。対象施設は大浴場付きのビジネスホテルである。チェックイン・チェックアウトの時間を考慮し、データ解析時には15:00～翌日14:50までを一日ととして解析した。また実測データは使用温度における給湯使用量であり、解析時には60℃換算した使用量(給湯負荷)に修正して利用している。本章では既往の算定手法の検討をするために、実測データと従来の設計値との比較を行った。

1.2 既往の算定手法

機器容量(貯湯槽容量・加熱容量)は日給湯負荷から求められている。日給湯負荷の算定方法はいくつかあるが、第1報に引き続き「使用人員などによる方法」²⁾を検討する。算出式は式(1)の通りである。

$$Q_d = N \times q_d \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

Q_d ：日給湯負荷 [L/日]

N ：給湯対象人員 [人]

q_d ：一人当たり日給湯負荷 [L/(人・日)]

また、一人当たり日給湯負荷の従来の設計値は「150～250 L/(日・人)」³⁾となっている。

1.3 正規性の確認

実測データより一人当たり日給湯負荷を算出する際、各月毎に一人当たり日給湯負荷の平均値に標準偏差の2倍を加えた値を用いている。この手法を利用するに当たり、一人当たり日給湯負荷の正規性を確認した。一か月分ではデータ数が最大31日分しか得ることが出来ないため、今回は一人

当たり日給湯負荷の平均値に近い3か月分のデータを用い、ヒストグラムを作成した。図-1 から、概ね正規分布していることが確認できた。

1.4 対象施設における一人当たり日給湯負荷

式(1)において、宿泊施設の一人当たり日給湯負荷の設計値は「150～250 L/(日・人)」となっている。この値が妥当であるか調べるため、対象施設における月ごとの平均一人当たり日給湯負荷[L/(人・日)]を算出した。2010年度の結果を図-2、2011年度の結果を図-3に示す。本施設では温泉系統・客室系統の給湯使用量が別々に計測されており、グラフ上では色を分けて示している。また前節を踏まえ、誤差範囲には標準偏差の2倍(2σ)を用いている。

結果より、客室系統・温泉系統の給湯負荷は夏季に比べ冬季の方が大きいことがわかる。加えて夏季の温泉系統の給湯負荷はかなり少ないことが確認できた。平均一人当たり日給湯負荷は2011年度1・2月を除いて設計値を下回る結果となった。また標準偏差の二倍を加えた場合では、2010年度1月、2011年度12月・1月の3か月が従来の設計値範囲内、2011年度2月が従来の設計値を超えた。

給湯機器を設計する際、その容量は給湯使用量が多い冬季に合わせて設計しなければならない。冬季の温泉系統一人当たり日給湯負荷は全体の3分の1ほど占めていることが結果から読み取れる。その一方で夏季の温泉系統の給湯使用は小さい。そのため温泉系統を含めて設計することで、夏季における余剰容量が大きくなる。これらを踏まえると、客室系統に合わせて容量を設計し、高負荷時(温泉系統利用時)は他設備によって賄うことでイニシャル・ランニングコストの削減に繋がることが予想される。

また本対象施設の2011年度1月・2月の一人当たり給湯負荷は、前年度同月と比べても特異な値となっている。温泉系統を除いたとしても、他月に比べ使用量が多い。図-4に2011年度2月代表日の10分当たり給湯負荷変動を示す。図-4より、一日中給湯負荷が常にみられる特異な変動が確認できた。また同様の特異な負荷変動が2011年度1月・2月に複数日存在し、大きな一人当たり日給湯負荷が算出された原因であると考えられる。この極端な負荷変動を賄うよう機器を設計す

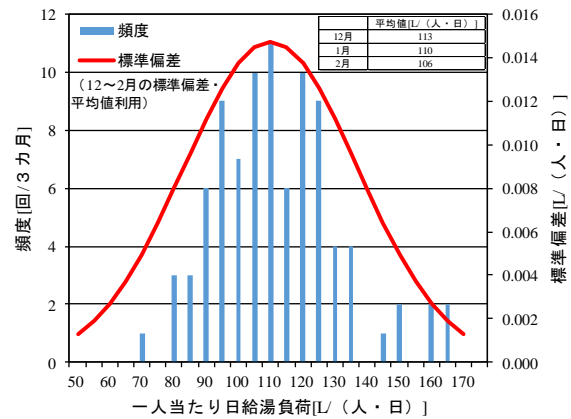


図-1 一人当たり日給湯負荷 正規性

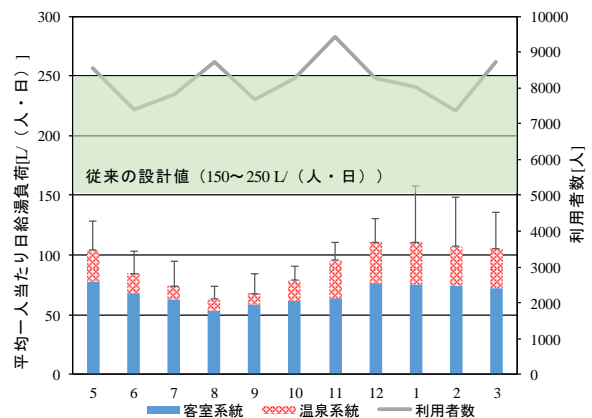


図-2 2010年度 一人当たり日給湯負荷

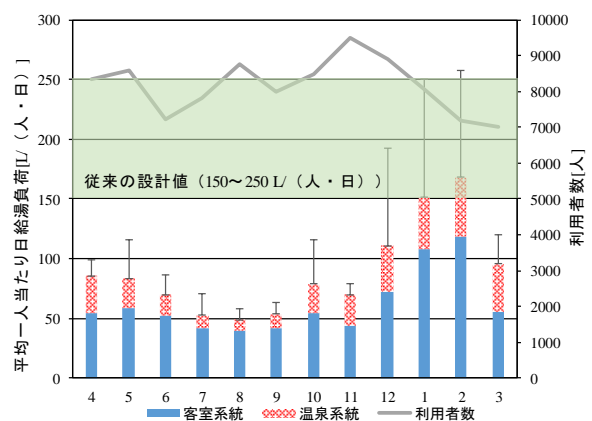


図-3 2011年度 一人当たり日給湯負荷

ると平常時では過剰容量となるため、別途対策をすべきであると考えられる。

2. 加熱容量・貯湯槽容量の算出

2.1 概説

本章では、実測データに基づいて実際に必要な加熱容量と貯湯槽容量を算出した。さらに従来手法の場合の各容量を算出し比較を行った。また1章の結果を踏まえ、客室系統のみの給湯負荷に基づいた機器容量を算出し、全体（客室系統+温泉系統）との差を確認した。

2.2 既往の算定方法

貯湯槽容量・加熱容量の算定方法は以下の式(2)、式(3)の通りである⁴⁾。

貯湯槽容量[L]=日給湯負荷[L/日]×1/5・・・式(2)

加熱容量[L/h]=日給湯負荷[L/日]×1/7・・・式(3)

これを踏まえ、加熱容量/日給湯使用量を加熱容量係数、貯湯槽容量/日給湯使用量を貯湯槽容量係数と呼ぶこととした。

2.3 対象施設の日給湯負荷パターン

実測データより貯湯槽・加熱容量を算出するのに先立ち、一日における給湯使用の傾向を調べた。2年間全日の給湯負荷変動を個別にみることは難しい。そこで今回は2010年度、2011年度それぞれの年間平均10分当たり給湯負荷を算出し、一日の負荷変動の傾向を確かめた。2010年度の結果を図-5、図-6に示す。

図-5は全体（客室+温泉系統）と客室系統の給湯負荷である。客室系統のみでは7:00～10:00に大きな負荷が一つだけある。しかし温泉系統を含めると13:10に瞬間的な高負荷、21:30～24:00に大きな負荷が表れる。また図-6の温泉系統のみの負荷変動を見る。3:00～5:00、10:00～11:00、14:00～16:00はほぼ給湯の使用はなく、給湯使用は一部の時間帯に限られていることが分かる。

2.4 対象施設における加熱容量・貯湯槽容量

2010年度、2011年度のそれぞれのデータに対して加熱・貯湯槽容量を算出した。算出にあたり、従来手法を踏まえ一年間の最大日給湯負荷を基準にした。

貯湯槽容量を求めるためには加熱容量がまず必要である。既往の手法では加熱容量は加熱容量係数1/7である。つまりは一日で使う給湯を7時間で沸かすことが可能な大きさである。これを踏ま

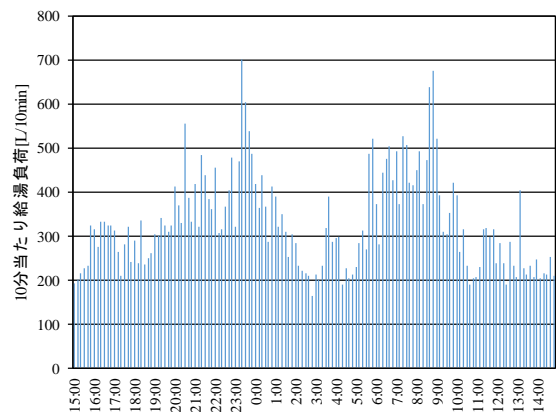


図-4 2011年度2月代表日 10分当たり給湯負荷

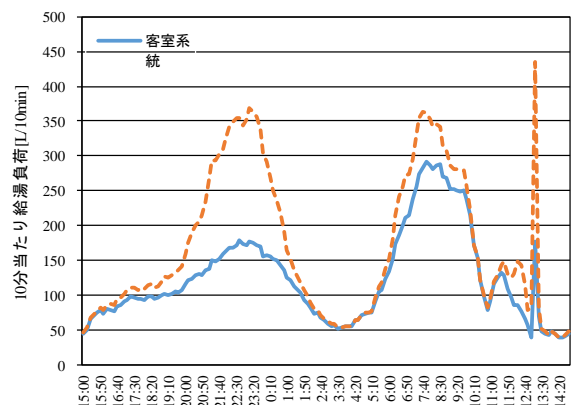


図-5 2010年度 全体・客室系統
年間平均10分当たり給湯負荷

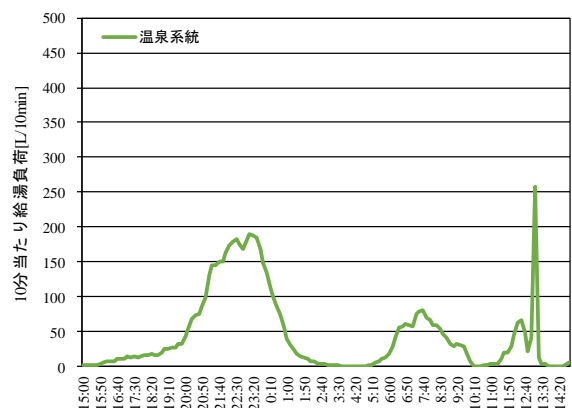


図-6 2010年度 温泉系統
年間平均10分当たり給湯負荷

え、日給湯負荷を7時間、8時間・・・24時間で沸かすことが出来る容量（加熱容量係数=1/7, 1/8・・・1/24）をそれぞれ設定し、これに対する貯湯槽容量を算出した。貯湯槽容量の算出は、時間当たり給湯負荷率（=時間当たり給湯負荷/日給湯負荷）と最大日給湯負荷から算出した。各値を掛け合わせ、2年分の給湯使用パターンを作成し、各加熱容量に対する最低貯湯槽容量を算出した。結果を図-8、図-9に示す。

2010年度、2011年度いずれにおいても、従来手法は最低容量より大きく外れていることが分かる。また2011年度では客室系統のみと客室+温泉系統の容量に大きく差が出た。したがって客室系統に合わせて設計することで、大きく容量を削減することが見込まれる。

3. 終わりに

本研究では宿泊施設の給湯システムについて、給湯負荷の動的変化を考慮した機器容量を算定した。結果、既往の設計値・算定方法を用いた場合には機器容量が過剰となることが分かった。また温泉系統の給湯負荷・変動を見ると、温泉系統を賄うために容量が過剰となっていることが分かった。温泉系統を負荷変動に合った別機器で賄うことで、全体の省エネルギー化が見込まれる。

今後は各容量に余裕を持たせた場合の検証、貯湯槽内の残湯量変動の算出、特異な給湯使用日の対策について研究を進めていく。また、加熱容量・貯湯槽容量の関係について、さらに詳細を設定することで、容量の範囲を限定していく。

参考文献

- 1) 小原雄輝・赤井仁志・濱田靖弘：次世代中央式給湯システムデザインのための動的負荷の研究（第1報）研究の背景・目的と宿泊施設の給湯負荷，空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集（2016-3），pp. 93～96
- 2) 空気調和・衛生工学便覧 第14版 給排水衛生設備編， p. 162
- 3) 空気調和・衛生工学便覧 第14版 給排水衛生設備編， pp. 162~163
- 4) 建築設備設計マニュアル 給排水衛生設備編， p. 99

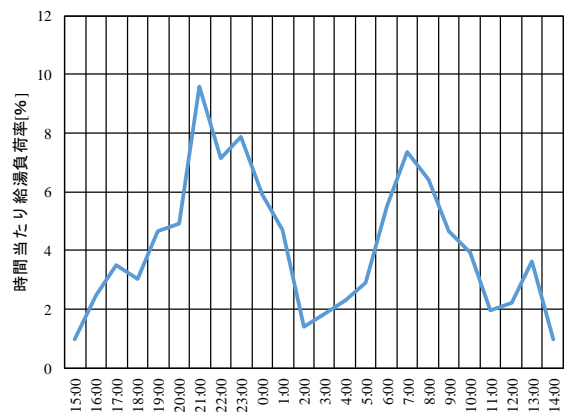


図-7 時間当たり給湯負荷率

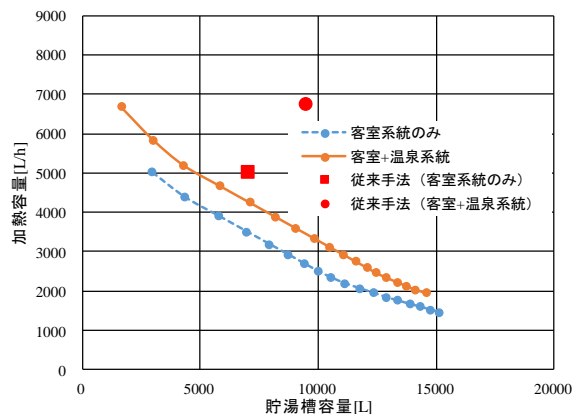


図-8 2010年度 加熱・貯湯槽容量

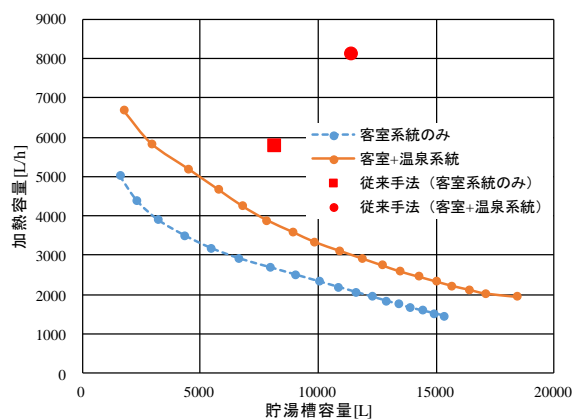


図-9 2011年度 加熱・貯湯槽容量

B-9

貯湯槽の断熱性能向上に関する研究

第1報：FRP製と鋼製貯湯槽の断熱強化による損失熱量の変化

○山崎 森（北海道大学）、赤井仁志（福島大学/北海道大学）、濱田靖弘（北海道大学）、

小原雄輝（北海道大学）、豊貞佳奈子（福岡女子大学）、周 潔（福岡女子大学）、

銚井修一（京都大学）、伊庭千恵美（京都大学）、竹内 進（東北電力(株)）

Study on Improvement of Thermal Insulation Performance of Hot Water Tank

Yamazaki Shin (Hokkaido University)

Akai Hitoshi (Fukushima/Hokkaido University), Hamada Yasuhiro (Hokkaido University),

Kohara Yuki (Hokkaido University), Toyosada Kanako (Fukuoka Women's University),

Zhou Jie (Fukuoka Women's University), Hokoi Shuichi (Kyoto University),

Iba Chiemi (Kyoto University), Takeuchi Susumu (Tohoku Electric Power Company),

キーワード：貯湯槽，断熱，損失熱量

はじめに

現在、工場や病院といった大規模な施設に対し、給湯方式として、中央式給湯方式が用いられている。中央式給湯方式とは貯湯槽などに蓄えた湯を広範囲の給湯箇所に供給する方式である。機械室に他設備機器とともに加熱装置などが設置されるため集中管理がしやすい等の長所があるが、同時に給湯設備の規模が大きくなる事や、配管や機器からの熱損失が大きい事が短所として挙げられる

そこで、今回は給湯設備を構成する機器の中でも核となる貯湯槽からの熱損失を計測し実態を調べる事を目的に、FRP製、鋼製の二つの貯湯槽を用いて容器断熱性能比較実験を行った。その結果を報告する。

1. 容器断熱性能比較実験

1.1 実験方法

実験対象としたFRP製、鋼製貯湯槽を図-1に示す。日射等の外的要因を無視するため、実験は室内で行った。両貯湯槽の塞ぎ口二箇所、給湯口、給湯管曲部には断熱材（FRP：グラスウール、鋼製：ロックウール）が施されている。この両貯湯槽を対象に比較実験を行った。

まず、損失熱量を算定するにあたって、貯湯槽各部位の温度が必要となる。そこでT型熱電対を各測定箇所に貼り付け、データロガーに接続する

方法で温度計測を行った。熱電対設置箇所の概要を図-2に示す。貯湯槽内部に挿入する鉄棒に熱電対を等間隔で10点、貯湯槽内部の測定点と同じ高さの貯湯槽外表面に10点、その他脚部、塞ぎ口等に7点、外気温を測定するため二つの貯湯槽の間に地上からの高さ1.3mの地点に2点、2.0mの地点に2点それぞれ熱電対を設置した。

給湯温度は60℃に設定、計測前に2時間お湯を貯湯槽内に貯め、予熱を与えた後に排水し、再びお湯を蓄えてから測定を開始した。測定期間を15:30から四日後の12:30とし、測定期間毎に室内温度を28℃、23℃、18℃と設定を変え測定を



図-1 鋼製貯湯槽（左）とFRP製貯湯槽（右）

行った。この測定を、

(I) 塞ぎ口、給湯口、給湯管曲部に断熱材を施した場合、

(II) 断熱材を全て取り外した場合、

(III) 塞ぎ口、給湯口、給湯管曲部に加えて脚部、貯湯槽上部のフックに断熱材 (FRP: グラスウール, 鋼製: ロックウール) を施した場合、の3つのケースで行った。

また、空調からの気流による影響を考慮し、貯湯槽上の換気扇を段ボールで覆った。

1.2 測定結果

(I) のケースにおける、FRP 製貯湯槽の内部温度変化を図-3、鋼製貯湯槽の内部温度変化を図-4、FRP 製貯湯槽の脚部の温度変化を図-5、鋼製貯湯槽脚部の温度変化を図-6、測定期間の室内の温度変化を図-7 に示す。

図-3、図-4 は横軸を温度 [°C]、縦軸を地面からの測定点の高さ [m] で、内部温度変化を表している。貯湯槽上部の温度が高く、貯湯槽下部の温度が低くなっていることが分かる。また、時間が経過していくにつれて、FRP 製では上部と下部の温度差が大きくなっている事がわかる。これは、FRP 製貯湯槽の床接地面積が 0.36 m^2 、鋼製貯湯槽の床接地面積が 0.058 m^2 と値に 6 倍以上の違いがあるためだと考えられる。床接地面積に影響を受けていないと考えられる、上部 7 つの測定点に注目すると、測定期間における FRP 製貯湯槽の温度降下はおよそ 8°C 、鋼製貯湯槽の温度降下はおよそ 12°C であった。

また、室温を 18°C に設定したときの FRP 製貯湯槽の内部温度変化、鋼製貯湯槽の内部温度変化は室温 28°C 時と比べて約 5°C 大きくなる結果が確認でき、各測定点で 28°C 時と同様の変化の特徴がみられた。

貯湯槽脚部に注目すると、図-5、図-6 より、室温 28°C における温度降下は、FRP 製貯湯槽が 7°C 、鋼製貯湯槽も 7°C であり、室温 18°C における温度降下は、FRP 製貯湯槽が 10°C 、鋼製貯湯槽が 6°C となった。貯湯槽他部位 (塞ぎ口・給湯口等) の温度降下に比べて $3\sim 4^\circ\text{C}$ 程大きいことから、熱損失の大きな部位であることが予測できる。

(II)、(III) のケースについても、貯湯槽下部側から湯の温度が低下していく事が分かった。

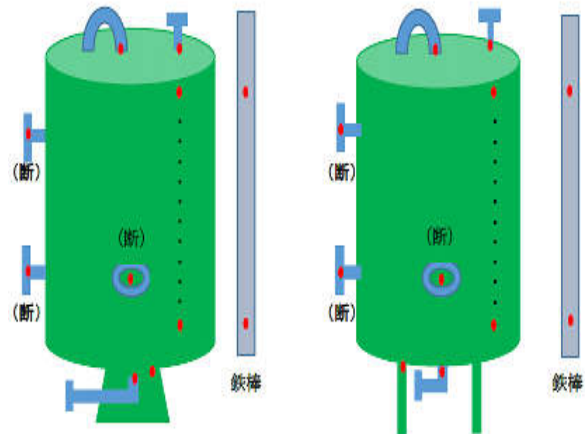


図-2 熱電対設置図

(左: FRP 製 右: 鋼製)

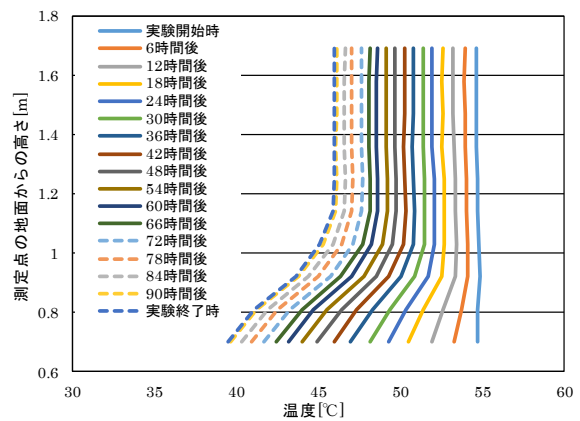


図-3 室温 28°C での FRP 製貯湯槽内部温度変化 (塞ぎ口・給湯口・給湯配管に断熱材)

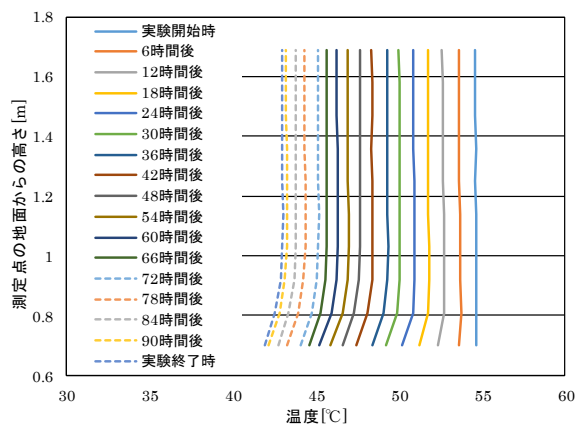


図-4 室温 28°C での鋼製貯湯槽内部温度変化 (塞ぎ口・給湯口・給湯配管曲部に断熱材)

(II) のケースにおいて、室温 28℃ の場合では、FRP 製貯湯槽は凡そ 14℃、鋼製貯湯槽は凡そ 15℃ の温度降下を確認できた。また、室温 18℃ の場合では、FRP 製貯湯槽は凡そ 13℃、鋼製貯湯槽では凡そ 15℃ の温度降下を確認できた。貯湯槽と室内の温度差が大きい程水の温度降下が大きい結果となると予測したが、室温の違いによる温度降下の差異を確認する事ができなかった。これは、温度計測開始時の水温が室温 28℃ の場合では凡そ 56℃、室温 18℃ の場合では凡そ 47℃ と 10℃ 近くの差が生じてしまっていたためであると考えられる。(I) と比較して温度降下の割合が大きい事から、熱損失が (I) のケースよりも大きい事が予測できる。

(III) のケースにおいて、室温 28℃ の場合では、FRP 製貯湯槽は凡そ 9℃、鋼製貯湯槽は凡そ 10℃ の温度降下を確認できた。また、室温 18℃ の場合では、FRP 製貯湯槽は凡そ 12℃、鋼製貯湯槽は凡そ 14℃ の温度降下を確認できた。測定結果より (I)、(II) と比較して温度降下の割合が小さい事から、熱損失が 3 つのケースの中で一番小さい事が予測できる。

2. 損失熱量の算定

2.1 損失熱量の算定方法

損失熱量を算定するにあたって、貯湯槽上部表面の 2 箇所、貯湯槽下部表面の 1 箇所の温度、内部の 10 箇所の温度、お湯の密度、比熱、貯湯槽の容積を用いて損失熱量の算定を行った。

算定方法としてまず、貯湯槽を 10 分割する。分割部分に含まれている測定点の実験開始時と実験終了時の温度差 [℃] に、お湯の密度 [kg/m³]・比熱 [kJ/(kg・℃)]、貯湯槽の体積 [m³] を乗算する事で、分割部分における損失熱量が算定できる。この分割部分における損失熱量の総和が、貯湯槽全体の損失熱量となる。また、FRP 製貯湯槽、鋼製貯湯槽共に容積は 500L であり、お湯の密度、比熱は 60℃ の値を用いた。

2.2 算定結果

断熱材を塞ぎ口、給湯口、給湯配管曲部に施した場合の損失熱量の算定結果を図-8 に示す。室温 23℃ のケースはデータ不備の為省略した。

図-8 より室温の違いや、貯湯槽に用いられてい

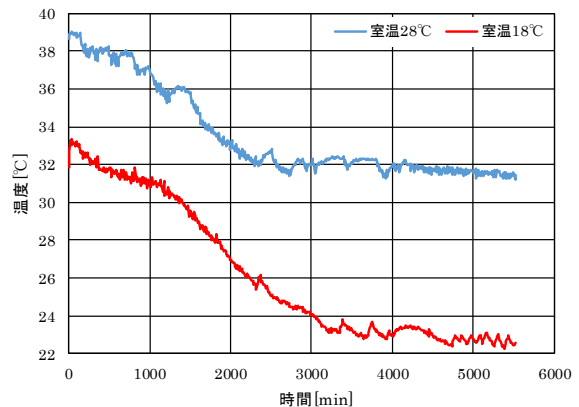


図-5 FRP 製貯湯槽脚部の温度変化
(塞ぎ口・給湯口・給湯配管曲部に断熱材)

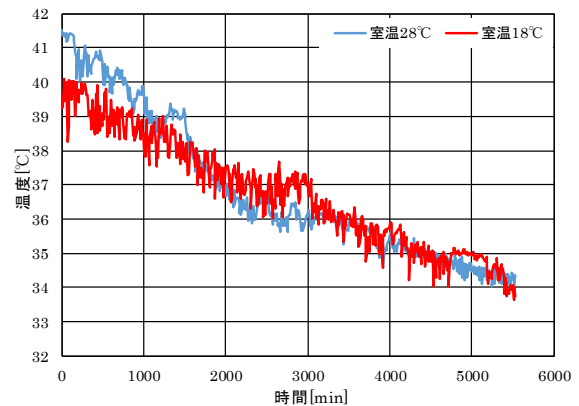


図-6 鋼製貯湯槽脚部の温度変化
(塞ぎ口・給湯口・給湯配管曲部に断熱材)

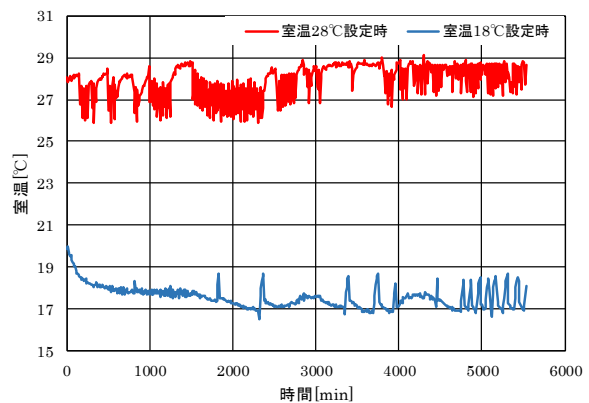


図-7 室内温度変化
(塞ぎ口・給湯口・給湯配管曲部に断熱材)

る材質の違いにより損失熱量に差異が出ていることが確認できる。室温 28℃における損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 20[MJ]、鋼製貯湯槽が 26[MJ]、室温 18℃における損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 26[MJ]、鋼製貯湯槽が 30[MJ]となった。

図-9 に室温 28℃における、断熱材の有無による損失熱量の変化を示す。断熱材が施されていないケースでの損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 22[MJ]、鋼製貯湯槽が 28[MJ]となった。塞ぎ口、給湯口、給湯配管曲部に断熱材を施したケースでの損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 20[MJ]、鋼製貯湯槽が 26[MJ]であり、大きな変化が見られなかったが、貯湯槽脚部に断熱材を施すと、損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 15[MJ]、鋼製貯湯槽が 18[MJ]となり、顕著な変化を確認する事が出来た。

図-10 に室温 18℃における、断熱材の有無による損失熱量の変化を示す。断熱材が施されていないケースでの損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 27[MJ]、鋼製貯湯槽が 31[MJ]となった。また、塞ぎ口、給湯口、給湯配管曲部に断熱材を施したケースでの損失熱量は、FRP 製貯湯槽が 26[MJ]、鋼製貯湯槽が 30[MJ]であり、室温 28℃時と同様に大きな変化が見られなかったが、貯湯槽脚部に断熱材を施すと、損失熱量は FRP 製貯湯槽が 22[MJ]、鋼製貯湯槽が 27[MJ]となり、顕著な変化を室温 28℃時と同様に確認することが出来た。

3. おわりに

損失熱量が FRP 製貯湯槽<鋼製貯湯槽である事より、FRP 製貯湯槽に優位性がある事を確認した。また、高温部位である事と、断熱材を施すと、損失熱量の減少が顕著になった事より、貯湯槽の脚部が熱損失の主な原因の部位である事が分かった。よって、貯湯槽脚部に断熱性の高い材質を用いる事で、損失熱量を削減し、給湯システム全体の省エネルギー化が期待できる。

参考文献

- 1) 銚井修一: 空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法章委員会報告書 屋外設置貯湯槽からの熱損失の実態と改善事例

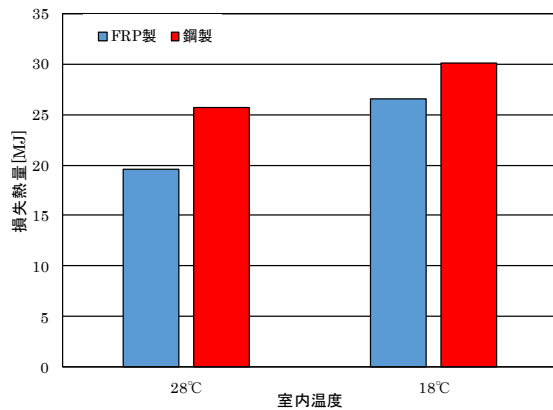


図-8 室温の違いにおける損失熱量の比較 (塞ぎ口・給湯口・給湯管曲部に断熱材)

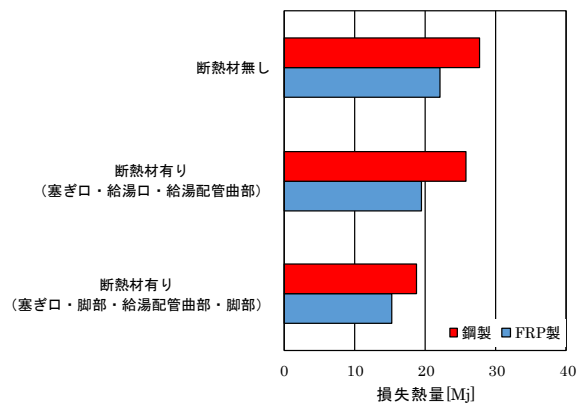


図-9 断熱材の有無による損失熱量の変化 (室温 28℃)

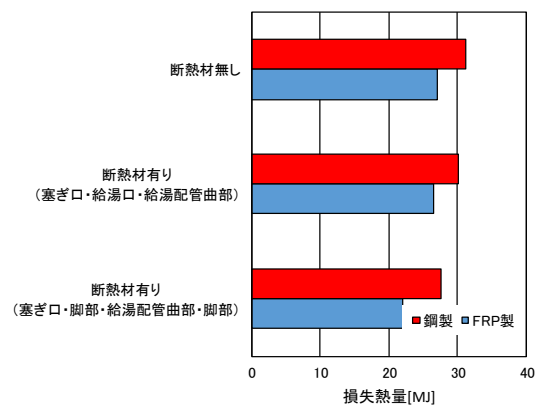


図-10 断熱材の有無による損失熱量の変化 (室温 18℃)

B-10

大学内で発生する空調設備の騒音に関する実測調査

○沼田寿明（東北文化学園大学），川村広則，須藤諭（東北文化学園大学），

Measurement survey on the noise of air-conditioning equipment in the university

Numata Toshiaki (Tohoku Bunka Gakuen University),

Kawamura Hironori, Sudo Satoshi (Tohoku Bunka Gakuen University)

キーワード：設備機器，環境騒音，騒音レベル，実測調査

はじめに

環境騒音とは、どのように場所にも存在する全ての騒音の総和をいう（ただし工場内、事業場内における騒音は除く）。例として道路交通騒音、鉄道騒音、航空機騒音、工場騒音、建築騒音、公共事業の騒音、近隣騒音がある。屋内の環境騒音には主に、空調機器の音、事務機器の音、電化製品の音、近隣騒音がある。環境騒音とはこれらの総和のことである。近年、環境騒音問題は日々悪化している。騒音によって急性的・慢性的な健康影響が生じる事を考慮すれば、騒音問題の悪化は看過できない¹⁾。一方、低周波騒音（100Hz以下の音）に関する苦情件数も近年、増加の一途をたどっている。低周波騒音の発生源としては、自動車のエンジン音やエアコンの室外機、エコキュートなどがあげられる²⁾。

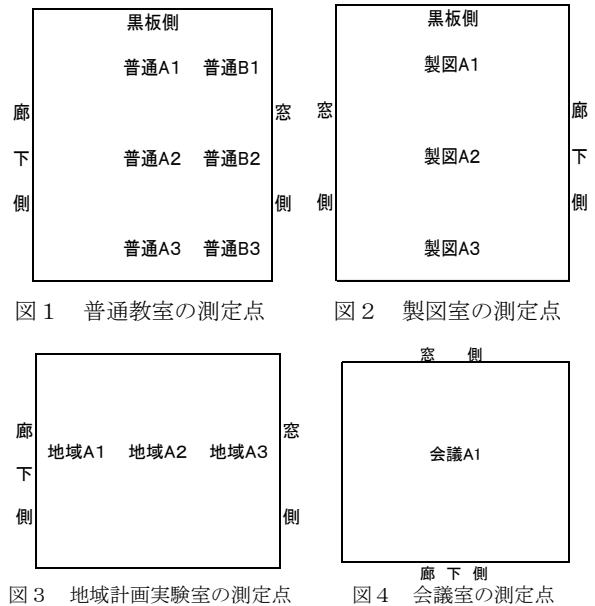
1. 調査目的

前述の状況から、筆者らは本大学の空調機器から発生する騒音に着目した。本学では製図作業など、様々な講義で静寂な環境を要求される場合がある。今回は校舎内の会議室や製図室などに設置されている、冷暖房機器に着目し、実測調査をおこなった。また冷暖房機器は低周波騒音を含んでいる可能性があり、それらも含め調査を行った。

2. 調査概要

測定箇所として、本学の製図室、普通教室、実験室、会議室にて実測調査をおこなった。各室内の測定点を図1～図4に示す。

普通教室は教室の中央と窓側について、黒板側から後方に実測した。製図室は中央で黒板側から後方に実測した。都市計画実験室は中央で廊下側から窓側にかけて実測した。会議室は中央の一箇所のみを測定した。



騒音計は精密騒音計（ONO-SOKKI 社）及び低周波音レベル計（NA-18A）を使用し、騒音計の高さはおおむね地上 1.2m とした。また、今回は、空調機器を停止した状態（暗騒音）空調機器を弱風、中風、強風にて稼働させた状態で測定し、比較することを目的にしている。測定機器は、精密騒音計では A 特性及び周波数 125～8000Hz を 1/1 オクターブバンド毎に行い、低周波騒音計では G 特性及び周波数 1～80Hz を 1/3 オクターブバンド毎に行った。

尚、今回は、日本建築学会環境基準を参照し、室内騒音における推奨地 40dB 以下を目安に比較していく。³⁾

3. 調査結果

3.1 普通教室の実測結果

図5～図7はA特性及び125Hz～8000Hzの騒音レベルの結果を示す。弱風、中風においては推奨値である40dB以下を概ね下回っているが、強風においては、推奨値をやや上回っており、冷暖房機器が停止している状態と比較を行うと大きな変化が見受けられる。

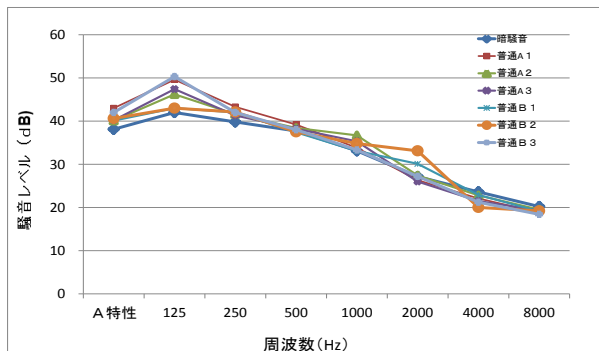


図5 普通教室 弱風によるA特性実測結果

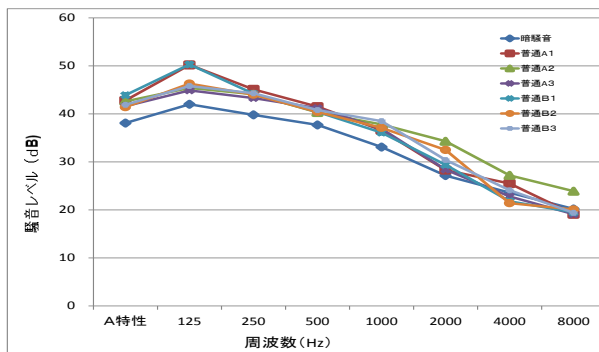


図6 普通教室 中風によるA特性実測結果

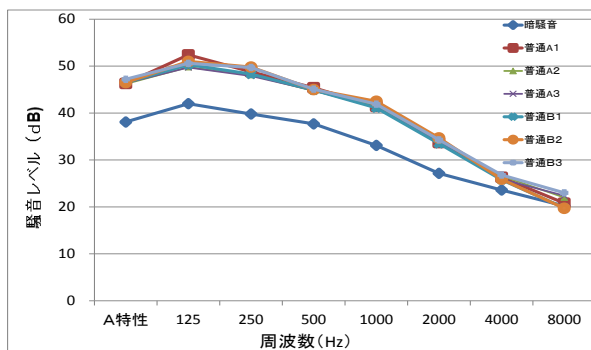


図7 普通教室 強風によるA特性実測結果

図8～図10はG特性及び1Hz～80Hzの低周波騒音の騒音レベルを示す。弱風に関しては特に大きな変化はないが、中風、急風において16Hz～20Hzにおいて大きな値を示している事が

わかる。今後原因を深く分析し、明らかにしていく必要がある。

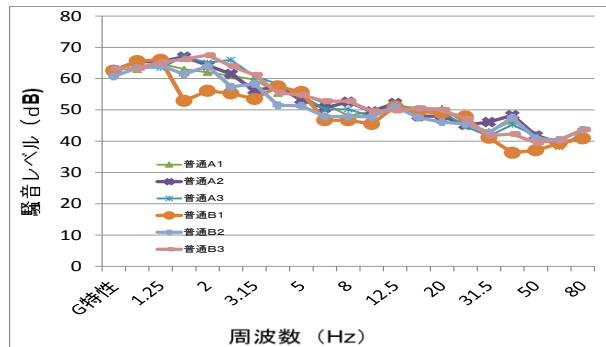


図8 普通教室 弱風によるG特性実測結果

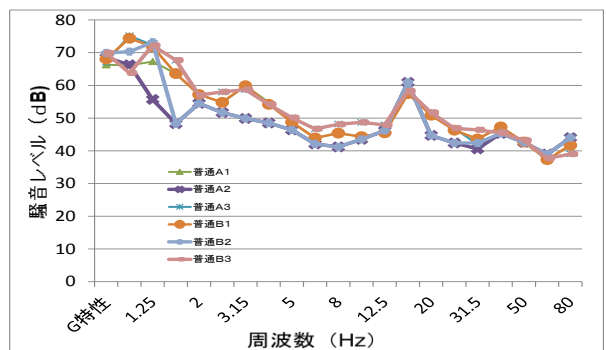


図9 普通教室 中風によるG特性実測結果

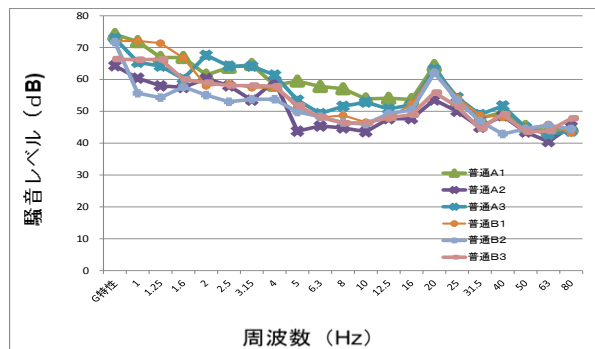


図10 普通教室 強風によるG特性実測結果

3.2 製図室の実測結果

図11～図13はA特性及び125Hz～8000Hzの騒音レベルの結果を示す。A特性、125Hzにて推奨値である40dBを上回る結果になった。冷暖房機器が停止している状態と稼動している状態の比較を行うと大きな変化があり、全体的に推奨値を上回る結果となった。

図14～図16はG特性1Hz～80Hzの低周波騒音の

騒音レベルを示す。弱風、中風、強風共に大きな変化は見られなかった。

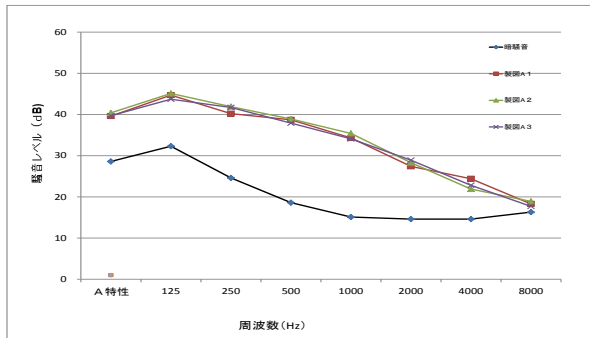


図11 製図教室 弱風によるA特性実測結果

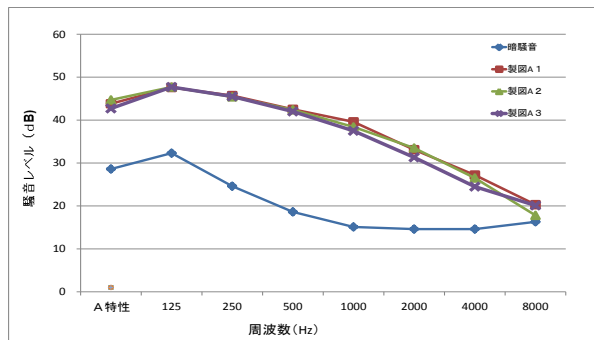


図12 製図教室 中風によるA特性実測結果

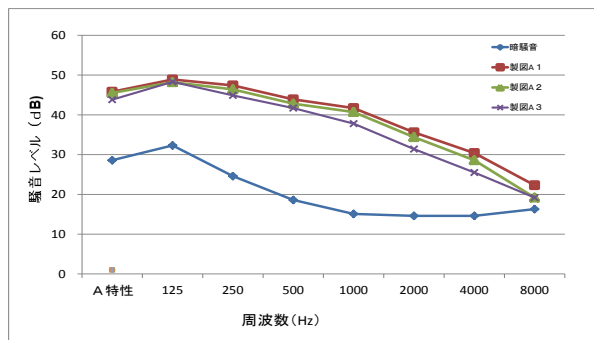


図13 製図教室 強風によるA特性実測結果

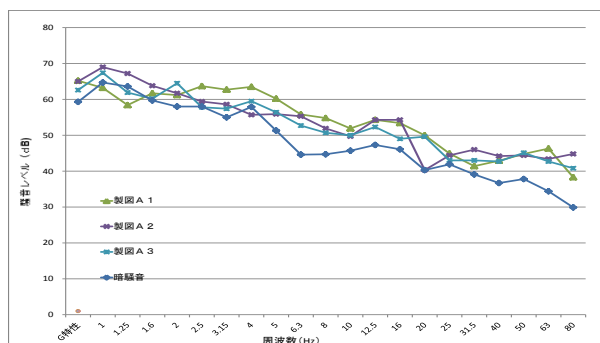


図14 製図教室 弱風によるG特性実測結果

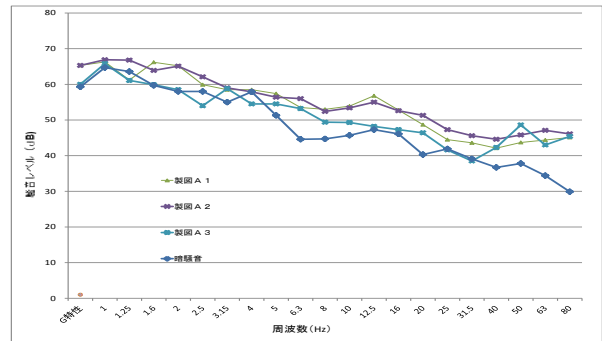


図15 製図教室 中風によるG特性実測結果

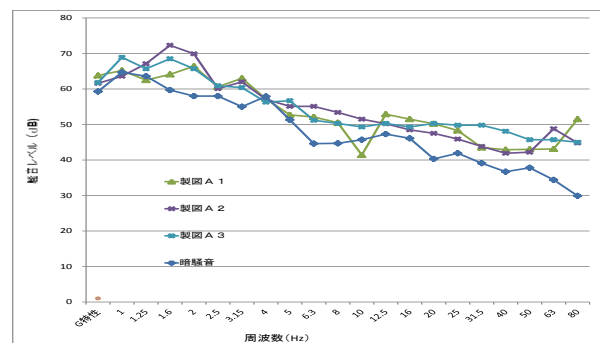


図16 製図教室 強風によるG特性実測結果

3.3 都市計画実験室の実測結果

図17はA特性及び125Hz~8000Hzの騒音レベルの結果を示す。A特性、125Hzにおいて推奨値である40dBを大きく上回る結果となった。冷暖房機器を停止した状態と比較を行うと大きな変化が見られる。

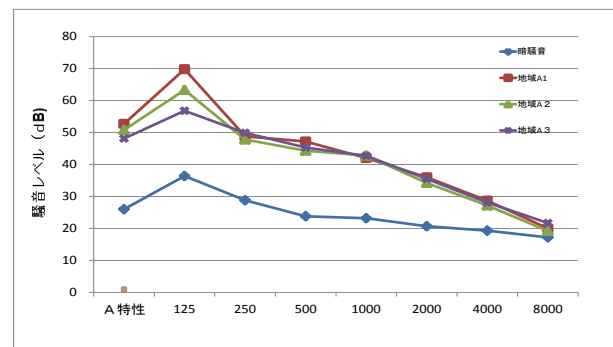


図17 都市計画実験室 強風によるA特性実測結果

図18はG特性1Hz~80Hzの低周波騒音の騒音レベルを示す。図9~図10と同様に20Hz~25Hzにおいて大きな値を示している。またG特性も冷暖房機器が停止している状態と比較を行うと騒音レベルに変化が見られる。

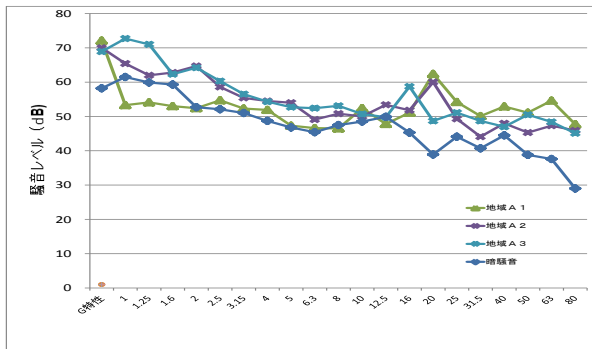


図 18 都市計画実験室 強風によるG特性実測結果

3.4 会議室の実測結果

図 19 は A 特性及び 125Hz～8000Hz の騒音レベルの結果を示す。全体的に推奨値である 40dB を下回る結果となった。推奨値に準じている結果となった。

図 20 は G 特性 1Hz～80Hz の低周波騒音の騒音レベルを示す。冷暖房機器を停止させた場合と稼働させた場合の騒音レベルに大きな変化がない。

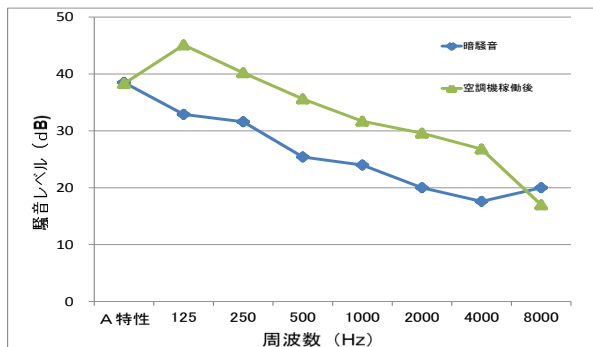


図 19 会議室 弱風による A 特性実測結果

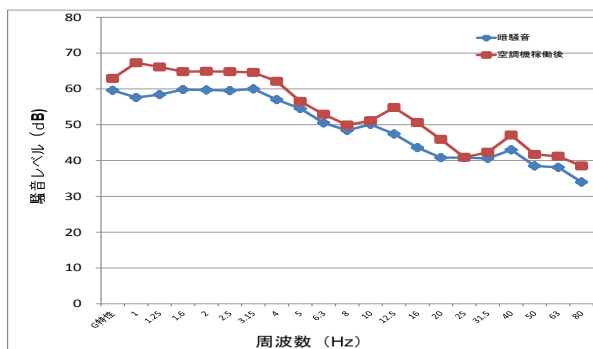


図 20 会議室 弱風による G 特性実測結果

4. まとめ

本研究は大学の、普通教室、製図室、都市実験室の室内に設置されている冷暖房機器を対象とし

て、騒音レベルの実測調査を行った。A 特性及び周波数 125～8000Hz において、普通教室、製図室にて冷暖房機器を稼働した状態では、今回の推奨値である 40dB を超える結果となった。都市実験室、会議室においては、概ね推奨値に準じている結果となった。また A 特性及び 125Hz～8000Hz においては風量などにより多少の変化は見られるものの、大きな変化を示す結果には至らなかった。

低周波騒音においては普通教室、都市計画実験室において 16Hz～20Hz 付近において、冷暖房機器を稼働している状態では、停止している状態と比較を行うと、騒音レベルに変化が見受けられた。

他の周波数にはさほど大きな変化はみられなかった。また普通教室では風量による騒音レベルの違いも多々見られる。一方冷暖房機器のメンテナンス状況や室外の状況等により、騒音レベルに違いがあるとおもわれるため、より詳細な分析が必要である。

謝辞

本研究の発表に当たり、今井正樹博士による東北文化学園大学奨学寄附金の支援をいただきました。記して感謝いたします。

参考文献

- 1) 岡田健：家電機器設備から発生する音・振動による生理的苦情の現状—対処の仕方による被害の拡大と解決—，日本騒音制御工学会講演論文集，pp. 213-216，(2010)
- 2) 落合博明，低周波音の評価，騒音制御 vol. 17，No. 6，pp. 285-288，(1993)
- 3) 日本建築学会環境基準 AIJES-S001-2008：学校施設の音環境保全基準・設計指針

B-11

低周波音が脳波に及ぼす影響に関する研究その2

- 脳波成分比率による評価 -

○川村 広則 (東北文化学園大学), 沼田寿明 (東北文化学園大学), 田原 靖彦 (東北文化学園大学)

Study on Influence of Low-Frequency Sound on Brain-Waves part2

- Evaluation by Brain-Wave Component Ratio -

Kawamura Hironori (Tohoku Bunka Gakuen University),
Numata Toshiaki (Tohoku Bunka Gakuen University),
Tahara Yasuhiko (Tohoku Bunka Gakuen University),

キーワード：設備機器, 低周波騒音, 脳波特性, 成分比率

はじめに

筆者らは、給湯器、冷却塔、コンプレッサー、ボイラーなどの設備機器から発生する低周波音の生理学的影響を明らかにすることを目的として研究を開始した。前報では、低周波音の聴取に伴う脳波電圧の変化に着目した検討を行った結果、10Hz・80dB・SPL の低周波音が被験者の脳波に平常時とは異なる変化を及ぼすことを報告した⁽¹⁾。

前報着目した脳波電圧は脳波研究における最も基本的な分析項目であるが、電圧の絶対校正やフィルタによる脳波成分の分離、観測のための時定数設定など、分析手続きが煩雑になるという欠点があり、追試による検証に手間を要するという問題を抱えている。一方、脳波性状の分析において、その成分比率に基づく方法が考えられる。

脳波は、その周波数成分から、 θ 、 α 、 β 、 γ 波等の成分に分類されるが、その比率は脳波のパワースペクトル分析によって容易に求めることができる。更に成分比率は脳波電圧とも密接に関わっているため、低周波音の影響によってその値が変化することが予測される。そこで今回は、前報報告した脳波電圧分析の場合と同一の実験環境・実験条件において脳波の成分比率に着目した検討を行ったので、その結果を報告する。

1. 脳波測定システム

脳波測定には、BIOPAC 社の MP システムシリーズ生体アンプを用い、測定位置選択性と S/N 比に優れた皿電極単極誘導方式を採用した。生体アンプから出力される脳波信号 (2ch) と音場モニター信号 (1ch) をサンプリング周波数 500Hz で

採り込み、信号解析ソフトウェア (MATLAB) を用いて各種の分析を実施した。低周波音の再生には、TOA 社の 46cm ウーハーを内容積 480 リットルの密閉箱に収めたスピーカシステムを 4 台用いた。脳波測定システムのブロックダイアグラムを図-1 に示す。

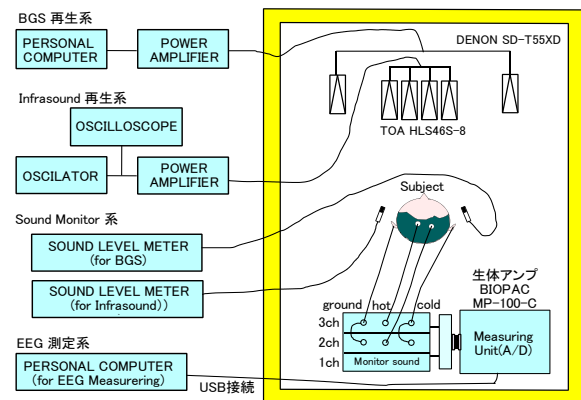


図-1 脳波測定システムのブロックダイアグラム

2. 脳波測定 (方法と手順)

低周波音の脳波への影響を明らかにするために、低周波音があるときとないときに脳波に有意な差異があるか否かを、以下の2つ観点から検討した。なお、我々の在来研究⁽²⁾から、被験者 15 名による脳波データは正規分布していると仮定している。

2.1 基準環境における脳波特性 (実験 1)

静かな住宅地の暗騒音に相当する 35dB-A のピンクノイズ (以下バックグラウンド・サウンド: BGS という) を再生した状態を基準環境と見なし、10 分以上の時間間隔を経て 3 回の脳波測定を実

施した。被験者 15 名による 3 回の脳波のデータ（成分比率）の平均値及びその信頼区間（有意水準 10%・両側検定）を求めた。

2.2 低周波音提示時の脳波特性（実験 2）

BGS を再生している中で、被験者が所定の位置に座してから 120 秒以上経過した後、低周波音を 100 秒間提示し、低周波音提示前後の脳波特性を測定した（図-2 参照）。低周波音提示前後における被験者 15 名の脳波成分比率の平均値を求め、その有意差を検定した。

2.3 脳波データの分析手順

脳波データ分析手順を図-3 に示す。2 チャンネルの脳波データにサウンドモニターデータを加えた 3 チャンネル信号を MATLAB のバイナリデータとして採り込んだ。分析対象として、アーチファクト（外乱雑音）を含まない 30 秒間を選定してパワースペクトル求め、脳波 4 成分、すなわち θ 波(3~8Hz)、 α 波(8~13Hz)、 β 波(13~35Hz)、 γ 波(35~80Hz)の成分比率を算定した。なお、ここでいう成分比率とは、各脳波のパワーを全脳波パワー（脳波 4 成分パワーの合算値）で除したものである。

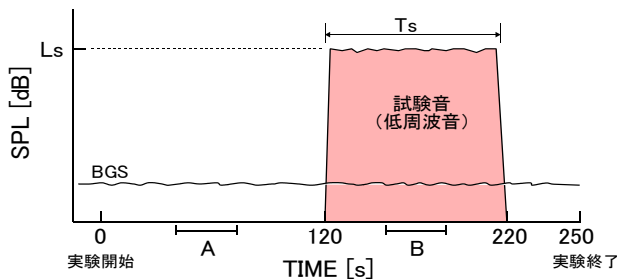


図-2 試験音提示時間構成（1セッション）

- BGS: バックグラウンド・サウンド(ピンクノイズ、35dB-A)
- Ts: 試験音（低周波音）再生時間帯（100秒）
- Ls: 試験音（低周波音）再生レベル（70or80dB-SPL）
- A: 脳波分析時間帯（低周波音なし、30秒）
- B: 脳波分析時間帯（低周波音あり、30秒）

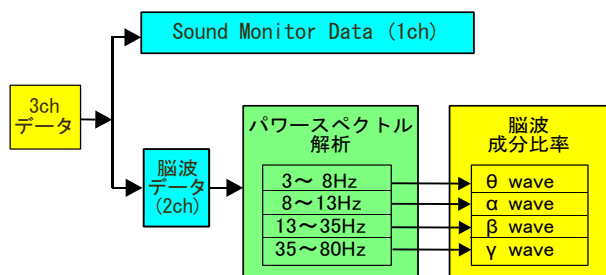


図-3 脳波データの分析手順

3. 被験者

表-1 に被験者の構成を示す。被験者は前報⁽¹⁾と同様の男性 6 名、女性 9 名の計 15 名で、20 歳代から 70 歳代まで分布している。被験者はリラックスした状態で安楽椅子に座し、 α 波ブロックを防ぐ目的でアイマスクを装着した。実験中は、筋電位の脳波への混入を防ぐため、まばたき、眼球運動、上体や首の動き等を極力回避してもらった。

表-1 被験者構成一覧

Code	Age	Sex	Code	Age	Sex
1	20~34	male	8	50~64	male
2		male	9		female
3		female	10		female
4		female	11		female
5	35~49	male	12	65~75	male
6		female	13		male
7		female	14		female
			15		female

4. 実験条件

4.1 実験用低周波音の設定

試験音（低周波音）は純音とし、周波数は、可聴限界 20Hz を基準にインフラサウンドの代表として 10Hz、可聴域低周波音の代表として 30Hz を選定した。10Hz 純音の再生レベルは、筆者らの予備実験で脳波影響が予測された 80dB-SPL 及びそれより 10dB 低い 70dB-SPL の 2 種類とした。30Hz 純音の再生レベルについては、実験時間の関係から 70dB-SPL の 1 種類とした。

4.2 脳波測定位置

図-4 に脳波の測定部位(国際 10-20 法表記)を示す。脳波の測定部位は、既往研究の結果⁽²⁾を基に、脳波の全体的傾向を示す Fz と、主として速波成分に着目した C4 の 2 点とし、基準点 (cold/minus) は右耳たぶ (A2) に、アース (ground) は左耳たぶ (A1) に設定した。また、測定に際しては、測定点の接触インピーダンスが 30k Ω 以下になるように頭皮の油分を除去した。

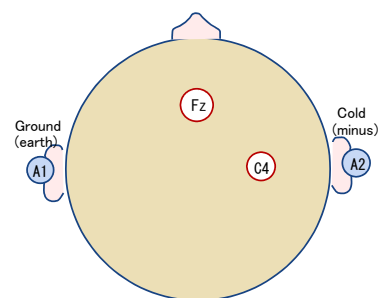


図-4 脳波測定位置

5. 測定結果

5.1 基準環境における脳波成分比率

我々の既往研究⁽²⁾から被験者 15 名による脳波データが正規分布していると仮定し、基準環境における被験者 15 名の脳波成分比率の平均値及びその信頼区間幅を求めた⁽³⁾。その結果を表-2 に示す。例えば、測定点 Fz の α 波 (表-2 の下線の部分) の場合、平均値は 0.381、標準偏差は 0.164、信頼区間幅(有意水準 10%)は 0.075、基準環境における脳波成分比率の信頼区間は 0.381 \pm 0.075、すなわち 0.306~0.456 となる。

5.2 低周波音提示時における脳波成分比率

低周波音提示時における被験者 15 名の脳波成分比率の平均値を表-3 に示す。

6. 考察

図-5、図-6 は、基準環境における脳波成分比率の信頼区間 (表-2) と低周波音提示時の脳波成分比率(表-3) を図示したものである。図-5 は測定点 Fz、図-6 は測定点 C4 に対する結果である。

測定点 Fz に関する図-5 において、提示低周波音が 10Hz・80dB-SPL (図 5(b)) の場合、 α 波の成分比率は基準環境における信頼区間の外側にある (下回っている) が、他の脳波成分波 (θ 波、 β 波、 γ 波) については信頼区間の範囲内にある。

一方、提示低周波音が 10Hz・70dB-SPL (図-5(a)) 及び 30Hz・70dB-SPL (図-5(c)) の場合は、4 種の脳波成分比率はいずれも基準環境における信頼区間の範囲内にある。可聴域にある 30Hz・70dB-SPL に対しては、全ての被験者が強い不快感を示したが、 α 波成分比率の低下量はインフラサウンド (10Hz・80dB) に対するものよりも小さい結果となった。

上記に示す 3 種の低周波音提示条件に対する結果は、図-6 に示す測定点 C4 についても同様である。なお、10Hz・80dB-SPL における測定点 C4 (図-6(b)) の場合の θ 波の成分比率 (0.241) は、信頼区間の上端値 (0.240) を上回っているが、この差は丸め誤差の範疇と見なした。以上の結果は、3 種の提示低周波音と 4 種の脳波成分において、提示低周波音が 10Hz・80dB-SPL の α 波成分比率のみが基準環境の信頼区間の外にあることを示しており、前報⁽¹⁾ で報告した脳波電圧に関する分析結果とも一致している。従って、10Hz・

80dB-SPL の低周波音は脳波に何らかの影響を及ぼしていることが示唆される。なお実験データの統計処理に際して、多くの場合有意水準 5% が採用されるが、本研究では脳波成分比率データの微妙な差違を扱うことから、既往研究^{(1), (2)} の場合と同様、有意水準 10% を採用している。

表-2 基準環境における脳波成分比率 (被験者 15 名による平均値の信頼区間推定)

測定点	脳波の成分波	平均値	標準偏差	信頼区間幅 (有意水準10%)	信頼区間
Fz	θ	0.235	0.135	0.061	0.174~0.296
	α	0.381	0.164	0.075	0.306~0.456
	β	0.279	0.137	0.062	0.217~0.341
	γ	0.105	0.080	0.036	0.069~0.141
C4	θ	0.185	0.120	0.055	0.130~0.240
	α	0.354	0.148	0.067	0.287~0.421
	β	0.302	0.121	0.055	0.247~0.357
	γ	0.159	0.139	0.063	0.096~0.222

表-3 低周波音提示時の脳波成分比率 (被験者 15 名による平均値)

実験条件	脳波の成分波	脳波成分比率の平均値	
		測定点Fz	測定点C4
10Hz 70dB-SPL	θ	0.235	0.176
	α	0.326	0.299
	β	0.323	0.332
	γ	0.116	0.194
10Hz 80dB-SPL	θ	0.292	0.241
	α	0.273	0.269
	β	0.313	0.322
	γ	0.122	0.168
30Hz 70dB-SPL	θ	0.234	0.172
	α	0.350	0.327
	β	0.305	0.324
	γ	0.110	0.177

7. まとめ

本報では前報に引き続き、被験者 15 名を対象に、低周波音があるときとないときで脳波成分比率に有意な差異があるか否かを比較検討した。

低周波提示条件としては 10Hz・70dB-SPL、10Hz・80dB-SPL、30Hz・70dB-SPL の 3 種とし、脳波の 4 成分 (θ 、 α 、 β 、 γ 波) について検討した。その結果、10Hz・80dB-SPL の α 波の成分比率のみが、基準環境における信頼区間 (有意水

準 10%) の下端値を下回っており、前回報告⁽¹⁾した脳波電圧に関する分析の場合と全く同一の結果を得た。脳波分析はその電圧に関して行うことが本来の姿といえるが、今回、成分比率の分析においても電圧分析の場合と同一の結果が得られたことにより、成分比率分析の有効性が確認されたと考えられる。

前回及び今回行った脳波分析において、低周波音の脳波に対する有意な影響が見出されたが、それがすなわち健康影響を意味するものではなく、この点に関しては、医学的な立場に基づく別途の検討が必要と考えられる。また、今回の実験で得られた結果は限られた実験条件と被験者によるものであり、今後更に実験条件を充実させた検討が必要と考えられる。

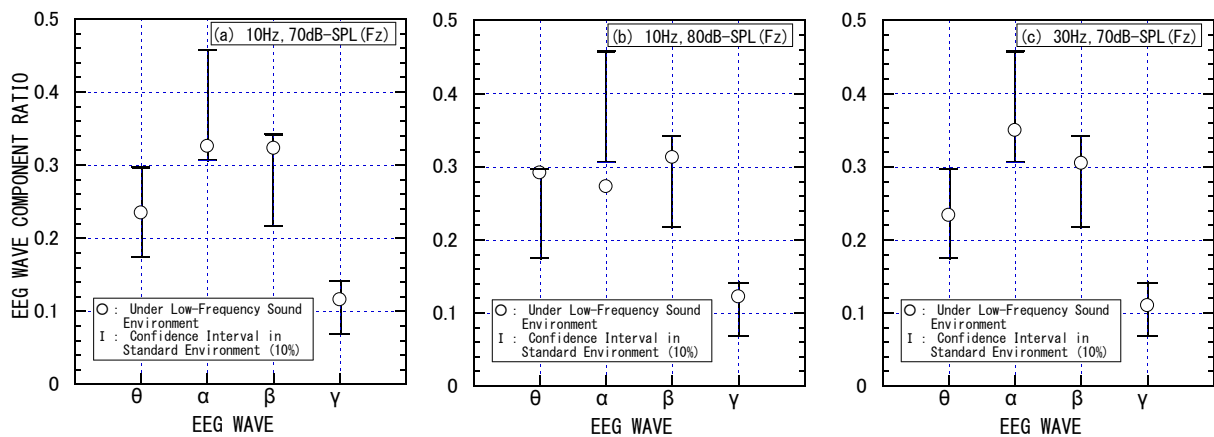


図-5 基準環境及び低周波音提示時における脳波成分比率 (測定点 Fz)

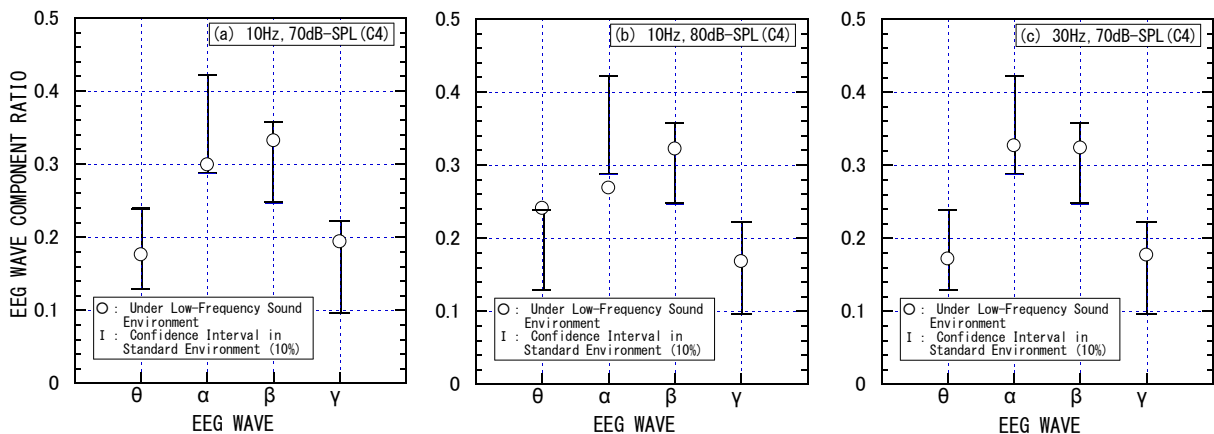


図-6 基準環境及び低周波音提示時における脳波成分比率 (測定点 C4)

謝辞

本研究の推進に際して、貴重な助言を賜った東北文化学園大学・医療福祉学部の佐藤俊彦准教授、科学技術学部の牧野正三教授、また、大学院研究として脳波測定を共に推進して頂いた角田雅樹氏、更に脳波測定の被験者としてご協力頂いた皆様に謝意を表す。

参考文献

- (1) 川村広則, 田原靖彦: 低周波音が脳波に及ぼす影響、電気設備学会誌 vol. 36, No. 7, pp. 97 - 102, (2016)
- (2) 田原靖彦, 山本和恵: 快・不快音環境が脳波特性に及ぼす影響, 騒音制御 vol. 32, No. 2, pp. 117-123, (2013)
- (3) 北川敏男, 稲葉三男: 基礎数学統計学通論第2版(共立出版, 東京都), pp. 132-134, (1979)

B-12

ワイヤを用いた吊り支持機器の制振補強方法

○品田直也（新日本空調㈱），永坂茂之（新日本空調㈱），田村 稔（新日本空調㈱），

中川冬彦（新日本空調㈱），水谷国男（東京工芸大学）

Damping Reinforcement of equipment with wire

Naoya Shinada (Shin Nippon Air Technologies Co.), Shigeyuki Nagasaka (Shin Nippon Air Technologies Co.), Minoru Tamura (Shin Nippon Air Technologies Co.), Fuyuhiko Nakagawa (Shin Nippon Air Technologies Co.), Kunio Mizutani (Tokyo Polytechnic University)

キーワード：吊り支持機器，制振補強

はじめに

2011年3月の東日本大震災以降、設備機器の耐震補強範囲が強化され吊り支持機器（以下、吊り機器）への地震対策が進んでいる。建築設備耐震設計・施工指針2014年版においては、天井スラブに直接支持するか、鋼製吊架台を用いる方法が示されており、吊ボルトを用いた支持方法は推奨されていない。しかし、実際には重量1kN以下の軽量の機器の支持については、軽量であることを考慮し、「設備機器の製造者の指定する方法で確実に行えばよいとする。」とされている。従来の地震対策は全ねじボルトを用いてX状の斜材を設けて耐震補強を行うが、斜材の採寸・切断、狭い天井裏での取付けに手間と時間がかかる。そのため、特に既存の吊り機器に対する地震対策の簡素化・時間短縮が求められる。

本稿では、ワイヤの摩擦を利用した制振補強方法に関し、吊り支持機器を用いて動的加振試験を行い、加振に対する吊り機器加速度および振幅の減衰効果を報告する。

1. ワイヤによる補強方法

ワイヤの摩擦を利用した制振補強方法（以下、本工法）を図-1、使用する部材を表-1、写真-1に示す。吊り機器（⑤）を4本の吊りボルト（⑥）で吊り下げた状態において、固定金具（②）を各吊りボルトの上下2ヵ所に設置した。ワイヤ（①）は図-1に示す濃線と淡線の2本構成とし、固定金具（写真-2）にワイヤを通過させ、ワイヤがループ状になる様に始点と終点を引留金具（④）で締結した。またワイヤを締結する際に張力調整金具

（③）を挟み込み、ワイヤ張力を調整する。張力調整金具は吊り機器の対称面に設置した。

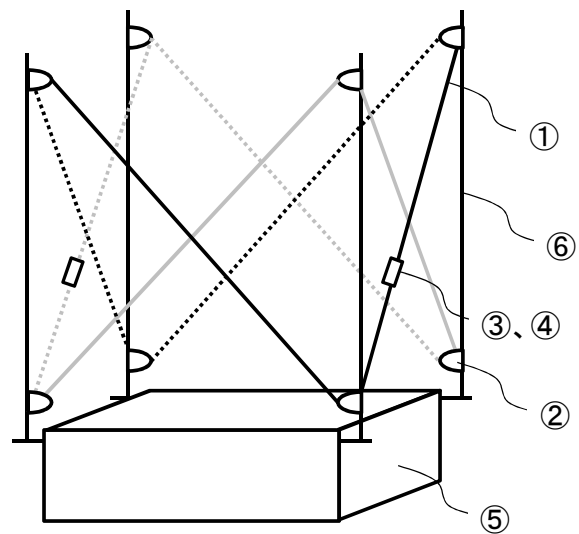


図-1 ワイヤによる制振補強

表-1 使用部材一覧

	名称	仕様・用途
①	ワイヤ	ワイヤ径：φ2.0 材質：SUS304
②	固定金具	吊りボルトに設置し、ワイヤを通過させ保持
③	張力調整金具	ワイヤ張力調整用
④	引留金具	ワイヤ締結用
⑤	吊り機器	寸法：600×500×300H[mm] 質量：33[kg]
⑥	吊りボルト	径：W3/8 吊長さ：1,500[mm]



写真-1 補強用金具一式

2. ワイヤの摩擦を利用した制振効果

図-1 に示す吊り支持機器が加振により図中左方向に変位すると、手前および奥側の補強面形状が四角から平行四辺形に変形する。その場合、濃い線のワイヤは手前補強面の対角距離は短くなり、奥側補強面の対角距離が長くなるため、奥側補強面のワイヤに引張力が加わり、手前補強面のワイヤの弛みを、奥側補強面のワイヤが吸収する。その際、ワイヤと固定金具間で摩擦が発生し制振効果が得られる。

3. 試験方法

試験は新日本空調(株)技術開発研究所に設置した加振装置を用い、吊元および吊り機器の加速度を計測した。試験条件を表-2、図-2 に示す。加振波は加振周波数が 13Hz~0.1Hz と連続的に変化する Sweep 波を用いた。また、比較対象として補強なしの試験も実施した。

表-2 試験条件

加振波	補強方法
Sweep 波	ワイヤによる補強
周波数：13Hz~0.1Hz	補強なし

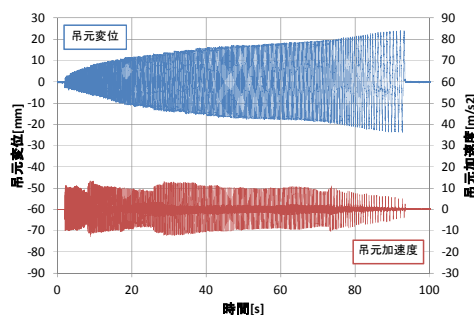


図-2 Sweep 波波形

4. 試験結果

計測された加速度をペクトル解析した結果を図-3 に示す。スペクトル解析は強震記録ビューアソフト「ViewWave」を用いた。解析結果より、本工法の場合、周波数 1.0Hz 以下および 3.6Hz 以上において吊元振幅に対し吊り機器振幅がの減衰が見られた。周波数 1.0~3.6Hz は吊元振幅に対し吊り機器振幅が若干増幅する傾向が図られるが、振幅倍率 (吊り機器振幅/吊元振幅) は 1.9 倍 (2.6Hz) 以下に抑えられている。

補強なしの場合、周波数 0.51Hz 以下および 1.5Hz 以上において吊元振幅に対し吊り機器振幅がの減衰が見られた。周波数 0.51~1.5Hz は吊元振幅に対し吊り機器振幅が増幅し、1.1Hz では振幅倍率 (吊り機器振幅/吊元振幅) が 38.4 倍となった。本工法の減衰効果として、1.1Hz での吊り機器の振幅倍率 (本工法振幅/補強なし振幅) は 0.026 倍となった。

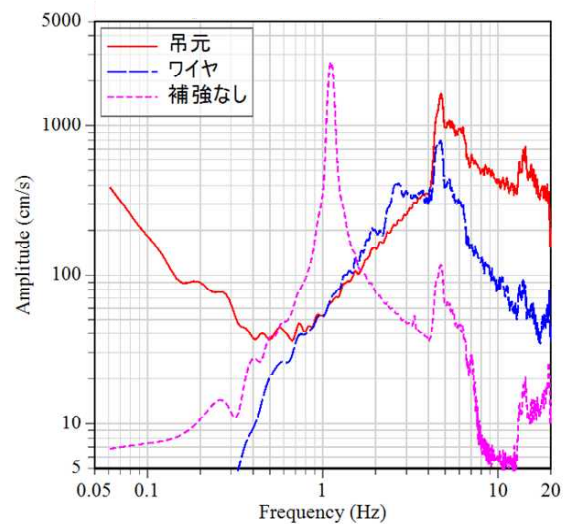


図-3 フーリエスペクトル (振幅)

まとめ

ワイヤの摩擦を利用した制振補強に関し、吊り支持機器を用いて動的加振試験を行った結果、1Hz以下、及び3.6Hz以上で吊元の加振に対する減衰効果を確認した。また、補強なしでの共振 (周波数1.1Hz) を大幅に抑制できることを確認した。

CIE 標準一般天空の天空タイプ決定手法に関する研究

由利本荘市測定データによる検証

菅原彩夏 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学), 細淵勇人 (秋田県立大学),

松本真一 (秋田県立大学)

Study on Identifying the Sky Types Recommended as CIE Standard General Sky

Inspection with the Yurihonjo city measurement data

Ayaka Sugawara (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Hayato Hosobuchi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード: 天空放射輝度分布, 天空輝度分布, CIE 標準一般天空

はじめに

建物の熱負荷計算等の熱環境シミュレーションにおいては, 外壁面, ガラス面への入射日射量を正確に求める必要がある。入射日射量を計算する際には, 天空日射量を天空一様とするのが一般的であるが, 近年, 天空一様と仮定されてきた天空日射に放射輝度分布を考慮し, より現実に即した入射日射量を推定するモデル(斜面日射モデル)が開発・提案されている。このようなモデルと一様天空モデルを用い, 日射量推定法の違いが年間熱負荷に与える影響を検討し, 最大 20%程度の差が生じるという結果を示した報告¹⁾もある。

既往の研究^{2)~6)}では, より詳細な熱環境シミュレーションを可能とする, 天空放射輝度分布を考慮した壁面日射量計算法の開発を進めてきた。開発には, 京都大学(京都府京都市)で観測した天空放射輝度分布データを用いてきたが, 他地域での観測データによる検証・分析も必要と考え, 秋田県立大学(秋田県由利本荘市)において 2015 年 6 月より天空放射輝度分布の観測, データの収集を開始し, 現在も継続している。

本研究では, 2015 年 6 月に秋田県立大学本荘キャンパス内に設置された天空放射輝度・輝度分布観測機器(スカイスキャナ EKO MS-321LR)により観測・収集されているデータ(以後, 秋田観測データ)を用いて, 提案・開発された, 日射量を用いた CIE 標準一般天空の天空タイプ推定手法の有効性を確認することを目的とする。

1. 天空放射輝度分布の観測

スカイスキャナは, 天球を 145 の天空要素に分割し, 天空要素それぞれについて放射輝度, 輝度を観測することで, 天空の放射輝度分布・輝度分布を求める機器である。図 1 にスカイスキャナの概要を示す。1 回の観測(145 天空要素全ての観測。これを 1 スキャンと呼ぶ)において, センサの方位角, 高角度を変化させ, 145 の天空要素の放射輝度, 輝度を順次観測する。1 スキャンには 4 分 30 秒を要す。

本研究では, 2015 年 6 月 12 日から 2016 年 11

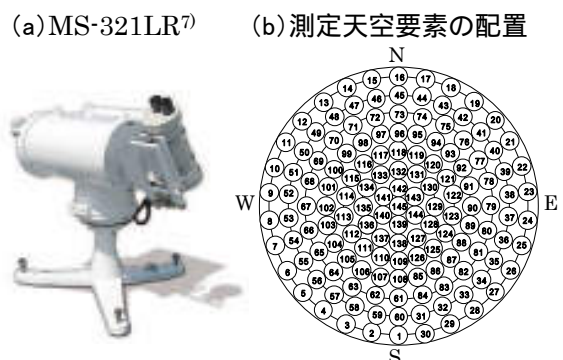


図-1 スカイスキャナの概要

表-1 観測概要

観測項目	測定機器	測定間隔[min]	備考
天空放射輝度分布[W/m ² sr] 天空輝度分布[kcd/m ²]	EKO製 MS-321LR	10	センサ開口角: 11° 1スキャンに要する時間: 4分30秒
法線面直達日射量[W/m ²]	EKO製 MS-56	1	太陽追尾装置: EKO STR-21G
水平面全天日射量[W/m ²]	EKO製 MS-802F	1	測定波長域: 305~2800nm

月 30 日までの観測データを分析する。表 1 にスカイキャナ及び、同時に測定している日射量について、その観測概要を示す。

2. CIE 標準一般天空

既往の研究では、熱環境シミュレーションに天空放射輝度分布を考慮するにあたって、CIE (Commission Internationale De L'eclairage, 国際照明委員会) 標準一般天空モデル⁸⁾を用いている。このモデルは、晴天から曇天までの天空状態を、天頂を中心とした輝度分布を表す Gradation 関数、太陽位置を中心とした輝度分布を表す Indicatrix 関数について、各々6組のパラメータの組み合わせによる、15の天空タイプで表現する輝度分布モデル⁹⁾である。

本モデルの15の天空タイプを決定する方法は標準化されていないため、既往の研究では京都観測データを用いて、その推定手法を開発・提案している。本報では、開発・提案された推定手法を、秋田観測データを用いて検証する。

3. CIE 標準一般天空の天空タイプ推定手法の検討

3.1 近似タイプと推定タイプ

既往の研究では、観測された天空放射輝度分布が、CIE 標準一般天空の15タイプのどの天空タイプに一番近似するかを知るため、観測値と15の各天空タイプとの%RMSE^{注)}が最小となる天空タイプを求め、これを「近似タイプ」と定義した²⁾。

また、既往の研究³⁾より、Gradation 関数、Indicatrix 関数ともに同じ高度に対し、グループ番号が大きくなるほど日射量の平均値が大きくなることを報告されている。そこで各グループ間に、以下の式で境界を決め、Gradation 関数、Indicatrix 関数の各グループを推定することで天空タイプを決定する。Gradation 関数、Indicatrix 関数の境界曲線の係数を表2に示す。

Gradation 境界曲線：

$$B_{g,3} = a_{g,1} \cdot h^3 + a_{g,2} \cdot h^2 + a_{g,3} \cdot h + b_g \quad (1)$$

Indicatrix 境界曲線：

$$B_{i,3} = a_{i,1} \cdot h^3 + a_{i,2} \cdot h^2 + a_{i,3} \cdot h + b_i \quad (2)$$

表-2 境界曲線の係数

	Gradation				Indicatrix				
	$a_{g,1}$	$a_{g,2}$	$a_{g,3}$	b_g	$a_{i,1}$	$a_{i,2}$	$a_{i,3}$	b_i	
I-II	-0.0021	0.35	-10.84	170.93	1-2	0.0001	-0.02	0.82	-7.31
II-III	-0.0021	0.31	-4.87	99.05	2-3	0.0009	-0.16	9.09	-82.30
III-IV	0.0004	-0.11	17.62	-142.95	3-4	0.0019	-0.32	17.05	-79.19
IV-V	-0.0012	0.07	14.11	-93.63	4-5	0.0030	-0.54	29.2	-67.36
V-VI	-0.0028	0.24	9.64	-44.82	5-6	-0.0021	0.16	1.82	355.83

3.2 壁面日射量の比較

境界線により推定した Gradation 関数、Indicatrix 関数のグループから決定した天空タイプより、東西南北四方位の壁面日射量を求め、スカイキャナにより測定された天空放射輝度分布から求めた壁面日射量と比較して、既往の研究により開発された天空タイプ推定手法の妥当性を検証する。推定タイプの壁面日射量の計算フローを図2に示す。

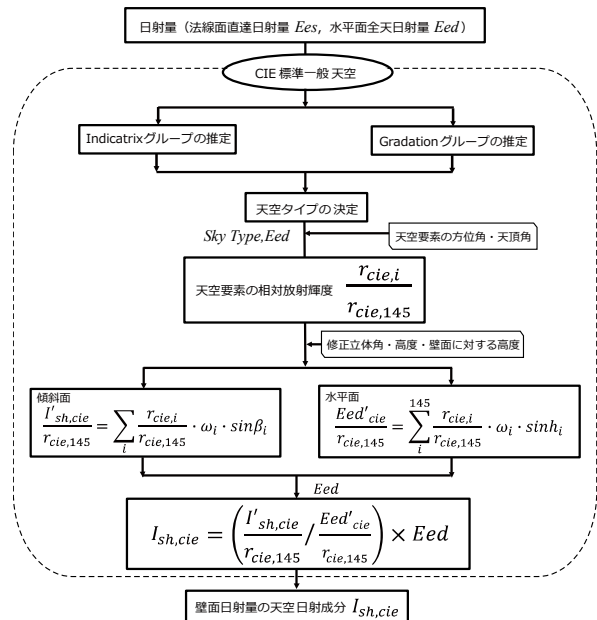


図-2 推定タイプの壁面日射量の計算フロー

方位別日射量測定値が得られていないため、測定した天空放射輝度分布から求めた壁面日射量を精解値として、一様天空、近似タイプ、推定タイプの場合の壁面日射量にどのような傾向があるか検討する。

図3に2015年、2016年夏季の壁面日射量の比較を示す。図3より、推定タイプの壁面日射量は、各面で精解値と比べやや大きな日射量を計算する傾向があるが、精解値に近い壁面日射量を計算し

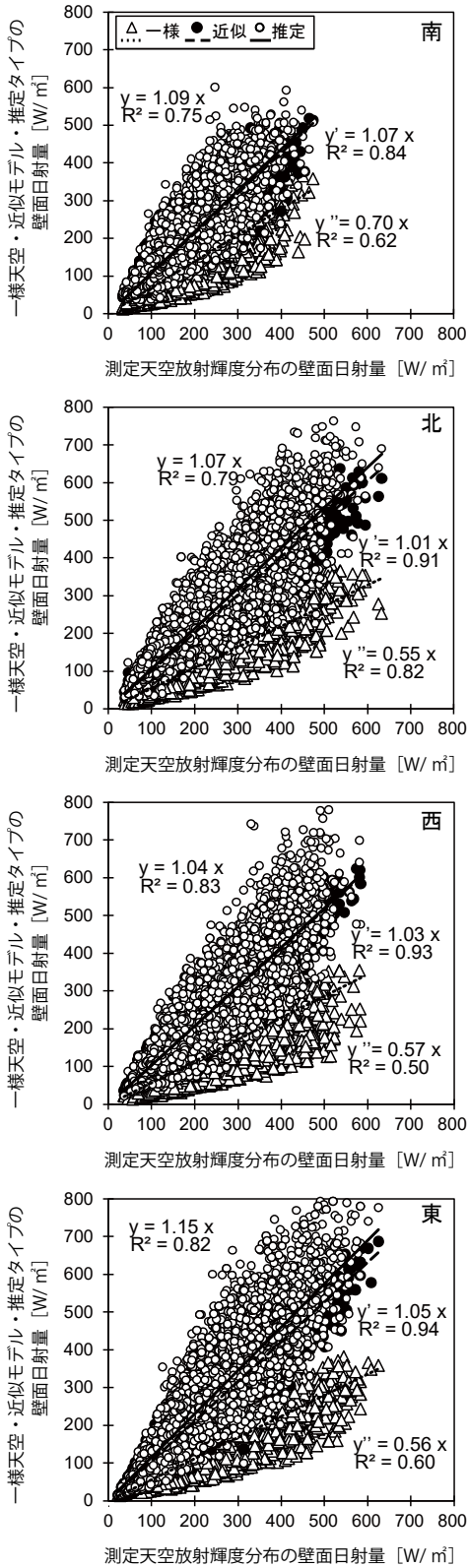


図-3 各モデルによる壁面日射量の比較 (夏季)

ている。また、傾きが1に近く、 R^2 値が大きいことから、精解値と推定タイプとの相関は高いことがわかる。一様天空の壁面日射量は、各方位で精解値と比べ小さな壁面日射量を計算する傾向があり、従来の一様天空では、精度よく壁面日射量を計算することができないことが分かる。

図4に2015年、2016年夏季の南面における近似タイプと推定タイプによる壁面日射量の比較を示す。図4より、推定タイプと近似タイプとの差は5%程度であることがわかる。

図5に各天空タイプの%RMSE, %MBEを示す。推定タイプは近似タイプほど,%RMSEは小さくはないが、一様天空と比べ%RMSEは小さい。放射輝度分布が一般的に測定されていないことを考えると、推定タイプを用いて壁面日射量を計算することは有効であると判断できる。

表3に京都観測データと秋田観測データを用いて計算した壁面日射量の近似線傾きと R^2 値の比較、京都観測データと秋田観測データ推定タイプ

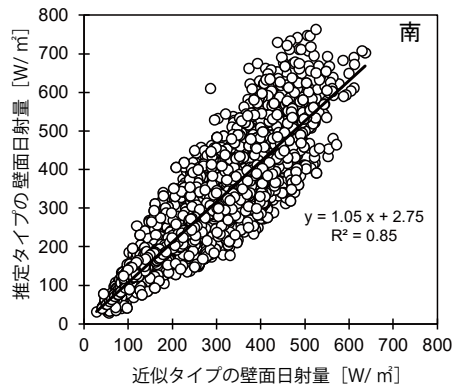


図-4 近似・推定タイプの壁面日射量の比較

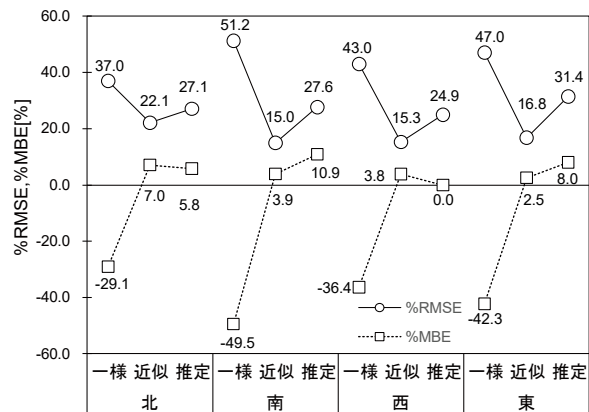


図-5 各タイプの%RMSE, %MBE

表-3 壁面日射量の近似線傾き・R²値の比較
秋田・京都の推定タイプ近似線傾きの誤差

	近似線の傾き			
	南	西	東	北
京都 一様天空	0.95	0.88	0.91	1.27
秋田 一様天空	0.55	0.57	0.56	0.70
京都 推定タイプ	1.02	1.08	0.98	0.90
秋田 推定タイプ	1.07	1.04	1.15	1.09
秋田・京都 推定タイプ誤差(%)	4.90	3.70	17.35	21.11
	R ²			
	南	西	東	北
京都 一様天空	0.98	0.95	0.95	0.65
秋田 一様天空	0.82	0.50	0.60	0.62
京都 推定タイプ	0.96	0.98	0.98	0.73
秋田 推定タイプ	0.82	0.83	0.82	0.75

の近似線傾きの誤差について示す。全方位で一般天空より、推定タイプの方が、傾きが1に近く、R²値が大きくなる傾向がある。京都観測データと秋田観測データの推定タイプの近似線傾きの誤差は南面で3.7%と小さく、似たような傾向を示すことが分かる。他地域データでも京都観測データを用いて開発された壁面日射量計算法は適用可能であると考えられる。

4. まとめ

秋田県立大学において観測した天空放射輝度分布データを用いて、京都観測データにより開発・提案されたCIE標準一般天空の天空タイプ推定手法を検証した。

秋田観測データを用いて、壁面日射量を計算したところ、推定タイプは近似タイプに次いで、精解値に近い壁面日射量を計算することがわかった。既往の研究で開発された壁面日射量計算法は、他地域データでも有効であると判断した。

注 釈

$$\%RMSE = \sqrt{\frac{1}{\text{標本数}} \sum \left(\frac{\text{推定値} - \text{観測値}}{\text{観測値}} \right)^2} \times 100$$

$$\%MBE = \frac{1}{\text{標本数}} \sum \left(\frac{\text{推定値} - \text{観測値}}{\text{観測値}} \right) \times 100$$

記号表

$a_{g,1}, a_{g,2}, a_{g,3}, b_g$: Gradation 境界曲線の係数 [-]

$a_{i,1}, a_{i,2}, a_{i,3}, b_i$: Indicatrix 境界曲線の係数 [-]

B_g : Gradation 境界曲線による水平面全天日射量 [W/m²]

B_i : Indicatrix 境界曲線による法線面直達日射量 [W/m²]

h : 太陽高度 [°]

参 考 文 献

- 1) 赤坂裕, 他: 拡張アメダス気象データ, 日本建築学会(2000)
- 2) 細淵勇人, 吉田治典, 上谷芳昭: 天空放射輝度分布への CIE 標準一般天空の流用と天空タイプの集約, 日本建築学会環境系論文集, 第 583 号(2006-11), pp.29-36
- 3) 細淵勇人, 吉田治典, 上谷芳昭: 日射量を用いた CIE 標準一般天空の天空タイプ推定手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第 609 号(2006-11), pp.31-38
- 4) 細淵勇人, 吉田治典: 天空放射輝度分布が空調熱負荷に与える影響に関する研究-京都実測データによる天空放射輝度分布を考慮した熱負荷計算-, 日本建築学会環境系論文集, No.631 (2008-9), pp.1101-1108
- 5) 細淵勇人, 吉田治典: 天空放射輝度分布及び周囲遮蔽物を考慮した壁面日射量計算法の開発-第 1 報 CIE 標準一般天空 Gradation 関数, Indicatrix 関数の近似関数を用いた壁面日射量計算法-, 日本建築学会環境系論文集 No.675 (2012-5), pp.349-356
- 6) 細淵勇人, 吉田治典: 天空放射輝度分布, 及び遮蔽物を考慮した壁面日射量・熱負荷計算, 日本建築学会大会学術講演梗概集 D-2(2010-9), pp.509-510
- 7) 英弘精機株式会社 ホームページ http://eko.co.jp/meteorology/met_products/cat_01/0005/0030
- 8) CIE Standard Spatial Distribution of Daylight-CIE Standard General Sky, CIE S 011.1/E,(2003)
- 9) Kittler, R., Perez, R. and Darula, S.: A Set of Standard Skies Characterizing Daylight Conditions for Computer and Energy Conscious Design, Final Report of U.S.-Slovak Grant Project, US-SK 92 052,(1998)

B-14

溶液除湿型冷却システムの提案に関する研究

○俞帥, 許雷 (東北工業大学), 裴清清 (広州大学)

Proposal of Solution Dehumidification Type Cooling System

Yu Shuai, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology),

Pei Qingqing (Guangzhou University)

キーワード：高温多湿，溶液，除湿冷却，へちま，実用化

1. はじめに

1.1 研究の背景

近年、空調のエネルギー消費量は増加傾向にあり、特に高温多湿な環境においては、冷房用エネルギー消費量が大きくなっている。高温多湿な環境における省エネ型除湿冷却空調システムの開発は必要であると考えられる。

従来に湿り空気を高濃度のリチウム化合物、塩化カルシウム溶液等の吸収液に接触させることで空気の水蒸気を除去するという方法があり、システムの構成を図-1に示す。従来の溶液除湿システムでは、外気を高濃度溶液と直接接触させ、充填材にて除湿した空気そのままに室内に送られる。その場合、送風空気の中に除湿溶液が含まれるため、室内の人の健康に悪い影響を与えることが懸念される。

そこで、本研究では除湿される空気を室内に送ることを避け、高温多湿な場所において塩化カルシウム除湿溶液を用い、外気より相対湿度が低い空気を作ることを目的とする。冷凍機を使わずにフリークーリングを利用し、冷水を製造する溶液除湿型冷却システムを提案する。

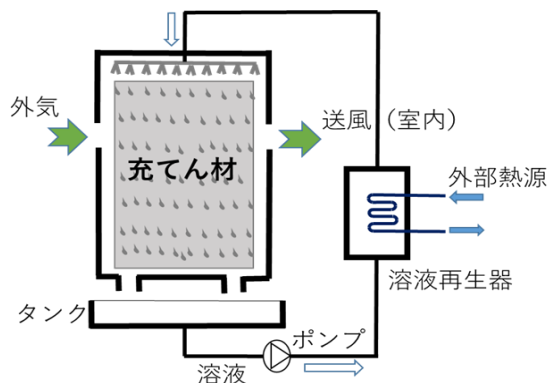


図-1 従来の溶液除湿システム¹⁾

2. 新しい溶液除湿システムの提案

2.1 溶液除湿型冷却システムの概要

図-1に示す従来の溶液除湿システムでは、除湿後の空気は直接に室内に送られる。図-2より除湿された空気が充填材を通過し、排風機によって強制的に室外に排出されるシステムを提案し、溶液を含む空気が部屋に送られることを避けることが期待できる。

新しい溶液除湿システムの仕組みは、(1)「溶液システム」²⁾、(2)「空気システム」、(3)「冷水システム」より構成される。図-2より、溶液システムでは、高濃度溶液がポンプを用いてへちまに送られ、へちまによって外部からの空気と接触させ、空気を除湿する。除湿の過程を経ることで溶液の濃度は低くなり、下の溶液へ落ちる。

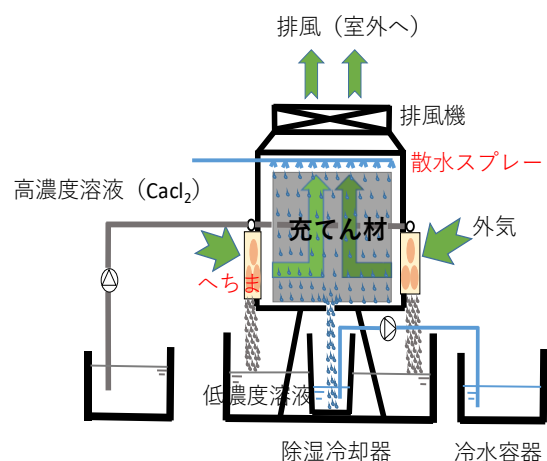


図-2 溶液除湿型冷却システムの系統図

空気システムでは、外部の空気がへちまを通じ、除湿後に除湿冷却器の充填材へ入り、散水スプレーからの散水と十分に接触した後、排風機にて室外へ排出される。

冷水システムでは、散水スプレーからの散水が充填材を通じて、蒸発後に除湿冷却器底部の冷水容器に入り、ポンプにて外部の冷水容器へ送る。よって冷水容器の冷水は冷房用冷水として利用されると考えられる。

2.2 新しい溶液吸着材

実験を行う前に、へちまの溶液吸着性能を確認する。

へちまの特徴として、内部に空洞があり、外部には多孔質繊維を備えていることがあげられる。空気は繊維のすき間を通過しやすい。図-3に示すように、へちまの中空部に溶液を吸収できる材料を入れた場合、これらを組み合わせることでへちまが溶液吸着材として機能させられると考える。へちま自体の溶液吸収力が小さいが、コットン球を用いて、溶液を吸収し、へちまの空洞に充填する。



図-3 除湿へちま

3. 実験概要

3.1 実験時間と場所

2016年7月から12月の期間に東北工業大学八木山キャンパス工学部の循環技術研究施設館の実験室にて溶液除湿冷却実験を行った。

冬季にヒータ（強 1200W、弱 600W）1台と加湿器（定格消費電力 74W）2台を用いて高温多湿な環境を作り、人工的な高温多湿な環境を再現した実験室にて実験を行った。

3.2 実験装置

提案した除湿溶液システムにおける溶液再生器、除湿冷却器、散水スプレー、冷水容器、データロガー

ガー等の装置を写真-1に示す。なお溶液再生器は鉄製容器で塩化カルシウム溶液を盛り、ガスコンロで溶液を加熱したものを指す。中心部分の除湿冷却器（写真-2）はへちま、扇風機、プラスチック製容器より構成されている。

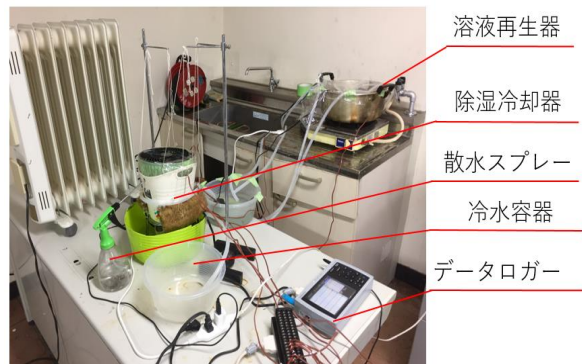


写真-1 実験装置



写真-2 除湿冷却器

4. 溶液除湿システムの実験結果及び分析

前述の実験環境下における、2016年11月29日～30日の実測データに基づき結果を分析する。

4.1 周囲空気の状態変化

図-4より、除湿中の空気である除湿前1、除湿後2と蒸発後3の三つの状態がある。周囲空気は1のところからへちまを経ることで、2の状態になる。この時空気の温度が上昇し、絶対湿度と露点温度が下がる。除湿後は空気が充填材を通じ、上部の扇風機の出口に出ることで、3の状態となる。2から3への移行中に、空気の乾球温度は下がり、絶対湿度と露点温度が上がる。

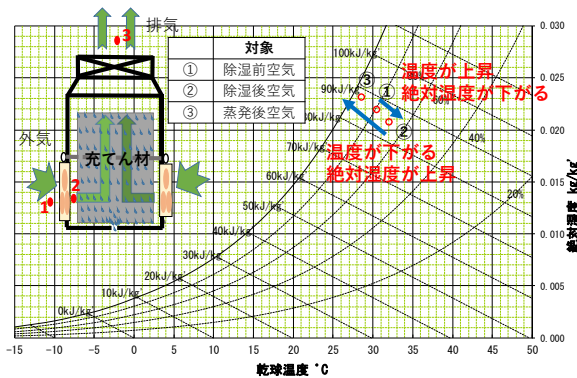


図-4 空気状態の変化

4.2 溶液除湿システムの除湿効果

今回の実験は高温多湿な環境における小型溶液除湿システムの除湿性能と冷却能力の確認を目的としている。図-5 より、夜 21 時から 2 時半までの約 5 時間半の実験中は除湿前の空気の温度は 29～32℃に変化する。この時除湿後空気の温度は急速に下がり、次第に急上昇している。原因としては除湿開始時刻に温度の高い空気と温度の低い溶液が接触し、空気の温度がすぐに下がることがと考えられる。

時間が経つにつれて、溶液温度が高くなり、これによって除湿後空気の温度も高くなる。実験開始時刻での絶対湿度の差が最も大きく、およそ 3.9×10^{-3} kg/kg (DA) である。除湿の長い時間には、両方の差は約 8×10^{-4} kg/kg (DA) である。加えて 4.95L 溶液の連続除湿時間がおよそ 5 時間ということを知る。

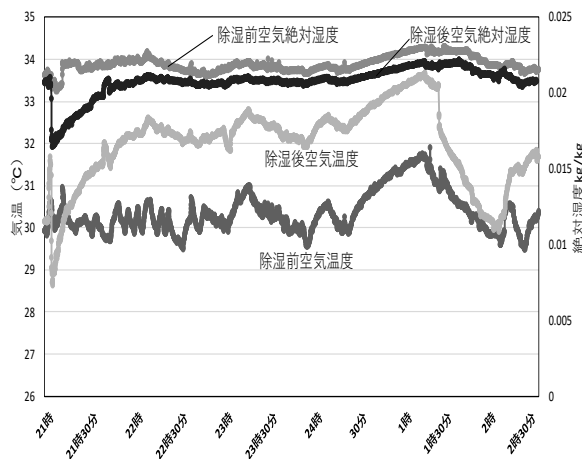


図-5 除湿前後の空気温度と絶対湿度の変化

4.3 溶液除湿システムの冷却効果

図-6 より、溶液除湿及び蒸発の効果を両方利用することで、散水の温度は 27.2℃から 25.4℃まで下がった。よって小型溶液除湿システムの冷却効果は 1.8℃である。

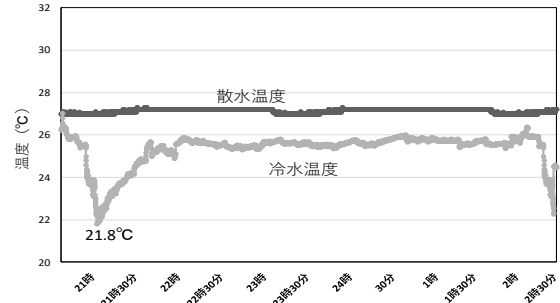


図-6 水温の変化

式 (1) より、溶液除湿システムの冷却量を求める。

$$Q = C_p \rho V (t_1 - t_2) \quad (1)$$

ここで

Q：冷水冷却量，「W」

C_p ：水の比熱容量，「J/(kg・k)」，ここでは 4200J/(kg・k)を用いる

ρ ：水の密度，「kg/m³」，ここでは 1000kg/m³を用いる

V：冷水流量，「m³/s」

t_1 ：夏季冷房設定温度，「℃」，ここでは 28℃を用いる

t_2 ：冷水温度，「℃」

冷却量計算式により、この小型溶液除湿システムの冷却量は約 143W である。

4.4 溶液再生器

図-7 に溶液再生の方法を示す。温度 35.8℃、質量濃度 32.3%の低濃度溶液がポンプを用いて溶液再生器に送られ、ガスで再生器を加熱することで、溶液の水分が蒸発される。この時溶液の温度、濃度が高くなり、もう一度冷却水で溶液の冷却を行って、温度 25.7℃、濃度 35%の溶液を作る。溶液再生の際は、銅管に冷却水を通し、溶液を冷却する。なお銅管の長さは約 6m、熱伝導率 401W/(m・k) である。

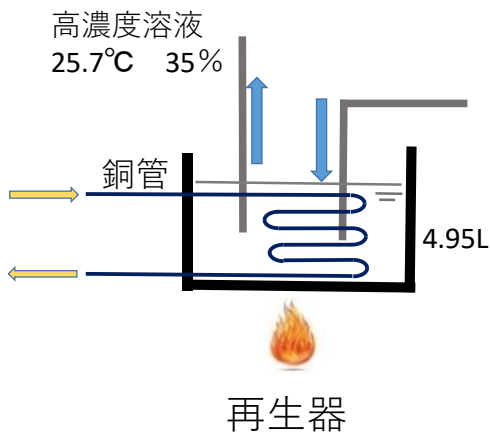


図-7 溶液再生器

図-8 に溶液濃度と再生温度の関係を示す。実線は溶液の温度を表し、点線が溶液の濃度を表す。ガスによって 20°C の溶液を加熱し、溶液が 35°C になった時点で、加熱を停止する。その後、溶液の温度が段階的に下がり、それに伴って溶液の濃度が上昇する。溶液温度が 20°C 以降になった時点より、溶液の濃度は変わらないことが分かる。

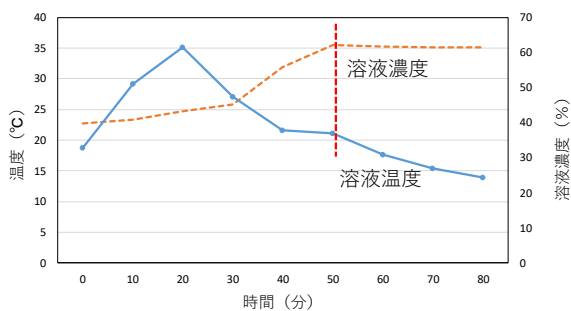


図-8 溶液濃度と再生温度の関係

5. 溶液除湿システム実用化の可能性

溶液除湿システムの冷却量は 143.2W であり、約 2m² の住宅の冷房用冷水を提供できると考える。今回の実験は小型溶液除湿型冷却システムを用いたことで、冷却・除湿能力を分析した。

実用化に向けてシステムを拡大する必要はあるが、システムの扇風機のパワーとへちまの面積を大きくして、システムを大型化させることで、もっと大きい空間への対応も可能と考える。

本研究では、2枚のへちまのみ利用していないため、例として除湿冷却器の周囲に全部にへちまタワシを備え、かつ冷却除湿器を 0.275m (直径) × 0.315m (高さ) から 2 倍に拡大した場合、24 m² の住宅冷房用冷水が提供可能であると予想する。

6. 結論

従来の溶液除湿システムは溶液を含む空気を部屋に送り、人体に悪い影響を与える懸念があることから、本研究では、高温多湿の場合における空調エネルギー消費量削減を目的として、新しい溶液除湿型冷却システムを提案した。

また提案の溶液除湿システムを対象として、実測を行う。提案したシステムにおける冷却量、除湿能力、溶液の再生能力等を確認した。主な分析結果を以下に示す。

- ① 実験より、高温多湿な環境下での小型溶液除湿型冷却システムの冷却量は 143.2W である。
- ② 実験より、散水温度は 27.2°C から 25.4°C に下がる。また蒸発効果によって、散水温度は 0.9°C 下がる。加えて溶液除湿および蒸発により、散水温度は 1.8°C 下がる。よって、溶液除湿効果より、散水の温度は更に 0.9°C 下がった。
- ③ 4.95L の溶液での連続除湿時間は約 5 時間である。
- ④ 上記のデータを基に、小型溶液除湿型冷却システムを大型化させることでより大きい空間への対応も可能である。

提案した溶液除湿型冷却システムを実用化するにあたってはまだ多くの課題が残っており、今後の課題としてこれらについてのより詳細な研究が必要と考える。

参考文献

- 1) 劉曉華, 江億等, 温湿度独立制御空調システム, 中国建築工業出版社, 2006
- 2) 山口誠一, 松下俊一郎, 齋藤潔, 河合素直, LiCl 水溶液を用いた開放型吸収式除湿機の特性格析 環境工学総合シンポジウム講演論文集, pp515-518, 2005. 7

B-15

ゼオライト/水系を用いた一体型吸着蓄熱槽の性能試験

○佐々木 賢知 (三機工業), 福森 幹太 (三機工業)

Evaluation on Heat Storage Performance of Integrated Adsorption Thermal Storage Tank using Zeolite/water pair

Masanori Sasaki(Sanki Engineering Co., Ltd.) Kanta Fukumori(Sanki Engineering Co., Ltd.)

キーワード：吸着，蓄熱，ゼオライト，ヒートポンプ

はじめに

現在、省 CO₂ 社会の実現が求められている。通常は大気に開放される低温度の排熱を貯蔵し供給・利用する「熱の高度利用」は化石エネルギーの代替として利用することで、一次エネルギーの消費量を削減する効果が大きい。

これら低温排熱利用の分野において、既報¹⁾では潜熱蓄熱材を採用した蓄熱システムの試験・導入を実施し、定置式・輸送式を含めて実績を重ねている。

しかし、この技術分野では 100℃域において 1GJ/m³ が蓄熱密度のひとつの目標²⁾として示されており、蓄熱量の高蓄熱密度化が特に課題であるとされている。吸着蓄熱システムを用いることにより、蓄熱密度を高密度化し、この目標に近づくことが可能である。さらに化学蓄熱・吸着蓄熱は蓄熱速度と放熱速度に優位である。例えばこれまで前述の潜熱蓄熱システムでは一日最大 3 回が蓄熱・放熱回数の限界であったものが、本システムでは最大 4 回の蓄放熱が可能である。装置単体では吸着蓄熱システムの方が高コストであるものの、相対的に蓄熱量と熱出力が大きく、導入効果を大とすることで、投資回収では有利となる。また、本報では熱媒を熱媒油から温水・高温水に変更した。熱媒油を使用しないことにより、法的制約が緩和され、伝熱性能も向上している。

本報では蓄熱材規模 1,500kg の吸着蓄熱システムを、熱媒に温水・高温水を採用し、蒸発・凝縮槽と蓄熱槽を一体的として製作した。この吸着蓄熱システムの放熱性能を実験的に確認し報告する。

1. 試験概要

吸着蓄熱システムの運転概要を図-1 に示す。本システムは密閉型の吸着蓄熱システムであり、吸着材を充填する反応部と蒸発・凝縮熱交換器を設置する蒸発凝縮部から構成し、両槽を隔壁・真空用バタフライ弁により隔離している。また、両槽は真空ポンプによりあらかじめ空気を脱しており、システムを動作する水蒸気の移動のためのドライビングフォースは反応部と蒸発凝縮部の圧力差である。既報との構造的

違いは吸着材を充填する反応部と、蒸発凝縮部、貯水部を一体的構造とした点であり、大口径となる真空配管を減らすことが可能となった。

図-1 上に吸着過程の動作を示す。この過程は実システムの運転時には熱を供給する過程である。図左の反応部に予め脱水した吸着材を充填した状態から説明を始めるが、吸着過程の前で、吸着材の温度が低い運転開始前は数 Pa 程度の真空に近い状態となる。運転開始時に、両槽間の真空バタフライ弁を開放する。同時に貯水部の水を蒸発凝縮部の熱交換器により間接的に加熱し水を蒸発する。水蒸気は圧力差により反応部へ移動し、吸着材に吸着する。吸着材は吸着反応により発熱し、熱交換器により間接的に温熱を取り出す。この温水を熱利用側へ供給し、利用する。また、このとき蒸発凝縮部内の熱交換器表面では水が蒸発し、熱を吸収する。蒸発凝縮部からは同時に冷熱を供給することとなる。

次に図-1 下に示す脱水過程は、実システム運転時には蓄熱運転に相当する。反応部の吸着材を間接的に加熱することで吸着材の水分が脱離する。水

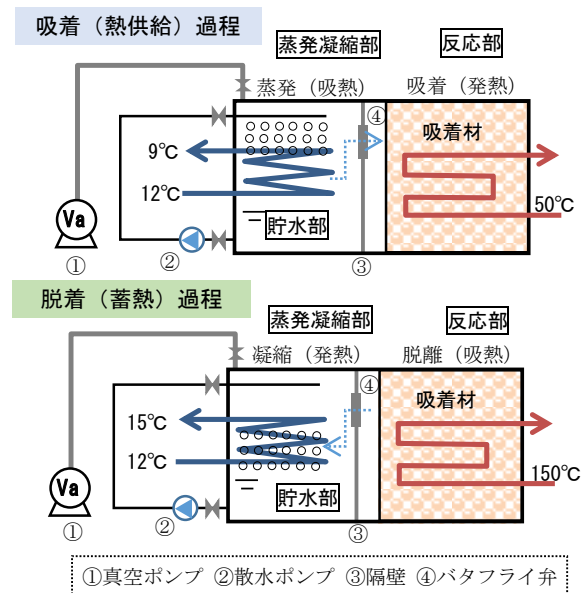


図-1 吸着蓄熱システム運転概要

蒸気の発生し、反応部の圧力が上昇する。蒸発凝縮部より高い圧力となった時点で真空バタフライ弁を開放し、反応部の水蒸気が相対的に低圧である蒸発凝縮部に移動する。蒸発凝縮用熱交換器を間接的に冷却することにより、水蒸気を凝縮し低圧を維持、反応槽部で吸着材の脱水を継続する。この際、熱の入出としては、反応部では吸熱し 150℃の熱を受け入れており、水槽側では水蒸気を凝縮、発熱するため熱交換器により間接的に冷却している。

2. 吸着材

本報告で採用した吸着材（ゼオライト 13X）の吸着・脱離性能について図-2に示す。図は、試料雰囲気の水蒸気圧を調整可能な示差走査熱量測定装置（TG-DTA）により測定した結果である。窒素と水蒸気の混合ガス流通雰囲気下で、水蒸気分圧 1.2kPa・2.3kPa・4.3kPa（10・20・30℃飽和水蒸気圧相当）一定条件で材料温度を変化させた際の吸着量[kg/kg]（吸着水質量÷吸着材質量（乾燥状態））を示す。測定は試料温度 200℃、窒素流通雰囲気中で乾燥した状態を基準とし、その後水蒸気分圧を調整すると同時に材料 40℃に冷却し、吸着する。その後、材料温度を段階的に上昇し、各温度で 30 分の定常時間を設定し吸着量を測定しており、脱離側の測定結果である。

図よりこの材料は、水蒸気分圧 1.2kPa（10℃飽和水蒸気雰囲気）に暴露する条件下で、吸着材温度 50℃で吸着すると 0.18kg/kg の水分量を吸着し、水蒸気分圧一定のまま吸着材温度 150℃に加熱すると、水分を 0.15kg/kg 脱離する。さらに、本報告で採用したゼオライトは単位水分量あたりの吸着熱が 3,600kJ/kg (64kJ/mol(H₂O)³)であり、他のシリカゲル・活性炭等の吸着熱（水の蒸発熱

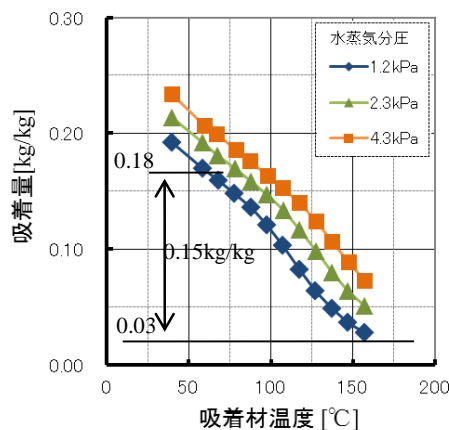


図-2 吸着等圧線（ゼオライト 13X）

2,500kJ/kg 程度)と比較し大である。特に温熱の供給に適した材料である。

3. 試験装置

図-3に熱源システムの概要を示す。図-4に吸着蓄熱槽の概要を示す。試験システムは、反応槽、温熱源系、冷熱源系から構成している。冷熱源系は放熱時にはダミー冷房負荷として動作し、蓄熱時には蒸発凝縮部から発生する凝縮熱の冷却熱源として動作する。温熱源系は、高温水系と温水系から構成しており、放熱時にはダミー暖房負荷として反応部から発生する温熱を冷却し、蓄熱時には反応部を 150℃で加熱するための温熱源として動作する。冷熱源系には流量測定系と温度測定系を設置している。温熱源系には、流量測定系と温度測定系、圧力測定系を設置しており、それぞれ測定機はデータロガーに接続し、常時試験データを記録している。

吸着蓄熱槽は内部で蒸発凝縮部と反応部に、隔壁及びバタフライ弁により分離している。蒸発凝縮部は、熱交換器・散水管・貯水部・散水ポンプ・真空圧力計・水位計・流量計により構成している。反応部は内部に 1,507kg（乾燥重量）の吸着材を内蔵し、この吸着材を加熱・冷却し、水蒸気を吸着材に吸着・脱着するための伝熱管・伝熱フィン・蒸気分散管・真空圧力計により構成している。反応部の有効長は 2.4m である。

基本的な試験方法を蓄熱(脱着)運転から示す。

事前に吸着蓄熱槽を真空引きし、不凝縮性ガスを槽から排出する。貯水部と吸着材が吸着蓄熱槽内にあるため、真空引きの下限圧力は貯水温度の飽和水蒸気圧もしくは、吸着材の吸着量と温度で決定する吸着材の水蒸気圧の高い側の水蒸気圧力まで減圧する。真空引き後、蒸発凝縮部と反応部を連結するバタフライ弁は閉止する。この真空引きは常時運転するのではなく、1日1回の蓄熱・放熱運転を行なう場合であれば、蓄熱側で1分程度の真空引きのみで十分な真空性を保持する真空槽である。

- ①高温水・冷水の循環を開始し、高温水ボイラ・冷熱源を運転する。
- ②高温水の温度上昇と共に反応部圧力が上昇する。
- ③反応部圧力が蒸発凝縮部圧力より高圧となった時点でバタフライ弁を開放する。反応部から水蒸気が蒸発凝縮部へ移動し冷却・凝縮する。
- ④吸着材からの水の脱離と共に反応部圧力が徐々

に低下する。反応部圧力が蒸発凝縮部の圧力と同程度となった時点でバタフライ弁を閉止し、蓄熱を終了、ボイラと冷熱源を停止する。

⑤放熱運転を開始する。放熱運転では高温水側を冷却水により冷却する。反応部圧力が蒸発凝縮部の圧力よりも低圧となった時点で、散水ポンプを運転、同時にバタフライ弁を開放する。水蒸気が蒸発凝縮部から反応部へ移動し、吸着・発熱する。蒸発凝縮部の冷水入口をヒートポンプにより一定温度とする。

⑥温熱出力が低下(概ね 30kW 以下)した時点で吸着完了を判断し、真空バルブを閉止・散水ポンプを停止し、吸着試験を終了する。

本報告で用いる記号を以下に整理する。

Q_h : 積算温熱量 (MJ) Q_c : 積算冷熱量 (MJ)

q_h : 温熱出力 (kW) q_c : 冷熱出力 (kW)

M_a : 吸着材充填質量 (乾燥状態) (kg) = 1,507kg

M_w : 水量変化・吸着水量 (kg)

添え字

a : 吸着材, w : 水, h : 温水・温熱, c : 冷水・冷熱

4. 試験結果と考察

150℃の高温水により蓄熱を完了した直後の放熱試験時の測定結果を図-5～7に示す。本報では放熱試験について説明する。蓄熱に要する時間は3.1時間である。この試験では、温水と冷水の流量を一定とし、かつ温水入口温度 50℃・冷水入口温度 12℃一定とした試験である。試験開始直後に最大約 120kW の温熱出力が得られ、その後熱出力が一定的に低下していることが確認される。この時間は蓄熱材からの顕熱のみを放熱しており、水蒸気の吸着を開始する前の放熱段階である。試験開始0.7時間に反応槽出口温水温度が 60℃を下回ったことを確認し、散水ポンプを運転、同時にバタフライ弁を徐々に開放している。バタフライ弁の開放により、蒸発凝縮部の圧力が反応部の圧力により低下し、蒸発凝縮部の熱交換器内を流れる冷水(12℃)により散水が間接的に加熱され蒸気が発生、圧力差により反応槽へ移動し、吸着材に吸着する。このタイミングで温熱出力の上昇と、冷熱出力の上昇が確認される。その後、徐々に温熱と冷熱出力は低下する。試験開始後 2.7 時間経過時に温熱出力が 30kW を下回ったことを確認し、

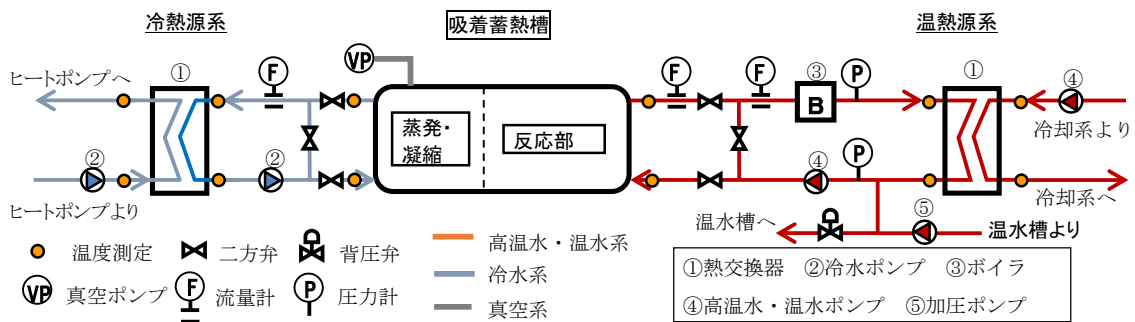


図-3 試験熱源システム概要

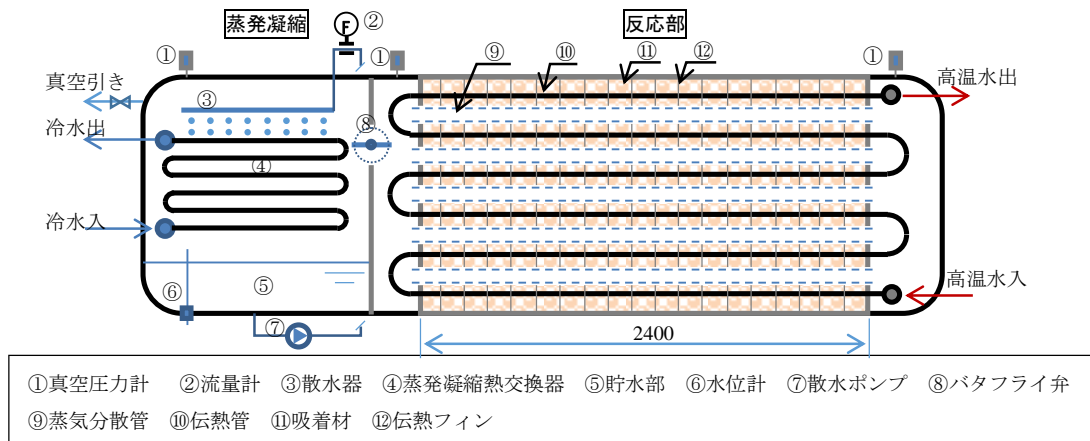


図-4 吸着蓄熱槽概要

散水を停止・バタフライ弁を閉止、試験を終了している。この時点までの積算温熱量が 0.78GJ、積算冷熱量が 0.26GJ、貯水部の水量変化は 152kg であり同水量が吸着材に吸着している。表 1 に理論蓄熱量および、温熱量・冷熱量・反応率・吸着水量の計画値と試験値を整理する。理論蓄熱量は 1.1GJ、計画温熱量は 0.94GJ であり、反応率は 86% であった。試験結果は 0.78GJ であり、反応率は 71% である。この反応率が計画より低い原因は、吸着材に対して、熱交換用フィンが到達していない部分があり、この不易部分の影響が大きい。大規模化の際には蓄熱部の径を大とするため、この寸法効果もあり、フィンの到達率が大きくなり反応率も拡大する。

冷熱量は吸着水量試験結果(152kg)と蒸発潜熱(2,500kJ/kg)から考えると、約 380MJ が試験結果として得られるべき冷熱量であり、これと比較し 32% 低い試験結果である。この冷熱量が低い要因は、貯水部から低温の水を取り出し、散水ポンプを介して蒸発凝縮器の上部から散水する系のポンプ動力と貫流熱負荷が主な要因であると考えられる。既報⁴⁾の散水を行わず、水を槽外に取り出す配管も無い試験結果では約 5% の熱量の誤差であった。散水ポンプは真空下の水を取り出す必要から、リークのごく小さいポンプを使用したため、ポンプ効率が低いこと、蒸発熱交換器での蒸発を安定化するため、実際の蒸発量の数倍の水量を循環しており、ポンプ動力を過大に消費している結果である。実証試験の際には、この散水ポンプは再検討が必要である。

蓄熱時間と放熱時間の計画値は 2.5 時間に対し、蓄熱時間・放熱時間の試験値は 3.1 時間・2.7 時間であり、計画より長時間を要している。この長時間化の要因も不易部分によるものと考えられる。

表 1 熱量・水量・蓄熱放熱時間整理

	計画値	試験結果
理論蓄熱量(GJ)	1.1	
温熱量(GJ)	0.94	0.78
冷熱量(GJ)	0.57	0.26
反応率(%)	86	71
吸着水量(kg)	185	152
蓄熱時間/放熱時間(h)	2.5/2.5	3.1/2.7

5. まとめ

ゼオライト-水系を採用し、吸着材質量規模 1500kg、高温水熱媒とし、かつ蓄熱槽と蒸発槽を一体的とした吸着蓄熱槽において蓄放熱の試験を実施し以下の結果を得た。

・本試験条件における積算温熱量は 0.78GJ、積算冷

熱量は 0.26GJ であり、反応率が 71%、蓄熱時間・放熱時間が 3.1 時間と 2.7 時間である。

・反応率が計画値より小さかった点、蓄熱・放熱時間がそれぞれ長時間を要した点が課題である。

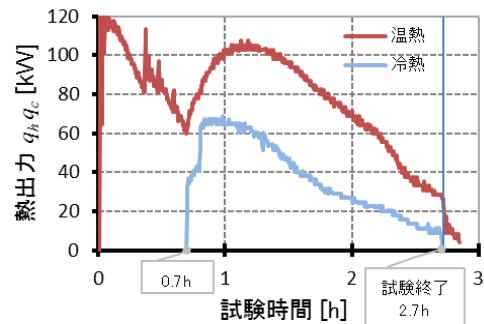


図-5 温熱・冷熱出力

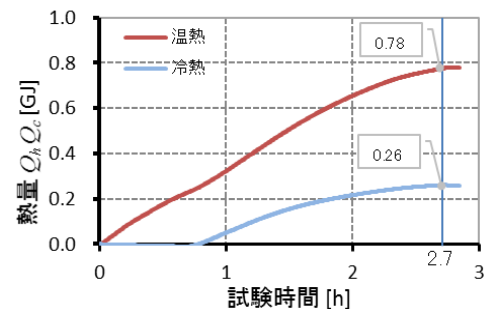


図-6 温熱・冷熱積算熱量

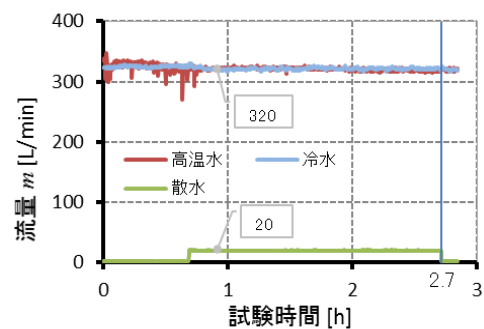


図-7 温水・冷水・散水流量

参考文献

- 1) 佐々木賢知, 酢酸ナトリウム三水和物を用いた潜熱蓄熱槽の性能試験, 2008, 空気調和・衛生工学会大会論文集
- 2) 化学工学会エネルギー部会, 「骨太のエネルギーロードマップ」, 化学工業社, 2005, P191
- 3) 溝田忠人, 排熱回収のための蓄熱・ヒートポンプシステムにおけるゼオライト-水組み合わせ, 資源と素材, 1998, Vol.114, No.1, p.2
- 4) 佐々木賢知, ゼオライト/水系吸着蓄熱槽の性能試験, 2015, 空気調和・衛生工学会大会論文集

B-16

中空糸膜式湿式デシカント空調における除湿液の状態による膜の透湿性能に関する研究

○會田 良介 (東北大学), 小林光 (東北大学), 弥富飛鳥 (東北大学), 村越綾 (東北大学)

Study on the change of the membrane's vapor permeability in the liquid desiccant air-conditioning system using hollow fiber membrane

Aita Ryosuke (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Iyatomi Asuka (Tohoku University), Murakoshi Ryo (Tohoku University)

キーワード：デシカント空調，湿式除湿，中空糸膜

はじめに

建築空調分野の省エネルギー化の取組みの一つとして、デシカント空調が導入されるようになった。デシカント空調は冷却除湿に必要な低温の熱源が不要であるとともに、再生熱源には排熱や太陽熱の利用が可能であるといったエネルギー面でのメリットがある一方で、一般的なロータ式デシカント空調機は装置サイズの大きさや除湿・再生部間が隣接することに起因する熱損失など、改善が望まれる課題も少なくない。このような課題を解決すべく森谷らは透湿性の中空糸膜を用いた密閉回路にデシカント液を流し、処理空気の除湿をする空調システムによって、最終的には除湿・再生を分離したマルチ型のシステム構築を目指した検討を行った¹⁾。図1に使用した中空糸膜を、図2に中空糸膜による除湿の概要図を示す。同研究により中空糸膜を使った調湿膜ユニットの除湿・再生能力及びデシカント液の調整による除湿容量制御の可能性が確認されたが、デシカント液の温度や濃度による中空糸膜の水分移動に関する特性は未だ十分には明らかになっていない。そこで、本報ではデシカント液の状態による中空糸膜の透湿性能変化を明らかにするための実験、及びその性能変化を反映させたシミュレーションについて報告する。

1. 新たな調湿膜ユニットの製作

図3に本研究で新たに製作した調湿膜ユニットを、表1にその寸法等を示す。ユニットは中空糸膜を240本(40本×6式)使用し、初期のユニット(40本)に比べ、中空糸膜の充填率を大きくすることで、バイパスファクタを小さくし、除湿及び再生能力を確保している。ユニット内での処理空気の温湿度変化を計測することを目的として新たな



図1 今回使用した中空糸膜

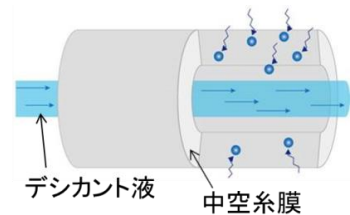


図2 中空糸膜における水分透過の概要図

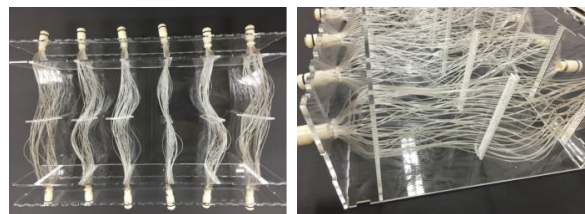


図3 新たに製作した調湿膜ユニット

表1 新ユニットの細部寸法

調湿膜ユニットの物理特性	
中空糸膜本数	240 本
中空糸膜内径	0.78 mm
中空糸膜外径	1.00 mm
空調部の寸法	
横幅	210 mm
高さ	110 mm

実験用ユニットを構成した(以降、新ユニットと称する)。新ユニットでは空気の流路方向に中空糸膜を6層に分け、80mmの間隔を設けることで温湿度センサーの入る隙間を確保した。また、6層に分けた中空糸膜の液側条件を等しくするために各系統にバルブを設け、液流量を均一に調整した。

2. 新ユニットを用いた実験

2.1 実験概要

図4に実験システムを示す。本実験では新ユニットを用いてデシカント液の3つのパラメータ(液濃度・液流量・液温度)が膜の透湿性能、即ち物質移動係数に与える影響を明らかにする。デシカント液には塩化リチウム水溶液を用いた。

表2に実験条件を示す。CASE A~Cはそれぞれ液濃度、液流量、液温度を変化させたケースであり、それ以外の条件となる風量は約160m³/h、処理空気の温湿度は関東の夏季の外気を想定して約33°C/60%で一定とした。

2.2 実験結果・考察

測定ケースごとに、膜の透湿性能を意味する物質移動係数 k_{tot} をデシカント液と処理空気の絶対湿度差他から式(1)のように求め、デシカント液の3つのパラメータが膜の透湿性能に与える影響を考察する。

$$k_{tot} = \omega_{ev} / \{ (\omega_{sin} - \omega_{ain}) \times A_{mem} \times \rho_a \} \cdots \text{式(1)}$$

k_{tot} : 総合的な物質移動係数 [m/s]
 ω_{ev} : 水の透過量 [g/s]
 ω_{sin} : デシカント液の平衡絶対湿度 [g/kg']
 ω_{ain} : 空気の絶対湿度 [g/kg']
 A_{mem} : 中空糸膜の表面積 [m²]
 ρ_a : 空気の密度 [kg/m³]

図5~10に3つのパラメータ(液濃度・液流量・液温度)に対する水の透過量及び物質移動係数を示す。CASE Aの実験結果より液濃度を大きくするほど水の透過量は大きくなるが、物質移動係数は小さくなり、水分は膜を透過しにくくなるのが分かる(図5, 6)。これはデシカント液の濃度が大きくなり、駆動力であるデシカント液の平衡絶対湿度が大きくなる一方で、溶液の粘性が大きくなり水分透過の抵抗が大きくなるためだと考えられる。CASE Bの実験結果では液流量を大きくするほど水の透過量、物質移動係数ともに大きくなる(図7, 8)。これは液流量が大きいほど水分移動が促進されるためだと考えられる。またCASE Cの実験結果では、液温が除湿・再生の平衡状態から離れるほど水の透過量、物質移動係数は大きくなる(図9, 10)。即ち除湿・再生が平衡する条件から液温が低くなれば、水分は除湿方向に膜を透過しやすくなり、高くなれば再生方向に再生方向に透過しやすくなる。

以上から、デシカント液のパラメータ全てが膜の物質移動係数 k_{tot} に影響すると考えられる。

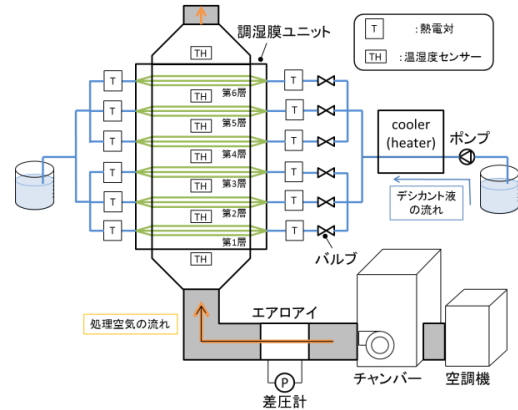


図4 実験システム

表2 実験条件

CASE番号	液濃度 [%]	液流量 [L/h]	液温度 [°C]	風量 [m ³ /h]	処理空気の温湿度		
					温度 [°C]	相対湿度 [%]	
液濃度	A-1	34.7	8.2	19.7	163.0	32.7	61.6
	A-2	29.8	8.3	19.7	163.0	32.7	61.1
	A-3	25.3	8.4	19.7	161.8	33.0	61.3
液流量	B-1	27.5	11.2	19.9	163.3	33.2	60.9
	B-2	27.6	8.6	20.1	163.7	33.2	59.7
	B-3	27.6	5.9	20.1	163.4	32.9	61.1
液温度	C-1	27.6	9.5	41.0	163.5	33.9	57.5
	C-2	27.6	9.2	34.0	164.0	33.0	59.3
	C-3	27.5	9.0	25.7	163.3	33.3	60.6
	C-4	27.9	8.8	16.2	164.1	33.3	60.4

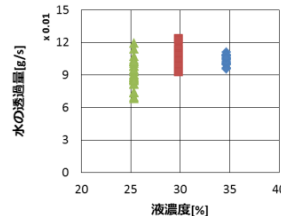


図5 液濃度と水の透過量

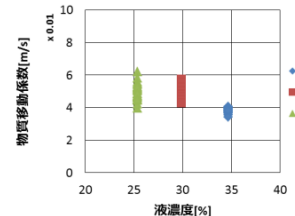


図6 液濃度と物質移動係数

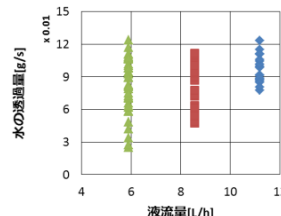


図7 液流量と水の透過量

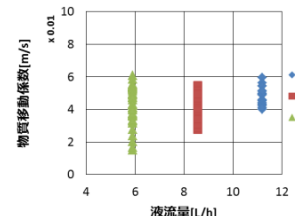


図8 液流量と物質移動係数

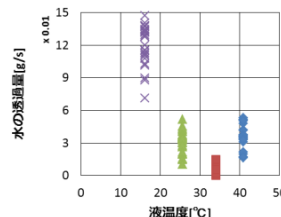


図9 液温度と水の透過量

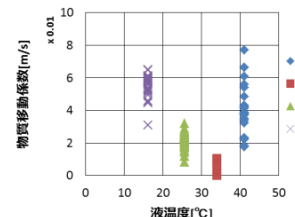


図10 液温度と物質移動係数

3. シミュレーションによる検証

3.1 シミュレーションの概要

調湿膜ユニットを空調用のユニットとして実用化するために出口空気の状態を制御することが求められる。そのためには物理条件として調湿膜ユニット内で熱や物質がどのように移動しているかを検討するための熱・物質移動のシミュレーションモデルの構築が必要である。

本研究において扱うシミュレーションモデル内では調湿膜ユニット内の中空糸膜を細分化し、そのそれぞれの微小部分において、デシカント液と処理空気との熱及び物質のやりとりを定常状態・完全拡散を仮定して導いている。具体的には図 11 のようにモデル化し、 x 軸方向に細分化したそれぞれの微小部分での拡散による熱・物質移動量を求めている。

3.2 従来のシミュレーションでの物質移動係数

一連の研究におけるシミュレーションでは物質移動係数 k_{tot} を膜の拡散 D_{vm} と気液の界面の物質移動係数 k_{in}, k_{out} を統合し、式(2)のように算出している²⁾。

$$\frac{1}{k_{tot}} = \frac{1}{k_{in}} \times \frac{d_{out}}{d_{in}} + \frac{\delta}{D_{vm}} \times \frac{d_{out}}{\bar{d}} + \frac{1}{k_{out}} \quad \dots \text{式(2)}$$

k_{in}, k_{out} : 液側及び空気側の界面物質移動係数[m/s]
 d_{in}, d_{out}, \bar{d} : 中空糸膜の内径、外径、内外径の平均[m]
 δ : 中空糸膜の厚み[m]
 D_{vm} : 中空糸膜の有効水分拡散率[m²/s]

ここで中空糸膜のデシカント液及び空気との界面における界面物質移動係数についてはレイノルズ数、シュミット数、シャーウッド数、プラントル数、ヌルセット数を用いることで間接的に算出している。また、中空糸膜の拡散係数 D_{vm} にはデシカント液の状態と独立した一定値を用いている。

図 12~14 にデシカント液の 3 つのパラメータ(液濃度・液流量・液温度)に対する式(1)による物質移動係数の実験値、及び式(2)によるこれまでのシミュレーションにおける物質移動係数を示す。これらのグラフから全てのケースで従来のシミュレーションにおける物質移動係数の方が実験値から算出したものより大きく、従来のシミュレーションは水分の透過を過大に評価していることが分かる。また、図 14 では両者の傾向が大きく異なり、膜の拡散係数 D_{vm} に温度依存性が大きいことが推測され、今後 k_{in}, k_{out}, D_{vm} に分解した分析が期待される結果となった。

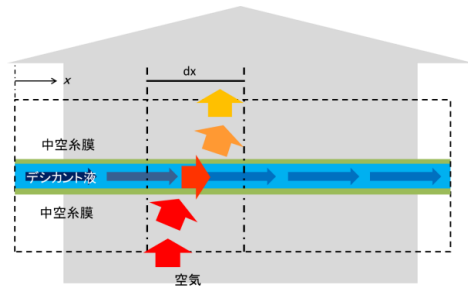


図 11 調湿膜ユニットのモデル化

- ◆ ...従来のシミュレーションでの k_{tot}
- ◆ ...実験値から算出した k_{tot}

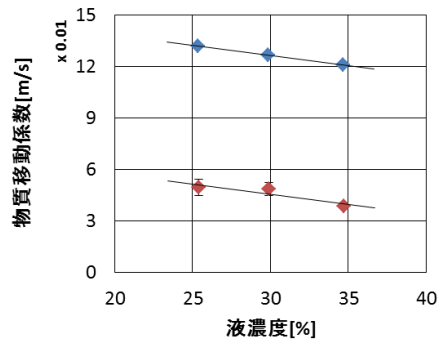


図 12 液濃度に対する物質移動係数

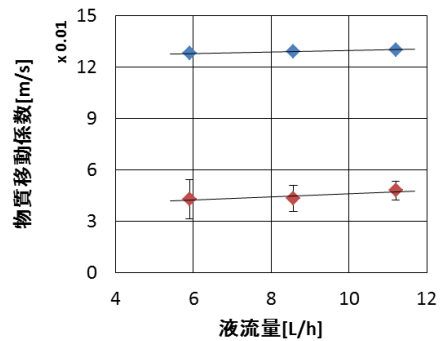


図 13 液流量に対する物質移動係数

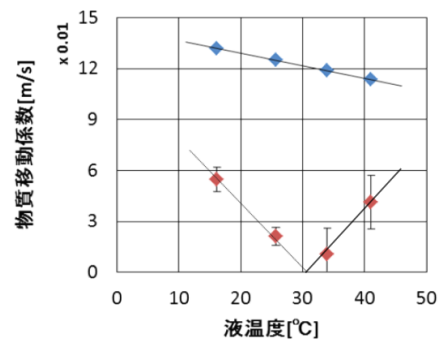


図 14 液温度に対する物質移動係数

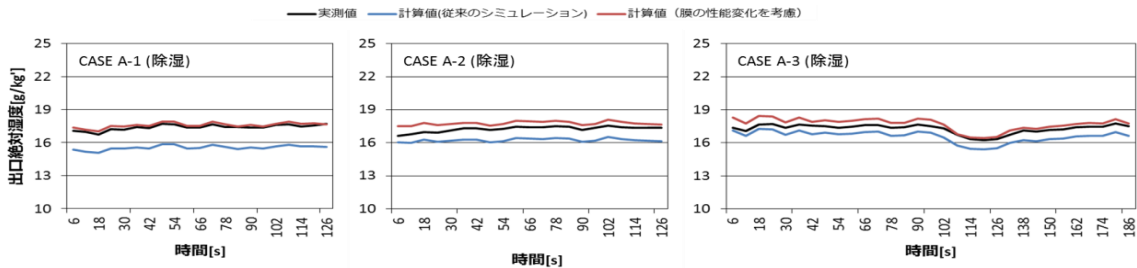


図 15 出口絶対湿度のシミュレーション結果(CASE A)

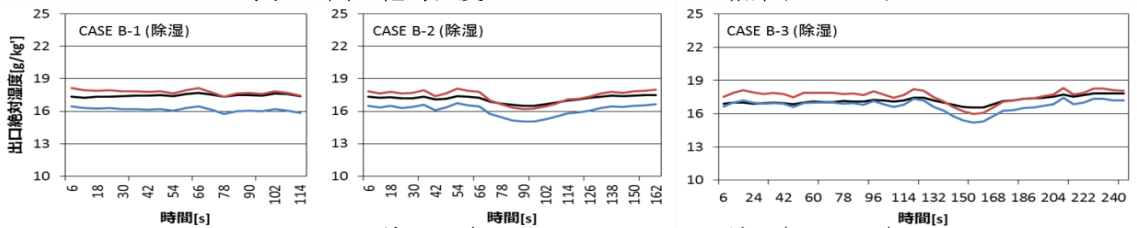


図 16 出口絶対湿度のシミュレーション結果(CASE B)

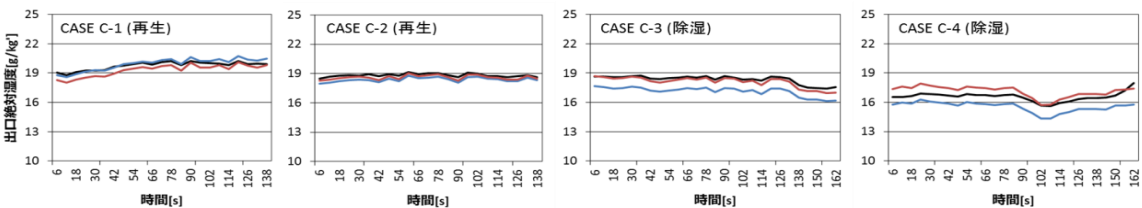


図 17 出口絶対湿度のシミュレーション結果(CASE C)

4.3 実験値から物質移動係数の定式化

以上の結果を踏まえながら本研究の目的であるシステム検討に実用上有効なシミュレーションを実現するために、実験から得られたデシカント液の状態による膜の水分透過性能の変化を考慮し、物質移動係数を式(3)のように定式化した。係数の決定には重回帰分析を用いた。

$$k_{tot} = |a_1 \cdot X + a_2 \cdot F + a_3 \cdot \theta + a_4| \quad \cdots \text{式(3)}$$

X: 濃度[%], F: 流量[L/h], θ : 液温[°C]

i	1	2	3	4
a_i	-0.00071	0.00043	-0.0015	0.089

式(3)による k_{tot} をシミュレーションに導入し、実験 CASE A~C のデータを用いてその精度を検証した。

4.4 シミュレーションの結果・考察

図 15~17 に CASE A~C における実測値と計算値の出口絶対湿度の比較を示す。グラフから従来のシミュレーションによる計算値より、膜の性能変化を考慮した方が実測値に近く、精度が向上した。このことはデシカント液の条件の変化に対して有効なシミュレーションが構築できたことを意味する。

5. まとめ

新しい調湿膜ユニットによる実験でデシカント液の状態が中空糸膜の透湿性能に与える影響を明らかにした。また、その影響を考慮することで従来より高精度なシミュレーションを行うことができた。これにより除湿・再生を含むトータルなシステムの詳細な検討が可能となる。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 15K14071 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 森谷晃士: 液体デシカントを用いた除湿空調用中空糸式調湿膜ユニットの研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, (2015-9), pp121~124
- 2) Li-Zhi Zhang, An analytical solution to heat and mass transfer in hollow fiber membrane contactors for liquid desiccant air dehumidification, Journal of Heat Transfer, vol133, 2011

B-17

建築設備設計における BIM 技術の応用

—中国での利用現状

○謝永杭（東北工業大学），許雷（東北工業大学），裴清清（広州大学）

Application of BIM Technology in Equipment Design

—The Status Quo of Application in China

Xie Yonghang, Xu Lei(Tohoku Institute of Technology), Pei Qingqing (Guangzhou University)

キーワード：BIM，設備設計，利用現状

1. はじめに

2002 年頃、オートデスク社は、中国に BIM (Building Information Modeling) 技術を紹介した¹⁾。2011 年 5 月に中国建設部より 2011-2015 年建設業情報化発展要綱が頒布された。建築プロジェクトにおける BIM 管理の実現を目指し、設計や施工段階における BIM 技術の応用が段々増えてきている²⁾。

2013 年に中国工程建設標準化建築情報モデル専門委員会（略称、中国 BIM 基準委員会）が設立され、BIM 知識の普及、基準の策定及びコンサルティングなどの役割を果たしている。

本論文では、中国広東省某設計研究院のインターシップの体験を踏まえ、建築設備設計における BIM 技術の応用現状を紹介していく。

2. 設備設計の現状

2.1 建築設計の流れ

建築プロジェクトは意匠設計を中心として進められている。一般的に、意匠設計者は AutoCAD を利用して、2D の図面を作成する。そして、構造設計者、設備設計者に図面を渡して、それぞれの図面が作成される。

2.2 設備設計計算の流れ

意匠設計からの 2D 図面に基づいて、設備設計の前段階である設備計算などを行う。まずは、建築外皮、レイアウトなどの情報を読み取る。そして、空調、給排水システムの負荷計算を行い、熱源機器、給排水設備の容量を計算し、ダクト、配管の抵抗を計算する。計算結果、設計者の経験により、AutoCAD を利用して、2D の設備設計図

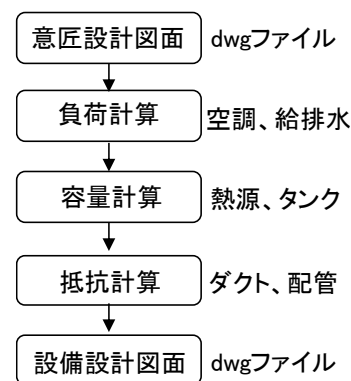


図 1 設備の設計計算

面を作成する（図 1）。

この段階では、主に設計者の経験値や手計算により行われている。一般事務の空調負荷を 140~175W/m²、会議室の負荷を 175-290W/m²として計算することが多い。

近年では、負荷計算、抵抗計算用専門ソフトが多くなっている。例えば、HDY-SMAD の空調負荷計算ソフト（上海華電信息技術会社）がある。建築図面から壁、窓など外皮の面積情報、断熱性能のデータなどを読み取り、在室者人数、照明、設備機器の情報を設定することにより、時刻別の空調負荷が計算できる。また、空調設備の容量を設定できる。

設備システムの計算、2D 図面が完成後、BIM 設計（主に 3D 図面の設計）が行われる。

3. 設備設計における BIM の応用

図 2 に示すように、2D の設備設計図面（主に dwg ファイル）に基づいて、BIM 技術を用いて、設備図面の 3D 化、干渉チェックを行う。

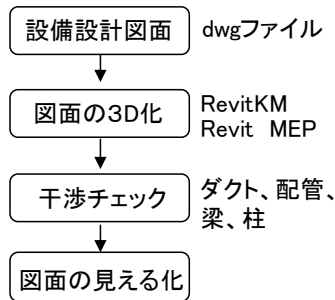


図2 設備のBIM設計

3.1 図面の3D化

2次元図面をインポートし、Revit MEPなどを利用して、建物全体のモデル（壁、窓、床、屋根、天井）を含め、空調設備・配管・ダクト、給排水・消防設備、電気設備などを設計する。

一部プロジェクトでは、RevitKM（北京 GLS BIM ソフトウェア社）を利用して、dwg ファイルから迅速的に建築モデルの3D化が実現できる。

3.2 干渉チェック

Revit MEPの干渉チェックツールを利用することにより、設備の配管、ダクトと梁、柱などの干渉チェックが自動的に行われる。ただし、配管、ダクトが多くなる箇所には、設計者がRevit MEPなどBIMソフトウェアの自動断面機能を利用して、断面における配管、ダクト、梁などの高さ、空間位置などが確認できる（図3）。

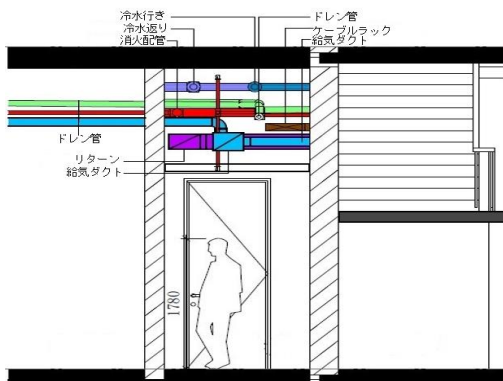


図3 断面の確認

干渉箇所が検出される場合、居室の天井高さを確認しながら、配管などの設置高さを調整する。干渉箇所の確認にはかなり手間がかかるのが現状である。

3.3 図面の見える化

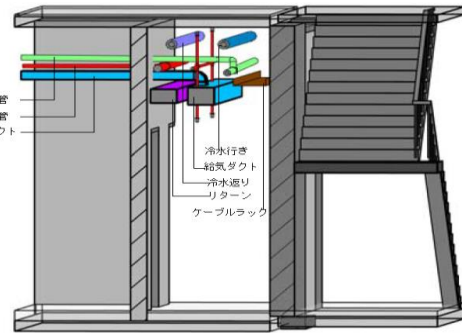


図4 設備図面の見える化

2Dの図面に比べ、建築空間、配管設備が3D化されるため、各専門の配管、ダクト及びスリーブなどが非常に分かりやすくなっている（図4）。廊下、隅角部、階段など分岐が多い箇所における図面の見える化が簡単に実現されるため、専門家ではなく、素人でも理解しやすくなっている。

4 まとめ

インターシップの体験を踏まえて、中国の建築設備設計におけるBIMの応用現状をまとめてきた。近年、中国政府や行政の指導に基づいて、BIMプロジェクトが増えている。設備設計者は意匠設計者の2D図面を参照し、空調負荷、設備容量などを計算し、2次元の設備図面を作成する。

また、BIMソフトウェアRevit MEPを利用して、設備図面の3D化を行い、断面確認、干渉チェックなどに多く利用されている。図面の見える化が簡単に実現されるため、専門家ではなく、素人でも理解しやすくなっている。

一方、設備設計の初期段階では、建築情報の再入力、空調負荷、ダクト、配管などの抵抗計算にはかなり多くの時間と労力が費やされている。設備設計と意匠設計、構造設計の連携がやや遅れていると感じる。BIM技術の特徴はデータ連携であるため、設計の初期段階から、設備、意匠、構造のデータ連携が重要であり、設計品質の向上、施工管理の円滑化に寄与できると考えられる。

参考文献

- 1) 盧婉政：建築設計におけるBIM技術の応用、天津大学修士学位論文、2013年
- 2) 馬智亮：現代中国の建設分野における情報化の進展、http://www.jacic.or.jp/acit/Advanced_china.pdf（参照日 2017年1月30日）

B-18

BIM 技術を活用した学校の防災教育に関する研究

○相澤 拓弥, 許 雷 (東北工業大学)

Study on Disaster Prevention Education in schools Using BIM Technology

Aizawa Takumi, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：防災教育, 避難シミュレーション

1. はじめに

日本は、数年おきに大地震が起き建築物は大きな被害を受けている。2011 年の東日本大震災では、最大震度 7 を観測し日本の観測史上最大規模の地震であった。学校施設の被害は東日本の広範に渡り公立学校では 6250 校も柱や壁の崩壊、天井部材や照明器具の落下等で物的被害を受けている¹⁾。学校では建物内で被災した場合を想定し、防災教育の一部として避難訓練を実施している。しかし、避難訓練は先生が生徒を安全に誘導させるのが最優先であり、生徒が避難訓練にマンネリ化を感じ始める。

そこで、研究室で開発したソフトウェアである VisualFDS+Evac で、避難シミュレーションを行い、避難ルートの違いで避難時間にどのくらいの時間が生じるかを検証し、smokeview で避難行動の可視化を図り、防災教育に生かせるように研究する²⁾。

2. ヒアリング調査

本研究では、学校の防災教育の現状を知るために仙台市の某高等学校を対象に防災教育の現状についてヒアリング調査を行った。図-1 は、1 号館の西側階段をさける避難経路である。西側階段を使えないことを想定し、東側階段だけ使用して避難している。2 つの階段を使用しないで、避難しているため避難時間の遅れ、避難者の滞留が予測される。緊急時には、正しい避難経路を選択することにより自らの安全を確保しなければいけない。

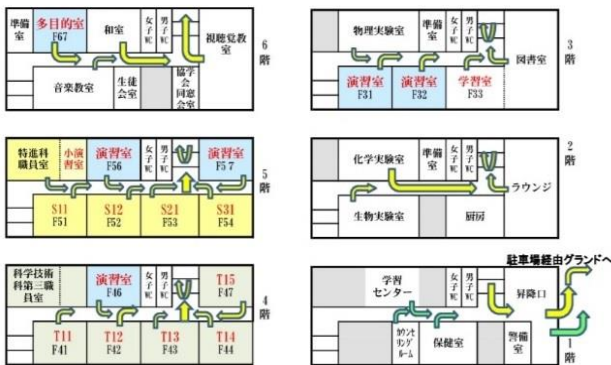


図-1 1 号館避難経路

3. モデルの作成及び設定条件

仙台市の某高等学校 1 号館のモデルを ArchiCAD で作成した。例として 1 階のみ図-2 に表示している。6 階建ての建物であり、出口は 1 階東側の昇降口となっている。表-1 は、各教室の人数設定で、用途に合わせて各教室に人数を設定した。全人数は 430 人である。表-2 が避難経路設定で、ヒアリング調査の結果避難経路が 3 つあったので、それに西側階段だけ利用する経路を加えた 4 つの避難経路を比較検証していく。なお、避難者は「Adult」にしているため FDS のデフォルト設定で歩行速度は、 $1.25 \pm 0.3m/s$ とする。

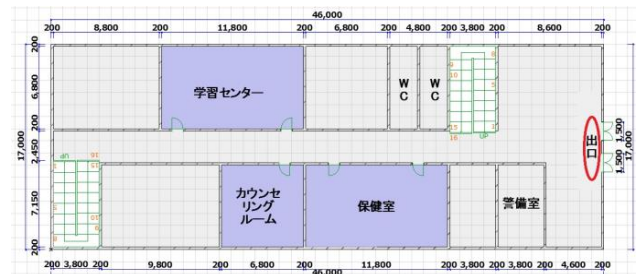


図-2 1 階平面図

表-1 各教室の人数設定

場所	人数	場所	人数	場所	人数
6 階	60 人	5 階	120 人	4 階	150 人
音楽教室	30 人	S11 教室	30 人	T11 教室	30 人
視聴覚教室	30 人	S12 教室	30 人	T12 教室	30 人
		S21 教室	30 人	T13 教室	30 人
		S31 教室	30 人	T14 教室	30 人
3 階	30 人	2 階	65 人	T15 教室	30 人
物理実験室	30 人	化学実験室	30 人	1 階	5 人
		生物実験室	30 人	学習センター	4 人
		ラウンジ	5 人	保健室	1 人

表-2 ルート設定

経路	内容
ルート 1	西側階段だけ利用する経路
ルート 2	東側階段だけ利用する経路
ルート 3	両方の階段を利用する経路
ルート 4	偶数階は東側階段, 奇数階は西側階段を利用する経路

4. 避難シミュレーション

4.1 一斉避難時の全館避難時間比較検証

4つの避難経路を設定したので、それぞれの避難経路で避難シミュレーションを行い、全館避難時間の比較検証をする。図-3に一斉避難時の全館避難時間を示している。

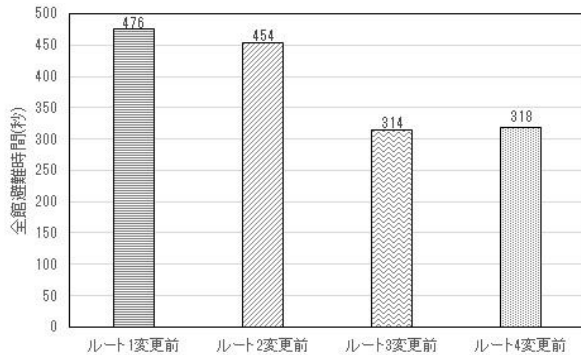


図-3 一斉避難時の全館避難時間（変更前）

ルート1とルート2を比較してみると、ルート1は全館避難時間476秒に対して、ルート2は全館避難時間454秒であった。出口が東側なので、ルート2がルート1より全館避難時間が22秒早いことが分かった。

次にルート3とルート4を比較してみると、大きな時間差は見られないがルート3は全館避難時間314秒に対してルート4は全館避難時間318秒であった。ルート3の方がルート4より全館避難時間4秒早いことが分かった。階ごとに利用する階段を変更しても避難時間に大きく差がでないことが分かった。

最後に1番遅かったルート1と1番早かったルート3を比較してみると大きな時間差が見られた。ルート1は全館避難時間476秒に対してルート3は全館避難時間314秒であった。ルート1の方がルート3より全館避難時間162秒、約3分早いことが分かった。

図-4に避難開始60秒後の西側階段の様子を示している。階段付近で滞留してしまった為、6階の避難者が約2分進めなくなってしまう、全館避難時間に大幅な時間差が生じてしまった。

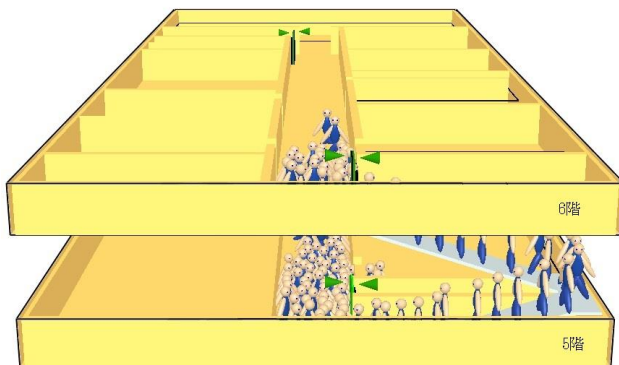


図-4 ルート1 避難開始60秒後の西側階段の様子

2017.3.14 (東北学院大学 多賀城キャンパス)

4.2 上から順次避難時の全館避難時間比較検証

実際の避難訓練同様に上の階から順次避難させた。また、ルート4は偶数階と奇数階で利用する階段が違うので6階と5階を最初に避難させ、階段付近に避難者が少なくなったら次の階を避難させ検証する。図-5に上から順次避難時の全館避難時間を示している。

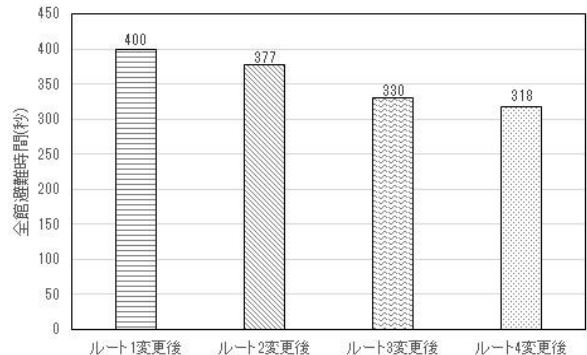


図-5 上から順次避難時の全館避難時間（変更後）

片方の階段が利用できないため、滞留してしまったルート1とルート2では変更前に比べて77秒短縮することができた。全避難者が一斉避難するより上の階から順次避難させ、階段付近の滞留を避けた方が、約1分半全館避難時間が早いことが分かった。

5. 結論

本研究では、研究室で開発したソフトウェアであるVisualFDS+Evacを使用し避難経路の違いでどのくらいの時間が生じるのかを検証してきた。全避難者同時に避難させると階段付近で避難者が滞留してしまい、6階の避難者が約2分進めなくなってしまう。ルート1とルート3で約3分近く差が生じた。実際の避難訓練同様に上の階から順次避難させたらルート1とルート2で約1分半短縮することができた。

防災教育への活用方法は、避難訓練前に避難シミュレーションを行うことで時間の目安や避難経路の3Dでの可視化ができるので分かりやすくなる。また、階ごとに出口までの避難時間が分かるので、実際の避難訓練の時間と比べることで遅れたクラスが分かり、学生への注意を促すことができる。研究室で開発したソフトVisualFDS+Evacを防災教育に用いることで防災に対する意識を高めることができる。

参考文献

- 1) 文部科学省:東日本大震災における学校施設の被害状況等,(2011-6),pp5~8
- 2) 菊地諒:避難シミュレーションによるFDSの活用性,東北工業大学工学部建築学科卒業論文,(2012-1),pp4~8

B-19

高齢者施設における避難シミュレーションに関する研究

○車塚 亜美 (東北工業大学), 許 雷 (東北工業大学)

Study on Evacuation Simulation in Elderly Facilities

Kurumadsuka Ami(Tohoku Institute of Technology), Xu Lei(Tohoku Institute of Technology)

キーワード：避難解析, 避難安全検証, 避難時間, 火災

はじめに

高齢者施設での火災は死傷者を出しやすい。その原因としては、自立歩行のできない入居者や寝たきりの入居者の避難に対する計画の弱さ、職員の施設内部の防災設備の認知の薄さ、職員の人手不足などが挙げられる。そこで、避難安全検証法と研究室で開発したソフトウェアであるvisualFDS+Evac(以下 FDS とする)での検証との避難時間の比較を行い、モデルケースを条件の変更を加えながらシミュレーションを行い、安全かつ迅速に避難できるような計画を高齢者の方に分かりやすく示すための研究を行っていく。

1. 避難安全検証法と FDS の計算結果の比較

1.1 モデルケースの設定

本研究では、必要最低限の室と入居者の居室で、独自の中廊下型の施設のモデルを作成した。その平面図は図-1、2 の通りである。居室は全個室で入居者数は 24 人、2 階建てで出口は玄関のみである。避難安全検証法では、歩行速度は高齢者を想定して 0.8m/s とした。FDS での検証も 0.8m/s のもので行う。今回計算する室は、食堂・談話室、廊下、居室とする。



図-1 1階平面図

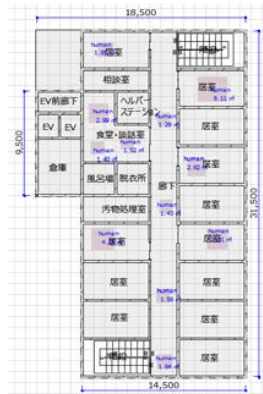


図-2 2階平面図

1.2 比較検証の結果

図-3 は階避難時間及び全館避難時間の比較のグラフである。階避難時間と全館避難時間は、約 7 秒とわずかな差しかない。この検証より、FDS での避難シミュレーションは、階避難時間、全館避難時間においては有効性があるといえる。

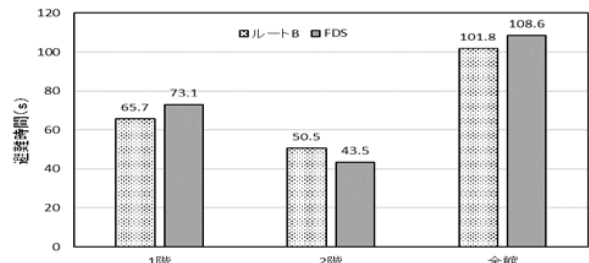


図-3 階避難時間及び全館避難時間の比較

2. 条件変更による避難時間の比較

ここで用いるモデルは、1. で作成したモデルケースの、歩行速度を「Adult」に変えたものを基準としている。

2.1 人の歩行速度を変えた場合

ここでは、FDS のデフォルトの歩行速度である「Adult」「Elderly」で検証したもの、そして歩行速度の設定を「0.8m/s」に変えて検証したものの、計 3 種類の速度の比較を行った。その比較したグラフを図-4 に表す。

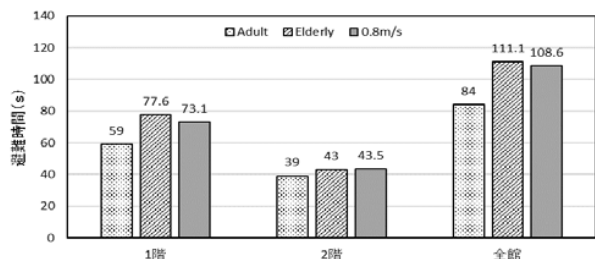


図-4 歩行速度を変えた場合の避難時間の比較

「Adult」は FDS での歩行速度の設定が 1.55m/s～0.95m/s なので、最も避難時間が短くなる。「Elderly」だと設定が 1.1m/s～0.5m/s なので、館内の全ての人々が速度 0.8m/s で避難している「0.8m/s」の数値の方が、「Elderly」よりも避難時間が早くなったと推測できる。

2.2 1方向避難の場合と2方向避難の場合

ここでは、もう一つ非常口を追加し、地上階への出口が2箇所にある場合の避難時間の違いについて見ていく。それぞれの避難時間を比較したグラフを、図-6 に表す。

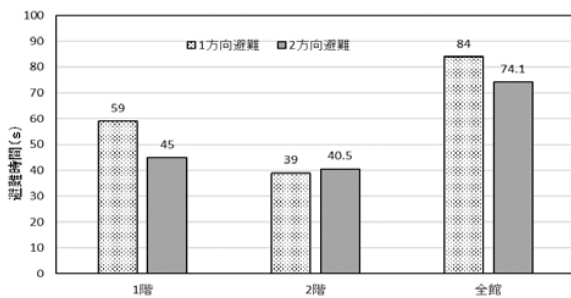


図-6 1方向避難と2方向避難の避難時間の比較

2階からの階避難時間はあまり変わらないが、地上階への出口を増やした1階の階避難時間と全館避難時間は2方向避難の方が早くなったのが、図-6より分かる。しかし、1階の階避難時間が14秒も短縮されたにもかかわらず、全館避難時間は9.9秒しか短縮できなかった。この約5秒の差は、2階からの避難者が全員非常口の方へ逃げたので、避難経路が分散されず、避難時間の大幅な短縮には繋がらなかったことが原因と言える。

3. 火災を想定した避難シミュレーション

高齢者施設において火災を発生させ、避難の様子を検証した。火災が発生したモデルの様子を図-7に表す。また、条件は次の通りである。

- ・1方向避難で廊下の幅などは基本のモデル通り
- ・入居者 (Elderly) は全員居室にいる
- ・職員 (Adult) がヘルパーステーションに各階3名ずつ
- ・1階事務室には事務員 (Adult) が4名
- ・2階食堂・談話室から出火

66秒の時点で煙が2階廊下の天井から床までを覆った。1階の階避難時間は71.5秒で、2階

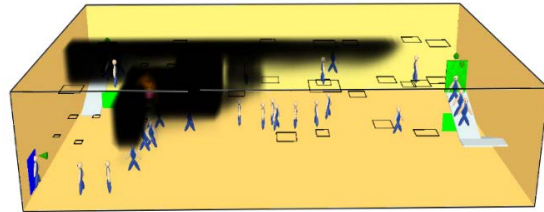


図-7 モデルケースの火災避難の様子

も煙にまかれ動けなくなった1人を除いては63秒で階避難を終えた。1人を除いた全館避難時間は115秒となった。動けなくなった1人は、両側にある階段のどちら側からも遠いちょうど中央付近の部屋にいた入居者で、幾らか近い方の階段に逃げようとしたが、その道に火元となった部屋があったため、煙に巻かれてしまった。FDSではまだ火元を認識して危険の無いほうへ逃げることはできない。更にFDSの研究が進み、危険を認識して回避できるようになると、FDSの有効性は更に高まるだろう。

4. 結論

本研究では、避難安全検証法では何回も計算しなければならぬ条件の変更でも、FDSを使えば早くシミュレーションを行うことができ、設計や避難計画に生かせるということが確認できた。また、FDSでの避難の見える化は建築の知識のない人や高齢者、子供にも、避難経路や火災の危険を伝えるために、大変有効である。FDSはまだよく知られていないが、実測を取ることの難しい大型複合施設や病院などでもシミュレーションが可能のため、一般的に避難計画で用いられるよう研究が進むことを期待する。

参考文献

- 1) 防災研究会 AFRI: 建築防災計画の考え方・まとめ方, オーム社, 2006.1
- 2) 株式会社建築工房グエル: 避難安全検証法に関する法律・条例 告示編, archguell.co.jp/hinan/index.html.2016.12
- 3) Timo Korhonen, VTT: VTT Technical Research Centre of Finland, Fire Dynamics Simulator with Evacuation: FDS+Evac, Technical Reference and User's Guide(FDS 6.1.2, Evac 2.5.0, DRAFT) 2015.2
- 4) 石川泰斗: 家具の影響を考慮した避難シミュレーションに関する研究, 東北工業大学工学部建築学科卒業論文, 2013.1

B-20

原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する研究 その1 汚染土壌からの放射線が周辺建築環境に及ぼす影響について

○本多 祥平(東北大), 野崎 淳夫(東北文化学園大), 小林 光(東北大), 一條 佑介(東北文化学園大), 土屋 貴寛(東北文化学園大), 山守 諒(東北大), 吉野 博(東北大)

Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space after Nuclear Power Plant Accident : Part 1 Affects of Radiation on Surrounding Building Environment from Cesium-Contaminated Soil

Shohei Honta (Tohoku University), Atsuo Nozaki(Tohoku Bunka Gakuen University), Hikaru Kobayashi (Tohoku University), Yusuke Ichijo (Tohoku Bunka Gakuen University), Takahiro Tsuchiya (Tohoku Bunka Gakuen University), Ryo Yamamori (Tohoku University), Hiroshi Yoshino (Tohoku University)

キーワード：原発事故，セシウム，土壌汚染

はじめに

福島第一原子力発電所の事故（以下、原発事故）による放射能汚染の影響を把握するために、これまで多くの調査・研究が行われてきたが、建築空間内と屋外の関係性を明確にした報告や分析的に評価した資料は少ない。被災地域では、宅地周囲の汚染状況に加え、土地利用や地形特性の違いが建築空間内の放射線量率分布に影響を及ぼす可能性がある¹⁾。また、建築物を構成する建材によっても建築空間内の放射線量率分布は異なってくる。被災地域で建築計画を行う場合には、建物周囲の汚染状況を明らかにし、これに応じた建築的配慮による放射線防護等の対策が期待される。

本研究では、原発事故由来の放射能汚染が建築空間の放射線空間線量率に与える影響のメカニズムを明らかにすること及び、空間内放射線量率を予測する手法を確立することを目的とする。筆者らは、これまでも、住宅を対象として屋内・外の放射線量率の測定等を行ってきたが²⁾、本報では、土壌汚染状況と周辺建築環境に及ぼす影響をより詳細に把握することを目的とし、福島県郡山市の逢瀬川堤防の法面と河川沿いのRC建築を対象に行った実測について報告する。

1. 調査の目的

放射能汚染が周辺建築環境に及ぼす影響について明らかにすることを目的として、未除染の河川堤防の法面及び、その周辺の調査を行った。河川は、公園など一般公衆の活動が多い生活圏に該当する場合等を除き、基本的には除染の対象となっていない³⁾。

2. 調査概要

福島県郡山市の逢瀬川堤防の法面（以下、屋外）と逢瀬川沿いに位置する三階建てのRC建築（以下、屋内）を対象にガンマ線空間線量率及び土壌の放射能濃度を測定した（図-1、図-2）。

空間線量率は、NaI (Tl) シンチレーション式サーベイメータ（日立アロカメディカル：TCS-172B）、NaI (Tl) スペクトロメータ（EMF：EMF211）により測定しガンマ線空間線量率（Sv/h）及びスペクトルを得た。土壌の放射能濃度は、Ge 半導体検出器（オルテック：GEM20-70）により分析した。土壌サンプルは、測定箇所毎に1 m 四方の5点（対角線上4点とその交点1点）で、地表から5～10 cmの深さを採取し、深さ毎に十分に混合した。

調査は、2016年12月8日～11日の期間に実施した。

3. 調査結果と考察

3.1 屋外の空間線量率および土壌の放射能濃度

河川区域内の法肩からの斜面距離と測定高さ別の空間線量率および土壌の放射能濃度について、それぞれ図-3、図-4に示す。(1) 河川区域内の空間線量率は、いずれの地点においても国が示す除染基準の0.23 $\mu\text{Sv/h}$ を上回った。尚、河川区域外では0.16 $\mu\text{Sv/h}$ 程度であった。また、測定位置により線量分布が異なり、それぞれの位置の特性によりかなりばらつきがあることが推察される。(2) 土壌の放射能濃度も同様に測定位置で異なる汚染傾向を示している。右岸A法肩付近は、雨の効果によって川裏から汚染物質が流れ込み、特異点に

なっている可能性がある。また、右岸 A で深度別に採取した結果より、放射能は表層 5 cm に 70～80 %、5～10 cm に全体の 20～30 %が含まれており、表層 5 cm よりさらに地中へ拡散していることを確認した。

3.2 屋内の空間線量率およびγ線スペクトル

測定点 A の高さ別ガンマ線スペクトルを図-5 に示す。測定点 A は RC の手すりを備えたバルコニーになっており、河川を望む FL+1,100 mm では Cs 137 の全吸収ピーク (662 keV) が確認されるが、FL+650 mm では、コンクリートの手すりによる遮へい、散乱効果により、Cs 137 のカウント数が減少している。また、住宅内の空間線量率は 0.08～0.1 μSv/h である。スペクトル計測を行うことにより、線量率計測のみでは判断しにくい原発事故由来の影響を確認できた。

4. おわりに

今回は未除染の河川堤防および河川沿いの RC 建築を対象に汚染状況について調査を行った。河川区域内の空間線量率が国の除染基準以上であることを確認した。また、ガンマ線スペクトルを計測することにより、原発事故由来の放射能汚染を確認することができた。周辺の汚染状況の違いが建築空間内線量率分布に与える影響を明らかにするためには、ガンマ線の到来方向を計測可能な放射線測定手法が求められる。現在検討している放射線測定手法については次報 (その 2) で報告する。

謝辞

本研究の一部は JSPS 科研費 16H04459 の助成を受けたものです。また、本研究を行うに当たり、暮らしの科学研究所には多大なるご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 糸長浩司・關正貴・暖水勝規: 原発事故放射能被害農村・飯館村内の住宅内の放射能汚染状況と対策, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2014-9), pp.43-44
- 2) 小林光・野崎淳夫・二科妃里ほか: 福島における木造住宅の空間放射線量率に関する調査研究, 日本臨床環境医学会学術集会, (2016-6), p.50
- 3) 環境省: 除染関係ガイドライン第 2 編除染等の措置に係るガイドライン, 平成 25 年 5 月第 2 版, pp.2-140～2-143

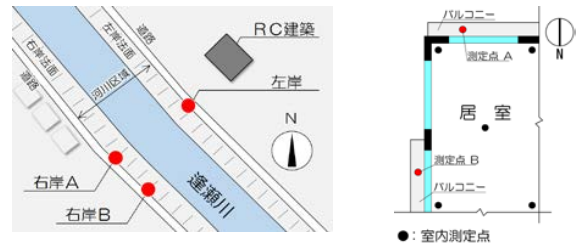


図-1 左: 河川と建築の位置関係
右: 概略平面図 (3 F) および測定点

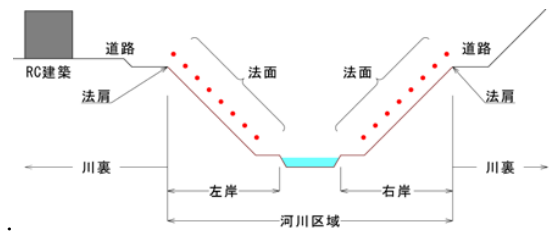


図-2 河川堤防模式図 (●: 測定点)

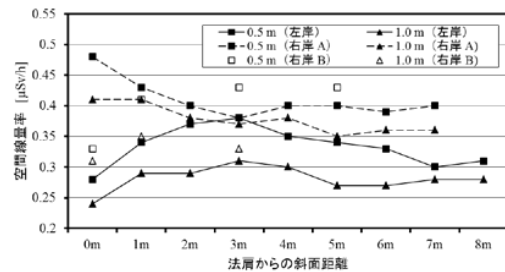


図-3 法肩からの斜面距離と空間線量率

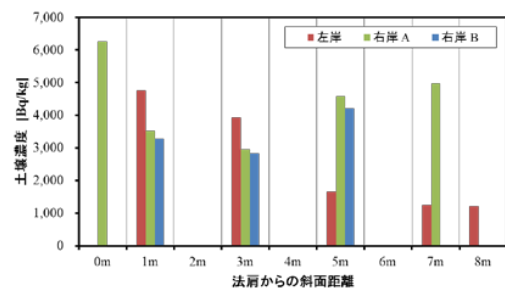


図-4 法肩からの斜面距離と土壌濃度

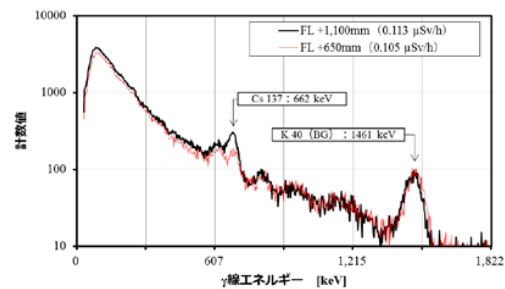


図-5 測定点 A におけるガンマ線スペクトル

B-21

原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する研究 その2 放射線解析を用いた方向線量率の測定手法の検討

○山守諒(東北大),小林光(東北大),本多祥平(東北大),吉野博(東北大),
野崎淳夫(東北文化学園大),一條祐介(東北文化学園大),吉田浩子(東北大)

Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space
after Nuclear Power Plant Accident : Part 2

Study on Measurement Method of Direction Radiation Dose Rate with Computational Analysis

Ryo Yamamori (Tohoku University), Hikaru Kobayashi (Tohoku University), Shohei Honta
(Tohoku University), Hiroshi Yoshino (Tohoku University), Atsuo Nozaki (Tohoku Bunka
Gakuen University), Yusuke Ichijo (Tohoku Bunka Gakuen University),
Hiroko Yoshida (Tohoku University)

キーワード：原発事故 方向線量 放射線解析

はじめに

本研究は原発事故による放射能汚染が建築内の放射線量率に与える影響のメカニズムの解明、及び建築空間内の放射線量率の予測手法の確立を目的とし、その達成には方向線量率及びエネルギースペクトル計測といった、分析的な測定が必要となる。シンチレータ等による方向線量率測定には鉛遮蔽体を用いるが、その際の計測範囲(視野角)は使用する遮蔽体とシンチレータの形状により異なり、目的に応じて適切な組み合わせが必要である。また十分な遮蔽性能を備える遮蔽体は重く、実測時の取り回しが難しくなる。筆者らは直径 3 inch のシンチレータを備えた計測器(EMF211)を採用しており、つぼ型の遮蔽体(図-1)は重量面で実用困難となる。そこで測定精度及び実測時の取り回しを考慮した遮蔽器具を検討を行っており、本報で報告する。

1. 方向線量率の測定手法について

方向線量率測定の多くは特定方向以外全て鉛で覆うことで特定方向のみから到達する γ 線による線量率の測定(以下、コリメート法/図-1)を行っているが、筆者らは鏡測りによる、計測面前に鉛遮蔽板を設



図-1 遮蔽体(コリメート法)



図-2 測定イメージ(差引法)

置・非設置した際の差を線量率とする測定手法¹⁾(以下、差引法/図-2, 3)を採用した。本手法は、1)遮蔽体の質量削減、2)測定時間短縮をその特長とする。

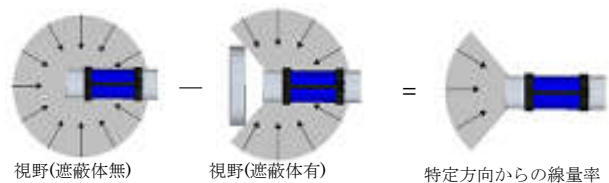


図-3 差引法概念

2. 遮蔽体の検討

2.1 検討の方向性

筆者らは (1)実測時の取り回し 及び(2)測定精度の観点で検討を行った。

(1) 測定時の取り回し条件 実測経験より、①遮蔽板を含む計測器重量:最大 20kg(EMF211:3.4kg)、②同測定器総長:50cm 以下(EMF211:総長 32cm)を基準とした。これは検出器設置の容易さ及び三脚搭載時の安定性に基づく。

(2) 測定条件 等価視野角^{注1)}90°を条件とする。測定目的と時間を考慮し、1測定点あたり4方向が妥当と考え、等価視野角を90°とした。

以上を基準に、放射線挙動解析コード PHITS ver.2.85²⁾を用いて適切な遮蔽板を検討した。

2.2 放射線解析による検討

(1) 解析条件 PHITS において、図-4 のようにジオメトリを設定した。本解析では円柱の遮蔽板(5cm 厚)を想定した。

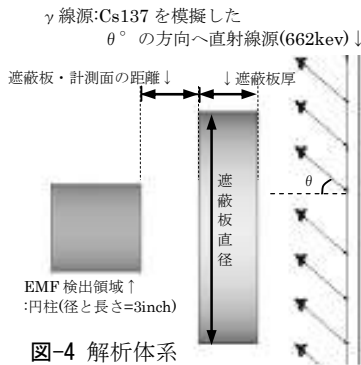


図-4 解析体系

(2) 検討ケース 視野角は 1)遮蔽板の径、2)計測面・遮蔽板間距離と相関すると考え直径 15,20,25cm、距離 1,3,5,7cm の計 12 種について Cs137 によるγ線の到来方向を $\theta = -90 \sim 90^\circ$ について 10° 毎に解析した(全 120 ケース)。

2.3 解析結果

(1) 距離、径と視野角の相関 径のみ変えた場合(距離 3cm/図-5)、距離のみ変えた場合(直径 20cm/図-6)の配向図を示す。径が大きく、距離が近いほど視野角が大きい。

(2) 同等の等価視角度での比較 90° 付近の等価視野角を持つ組み合わせを比較した(図-7)。エッジのぼやけをここではボケ値^{注2)}と称し、なるべくこれが小さくなる組み合わせは直径 25cm、距離 7cm である。同等視野角ならば遮蔽板の径が大きいほど高精度となる。

(3) 遮蔽板の選定 直径 25cm(5cm 厚)の遮蔽板は 27.8kg となる(鉛密度=11.34g/cm³)。ゆえに取り回しを考えると、17.8kg の直径 20cm の遮蔽板がより適切と言える。さらに厚さ 2,3,4,5cm(直径 20cm、距離 5cm)での結果(図-8)から厚さ 4cm と 5cm の遮蔽板の精度はほぼ同等とわかる。これより実測時の取り回しと測定精度を踏まえれば、14.2kg の 4cm 厚の遮蔽板が好適と考えられる。

おわりに

測定精度及び実測時の取り回しを考慮した遮蔽器具を解析で検討した。今後は遮蔽板の形状にも注目し、更なる改良を進めていきたい。

参考文献

- 1) 鏡淵英紀ら:空間線量率表示方法,空間線量率測定方法,及び指向性放射線検出器,特開 2015-148590
- 2) T. Sato et al : Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013)

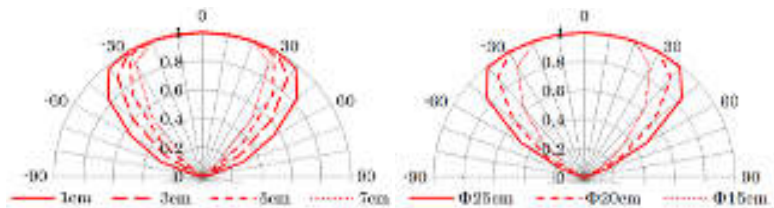


図-5 直径 20cm での配向図 (相対レスポンス^{注3)}と角度の関係)

図-6 距離 3cm での配向図 (相対レスポンスと角度の関係)

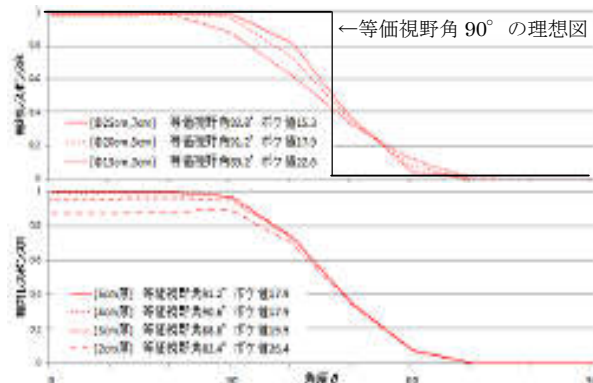


図-7(上) 等価視野角 90° となる遮蔽板の配向図 ($0 \sim 90^\circ$)

図-8(下) 遮蔽板厚の別配向図 ($0 \sim 90^\circ$ / $\Phi 20$ cm、距離 5cm)

注釈

注 1) 相対レスポンス $R(\theta) = 0,1$ とした仮想視野角。実視野角の分布面積(R, θ 積分値)と等しい等価視野角を、その実視野角の等価視野角と定義(図-9)。

注 2) 視野角境界のぼやけの大きさ。ボケ値 0 で等価視野角と実視野角の形状が等しくなるが、遮蔽体の外周付近等、完全遮蔽されない部分が必ず出ため現実には存在しない。ボケ値が小さいほど測定精度は高い。ボケ値は図-9 灰色の面積と定義。

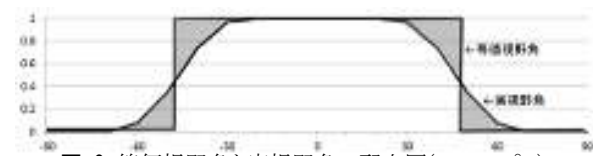


図-9 等価視野角と実視野角の配向図 ($-90 \sim 90^\circ$)



図-10 左はボケ値が大きい状態の視野
図-10 右はボケ値 0 の理想的な視野

図-10 ボケ値について

3) 角度 θ に対する相対レスポンスを以下に定義

$$\text{相対レスポンス } R(\theta) = \frac{\text{線量率(遮蔽無)} D_1(\theta) - \text{線量率(遮蔽有)} D_2(\theta)}{\text{線量率(遮蔽無)} D_1(\theta)}$$

謝辞

本研究は JSPS 科研費 16H04459 の助成を受けて実施しています。ここに記して謝意を表します。

SHASE 100 周年イベント

空衛学会東北支部地区講演会・空衛学会東北支部第6回学術・技術報告会特別セッション

「東北地方におけるスマート設備システムへの期待」

日 時：平成29年3月14日（火）15:30～17:00

場 所：東北学院大学多賀城キャンパス 工学基礎教育センター

(<http://www.tohoku-gakuin.ac.jp/campusmap/tagajo.html>)

※アクセス JR 仙石線「多賀城駅」から徒歩約7分 JR 東北本線「国府多賀城駅」から徒歩約15分。

参加費：無料

将来的な人口減少を見越してのコンパクト・シティや、新たな地域基盤を期待してのスマート・コミュニティ形成が、東日本震災後に各地で試行されています。特に後者は ICT・IoT といった先端技術の社会実装に他なりません。その目的、適用、実態、将来像等々、必ずしも詳らかでない印象があります。本シンポジウムは、スマート・コミュニティの実践に取り組んでおられる方々にその取り組みや考えを解説いただき、設備システムのスマート化に技術者が果たすべき役割や、スマート化がもたらす東北の未来等々を多面的に議論することで、東北地方におけるスマート・コミュニティに関わる今後の課題と対処の方向性、そしてその意義を共有する場とするものです。関係諸兄姉の活発な議論を期待します。当日は同会場で第6回学術・技術報告会も開催されていますので併せてご参加くださいますようお願い申し上げます。

プログラム (司会 松木石二 (事業委員会))

15:30 1. 開会挨拶 小林光 (学術・技術報告会組織委員長・東北大学)

15:35 2. 主旨説明 渡邊浩文 (事業委員会幹事・東北工業大学)

15:40 3. 主題解説

15:40 1) 「諸外国の取り組み」菅健太郎 (Arup 東京事務所)

15:55 2) 「『エコ』と『防災』～東松島市の復興まちづくり～」石垣亨 (東松島市復興政策部)

16:10 3) 「東北地方におけるスマート設備システムへの期待—地域の未来・設備・技術者—」
内海康雄 (東北支部長・仙台高等専門学校)

16:25 4. ディスカッション

コーディネーター：渡邊浩文 (前掲)

パネリスト：石垣亨 (前掲), 菅健太郎 (前掲), 内海康雄 (前掲) ほか

16:55 5. 閉会挨拶 赤井仁志 (副支部長・福島大学/北海道大学)

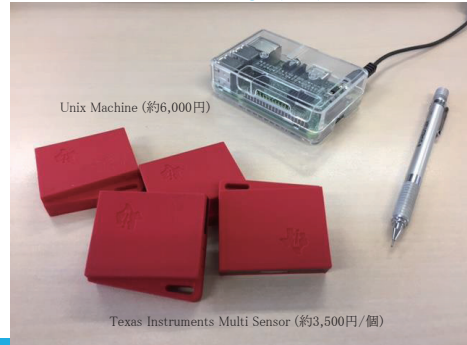
※申し込み不要。受付をして会場へお入りください。

東北地方におけるスマート設備システムへの期待
諸外国の取り組み

菅 健太郎
Arup 環境設備リーダー、東京オフィス

ARUP

背景 1 Internet of Things (IoT)



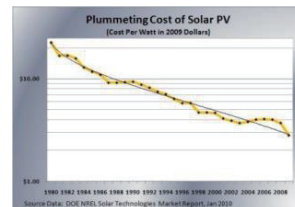
ARUP

背景 2 自然エネルギー普及のスピード



ARUP

太陽光発電におけるムーアの法則

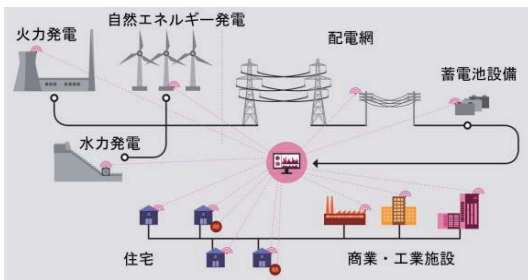


「2030年には太陽光発電の発電単価は石炭発電の半になる」
Ramez Naam, Computer Scientist and Entrepreneur

<https://blogs.scientificamerican.com/guest-blog/smaller-cheaper-faster-does-moores-law-apply-to-solar-cells/>

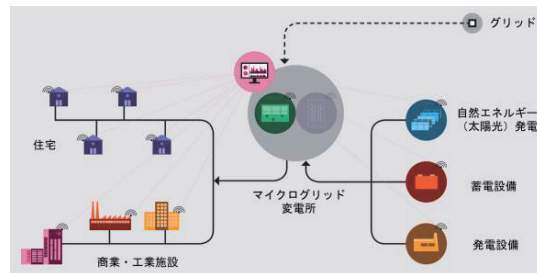
ARUP

スマートグリッド



ARUP

マイクログリッド

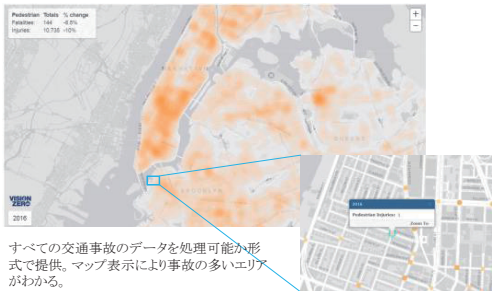


建物側の設計でローカルグリッドの情報をより把握して設計する必要がある

ARUP

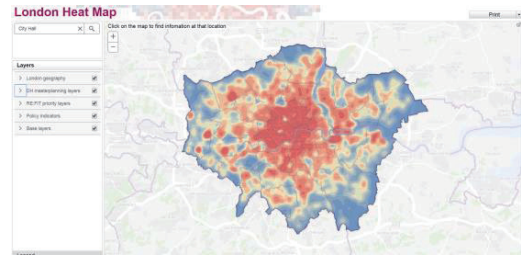
背景3 都市のデータ化

ニューヨーク 街の情報のインフォマティクス化



ARUP

ロンドン ヒートマップ

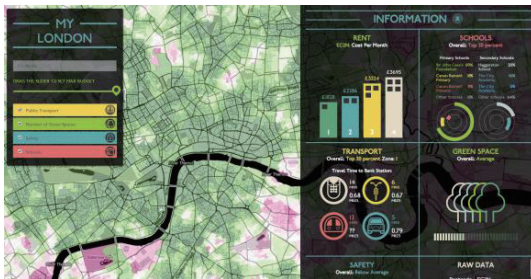


ロンドンのエネルギー使用量、CO2排出量などのデータをマップ上に示し、地域冷暖房計画などに活用

<https://maps.london.gov.uk/webmaps/heatmap/>

ARUP

My London



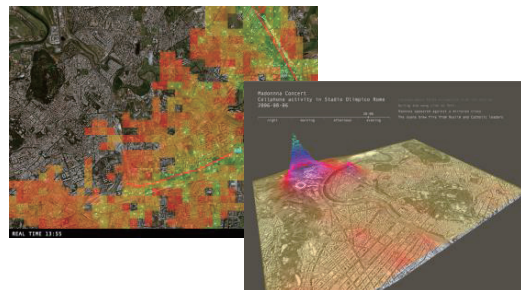
ロンドン市内の統計を統合したアプリを公開。住居を探す人のために情報を提供。

<https://data.london.gov.uk/mylondon/>

ARUP

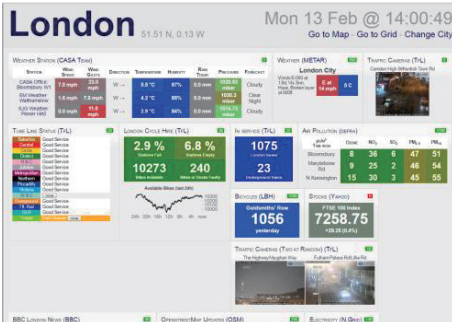
リアルタイムデータ

Realtime Rome Project by MIT Media Lab.



ARUP

ロンドン 街のダッシュボード



ARUP

メルボルン 歩行者の数をカウント



街の中に設置された人数カウンターによるデータをリアルタイムで表示

<http://www.pedestrian.melbourne.vic.gov.au/#>

ARUP

建築設備への応用に向けて

- 現在までの試みでは、スマートグリッド、交通情報など単独の情報扱ったものが多い
- 建築から情報を上流にあげるものが多く、逆がない
- 限られた専門家だけが関わっている



情報のオープン化を進め、様々な専門家が自由にデータを活用できる環境を構築することが必要

ARUP

<デンマークでの調査プロジェクトより>






数あるスマートシティプロジェクトが、パイロットプロジェクトで終わってしまう理由:

- 縦割りの部門障壁により限られたデータのみアクセス可能
- 行政のコミットに自信が持てず、民間の投資リスクが高い
- 情報処理のスキルを持った専門家が少ない
- 個人情報の扱いなどの問題
- データの互換性の問題

Arup Report: "Growing Smart Cities in Denmark"より

ARUP

スマートシティを実現するための5つの条件

-  行政の能力
-  明確な戦略の確立
-  高度な情報教育
-  デジタルリテラシーの向上
-  データの公開方法の確立

Arup Report: "Growing Smart Cities in Denmark"より

ARUP

HigashiMatsushima City

あの日を忘れず ともに未来へ 東松島一心 2017.13.14 東松島市復興政策部

「エコ」と「防災」～東松島の復興まちづくり～

HigashiMatsushima City

東松島市の概要

【位置と気候】
東松島市は宮城県のほぼ中央にあり石巻市、牡鹿町に隣接しています。南は石巻、三陸自動車道が市内中央部に走り、仙台市から約30分程度。東北地方では暖かく積雪少ない、温暖な地域です。

【市花：桜】 【市木：松】

【体験と交通】
東松島市は、海、山、川の自然がそそい、それらがすばらしい景観を形成しています。特に、湯水浴や潮干狩り、遊覧船、釣りなどのマリレジャーが楽しめる場所が豊富で、震災前は年間約110万人の観光客が訪れていました。

また、航空自衛隊松島基地では、毎年夏に航空祭が開催され、ブルーインパールの機示飛行などを目撃では、全国から航空ファンが訪れていました。

■人口:39,518人(H27国勢調査人口速報集計結果)
(震災前人口:43,142人)

HigashiMatsushima City

浸水地域は市街地の65%
(全国の被災市町村中最大)

東松島市の被害状況 (平成28年4月末現在)

■人的被害(市民)
死者 1,110人
行方不明者 24人
計 1,134人(全住民の約3%)

■家屋被害
全壊世帯 5,513棟
大規模半壊 3,060棟
半壊世帯 2,500棟
計 11,073棟 (全世帯の約73%)

■避難者(最大) 1万5,185人
■避難所(最大) 106箇所
■浸水農地面積1,465ha/全体農地面積3,349ha

HigashiMatsushima City

市民とともに進める住宅再建

1. 防災集団移転地(戸建団地)の整備

集団移転7団地 戸建て団地717戸の防災集団移転事業を実施。
平成28年11月20日をもって全ての区画の移転を完了。完成率 100%。

矢本西 127区画 (うち戸建87区画) 牛網 74区画 (うち戸建46区画) 産浜 22区画 (うち戸建9区画) 月浜 22区画 (うち戸建18区画) 大浜 15区画 (うち戸建10区画) 東矢本(戸建) 273区画

2. 災害公営住宅の整備

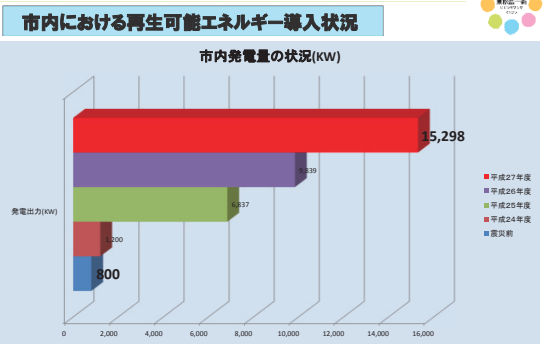
① 全体で1,010戸の災害公営住宅を整備中。
② うち831戸が完成し、引き渡し済み。完成率 82.3%。
③ 移転協議会等の住民組織との綿密な意向調整により、入居率98%。

HigashiMatsushima City

東松島市災害公営住宅の自給・分散型低炭素エネルギーの実現

日本初 自営線の整備を伴う地産地消型
東松島市スマート防災エコタウン

HigashiMatsushima City

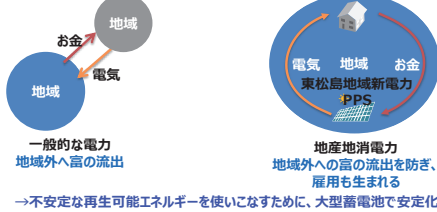


HigashiMatsushima City

持続的な「まちづくり」を考える

- ① 地球環境の保全。
- ② 効率的な地域分散型の送電網の整備。
- ③ 災害時においても「命」を守ることができるインフラ。
- ④ 地域経済への貢献。

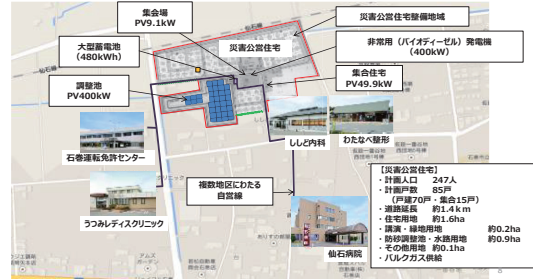
これからは再生可能エネルギーの地産地消の時代へ
「エコ」と「防災」のモデル 東松島スマート防災エコタウン



HigashiMatsushima City

東松島市スマート防災エコタウン事業配置

- 災害公営住宅エリア及び病院、公共施設は、電力会社から一括受電、自営線PPSによる電力供給。
- 太陽光発電460kW、大型蓄電池、非常用発電で構成される。



HigashiMatsushima City

〈システム概要図〉

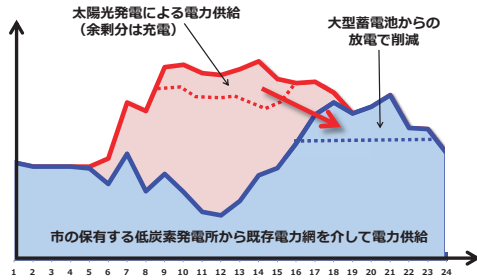


調整池太陽光発電システム 400kW



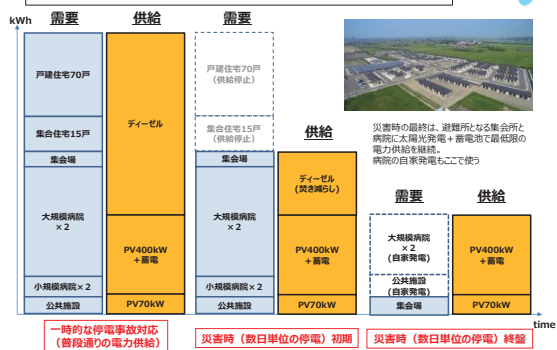
HigashiMatsushima City

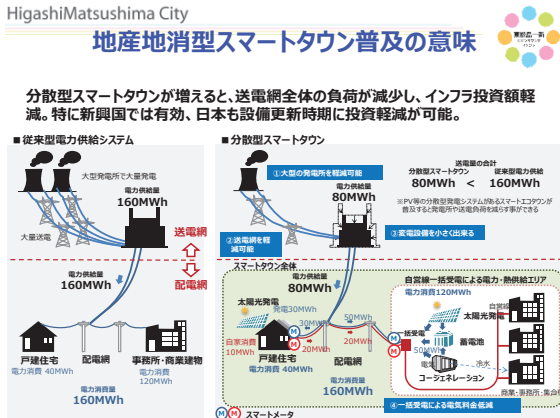
電力供給の考え方



HigashiMatsushima City

非常時のレベル別給電イメージ





あらまし

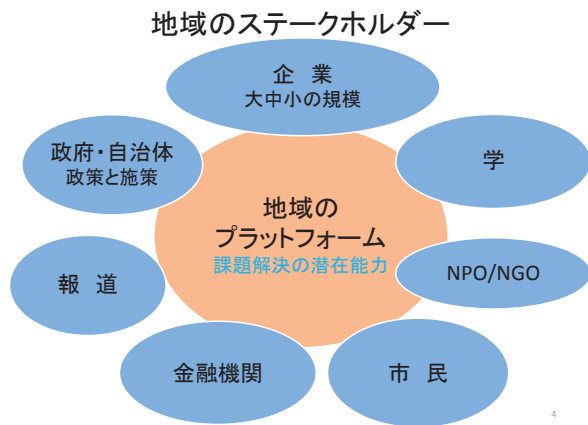
東北地方におけるスマート設備システムへの期待
 —地域の未来・設備・技術者—

空気調和衛生工学会東北支部長
 内海康雄

- 地域の未来
 - 地域のステークホルダー
 - スマートコミュニティを構築する視点
 - スペインの事例
- 「学」の役割
 - 「学」に何が起きたか
 - 「学」の状況
- スマート設備システム
 - 震災から学んだこと
 - スマートな設備システム
 - 何をするのか

2

地域の未来



3

4

スマートコミュニティを構築する5つの視点

1. ステークホルダーの協働
 - ニーズとシーズのマッチング
2. 課題解決に関連する政策と施策
 - 例えば、地方創生
3. 選ぶべきテーマ
 - 解決可能なテーマを選ぶ
4. ICTの活用
 - クラウドが前提となる
5. 人材の育成
 - 少人数グループのマネージメントができるリーダー

5

スペインにおける調査のまとめ 1/3

事例	地域プラットフォームの強さ	政府と自治体	企業	学	NPO/NGO 市長	金融機関	報道機関
Barcelona Activa (Business Promotion Bureau), Barcelona	many services, industry (car, printing, etc.), logistics and tourism	enhancing emerging economic sectors (e.g. mobile technology, health)	SME 18.5% of Spain companies. Asking companies to invest	15 years of the collaboration between public administration, companies and universities	ready to change and adjust		many companies in the area for the innovation
AGORA Educational Centre for the elderly, Barcelona	Autonomous community of citizens 'Community Learning' spread as around 400 similar centers in the world	Partial financial support from EU, local body, private companies, etc.	Not active	Lectures at university, LPE. Mainly the study of the liberal arts, information literacy, financial literacy, etc.	2,400 students and 150 volunteers		
'Talent House' of San Sebastian City	Balanced city, environment, food, earning of inhabitants, age of people, etc.	Activities based on the need in region. Smart city makes technology socialized, e.g. Smartalea, EU project (evaluation indicators)	Four technology center. Future industry, e.g. mobility, ICT	34 research center of 4000 people. 3% of GDP. 14 technology-intensive-company	Slogan 'ways of citizen power'	Projects supported by EU, Spain, other local bodies besides local tax	International film festival
European capital of culture, San Sebastian	Legacy of the city. Multi-culture	Supported by San Sebastian city			20 staff and 400 cooperative organization		Newspaper, music, theater, food, etc.

6

スペインにおける調査のまとめ2/3

事例	地域プラットフォームの強さ	政府と自治体	企業	学	NPO/NGO 市民	金融機関	報道機関
ITC companies: WCOMTECH, San Sebastian	Knowhow to integrate technologies, To make impact to the region ICT, visualization, etc.		Research projects of SME, Not going into market	Internship program	Governing board of 18 public companies, etc.	7.2mEuro/year	
ITC companies: IRISOND, San Sebastian	Communication tool using only eyes	Two public administrations	Established in 2013		Social inclusion	Two institutes	
Bilbao's post industrial machidukuri	Cultural centrality Future oriented, New leaders emerging often	Revitalization from recession with 30 municipalities since late 80s supported by Bilbao city council Revival plan, e.g. port, subway	No particular control	Decision makers are old minded in general	The activity of Ben30, Think tank to get the opinion of private sector International network of young people is necessary		
Bilbao Txoakoi	Participation of citizens	Budget supported by Bilbao city council			The activity of Ben30, Art and design sector, Applicants are young people, architects, neighbors, etc.		Official web site for the idea contest

7

スペインにおける調査のまとめ3/3

事例	地域プラットフォームの強さ	政府と自治体	企業	学	NPO/NGO 市民	金融機関	報道機関
Bilbao, a model of urban regeneration, from an industrial to a Creative City* by Mr Asier Azuaga	Accessibility, regenerating environment and urban quality, culture, etc.	Council for Urban Planning: Old town, moving of the port and extension, Bilbao RIA 2000 70% of the budget for social, education and health	Investment to the city needs new instruments by the city	Collaboration with three universities	To increase new young people, e.g. universities, private companies, accessibility	Economically independent region based on own tax system	
the Guggenheim Museum	The culture of the city	70% budget from local body	Contracts for art pieces				
IDBAPS Biomedical R&D center	Network in EU and overseas, Integrated care	Reducing local service expense	Research collaboration	University and research center	Having seamless medical service	Fund from EU (H2020), OECD	
the St Cugat City Council	Average age is 39.5 years	Open data, Sharing data center with other municipalities	Short term internship, Few patents	16,000 university students (25% get job around the area)			
EDGE CREALPOLIS Business Innovation Center	Based on existing technology	Coordination to innovate (cross innovation)	Innovation manager	Internship program for the task of private companies, 4 months			

8

日本における高等教育に関する出来事

- 1980 米国バイドール法(特許法の一部改正法)
政府資金による研究開発から生じた発明についてその事業化の促進を図るため、政府資金による研究開発から生じた特許権等を民間企業等に譲渡させる
- 1984 臨時教育審議会(臨教審) 中曽根内閣
「二十一世紀を確した教育の在り方」(第一部会)、「社会の教育機能の活性化」(第二部会)、「初等中等教育の改革」(第三部会)、「高等教育の改革」(第四部会)を議論する4つの部会
大学入学者の増大、学費増大の加速化、秋期入学制、文部省の機構改革など
- 1995 科学技術基本法
科学技術(人文科学のみに係るものを除く)の水準の向上を図り、もって我が国の経済社会の発展と国民の福祉の向上に寄与するとともに世界の科学技術の進歩と人類社会の持続的な発展に貢献することを目的とする。(第一條抜粋)
•1996~2000 科学技術基本計画第1期
理数教育
- 1999 日本版バイドール法
政府資金による委託研究開発から派生した特許権等を民間企業等に帰属させる
- 2001~2005 科学技術基本計画第2期
重点4分野(ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー-材料)
- 2001 総合科学技術会議
科学技術政策に関する中央官庁の一層の強化
- 2006~2010 科学技術基本計画第3期
イノベーション
- 2009~2014 MEXT, JST 地域創生人材育成プログラム
- 2011~2015 科学技術基本計画第4期
最先復興、グリーンイノベーション、ライフイノベーション、システム構築
- 2011 ISCED: International Standard Classification of Education (UNESCO, OECD, EU)
高等職業教育が世界的に展開する中、高等専攻科が認知された。
- 2014 総合科学技術・イノベーション会議(総合科学技術会議を改称)
- 2014~2016 OECD :KT (Knowledge Triangle)プロジェクト 教育とイノベーションの関係は?
- 2016~2020 科学技術基本計画第5期 イノベーション ← 地域創生

9

地球を救い持続させる問題解決能力を持つ人材育成

10

「学」の役割

日本における高等教育機関の役割

○世界の高等教育機関が、1980年米国バイドール法成立後、産業振興を目指してイノベーションを起こす研究を行い特許取得などを行っている。日本では1995年科学技術基本法で「科学技術創造立国」を目指し、現在第4期の科学技術基本計画期間中である。
○「平成26年5月6日OECD閣僚理事会 安倍内閣総理大臣基調演説」*1より抜粋
「エンジニアリングだけがイノベーションを生み出す」という発想を、まずは捨てねばなりません。社会は複雑化しています。経営学や心理学の知見、文化への造詣など、幅広い素養が求められる時代です。(中略)
日本では、みんな横並び、単線型の教育ばかりを行ってきました。小学校6年、中学校3年、高校3年の後、理系学生の半分以上が、工学部の研究室に入る。こればかりを繰り返してきたのです。
しかし、そうしたモノカルチャー型の高等教育では、斬新な発想は生まれません。だからこそ、私は、教育改革を進めています。学術研究を深めるのではなく、もっと社会のニーズを見据えた、もっと実践的な、職業教育を行う。そうした新たな枠組みを、高等教育に取り込みたいと考えています。
*1 http://www.kantei.go.jp/jp/96_abe/statement/2014/0506kichoiken.html
○具体例として文科省「グローバルアントレプレナー育成促進事業(EDGEプログラム)」*2
*2 http://www.mext.go.jp/a_menu/jinzai/edge/_jcsFiles/afidfile/2014/08/05/1350373_02.pdf

・イノベーションを生むためには、既存の枠組みを超えて課題解決できる能力が必要である
・高専の教育システムは課題解決型教育PBLを通じてイノベーションを起こす人材を輩出している

11

大学・高専・専修学校・各種学校の役割と輩出する人材

研究・教育の内容	大学		高専	専修学校・各種学校	輩出する人材
	理学	工学			
現象の発見・解析・解明、 普遍的理論の構築・理論の体系化	ISCED2011 レベル8 ISCED2011 レベル7	ISCED2011 レベル6	ISCED2011 レベル6		アカデミア・研究者 Ex.アインシュタイン 型の人材、「究める」
着想・発想・創造、 基本原理の応用による課題解決	ISCED2011 レベル6	ISCED2011 レベル7	ISCED2011 レベル6		研究開発者・マネージャー Ex.エジソン型の人材 「造る」
設計・企画・管理		ISCED2011 レベル6	ISCED2011 レベル6	ISCED2011 レベル6	
先進的な能力による製造、 定型的な製造			ISCED2011 レベル5	ISCED2011 レベル5	技能者 Ex.先端技術を支える 匠の技

UNESCO:国際教育水準 (ISCED2011)
レベル8:博士あるいは同等、レベル7:修士あるいは同等、レベル6:学士あるいは同等、レベル5:短期高等教育

アカデミアでは領域毎の深い知識、開発・マネジメントでは幅広い領域の横断的知識・リベラルアーツの実力が必要となる

12

スマート設備システム

震災の特徴

- 面的に被害が拡大
 - 津波を受けた地域には何も無くなる
 - ex. 敷地が砂地へ、境界がない、土地が水没
- 東北の太平洋側と日本海側で被害が異なる
 - 山形県では停電無しの地域があった
 - ex. 水力発電は稼働、その後8月大雨で停止
- 長期のインフラ機能の停止
 - もの、情報、エネルギーが無くなる
 - ex. 食料が無い、電気で動くものは使えない、ガソリン供給停止
- 長期の復興期間
 - 宮城県では10年程度の見込み
 - ex. 8月に復興案、9月に議会承認

建築設備のほぼ全部が1週間程度止まる

環境の安全安心に求められる視点

- 1) 地震後の室内環境の特徴
 - 居住者が平時の服装・気持ちはではない
 - 燃料・エネルギーが供給されなくなる
- 2) 環境を維持するもの・情報・エネルギーの供給・備蓄
 - 飲料水と生活用水
 - 多様なエネルギー源が必要
- 3) 実現すべき室内環境の水準の多様性
 - 天候・経過時間等により時間変化
 - 幾つかのレベルに分ける(生命維持、保健・衛生、通常生活)
 - ex. 屋外に放射性物質がある際には、室内の換気について注意が必要
 - オフィス・住宅など共に、避難所の環境を扱うべき

安全・安心を支える基盤の見直し
→ 第4期科学技術基本計画の見直し

震災による被害の3分類

- 津波の被害
風景が変わった
- 内陸の地震動
3/11と4/7
- 放射性物質
今後とも対応が必要



大部分の人々は予想しなかった

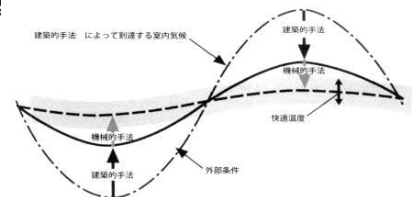
非常時における設備の考え方
経過時間と要求項目

- 居住空間の時間変化
被災直後→避難所→仮設住宅→自宅への居住(数日~5年)
 - 実現すべき環境のレベル
生命維持、健康維持、快適性
 - 対象者が多様
年齢、性別、健康状態
- 例1. 震災直後、外気温が氷点下で海水を浴びた状態の方がいる
避難所の温熱空気環境はどうあるべきか?
- 例2. 暖房に使わざるを得ない開放型燃焼器具からのCO発生
生命の安全確保
- 例3. 自宅・仮設住宅への移行期
安全確保に加えて 住宅設備の購入、エネルギー調達・節約、快適性

これまでは平時の空気環境を主として想定していた

気候に応じた環境・エネルギーのデザイン

- Design With Climate:
Bioclimatic Approach to Architectural Reg



震災後、熱的性能の優れた住宅は暖房器具無しで
室温16℃以上を保った

被災後の屋外・室内の要求水準・建築設備1/3

経過時間	直後～4週間		4週間～2年		2年～		備考
居住する場所	震災時の居場所	避難所	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅は2年居住予定最長で5年の場合がある
実現すべき環境レベル	レベル1 (生命維持)	レベル2 (保健・衛生)	レベル3 (通常生活) 延べ面積制限	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	仮設アパートから以前の居住地に近い仮設住宅に移る場合がある
(1) 屋外・建物・室内の状況 与条件(地域・気候・外部の安全・衛生環境により異なる)							
湿熱	シエーター機能が必要	体育館等の公共施設の熱的性能	一般的な熱的性能				各建物の性能差が大きい
空気	安全とは限らない汚染	ゴミ・トイレの臭気	必要換気量の確保が必要				換気設備が完備していることは少ない
音	楽器の音、TV、ラジオの音声	他人の会話	隣室からの音				就寝時の騒音が課題
光	照明が無い	避難路が不明	夜間照明の常設				一般的な住宅についてこれまでで抜けてきた事項
水	飲料水が混入	トイレの洗浄水	中間・冬季の結露				配水には多人数が必要
心理	被災直後の混乱	避難所のプライバシー	孤立化防止のためのコミュニティの形成				機材・資材と共に担当者を派遣する必要がある

大きな災害時にはこれまでの前提が成り立たない

被災後の屋外・室内の要求水準・建築設備2/3

経過時間	直後～4週間		4週間～2年		2年～		備考
居住する場所	震災時の居場所	避難所	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅は2年居住予定最長で5年の場合がある
実現すべき環境レベル	レベル1 (生命維持)	レベル2 (保健・衛生)	レベル3 (通常生活) 延べ面積制限	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	仮設アパートから以前の居住地に近い仮設住宅に移る場合がある
(2) 室内環境 実現すべき目標							
湿熱	寒さ、暑さから生命を安全に保つ	熱中症や風邪などについて健康管理を行う	一般住宅と同じ環境				高齢者の見守り
空気	安全な新鮮空気の提供	安全情報が明確に聞こえる	必要換気量の確保				多様な汚染源の混在に対応すべき
音	災害情報が明確に聞こえる	避難路が不明	騒音からの音の防止				一般的な住宅についてこれまでで抜けてきた事項
光	生活・防犯用の照明	避難誘導を可能にする	夜間照明				防災と安全
水	飲料水の確保	衛生器具用の水	生活用水の確保、結露の防止				生命維持と衛生・防疫

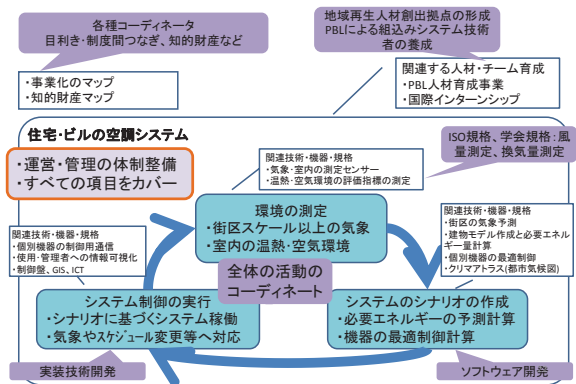
生命維持などのレベル毎の要求水準

被災後の屋外・室内の要求水準・建築設備3/3

経過時間	直後～4週間		4週間～2年		2年～		備考
居住する場所	震災時の居場所	避難所	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅	仮設住宅は2年居住予定最長で5年の場合がある
実現すべき環境レベル	レベル1 (生命維持)	レベル2 (保健・衛生)	レベル3 (通常生活) 延べ面積制限	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	レベル3 (通常生活)	仮設アパートから以前の居住地に近い仮設住宅に移る場合がある
(3) 建築設備 与条件に応じて目標を実現する							
空気調和	生命の安全を確保する暖冷房	健康を確保する暖冷房	できるだけ一般住宅に近づける				電源不要の開放型燃焼機器が便利だが、臭ガスに要注意。
換気	新鮮空気の提供	健康を確保する換気	できるだけ一般住宅に近づける				放射線物質を除去するフィルタ
衛生	浄水器、無水トイレ	洗浄用の水の確保	できるだけ一般住宅に近づける				一般的な住宅についてこれまでで抜けてきた事項
電気	非常用発電蓄電池	非常用発電、携帯電話の充電	できるだけ一般住宅に近づける				自然エネルギー利用、2週間程度の確保必要
通信・制御	電源自足型の非常用通信機器、災害情報の提供	災害・安否情報、交通手段等の情報提供	できるだけ一般住宅に近づける				クラウド、インターネット、GISなどの利用、広域での対応。

これからの研究・技術開発を示唆

例: 住宅・ビルに関する要素とシステム 1



例: 住宅・ビルに関する要素とシステム 2

- 開発には広い分野の専門家が必要
 - 建物の熱・空気についての知識
 - 理論、実験、シミュレーション
 - ハードウェア、機器システムの制御
 - センサー、通信機器構成、設備機器制御
 - ソフトウェア、組み込みシステムの開発
 - シミュレーションツール、CAD、DB、GIS、ユーザ・インターフェースなど
 - 各種関連規格
 - 通信、省エネルギー法、ISO規格など

社会実装を担うチームの構成

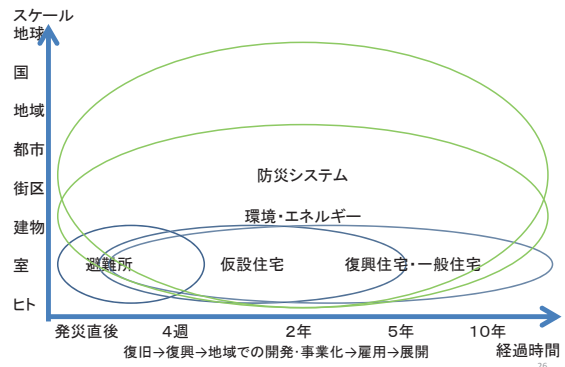
- 社会実装には開発・事業化よりも多くの専門家が必要
 - 全体のマネージメント
 - 営業 技術を含む
 - 対象建物への設備機器の製作
 - 設置工事
 - 現場での調整業務
 - 管理業務
 - 熱・空気、設備制御の技術的な専門家
 - 規格・基準等への対応
 - 知的財産への対応
- 関連する産学官金の研究会
 - 例. JSCA(ジャパン・スマート・コミュニティ・アライアンス)
 - http://sh-center.org/120620/downloads/20160825-3_issiki.pdf

社会実装プロジェクトの考え方 1

- タスク・ドリブンの課題解決型プロジェクト
 - 戦略的な視野で目前の課題を現有の資源で解決
 - 第5期科学技術基本計画
「超スマート社会」の実現(Society 5.0)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- 提案型、プロポーザル方式の採用
 - 仕様を予め決めて、限られた資源を提供して解決策の提案を募る
 - 知財を管理する

25

社会実装プロジェクトの考え方 2



26

おわりに

- 地域の未来
 - 地域のステークホルダーの連携が必須
- 「学」の役割
 - 「学」は自律して、ステークホルダーと連携
- スマート設備システム
 - 各国が抱える諸問題の解決に有効



地域のポテンシャルを活かして、
社会実装に向けて、何から始めるか

27

ご清聴ありがとうございました

空気調和衛生工学会東北支部長
内海康雄
utsumi@sendai-nct.ac.jp

28

公益社団法人空気調和・衛生工学会の概要

空気調和・衛生工学会は、暖冷房・換気、給水・排水、衛生設備など一般市民の生活と密着した設備やその仕組み・原理などを扱う学問領域で活動する学術団体です。

本会はこの領域の研究者と実際にこれらの設備の設計や施工を行う設計者・技術者、装置を製作するエンジニア、運転・管理技術者等の会員で構成され、日本にある工学系の中では10番目の規模の学会です。

また、創立時より「学理と工業は両輪である」との理念と「空気調和と衛生設備に関する専門学会」との立場をもって運営されており、現在もこれを継承しています。

【会員数】※平成28年3月末現在

個人					法人	合計
正会員	名誉会員	特別会員	学生会員	小計	賛助会員	
14,640名	28名	32名	376名	15,076名	478(社)	15,554名

【創立】

1917年（大正6年）7月28日、“暖房冷蔵協会”として創立（会員数約150名）

【本部】

〒169-0074 東京都新宿区北新宿1-8-1 中島ビル3階

【会長】

奥宮 正哉（名古屋大学・教授）

【ホームページ】

<http://www.shasej.org/>

空気調和・衛生工学会東北支部 メンバー

■東北支部運営委員 【2015年（第43期）・2016年（第44期）】

役 職	氏 名	所 属
支部長	内海 康雄	仙台高等専門学校
副支部長	赤井 仁志	福島大学
	須藤 諭	東北文化学園大学
事業幹事	菅原 正則	宮城教育大学
	渡辺 浩文	東北工業大学
	松木 石二	(株)朝日工業社 東北支店
総務幹事	荒川 博之	高砂熱学工業(株)東北支店
	船木 寮一	三建設備工業(株)東北支店
	金田 清満	新菱冷熱工業(株)東北支社
会計幹事	庄司 恒久	空気調和・衛生工学会東北支部事務局
	小林 照和	(株)興盛工業所
	三宅 偉久	ダイダン(株)東北支店
委員	石島 和明	大成建設(株)
	及川 義信	新日本空調(株)東北支店
	岡田 誠之	東北文化学園大学
	許 雷	東北工業大学
	小林 隆之	(株)西原衛生工業所東北支店
	小林 光	東北大学大学院工学研究科
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	鈴木 道哉	東北学院大学
	高原 洋介	東北地方整備局
	田中 和則	(株)ユアテック
	谷 博之	(株)大気社東北支店
	田原 誠	(株)竹中工務店東北支店
	西 孝一	東北電力(株)
	月野 智弘	(株)ピーエーシー仙台支所
	山田 英明	東洋熱工業(株)東北支店
	渡邊 東一	三機工業(株)東北支店

■ 賛助会員

社名	郵便番号	住所
北関東空調工業(株)	970-8026	いわき市平字柳町 3
(株)興盛工業所	983-0035	仙台市宮城野区日の出町 1-1-35
新日本空調(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 3-7-1 電力ビル
新菱冷熱工業(株)東北支社	980-0803	仙台市青葉区国分町 3-6-1 仙台パークビル
常磐興産(株)スパリゾートハワイアンズ	972-8555	いわき市常磐藤原町蔵平 50
高砂熱学工業(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 2-4-1 興和ビル
第一工業(株)東北支店	980-0812	仙台市青葉区片平 1-5-20
(株)東北開発コンサルタント	980-0804	仙台市青葉区大町 2-15-33 大町電力ビル新館
東北電力(株)	981-0952	仙台市青葉区中山 7-2-1
(株)ユアテック	983-8622	仙台市宮城野区榴岡 4-1-1
大成建設(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 3-1-1
三建設備工業(株)東北支店	980-0014	仙台市青葉区本町 1-13-22
ダイダン(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 1-15-17
(株)朝日工業社東北支店	980-0821	仙台市青葉区春日町 3-21
(株)竹中工務店東北支店	980-0803	仙台市青葉区国分町 3-4-33
三機工業(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 2-8-10
東日本旅客鉄道(株)東北工事事務所	980-8580	仙台市青葉区中央 1-1-1
サンポット(株)	025-0301	花巻市北湯口第 2 地割 1-26
(株)アークズ会津	965-0817	会津若松市千石町 4-50
東北エネルギーサービス(株)	980-0804	仙台市青葉区大町 2-2-25
ジョンソンコントロールズ (株)東北支店	984-0852	仙台市若林区新寺 1-3-45
(株)大気社東北支店	980-0802	仙台市青葉区二日町 12-30
東日本興業(株)	980-8534	仙台市青葉区一番町 3-7-1
弘栄設備工業(株)	990-0821	山形市北町 1-7-2
(株)ユアテック山形支社	990-0073	山形市大野目 3-5-7
(有)トータルライフプラン	971-8172	福島県いわき市泉玉露 7-11-10
(公社)ふくしま海洋科学館	971-8101	福島県いわき市小名浜辰巳町 50
東洋熱工業(株)東北支店	980-0014	宮城県仙台市青葉区本町 1-12-7

平成 29 年 1 月末現在

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
優秀発表奨励賞受賞者

第1回

平成24年3月14日(水) 東北工業大学 八木山キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-11	グリース阻集器の油脂分解技術の評価試験 (その1)評価試験の基礎的実験	草刈 洋行	(株)ユアテック
A-15	洗浄水量4.0Lを有する超節水型大便器の排水性能の検討	各務 紘史	関東学院大学
B-8	大規模震災時における応急給水施設の整備方策に関する研究 -仙台市を対象とした検討-	石橋 直也	東北工業大学
B-12	公共建物における空調機器の予測制御システムの適用に関する研究 その1 システムの概要と日射量の推計式について	松本 若菜	仙台高等専門学校
P-4	在室スケジュールに基づいた予熱暖房による熱負荷低減効果	田中 恵莉	宮城教育大学

第2回

平成25年3月12日(火) 東北文化学園大学

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-4	東日本大震災時の仙台市水道被害の実態分析 ~大規模地震時における上水道被害に関する研究~	菅原 章斗	東北工業大学
B-13	全国事務所建物における電力系・燃焼系熱源設備併用建物のエネルギー消費原単位 -DECC平成21年度調査データによる分析	井城 依真	東北文化学園大学
B-16	水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵容器内の充填状態変化と応力発現の検討	川上 理亮	高砂熱学工業(株)

第3回

平成26年3月18日(火) 株式会社ユアテック 本社

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-2	秋田県立大学におけるエネルギー消費特性の分析と環境負荷削減の 適応手法の可能性に関する研究	庄司 侑椰	秋田県立大学
A-5	東日本大震災後の東北地方の福祉施設におけるエネルギー消費に 関する調査	伊藤 梓	東北文化学園大学
B-16	室温の上昇・下降が人間の覚醒状態に及ぼす影響に関する被験者実 験	平松 美紀	東北大学
P-1	オフセットを有する排水立て管システムの排水能力把握に関する研究	杉本 遼太	関東学院大学

第4回

平成27年3月10日(火) 東北大学 人間・環境系校舎

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-3	集合住宅への介護用圧送トイレシステムの適用の可能性	松尾 隆史	関東学院大学
A-9	PCMを利用したパッシブ温度管理型グリーンハウスの開発	澤田 真吾	東北大学
A-23	東日本大震災後の避難施設に関する研究 -防災システムの概要と稼働状況-	村上 美穂	仙台高等専門学校
A-24	避難者が製作できる段ボールルームの提案	相澤 華絵	宮城教育大学
B-7	サーバ室におけるラック型前面吹出しユニットの評価	岩崎 守顕	三機工業(株)

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
優秀発表奨励賞受賞者

第5回

平成28年3月11日(金) 東北工業大学八木山キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-4	脳卒中死亡と住環境要因との関連性に関する調査研究	貝沼 拓哉	秋田県立大学
A-6	住宅のダンプネスの評価法の構築と子供の健康影響に関する統計分析	竹鼻 紫	秋田県立大学
A-19	浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の埋設工法の開発と評価 その2:改良後の実証試験計画・結果	瀬川 和幸	東北電力㈱
A-21	太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討	菅野 智之	東北学院大学

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第6回 学術・技術報告会 論文集

Tohoku Branch of The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary
Engineers of Japan (SHASE)

Collection of Papers of the 6th Conference

2017年（平成29年）3月14日 発行

編集・発行所 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

事務局

〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町 3-5-22

宮城県管工事会館 3階内

TEL : 022-224-7091 FAX : 022-797-2486

事務代行機関

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町 3-8 春日町ファインビル 4階

住まいと環境 東北フォーラム内

TEL : 022-221-9042 FAX : 022-221-9243

定 価 3,000円（税込）

表紙デザイン 松本若菜 赤井仁志
