
第7回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 7th Conference

平成30年3月9日(金)

東北文化学園大学

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7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7回学術・技術報告会を下記の要領にて実施いたします。K
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K K 催K K 空気調和・衛生工学会東北支部K
- 共K K 催K K 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K
- 後K K 援K K 日本建築学会東北支部、住まいと環境K 東北フォーラム、日本空調衛生工事業協会K 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連合会東北ブロック、K 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K 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K
- 日K K 時K K 平成30年3月9日(金)8:50~17:20(8:40受付開始)予定K
- 会K K 場K K 東北文化学園大学K 5号館K
〒981-8551K宮城県仙台市青葉区国見6-45-1KK
(<http://www.tbgu.ac.jp/K> キャンパス内及び周辺地域全面禁煙)K
アクセスK JR 仙山線「国見駅」、仙台市営バス「国見浄水場・東北文化学園大学前」、徒歩約1分K

【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K K 平成30年1月11日(木)(口頭発表・ポスター発表講演者・技術展示共通) K
※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。K
※エントリー用紙は必ず今年度版をご使用下さい。K
- 応募資格K K 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・後援学協会の会員(会員種別不問)であること。K
- 申込方法K K 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7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。K
- 登録料K料K K ・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。K
K ・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9日(金)頃までに出席者(責任者)宛に請求書を送付致します。K
- 参加費K K 無K料K
- 論文集K K 紙媒体(白黒印刷,1冊3,000円K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を含む3月5日~3月14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。K

【口頭発表・ポスター発表】

- 投稿方法K 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。K
- 原稿締切K K 平成30年2月14日(水)17:00必着。K
K ※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。K
- 講演方法K K ・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。K
・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)。K

- ・各自パソコンと発表データをご持参ください。K
- ・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。K



- 採K K 否K 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。K

【技術展示】

- 出展内容K
 - ①空調和・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以内でお願いします。

※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K K 否K K 東北支部運営委員会に一任願います。K

■プログラム (予定) K

- K 8:30K 受付開始K
※発表者・技術展示代表者は発表・展示前に必ず受付を済ませて下さい(発表者Kは発表の30分前まで)。K K
- 8:50K 開会K
- 9:00K 発表開始K
- 午前K 学術・技術報告会(口頭発表) K
- 午後K 記念講演、学術・技術報告会(ポスター、口頭発表) K
- 17:20K閉会K
- ※仙山線 JR 国見駅→仙台駅行 17:28、17:44、18:02KK K

- 交K流K会K 当日18:30~20:30(予定)。ホテル法華クラブ仙台2Fピア(青葉区本町2-11-30)参加費5000円。エントリー時または3月5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。K

- 連 絡 先K 空調和・衛生工学会K東北支部第7回学術・技術報告会実行委員会K

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

K 〒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4FK

K 住まいと環境K 東北フォーラム内K

K TELK 022-221-9042K FAXK 022-221-9243K K

K E-mailK tohoku.shase@gmail.comK 担当:柴田K

K ※@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。K

K ※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。K

第7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	137
空気調和・衛生工学会の概要	157
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	158
第1～6回 優秀発表奨励賞受賞者	160

第7回 学術・技術報告会 組織委員会

委 員 長	田原 誠	(株)竹中工務店東北支店
委 員	許 雷	東北工業大学
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	小林 光	東北大学
	菅原 正則	宮城教育大学
	谷 博之	(株)大気社東北支店
	田中 和則	(株)ユアテック
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7回学術・技術報告会 スケジュール

	口頭発表A会場 (3階5353講義室)	口頭発表B会場 (3階5352講義室)	技術展示会場 (3階5351講義室)
開会式	8:50～8:55 支部長挨拶 司会:田原 誠		
学術・技術報告 (口頭発表)	9:00～9:48 【温熱空気環境①】 A1～A4 司会:須藤 諭	9:00～9:48 【建築材料・建築環境】 B1～B4 司会:許 雷	
	9:53～10:41 【温熱空気環境②】 A5～A8 司会:赤井 仁志	9:53～10:41 【給排水衛生・耐震】 B5～B8 司会:岡田 誠之	
	10:46～11:34 【温熱空気環境③】 A9～A12 司会:船木 寮一	10:46～11:46 【避難施設・災害・放射線】 B9～B13 司会:内海 康雄	
技術展示コアタイム			11:50～12:25 (展示は8:50～16:00) T1～T8 司会:後藤 正徳
学術・技術報告 (口頭発表)	13:10～13:58 【再生可能エネルギー①】 A13～A16 司会:菅原 正則	13:10～13:58 【エネルギー消費】 B14～B17 司会:小林 光	
	14:03～14:51 【再生可能エネルギー②】 A17～A20 司会:谷 博之	14:03～14:51 【システム開発】 B18～B21 司会:鈴木 道哉	
特別セッション	15:00～16:30 空気調和・衛生工学会 創立100周年記念 空気調和・衛生工学会 東北支部講演会 司会:小林 光		
閉会式	16:30～16:45 優秀発表奨励賞 発表 優秀発表奨励賞 受賞式 司会:田原 誠		

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第7回 学術・技術報告会

プログラム

平成30年3月9日(金)

東北文化学園大学 5号館3階

1. 開会式

【開会式】 8:50~8:55 口頭発表A会場 (3階5353講義室)	司会: 田原 誠 (株)竹中工務店
支部長挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長 須藤 諭 東北文化学園大学

2. 学術・技術報告〔口頭発表〕

【温熱空気環境①】		司会: 須藤 諭	東北文化学園大学	掲載 ページ
9:00~9:48	口頭発表A会場 (3階5353教室)			
A-1	熱伝導率プロファイルリング法(TCP)を用いた地盤の有効熱伝導率計測	○ 神宮司元治 赤井 仁志 内田 洋平	産業技術総合研究所 福島大学 産業技術総合研究所	1
A-2	伝統工法「たたき」の製作と調湿効果実験の教材化に関する研究	○ 荒川 大多 菅原 正則	宮城教育大学 宮城教育大学	3
A-3	開放型石油暖房器具使用時における室内アルデヒド汚染に関する研究	○ 仁科 妃里 野崎 淳夫 土屋 貴寛 成田 泰章	東北文化学園大学 東北文化学園大学 東北文化学園大学 暮らしの科学研究所	7
A-4	JEM1467による空気清浄機の煙草臭気除去性能の検証	○ 一條 佑介 野崎 淳夫	東北文化学園大学 東北文化学園大学	11
【温熱空気環境②】		司会: 赤井 仁志	福島大学/北海道大学	掲載 ページ
9:53~10:41	口頭発表A会場 (3階5353教室)			
A-5	東北地方における戸建住宅の全体改修による環境改善効果に関する事例研究	○ 石川 武尚 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	15
A-6	住宅のダンプネスによる室内真菌汚染に関する実態調査	○ 武藤 邦彦 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	21
A-7	住宅の温熱環境が早朝高血圧に与える影響についての調査研究 —冬期の就寝時曝露温度との関係—	○ 小原 幸果 長谷川兼一 竹内 仁哉 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-8	寒冷地における庁舎建築の環境性能に関する実態調査 —居住域における温熱環境の評価—	○ 長谷川宏登 長谷川兼一 竹内 仁哉 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
【温熱空気環境③】		司会: 船木 寮一	三建設備工業(株)	掲載 ページ
10:46~11:34	口頭発表A会場 (3階5353教室)			
A-9	建築設備設計におけるBIM技術の活用 その1 Revitを用いた空調負荷の計算	○ 田畑 雄太 佐々木一希 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	33
A-10	建築設備設計におけるBIM技術の活用 その2 Revitを用いたダクトシステムの設計	○ 佐々木一希 田畑 雄太 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学	35
A-11	Arduinoを用いた住宅換気システムの提案	○ 堀内 絢斗 許 雷	東北工業大学 東北工業大学	37
A-12	屋外歩行者を対象とした人体熱生理モデルの精度検証と実市街地を対象とした都市温暖化適応策の評価	○ 大場 優作 本間 実季 新井 千秋 石田 泰之 後藤 伴延 持田 灯	東北大学 東北大学 東北大学 東北大学 東北大学	41

【再生可能エネルギー①】		司会: 菅原 正則	宮城教育大学	掲載 ページ
13:10～13:58 口頭発表A会場 (3階5353教室)				
A-13	燃料電池と太陽光発電によるエネルギー自立型街区に関する検討	○ 片方 一成 鈴木 道哉	東北学院大学 東北学院大学	45
A-14	再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでのヒートポンプの活用	○ 赤井 仁志 新倉 万結	福島大学 福島大学	49
A-15	地中熱ヒートポンプ空調システムのエネルギー消費効率に関する研究 ～秋田県内の戸建住宅への導入事例における長期実測～	○ 高崎 力也 長谷川兼一 竹内 仁哉 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-16	(欠番)			

【再生可能エネルギー②】		司会: 谷 博之	(株)大気社	掲載 ページ
14:03～14:51 口頭発表A会場 (3階5353教室)				
A-17	浅層部地中熱利用システムの実証実験に関する研究 その1	○ 内野 晶弘 赤井 仁志 瀬川 和幸 荒井 尚子 仁木 康介 岡本 淳 今井 智紀	サンボット(株) 福島大学 東北電力(株) (株)ユアテック サンボット(株) サンボット(株) サンボット(株)	55
A-18	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 その4 設計・性能予測手法の改良と全国における必要地中熱交換器本数の検討	○ 葛 隆生 東谷 貴 方 昱植 長野 克則 赤井 仁志 大江 基明 瀬川 和幸	北海道大学 北海道大学 北海道大学 北海道大学 福島大学/北海道大学 (株)イノアック住環境 東北電力(株)	57
A-19	大規模施設への地中熱ヒートポンプシステムの導入に関する検討	○ 小司 優陸 葛 隆生 長野 克則 赤井 仁志	北海道大学 北海道大学 北海道大学 福島大学 / 北海道大学	61
A-20	配電工用建柱車による螺旋状地中熱交換器の埋設工法の開発と評価	○ 瀬川 和幸 大子田誠也 奥野 敏彦 山本 昌志 赤井 仁志 葛 隆生 長野 克則	東北電力(株) 東北電力(株) 東北電力(株)、現:サイエンス(株) (株)ユアテック 福島大学 北海道大学 北海道大学	65

【建築材料・建築環境】		司会: 許 雷	東北工業大学	掲載 ページ
9:00～9:48 口頭発表B会場 (3階5352教室)				
B-1	潜熱蓄熱材による空間の温度変動緩和効果に関する検討 (その1) 既往研究の文献調査と実験計画の概要	○ 篠澤 航平 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	67
B-2	潜熱蓄熱材による空間の温度変動緩和効果に関する検討 (その2) 室温緩和の効果試算・評価法の検討	○ 竹内 仁哉 長谷川兼一 篠澤 航平 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	69
B-3	寒冷地における庁舎建築の環境性能に関する実態調査 —熱源機運転実績と省エネルギー性の評価—	○ 山口 拓真 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	71
B-4	建築物の衛生管理に関する調査研究～統計データに基づく実態把握	○ 村岡 篤 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	75

【給排水衛生・耐震】		司会: 岡田 誠之	東北文化学園大学	掲載 ページ
9:53~10:41 口頭発表B会場 (3階5352教室)				
B-5	学校トイレの改修へのLCP対応型節水トイレシステムの適用に関する研究 その1 常時・非常時使用における課題点とシステム提案	○ 大場 涼太 大塚 雅之 亙理 咲綺 呉 光正	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学	77
B-6	学校トイレの改修へのLCP対応型節水トイレシステムの適用に関する研究 その2 提案システムによる同一階及び多層階での合流排水	○ 亙理 咲綺 大塚 雅之 大場 涼太 呉 光正	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学	81
B-7	業務用連立節水形トイレへの樹脂製特殊継手排水システム適用の可能性 その2 合流式排水及び代用汚物混入での検討	○ 久我 優希 大塚 雅之 川口 俊哉 本郷 智大 杉本 遼太	関東学院大学 関東学院大学 (株)久米設計 山形県立産業短期大学校 (株)日本設計	85
B-8	ワイヤにより補強された吊り支持機器の制振補強 その2 振れ止め補強方法および防振ハンガー位置による耐震性能評価	○ 品田 直也 木村 崇 田村 稔	新日本空調(株) 新日本空調(株) 新日本空調(株)	87
【避難施設・災害・放射線】		司会: 内海 康雄	仙台高等専門学校	掲載 ページ
10:46~11:46 口頭発表B会場 (3階5352教室)				
B-9	避難所におけるアースバッグハウス利用の可能性	○ 渡部 聡美 菅原 正則	宮城教育大学 宮城教育大学	91
B-10	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3 原発事故被災地における 空間放射線ベクトル場の特性に関する研究	○ 中島 主策 小林 光 本多 祥平 山守 諒 吉野 博 野崎 淳夫 一條 佑介	東北大学 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	95
B-11	災害時の避難所の飲み水とトイレに関するガイドライン その1 避難所の概要と飲み水	○ 福井 啓太 岡田 誠之 赤井 仁志 草刈 洋行 高橋 秀一 寺田 英彦 前田 信治 船木 寮一 山崎 悟	東北文化学園大学 東北文化学園大学 福島大学 (株)ユアテック (有)高橋設備設計事務所 TOTO(株) (有)前田衛生興業 三建設備工業(株) エスワイ設備設計	99
B-12	災害時の避難所の飲み水とトイレに関するガイドライン その2 し尿の処理の種類	○ 岡田 誠之 赤井 仁志 草刈 洋行 高橋 秀一 寺田 英彦 前田 信治 船木 寮一 山崎 悟 福井 啓太	東北文化学園大学 福島大学 (株)ユアテック (有)高橋設備設計事務所 TOTO(株) (有)前田衛生興業 三建設備工業(株) エスワイ設備設計 東北文化学園大学	103
B-13	震災被災者による都市河川での応急取水活動と水辺空間に関する研究 東日本大震災での仙台市梅田川の場合	○ 八十川 淳	東北文化学園大学	109

【エネルギー消費】		司会: 小林 光	東北大学	掲載 ページ
13:10~13:58 口頭発表B会場 (3階5352教室)				
B-14	秋田県における非住宅建築物の低炭素化に向けた省エネルギーシナリオの作成	○ 内海 禎一 長谷川兼一 竹内 仁哉 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	113
B-15	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第2報 電力モニタリングデータに基づく需要予測モデル	○ 大塚 彩美 中村 省吾 平野勇二郎 五味 馨 藤田 壮 鳴海 大典	横浜国立大学 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 横浜国立大学	117
B-16	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第3報 電力需要の季節変化と気温感応度の分析	○ 平野勇二郎 中村 省吾 五味 馨 藤田 壮 大塚 彩美 鳴海 大典	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 横浜国立大学 横浜国立大学	119
B-17	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第4報 工学的・社会的手法による電力需要予測(Engineering and social based prognosis)	○ Lubashevskiy Vasily 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 国立環境研究所	121

【システム開発】		司会: 鈴木 道哉	東北学院大学	掲載 ページ
14:03~14:51 口頭発表B会場 (3階5352教室)				
B-18	空調設備機器から発生する低周波音の実態と影響に関する研究	○ 沼田 寿明 川村 広則 須藤 諭 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 東北文化学園大学	125
B-19	PEDOT/PSSを用いた通電再生型デシカント空調における除湿エレメントの最適化に関する研究	○ 松田健太郎 小林 光 日浦 良太 金井 文彦	東北大学 東北大学 東北大学 (株)理学	129
B-20	海風により変化する広域の温湿度分布と市街地上空の気流性状の時系列変化の同時計測 -温湿度の多点同時測定とドップラーライダー計測に基づく分析-	○ 小野田真帆 山本ミゲイル 石田 泰之 持田 灯 渡邊 浩文 上田 裕洋	東北大学 東北大学 東北大学 東北大学 東北工業大学 日本気象(株)	133
B-21	(欠番)			

3. 技術展示

【技術展示】		司会: 後藤 正徳	第一工業(株)
コアタイム 11:50~12:25 (展示は8:50~16:00)		技術展示会場 (3階5351講義室)	
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	地中熱ヒートポンプによる冷暖房システム	サンポット(株)仙台営業所	
T-4	空調冷熱総合管理システム「AE-200J」の紹介	三菱電機住環境システムズ(株)	
T-5	低炭素エコ素材ル・エコ(段ボールダクト)・多孔羽根式低騒音型VAV	協立エアテック(株)	
T-6	浅層埋設用螺旋状地中熱交換器	(株)イノアック住環境	
T-7	予備乾燥装置付き木質バイオマスボイラー	(株)ササキコーポレーション	
T-8	画像型人感センサ	オムロン(株)	

4. 特別セッション

空気調和・衛生工学会創立100周年記念 空気調和・衛生工学会東北支部講演会

【特別セッション】		司会: 小林 光	東北大学	掲載 ページ
15:00~16:30 口頭発表A会場 (3階5353講義室)				
「関連学協会賞作品にみるスマート設備システムへの取組 その2」				137
プログラム				
1. 開会挨拶	第7回学術・技術報告会組織委員長	田原 誠	(株)竹中工務店	
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	内海 康雄	仙台高等専門学校	
3. 講演	空気調和・衛生工学会振興賞 第30回技術振興賞受賞 「北海道ガス札幌東ビル 技術開発・研修センターの 環境計画と建築設備」 第5回カーボンニュートラル賞(北海道支部)受賞 「北海道ガス札幌東ビルにおける低炭素化の取組み」	市川 卓也	(株)山下設計	
4. パネルディスカッション	・コーディネーター ・パネリスト	内海 康雄 小坂 千里 梅田 裕之 市川 卓也	清水建設(株) 大和ハウス工業(株)	
5. 閉会挨拶	空気調和・衛生工学会東北支部	赤井 仁志	福島大学/北海道大学	

5. 閉会式

【閉会式】		司会: 田原 誠	(株)竹中工務店
16:30~16:45 口頭発表A会場 (3階5353講義室)			
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	船木 寮一	三建設備工業(株)
優秀発表奨励賞 受賞式	空気調和・衛生工学会 東北支部長	須藤 諭	東北文化学園大学

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部 第7回 学術・技術報告会 交 流 会

平成30年3月9日(金)

ホテル法華クラブ仙台 2階ピア
(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 2階ピア			【会費:5,000円】
開会挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長	須藤 諭	東北文化学園大学
共催・協賛・後援団体代表祝辞	建築設備技術者協会 東北支部長	黒澤 正志	
乾杯	日本建築学会東北支部環境工学部会 部会長	小林 光	東北大学
【 歓 談 】			
閉会挨拶	第7回学術・技術報告会 組織委員会委員長	田原 誠	(株)竹中工務店

A-1

熱伝導率プロファイリング法 (TCP)を用いた地盤の有効熱伝導率計測

○神宮司元治 (産業技術総合研究所), 赤井仁志 (福島大学), 内田洋平 (産業技術総合研究所)

Effective thermal conductivity measurement of soil using thermal conductivity profiling method (TCP)

Motoharu Jinguuji (AIST), Hitoshi Akai (Fukushima University) and Youhei Uchida (AIST)

キーワード：有効熱伝導率, TCP, 地中熱, 標準貫入試験

はじめに

地中に設置した熱交換井に水を循環させ、地盤との熱交換を行う地中熱利用技術は、我が国においても増加しており、累計設置件数も 2015 年度において 2000 件を突破している。地中熱ヒートポンプシステムについては、平成 29 年 4 月に施行された「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」において、熱源推温度計算手法の計算を行うための地盤の有効熱伝導率 λ を計算の条件とされている。上記の計算に用いる地盤の有効熱伝導率 λ については、サーマルレスポンステストによる計測値を使う方法と土質柱状図やデフォルト値 (1.2Wm/K) を使う方法により確認することになっているが、デフォルト値などを使う方法は、計測値による値よりもかなり低い値になることが多い。実設計において、地盤の熱伝導率の値が小さな場合、熱交換器の長さや本数を増やす必要が生じるため、実際の地盤の熱伝導率を計測することが望ましい。地盤の熱伝導率の計測には、上記の「地中熱ヒートポンプシステムの熱源水温度計算手法」では、地盤の有効熱伝導率の計測について、一定加熱・温水循環方式熱応答試験 (サーマルレスポンステスト: TRT) を使って出た結果を使用することになっている。TRT では、ボーリング孔を掘削し、採熱管を地中に埋設して温水を循環させ、地盤の有効熱伝導率を評価する方法であり、採熱管を地中に設置するために新規にボーリング孔を掘削する必要があり、コストがかかる方法であった。

1. 熱伝導率プロファイリング法

産総研では、旧来から光ファイバ温度センサーと電熱加熱であるケーブルヒータを用いた熱伝導率プロファイリング法 (TCP) について研究を行ってきたが、近年、電子温度センサーの小型化とデジタルネットワーク化によって、極めて細い(直径 6mm) 多点ケーブル温度センサーが利用可能

になった。高価な光ファイバ温度計を用いず、低価格な多点ケーブル温度センサーを利用できるため、低コストで小口径のロッドを用いた熱伝導率プロファイリング法の適用が可能になった。本センサーは、一般的な土木調査で良く用いられる小口径のボーリングロッドに挿入することが可能であり、建築物の建設前に行われる土木調査で一般的に用いられる標準貫入試験やサウンディング試験においても、適用が可能である。ここで、表 1 に TRT と TCP の比較を挙げる。

表-1 TRT と TCP の比較

	サーマルレスポンステスト (TRT)	熱伝導率プロファイリング法 (TCP)
原理	非定常線状熱伝導法	非定常線状熱伝導法
加熱方法	温水循環加熱	電熱加熱 (ケーブルヒーター)
温度測定方法	井戸の入り口, 出口温度の計測 (孔内計測の場合もあり)	孔内多点温度計測
測定井戸	Uチューブもしくは、同軸熱交換器の設置の必要あり。	ボーリングロッド (40.5mm), 塩ビ管など、ケーシングを問わない。
専用井戸	150mm 程度の専用の井戸を掘る必要あり	なし。標準貫入試験のボーリング井戸 (66mm) を代用可能
投入平均熱量	70W/m 程度 (入口・出口温度, 水熱容量, 流速で算定)	20W/m 程度 (電熱加熱なので投入電力で推定)
測定時間	3 日程度	24 時間程度

TCP は、TRT と同じ原理 (非定常線状熱伝導法) を用いているが、TRT と異なり TCP では、ケーブルヒータを用いた電熱加熱を行っている。

ここで、図1に TCP の測定装置を示す。測定装置は、多点ケーブル温度センサー、安定化電源、ケーブルヒータで構成され、標準貫入試験後のボーリング孔に小口径のボーリングロッドを入れて、その中にケーブルヒータと多点温度ケーブルを入れて計測を行う。



図1 TCP 計測装置

多点温度ケーブルで得られた温度データは、非定常熱伝導法に基づき、図2のように対数温度勾配から有効熱伝導率が計算される。ケーブルヒータの周囲では、局所対流のため温度変化に乱れが生じるが、最小二乗法によって勾配を求める。

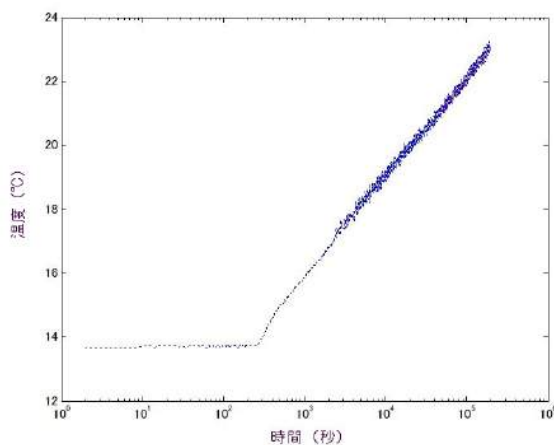


図2 対数温度勾配の決定

TCP はケーブルヒータによる電熱加熱であるため、ロッド内に水の流動は生じず、単位長さ当たりの供給熱量を一定にすることができ、深度毎の有効熱伝導率を正確に求めることができる。

ここで、図3に標準貫入試験終了後に熱伝導率プロファイリング法を適用し、深度方向 50m までの有効熱伝導率の深度分布を計測した例を示す。なお、図3の中で赤線が N 値、黒線が有効熱伝導率である。また、ボーリングサンプルから判別した大まかな地層を図中に示す。地層構造や N 値の変化に併せて、有効熱伝導率が変化している。なお、本地点の平均有効熱伝導率は、 1.24W/mK で砂・シルト地盤として平均的な値である。

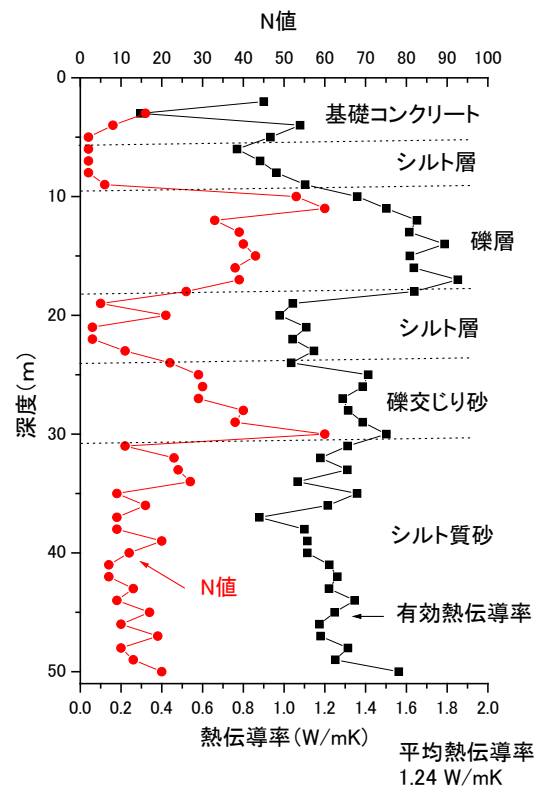


図3 標準貫入試験終了後に同じボーリング孔で熱伝導率プロファイリング法を行った例

2. まとめ

TCP は、標準貫入試験と同時に測定が可能であり、建築物の本格設計前に実施することができるため、地中熱導入決定のための予備調査法として意義があると考えられる。なお、本技術は、福島県内の複数の企業が実用化を目指し、有限責任事業組合を結成して実用機の開発を行っている。

A-2

伝統工法「たたき」の製作と調湿効果実験の教材化に関する研究

○荒川大多（宮城教育大学），菅原正則（宮城教育大学）

Study on a Learning Program of "Tataki" as a Japanese Traditional Construction:
Making Procedure and Experiment of Moisture Absorption/Desorption

Arakawa Daita (Miyagi University of Education),
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education)

キーワード：伝統技術，教材，炭酸カルシウム，吸放湿試験

はじめに

K 家庭科の授業において、住環境分野では児童・生徒が体験的・実践的に取り組める教材が少ない。住居模型等の製作可能な対象物、製作方法に関する資料が少なく、製作したとしても活用方法が見つからないため授業で取り扱うことをためられるのが、その原因に挙げられるのではないだろうか。K

K 大友¹⁾は、日本の気候に合わせて培われてきた伝統工法に着目し、たたきについて教育現場で利用できる資料の整備の観点から簡易的な製法等を提案することで、環境調整作用についてのデータを集めた。たたきブロック製作の材料は通常、真砂土（粘土質を含む）、にがり塩、消石灰（水酸化カルシウム）を使用してきた。しかし文部科学省²⁾は、「運動時にライン引きに使用されている消石灰は強アルカリ性で、目に入ると角膜と結膜等を侵し、視力に関わる障害を残すこともあります。」と述べ、消石灰に変わってより安全な炭酸カルシウムの使用を勧めている。K

K そこで、たたきブロックを学校で製作することを想定して、炭酸カルシウムを材料とすることが可能かどうかを検討する必要がある。また、たたきが建築材料として優れている点の1つと言われる吸放湿性能を、学校にある機材で確かめる方法を検討する。K

K

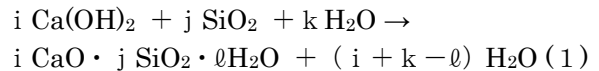
1. 炭酸カルシウムを用いたたたきの硬化

1.1 たたき硬化の仕組み

K 一般に、たたき製作には消石灰が用いられ、それが土の中の成分と化学反応して硬化することが知られているが、具体的に示した資料は見当たらない。大友¹⁾は、たたき硬化の仕組みについて、

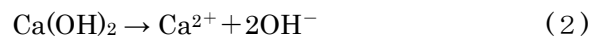
他のセメント類の硬化の例から、粘土質に含まれる反応性の高いケイ素と消石灰よりケイ酸カルシウム等が生成されることによって起こると推察した。K

K ケイ酸カルシウム水和物の合成は、一般に次式で表すことができる。i、j、k、lの数値は、温度や配合によって異なると考えられる。K



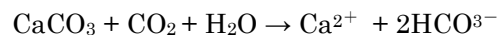
1.2 炭酸カルシウムたたきブロック製作の可能性

K たたきの硬化がケイ素とカルシウムと水との反応によるものだとすると、水との反応のし易さがたたき製作にも影響するのではないかと考える。消石灰は水に少量溶解し、電離しカルシウムイオンを発生させる³⁾。K



このカルシウムイオンがケイ素と反応することによって、式(1)の上記の化学反応が得られ硬化するのではないかと考える。

K 一方、炭酸カルシウムは水に対して難溶性を示す。しかし、二酸化炭素を過剰に与えれば、水と二酸化炭素が結合することによって、炭酸水素カルシウムとなり水溶する³⁾。K



そこで、たたき製作において炭酸カルシウムと土を混ぜる際に、袋の中で二酸化炭素と充分反応できるように工夫すれば、炭酸カルシウムでのたたき製作も可能であると考えられる。K

K

2. たたきブロックの強度検証

2.1 たたきブロックの製作手順と準備物

準備物は、大友¹⁾が製作した従来のたたきブロックの材料を、消石灰から炭酸カルシウムへと変

更したものである(表-1)。

K 製作手順は次の通りである。

- ①土および炭酸カルシウム(両方合わせて1.0 L)、食塩(小さじ 1.5 杯)を丈夫なビニール袋(衣服用の圧縮袋など)に入れてよく混ぜる。このとき、袋には空気を多めに入れて、空気に触れさせるようによく振る。土の状態がしっとりしていなければ、霧吹きで水を加える。袋を振った後に、1~1.5 cm 程度の土の塊が、4 割程度見られ、混ぜている土が袋に付着するような状態を目安とする。
- ②木枠(図-1)の内側に、ガイドラインを書き込んだ牛乳パックを組み立て、セットする。
- ③混ぜた土を、型枠の1の目盛線に合わせて2~3cm程度の深さになるように入れ、突き棒で均等に突き固める。はじめにやさしくならし、徐々に中くらい、そして力強く叩く(立って叩くと力が入る)。
- ④十分に突き固められたと思ったら、突き棒でたたき表面の中央を10回ほど叩いて凹みをつけてから、次の土を加える。
- ⑤③、④の作業を、土を加えた回数と同じ数が書かれている目盛線まで4回繰り返して、たたきブロックの高さが7cm程度になるまで突き固める。
- ⑥木枠の底にたたきを押し出すための板(7cm×7cm)を当てて、たたきブロックを取り出す。

2.2 たたきブロックの製作

K 炭酸カルシウムたたきブロックの試作を行った。材料配合は炭酸カルシウムの割合を75、50、40、30、25、20、10、0%とした。その結果、炭酸カルシウムの割合が25%以上だと明らかに脆く、取り扱いにくかった。

2.3 乾燥試験

K たたきブロックが、成形後に乾燥し固まるまでの期間を検討するため、生成後、常温の室内で養生している間、1日1回、たたきブロックの質量を計測した。その結果、10日以降になると、たたきブロックの質量が605~683 gであるのに対して、減少質量が精度±0.02gの電子天秤による計測において0.10g以下になり、12日目には増加も見られたことから、たたきブロックの養生期間は2週間あれば充分であると考えられる。

表-1 たたきブロック製作の準備物

準備物	<ul style="list-style-type: none"> ・牛乳パック ・突き棒 ・木枠 ・計量スプーン(小さじ) ・計量カップ(500ml) ・霧吹き ・ビニール袋(A4 サイズ) ・はさみ ・バケツ ・油性マジック
材料 (たたきブロック1個分)	<ul style="list-style-type: none"> ・土(粘土質を含むもの) ・炭酸カルシウム ・塩(にがりを含むもの)

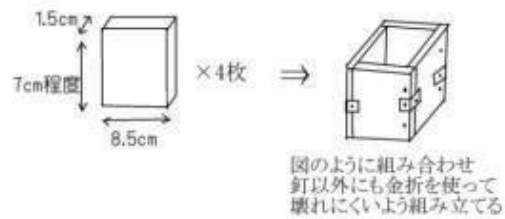


図-1 木枠

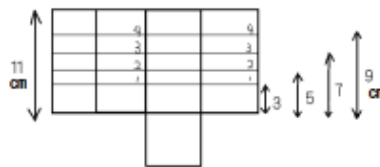


図-2 牛乳パック型枠



図-3 炭酸カルシウム25%の40cm落下後

2.4 落下試験

K たたきブロックを教材として使用する際に、運搬中の落下等に耐えられるかを検討するため、落下試験を行った。方法は、炭酸カルシウム25、20、10%のたたきブロック各5個を、10cmずつ高さをあげながら、たたきブロックが形状を維持する高さを調べた。その結果、大半のたたきが20cm

までは維持することが分かった。特に炭酸カルシウム 25%のたたきブロックは、30 cm まで形状を維持したものが 2 つ見られた。25%のものは、割れ方についても、粉々にならずに大きく 2 つに分かれるものが他の 2 種類よりも多かったことから、25%のものが最も強度が高いと考える (図-3)。

K

3. たたきの吸放湿実験

3.1 板状たたきの製作

吸放湿によって変化するたたきの質量が微小であるため、学校現場では計測法が天秤などに限られることから、吸放湿実験には、たたきブロックよりも軽量のものが適していると考えられる。そこで、製作手順はたたきブロック同様に③の作業を行った後、たたきを取り出して得られる、薄い板状(縦 7 cm×横 7 cm×高さ 1~2.5 cm 程度)のたたき(乾燥質量 131~190 g)を考案し製作した。このことにより、体積当たりの表面積の割合が大きくなるので、実験に要する時間が短くなることも期待できる。

なお、炭酸カルシウムの板状たたきは著しく脆かったため、教材としては教員が前もって板状たたきを消石灰で製作するものとし、児童・生徒には消石灰に触れさせないようにする。K

3.2 乾燥試験

成形された板状たたきは、牛乳パックの底の面と接着している側面をカッターで切り取り、アルミ皿に入れて、常温の室内で養生した(図-4)。板状たたき(消石灰 25%、10%)各 5 個について、成形後から 1 日 1 回、質量を計測した。

K 減少質量は、いずれの板状たたきも 11 日目以降は 0.1 g 以下となった。このことから、板状たたきの養生期間も 2 週間で充分と考える。



図-4 板状たたき

3.3 吸湿試験

K まず、板状たたきの吸放湿の有無を確認するために、12 時間の吸放湿試験を行った。湿潤な環境と、養生時と同じ環境の 2 条件について、12 時間放置して、質量の変化を計測した。

K 湿潤な環境は、密閉できるクーラーボックス内に水の入ったビーカー(水面の面積 57 cm²)を置いて形成した。この環境(湿度 65%)では、吸湿前(湿度 30%)と比べ 0.2 g の増加が見られた。

K そこで、板状たたきの基本的なデータとして、時間経過と吸湿の関係を調べるために、2 時間おきの質量変化を観察した(図-5)。湿度は吸湿前 25%に対し、湿潤な環境は 45%であった。その結果、板状たたきは最初の 2 時間で一番多く吸湿していることが分かった。6 時間後には全てのもので 0.1g 以上の増加が見られた。8 時間以降は、ほとんど増加が見られなかった。つまり、教材として扱う際に、吸湿時間が最低 8 時間以上あれば、0.1g 以上の安定した増加を見ることができると言える。

K 参考資料として、板状たたきの最大吸湿量を調べた。板状たたきを湿潤な環境下に放置したところ、36 時間で吸湿が止まり、全く変化が見られなくなった。その結果、0.4 g の増加が最大だと考えられ、全体質量の 0.28~0.3%増加すると分かった。K

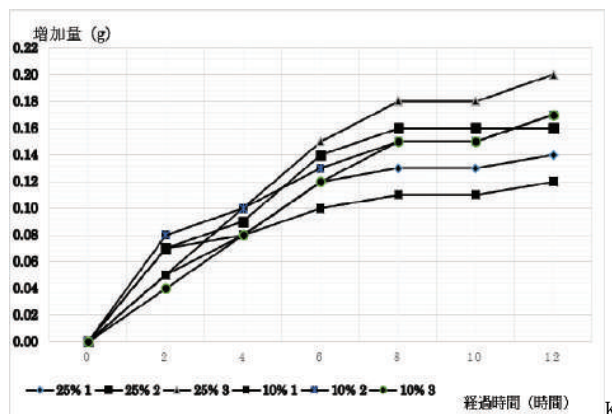


図-5 吸湿試験 (2 時間) 質量変化

3.4 放湿試験

K 湿潤な環境下(湿度 50%)で十分に吸湿させた板状たたきを、乾燥した場所(湿度 25%)に置き、2 時間ごとに質量測定した。10 時間以降の変化はほとんど見られなくなり、質量が安定していったと考えられる(図-6)。教材としても 10 時間以上

乾燥させれば、充分な放湿状態になると言える。

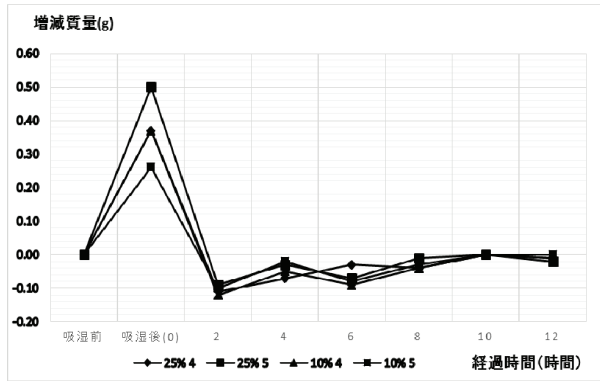


図-6 放湿試験（2時間）質量変化

K

4. 教材としてのたたきブロック使用の提案

本章では、2、3章で検討したたたきの性能を用いた教育プログラムを提案する。K

授業の流れについては次の通りである。K

- (1) 授業の目的を示す。
- (2) たたきブロックを製作する。
- (3) 板状たたきで吸放湿実験を行う。
- (4) 板状たたきの吸放湿の結果から快適な暮らしについて考察する。
- (5) まとめる。

K たたきブロック製作については2.1節で述べた手順と同様である。また(3)吸放湿実験の手順については次に示すとおりである。

- ①アルミ皿に入った板状たたきを班ごとに2個ずつ配布し、秤で質量を計り、ノートなどに記録しておく。
- ②板状たたきのうち、1個を日の当たらない温度変化しにくい部屋に置き、もう1個を同じ部屋に置いたクーラーボックス内に入れる。
- ③水を入れたビーカーを置いた後、クーラーボックスを密閉する。
- ④8時間以上放置し、その後それぞれ質量を秤で計り、記録しておく。
- ⑤クーラーボックス内外の板状たたきの置く場所を交換して、10時間以上放置し、質量を秤で計り、記録する。
- ⑥それぞれ記録した質量を比較する。

表-2 吸放湿実験の準備物

準備物	<ul style="list-style-type: none"> ・2.1と同様の物 ・秤(天秤及び電子質量計) ・クーラーボックス ・ビーカー ・板状たたき(1班につき2個) ・アルミ皿(板状たたきと同数) ※板状たたきに教員側があらかじめ用意しておく。
-----	---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

K

5. まとめ

本研究では、家庭科の住環境分野における実践的・体験的なものづくりができる教材として、安全性の高い炭酸カルシウムでのたたきの製作と、板状たたきを用いた吸放湿について試作及び実験を行い教育プログラムの実施方法を検討した。K

しかし、学校教育現場では、教材としてさらに明確に質量変化が見られるような板状たたきを製作することが必要であると考えられる。そのため、板状たたきの材料配合と吸放湿作用との関係について試験項目を増やし、それぞれの詳細なデータを集めることが重要である。K

K

参考文献

- 1)大友悠莉子：たたきの製作と環境調整作用の理解を支援する学習資料に関する研究：宮城教育大学卒業論文(2013,3)
- 2)文部科学省スポーツ・青年少年局学校健康教育課：運動場ラインなどに使用する石灰の取り扱いについて：19ス学健第19号(2007,11)
<http://www.hokenkai.or.jp/monbu/pdf/05.pdf>
(参照2017年5月19日)
- 3)日本化学会：化学便覧K 基礎編K 改訂5版：丸善(2004,2)
- 4)JIS A1476：2006K 建築材料の含水率測定方法

K

A-3

開放型石油暖房器具使用時における室内アルデヒド汚染に関する研究

○二科 妃里 (東北文化学園大学), 野崎 淳夫 (東北文化学園大学大学院),
土屋 貴寛 (東北文化学園大学大学院), 成田 泰章 (暮らしの科学研究所)

A Study on the Aldehydes emitted from unvented combustion appliances

Hisato Nishina (Tohoku Bunka Gakuen Univ.) Atsuo NOZAKI (Graduate School of Tohoku Bunka Gakuen Univ.) Takahiro TSUCHIYA (Graduate School of Tohoku Bunka Gakuen Univ.) Yasunori NARITA (Life Science Research Laboratory)

キーワード：開放型石油暖房器具、室内空気環境、アルデヒド類

1. はじめに

近年、開放型燃焼器具は 1)省エネルギー性への期待、2)局所暖房器具として持ち運びが容易な点、3)東日本大震災を契機に節電が求められたことなどにより、寒冷地における需要が増している。

PIO-NET (全国消費生活情報ネットワーク・システム) には、同器具使用に伴う多方面の苦情が寄せられている。例えば石油ファンヒーター使用中に「異臭」「目の刺激」「強い臭い」「喉の痛み」を感じるといった問題が申告されている 1)。

開放型燃焼器具は灯油やガスを燃焼させ、熱と共に燃焼排ガスを室内に放出することで、室内環境の質が変化する。ただし、どのような変化が生ずるかについて、科学的に明らかにした報告はほとんどない。

本研究では開放型石油暖房器具使用に伴うアルデヒド類による室内空気汚染を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実験室

実測調査では器具の室内環境に与える影響を正しく求めることが難しい。そこで本研究では、大型の実験チャンバーで換気量制御を行い、器具使用時の空気汚染物質濃度の変化を求めた。

実験室は 6 畳サイズ (25 m³) の気積を有し、温度、相対湿度、換気回数が任意に制御できるステンレス製のチャンバーである。

室内環境条件は、東北地方の住宅における冬季の室内環境に近づけるため、換気回数：0.5±0.05 h⁻¹、温度：10±3℃、相対湿度：30±20%に制御

し、換気を通して常時清浄空気を供給した。図-1 に実験システムの概要を示す。

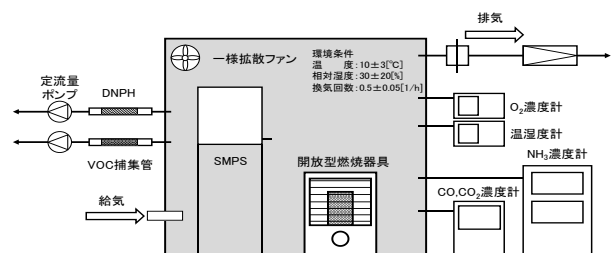


図-1 実験室概要

2.2 測定対象器具

測定対象器具は、2015年11月に量販店で購入した反射式石油ストーブ(A)、石油ファンヒーター(A)(B)の計3台である。器具には残留灯油を新品灯油で燃焼・置換し、燃料タンクが、ほぼ満タンになるように給油した。

反射式石油ストーブ(A)においては、「温度調節つまみ」を適正燃焼範囲の最下限に設定し、石油ファンヒーター(A)(B)では温度設定を23℃とした。

なお、表-1における器具の定格発熱量、燃料消費量率は器具やカタログに記載されたものであり、実際のものとは必ずしも一致しない。

そこで、実際の燃料消費量率 B (kg/h) を求めるために、器具の使用時間 T (h) における燃料消費重量 W (kg) を電子天秤により測定し、次式(1)式にて求めた。

結果を表-2に示すが、反射式石油ストーブ(A)の B (kg/h) は60分間の使用ではほぼ一定であった。ただし、石油ファンヒーター(A)(B)においては、使用初期の段階での B (kg/h) が大きく、0-10分値は50-60分値の2.13~2.76倍の値を示した。

表-4 開放型石油暖房器具使用に伴う室内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

specimen name	number of tests	0min	3min	10min	20min	30min	60min
Radiant-A	1st	3.7	47.5	70.4	77.0	86.3	105.6
	2nd	3.7	53.2	74.2	81.5	92.8	118.4
	3rd	3.5	56.1	70.0	85.3	88.2	121.7
	Avg.	3.6	52.3	71.5	81.3	89.1	115.2
	SD	0.1	3.6	1.9	3.4	2.7	6.9
Fan-A	1st	4.4	14.7	20.5	35.3	40.9	66.6
	2nd	8.9	14.5	21.3	27.8	33.0	53.0
	3rd	3.1	12.8	17.9	20.6	29.7	35.9
	Avg.	5.5	14.0	19.9	27.9	34.5	51.8
	SD	2.5	0.9	1.5	6.0	4.7	12.6
Fan-B	1st	2.5	13.7	12.8	17.0	17.9	15.1
	2nd	11.7	8.3	15.4	18.6	20.4	18.1
	3rd	17.3	9.0	16.5	16.5	16.5	16.5
	Avg.	10.5	10.3	14.9	17.4	18.3	16.6
	SD	6.1	2.4	1.6	0.9	1.6	1.2

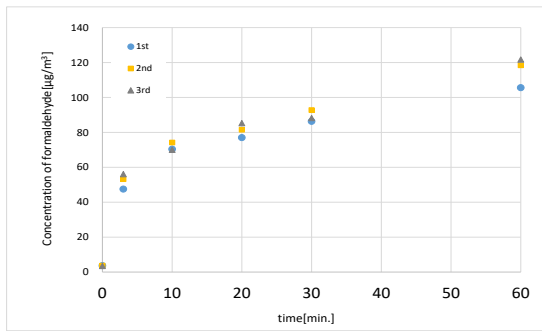


図-2 反射式石油ストーブ(A)使用に伴う室内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

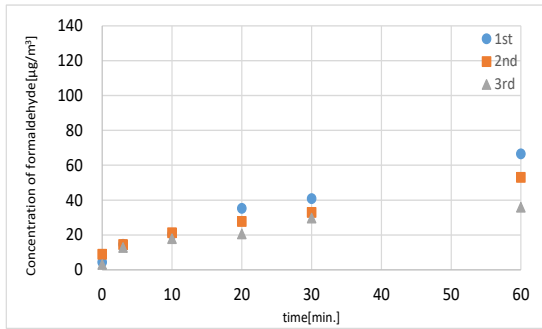


図-3 石油ファンヒーター(A)使用に伴う室内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

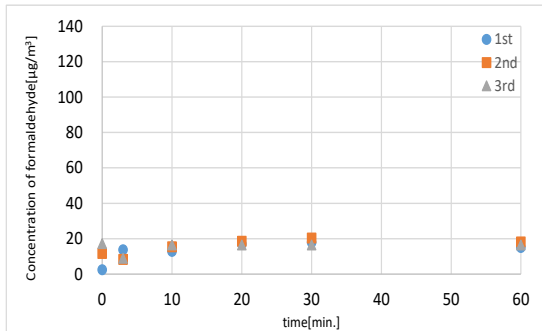


図-4 石油ファンヒーター(B)使用に伴う室内ホルムアルデヒド濃度の経時変化

3.3 開放型石油暖房器具使用に伴う室内アセトアルデヒド濃度の経時変化

表-5、図-5~7に器具使用時における室内アセトアルデヒド濃度の経時変化を示す。

反射式石油ストーブ(A)では、器具使用開始直後より室内アセトアルデヒド濃度が顕著に上昇した。

一方で、石油ファンヒーター(A)では、器具使用開始直後の室内ホルムアルデヒド濃度の大きな変化はみられなかったが、時間経過とともに上昇した。また、石油ファンヒーター(B)では、器具使用開始から実験終了まで室内ホルムアルデヒド濃度の大きな変化はみられなかった。

器具形式毎に3分値、60分値(平均値±標準偏差)を求めると、反射式石油ストーブ(A)のアセトアルデヒド濃度は、3分値： $22.6 \pm 5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、60分値： $42.2 \pm 2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ を示した。また、石油ファンヒーター(A)では、3分値： $10.3 \pm 0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、60分値： $30.1 \pm 2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ となり、同(B)においては、3分値： $10.1 \pm 3.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 、60分値： $15.2 \pm 3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であった。

厚生労働省の定めるアセトアルデヒドの室内濃度指針値は $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ であるが、反射式石油ストーブ、石油ファンヒーター(A)(B)共に室内濃度指針値を下回った。

表-5 開放型石油暖房器具使用に伴う室内アセトアルデヒド濃度の経時変化

specimen name	number of tests	0min	3min	10min	20min	30min	60min
Radiant-A	1st	8.9	16.5	23.0	32.5	27.3	39.6
	2nd	8.8	29.3	24.7	33.9	34.3	45.1
	3rd	8.4	21.9	22.4	26.4	30.5	41.8
	Avg.	8.7	22.6	23.4	30.9	30.7	42.2
	SD	0.2	5.2	1.0	3.3	2.9	2.3
Fan-A	1st	5.8	9.4	11.6	21.8	20.0	33.6
	2nd	9.7	11.2	15.7	17.0	22.1	27.1
	3rd	19.6	10.2	18.0	14.6	19.1	29.5
	Avg.	11.7	10.3	15.1	17.8	20.4	30.1
	SD	5.8	0.7	2.6	3.0	1.3	2.7
Fan-B	1st	16.1	9.5	9.6	15.6	10.9	19.1
	2nd	17.0	14.1	17.9	14.0	19.7	11.1
	3rd	17.3	6.8	12.8	14.7	12.3	15.5
	Avg.	16.8	10.1	13.4	14.8	14.3	15.2
	SD	0.5	3.0	3.4	0.7	3.9	3.3

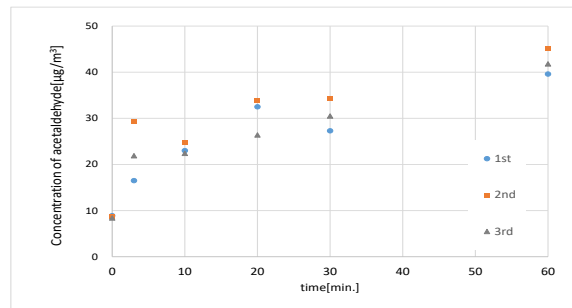


図-5 反射式石油ストーブ(A)使用に伴う室内アセトアルデヒド濃度の経時変化

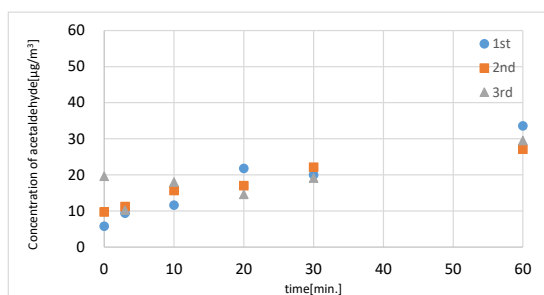


図-6 石油ファンヒーター(A)使用に伴う室内アセトアルデヒド濃度の経時変化

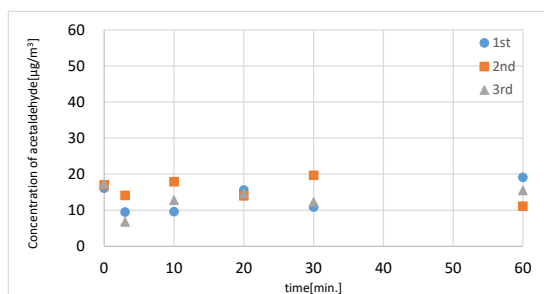


図-7 石油ファンヒーター(B)使用に伴う室内アセトアルデヒド濃度の経時変化

4. 考察

本研究では器具をチャンバー内で着火したが、反射式石油ストーブ(A)のホルムアルデヒド濃度(60分値)は、厚生労働省の室内濃度指針値を超過した。ただし、器具を室外で着火しチャンバーに持ち込んだ場合³⁾には、同室内濃度指針値を超過しない。また、アセトアルデヒドでは同室内濃度境指針値を超過しなかった。

同一器具におけるホルムアルデヒドとアセトアルデヒドの室内濃度上昇性の違いは、器具使用の状況(着火操作)が異なることに起因している。

今回は実際の器具使用状況に基づき、室内で器具の着火操作を行ったが、これにより、器具の着火直後の汚染物質発生特性が再現され、実際の使用工程でのアルデヒド類の室内濃度の上昇性が求められたと考えられる。

反射式石油ストーブ(A)では、燃焼消費量はほぼ一定であるが、温度上昇と同様に時間経過に伴いアルデヒド類濃度の上昇性が確認できた。一方、石油ファンヒーター(A)(B)は、短時間で温度上昇させるように設計されているため、多くの灯油が燃焼炉に供給され燃焼消費量は多くなるが、設定温度に到達すると温度は上昇せず一定になるため、燃

焼が抑制されアルデヒド類濃度も同様に顕著な変化はみられなかったと考えられる。

5. まとめ

- 1) 寒冷地における実際の開放型石油暖房器具の使用状況を調査し、器具の使用状況を明らかにした。
- 2) 実験は6畳サイズ(25 m³)の環境制御型チャンバーで行い、換気回数を0.5±0.05 h⁻¹に制御した。
- 3) 実際の器具使用方法に基づき、器具を実験室内で使用した。
- 4) 実験室内に器具を使用しない初期環境条件(温度:10±3℃、相対湿度:30±20%)を構築し、実験を行った。
- 5) 温度は、器具使用60分後に、反射式石油ストーブ(A)では30.3℃なり、石油ファンヒーター(A)では器具の温度設置値に近い23.7℃と23.2℃となった。
- 6) 反射式石油ストーブ(A)において、室内のホルムアルデヒドとアセトアルデヒド濃度は、着火直後から顕著に上昇し、60分値では室内濃度指針値を超過した。
- 7) 石油ファンヒーター(A),(B)では、ホルムアルデヒド、アセトアルデヒド共に、60分値における室内濃度は厚生労働省の室内濃度指針値を超過しなかった。

引用文献

- 1) 独立行政法人国民生活センター:石油ファンヒーターによる室内空気汚染、2007年10月
- 2) 野崎淳夫,吉澤 晋,小峯 裕己:室内酸素濃度の変化が石油ストーブ,ファンヒーターのNO_x,CO発生特性に及ぼす影響,日本建築学会計画系論文報告集(411),pp.9-16,1990年5月
- 3) 二科妃里,野崎淳夫,土屋貴寛,庄司大輔,成田泰章,佐久間俊樹:開放型燃焼器具による室内空気汚染に関する研究 その3 石油ストーブによるVOC汚染,第33回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会,2016年4月

A-4

A-4 JEM1467 による空気清浄機の煙草臭気除去性能の検証

○一條佑介（東北文化学園大学）、野崎淳夫（東北文化学園大学）

Experimental verify on durability performance of tobacco odor in
room air cleaner used by JEM 1467

Ichijo Yusuke (Tohoku bunka gakuen Univ.), Nozaki Atsuo (Tohoku bunka gakuen Univ.),

キーワード：空気清浄機，たばこ煙，JEM1467，耐久性能

1. はじめに

現在、図-1 に示すように経済産業省公表によれば、2014年の空気清浄機の国内出荷台数は200万台以上、国内普及台数は約1,500万台に増加している¹⁾。

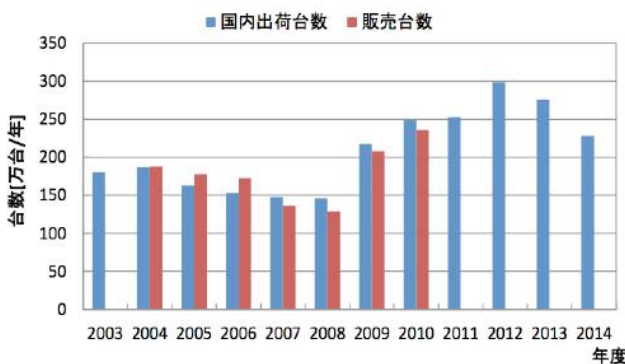


図-1 空気清浄機の国内出荷台数・販売台数¹⁾

市販空気清浄機は、活性炭など多孔質素材での吸着、あるいは触媒、光触媒、電子装置から発生する活性種、オゾン、イオンなどによる分解作用で、ガス状物質汚染を低減させようとしているが、機器のガス除去性能には解決すべき課題がある。

また、分解作用を用いた機器では、各種の活性種(オゾンの場合は家庭製品基準値で0.05ppmが上限)が生成されることに加え、空気には窒素や微量でも二酸化炭素が含まれているため、原子同士が反応して、NO_x(窒素酸化物)やCO(一酸化炭素)が生成²⁾されるため、健康への影響が懸念されている。の

1.1 空気清浄方式

(1) 吸着方式

活性炭などの多孔質材料を用いる吸着方式には、ガス除去性能が早期劣化する問題がある。筆者らは空気

清浄機の性能劣化を引き起こす実験装置を用いた実験方法により、機器のホルムアルデヒド除去性能の劣化性を定量的に求めたが、ホルムアルデヒド供給濃度を100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ とし、器具を連続運転すると、僅か1ヶ月間の使用でホルムアルデヒド除去性能が59%劣化する³⁾。単ガスで汚染負荷であっても、このような早期劣化が起こるが、一般の室内環境ではさらに汚染負荷は高いと見積まれる。このような吸着方式におけるガス除去性能の早期劣化は、活性炭などの吸着材に使用される添着剤の特性にある。

(2) 分解方式

触媒、光触媒、電子装置などを用いる分解方式については、耐久性能の早期劣化に対して、有利な期待感があるものの、吸着方式に比較して、除去性能そのものが小さくなりがちで、オゾンや有害な二次生成物質の発生が懸念される。

(3) 活性種・イオン放出式

OHラジカルやオゾンなどの活性種やイオン粒子などを室内に放出し、汚染物質の分解除去や無害化を図る方式であり、ガス除去性能の持続性に期待感がある。ただし、気中拡散した汚染物質と如何に効率よく結合するかが課題となる。放出物質の安全性については分解方式と同様である。

(4) 併用方式

上記(1)~(3)を組み合わせた方式

1.2 耐久性能試験

のいずれの方式についても、実際の耐久性能は機器ごとに異なり、個別の試験を行って初めて機器性能が判明する。

のそのため、JEMA（日本電機工業会）では、世界に類のないタバコ煙に対する耐久性能試験法（JEM 1467）⁴⁾を制定し、試験法を公開している。

1.3 研究目的

のそこで本研究では、JEM1467により(1)吸着方式と(3)活性種・イオン放出方式を組み合わせ(4)併用方式の空気清浄機の耐久性を明らかにする。

2. 測定概要

の本研究では、タバコ煙により性能劣化を引き起こす試験方法(JEM1467³⁾)により試験を行った。

2.1 測定対象(空気清浄機)

の測定対象機器は、吸着方式と活性種・イオン放出方式を組み合わせ併用方式で、表-1に示す2010年製の空気清浄機である。

表-1 空気清浄機の仕様

AC-C	機器風量[m ³ /h]			適用床面積[m ²]	フィルタ構成 ①プレフィルタ②脱臭フィルタ ③集塵フィルタ	製造年
	大	小	小			
	270	168	48	35		2010

2.2 対象物質

のJEM1467³⁾に規定されているアンモニア、アセトアルデヒド、酢酸を測定対象物質とした。の

2.3 試験室

の図-1、写真-1に示すように、温湿度などの環境条件が制御でき、常時清浄空気が供給されている大型実験内にアクリル製の1m³チャンバーを設置した。チャンバー(1m³)内の初期環境条件は温度:20±0.5°C、相対湿度:50±1%とし、チャンバー内にはJEMAタバコ吸煙器と攪拌ファンを設置した。の

2.4 測定手順

- 1) のタバコ(5本)をJEMAタバコ吸煙器に設置する。の
- 2) のタバコ(5本)を6~8分間で同時燃焼させ、攪拌ファンの運転を開始する。の
- 3) のタバコ燃焼後、5分間を安定期間としタバコ煙を攪拌させる。の
- 4) 安定期間終了後、即時検知管により測定する。の
- 5) その後30分間機器を運転させ、機器の劣化を図る。の
- 6) の機器運転を停止し、検知管により測定する。の

2.5 初期ガス濃度測定

- 1) タバコの燃焼が終了した後、2~5分後とする。の
- 2) 測定順序は、アンモニアとアセトアルデヒドを最初に同時に測定し、次に酢酸を測定する。の

2.6 残存ガス濃度測定

- 1) の空気清浄機を30分間運転させる。の
- 2) の運転を中止し、初期ガス濃度測定2)と同じ方法で濃度を測定する。の

の

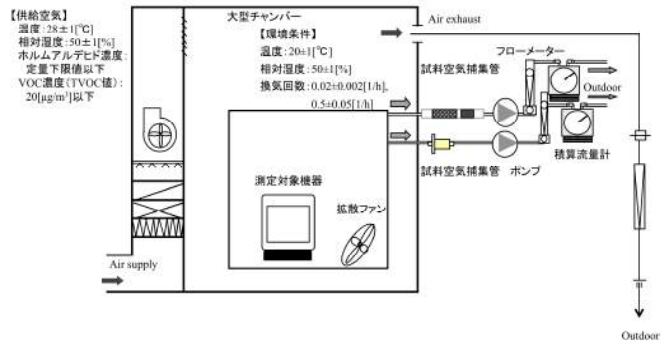


図-2 試験室の概要の

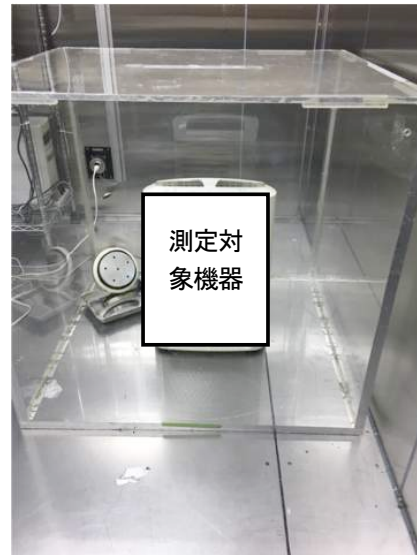


写真-1 1m³チャンバーの外観

2.7 空気清浄機の性能評価³⁾

(1) 除去率

の各汚染成分の除去率 η [%]は、次式(1)により算出する。の

$$\eta = \left(1 - \frac{C}{C_0}\right) \times 100 \quad (1)$$

のここで、 C_0 : 初期ガス濃度[ppm]、 C : 30分後の残存ガス濃度[ppm]とする。の

のまた、初期の除去率は、次式(2)により算出する。の

$$\eta_i = \frac{C_0 - C_i}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

のここで、 η_i : 初期の除去性能[%]、 η_1 : アンモニア除去率[%]、 η_2 : アセトアルデヒド除去率[%]、 η_3 : 酢酸除去率[%]とする。の

(2) 耐久本数

の各汚染物質の除去率 η_1 、 η_2 、 η_3 が50%になるまで

繰り返し、(2)式によって各汚染物質の除去率が50%に達した時のそれぞれのたばこ本数を K_1 、 K_2 、 K_3 を読み取る。

のそこで、総合耐久本数は、次式により算出する。の

$$K_t = \frac{K_1 + 2K_2 + K_3}{4} \quad (3)$$

のここで、 K_t ：総合耐久本数、 K_1 ：アンモニア耐久本数、 K_2 ：アセトアルデヒド耐久本数、 K_3 ：酢酸耐久本数とする。の

のなお、1日のたばこの試験方数は、50本以下とし、

(3)式で求めた K_t から、次式で実用耐久本数 M を求める。の

$$M = 40 \times K_t \quad (4)$$

3. 結果と考察

3.1 イオン発生の有無とアンモニア除去率との関係

の空気清浄機にタバコ煙による汚染負荷を与え、イオン発生有無の違いを検証した。イオン発生(有)の運転モードでは、イオン発生(無)の運転モードに比較して、アンモニア除去率が向上した。例えば、約250本値におけるイオン発生(有)の除去率は67.9%、イオン発生(無)では33.3%を示し、イオン発生によりアンモニア除去率が増大した。の

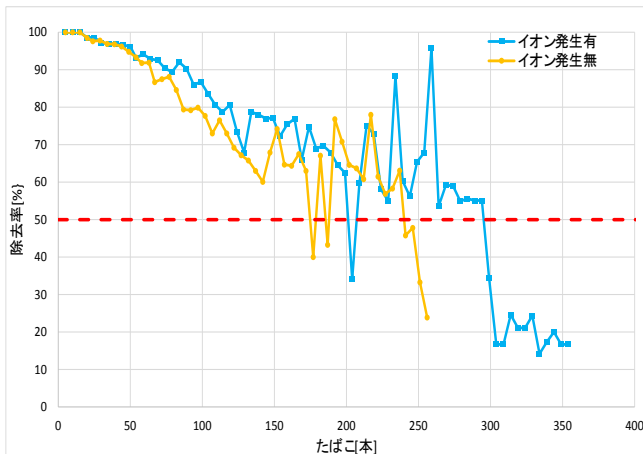


図-2 イオン発生の有無とアンモニア除去率との関係

の高電圧印加タイプのイオン発生装置では、放電形式や形状が様々あり、生成される活性種・イオン種が異なる。たとえば、空気中の酸素や水を分解して活性種を生成する場合は以下のような反応を利用する。の

- $e \rightarrow O_2 \rightarrow O_2^{+ \cdot} \rightarrow O_2^- \cdot$ (直接電離) の
- $e \rightarrow O_2 \rightarrow O_2^* \rightarrow O_2^- \cdot$ (解離) の
- $O^* \rightarrow H_2O \rightarrow 2OH \cdot$ (OHラジカル生成) の
- $e \rightarrow O_2 \rightarrow O_2^- \cdot$ (三体付着、負イオン生成) の

• $O \rightarrow O_2 \rightarrow O_2^- \cdot$ (三体衝突、オゾン生成) のなどがあるが、条件によっては大きなクラスター状の粒子 ($O_2^- \cdot (H_2O)_n$) が生成されることもある。の

のここで、化学反応式中の「e」は電子をあらわし、元素記号の右肩に付いている「*」は励起状態をあらわしている²⁾。の

3.2 イオン発生の有無とアセトアルデヒド除去率との関係

のアンモニアと同様に、空気清浄機にタバコ煙による汚染負荷を与え、イオン発生有無の違いを検証した。のイオン発生の有無の運転モードによる違いが、アセトアルデヒド除去率に与える影響は小さい。例えば、約250本値でイオン発生有の除去率は28.6%を示し、イオン発生無では、20.0%を示し、いずれも小さな除去率で両者に大きな違いはない。

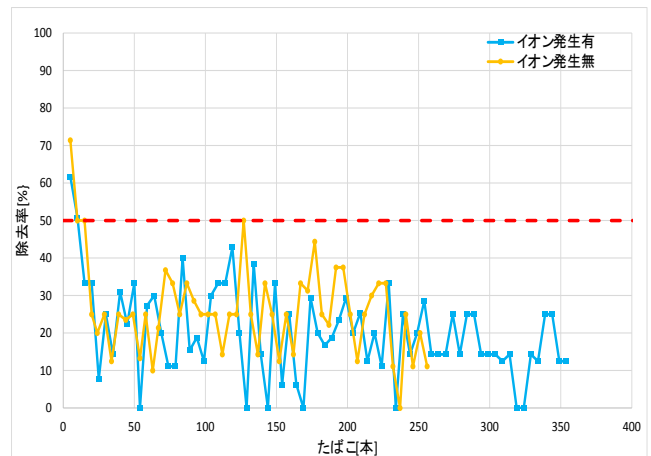


図-3 イオン発生の有無とアセトアルデヒド除去率との関係

3.3 イオン発生の有無と酢酸除去率との関係

のアンモニア、アセトアルデヒドと同様に、空気清浄機にタバコ煙による汚染負荷を与え、イオン発生有無の違いを検証した。イオン発生(有)の運転モードでは、イオン発生(無)の運転モードに比較して、酢酸除去率が向上した。例えば、約250本値のイオン発生(有)の除去率は87.5%、イオン発生(無)では44.4%を示し、イオン発生により、酢酸除去率が増大した。の

これは、アンモニアと同様に、空気清浄機運転に伴い発生したオゾンやOHラジカルなどは強い酸化作用のため、酢酸が分解されたものと推察される。の

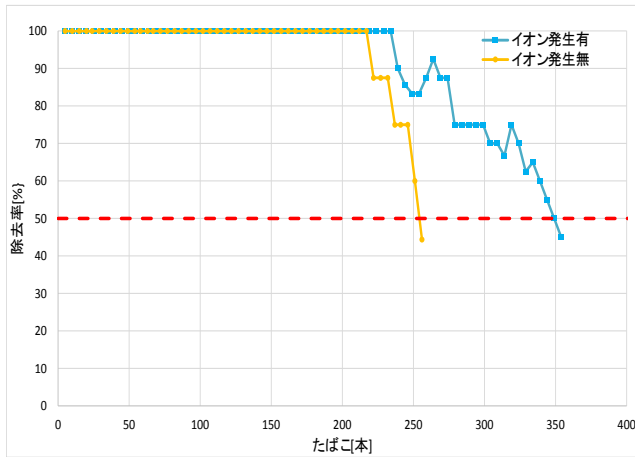


図-4 イオン発生の有無と酢酸除去率との関係

3.4 耐久本数

の表-2 では汚染物質毎の耐久本数を示している。
 のアンモニアではイオン発生 (有) : 299 本とイオン発生 (無) : 242 本を示し、同様に酢酸ではそれぞれ 354 本と 247 本となった。
 の結果として、イオン発生によりアンモニアでは 57 本、酢酸では 107 本分の耐久性能が向上した。ただし、アセトアルデヒドはアンモニアと異なり、本試験法で耐久性の目安となっている 50% 値を比較すると、耐久本数はイオン発生 (有) : 15 本、イオン発生 (無) : 20 本となり、共に少ない耐久本数となった。また、イオン発生の効果は見られなかった。

表-2 汚染物質毎の耐久本数

	イオン発生(有)	イオン発生(無)
アンモニア	299(本)	242(本)
アセトアルデヒド	15(本)	20(本)
酢酸	354(本)	257(本)
総合耐久本数	171(本)	135(本)
実用耐久本数	6830(本)	5390(本)

4. まとめ

の空気清浄機にタバコ煙による汚染負荷を与え、イオン発生(有)とイオン発生(無)の運転モードでは、アンモニアの耐久本数がそれぞれ 299 本と 242 本となった。同様に酢酸ではそれぞれ 354 本と 247 本となった。
 の結果として、イオン発生によりアンモニアは 57 本、酢酸では 107 本分の耐久性能が向上した。
 のただし、アセトアルデヒドの耐久本数は、それぞれ 15 本と 20 本となり、イオン発生の耐久本数への影響は見られなかった。
 のアンモニア、酢酸、アセトアルデヒドを対象とした実用耐久本数は、(アセトアルデヒドには効果が見られなかったものの)、イオン発生により約 20% 増大した。

引用文献

- 1) 株式会社三菱総合研究所、平成 27 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業の機械器具等の省エネルギー対策の検討に係る調査) 報告書、2016 年の 2 月の
- 2) 石島達夫、岸本茂：イオンを用いた空気清浄機の原理、2009 年 3 月の
- 3) 一條佑介、野崎淳夫：家庭用空気清浄機のホルムアルデヒド除去性能の劣化性に関する研究、室内環境 (第 13 巻第 1 号)、pp. 31~38、2010 年 6 月の
- 4) JEM-1467 家庭用空気清浄機：日本電気工業会規格、1995 年の

A-5

東北地方における戸建住宅の全体改修による環境改善効果に関する事例研究

K○石川K武尚（秋田県立大学）, K長谷川K兼一（秋田県立大学）

KKKKKK竹内K仁哉（秋田県立大学）, K松本KK真一（秋田県立大学）K

Case Study of Indoor Environmental Performance Improvement in Four Detached Houses Before and After Thermal Insulation Retrofit

Ishikawa Takenao (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：戸建住宅，断熱改修，室内温熱環境，エネルギー消費量

はじめに

近年、地球温暖化防止の観点から、住宅の省エネルギー化の促進が迫られている。民生家庭部門全体の省エネルギー化を推進するためには、既存住宅への対策も重要である。既存住宅の省エネルギー対策として、断熱改修が有効な手段として考えられているが、改修工事の際の手間やコスト、費用に見合った実際の効果について明らかにされた情報が少ないため、積極的に採用されていないのが現状である。本研究グループでは、東北地方の全体改修行われた事例4件を対象に、断熱改修前後の省エネルギーに関連する環境性能を詳細に調査する機会を新たに得ることが出来た。本報では、①冬季の室内温熱

環境、②エネルギー消費量、③実績値に基づいた初期投資回収年数について比較・評価し、断熱改修住宅の実態を明らかにするとともに、今後、断熱改修を推進するにあたっての課題を示す。

1. 調査住宅の概要

表-1に調査住宅の概要を示す。対象事例4件は全て在来軸組工法の木造住宅である。外皮平均熱貫流率（以下、 U_A 値）は設計図書に基づき算出した。改修後には対象事例が位置する基準値 $0.75W/m^2 \cdot K$ をすべての事例が満たした。

S邸とST邸は、住宅の老朽化に伴い、耐震性や省エネルギー性の向上を図るために、大規模な全体

表-1 調査住宅の概要

住宅名称	S邸(全体改修)		ST邸(全体改修)		K邸(増築+全体改修)		T邸(全体改修)	
所在地	山形県鶴岡市		山形県鶴岡市		山形県鶴岡市		宮城県仙台市	
構造	在来木造		在来木造		在来木造		在来木造	
住宅形式	戸建住宅		戸建住宅		戸建住宅		戸建住宅	
家族構成	夫婦+子(成人)+息子夫婦		夫婦+子供		祖父母+夫婦+子供(2人)		夫婦+子供(2人)	
概要項目	改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後
竣工年	1977年(築33年)	2010年	1975年(築41年)	2016年	1993年(築22年)	2016年	1971年(築41年)	2013年
延床面積	188.5 m ²	188.5 m ²	116.8 m ²	120.9 m ²	154.0 m ²	190.4 m ²	53.6 m ²	66.2 m ²
断熱材	天井・屋根	-	HGW16K 90mm +FF 50mm(天井) FF 35mm+50mm(屋根)	GW10K 50mm	FF 50mm(天井) HGW10K 100mm(小屋裏)	GW10K 100mm	-	HGW16K 240mm
	壁	-	FF 35mm +HGW16K 100mm	GW10K 50mm	FF 35mm +HGW10K 100mm	GW10K 50mm	HGW10K 100mm	GW10K 100mm
	床	-	XPS 30mm(土間)	-	ウレタン 40mm(基礎)	-	FF 45mm	-
	基礎	-	XPS 75mm(基礎)	-	XPS B3種25mm(土間)	-	-	-
窓	サッシ部	アルミ	樹脂	アルミ	樹脂	アルミ	アルミ+樹脂	アルミ
	ガラス部	単板・複層	Low-e 複層 トリプル Low-e	単板	Low-e複層	単板	Low-e 複層	単板
暖房	設備	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	石油ファンヒーター	FF式石油ストーブ エアコン	不明
	形態	部分間歇	全館連続	部分間歇	全館連続	部分間歇	部分間歇	不明
給湯設備	石油給湯器	自然冷媒HP式給湯器	瞬間式給湯器	自然冷媒HP式給湯器	瞬間式給湯器	自然冷媒HP式給湯器	ガス給湯器	太陽熱温水器+ 潜熱回収型石油給湯器
換気設備	-	第三種	-	第三種	第三種	第三種	-	第三種
熱源	給湯	灯油	電気	ガス	電気	灯油	電気	ガス
	暖房	灯油	電気	灯油		電気・石油	ガス	太陽熱・灯油
	その他	都市ガス	電気(調理)	ガス		ガス(調理)	電気(調理)	不明	木質ペレット 電気(調理)
外皮性能	U_A 値	2.73 W/m ² K	0.58 W/m ² K	1.50 W/m ² K	0.62 W/m ² K	1.78 W/m ² K	0.66 W/m ² K	2.23 W/m ² K
	C値	-	0.7 cm ² /m ²	-	0.9 cm ² /m ²	-	4.6 cm ² /m ²	-
改修費用	総額	2,933 万円	1,952 万円	1,522 万円	1,522 万円	1,340 万円	1,340 万円	
	断熱改修 ^{*)}	753 万円		426 万円	425 万円	514 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

改修が行われた事例である。内外装を全て撤去した後に、柱・梁等の構造部材は既存のまま使用し、断熱材の貼付後に内外装を仕上げている。家族構成はS邸のみ2世帯家族から3世帯家族に変わり、居住者が2名増加した。暖房に関しては、ヒートポンプ式温水パネルヒーターの全館連続暖房である。給湯設備は自然冷媒ヒートポンプ給湯器を用い、換気設備は第3種機械換気である。改修後の相当隙間面積C値^{注2)}は、S邸0.7cm²/m²、ST邸0.9cm²/m²であった。

K邸は居住者が生活しながら増築を伴う全体改修工事が実施されたことが特徴である。外装材と断熱材を撤去した後、断熱材を充填し、内装材は一部取り替えた以外は既存のままである。改修後は予算の都合上、既存の暖房設備を併用しながら、エアコンで部分間歇暖房している。改修後の給湯設備は、自然冷媒ヒートポンプ式給湯器を用い、換気設備は2階の増築した部屋に第3種機械換気が設置された。改修後の相当隙間面積C値^{注2)}は4.6cm²/m²である。

T邸は中古住宅の購入に合わせて、省エネ化や耐震性の向上を図るために全体改修が行われた事例である。改修前の住まいでは、石油ストーブを部分間歇暖房していた。改修後はペレットストーブを全館間歇暖房で使用し、夏期はエアコン1台で全館連続冷房している。給湯設備は、太陽熱温水器と潜熱回収型石油給湯器を併用しており、換気設備は第3種機械換気である。

3 冬季における室内温熱環境の実測調査

3.1 実測概要

改修後の室内温熱環境を把握するために、各室の温湿度と居間のCO₂濃度を測定した。測定機器は小型温湿度データロガーとCO₂濃度計を用い、20分間隔で連続測定を行った。ST邸は2016年12月から測定を継続しており、他の事例は2015年10月から2017年3月まで測定した。

3.2 冬季における室内外温熱変動

測定結果の例として、図-2に対象住宅の2017年1月10日の居間のCO₂濃度と各部屋の温度変動と1月における各部屋の温度の中央値、最大・最小値、第1・第3四分位数の結果を示す。

S邸とST邸(図-2(a, b))は、全館連続暖房によって、外気温の変動とは類似しておらず、各室とも20°C前後に温度が保たれている。居間のCO₂濃度は1,000ppm前後を推移していることから、適切に換気されていると推察される。1月の各室の温度の中央値は各室とも18°C以上の室温を維持し、最大値と最小値の温度差が5°C程度に収まっており、1ヶ月を通して温度が安定していることが分かる。

K邸(図-2(c))は、部分間歇暖房による各部屋の温度分布が見られ、起床時(6時~9時)に暖房室と非暖房室で最大12°C以上の温度差が生じている。非暖房室の脱衣所は日没後の時間帯でも暖房せずに13°C前後に保たれており、断熱の効果が確認できる。居間のCO₂濃度は暖房時に最大で4,000ppmを超え、

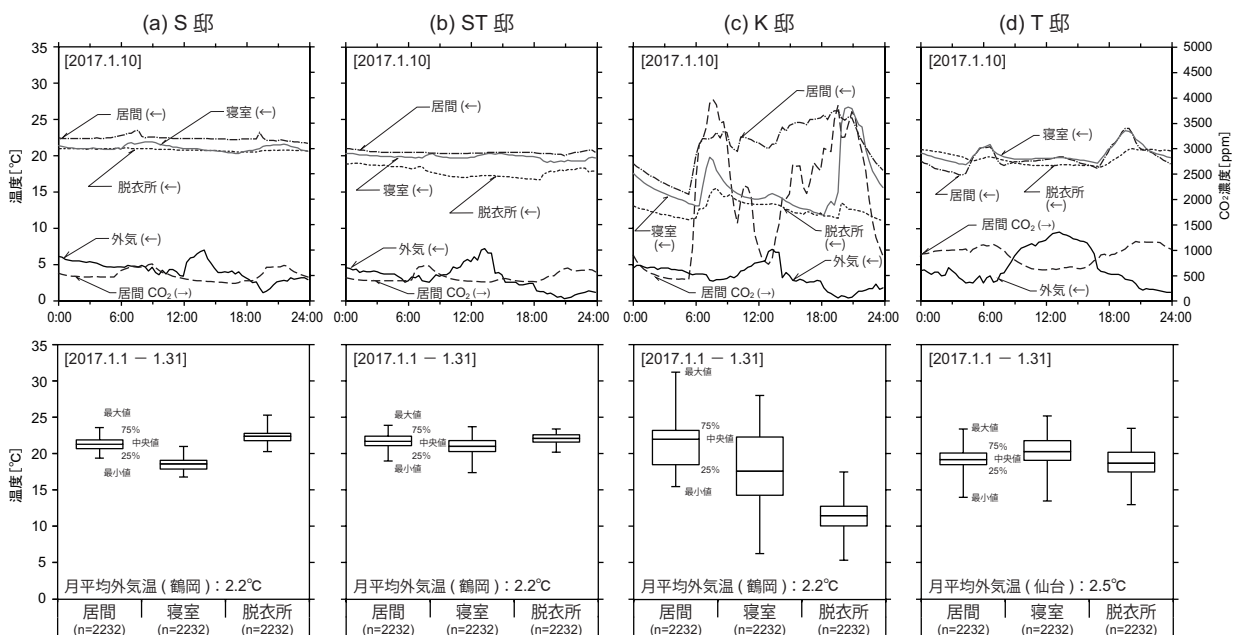


図-2 冬季における改修後の室内外温熱変動(上:時刻別変動,下:2017年1月の測定結果)

石油ファンヒーターの利用によって室内のCO₂濃度が高いことが確認できる。1月の各室の温度の中央値は、部分間歇暖房であるため、利用頻度に応じて温度が高くなる傾向が見られた。寝室や脱衣所は局所的に暖房するため、部屋の最低温度が6℃と外気温に近い状態である。1月の温度の最大値と最小値は居間で15℃、寝室で22℃、脱衣所で12℃の温度差が生じており、1ヶ月を通して部屋の温度が大きく変動している。

T邸(図-2(d))は、各室とも18~23℃の範囲で推移しており、暖房時に温度分布が見られた。居間のCO₂濃度は1,000ppm前後を推移していることから、適切に換気されていることが推察される。1月の室内温度の中央値は各室とも19℃前後を維持しており、1月の各室の温度の最大値と最小値の温度差は各室ともに10℃前後であった。

3.3 既往データとの比較

実測調査により得られたデータを既往調査の結果²⁾と比較する。既往調査では、住宅の種類をA~Fに

分類^{注3)}し、温熱環境の観点から特徴を有することを示唆している。これらの調査データに改修事例を重ね合わせ、温熱環境の評価を試みる。

(1) 室内外温度差と上下温度差の関係

図-3(a)に、居間での団らん時(19~22時)における期間平均の上下温度差と室内外温度差との関係を示す²⁾。図中の上下温度差係数rが0に近いほど温度分布が小さく、E:高断熱・床暖房(以下、Eグループ)に近くなる。改修前のST邸では上下温度差が6℃以上あったが、改修後では1.3℃に収まり、ST邸はEグループと同等となった。他の事例は改修後の結果のみとなるが、S邸はEグループ、T邸は、Dグループ(高断熱・ストーブ)と同等であり、上下温度差は小さく、温熱環境のレベルは高い。K邸では、石油ファンヒーターを部分間歇暖房しているため、吹き出す暖気が床全体までは暖まらず、上下温度差が4℃程度生じ、Bグループ(山形県郡部の住宅)と同等になった。

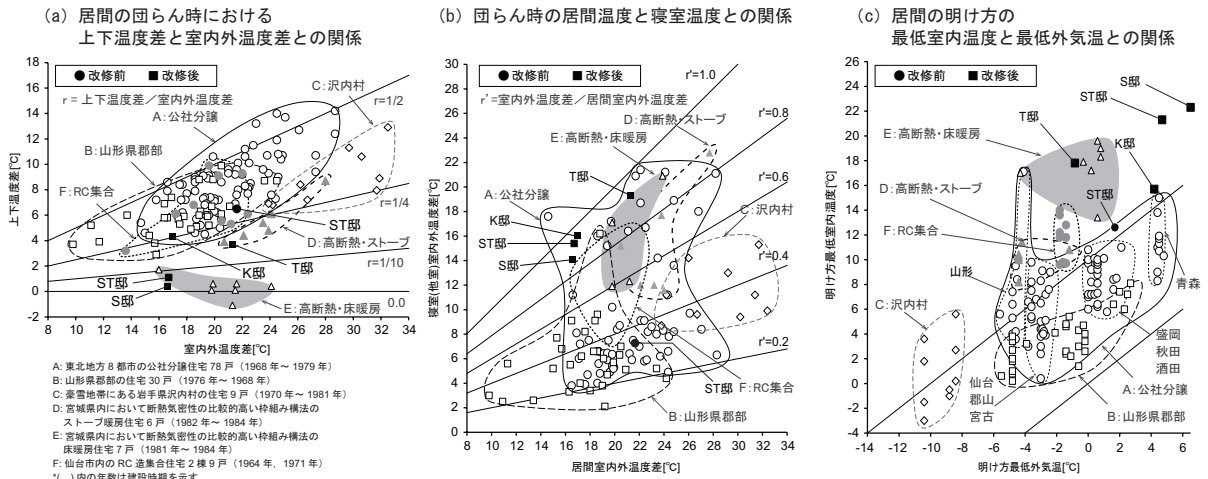


図-3 冬季における改修前後の室内温熱環境評価

表-2 温熱環境のグレード評価

グレード		1	2	3	4	5	S邸(全体)		ST邸(全体)		T邸(全体)		K邸(増築+全体)	
							改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後	改修前	改修後
居間温度	床上1.1mの温度	12	15	18	21	24	-	5 (23.1℃)	5 (24.1℃)	4 (22.4℃)	-	4 (21.7℃)	-	5 (23.0℃)
	上下温度差 ^{*1}	10	8	6	3	0	-	5 (0.5℃)	3 (6.0℃)	5 (1.3℃)	-	4 (3.5℃)	-	3 (5.1℃)
	グローブ温度差 ^{*2}	-3	-2	-1	0	1	-	4 (0.2℃)	4 (0℃)	4 (-0.3℃)	-	4 (-0.4℃)	-	3 (-0.5℃)
	明け方の最低温度 ^{*3}	2	6	10	14	18	-	4 (15.8℃)	3 (10.9℃)	5 (16.6℃)	-	5 (18.7℃)	-	3 (11.5℃)
寝室の温度(団らん時) ^{*4}		4	8	12	16	20	-	4 (17.0℃)	2 (6.8℃)	5 (18.4℃)	-	5 (18.1℃)	-	5 (18.8℃)
便所・廊下の温度(団らん時) ^{*4}		2	5	8	11	14	-	5 (19.2℃)	2 (5.6℃)	5 (19.4℃)	-	5 ^{*5} (20.2℃)	-	4 ^{*5} (10.4℃)
						(平均)	-	4.5	3.2	4.7	-	4.5	-	3.8

*1 床上1mの温度が20℃、外気温が0℃の時の値。*2 グローブ温度と床上1m温度との差。*3 外気温が0℃の時の値。
*4 団らん時に、居間の床上1mの温度が20℃、外気温が0℃の時の値。*5 脱衣所の温度(団らん時)

(2) 居間と寝室の室内外温度差の関係

図-3 (b) に囲らん時の居間と寝室の室内外温度差の関係²⁾を示す。図中の温度降下率値 r' が 1.0 に近い値ほど室間の温度差が小さい事を示す。改修前の ST 邸は、 r' が 0.3 程度と小さく、B グループと同等である。改修後の事例は r' が 0.85 以上であり、室間の温度差が小さくなる傾向を確認できる。

(3) 明け方の最低気温と最低室内温度との関係

図-3 (c) に、明け方の最低気温と最低室内温度との関係²⁾を示す。当然のことながら各グループの最低室内温度は外気温の低下に伴い、低くなっている。外気温基準での最低室内温度（最低室内温度とその時の外気温の差）を比較すると、断熱改修後の結果は E グループの温熱環境と同等であることがわかる。ST 邸は改修前後で 5°C 程度の温度上昇が確認できるが、改修後の結果は終日連続暖房されていたため温度が高く、断熱化の効果ではない。

(4) 温熱環境のグレード評価

温熱環境を総合的に評価するためグレード評価²⁾に従い、1 (劣) ~ 5 (優) の 5 段階で評価した。表-2 に結果を示す。ST 邸の温熱環境を評価した場合、改修前のグレード平均が 3.2 に対し、改修後は 4.7 と大幅に向上した。S 邸のグレード平均は 4.5 を示し、ST 邸と同様に温水パネルヒーターによる全館連続暖房により、他室や上下温度差が小さく、断熱改修による温熱環境の改善は明らかである。T 邸の平均グレードは 4.5 を示し、室内環境のレベルは高い。K 邸の平均グレードは、石油ファンヒーターで部分間歇暖房しているため、上下温度差や非暖房

室との温度差が影響し、グレードの平均は 3.7 に留まった。

4. エネルギー消費量の実態調査

4.1 調査概要

年間エネルギー消費量を把握するために、電気、ガス、灯油の領収証を入手し、各月のエネルギー消費量を算出^{註4)}し用途別に分類した。図-4 に結果を示す。図には比較のために、各地域の統計値³⁾を示すが、一次エネルギーについては、情報が不足しており、用途別分類ができないため、合計値のみを示した。

4.2 調査結果

改修前後の二次エネルギー消費量を比較すると、各事例で改修後のエネルギー消費量が削減され、統計値の消費量を下回っている。

S 邸と ST 邸は改修前は部分間歇暖房であるが、改修後は全館連続暖房で、暖房時間や暖房面積が増加したにもかかわらず、エネルギー消費量が 4 割以上削減されており、断熱性能が向上することにより暖房用エネルギー消費量が削減されている。また、冬季の温熱環境の改善効果と併せるとエネルギー効率が高いことがわかる。一方、一次エネルギー消費量は、必ずしも削減されていない。特に ST 邸では、改修前のエネルギー消費量が統計値を下回っており、暖冷房を極力控えた生活をしていたため、エネルギー消費量は小さく、改修後は暖房、給湯の熱源を電気温水器にしたことによって、改修前のエネルギー消費量を上回る結果となった。

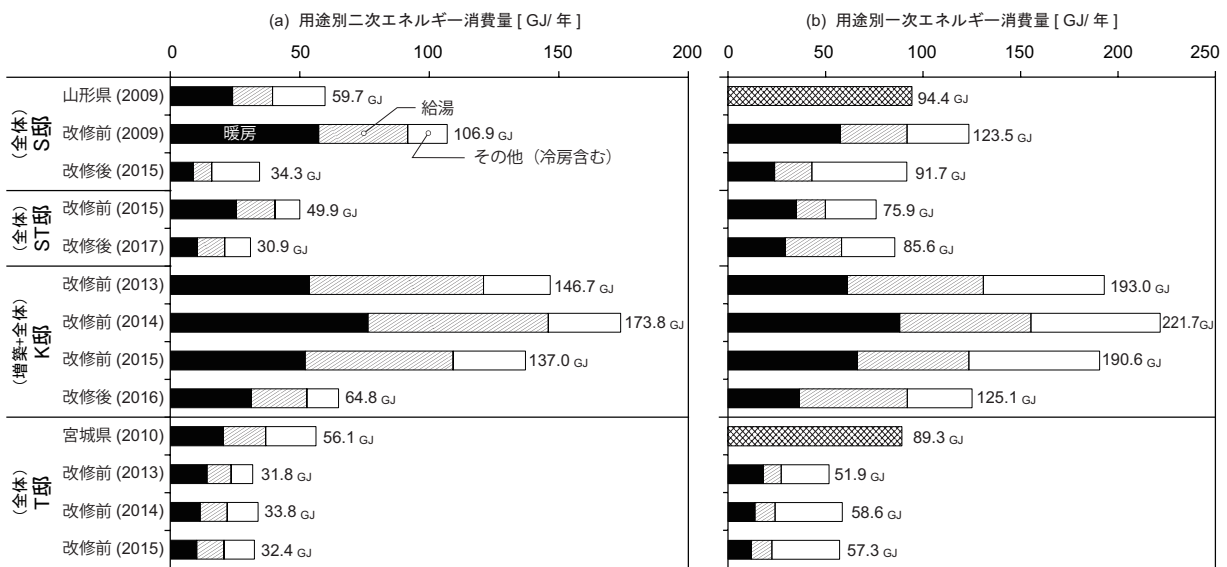


図-4 改修前後における年間エネルギー消費量

K邸では、改修前の二次エネルギー消費量は統計値の2.2倍以上消費していた。この理由として、改修前は不十分な断熱性能のため寒い住環境が続き、石油ファンヒーターを過剰に使用していたためである。改修後の断熱化や給湯器の高効率化によって、三世帯同居の6人家族であっても山形県の統計値³⁾とほぼ同等の年間エネルギー消費量となり、改修前と比較しエネルギー消費量を62%削減し、大幅に改善された。一次エネルギー消費は改修前より38%削減され統計値のエネルギー消費量を下回っている。

T邸の改修後の二次エネルギー消費量は、宮城県の統計値³⁾の6割程度であった。一次エネルギー消費量は統計値の0.66倍程度のエネルギーを消費しており、改修事例の中でエネルギー消費量が最も少ない。中古住宅を全体改修することによって、室内温熱環境だけでなく、省エネルギー性能が向上し、ストック住宅の省エネルギー化へ寄与することが期待できる。

5. 初期投資回収年数の評価

5.1 評価概要

断熱改修による効果として、年間で生じる便益の積算値から断熱改修費用^{注1)}の回収年数を算出した。

高断熱・高气密化によって、省エネルギー化による光熱費削減額を直接的便益(EB)として評価する。各事例のEBは、S邸5.5万円、ST邸13万円、K邸31万円である。また、伊香賀ら⁴⁾は断熱改修による効果として、温熱環境の改善によって健康維持がもたらす間接的便益(NEB)の評価をしており、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、S邸は51,331[円/年・世帯]、ST邸は30,798[円/年・世帯]、K邸は61,597[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⁴⁾が生じ、同様に各事例の世帯人員数に換算するとS邸112,167円、ST邸67,300円、K邸134,601円となる。以上の換算を行うことで、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見なせる。

5.2 調査結果

各事例の便益積算値および断熱改修費用の改修年数を図-5、図-6、図-7に示す。年間の便益を「EBのみ」で評価した場合、初期投資回収年数はS邸が

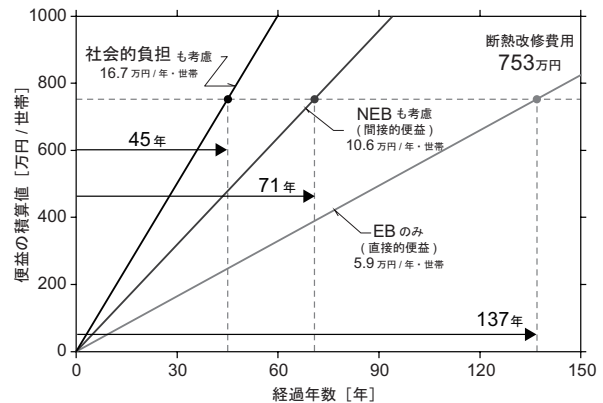


図-5 S邸における便益の積算値と投資回収年数

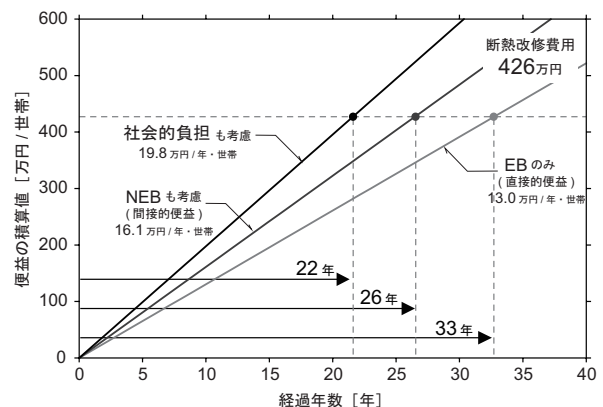


図-6 ST邸における便益の積算値と投資回収年数

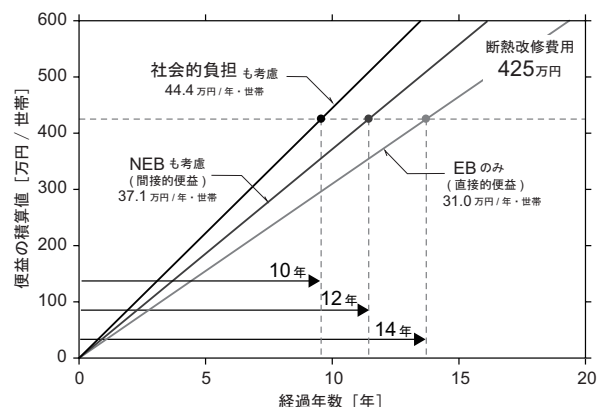


図-7 K邸における便益の積算値と投資回収年数

137年、ST邸33年、K邸14年であった。「NEBも考慮」して評価した場合、S邸が71年、ST邸26年、K邸12年であった。年間の便益をEBに加えて「社会的負担も考慮」して評価した場合、S邸が45年、ST邸22年、K邸10年であった。

以上の結果より、S邸の場合は改修後に世帯人員が2人増加したことによって、光熱費の削減額

EBの効果は小さいが、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になった。EBのみの回収は困難であるが社会的負担も考慮することで最短45年に短縮される。ST邸もS邸と同様にヒートポンプ式温水パネルヒーターを採用しているが、光熱費の削減額が13万円と大きかったため、EBのみでも33年と回収が実現できそうである。K邸は既存の石油ファンヒーターを利用しているため、暖房設備の費用が抑えられ、断熱化によって光熱費の削減が著しく、最も早期回収に期待できる。

6. まとめ

東北地方の全体改修の事例4件(S邸, ST邸, K邸, T邸)を対象として、改修後の環境性能を評価し実態を明らかにした。本報では、以下の知見が得られた。

① 冬季の室内温熱環境調査

断熱改修により、暖房時の上下温度差や室間の温度差が小さくなるとともに明け方の温度低下が抑制される等の特徴が挙げられ、室内温熱環境の室の向上が確認された。しかし、居住者が生活しながらの改修では、既存のファンヒーターで部分間歇暖房した場合は上下温度差が5°C程度生じ、CO₂濃度が最大で4,000ppmを超えた。断熱性能のみならず、住宅設備に関して配慮する必要がある。

② 改修前後の年間エネルギー消費量の実態調査

二次エネルギー消費量で比較を行うと、改修後はエネルギー消費量の削減がみられ、断熱改修を行うことによって暖房効率が向上するが、一次エネルギー消費量で比較を行うと、熱源で電気を用いることで暖房範囲や暖房時間が増えると、エネルギー消費量が増大する可能性があるため、住宅設備に配慮した環境計画が必要である。

③ 初期投資回収年数

全体改修による断熱性能の向上により、年間の光熱費がS邸で6万円、ST邸で13万円、K邸で31万円削減された。直接的便益(EB)に加え、社会的負担も考慮した場合、S邸で45年、ST邸で22年、K邸で10年で、断熱改修費用の初期費用を回収できると見積もられた。

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クレア工業株式会社、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。

注釈

注1):断熱改修費用は、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とした。

注2):改修後の相当隙間面積C値は気密性能試験をJIS2201⁵⁾に準じて現場で実施し、C値を減圧法により算出した。

注3):1960～1980年代に建設された東北地方各地の住宅であり、DとE以外は、断熱性能が低く暖房は局所的である。DとEは、1980年代に建設された断熱性能が高い住宅である。詳細は、文献²⁾を参照されたい。

注4):熱量換算係数として、以下を用いた。

電気:9.76MJ/kWh, 昼間電力:9.28MJ/kWh, 夜間電力:9.97MJ/kWh, 灯油:36.7MJ/L, ガス:99.1MJ/m³

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所: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,(財)建築環境・省エネルギー機構IBEC,2013.5
- 2) 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.
- 3) 家庭用エネルギー統計年報2011年度版,住環境計画研究所,2013.1.
- 4) 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.
- 5) 日本工業規格,JIS A 2201:2003,送風機による住宅棟の気密性能試験方法,2003.4

A-6

住宅のダンプネスによる室内真菌汚染に関する実態調査

○武藤邦彦（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Investigation of indoor mold contamination due to home dampness

Kunihiko Butou (Akita Prefectural University), Kenichi Hasegawa (Akita Prefectural University),
Jinya Takeuchi (Akita Prefectural University), Shinichi Matsumoto (Akita Prefectural University)

キーワード：ダンプネス，室内環境，アレルギー症状

はじめに

住宅のダンプネス（高湿度環境）とアレルギー疾患などの健康影響との関係に着目した先行研究は多い。しかしながら，カビなどの具体的な曝露要因との因果関係を示す知見は少ない。すなわちダンプネスとは室内環境の汚染を包括的に表現しているものの，健康影響に直接寄与している要因との関連が明確ではなく，健康被害と生物・化学的要因との関連は明確になっていない。

ダンプネスから健康に連鎖する因果構造は，図-1のように室内環境の汚染が介在していると仮定できる。そこで，「ダンプネス」「室内環境の汚染」「健康影響」の関連性を明らかにすることができれば，ダンプネスの問題に対する建築的な防除策の立案につながると期待できる。

本研究では，疫学的な実態調査より得られたデータを用いて，①ダンプネスの程度が重篤な住宅の室内環境を明らかにするとともに，②検出された真菌と子供の健康状態の関連性を把握することを目的とする。

1. 研究方法

1.1 調査概要

調査は，インターネットによるアンケート調査を2017年1月23日～1月27日，2月20日～2月24日に実施した。実測調査に協力できると回答した東日本の住宅120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，医師の診断やアンダーソンの定義に基づく自覚症状の有無により子供の健康状態を把握する。

実測調査は，2017年1月23日～27日と2月

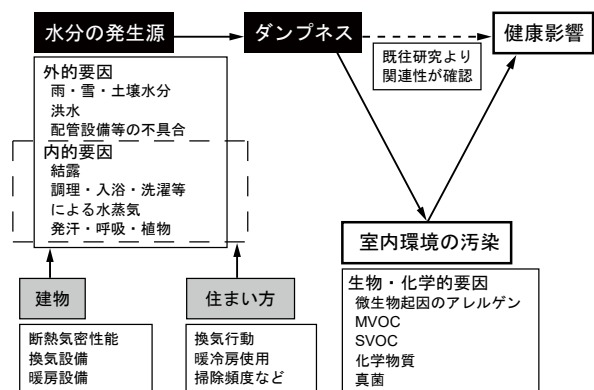


図-1 ダンプネスと健康の因果構造の例
(文献2をもとに作成)

20日～24日の連続する5日間とし，60件ずつに分けて実施した。測定項目は，居間・寝室の温湿度と居間・寝室の室内ダストである。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，室内ダスト捕集を依頼した。

1.2 ダンプネスの評価法

表-1にダンプネスの評価項目の概要を示す。回答者による申告のため，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。本研究では、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1の頻度が他の評点と比べ顕著に高いことが分かる。

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に、Kruskal-Wallis検定と重回帰分析を行った。分析にはIBM SPSS Statistics Ver.23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群以上における差の検定である。真菌のDNA解析により得られたOTU (Operational Taxonomic Unit)^{注1)}を従属変数、ダンプネスの程度ランクを独立変数とした。

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。ダンプネスのランクを従属変数、単変量解析で有意確率 $p < 0.2$ となる要因を独立変数とし、標準偏回帰係数を算出した。標準偏回帰係数は、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、値が大きい独立変数ほど、従属変数への影響が大きい。

3.2 解析結果

図-3にダンプネスの程度と真菌の関係を示す。居間で検出された真菌のランク毎の検出率を表-3に示す。調査対象となった居間・寝室の両方で検出された真菌は224種、その内、*Aspergillus conicus*, *Aspergillus penicillioides*などといった12種が、ダンプネスの全ランクで検出率が90%を超えていた。

今回、居間で検出された*Aspergillus conicus*と、寝室で検出された*Aspergillus penicillioides*でダンプネスのランクと有意な関連性があり、ランク1と比較した場合、ランク4でOTUが有意に高い。また、ダンプネスのランクが高くなるにつれて真菌のOTUも高くなる傾向がみられた。

表-2に重回帰分析結果を示す。ANOVA(分散分析表)の結果は有意で、決定係数 R^2 は0.51で

表-1 ダンプネスの評価に用いる評価項目

(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

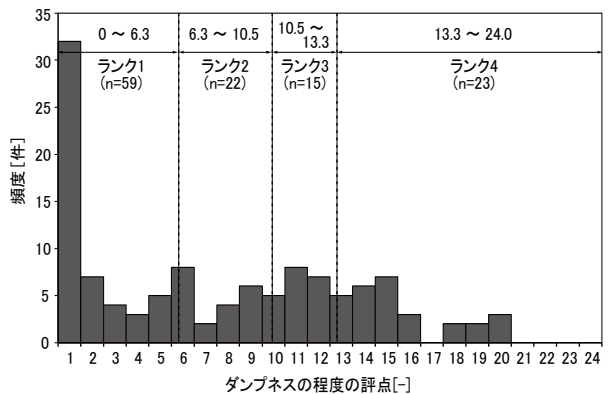


図-2 ダンプネスの程度の分布

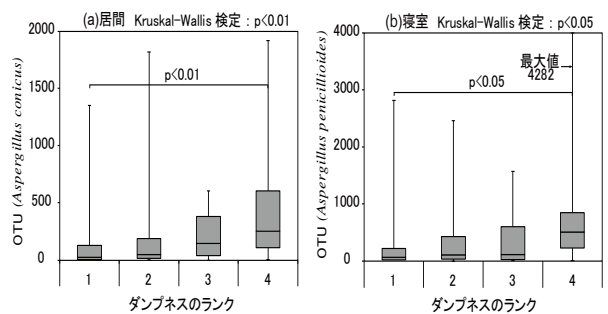


図-3 ダンプネスのランクと *Aspergillus conicus* と *Aspergillus penicillioides* の関係

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	
(定数)	0.61		-0.36	1.58	0.216
居間 在室時温度	-0.08	-0.26	-0.13	-0.03	0.004**
居間 日較差HR	0.39	0.49	0.26	0.51	0.000***
寝室 在室時HR	0.26	0.37	0.15	0.36	0.000***
<i>Acremonium charticola</i>	0.02	0.23	0.01	0.04	0.002**
<i>Cystoflabosidium infirmominiatum</i>	0.07	0.17	0.01	0.13	0.030*
<i>Aspergillus parasiticus</i>	0.00	0.34	0.00	0.00	0.000***
<i>Sistotrema seranderi</i>	-0.01	-0.27	-0.01	0.00	0.001**

$R^2=0.51$ ANOVA $p < 0.001$ *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

表-3 居間で検出された真菌の検出率

居間	シカ	シカ	シカ	シカ	居間	シカ	シカ	シカ	シカ
<i>Ascomyces nigridi</i>	1646	1218	2143	2245	<i>Massezia globosa</i>	2720	2818	4687	2438
<i>Acremonium charticola</i>	2000	2857	4000	4091	<i>Massezia restricta</i>	6400	6384	6000	5455
<i>Acremonium hyalinulum</i>	545	000	667	455	<i>Massezia sympodialis</i>	5000	3182	6000	5909
<i>Alternaria betae-kenyensis</i>	10000	9545	10000	9545	<i>Metschnikowia ukarii</i>	3585	2381	6000	3636
<i>Alternaria infectoria</i>	8667	6190	6000	7272	<i>Microsporus africanus</i>	1132	909	2667	909
<i>Aspergillus aquisulais</i>	727	000	714	455	<i>Mollisia unonata</i>	3091	2000	3571	3182
<i>Amylophora sinuosa</i>	1461	909	667	455	<i>Mucor circinelloides</i>	364	909	1333	000
<i>Amylostereum laevigatum</i>	545	909	2667	909	<i>Mucora polyseramma</i>	1818	455	2000	1364
<i>Amyloversaria allantoporum</i>	1091	1364	2000	455	<i>Mycocolla fuscastrata</i>	2222	1364	667	1364
<i>Apocricium montividerse</i>	3091	5714	2667	4091	<i>Mycosphaerella punctiformis</i>	9636	9500	9333	10000
<i>Arthrocatena tendrino</i>	4545	7500	6000	5364	<i>Neocateinulobos abietis</i>	7455	7619	8000	8152
<i>Aspergillus apendicillatus</i>	9636	9545	9333	10000	<i>Neodivisia intravexera</i>	4939	5909	4286	5909
<i>Aspergillus conicus</i>	9800	10000	9286	10000	<i>Nirospora oryzae</i>	3019	4091	4000	3182
<i>Aspergillus fumigatus</i>	2407	3333	2667	1364	<i>Ochroconia mirabilis</i>	4528	5000	6000	5909
<i>Aspergillus niger</i>	9491	7143	10000	7273	<i>Oxyporus cumatatus</i>	2593	3636	5333	3333
<i>Aspergillus parasiticus</i>	8727	9500	10000	9524	<i>Panellus edulis</i>	4074	4545	5333	4091
<i>Aspergillus penicillioides</i>	9815	10000	9333	10000	<i>Panellus serotinus</i>	3889	2727	4000	5000
<i>Basospora rivosura</i>	2407	909	2667	1364	<i>Panellus stulticus</i>	1481	3182	3333	1818
<i>Biscogniauxia mediterranea</i>	1636	1364	000	909	<i>Papillotrema flavescens</i>	4727	3636	5714	5000
<i>Bierkandera adusta</i>	6852	5909	7333	7273	<i>Papillotrema fuscum</i>	2364	1364	2857	1818
<i>Buclivomyces aurantiaca</i>	1636	2727	000	2273	<i>Papillotrema laurentii</i>	727	000	1333	909
<i>Bullera crocea</i>	1687	2727	3333	2727	<i>Papillotrema nemorosum</i>	1236	1818	667	909
<i>Bulleribasidium pseudovivabile</i>	2863	1818	3333	4091	<i>Paramycosphaerella cyathaeae</i>	1296	909	667	2727
<i>Byssomerulium conium</i>	364	455	000	000	<i>Parateratosphaera persoonii</i>	1091	000	000	1364
<i>Cabaloventia subretectaea</i>	2037	1364	2667	909	<i>Penicillium amari</i>	9289	7727	8667	9048
<i>Calycina marina</i>	3396	3636	4000	4091	<i>Penicillium curvum</i>	3333	5909	5000	6818
<i>Candida albicans</i>	3519	4545	2667	5238	<i>Penicillium jianxiense</i>	9091	9091	6923	10000
<i>Candida apicola</i>	2407	3182	2667	3333	<i>Penicillium konzei</i>	9455	9000	10000	10000
<i>Candida catenulata</i>	909	455	1429	5000	<i>Penicillium ornatum</i>	7455	8571	7682	8500
<i>Candida derodonti</i>	755	2273	714	3182	<i>Periochora incarnata</i>	2407	2273	2000	1818
<i>Candida etchellsii</i>	6852	6500	4667	8636	<i>Peniophorella praetermissa</i>	1111	000	667	909
<i>Candida intermedia</i>	1698	455	714	455	<i>Peniophorella tuberosa</i>	2727	2727	667	3636
<i>Candida lactis-condensii</i>	727	476	667	455	<i>Pereniporia koriana</i>	1111	909	000	2273
<i>Candida magnoliae</i>	3148	2381	3333	3810	<i>Periconia macrospora</i>	3585	2273	2000	3182
<i>Candida neo-teneris</i>	2407	4091	3333	3333	<i>Phaeoconium comyces catenulatus</i>	1481	3182	4545	2000
<i>Candida parapsilosis</i>	9615	10000	9286	9545	<i>Phaeotheca triangularis</i>	2182	455	667	3182
<i>Candida tropicalis</i>	4074	1818	4000	4091	<i>Phanerochaete sordida</i>	1111	909	2000	1818
<i>Cernomyces canadensis</i>	2037	1818	2667	455	<i>Phialenidopsis curvata</i>	2593	2727	4615	2727
<i>Cleovora lustrariae</i>	2037	6190	8000	4545	<i>Phlebia achalia trisporepora</i>	1652	455	667	909
<i>Clitocybe nebularis</i>	2037	3182	2000	1818	<i>Phlebia acanthocystis</i>	2037	1364	3333	1818
<i>Colletotrichum brevisporum</i>	1698	3636	1333	1364	<i>Phlebia radiata</i>	6296	5909	7333	6818
<i>Coprinus xanthothrix</i>	1364	1364	2000	1818	<i>Phlebia tremellosa</i>	1652	1818	2667	3182
<i>Coprinopsis cinerea</i>	370	2727	667	909	<i>Pholota microspora</i>	4444	4091	4000	4286
<i>Coprinopsis urticicola</i>	1455	455	1333	1364	<i>Pholota squarrosa</i>	727	000	3333	1818
<i>Cryptosoccus urneolulatus</i>	9434	8636	8667	9048	<i>Phyllostopsis nidularis</i>	2983	2727	4667	3636
<i>Cutaneotrichosporon curvatus</i>	2384	4545	3333	3500	<i>Phycotheca kluyveri</i>	2642	1818	2857	3636
<i>Cutaneotrichosporon daszewskae</i>	727	2273	667	2727	<i>Plidium concavum</i>	1509	455	000	909
<i>Cyberindigera iadini</i>	2222	2727	2857	1364	<i>Plectosphaerella alismatis</i>	7308	8095	6923	6190
<i>Cyindrobasidium evolvens</i>	5714	1818	1333	1818	<i>Plectosphaerella ginsengis</i>	1818	2000	3182	3182
<i>Cyphellophora europaea</i>	9412	9545	10000	9524	<i>Plectosphaerella crispa</i>	2407	3636	4000	2727
<i>Cyphellophora sessilis</i>	1636	2727	1333	3636	<i>Podosphaera sp.</i>	3333	2273	1333	2273
<i>Cystofilobasidium apiculatum</i>	4091	4091	3333	3636	<i>Pseudobotryella alboba</i>	5455	5455	6000	7273
<i>Cystofilobasidium infirmominiatum</i>	1509	3182	667	3182	<i>Pvrenoclasia kerstinoholia</i>	8981	6667	6667	8636
<i>Cystofilobasidium macerans</i>	5370	7273	6000	7273	<i>Pvrenochaetopsis leptospora</i>	3462	3636	5333	3636
<i>Daedaleopsis confragosa</i>	2385	4545	2667	3636	<i>Resinicium pinicola</i>	1296	455	3333	455
<i>Devriesia americana</i>	1636	7273	1333	1364	<i>Rhizocaulis similis</i>	4286	4286	3636	4286
<i>Diatripe stirma</i>	1636	1818	667	1364	<i>Rhodosporiobolus odoratus</i>	909	455	667	1364
<i>Dioezepia zsoloti var. zsoloti</i>	4364	3182	4286	4091	<i>Rhodotorula glutinis</i>	6667	6182	7333	8000
<i>Diplomtoporus rimosus</i>	4091	4091	3636	3636	<i>Rhodotorula mucilaginoso</i>	9615	9274	9274	9274
<i>Dissociumium eucalypti</i>	2182	909	2000	1818	<i>Rhizopus crocatus</i>	926	455	2000	2273
<i>Elmerina carvæ</i>	2593	3182	2000	1818	<i>Rhizopus microsporus</i>	1481	2273	3333	1818
<i>Eremomyces magnisporus</i>	3273	1905	2000	2727	<i>Rhizopus pouzarii</i>	2778	2727	2667	1364
<i>Eutypa lata</i>	727	909	000	909	<i>Saccharomyces cariocanus</i>	8000	9545	8482	8095
<i>Exidia japonica</i>	1636	909	2000	909	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1296	455	667	1818
<i>Exophiala alcaliphila</i>	1273	2273	1333	2727	<i>Sagenomella griseovindis</i>	2182	3182	4615	5000
<i>Exophiala cancrina</i>	5848	9091	7682	9274	<i>Sclerotium commune</i>	2407	2667	3182	1818
<i>Exophiala dermatitidis</i>	3396	5000	3333	3636	<i>Schizophora flavipora</i>	4906	6818	4000	7273
<i>Exophiala eouina</i>	4444	5909	6667	5909	<i>Schizophora ovipora</i>	5000	3182	4667	4545
<i>Exophiala phaeoauriformis</i>	545	3333	1333	476	<i>Setothoma vernoniae</i>	2545	1905	3333	2273
<i>Exophiala sidens</i>	909	1429	667	1818	<i>Sidera vulvaris</i>	1887	455	2667	455
<i>Exophiala xenobiotica</i>	2778	4286	3333	4091	<i>Sistotrema sernanderi</i>	6471	8636	5333	7727
<i>Filobasidium magnum</i>	9434	8636	8667	9048	<i>Skeletococcus kuehneri</i>	1852	1364	1333	1818
<i>Flemingia velutipes</i>	5370	4286	1400	4000	<i>Skeletococcus odora</i>	1091	000	667	909
<i>Fusarium asiaticum</i>	7255	7273	5714	7273	<i>Sphaerella filicicola</i>	926	1818	667	1364
<i>Fusarium fujikuroi</i>	5091	5714	6000	3636	<i>Sphaerulina rhabdoclita</i>	8269	9000	9333	9091
<i>Gibberella trichota</i>	5909	5909	6000	6364	<i>Sporobolomyces affinis</i>	6923	5455	6000	7273
<i>Golubovia pallascens</i>	2182	909	2143	1818	<i>Sporobolomyces symmetricus</i>	2909	3182	3333	2727
<i>Griffithia phoenicea</i>	3519	5455	6667	6190	<i>Stachybotrys chartarum</i>	1818	2727	3333	1364
<i>Grathostroma distydoma</i>	741	2273	1429	455	<i>Stemphylum herbarum</i>	6981	6182	8571	7727
<i>Grifolia frondosa</i>	4615	4500	6667	4211	<i>Stereum hispidum</i>	1818	1818	3333	3333
<i>Guehomyces bullularis</i>	4545	6818	5333	6190	<i>Stereum sanguinolentum</i>	909	1364	1333	2273
<i>Hannaella coopersiae</i>	182	2273	000	909	<i>Sterigmatomyces halophilus</i>	5185	6364	6154	8500
<i>Hannaella ovatae</i>	4340	5714	6429	5909	<i>Streitzia nana</i>	2222	909	1364	1364
<i>Hannaella sinensis</i>	1091	952	2857	3182	<i>Strobilurus conigenoides</i>	586	909	1333	455
<i>Heterochaete delicata</i>	2222	1364	667	3636	<i>Symmetrospora foliicola</i>	5185	5238	5333	4286
<i>Holtermannella takashimae</i>	9519	4545	2667	476	<i>Talaromyces verkerkii</i>	5936	5714	4667	6364
<i>Hormonema macrosporum</i>	1818	3182	1333	3182	<i>Tortricoladothecium rubraenum</i>	9412	10000	10000	10000
<i>Hortaea thailandica</i>	1667	952	667	1818	<i>Tranetes gibbosa</i>	1111	1364	667	909
<i>Hortaea werneckii</i>	5094	6618	6667	6667	<i>Tranetes hirsuta</i>	3889	3182	3333	4545
<i>Hymenochaete xeranthica</i>	2000	2727	1333	3636	<i>Trichostema abietinum</i>	2407	3636	2000	7727
<i>Hymenoscyphus caudatus</i>	909	455	2000	909	<i>Trichostema bifforme</i>	1818	2727	2667	2727
<i>Hyphoderma subeetigerum</i>	926	909	000	1818	<i>Trichostema neriophytes</i>	2222	1818	2000	4091
<i>Hyphodontia aspera</i>	1698	2727	2000	909	<i>Trichosporon debemanianum</i>	5370	6421	8000	7727
<i>Hyphodontia cineracea</i>	1667	455	2000	1818	<i>Trichosporon insectorum</i>	6182	7727	7143	7000
<i>Hyphodontia crustosa</i>	2963	3636	3333	3636	<i>Trichosporon otae</i>	545	909	1333	1905
<i>Hyphodontia gallidula</i>	3333	3182	3333	3182	<i>Tubulicnium plebulosus</i>	2593	1818	3333	4545
<i>Hydrotoloma fasciculare</i>	2037	1818	4000	3636	<i>Tyromyces chionus</i>	1111	909	3333	1364
<i>Hyphochia burtoni</i>	545	476	667	455	<i>Umblicaria cinereofuscens</i>	2778	3182	2667	1818
<i>Hypsizygus marmoratus</i>	5000	7619	4000	6818	<i>Vermispora fusarina</i>	727	455	000	476
<i>Ichthyospora resinosa</i>	1667	1364	667	455	<i>Verrucaria muralis</i>	1455	455	667	455
<i>Kazachstania servazii</i>	1296	909	2000	1818	<i>Verrucocladosporium drinae</i>	10000	10000	10000	10000
<i>Konoba aena</i>	2909	3182	3333	4545	<i>Vishniacozyma dimenrae</i>	2453	2381	2667	2273
<i>Lambertella vinnigenensis</i>	741	455	333	1364	<i>Wallemia ichthyophaga</i>	926	5273	2667	3182
<i>Lecanora colletotrichoides</i>	1273	2273	2667	1364	<i>Wallemia mellicola</i>	5293	6182	7837	9091
<i>Lecythophora fasciculata</i>	2963	4091	2667	2381	<i>Wallemia tropicalis</i>	5926	7727	6667	8636
<i>Lentinula edodes</i>	5472	6190	8667	4762	<i>Wickerhamomyces anomalus</i>	1852	2273	3333	2273
<i>Lentinus saoi-caiu</i>	5185	2727	3333	4091	<i>Xeromphalina xanthopola</i>	2453	2273	4000	3182
<i>Leptites betulina</i>	1887	3636	2667	4091	<i>Xeromyces bisporus</i>	3585	4091	2667	3182
<i>Leptospora rubella</i>	2830	1429	667	1818	<i>Xylodon nespori</i>	2222	2727	2667	3636
<i>Leucosporium golubovii</i>	3077	3182	2000	2273	<i>Xylodon sambuci</i>	1111	1364	1333	909
<i>Magnusiomyces capitatus</i>	2642	476	2667	2727	<i>Yamadomyces triangularis</i>	2963	2273	1429	5000
<i>Massezia dermatis</i>	4444	3182	6000	5000	<i>Yarrowia lipolytica</i>	6000	6667	5000	4000

あった。全ての要因で $p < 0.05$ となり、ダンプネスのランクと有意な要因であることが確認できた。居間の絶対湿度の日較差、寝室の在室時の絶対湿度、*Acremonium charticola*, *Cystofilobasidium infirmominiatum*, *Aspergillus parasiticus*

表-4 喘息と真菌の多変量解析

要因	オッズ比	95% 信頼区間		有意確率
		下限	上限	
<i>Exidia japonica</i>	1.13	1.04	1.24	0.006**
<i>Trichosporon otae</i>	1.04	1.01	1.08	0.018*
<i>Papiliotrema laurentii</i>	1.04	1.01	1.07	0.017*
<i>Verrucaria muralis</i>	1.29	1.07	1.55	0.008**

HosmerとLemeshowの検定:0.330 判別適合率:95.9% **p<0.01, * p<0.05

表-5 喉症状と真菌の多変量解析

要因	オッズ比	95% 信頼区間		有意確率
		下限	上限	
<i>Eremiomyces magnisporus</i>	1.14	1.02	1.27	0.020*
<i>Leptospora rubella</i>	1.04	1.00	1.08	0.036*
<i>Arthrocatena tenebrio</i>	1.01	1.00	1.01	0.011*
<i>Setophoma vernoniae</i>	1.12	1.03	1.21	0.007**

HosmerとLemeshowの検定:0.752 判別適合率:87.7% ** p<0.01, * p<0.05

4. 室内真菌叢と子供の健康影響の要因解析

4.1 解析概要

住宅のダンプネスや環境要因、真菌が健康及ぼす影響を分析するため、多変量ロジスティック回帰分析を行った。分析には IBM SPSS Statistics Ver.23 を用いた。

まず、尤度比による変数減少法により関連性の高い要因を選定し、強制投入法により調整オッズ比を算出した。また、単変量解析で $p < 0.2$ となり、その中で有意確率が小さい真菌 10 種を独立変数、「アレルギー疾患」「自覚症状」の有無を従属変数とした。

4.2 解析結果

表 4 に喘息と真菌の多変量解析の結果を示す。真菌において全ての要因で $p < 0.05$ となり、喘息の発症に有意な関連を示した。また、オッズ比は 1 以上であり、喘息の発症と有意な関連があると考えられる。*Trichosporon* 属の真菌は、夏型過敏性肺炎や日和見感染として発症する播種性トリコスポロン症の原因となる真菌である⁴⁾。

表 5 に喉症状と真菌の多変量解析の結果を示す。喘息と同様の傾向で、真菌は $p < 0.05$ となり、喉症状の発症に有意な関連を示した。また、オッズ比は 1 以上のため、喉症状の発症と有意な関連があると考えられる。

5. まとめと今後の展望

本研究では、ダンプネスの程度が重篤な住宅の室内環境を明らかにするとともに、検出された真菌と子供の健康状態の関連性を把握するために、アンケート調査や実測調査結果に基づいた各統計手法を用いて分析を行った。その結果、室内温湿度や真菌の存在がダンプネスに影響していること、各呼吸器系症状の発症と真菌叢には有意な関連性があることが確認できた。

今後は、サンプル数を増やし知見を深めるとと

もに、「ダンプネス」「室内環境の汚染」「健康影響」それぞれの影響度を定量化し、因果構造を明らかにする予定である。

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) OTU とは、96~97%以上の類似性を持つ配列同士を一つの菌種のように扱い、分類した結果得られる配列数を示す。よって OTU とは、真菌叢を構成する菌種の数を表す³⁾。

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) <http://www.nite.go.jp/nbrs/safety/ecosystem.html> 独立行政法人 製品評価技術基盤機構 (2018.1.29 閲覧)
- 4) http://www.kameda.com/pr/pulmonary_medicine/post_2.html (2018.2.3 閲覧)

A-7

住宅の温熱環境が早朝高血圧に与える影響についての調査研究

－冬期の就寝時暴露温度との関係－

○小原幸果（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Case Study for Effect of Morning Surge in Indoor Thermal Environment

Relationship between Morning Surge and Exposure Temperature in Winter Bedtime

Obara Yukika (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：早朝高血圧，高齢者，実測調査，就寝時暴露温度

1. はじめに

循環器疾患の発症に伴う死亡は，日本の突然死の原因における7割以上を占めている。特に，起床前後や午前中に発症することが多いことが分かっており，早朝高血圧を抑制することが発症の予防において重要となる。最近では血圧の上昇を防止するための対策として，生活習慣の改善のみではなく，住宅内の環境改善に期待がされている。

既往研究¹⁾で，睡眠時の寝室温度が早朝高血圧と深く関係している可能性が示唆された。特に，高齢者は若年者よりも早朝血圧が睡眠時の暴露温度に影響されやすく，曝露されていた温度が低いほど起床時に血圧が上昇しやすい傾向が見られた。

そこで，本研究では冬期の就寝時暴露温度と早朝血圧の関連性についてのエビデンスを得ることを目的とし，山形県在住の高齢者を被験者として，調査期間の異なる2種類の臨床的調査を実施した。

1. 調査概要

1.1 長期の実測調査

住宅の温度変化，特に睡眠時の寝室温度が居住者の早朝血圧にどのような影響を及ぼすか，年間を通して観察することを目的とし，表-1，写真-1に示す2名の高齢者を対象に，7月上旬～12月下旬にわたり住宅の温湿度測定と起床時・起床後の早朝血圧測定を実施した。

温湿度は小型データロガー（onset社製UX100-011）を用い，図-1に示す居間・寝室・脱衣所・外の計4箇所にて10分間隔で測定した。

早朝血圧は通信機能付血圧計（エー・アンド・デイ社製UA-767PC）を用い，起床時は寝室，起床後は居間で，指針²⁾に沿った測定を行った。

表-1 被験者概要

世帯	性別	年齢	飲酒	既往歴	服薬	血圧(mmHg) (最高/最低)
S邸	女	69	週4～5日	高コレステロール	コレステロール降下剤	121/76
I邸	女	62	無し	高コレステロール	無し	110/74

※最高血圧と最低血圧は健康診断時の値



写真-1 調査住宅(左: S邸, 右: I邸)

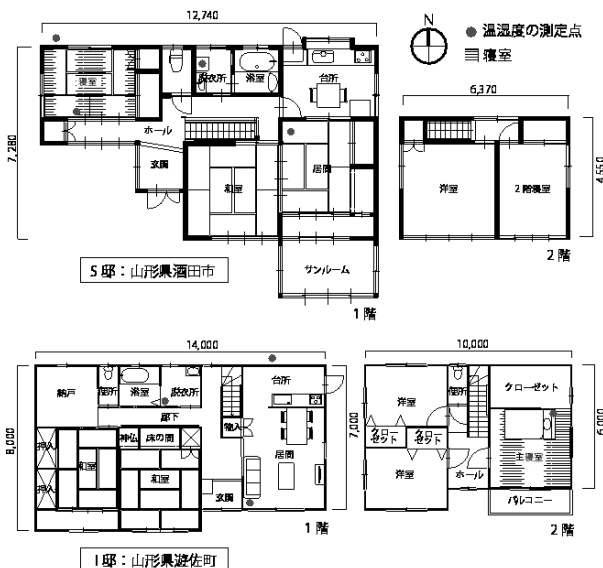


図-1 調査住宅の平面図・温湿度の測定点

1.2 冬期の詳細調査

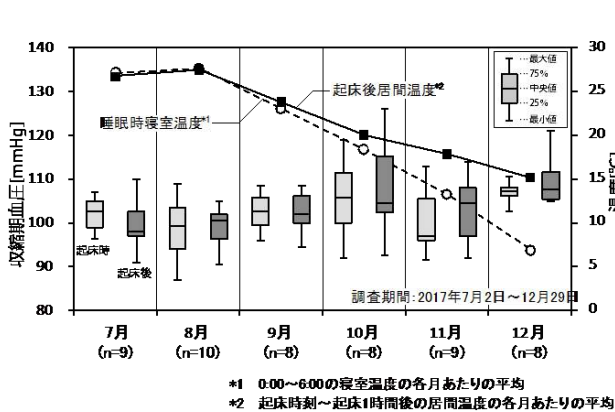
睡眠時の寝室温度の変動に伴って、就寝から起床にかけての血圧がどのように変化するかを詳細に観察することで、早朝血圧の上昇の仕方に変化が生じるか、日中の血圧の上昇に影響するかを検討することを目的とし、12月下旬に被験者の睡眠時の血圧を連続測定した。

調査は、睡眠時の寝室に「暖房あり」の日と「暖房なし」の日の2通りを設け、それぞれ1日ずつ実施した。血圧測定は携帯型自動血圧計(エー・アンド・デイ社製 TM-2431)を用いて、22:00~5:59は30分間隔、6:00~21:59は60分間隔で自動測定した。被験者への負担や、健康面を考慮し、就寝時の暖房の有無以外は条件を課さずに実施した。また、測定と併せ、被験者の行動を簡単に日記に記入してもらうよう依頼した。

2. 調査結果と考察

2.1 各室の温度変動と収縮期血圧の関係

図-2に長期にわたる各室の温度と早朝血圧の



関係を示す。両被験者とも夏期から冬期に向かうにつれて起床時の収縮期血圧の中央値が上昇していることが分かる。I 邸の被験者に至っては、8月と12月の中央値に20~25mmHgの大きな差が見られた。この理由の1つとして、低温に曝露されるようになったことが影響している可能性がある。

しかし、起床後の血圧については夏期と冬期でほとんど差が見られなかった。この結果は、起床後居間温度が冬期でも15°Cを下回ることが少なく、起床後の血圧測定時の環境が比較的温暖であったために、血圧の上昇が抑制されたのだと考えられる。

2.2 各室の温度変動と収縮期血圧の関係

冬期の詳細調査で得られた温度データをもとに、調査住宅の冬期における温熱環境を吉野ら³⁾の評価法を用いて1(劣)~5(優)で総合的に評価した。評価結果を表-2に示す。いずれの住宅もグレードの平均値をとると3.3となり、両住宅が同等の温熱環境であることが分かった。

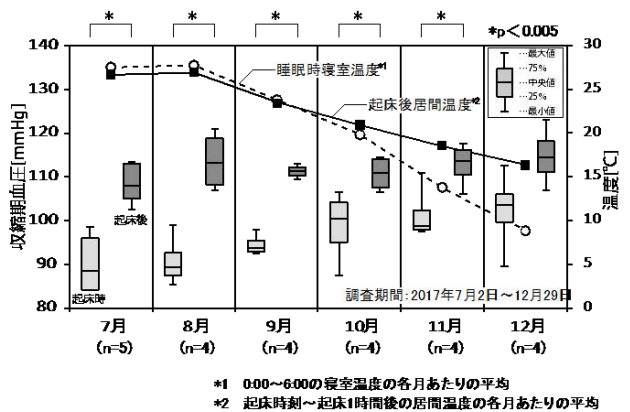


図-2 各室の温度と収縮期血圧の関係(左:S邸, 右:I邸)

表-2 調査住宅の温熱環境グレード

グレード		1	2	3	4	5	S邸	1	2	3	4	5	I邸		
居間温度	団らん時	床上1.1mの温度	12	15	18	21	24	4(21.5)	12	15	18	21	24	3(17.4)	
		上下温度差*1	10	8	6	3	0	2(7.5)	10	8	6	3	0	3(4.9)	
		グローブ温度差*2	-3	-2	-1	0	1	4(-0.2)	-3	-2	-1	0	1	4(0.1)	
		明け方の最低温度*3	2	6	10	14	18	2(6.8)	2	6	10	14	18	3(8.3)	
寝室の温度(団らん時)*4		4	8	12	16	20	3(11.2)	4	8	12	16	20	3(10.1)		
脱衣所の温度(団らん時)*4		2	5	8	11	14	5(13.1)	2	5	8	11	14	4(10.4)		
平均							3.3	平均							3.3

*1 床上1mの温度が20°C、外気温が0°Cの時の値
 *2 グローブ温度と床上1m温度との差
 *3 外気温が0°Cの時の値
 *4 団らん時に、居間の床上1mの温度が20°C、外気温が0°Cの時の値

2.3 冬期詳細調査期間における被験者の情報

ヒアリングと、許斐ら⁴⁾のピッツバーグ睡眠質問票^{注1)}をもとに作成した睡眠の質に関するアンケートの回答から、被験者の冬期就寝時の情報を収集した。その概要を表-3に示す。

就寝時はS邸の被験者の方が着衣量も多く、寝具もI邸より多く使用していることに加え、普段は就寝前に寝室を暖房していた。

また被験者の睡眠の質^{睡眠の種類}1点(劣)で評価すると⁴⁾、S邸とI邸のどちらの被験者も普段から軽度の睡眠障害の疑いがある6点以上であった。また、S邸の被験者は調査期間において、I邸の被験者は普段の方が、睡眠の質が悪いという結果であった。

2.4 寝室温度の違いによる血圧変動の相違

図-3、図-4に曝露温度と収縮期血圧の関係を示す。S邸の被験者は「暖房あり」の日と「暖房なし」の日で収縮期血圧に大きな差は見られなかった。その結果は、「暖房あり」の日の寝室温度が十分に上昇せず、マットレスの日と寝室温度に差がなかったことが原因だと考えられる。しかし、S邸の被験者は「暖房あり」の日の23:00付近に一時性的に血圧が上昇して140mmHg程度まで上昇していたことから、睡眠の質が悪くなるに伴う途中覚醒が起るとI邸の被験者に比べても就寝時より日中収縮期血圧の方が高くなっており、起床時刻付近に上昇を始めていた。しかし、「暖房あり」の日

表-3 睡眠時の基本情報

世帯	着衣量[clo]		寝具の種類	普段の寝室の暖房	睡眠の質[点]	
	在宅時	就寝時			通常時	調査期間
S邸	1.17	0.49	敷布団、シーツ、綿毛布、毛布、羽毛布団	就寝前のみ暖房	8	9
I邸	1.36	0.45	マットレス、シーツ、タオルケット、羽毛布団	なし	6	4

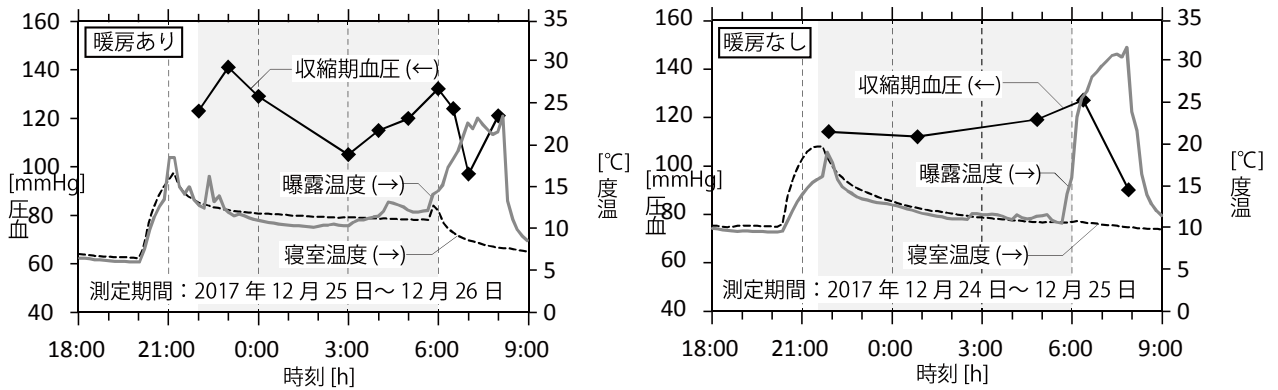


図-3 S邸における寝室温度と血圧の推移

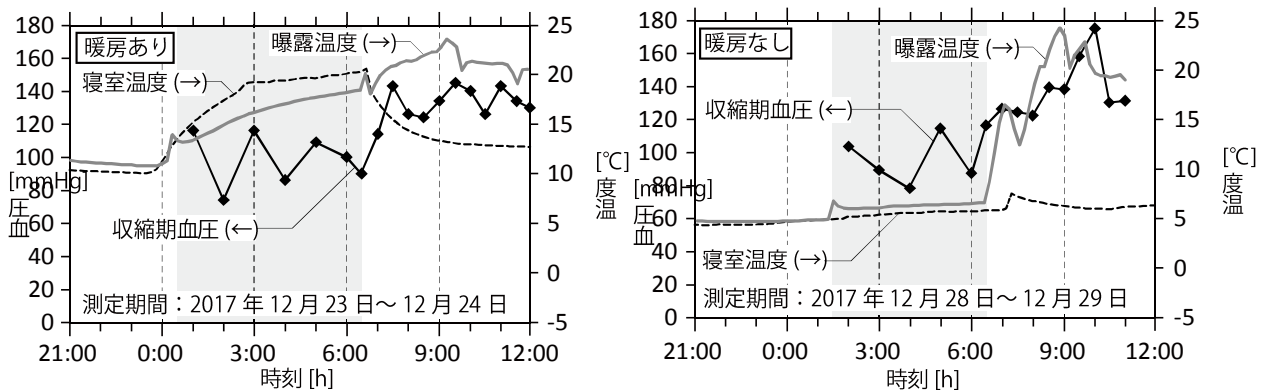


図-4 I邸における寝室温度と血圧の推移

の収縮期血圧が、起床後に1時間程度上昇し、その後は平均して130mmHg程度を推移していたのに対し、「暖房なし」の日は起床時刻から数時間にわたり収縮期血圧が上昇を続け、10:00には約180mmHgを示していた。このような差が生じた原因として、測定日の被験者の活動の違いや、曝露温度の変動が関係していると考えられる。ヒアリングや日誌から測定日の被験者の活動を比較すると、「暖房あり」の日は日中のほとんどを居間で過ごしており、活動量も比較的少なかったが、「暖房なし」の日の日中は、収縮期血圧の上昇が見られた時間帯に外出しており、活動量が比較的多かった。そのため、血圧測定時の活動が活発であった「暖房なし」の日の方が収縮期血圧は高くなった可能性が高い。また、I邸の被験者の就寝時の寝室温度と日中の曝露温度を見ると、「暖房あり」の日は緩やかに上昇しており、温度差も小さかったが、「暖房なし」の日は就寝時の寝室温度が低かったため、日中の曝露温度との温度差が大きかった。「暖房なし」の日中の温度に注目すると、起床後2~3時間は曝露温度が20℃以下を推移しており、「暖房あり」の日に比べ、低温に曝露されている時間が長く、その間は収縮期血圧も上昇する傾向にあった。そのため、測定時に曝露されていた温度が血圧に影響を及ぼす可能性がある

3. まとめと今後の展望

長期の実測調査から、夏期よりも冬期の方が血圧が高くなる傾向があることに加え、血圧測定時の温度が15℃以上であれば早朝血圧の上昇を抑制できる可能性があり、石川¹⁾が示唆していた知見と照合する結果を得た。

冬期の詳細調査から、活動の違いや、曝露温度が血圧に関係している可能性があり、活動量が多い場合や、曝露温度が低温である場合は血圧が上昇しやすい傾向が見られ、高血圧につながる恐れがあることが分かった。また、睡眠の質や、それに伴う途中覚醒が就寝時の血圧に影響を及ぼす可能性も確認できた。

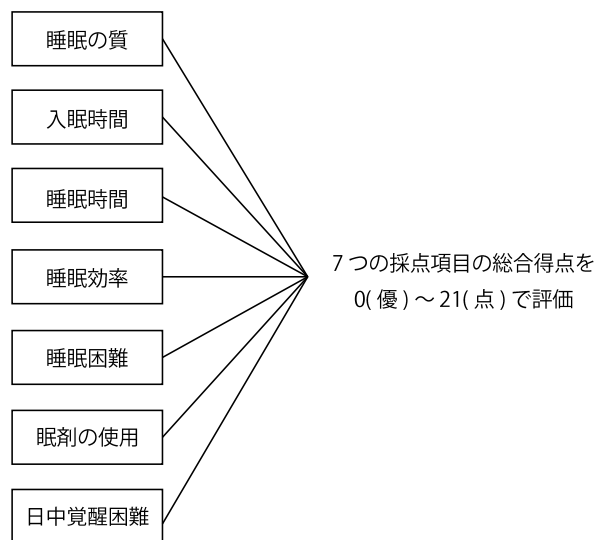
本研究の現段階では、寝室温度の差が直接的に就寝時や早朝の血圧に関連しているという明確な結果は得られていないため、今後はその関連性を明らかにするために、長期調査の継続により、厳寒期におけるデータを分析し、知見を深める。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究(C)(研究代表者：後藤伴延、課題番号：16H04460)の補助により実施した。また、調査実施に当たっては、被験者の皆様に多大なる協力を賜りました。ここに記して深甚なる謝意を表します。なお、本研究は秋田県立大学・倫理委員会の承認(見大研-251、平成29年12月28日取得)を得ている。

注釈

注 1)睡眠の質に関するアンケートの採点項目の概要を以下に示す。



参考文献

- 1)石川実歩:高血圧予防のための住環境計画に関する研究—住宅の温熱環境特性が家庭内血圧に与える影響—,秋田県立大学 平成28年度卒業論文,2017.3
- 2)日本高血圧学会学術委員会家庭血圧部門:家庭血圧測定の手引第2版,ライフサイエンス出版,2011.2
- 3)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論文報告書 第371号,昭和62年1月
- 4)許斐氏元,鈴木衛,小川恭生,大塚康司,萩原晃,稲垣太郎,井谷茂人,斎藤雄:ピッツバーグ睡眠質問票日本版を用いたためまい患者における睡眠障害の検討,Equilibrium Res Vol. 73(6) 502~511,2014

A-8

寒冷地における庁舎建築の環境性能に関する実態調査 —居住域における温熱環境の評価—

Survey on the Environmental Performance of Public Office Building in Cold Area

Evaluation of thermal environment in residential area

○長谷川 宏登 (秋田県立大学), 長谷川 兼一 (秋田県立大学),

竹内 仁哉 (秋田県立大学), 松本 真一 (秋田県立大学)

Preparation of Papers for SHASE Tohoku Conference

Hiroto Hasegawa (Akita Prefectural University), Kenichi Hasegawa (Akita Prefectural University),
Jinya Takeuchi (Akita Prefectural University), Shinichi Matsumoto (Akita Prefectural University)

キーワード：温熱環境, 実測調査, アトリウム, 床染出空調

1. はじめに

2016年4月に秋田市新市庁舎が竣工し、建物中央にはアトリウム空間、執務空間には床染出空調を採用するなどの様々な環境調整手法が導入されている。国のエネルギー基本計画²⁾では、2020年までに新築公共建築物等でZEBを実現する政策目標が設定されているため、寒冷地の庁舎建築の環境調整手法ならびに温熱環境や運用の実態を明らかにすることは意義あることである。

研究グループでは、秋田市庁舎を対象に庁舎建築のアトリウム・床染出空調による温熱環境の実態を明らかにするため実測調査を継続している。本研究では2017年度のデータを分析したので報告する。

2. 対象建物の概要

調査対象建物の概要を表-1に示す。

対象建物は「寒冷地に立つ災害に強い環境建築」を目標の元に設計された。自然換気や自然採光を活用するパッシブ建築をベースとし、高い省エネルギー性の設備システムの構築、太陽光や地中熱を利用した再生可能エネルギー導入がテーマとなっている。

2.1 アトリウム空間

アトリウム空間の環境計画の考え方を図-3に示す。各階執務空間から流れ出る空気が吹抜内部で上昇し、上層で熱だまりを形成する。夏期には最上部に設置された逆流防止窓において自然換気を、下層では居住域空調を行う。

2.2 執務空間

執務空間では図-4に示す床染出空調を採用してい



図-1 調査建物外観写真

表-1 調査建築物概要

敷地面積	25,851.4m ²
建築面積	5,798.2m ²
延床面積	31,916 m ²
構造	RC造, 一部PC, 地下駐車場柱頭免震構造
最高高さ	29.5m(平均地盤面より)
階数	地上7階, 地下1階(基準階高さ4.1m 天井高3.0m)
PAL値	206.8MJ/(m ² ・年)(基準値:300MJ/(m ² ・年))
アトリウム形状	中庭型

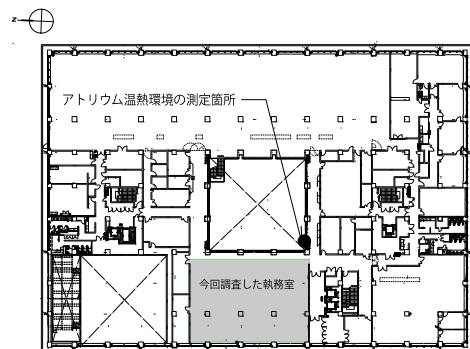


図-2 4階平面図と分析対象とした執務空間

る。この方式の特徴として、空調を行う空間の温度を均一にできることや、置換換気によるエネルギーロスが挙げられる。一般に床染出空調には定風量方式が採用されるが、秋田市庁舎においては変風量制御とし、許容される範囲で風量を絞り、省エネルギーに寄与させることが特徴である。

3. 計測概要

建物内の温湿度や消費電力量のデータが、ビルエネルギー管理システム (BEMS) によって計測されている。本研究では各計測点に計測器具を設置するとともに、分析に不足するデータについては BEMS で計測されているデータを用い分析を行う

3.1 アトリウム空間の計測

アトリウム空間では3階から7階キャットウォーク付近の空気温度を小型データロガーにより 10 分間隔で連続測定している。1階と2階は BEMS より得られたデータを充てる。計測箇所は図-4 に示す。

この測定では、アトリウム空間内部における上下温度分布を分析し、熱だまり空気が下層の居住域へ影響を与えているか確認する。

3.2 執務室の計測

4階西側の執務室を対象とし、床染出空調の空調空気温度、CO₂濃度、ならびに PMV について計測を行う。

執務室の計測にあたり、小型データロガーを床上 0.1m 地点と床上 1.1m 地点に設置し、床上 0.1m 地点では空気温度、床上 1.1m 地点では空気温湿度と CO₂ 濃度を計測する。また、PMV 導出のためにグローブ球を床上 1.1m 地点に設置する。空調空気温度を計測する上で、不足するデータについては BEMS データを充てることとする。

この計測では、PMV の導出にあたり、気流速度を 0.15m/s、代謝量を 1.1met、着衣量を夏期は 0.6clo、冬期は 1.2clo と設定する。表-2 に執務室 4-3 における空調機の定格能力、図-6 に計測器具の概略図を示す。

表-2 執務空間における空調機の定格能力

記号(名称)	AC-W1-4F(4F 執務室 4-3 系統)
型式	マルチファン空調機 4台連結床吹出空調機
給気風量	11200m ³ /h
コイル能力	冷却：38.3kW 暖房：28.7kW
ファン動力	1.5kW×4
往還温度条件	暖房：29.2℃/22℃ 冷房：18.6℃/27.4℃

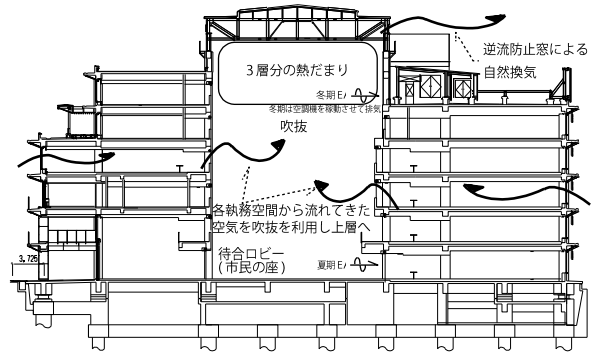


図-3 吹抜における環境調整システムの概要

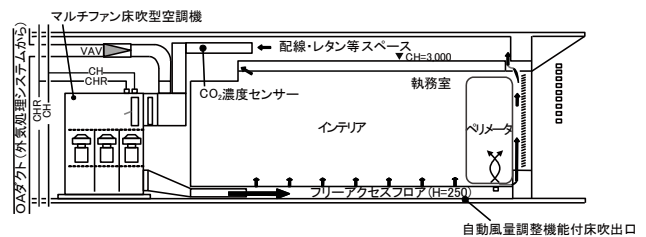


図-4 執務室における床染出空調のフロー

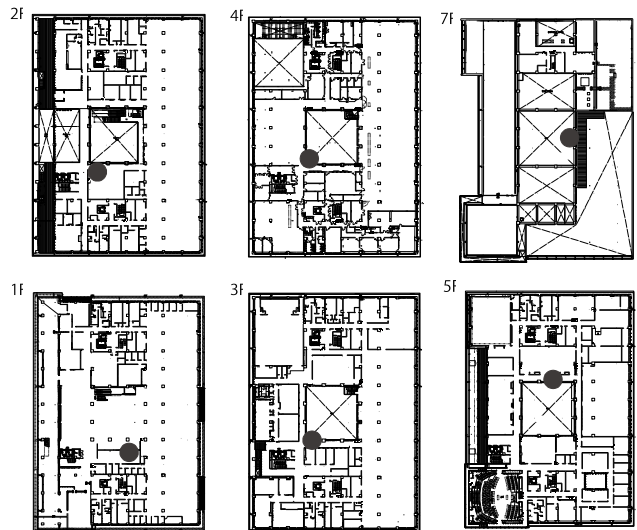


図-5 アトリウム空間計測箇所



図-6 計測対象の執務室と計測機器

4. 計測結果

4.1 アトリウム空間

(1) 上下温度分布

アトリウムにおける夏期と冬期のそれぞれ晴天日と曇天日の計測結果を図-8(a)~(d)に示す。各時間帯の凡例の横の数値は熱だまり空氣を回収する排気ファンの稼働率を示している。(a)の夏期晴天日に注目すると、7階キャットウォークの温度と5階以下の温度差が顕著になっており、熱だまりの形成が確認できる。冬期に関しては、7階キャットウォークの温度が上がりきっていないが、排気ファンの稼働率を見る限り、熱回収が行われていることが窺える。

また、晴天日と曇天日での比較について、夏期においては7階キャットウォークの空氣温度が多少の差を見せたものの、ある程度熱だまりが形成されていた。冬期に関しては下層での居住域空調に加え、上部での熱回収が行われていたためか、天氣の違いで顕著な差は生じなかった。

(2) 空氣温度の累積頻度分布

図-9に年間のキャットウォークと5階以下の階層における空氣温度の累積頻度分布を示す。7階キャットウォークの空氣温度は季節によって大きな差が見られたが、5階以下の階層の空氣温度は年間を通して顕著な差が見られず、25%~75%帯の温度が25°C程度で安定していた。

夏期と冬期ともに5階以下の空氣温度の上下分布や累積頻度分布に大きな差がなく、7階キャットウォークの熱だまりは下階の居住域の温熱環境に影響していないことが確認でき、適切な温熱環境が形成されていると考えられた。

4.2 執務空間

(1) 空調空氣温度

執務空間の空調空氣温度について夏期と冬期の測定結果を図-10に示す。夏期では最大給気風量で空調運転されていたが、0.1m地点と1.1m地点との間で温度差が最大3.6°C発生しており、冷気が室内下部に滞留している様子が窺える。冬期では、執務空間として適切な温熱環境が形成されていると評価できるが、給気風量が最大のまま空調運転されている日が多く、変风量制御が適用されていない実態を確認した。

(2) CO₂濃度

図-11に示すCO₂濃度に関して、冷暖房期において給気風量に変動があった日と変動がなかった日を示す。執務室に在室していた人の数によってCO₂濃度は変動するが、空調稼働時間中は概ね1000ppm程度で推移していた。しかし、給気風量が最大でないときは室内の濃度が還気濃度より高く、換気が十分でない可能性も見てとれる。

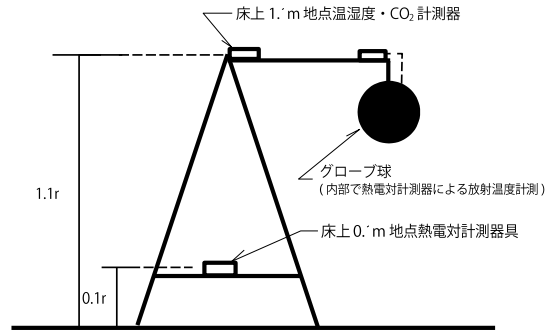


図-7 執務空間における計測器具概略図

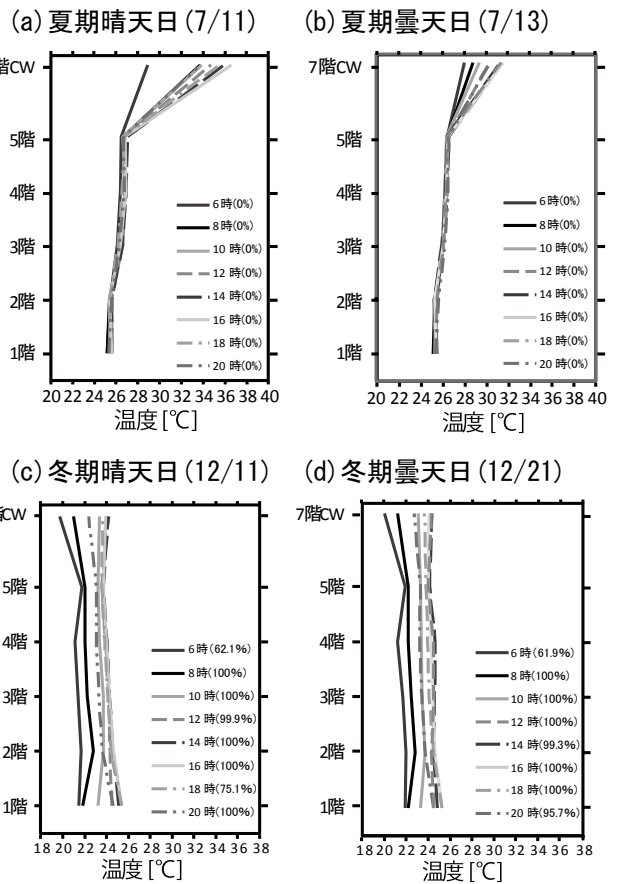


図-8 アトリウム空間における上下温度分布

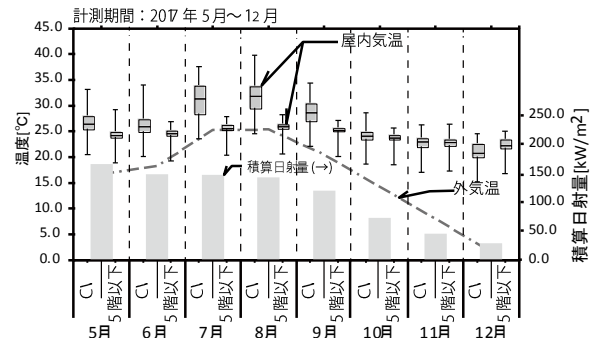


図-9 アトリウムにおける温度累積頻度分布

(3) PMV

図-12に夏期と冬期におけるPMVの計測結果を示す。インテリアゾーンで計測していた冬期はPMVが±0.5以内に収まり、人体にとって快適であるとの結果が得られた。また、ペリメーターゾーンで計測していた夏期については日射の影響などによるPMVの過度な増大が予想されたが、空調運転時間中はPMVが最大で1を超える程度で収まり、おおむね0.5程度を推移していた。

5. まとめ

本研究で扱った範囲では、アトリウム空間の温熱環境は概ね良好だったが、執務空間に関してはPMVの測定結果では快適性に問題がなかったものの、夏期には室温が設定温度まで下がらないこと、風量を絞った運転でCO₂濃度が増大してしまうことなど、冷房空気の滞留や換気状態について更に検証が必要と考えられる。

今後はインテリアゾーンとペリメーターゾーンの室内環境の同時期での比較や、アトリウム空間の環境調整機能がどの程度省エネルギーに寄与しているか確認することが必要である。

謝辞

本研究を実施するに当たっては、株式会社日本設計・星野聡基氏ならびに、秋田市役所・伊藤新氏を始め関係各位の多大なる協力をいただいた。また、本研究は、株式会社日本設計、清水建設株式会社、新菱冷熱工業株式会社より補助を受けて実施している。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参 考 文 献

- 1)吉野博, 伊藤邦明, 青笹健:アトリウムの温熱環境に関する文献調査, 日本建築学会計画系論文集, 第483号, pp.63-72, 1996.5
- 2)松木直哉, 加治屋亮一ほか: 全面床吹出しとペリメーターレス空調を採用した室内の気流温度分布に関する研究 (第2報) 夏期・冬期測定実験とCFD解析の比較, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.205-208, 2009.9
- 3)竹林芳久, 小林昌弘, 野部達夫: 全面床吹出し空調システム, 清水建設研究報告第60号, 1994. 10, https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol60/pdf/60_011.pdf 閲覧

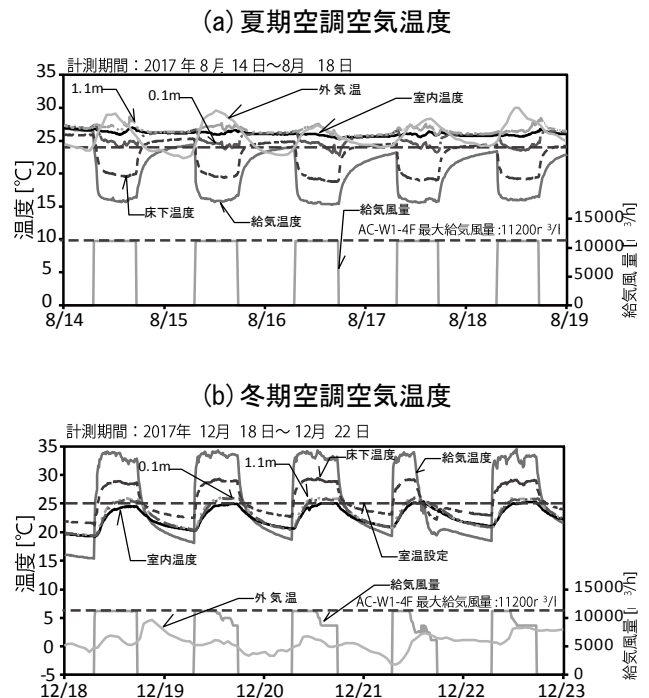


図-10 執務空間における空調空気温度

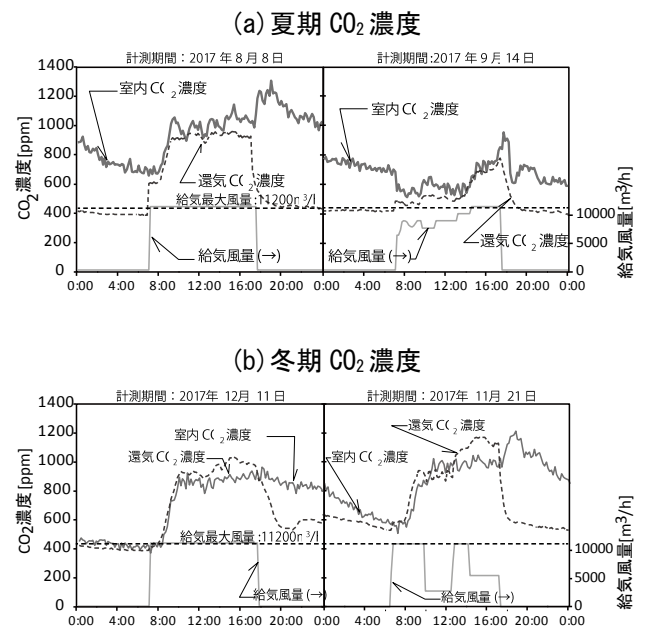


図-11 執務室におけるCO₂濃度

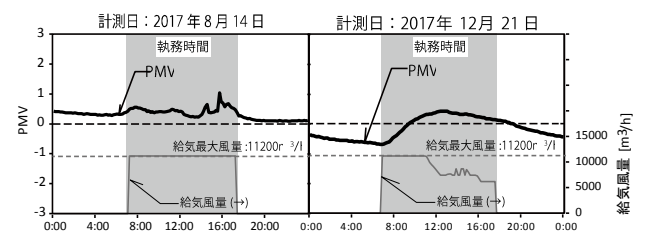


図-12 執務室におけるPMV (左:夏期 右:冬期)

A-9

建築設備設計における BIM 技術の活用

その1 Revit を用いた空調負荷の計算

○田畑 雄太 (東北工業大学), 佐々木 一希 (東北工業大学), 許 雷 (東北工業大学),

Building Equipment System Design with BIM Technology
 Part1 Air Conditioning Load Calculation
 Tabata Yuta, Sasaki Kazuki, Lei Xu (Tohoku Institute of Technology),

キーワード : BIM、冷房負荷、暖房負荷、最大負荷

はじめに

ここ数年で日本建築業界においても広く普及し認識されるようになってきている BIM 設計について、設備分野における普及は少なく、BIM の普及は発展途中だという点について注目をした。その中で、本研究では BIM の MEP 分野について取り上げ、中でも空調設計に関し実務設計の効率化につながる期待性を検証する研究を行った。今回使用する BIM は、Autodesk 社が提供する BIM ツール、「Revit」を使用し行っていく。

1. 冷暖房負荷解析のケーススタディについて

1.1 使用するモデルの概要

今回解析の結果と比較する対象として、日本のケースを用い Revit 内の解析と比較を行っていく。ケースとして構築する例題は東京に位置する 8 階建ての事務所ビルであり、解析を行うのは図-1 より基準階平面図東オフィスエリアを対象とする。また、室内の詳細設定は表-1 に示す。

1.2 冷暖房負荷の計算方法について

日本の例題では新最大熱負荷計算を用いているが、Revit の解析では ASHRAE で用いられている RTS 法を使用している。



図-1 例題の基準階平面図

表-1 室内の詳細

室内詳細	
面積	東オフィスエリア総床面積 : 303 m ² 階高:3.6m 天井:2.6m
温湿度	冷房 : 夏季 26°C 50% 夏季最高 34°C 給気温度 : 16°C
	暖房 : 夏季 22°C 50% 夏季最低 2°C 給気温度 : 32°C
在室人員	0.2 人/m ²
照明発熱	20 W/m ²
事務機器	18 W/m ²
外気量	8.3 L/(s・人) (30 m ³ /h・人)
冷房時間帯	平日 : 8~18 時

1.3 冷暖房負荷解析の準備

Revit で冷暖房負荷解析を行うには、解析するエリアに対して、スペース、ゾーンツールでエリア分けを行い、配置した各ゾーン、スペースに対し、表-1 の室内詳細の設定をする。

今回エリア設定をする際に、例題では階高までの熱負荷計算を行っているが、Revit の解析エリア設定では天井高まで設定を行った。

また建材に対しても熱貫流率を設定することが可能である。素材としては、今回 Revit 内で外壁の素材はコンクリート・断熱材、内壁については、コンクリート・モルタルの素材から熱貫流率の設定をした。設定した熱貫流率の値を表-2 に示す。

表-2 熱貫流率の設定

	例題	Revit
外壁	U=1.02(W/(m ² ・K))	U=1.02(W/(m ² ・K))
内壁	U=2.92(W/(m ² ・K))	U=2.98(W/(m ² ・K))
窓	U=2.6(W/(m ² ・K)) SC=0.4	U=2.8(W/(m ² ・K)) SC=0.4

Revit 内の気象データにも注目をした。今回解析に使用した Revit の既存の気象データの一覧表を表-3 に示す。

表-3 Revit 内の既存の気象データ

月	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
乾球温度(℃)	15	16	19	24	27	30	34	34	32	27	22	17
湿球温度(℃)	10	12	15	19	21	24	26	27	26	22	17	13
平均日乾速(℃)	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7

2. 解析の結果について

2.1 解析結果

例題と Revit の結果一覧を表-4 に示す。例題で求められた熱負荷と比べ、Revit の解析では既存の気象データが誤差 10%となり近い値となったが、暖房負荷については誤差 40%と大きく差が出た。

また、Revit では解析結果のレポートを作成することが可能である。既存の気象データで解析をしたものを例題と比較していく。

表-4 例題と Revit の解析の冷暖房負荷の集計

	例題	Revit
冷房負荷密度(W/m ²)	158	138
冷房負荷 全熱 (W)	47946	41513
冷房負荷 顕熱 (W)	32991	26391
冷房負荷 潜熱 (W)	14955	15122
	誤差	10%
暖房負荷密度 (W/m ²)	131	73
暖房負荷 (W)	39621	21844
	誤差	40%

2.2 解析の詳細

2.2.1 冷房負荷の内訳

各部の冷房顕熱負荷について、集計をまとめたものを表-5 に示す。建材について顕熱負荷は Revit の方が大きい値となっており、RTS 法による蓄熱負荷が考慮されているからだと考える。次に室内について見ていく。例題では新最大熱負荷計算により蓄熱負荷が単体で算出されているが、各部を比較すると照明、人体、機械、外気の顕熱負荷の差は大きくないが、蓄熱負荷分が大きく差が

出ている事が分かる。

2.2.2 暖房負荷の内訳

室内の暖房負荷の詳細について見ていく。まとめた結果を表-6 に示す。窓の暖房負荷は例題と比べ少し低くなっているが、壁の熱負荷は Revit のほうが大きくなっていることが分かる。冷房負荷同様、蓄熱負荷分が大きく差があり、外気についても大きく差がついてしまっている。

表-5 各部の冷房顕熱負荷

	例題	Revit
窓(W)	6430	7286
壁(W)	929	1421
照明(W)	4545	4807
人体(W)	4120	4148
機械(W)	5454	4326
蓄熱負荷(W)	6630	0
室内負荷(W)	28108	21988
外気(W)	4883	4403
合計(W)	32991	26391

表-6 暖房の各部の熱負荷

暖房	例題	Revit	外気	例題	Revit
窓(W)	4204	3259	顕熱(W)	12362	14488
壁(W)	4063	4688			
蓄熱(W)	8484	0			
室内合計(W)	16751	7947	潜熱(W)	10508	
			合計(W)	22870	14488

3. まとめと考察

今回の解析では、例題の熱負荷解析が階高までだったことに対し、Revit での解析エリアを天井までとしていたため少し誤差が出てしまったのではないかと考える。

暖房負荷については差が大きく開いてしまったことに対し、蓄熱負荷を安全率として大きくとっているのではないかと考え、外気の熱負荷も気象データによる影響があるのではないかと考える。

冷房の顕熱負荷については、蓄熱分を考慮するとほぼ同じ値となり、空調の風量を決定する際にも冷房の顕熱負荷の結果を反映させることは可能なのではないかと期待性が持てる。

参考文献

- 1) 編者 空気調和・衛生工学会: 空気調和設備計画設計の実務の知識 (改訂4版)、株式会社オーム社、平成29年3月25日

A-10

建築設備設計における BIM 技術の活用

その 2 Revit を用いたダクトシステムの設計

○佐々木一希（東北工業大学）、田畑雄太（東北工業大学）、許雷（東北工業大学）

Building equipment system design with BIM technology Part2 Duct design for air distribution system

Sasaki Kazuki (Tohoku Institute of Technology) ,Tabata Yuta(Tohoku Institute of Technology)

Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：BIM, ダクト, 抵抗,

はじめに

ここ数年で日本建築業界においても広く普及し認識されるようになってきている BIM 設計について、設備分野における普及は少なく、BIM の普及は発展途中だという点について注目をした。その中で、本研究では BIM の MEP 分野について取り上げ、中でもダクト設計に関し実務設計の効率化につながる期待性を検証する研究を行った。今回使用する BIM は、Autodesk 社が提供する BIM ツール、「Revit」を使用し行っていく。

1. 研究概要と目的

本件研究ではダクト設計をするにあたり Revit でのダクト設計はどの程度行えるかを実際に行った作成手順として説明しながら研究を進めていき、ダクト作成後にはどんなことが出来るか、どんな解析ができるのかについても検証していく。そこから実際のダクト設計に BIM ツールとしての Revit がどれだけ有効なのかということの証明が本研究の目的である。

ケーススタディとして扱ったモデルの概要、条件と設定方法は「建築設備設計における BIM 技術の活用 その 1」を参照していただきたい。

2. 設計基準の比較

設計の前段階として計算基準の日米の計算基準の比較を行った。90°エルボ（図1、表1を参照）の損失係数を例に比較すると米資料の ASHRAE HANDBOOK²⁾ で扱っている条件よりエルボの $r/D=2.5$ の場合 ASHRAE では摩擦損失係数 ζ の値は $\zeta=0.11$ だった。これに対し日本の設計基準

では、表1より $\zeta=0.12$ という数値が得られた。これについては誤差が 0.01 と小さいため解析をするにあたり十分に許容できる値だということが確認できた。

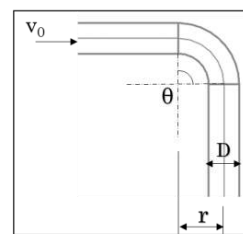


表-1 日本基準での ζ の値

$\theta=90^\circ$ のときの ζ						
r/D	0.5	0.75	1.0	1.5	2.0	2.5
ζ	0.71	0.33	0.22	0.15	0.13	0.12

図-1 90°エルボ詳細

3. ダクト設計手順

はじめに吹き出し口と吸い込み口をモデル内に組み込んでいく。その後、室内の大きさ、必要送風量に見合った設備機器を設備モデルの一覧から選択し配置する。そこから系統ごとに給気系統と還気系統とにシステムを分けていく。

配置した吹き出し口を給気、還気とそれぞれシステムごとに設定していく。

各システムの設定が終了したら吹き出し口、吸い込み口を選択し[レイアウトを生成]をクリックする。こうすることで1系統につき6つのレイアウト候補が自動で生成される。この自動生成されたレイアウトは編集が可能であるため今回のケースに見合ったレイアウトに編集することで階段室、エレベーター室、通し柱等の干渉を防ぐことが可能となる。レイアウトが決定したら自動でダクトのモデルが生成される。

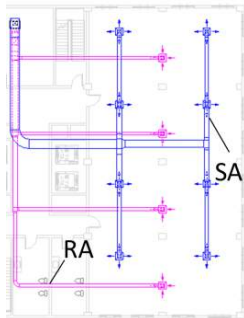


図-3 経路平面図

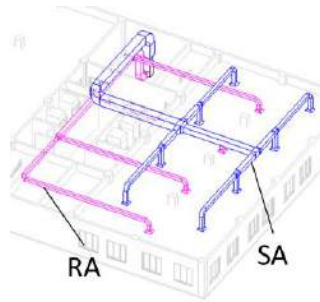


図-4 3D モデル

4. 解析について

Revit 内には様々な解析機能が備わっている。圧力損失レポートをはじめ、流量流速チェックや管径の自動変更なども解析された数値を基に Revit 内で計算され行われている機能だ。本研究では数ある解析機能の中でも必要なデータをまとめて出力できる[集計表]機能について述べる。今回は最も不利なダクト経路を8つのセクションに分けて集計表を作成した。セクションを分ける際にはダクトモデルのファミリー(オブジェクト)ごとに識別番号を振ることで解析によって得られた数値が全体のモデルのどの部分に位置するかわかりやすくなる。以下にセクションの系統図を示す。

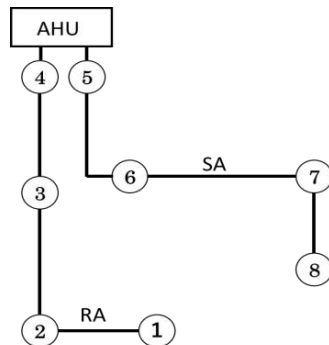


図-5 系統図

今回はさらに集計表及び解析から得られた動圧と静圧の値を基にダクトルート上のセクション系統ごとの全圧の変化を示すグラフ(図6)を作成した。例えば図6の②の-74.5Paという数値は集計表より得られたセクション②での動圧-11.9PaとRevit内の解析機能の一つであるシステム検査機能より得られた静圧-62.6Paの数値の合計値である。作成したグラフを確認するとダクト内の全圧の変化には問題がないことが確認できた。

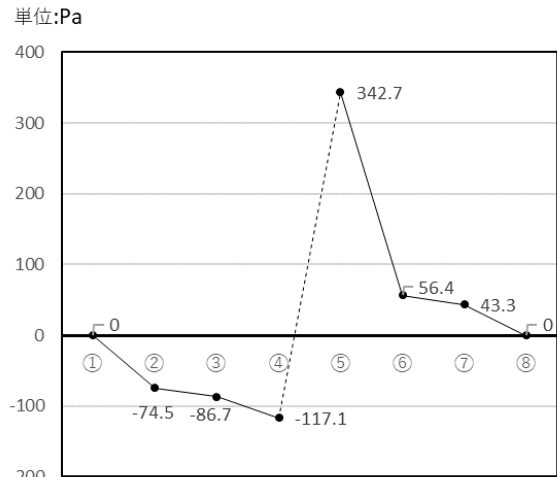


図-6 各セクションにおける全圧の変化

5. まとめと結論

本研究では Revit を用いて空気調和・衛生工学会で扱われていた凡例をケースモデルとして扱い、ダクトモデルの作成から解析及び分析を行った。結論として Revit を用いてのダクト設計は効率的に行えるといえるだろう。計算基準比較ではアメリカのソフトではあるものの日本の設計基準と大きく違った数値を使用しているわけではないと確認することが出来た。Revit でのダクト設計は比較的容易であり、ファミリー(オブジェクト)の種類や設定で付与できる情報も豊富である。また集計表や損失レポートは積算やシステム検査の分野でも非常に役立つ機能だといえる。作成した図6のグラフを見ても分かるが挙動圧力の推移にも大きな問題は見られず自然な挙動を示している。今後はさらに設備分野の世界に Revit の利便性が反映できるような研究及び開発が進んでいくことを期待する。

参考文献

- 1) 編者 空気調和・衛生工学会: 空気調和設備計画設計の実務の知識(改訂4版)、株式会社オーム社、平成29年3月25日
- 2) ASHRAE: 2013 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS

A-11

Arduino を用いた住宅換気システムの提案

○堀内絢斗（東北工業大学），許雷（東北工業大学）

The Control of Ventilation Systems with Arduino in Residential Buildings
 Horiuchi Kento (Tohoku Institute of Technology), Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：Arduino，換気システム，省エネルギー

はじめに

近年、地球温暖化という言葉を目にするようになってから、省エネルギーへの人々の関心は大きくなってきている。特に2011年3月11日の東日本大震災を期に、全国の各家庭で省エネルギーを意識する動きは高まっていると言える。

環境省が夏季に行なった意識調査によると、省エネルギーを意識する動向 CO₂ や消費電力削減のために行われたものとして多いものが、室内の冷房に関する行動である¹⁾。そういった動きがある一方で、省エネルギー化を行なえないといった例もある。その理由で数多いもののひとつにコストの問題がある。

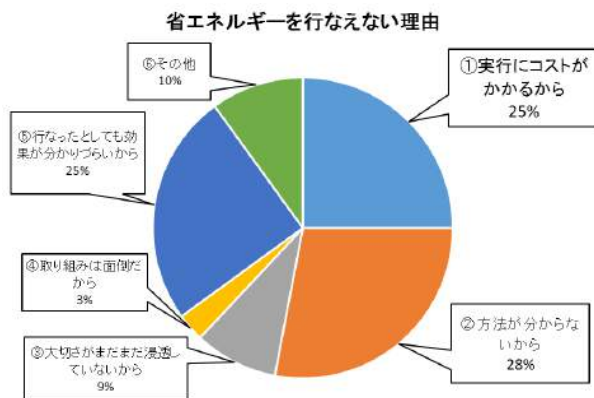


図-1 茅ヶ崎事業所において省エネを行えない理由²⁾

上図によると、省エネルギーを行なえないと回答した人の25%の人が、コストの問題で行なうことができないと回答していることが分かる。

またもうひとつの背景として、自動化技術への関心の高まりがある。その一例として注目を集めているものがIoT(Internet of Things:モノのインターネット)である。公共交通機関の遅延情報をインターネットで確認できる機能や、自動車の自動運転技術などがその例である。そういった、自動

化は作業の効率化や生活の快適性向上の面においてもこれから、より重要視されるのではないかと考える。

そのような背景から、本研究では建築設備面においてセンサー機器などを用いた自動化技術の提案を行なっていきたいと考えている。

1. 研究目的

前章で述べたとおり、現在省エネルギー化への関心が高まる一方でコストが掛かるという問題もある。そのような背景の中で、本研究は省エネルギー化と自動化を目指し検証を行なっていきたいと考える。本目的を実現するために、マイコンボードと呼ばれる比較的容易に扱える制御機器に着目し、今回は対象を住宅の換気システムに限定してシステムを提案できるように研究を行なう。

2. Arduino について

Arduino とはイタリア製のマイコン開発ボードであり、主に電子工作で多く使用されている。今回の検証にこの Arduino というマイコンを用いた理由は2つある。ひとつは回路やプログラミングに詳しくない人でも扱いやすいように開発されたものであるためである³⁾。理解しやすい独自のプログラム言語やはんだ付けなしで組める回路という点が例である。

もうひとつの理由は、価格が安いためである。例として、市販の照度計と、Arduino と照度センサーを用いて作成した照度計測装置を比較すると、市販のそれよりも非常に安価に抑えることができる。また、プログラムを作成するための開発環境もインターネット上から無料でダウンロードすることができる。そういった、コストや扱いやすさの観点から、Arduino を使用することとした。

3. 実験概要

今回の実験は実際の居室ではなく模型を使用し、本来よりスケールの小さい空間を居室と見立て、温度、在室者の有無をセンサーによって計測する。その情報を判断材料として、状況に応じて自動的に換気扇を模したファンを Arduino で動作させ、室内の換気を行なうというものである。

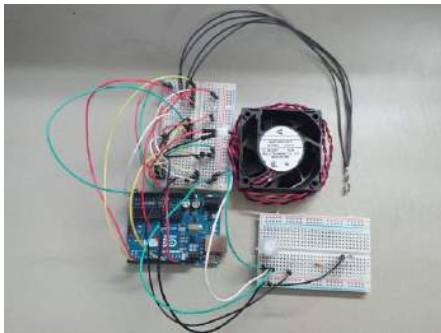


写真-1 使用した Arduino と回路

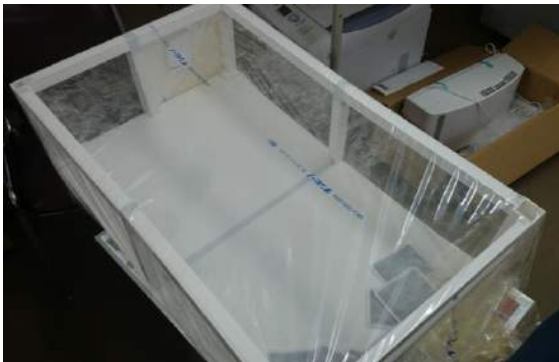


写真-2 実験で使用した模型

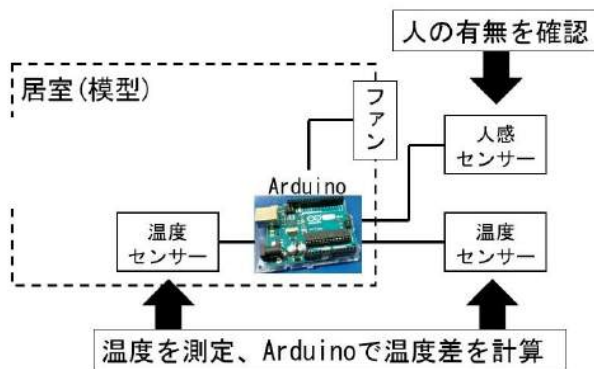


図-2 作成した回路の略図及び配置図

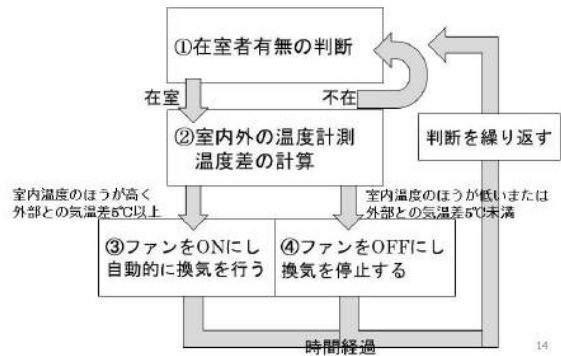


図-3 動作プログラムのプロセス

写真-1 は Arduino と 2つの温度センサー、人を感知するための人感センサー、換気用のファンを接続した回路の写真である。この回路を作成した模型へと設置し、換気が実際に行なわれるかを検証する。

写真-2 は実験で作成した模型であり、スケールは 1/10 である。また、後述するが本実験は室内と室外の温度差を検知することによって換気を行なうものである。そのため今回は、保温性に優れた農業用ビニールシートを壁面として使用している。

図-2 は、先述の回路を模型内部にどのように配置を行なうかを示したものである。温度計を室内と室外にそれぞれ設置し、ファンや人感センサーと共に Arduino に接続する。各センサーで得た計測値から、Arduino がファンへと停止の命令などを送信する仕組みとなっている。人感センサーは、本来であれば室内の人を検知するためのものだが、本実験では模型に人は入ることが出来ないため、意図的に手をかざして操作するため屋外に設置した。加えて、ファンを設置する壁面とは反対方向の壁面に自然吸気を行なうための開口部を設置している。

本実験の換気判断のプロセスは基本的には夏季を想定している。プロセスの詳細は図-3 に示したとおりである。まずは在室者の有無を人感センサーを通して行なう。ここで人を検知することができなければ、検知を繰り返すようになっており、在室者が居る場合のみ次の判断に移行するようにしている。そのため、不在時の場合基本的にファンは停止する。続いて、室内外の温度を計測する。これと同時に、室内と室外の温度差を Arduino 内部で計算する。このときの計算結果によって、フ

ファンが作動するかどうか決定する。基本的に室内の温度のほうが高く、且つ外部との気温差が5℃以上であった場合には換気を行なうようArduinoが命令をする。対して、室内温度が低かった場合、または外部との気温差が5℃未満の状況であった場合は、ファンには停止命令を行なう。その後、一定の時間が経過すると再び在室者判断のプロセスへと戻る。これを繰り返すことによって、必要時のみ換気を行なうようにする。

4. 実験及び実験結果

本換気システムの検証のための実験は3つのケースに分けて行なった。ケース1は在室者が居らず室内外の温度差が5度以上の場合、ケース2は在室者が居る場合かつ室内外の温度差が5℃以上の場合、ケース3は在室者が居るが室内外の温度差は5℃未満の場合、の3つのケースを想定して検証を行う。いずれのケースも室外に比べて室内の温度のほうが高い状態を作り実験を行なうものとする。



写真-3 センサー及びファン設置後の様子

写真-3 がセンサーを実際に模型内部に設置した様子である。先述した略図のとおり、人感センサーと温度センサーの片方が模型外部に置かれている。在室者判定はこの人感センサーに手をかざすことによって行なう。

まずケース1の実験は、まず居室に人がいない場合を想定する。この場合、模型内の温度を意図的に上昇させることにより、外部との温度差を発生させ、不在想定のため人感センサーには手を当てないように実験を行なった。ファンと人感センサーにはLEDライトを連動させており、それら

のセンサーモジュールが作動した際にはLEDが光るようにしてある。その結果、LEDは光ることはなく、ファンは作動しなかった。



写真-4 ケース1の実験における回路の様子

写真-4の左側に装置があるが、LEDが点灯していないことが分かる。ファンが動いておらず、換気が行なわれることはなかった。

ケース2は在室かつ温度差が5℃以上の場合を想定する。これは、例えば夏季の夜のような外気温が低くなり温度差が発生した想定である。ケース1と同様に室内の温度を意図的に上昇させた。今回は、人感センサーを作動させなければならぬためセンサーに手をかざした。するとファンが起動し換気が開始された。



写真-5 ケース2の実験開始直後の様子

写真-5の左側の赤い光は人感センサーが作動しているときのLEDであり、反対側の赤い光はファンの作動を示すLEDである。いずれも光っていることから、ファンが作動し換気が行なわれていることが分かる。そして換気が開始されてから待機していると、およそ5分後にファン側の

LED が消灯し、同時にファンが自動的に停止した。これにより、模型内部の換気は行われなくなった。これらの結果から正常に換気を行えたことがわかる。

ケース 3 は在室しているが、室内外の温度差が 5℃に満たない場合である。これは模型壁部分を開き模型内の空気を強制的に入れ替え、同室で実験を行なうことによって室内外の温度差を小さくした。先の実験同様に手をかざして人感センサーを作動させ観測した。その結果、人感センサーが作動したことを示す LED は点灯したが、ファンに動きは見られず換気は行なわれなかった。



写真-6 ケース 3 の実験の様子

写真-6 より、手をかざしているため人感センサーは作動していることが分かる。しかし、ファンは対応する右奥の LED が点灯していない。このことからファンは作動しておらず、換気は行なわれていないことがわかる。

5. まとめ

前項で行なった 3 つの実験の結果をまとめるとまずはいずれも、図-3 にあげたプロセスのとおり作動したという点だ。人感センサーに対応して LED はおよそ遅延なく点灯したことや、各センサーが命令どおり作動及び停止したため、Arduino を用いた住宅の換気システムの構築は可能だと考えられる。

しかし、問題点や反省点も幾つかある。例えばケース 2 の実験のように、模型の容積に対して使用した DC ファン の風量は、実験前に行なった計

算によるとおよそ適正なものであったにもかかわらず、本実験において換気が開始してから終了するまでの時間は想定よりも長いものとなってしまった。また、模型の構成について Arduino のワイヤーの長さや、その他回路の配置など模型であったから解決できたという点も多い。これらの改善及び再検討が必要になる部分も多く感じられた。

さらに、今回の実験においては、湿度のデータは使用することなく、純粋な温度差のみ換気を判断していた。これらのデータなども用いることが出来れば、システムをより正確にしたり、詳細まで動作のプロセスを決めたりすることが出来ると考えられる。

今後の展望として本実験で使用したセンサーモジュール以外にも、多くのモジュールなどが Arduino では使用することが出来る。加えて、データの管理や保存、他の開発環境との併用などを行なえるようになれば、研究により活用できる可能性の幅は現在よりも広くなると考えられる。実際の住宅の換気システムなど、人の感覚が深く絡んでくる段階に来れば、先に述べた技術が必要不可欠になる可能性もある。そういった中で、本研究をひとつの基礎としてゆき、今後は、実際の住宅の自動換気システムとして実用的なレベルまで発展させることが出来るよう、問題点の発見や改善などを行なっていき、換気システム自動化の提案のひとつとして研究を続けていくことを望んでいる。

参考文献

- 1) 環境省ホームページ 平成 25 年 5 月 2 日 報道発表資料「家庭における節電・CO2 削減行動に関する調査(夏期調査)」の結果について、(参照 2018-1-27)
<http://www.env.go.jp/press/files/jp/22132.pdf>
- 2) 神奈川県茅ヶ崎市ホームページ 平成 26 年度省エネルギー・地球温暖化に関する意識調査(事業者向け)(参照 2018-1-27)
http://www.city.chigasaki.kanagawa.jp/_res/projects/default_project/_page/001/003/471/H26jigyoushaanke-to.pdf
- 3) 高橋隆雄:たのしい電子工作 Arduino で電子工作をはじめよう! [第 2 版],秀和システム、(2013-10),p10

屋外歩行者を対象とした人体熱生理モデルの精度検証と

実市街地を対象とした都市温暖化適応策の評価

○大場優作（東北大学）、本間実季（東北大学）、新井千秋（東北大学）、
石田泰之（東北大学）、後藤伴延（東北大学）、持田灯（東北大学）

Validation of Thermoregulation Models Applied to Pedestrians and
Evaluation on Effects of Adaptation Measures for Urban Warming)

Ohba Yusaku (Tohoku University), Homma Miki (Tohoku University),
Arai Chiaki (Tohoku University), Ishida Yasuyuki (Tohoku University),
Goto Tomonobu (Tohoku University), Mochida Akashi (Tohoku University)

キーワード：屋外移動測定、人体熱生理モデル、都市温暖化適応

1. 研究の背景と目的

近年、猛暑による屋外空間における健康被害が急増しており、様々な対応策の検討が行われてきた。弓野ら²⁾は、複数の都市温暖化対策を、地球温暖化の緩和(冷房負荷削減)、ヒートアイランド現象の緩和(都市表面からの大気加熱量の削減)、都市温暖化への適応(地表付近の歩行者空間内において体感温度指標SET*が許容値を下回る領域の割合(SET*許容面積率))の3つの観点から総合的な評価を実施した。これら既往研究の多くは、SET*やWBGTといった体感温度指標を評価領域内の各ポイントで算出し、その地点毎の温熱環境の良し悪しを評価していた。しかし、屋外において人間は歩行していることが多く、既往の評価手法は必ずしも適切ではない。長谷川³⁾は屋外のある経路を歩行する人間が曝される物理環境条件を人体熱生理モデルに入力し、予測した生理量変化から、歩行者が時間の経過とともに曝露されていく環境の総体を評価する手法を提案し、屋外歩行者の受ける熱ストレスの分析を行った。本研究では、まず、暑熱環境下における物理環境条件と人体生理量の同時移動測定結果に基づき、人体熱生理モデルの予測精度の検証を行う。その上で複数の都市温暖化対策の効果を、人間の移動を考慮し、都市温暖化への適応の観点から評価することを目的とする。

2. 屋外歩行者を対象とした人体熱生理モデルの精度検証

2.1 検証手法 2016年度9月1日(晴天、最高気温

29.9℃の夏日、日向部を歩行)、2017年度9月14日(晴天、最高気温27.5℃の夏日、木陰部を歩行)に行った物理環境条件と歩行する人体生理量の同時測定における計測結果を入力条件として、人体熱生理モデルによる生理量予測を行った。ここでは、使用する対流熱伝達率予測式を変更し、実測値と比較した。人体熱生理モデルにはGaggeの提案したTwo-Node-Model⁴⁾(以下、2NM)を用い、実測した気温、湿度、相対気流速度⁵⁾、MRTの前1秒間区間平均値を入力し、皮膚表面温度、深部温度を算出した。皮膚表面温度は2NMにおけるskin層、深部温度はcore層の温度とした。

2.2 検証ケース(表-1) 人体表面の対流熱伝達率は代謝(運動の状態)と風速の両方の影響を受けて変化すると考えられる。そこで本研究では、代謝と風速の両者を考慮した生理量予測を行うため、表-1の通り検証ケースを設定した。

2.3 検証結果(図-1) 図-1に各ケースの木陰部及び日向部歩行時の生理量予測結果を実測値と併せて示す。なお、各図の横軸は測定開始時刻からの経過時間を示し、単位は[分]である。図-1(1)、(3)から、皮膚表面温度は、日向部、木陰部ともにGaggeのモデル⁴⁾とOnoのモデル⁶⁾を組み合わせさせたGagge+Onoのケースが最も予測精度が高い結果となった。Onoの評価式は気流の乱れ強さの変化の影響を対流熱伝達率に反映させ、また、4m/sまでの高風速環境での適用を想定したモデルであることから、屋外で気流の乱れの強い条件下での予測精度が高かったものと推察される。次に図-1(2)、(4)から、深部温度は、木

陰歩行時には評価式間にほとんど差が見られなかった一方、日向歩行時にはケース間に差が生じ、同様にGagge+Onoのケースが実測値に近い値を示した。

以上から、以降の分析にはGagge+Onoの評価式を用いる。

3 都市温暖化適応策の評価

表-2に示す各種都市温暖化適応策の効果を、人間の移動を加味した上で評価する。評価対象は新橋を簡略化した実市街地モデル(図-2)とした。

3.1 実市街地を対象とした放射・流体解析

3.1.1 解析ケース(表-2) 壁面高反射化、壁面緑化は図2右図中の赤線部の鉛直壁面、遮熱舗装は赤枠破線枠内部の車道に施した。街路樹は図2右図に示すように歩道上に配置した。なお、街路樹の効果は樹木キャノピーモデルによって再現し、枝張り6mのイチョウ型の形状を想定した(表-3)⁵⁾。

3.1.2 解析条件^{注2) 注3)} 解析フローを図-3に示す。新橋を対象にWRFによるメソ解析を行い、その結果を都市表面の非定常熱収支解析(解析領域は図2左図、青枠)、CFD解析の境界条件に用いた。CFD解析は広域(図2左図、黒枠)の等温解析、狭域(図2左図、赤枠)の非等温解析を行う2段階のnesting手法を用いた。解析日時は、2013年8月10日を選定し^{注4)}、最高気温を記録した13時を評価対象時刻とした。

表-1 検証ケース

予測モデル	予測式開発時の人体の状態	評価式
Gagge	静穏大気下で活動している	$\alpha_c = 5.7(M - 0.8)^{0.39}$
Gagge + Nishi and Gagge	静穏大気下で活動している + 静穏大気下で歩行している	$\alpha_c = \max(5.7(M - 0.8)^{0.39}, 8.6 < V_{IS_relative} >_{1sec}^{0.53})$
Gagge + Nishi and Gagge2	静穏大気下で活動している + 静穏大気下でゆっくり歩いている	$\alpha_c = \max(5.7(M - 0.8)^{0.39}, 6.5 < V_{IS_relative} >_{1sec}^{0.39})$
Gagge + Seppenan	静穏大気下で活動している + 風のある空間で立っている	$\alpha_c = \max(5.7(M - 0.8)^{0.39}, 14.8 < V_{IS_relative} >_{1sec}^{0.69})$
Gagge + Ono	静穏大気下で活動している + 風のある空間で立っている	$4V_{MS_relative} + 0.35V_{MS_relative} \cdot TI - 0.0008(V_{MS_relative} \cdot TI)^2 + 3.4$

表-2 検証ケース

case	建物西面反射率[-]	建物西面蒸発効率[-]	車道日射反射率[-]
対策なし	0.20	0	0.10
壁面高反射化	0.60	0	0.10
壁面緑化	0.15	0.30	0.10
遮熱舗装	0.20	0	0.34
街路樹	0.20	0	0.10

表-3 樹木パラメータ

枝張り[m]	樹高[m]	枝下高さ[m]	葉面積密度[m ² /m ²]
6	9.7	2.5	0.86

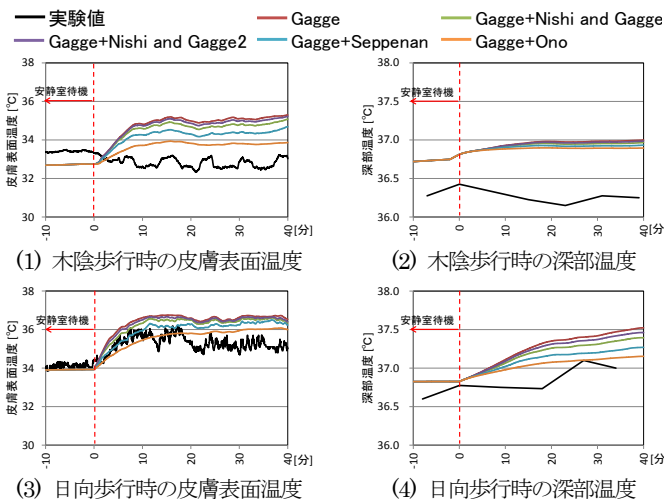


図-1 対流熱伝達率の予測式を変更した人体熱生理モデルによる検証結果

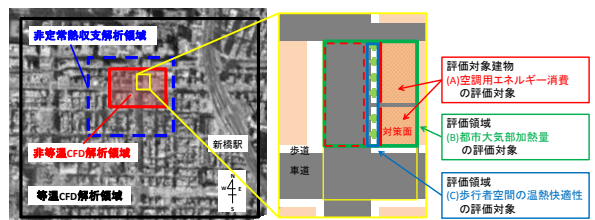


図-2 解析領域

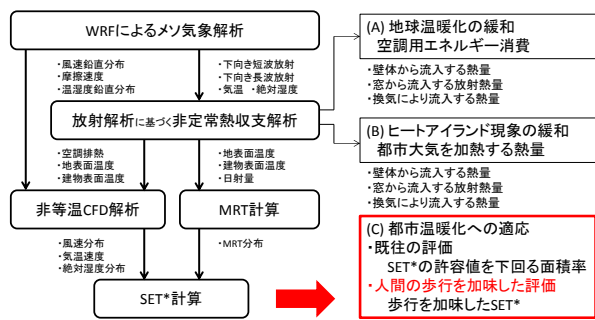


図-3 解析フロー

3.1.3 放射解析結果 図-4に地表1.5m高さのMRTの水平分布を示す。建物近傍では、対策なしのケースと比べ、壁面高反射化、遮熱舗装を施したケースでは値が上昇、壁面緑化を施したケースでは減少している。また街路樹のあるケースでは樹冠下部分のMRTが大きく減少している。

3.1.4 非等温CFD解析結果 図-5に示した気温分布ではケース間にほとんど差は見られなかった。一方、絶対湿度は、蒸散のある壁面緑化と街路樹のケースで上昇が見られた(図-6)。風速は街路樹を設置したケースが、対策なしと比較して低風速域が車道側へ広がる結果となっている(図-7)。歩道上の風速は、対策なしのケースも元々弱風であったためか、街路樹を配置したことによる値の変化は小さい。

3.1.5 SET*計算結果 図-8にSET*分布の解析結果を示す。全てのケースで歩道上(建物西側近傍)にSET*が高い領域が広がっている。対策なしケースと比較すると、壁面緑化、街路樹のケースでSET*の低減が見られ、特に街路樹では歩道上でSET*が顕著に低くなった。

3.2 都市温暖化対策の効果 弓野らが提案した都市温暖化対策の評価フレーム²⁾に基づき、各種対策を、(A)地球温暖化の緩和、(B)ヒートアイランド現象の緩和、(C)都市温暖化への適応、の3つの観点から評価する。

3.2.1 (A)の評価結果(表-4) (A)では地球温暖化緩和効果(冷房負荷削減効果)を評価するため、空調エネルギー消費の1日積算値 Q_{HVAC_sum} ^{注5)}を指標とする。対策なしのケースと比較すると、遮熱舗装のケースのみが悪化する結果となった。

3.2.2 (B)の評価結果(表-4) (B)ではヒートアイランド現象緩和効果を評価するため、都市表面からの大気加熱量の1日積算値 Q_{out_sum} ^{注5)}を指標とする。対策なしのケースに対し、 Q_{out_sum} は全てのケースで減少する結果となった。

3.2.3 (C)の評価結果

3.2.3.1 既往^{文1)}の評価(表-5) 評価領域内の歩道上(図2右図、青枠)において各ポイント毎のSET*を算出し、評価領域全体に対して許容値である35℃^{文6)}^{注6)}を下回る領域の面積率(許容面積率)を算出した。図9より街路樹を配置したケースでは許容面積率のピークが33~34℃にあり概ね許容値を下回っていることが分かる。壁面緑化のケースでは34~35℃に、それ以外のケースでは35~36℃に許容面積率のピークがあり、表-5より、壁面緑化、街路樹で都市温暖化への適応効果があるという結果となった。

3.2.3.2 人間の歩行を加味した評価(図-10、表-6)

歩行者が曝露されていく歩行経路上(図-2右図、青枠)の環境条件を入力した、SET*の時間変化を図-10に示す。歩行の向きは南から北とし、1.2m/sで歩行することを想定した。ここから、街路樹、壁面緑化のケースで歩行者の体感温度を軽減する効果が確認された。街路樹の効果が最も高く、SET*の許容値である35℃を概ね下回り歩行し続けることが可能であることが分かる。また、壁面高反射化、遮熱舗装が歩行者の体感温度に与える影響はほとんど見られなかった。表-5と表-6から、人間の歩行を加味する場合と比較すると、既往の各ポイントでの評価(表-5)は、各対策の悪影響を過大に評価していることが分かる。既往の評価では、ポイント毎に生理量が算出されるため、例えば日向では皮膚温度は高く、木陰では低くなるが、歩行を加味する場合、算出される生理量の値の変動は小さく、ほぼ一定となる(図-11)。このことが、既往の各ポイントでの評価が各対策の悪影響を過大に評価する要因と考えられる。

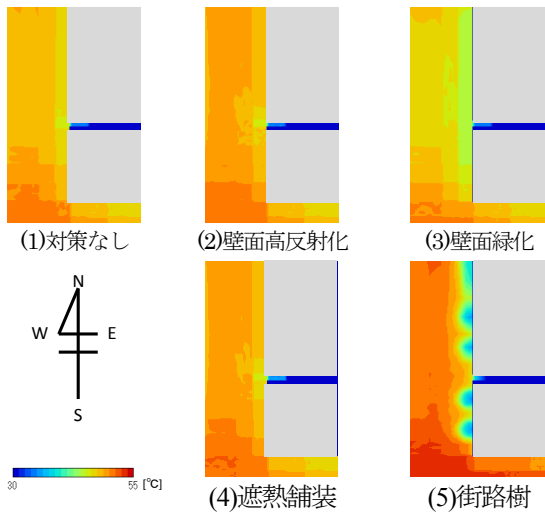


図-4 MRTの水平分布(高さ1.5m)

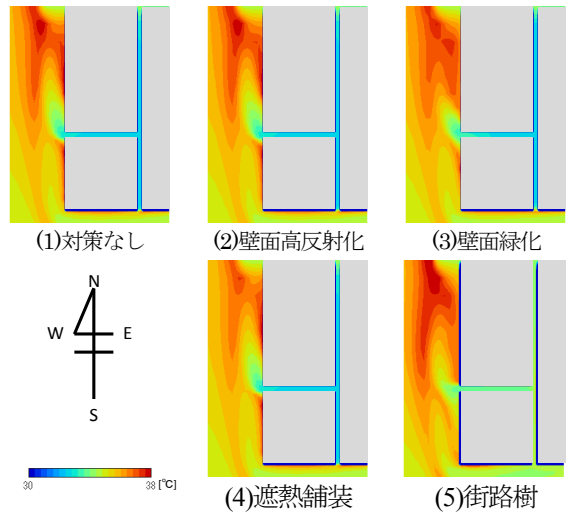


図-5 気温の水平分布(高さ1.5m)

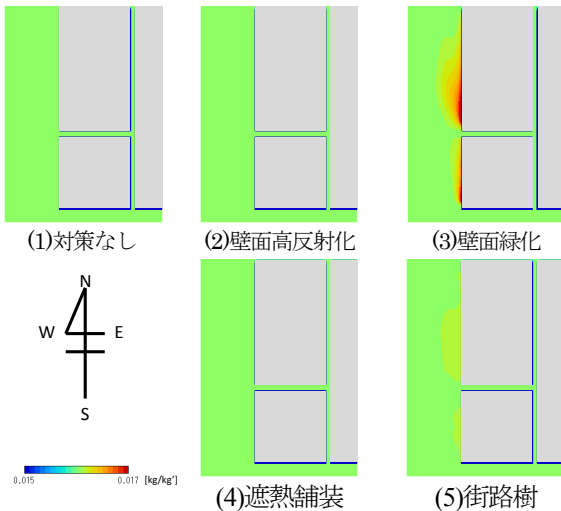


図-6 絶対湿度の水平分布(高さ1.5m)

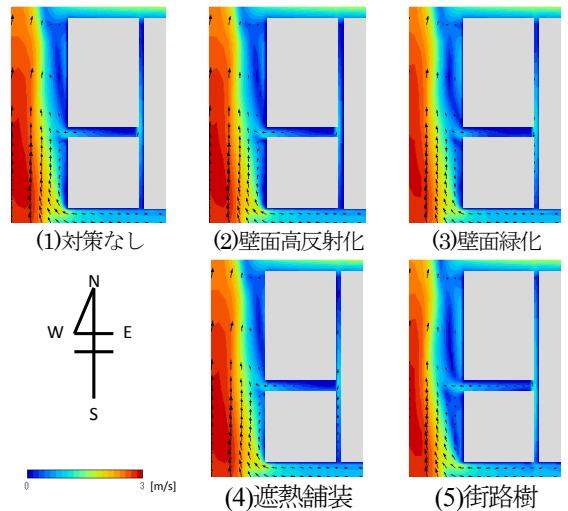


図-7 風速の水平分布(高さ1.5m)

4. 結論

- 1) 対流熱伝達率予測式を変化させた全5ケースの人体熱生理モデルの精度検証を行い、屋外の歩行環境においては、Gagge+Onoのケースが最も予測精度が高いことを確認した。
- 2) 人間の移動を考慮して、複数の都市温暖化適応策の効果を評価した。各ポイントで温熱環境を評価する場合、環境を過大に評価する可能性がある。

謝辞

本研究は科研費(課題番号 16K14343、研究課題名「歩行者が経験する熱ストレスの総和を考慮した新たなフレームによる屋外環境評価の提案(研究代表者：持田灯)」)の助成により行われたものである。

参考文献

- 1) 弓野沙織他:都市温暖化対策がもたらす“冷房負荷削減”、“ヒートアイランド緩和”、“都市温暖化への適応”の各効果の定量評価、日本建築学会大会学術講演梗概集(2016-8)、pp.1039~1044
- 2) 長谷川拓真他:暑熱化による健康被害発症リスクに関わる歩行者の生理量予測手法の開発、日本建築学会大会学術講演梗概集(2017-8)、pp.759~762
- 3) A.P.Gagge et al.:The role of clothing in meeting FEA energy conservation guidelines, ASHRAE Transactions(1977)、pp.234~247
- 4) 小野剛司他:屋外空間における人体表面の平均対流熱伝達率の予測式の開発、日本建築学会環境系論文集(2006-3)、pp.9~14
- 5) 新井千秋他:屋外生活空間における都市樹木の最適な樹冠形状の効果検証、日本建築学会大会学術講演梗概集(2016-8)、pp.1057~1062
- 6) 中山昭雄編:温熱生理学、1990

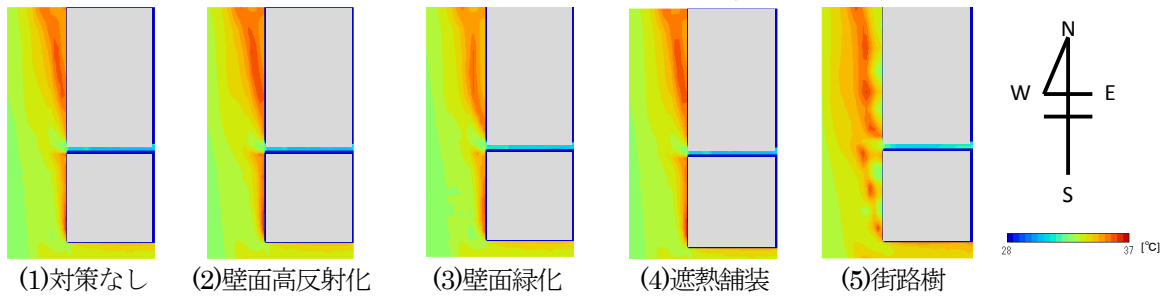


図-8 SET*の水平分布(高さ1.5m)

表-4 (A),(B)の評価結果
(A):空調用エネルギー消費、
(B):都市大気部に流出する顕熱量

	(A) 地球温暖化緩和効果 空調用エネルギー消費	(B) ヒートアイランド緩和効果 都市大気部に流出する顕熱量
対策なし	17.84 [GJ/日]	107.16 [GJ/日]
壁面高反射化	17.70 [GJ/日]	104.59 [GJ/日]
壁面緑化	17.19 [GJ/日]	94.75 [GJ/日]
遮熱舗装	18.00 [GJ/日]	104.34 [GJ/日]
街路樹	17.76 [GJ/日]	82.99 [GJ/日]

表-5 既往の(C)の評価結果
(SET*が許容範囲となる
面積の割合)

	(C) 都市温暖化への適応効果 SET*許容面積率
対策なし	28.3 [%]
壁面高反射化	28.8 [%]
壁面緑化	57.0 [%]
遮熱舗装	17.7 [%]
街路樹	95.9 [%]

表-6 歩行を考慮した新たな
(C)の評価結果 (SET*が
許容範囲となる時間の割合)

	(C) 都市温暖化への適応効果 SET*許容時間率
対策なし	74.5 [%]
壁面高反射化	70.9 [%]
壁面緑化	87.3 [%]
遮熱舗装	67.3 [%]
街路樹	100 [%]

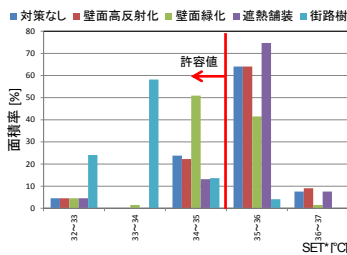


図-9 SET*の面積率分布

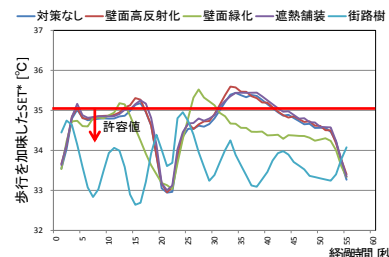


図-10 歩行を考慮したSET*
(高さ1.5m)

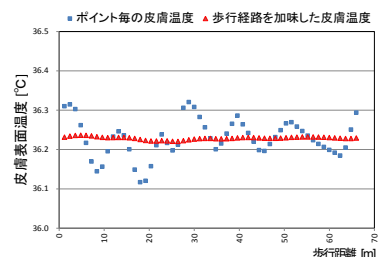


図-11 各ポイントで静止し続けている場合と歩行時の皮膚温度の比較^{注7)}

[記号] α_c :対流熱伝達率、M:代謝量、 u_i :瞬時の風速の3成分($i=1$:歩行直方向、 $i=2$:歩行進行方向、 $i=3$:鉛直方向)、 $u_{walking}$:人体歩行速度の3成分、 $u_{relative}$:瞬時の相対気流速度(風速と人体歩行速度の相対速度、 $=u_i - u_{walking_i}$)、 $V_{IS,relative}$:瞬時の相対気流速度のスカラー($=\sqrt{u_{relative}^2}$)、 $<V_{IS,relative} >_{1sec}$: $V_{IS,relative}$ の前1秒間区間平均値、 $<u_{relative_i} >_{40min}$: $u_{relative_i}$ の屋外測定時間内(40分間)の時間平均値、 $V_{MS,relative}$:相対気流速度の平均値($=\sqrt{V_{IS,relative}^2}$)、 $V_{IS,relative}$: $V_{IS,relative}$ の変動成分($=V_{IS,relative} - V_{MS,relative}$)、 $<V_{IS,relative}^2 >_{40min}$:速度変動の屋外測定時間内(40分間)の2乗平均値、TL:気流の乱れ強さ($=100 \times \sqrt{V_{IS,relative}^2 - 40min} / V_{MS,relative}$)、 $Q_{HVAC,sum}$:QHVACの1日積算量[J]、 $Q_{HVAC,j}$:建物jの空調用消費エネルギー[J]、 $Q_{wall,inside,j}$:建物jの壁面からの透過放射負荷[J]、 $Q_{vent,SH,j}$ 、 $Q_{vent,LH,j}$:建物jの換気により侵入する顕熱、潜熱負荷[J]、 $Q_{inner,SH,j}$ 、 $Q_{inner,LH,j}$:建物jの内部発生顕熱、潜熱負荷[J]、 $Q_{initial,j}$ 、 $Q_{out,sum}$:建物jの空調立ち上がり負荷、 Q_{out} の1日積算量[J]、 Q_{out} :都市表面から大気へ流出する正味の顕熱量[J]、 Q_{emi} 、 Q_{abs} :建物、道路表面から流出、吸収される顕熱量[J]、 $Q_{conv,outside}$:都市外表面から流出する顕熱量[J]、 Q_{em} :空調機からの排熱 [J]

[注釈]
1) 風速と人体歩行速度の相対速度を用いた。
2) 非定常熱収支解析メッシュ分割

3)CFD解析条件	
メッシュ分割	メッシュ分割
メッシュ分割数(1×j×k)	69×63×9
解析領域(x[m]×y[m]×z[m])	800×764×200
メッシュ分割数(1×j×k)	111×94×57
解析領域(x[m]×y[m]×z[m])	1166.8×1028×650
移流項スキーム	全ての輸送方程式について一次風上差分を使用
乱流モデル	Durbin型k-εモデル

<領域(A)の評価式>	<領域(B)の評価式>
$Q_{HVAC,sum} = \sum_{j=1}^{jmax} (\int_{1day} Q_{HVAC,j} dt)$	$Q_{out,sum} = \int_{1day} Q_{out} dt$
$Q_{HVAC,j} = Q_{in,j} / COP_j$	$Q_{out} = Q_{emi} - Q_{abs}$
$Q_{in,j} = Q_{wall,inside,j} + Q_{r,trans,j} + Q_{vent,SH,j} + Q_{vent,LH,j} + Q_{inner,SH,j} + Q_{inner,LH,j} + Q_{initial,j}$	$Q_{emi} = Q_{conv,outside} + Q_{em}$
	$Q_{em} = \sum_{i=1}^{i,max} (Q_{em,i} + Q_{HVAC,i})$
	$Q_{abs} = \sum_{i=1}^{i,max} (Q_{conv,SH,j} + Q_{r,trans,j})$

6) 激しい発汗や汗白感の増加といった生理現象の不調が生じ始める値である35°Cを許容値としている。
7) 歩行を考慮し算出した皮膚表面温度について、歩行経路上の皮膚表面温度の経時変化を算出した後、ポイント毎の評価と比較するために、歩行時間×歩行速度1.2m/sをかけ、歩行距離における値として算出しなおした。

A-13

燃料電池と太陽光発電によるエネルギー自立型街区に関する検討

○片方 一成（東北学院大学），鈴木 道哉（東北学院大学）

Study of Electricity Self-Sufficient Urban Development Area by Fuel Cell and Photovoltaic Generation

Katagata Kazunari (Touhokugakuin University), Suzuki Michiya (Touhokugakuin University)

キーワード：燃料電池，太陽光発電，エネルギー

はじめに

近年、東日本大震災をはじめとする大規模災害が多発しており、災害に対するレジリエンス向上が求められている。その対策の一つとして再生可能エネルギーや先端の省エネルギー機器を利用してエネルギーを自給することが挙げられる。

そこで本研究では再生可能エネルギーやコージェネレーション等による発電を用いて、エネルギー自立型街区を実現できるかの検討を目的とする。

1. 再生可能エネルギー及び先端の省エネルギー機器の選定

各種再生可能エネルギー及び先端の省エネルギー機器の中から、本研究では太陽光発電と燃料電池を選定した。太陽光発電はパネルを設置するスペースの確保ができれば設置可能であり、メンテナンスも比較的容易であることから普及が進んでいる。また、太陽光をエネルギーとするので自然災害等により停電が発生した場合においても電力を確保できる。燃料電池は水素と酸素の化学反応を利用して発電を行うため、発電の際に大気汚染の原因となる物質を発生させないことが大きなメリットである。また、両者とも騒音を発生させずに発電できる。

2. シミュレーションの対象とする街区の想定

対象とする街区敷地面積の想定は近年の仙台市内を代表する2開発地区「仙台市富沢駅周辺土地区画整理事業」および「仙台市荒井東土地区画整理事業」の平均値より41.0haとした。また街区内に立地する建物用途は日本全国の延床面積の統計の上位6用途を選定した(ただし工場等、立地を不適当と考えた一部の建物用途は除外した)仮想的なものとした。また建物用途の構成割合もその統計に準じるものとし、面積の内訳を表1に示す。

表-1 想定した街区の建物用途と各面積

	敷地面積(m ²)	延床面積(m ²)	街区の敷地構成割合
戸建住宅	194,500	92,966	71.1%
集合住宅	38,700	29,154	14.2%
事務所	9,400	12,108	3.4%
小売店	18,900	7,862	6.9%
学校	8,100	9,133	3.0%
病院	3,700	2,828	1.4%
道路・公園等	136,700	-	-
計	410,00	154,053	100%

3. 燃料電池を導入する建物用途の選定

燃料電池を導入する建物用途は、燃料電池の発電の際にほぼ同等量排出される排熱を有効的に使用できることが理想である。そこで本研究では想定した街区内における電力と給湯の年間需要量から戸建住宅、集合住宅、病院の3用途を燃料電池を導入する建物用途として選定した。

4. 各建物用途におけるエネルギー消費量の算出 1) 戸建住宅および集合住宅のエネルギー消費量の算出

選定した6つの建物用途のうち、事務所、小売店、学校のエネルギー消費量は文献¹⁾にて算出されたものを踏襲した。本研究では新たに燃料電池を導入する戸建住宅、集合住宅におけるエネルギー消費量および給湯需要量を算出した。また、病院に関して、電力需要量は文献¹⁾を踏襲するものとし、給湯需要量を新たに算出した。

戸建住宅および集合住宅のエネルギー消費量を算出するにあたって文献²⁾より図-1の通り2008年度における年間の世帯あたり用途別エネルギー源別エネルギー消費量に関するデータを用いた。図-1の「給湯」のエネルギー消費量については、燃料電池からの排熱及び不足分に関しては都市ガスでまかなうのでここで算出するエネルギー消費

量には算入しないものとした。また、図-1において「暖房」「冷房」「厨房」「照明・動力など」は「電力」「LPガス」「灯油」「都市ガス」「太陽熱等」を用途別にそれぞれ消費しているが、すべて電力として消費されたとして扱うこととした。

次に文献②より得られた「給湯」を除いたデータを日積算に換算していく。これを算出するにあたって、まず文献③より得られた図-2のグラフを用いて「暖房」「冷房」「一般電力」のそれぞれの年間合算値に対する各月の使用割合を算出し、これに基づき図-1に示された「暖房」「冷房」「厨房」「照明・動力等」の消費量を各月に割り振ることで各月のエネルギー消費量を算出する。ここで、図-1における「一般電力」は図-2における「厨房」と「照明・動力など」の和とする。

このようにして各月に割り振ったエネルギー消費量をその月の日数で割ったものと一般電力の電力需要量を12か月で割り、さらに各月の日数で割ったものの和が日積算となる。なお、2月は28日間あるとして算出する。この日積算を文献③より得られた戸建住宅と集合住宅のそれぞれの建物用途における時刻別の消費割合[%]と乗じることによって時刻別のエネルギー消費量を算出した。

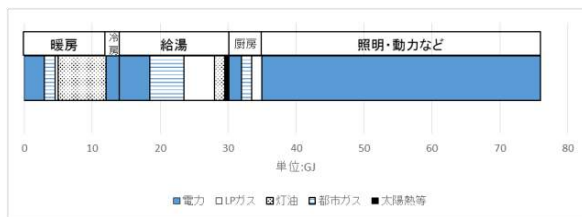


図-1 世帯あたり用途別エネルギー源別エネルギー消費量(2008年度)

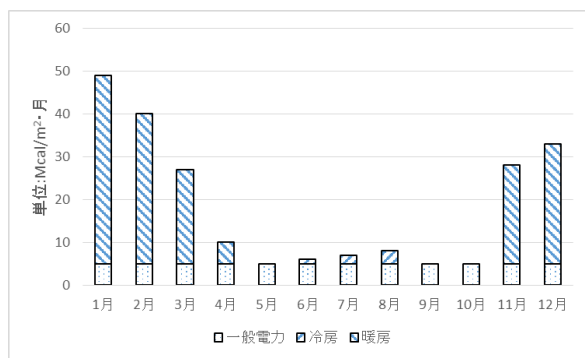


図-2 月別エネルギー消費量

表-2 各建物用途における年間電力需要量

	建物用途						全体
	戸建住宅	集合住宅	事務所	小売店	学校(大学)	病院	
電力需要量 [kWh/年]	4,348,085	1,668,533	898,205	2,553,122	721,413	425,258	10,614,616

2) 戸建住宅、集合住宅および病院の時刻別給湯需要量の算定

続いて戸建住宅および集合住宅の時刻別給湯需要量の算定を行った。文献④より得られた日別給湯需要量に文献③より得られた表-4の時刻別の給湯需要量スケジュールを用いることで算出した。

次に病院の給湯需要量の算出を行う。住宅と同様に、文献④より得られた日別給湯需要量に文献⑤にて算出された給湯需要スケジュールの割合[%]を乗じることによって算出した。

表-3 戸建住宅と集合住宅における時刻別給湯使用割合

時刻[時]	給湯使用割合[%]		時刻[時]	給湯使用割合[%]	
	戸建住宅	集合住宅		戸建住宅	集合住宅
1	3.2	3.9	13	4.5	2.3
2	0.6	3.2	14	1.5	1.1
3	0	0.4	15	0.9	2
4	0	0	16	1.2	2.2
5	0	0	17	2.9	1.8
6	0	0.1	18	3.3	3.8
7	2.2	1.7	19	3.6	10
8	4.5	4.4	20	11	17
9	2.6	1.8	21	9.4	14.7
10	6.4	0.6	22	11.2	13.3
11	7	0.4	23	17.1	8.9
12	5.4	1.2	24	1.5	5.2

表-4 各建物用途における年間給湯需要量

	戸建住宅	集合住宅	病院
年間給湯需要量 [L/年]	91,250	91,250	3,097,755

5. 燃料電池および太陽光発電の仕様

本研究で導入を想定した燃料電池および太陽光発電の仕様は以下の通りである。戸建住宅の燃料電池は現存する商品*1をモデルとして仕様を想定した。病院の燃料電池の仕様についてはF社*2の100kW発電の仕様に準じた。また、太陽光発電のパネルとパワーコンディショナに関して、戸建住宅向けのものとしてそれ以外の建物用途向けのものとして区分し、現存する機器*3-6をモデルとした。これらの仕様を表-5から表-9に示す。

表-5 戸建住宅及び集合住宅向け燃料電池ユニット仕様

燃料電池タイプ	固体高分子型燃料電池
燃料処理方式	水蒸気改質方式
定格発電出力	0.7kW
定格熱出力	1.005kW
発電効率/排熱回収効率	35.2%/50.6%
外形寸法	高1,750×幅400×奥400[mm]
質量(乾燥時/運転時)	65kg/70kg
貯湯温度	60°C
最大消費電力	510W
ガス消費量	2.0kW
熱回収温度	60~80°C
騒音値	38dB(運転時)

表-6 戸建住宅及び集合住宅向け貯湯槽ユニット仕様

熱源機タイプ	潜熱回収型ガス瞬間式
外形寸法	高1,750×幅400×奥400[mm]
質量(乾燥時/運転時)	88kg/233kg
貯湯タンク容量	140L
給湯能力	41.9kW/24号
追いだき能力	9.88kW
暖房能力	17.4kW
最大消費電力	310W
騒音値	48dB以下
減圧弁圧力	370kPa±30kPa
最大ガス消費量	44.1kW

表-7 病院への導入を想定した燃料電池仕様

燃料電池タイプ	リン酸形燃料電池
構造	パッケージ型
定格発電出力	50kW
定格熱出力	62.5kW
発電効率/排熱回収効率	42%/49%
給湯能力	41.9kW/24号

表-8 戸建住宅の太陽光パネルおよびパワーコンディショナ仕様

太陽光パネル仕様	
セル種類	単結晶シリコン系
公称最大出力	250[W]
最大モジュール変換効率	20.1[%]
外形寸法(W×H×D)	1,599×798×46[mm]
面積	約1.244[m ²]
パワーコンディショナ仕様	
定格出力	4.4[kW]
電力変換効率	98.0[%]
外形寸法(W×H×D)	460×150×240[mm]

表-9 戸建住宅以外の太陽光パネルおよびパワーコンディショナ仕様

太陽光パネル仕様	
セル種類	単結晶シリコン系
公称最大出力	345[W]
最大モジュール変換効率	21.2[%]
外形寸法(W×H×D)	1,599×1,046×46[mm]
面積	約1.631[m ²]
パワーコンディショナ仕様	
定格出力	500[kW]
電力変換効率	98.6[%]
外形寸法(W×H×D)	1,900×2,025×730[mm]

6. 電力自給率の算出

電力自給率の算出を行うにあたって、各建物用途の概要を表-10に示す。

表-10 各建物用途の概要

	建物用途						全体
	戸建住宅	集合住宅	事務所	小売店	学校(大学)	病院	
延床面積[m ²]	92,966	29,154	12,108	7,862	9,133	2,829	154,053
電力需要量	4,348,085	1,668,533	898,205	2,553,122	721,413	425,258	10,614,616
太陽光パネル設置面積[m ²]	22,536	9,230	2,877	10,985	1,173	1,245	48,046
太陽光発電による発電量[kWh]	5,132,133	2,240,253	702,489	2,682,362	286,396	303,967	11,347,600
燃料電池容量[1戸・1棟あたり kWh]	0.7	0.7	-	-	-	50	-
燃料電池による発電量[kWh]	1,679,249	831,664	-	-	-	196,658	2,707,570

電力自給率を評価するシミュレーションのパターンとして①建物用途間で電力融通を行わない場合、②電力融通を行う場合、③電力融通に加えて蓄電池を設置する場合を設定した。

電力自給率を算出するにあたって以下の式を用いた。ここで、蓄電池へ蓄積しきれなかった電力を非有効発電量と呼ぶこととする。

$$\text{電力自給率}[\%] = \left(1 - \frac{A+B}{C}\right) \times 100 \quad (\text{式-1})$$

A:時刻別買電量[kWh/h]

B:時刻別非有効発電量[kWh/h]

C:時刻別電力需要量[kWh/h]

ここで、蓄電池の容量について(式-1)において算出された電力自給率をもとに、電力自給率最低月が100%となるように設定したところ

160,000kWとなった。さらに、同様の式において蓄電池の容量を小さいものにシコスト削減を図る

ために、街区全体で消費電力量を10%削減したこととほぼ同意義と考え、電力自給率最低月が10%低下の90%となるように容量を設定したところ40,000kWとなった。結果として、算出した電力自給率は表-11の通りとなった。

表-11 各パターンにおける電力自給率

	電力融通無	電力融通有	蓄電池容量 160,000kW	蓄電池容量 40,000kW
電力自給率	51%	55%	137%	136%

7. 経済性の検討

街区の経済性を検討するための指標として単純回収年数を用い、以下の式で算出した。

$$\text{単純回収年数} = \frac{\text{イニシャルコスト}}{\text{ランニングコスト}} \quad (\text{式-2})$$

イニシャルコストの内訳は燃料電池と太陽光発電の和となり、ランニングコストの内訳は燃料電池と太陽光発電を導入している場合とそれらを導入していない場合の電気料金及びガス料金の差となる。また、蓄電池価格を加味した単純回収年数は以下の式で算出した。

$$\text{単純回収年数} = \frac{\text{イニシャルコスト(蓄電池価格込み)}}{\text{ランニングコスト}} \quad (\text{式-3})$$

これらの価格およびにそれぞれの場合における単純回収年数を表-12に示す。

表-12 各建物用途における単純回収年数

	建物用途		
	戸建住宅	集合住宅	事務所
イニシャルコスト[円]	3,142,484	2,586,679	193,637,885
ランニングコスト[円]	226,731	181,552	20,363,163
単純回収年数[年]	14	14	10
蓄電池価格込み イニシャルコスト[円]	3,198,264	2,604,171	193,645,150
蓄電池価格込み 単純回収年数[年]	17	17	13
	小売店	学校(大学)	病院
イニシャルコスト[円]	739,522,008	78,914,174	111,007,009
ランニングコスト[円]	78,025,355	8,048,425	12,538,212
単純回収年数[年]	9	10	15
蓄電池価格込み イニシャルコスト[円]	739,529,870	78,923,307	111,009,837
蓄電池価格込み 単純回収年数[年]	10	17	16

戸建住宅、集合住宅、病院については燃料電池を導入しているため他用途より回収年数が大きくなった。また、蓄電池を加味した単純回収年数は戸建住宅、集合住宅、病院、学校において15年を超えており、その他の用途では設備の耐用年数を下回る結果となった。しかし、今後エネルギー自立型街区が確立し注目されれば行政などからの補助が実施される可能性があり、今回算出した単純回収年数より短くなり街区のレジリエンスを向上させるためにも導入する価値はあると考える。

8. 結論

街区において、太陽光発電と燃料電池による建物用途間の電力融通および蓄電池を使用することで、電力自給率100%を達成することができ、エネルギー自立型街区をつくれる可能性があるといえる。

注釈

- *1 P社 「エネファーム」
- *2 F社 「FP-100i」
- *3 S社 「SPR-250NE-WHTJ」
- *4 S社 「SPR-X21-345-COM」
- *5 M社 「PV-PN44KX2」
- *6 T社 「PVL-LO500E(J)」

参考文献

- 1) 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 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、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,(2017-3) pp.55-56
- 2) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会：建築の光熱水源単位&建築設備の省エネルギー技術指針住宅篇-指針の更新・追補、エネルギー消費実態調査、建物改修・機器更新の実績評価- (第1章)、2011、p.3
- 3) 尾島俊雄研究室：建築の光熱水源単位[東京版]、早稲田大学出版部、1995.6.30、pp.153-158
- 4) 生沼 亜澄 他 5名：病院施設における給湯システムに関する研究(第1報)実態調査による給湯量の分析、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集,(2012)

A-14

再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでのヒートポンプの活用

○赤井 仁志 , 新倉 万結 (福島大学)

Practical Utilization of Heat Pump System in Fukushima Prefecture, Pioneer Region at Renewable Energy

Akai Hitoshi, Shinkura Mayu (Fukushima University)

キーワード：再生可能エネルギー熱，地中熱，未利用熱，温度差エネルギー，ヒートポンプ

はじめに

東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故まで、福島県は、新潟県と共に首都圏への電気エネルギー供給源であった。東日本大震災により、日本のエネルギー情勢や計画は、大きく変貌を遂げた。福島県は、復興計画も含めて、必然的に対応せざるを得ない状況になった。

政府や福島県の政策の中で、再生可能エネルギーがキーワードに掲げられた。2040年頃を目途に県内エネルギー需要の100%相当以上の再生可能エネルギーを生み出すことを目標にする。関連産業の集積に向けた取組を加速することにした。これにより、名実ともに福島県を再生可能エネルギーの「先駆けの地」とすることになった。

1. 水力発電から原子力発電へ

明治時代末期から、福島県会津地方を流れる阿賀野川水系最大の支流・只見川は、水力発電事業の適地として目され、水利権の獲得や政治と電力会社の駆け引きの場でもあった。1927(昭和2)年の鹿瀬ダム(新潟県東蒲原郡阿賀町、49,500kW)が完成したのを皮切りに、つぎつぎと福島県から新潟県に跨ぎ水力発電用のダムが建設される。1950(昭和25)年に施行した国土総合開発法に基づき只見特定地域総合開発計画が立てられ、奥只見ダムや田子倉ダムなど、多くのダムと発電所が完成した。現在、只見川水系で猪苗代系統の水力発電所を除き3,722,000kWの発電容量を持ち、首都圏や東北地方の電源供給を担っている。

福島県浜通りには、1971(昭和46)年に1号機を運転開始した東京電力(株)福島第一原子力発電所があり、6号機まで建設されて合計4,696,000kWの出力を持つ。同地区には、1982(昭和57)年に東京電力(株)福島第二原子力発電所1号機が運転を開始して4号機まで建設され合計4,400,000kWの出力がある。

福島県は、新潟県と共に首都圏への電源供給の

拠点であった。2011年3月の東日本大震災による福島第一原子力発電所の事故がきっかけで、福島県は、エネルギー政策の見直しを進めた。

2. 福島を再生可能エネルギー先駆けの地に

東日本大震災の3ヶ月後の11年6月、政府の東日本大震災復興構想会議の『復興への提言～悲惨の中の希望～』に、「復興にあたって、原子力災害で失われた雇用を創出するため、再生可能エネルギーの関連産業の振興は重要である。福島県に再生可能エネルギーに関わる開かれた研究拠点を設けるとともに、再生可能エネルギー関連産業の集積を支援することで、福島を再生可能エネルギーの先駆けの地とすべきである」と明記される。

同年7月、東日本大震災復興対策本部の『東日本大震災からの復興の基本方針』でも『復興への提言～悲惨の中の希望～』と同様の方針を示す。

福島県は、11年3月、『福島県再生可能エネルギー推進ビジョン』を策定するが、東日本大震災により再生可能エネルギーを取り巻く情勢は大きく変化する。同年8月、『福島県復興ビジョン』で、基本理念の一つに「原子力に依存しない、安全・安心で持続的に発展可能な社会づくり」を掲げ、「再生可能エネルギーの飛躍的推進による新たな社会づくり」を復興に向けた重要施策の一つとして位置づけた。

『福島県再生可能エネルギー推進ビジョン』(12年3月改訂版)で、2040年頃を目途に県内エネルギー需要の100%相当以上の再生可能エネルギーを生み出すことを目標に掲げる。具体策は、『再生可能エネルギー先駆けの地アクションプラン』を作成して、再生可能エネルギーの導入拡大に加えて、エネルギーの効率的な利用も盛り込む。この2つを車の両輪として推進することになった。

『再生可能エネルギー先駆けの地アクションプラン（第2期）』で、福島県内の1次エネルギー需要量に対する再生可能エネルギー導入見込量の割合（原油換算）として、18年度に30%、20年度に40%、30年度に60%、40年頃に100%という目標値を示している（図-1）。また、再生可能エネルギーの分野別導入施策として、太陽光発電、風力発電、水力発電、地熱・地中熱の活用、バイオマスエネルギーの活用を分野別に詳述する。

研究開発や技術支援の目玉として、2014年4月、郡山市に国立研究開発法人産業技術総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所が開所した。同年、ドイツ・フラウンホーファー研究機構、ドイツのノルトライン・ヴェストファーレン（NRW）州、デンマーク王国大使館と研究連携の覚書を締結する。

『アクションプラン』の特徴的な事項として、「公益財団法人福島県産業振興センターや福島大学等の地域の産学金官連携」を謳い、金融も入れた枠組みで取り組みを推進するとしている。

3. 再生可能エネルギー電気の有効活用の方向性

太陽光や風力などのお天気まかせの発電方式を、電気の安定供給や有効利活用するために、周辺技術が進展している。送ったり、使ったりするのに容易な電気で蓄えるのが望ましい。しかし、導入コストが高く、あまり普及していない。

再生可能エネルギーで発電した電気を熱に変えて貯める方法は容易である。空調や工場の熱利用用途の蓄熱は廉価だし、技術も確立している。また、宿泊施設や医療施設、社会福祉施設等の業務用給湯システムの多くは、貯湯槽を有しているし、年間を通して使えるため有望株の筆頭とされている。今後、スマートグリッドやデマンドレスポンス、ヒートポンプを組み合わせた制御技術が重要になる。

既に、欧米諸国は、再生可能エネルギーで発電した電気を使い、ヒートポンプで熱を生み出す方向に進んでいる。しかし、一般的な空気を熱源とするヒートポンプは、冷房や冷凍に比べ、暖房や加熱は効率が落ちる。福島県のような積雪地で強い風が吹くような地域では、さらに不利である。

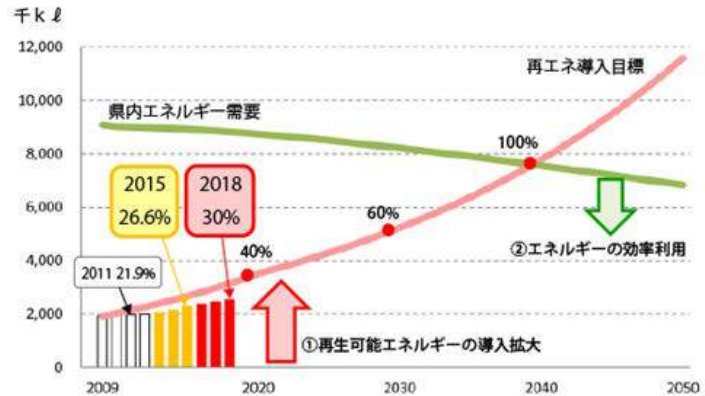


図-1 再生可能エネルギー導入量と1次エネルギー供給量

地中熱や地下水熱、下水熱や温泉排湯熱等の温度差エネルギーを熱源とするヒートポンプシステムだと高い効率が得やすい。

宿泊施設やスポーツ施設のような日ごとに利用者数変動する建物での給湯熱源では、ヒートポンプ単体だけだと投資回収期間が長くなる。ヒートポンプをベースロードで稼働させ、変動分を液化天然ガス焚きボイラで賄うようなハイブリッド給湯システムが有効と考えられる。

欧州では、電気容量や用途によって電気ヒータの利用が制限されたこともあり、電気ヒータと蓄熱用レンガを組み合わせた蓄熱式暖房器は衰退した。暖房期間しか利用できないが、蓄熱式暖房器は風力や太陽光発電の出力変動のバッファになりやすく、再度、活用される可能性が高い。

余った電力を用い、水素を製造する技術の導入も始まる。㈱東芝と東北電力㈱、岩谷産業㈱の3社が数十億円を投資して、世界最大級の水素工場を福島県内の東北電力㈱浪江・小高原原子力発電所の旧予定地に建設する。次世代エコカー10,000台分の燃料に相当する年間900トン製造する。2018年に着工して、2020年の稼働を目指している。

参考・引用文献

- 1) 赤井仁志: 再生可能エネルギー熱利用技術の動向と今後の展望, 伝熱(日本伝熱学会誌) Vol.56, No.235, (2017-4), pp.27-34
- 2) 赤井仁志: 再生可能エネルギー先駆けの地・ふくしまでの熱利用の方向性, 電気設備学会全国大会論文集, (2017-9), pp.116-117

A-15

地中熱ヒートポンプ空調システムのエネルギー消費効率に関する研究

秋田県内の戸建住宅への導入事例における長期実測

○高崎力也（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Study for Energy Saving Efficiency of Ground Source Heat Pump System

Long-Term Measurement in Detached House of Akita

Takasaki Rikiya (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),

Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：地中熱ヒートポンプ，温熱環境，実測調査，COP，負荷率

1. はじめに

近年，再生可能エネルギーの利用が促進される中，住宅においても地中熱を用いたヒートポンプ空調システム（以降，GSHP）を導入する事例が増えている。本研究では秋田県内のGSHPが導入された住宅を対象に，長期実測を通じて室内温熱環境とエネルギー消費効率を評価し，GSHPの有用性を明らかにすることを目的とする。

2. 実測調査住宅の概要

表-1に調査対象住宅及び設備の概要を示す。対象住宅は，写真-1に示すような秋田県能代市に立地する木造2階建ての戸建住宅である。1階に祖母，2階に夫婦と子ども3人が居住する二世帯住宅である。

給湯設備に自然冷媒(CO₂)ヒートポンプ，換気設備に第3種機械換気システムを用いている。暖冷房設備は地中熱を熱源とするパネルヒーター(暖房)とファンコイルユニット(冷房)に加え，補助的に冷房するために空気熱源のエアコンを併用している。GSHPは定格運転時の暖冷房能力が10kW，COPが暖房時3.7，冷房時3.2である。COPとは，空調設備のエネルギー消費効率を表す指標で，二次側出力を消費電力で除した値である。GSHPの各配管を循環する不凍液(ブライン)は地中熱の採熱側(一次側)にエチレングリコール，室内への熱供給側(二次側)にプロピレングリコールをそれぞれ希釈したものを用いている。

住宅の断熱性能を，平成25年に改正された基準値である外皮平均熱貫流率U_A値で評価したとこ

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	1階:祖母 2階:夫婦+子(3人)		
竣工年	2015年12月		
延床面積	241.0m ²		
設備	給湯	自然冷媒(CO ₂)ヒートポンプ	
	換気	第3種機械換気	
	暖房	温水パネル	
	冷房	ファンコイルユニット, 空冷式エアコン	
GSHP	定格能力	暖房	10.0kW
		冷房	10.0kW
	定格COP	暖房	3.7
		冷房	3.2
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	
	サッシ	樹脂サッシ	
窓	ガラス	Low-e複層ガラス	
	外皮平均熱貫流率(U _A 値) [W/m ² ・K]	設計値	基準値
		0.57	0.75



写真-1 対象住宅の外観

1程度に収まっており、GSHPによる省エネルギー効果が見てとれる。

5.2 GSHPのエネルギー消費効率

図-4に2017年2月、7月のCOPを示す。GSHPにおける二次側出力^{注2)}、ヒートポンプ消費電力、COPを示す。なお、二次側出力、消費電力は1日の積算値を示す。図-4(a)よりCOPは1.2~2.1程度であり、定格値である3.7を下回った。二次側出力の日平均は約2,300kWであり、負荷率^{注3)}は約16%となる。また、図-4(b)より冷房開始日以降、COPは1.6~2.2程度となり、定格値3.2を下回った。二次側出力の平均は約1,800kWとなり、負荷率は約12%である。

夏期、冬期においてCOPが定格値を下回った原因として、二次側出力が採熱量に対して少なくなっていることが挙げられる。図-5に冬期の採熱量と二次側出力の一日の積算値を示す。通常、暖房時は二次側出力が採熱量を下回ることが少ないが、本事例では採熱量の日平均が約5,500kWであり、二次側出力の2倍程度となっている。つまり、地中から採熱した熱量を二次側で半分程度しか活用していないということになる。

5.3 負荷率とCOPの関係

図-6に各期間の二次側出力、消費電力の1時間の積算値から算出した負荷率とCOPの関係を示す。負荷率は、冬期は10~25%、夏期は10~20%が大半を占めている。この範囲では負荷率が増加するにつれCOPも上昇する傾向が見られる。図6(c)に二次側で採熱量をすべて活用した場合の負荷率とCOPの関係を示す。負荷率は35~60%程度まで増加しCOPも4.7~6.2と定格値を上回っている。従って、地中から採熱した熱量の大半を

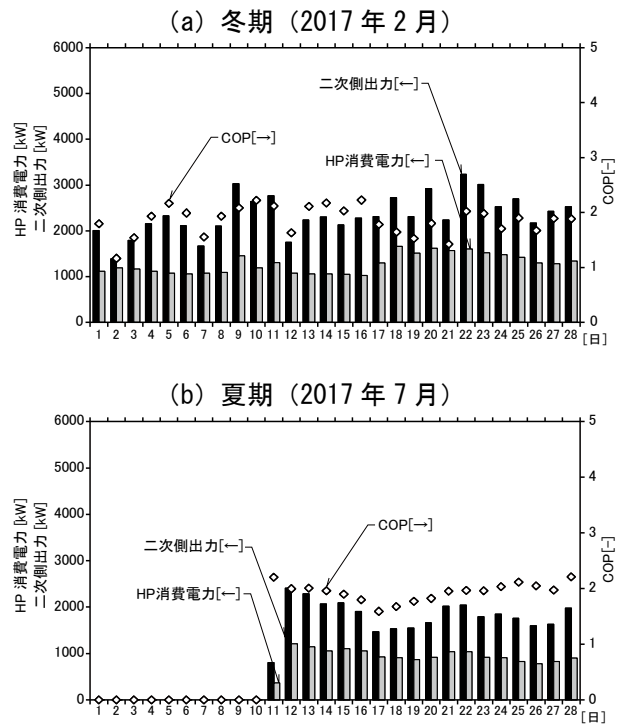


図-4 GSHPのエネルギー消費効率

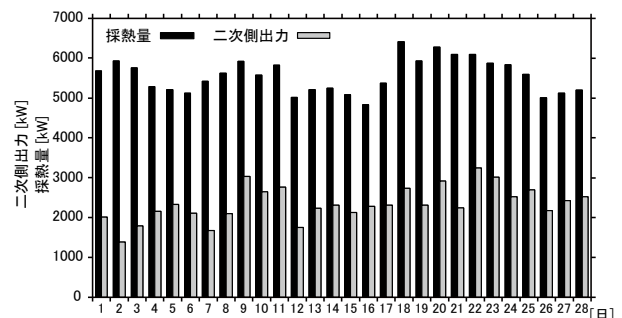


図-5 冬期の採熱量と二次側出力

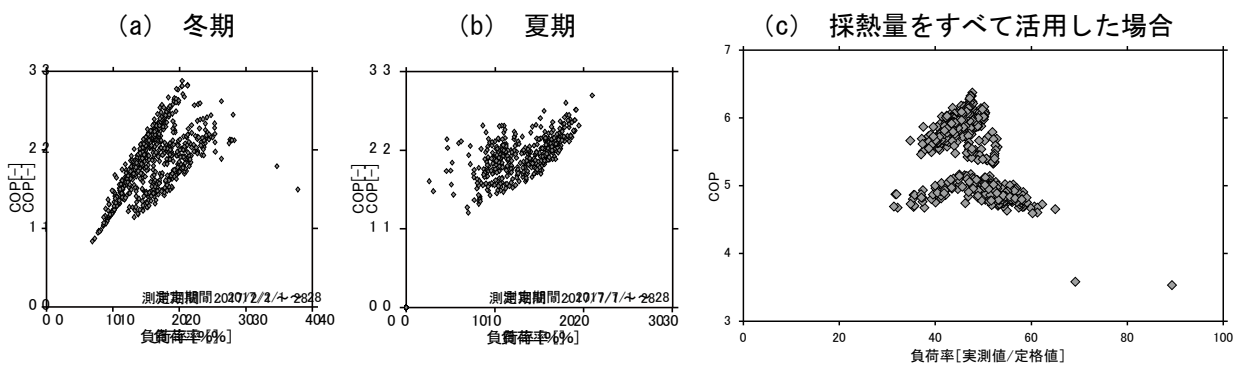


図-6 負荷率とCOPの関係

二次側で消費できれば COP の向上が見込める。対策としては二次側の不凍液の行き温度を高くすることが挙げられるが、その分消費電力が増加してしまうため、最適な設定温度を十分に検討する必要がある（写真-2）。

5.4 地中温度の変動

GSHP が地中に及ぼす影響について調査するため地中 0~100m までの 5 箇所の温度を測定した。図-7 に 2016 年度の地中温度と外気温度の変動を示す。地中 5 箇所の温度は外気温度と比較して年中安定している。また、深さが増すにつれて温度変動の幅が小さくなり、GSHP による採熱の影響を受けにくいことが見受けられる。

図-8 に 2016 年度と 2017 年度の地中深さ 40m の温度変動の比較を示す。2017 年度は冷房開始日が 2016 年度より早いため、地中温度の上昇する時期が早まっている。暖冷房を運転していない時期は温度差がほとんどないことが伺える。従って、现阶段では GSHP による採熱の後、地中温度が平常時の温度まで回復しているといえる。今後も調査を継続し、地中熱源の枯渇が発生していないか確認する必要がある。

6. まとめ

GSHP が導入された住宅における長期実測及び冬期の温熱環境の詳細調査の結果、室内の温熱環境については、グレード平均値が 4.5 となり、良好であることが確認できた。エネルギー消費量についても統計値より削減できており、GSHP が省エネルギーに寄与している可能性が見てとれる。一方、エネルギー消費効率については、実績値が定格を下回る結果となった。原因として、地中熱の採熱を十分に活用しきれていないことが考えられる。今後は、GSHP の最適な運転方法を検討する予定である。

謝辞

本研究を進めるにあたり、対象住宅のご家族の皆様、ならびにサンボット株式会社の関係者の皆様には多大なる協力を頂いた。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: 東北地方の各住宅における冬季の室温に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 371 号, pp18-26, 1987.1.
- 2) 住環境計画研究所: 家庭用エネルギー統計年報 2012 年版
- 3) 総務省統計局: 平成 25 年住宅・土地統計調査 確報集計.

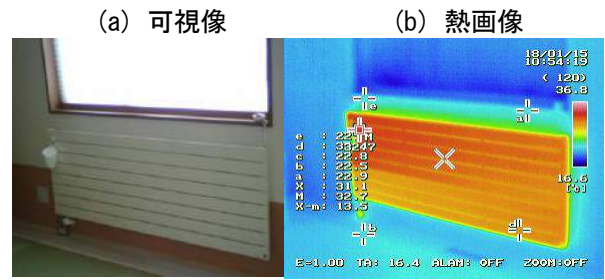


写真-2 パネルヒーター表面温度分布

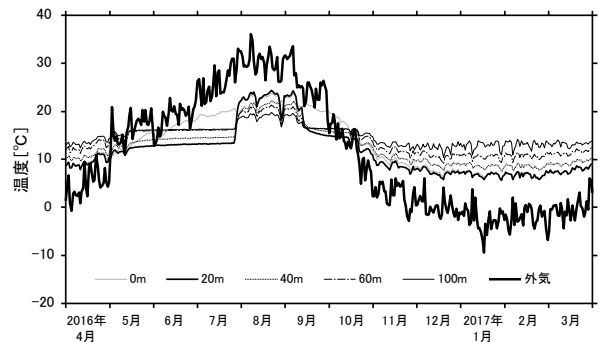


図-7 2016 年度の地中温度の変動

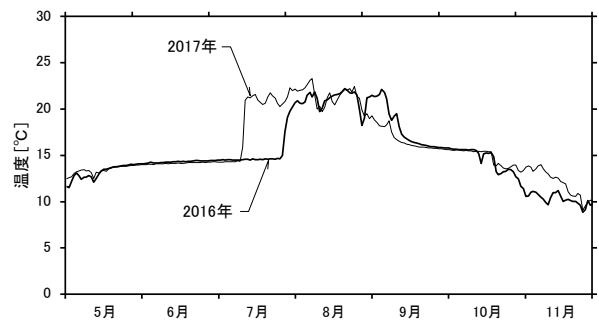


図-8 地中 40m の温度変動の年度別比較

注釈

1) 居間の団らん時(19時~ 22時)における床上1mの温度, 上下温度差(床上1mの温度-床上10cmの温度), グローブ温度差(グローブ温度-床上1mの温度), 明け方(3時~ 6時)における最低温度に対し, 1(劣)~ 5(優)の5段階の温熱環境レベルを設け, 総合的な性能を評価する方法。1)

2) 二次側出力を次の式で算出した。

$$Q_2 = |T_{2in} - T_{2out}| \cdot V_{b2} \cdot C_{b2} \cdot \rho_{b2}$$

T_{2in} : 二次側往温度[°C] T_{2out} : 二次側還温度[°C]

V_{b2} : 二次側流量[L/min] C_{b2} : 不凍液の比熱[kj/kg·K]

ρ_{b2} : 不凍液の密度[kg/L]

3) 負荷率を次の式で算出した。

$$\eta = Q_2 / Q \times 100$$

Q : 定格暖冷房能力[kW] Q_2 : 二次側出力[kW]

A-17

浅層部地中熱利用システムの実証実験に関する研究 その1

○内野晶弘(サンポット株)、赤井仁志(福島大学)、瀬川和幸(東北電力株)、
荒井尚子(株ユアテック)、仁木康介、岡本淳、今井智紀(サンポット株)

A Study on Demonstration Experiment of Shallow Ground Source Heat System Part 1

Akihiro Uchino (Sunpot Corporation), Hitoshi Akai (Fukushima University),
Kazuyuki Segawa (Tohoku Electric Power Corporation), Naoko Arai (Yurtec Corporation)
Kohsuke Niki, Atsushi Okamoto, Tomoki Imai (Sunpot Corporation)

キーワード：地中熱、ヒートポンプ、回転数制御、省エネルギー

はじめに

本研究は、浅層部土壤に埋設した地中熱交換器を利用した地中熱利用ヒートポンプシステムのシステム性能の省エネ性向上に向けた検討を行う。使用するヒートポンプは圧縮機がインバーター制御のため圧縮機消費電力は冷暖房出力に応じて変動する。冷温水を送水する循環ポンプは冷暖房出力に関わらず一定回転数で運転する制御としており、冷暖房出力が小さくなるとヒートポンプ消費電力に占めるポンプ消費電力の割合が大きくなりシステム COP(SCOP)が低下する。ポンプ消費電力低減による省エネ性向上を図るため、DC ポンプによる回転数変更を行うが、流量低下による放熱器の能力変化が懸念されるためポンプ回転数および流量が変化した場合の能力を実証実験により確認した。本報では夏期の冷房運転について報告する。

1. 設備、計測機器概要

実証実験は秋田県秋田市内の住宅にて行った。使用する熱源機は地中熱冷暖房ヒートポンプ(定格冷房能力 5.4kW)、室内の放熱器はファンコイルユニット(定格冷房能力 1.2kW)と冷暖房用放射形放熱器(定格冷房能力 1.8kW)である。運転は 24 時間連続運転としている。

測定項目は循環水温度、循環水流量、消費電力、室内温湿度、外気温度、地中温度である。計測器の配置を図-1 に示す。計測は室内温湿度計を 5 分間隔、その他を 1 分間隔で測定し、データロガーに収録した。

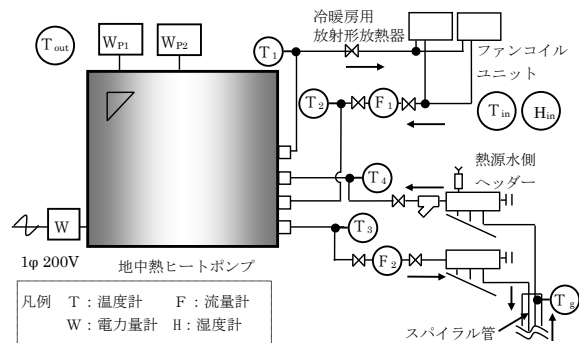


図-1 計測器の配置

2. 実証実験でのデータ収集、分析・評価

実証実験は 6 月 21 日～9 月 28 日に実施し地中熱ヒートポンプシステムのポンプ回転数を変更し省エネ性向上に向けた検討、試験を行った。

ポンプ回転数変更の条件を表-1 に示す。ポンプ回転数は期間毎に変更しており、9 月 11 日～9 月 28 日においては熱源水側ポンプの回転数を自動で制御した。

表-1 試験条件とポンプ回転数

条件	期間	代表日	ポンプ回転数	
			冷温水側	熱源水側
条件1	6/21～7/31	7/27	3600rpm	3600rpm
条件2	8/1～4	8/2	3000rpm	2000rpm
条件3	8/4～9/10	8/27	3600rpm	2000rpm
条件4	9/11～9/28		3600rpm	2000～3600rpm

期間の日最高温度、エネルギーと効率を図-2～図-3に示す。外気温は18～38℃、室温は22～29℃となっている。消費電力、出力は7～8月の値が大きく、SCOPは条件1の期間が3.5～4.5、条件2～4の期間が4～5.5で推移している。

条件1～3の期間において最高外気温が30～35℃程度になる日を代表日として、室内温度、エネルギーと効率を図-4～図-5に示す。条件2は両ポンプ回転数の変更により、条件1に対して消費電力が0.1kW低減、SCOPが1.5向上したが、室温が1～2℃高い推移となる。これは冷温水側ポンプの回転数低減により流量が減少しそれに伴い放熱器の放熱量が低下したことが原因と思われる。条件3は熱源水側ポンプ回転数の変更により、条件1に対して消費電力が0.05kW低減、SCOPが0.5向上し、室温が同程度となった。このため、ポンプの回転数を自動で制御する場合は室内側環境の影響が少ない熱源水側ポンプのみを制御する。

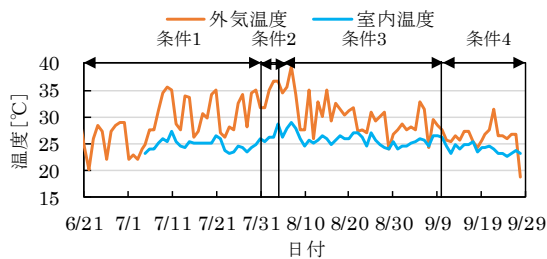


図-2 期間の日最高温度

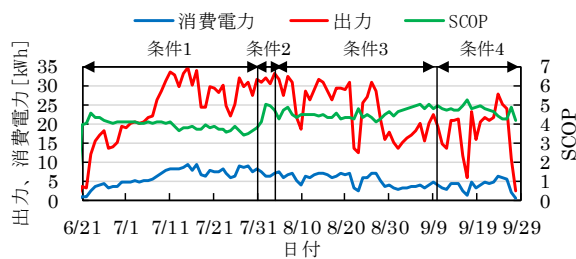


図-3 期間のエネルギーと効率

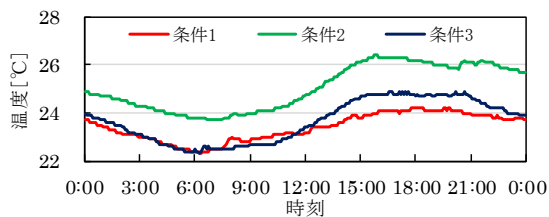


図-4 代表日の室内温度

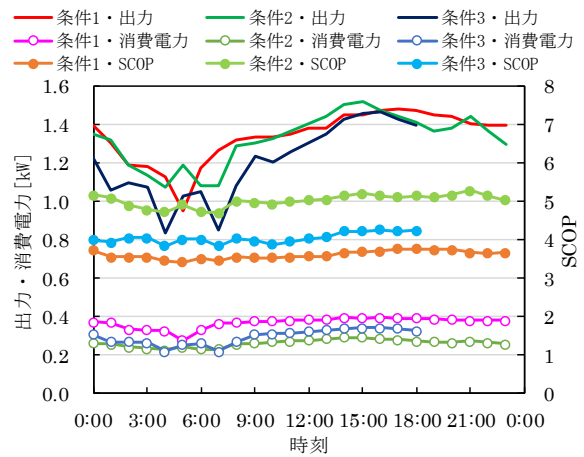


図-5 代表日のエネルギーと効率

3. システムにおける省エネ性の検討

実証実験の結果を元にポンプ制御による省エネ性の検討を行った。図-6に消費電力の試算値を示す。圧縮機電力は実証実験における値、ポンプ電力は実証実験の運転時間より自動回転数制御の有無それぞれの値を算出した。実証実験では冷房負荷が小さいためにポンプ電力が総電力に対して40%程度を占めている。

試算の結果、自動回転数制御によりポンプ電力は36%の削減、総電力においては16%の削減となる。

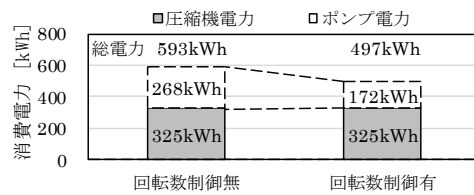


図-6 消費電力の試算値

まとめ

- ・ポンプ回転数制御により室内環境を維持しながら消費電力の削減、システム COP の向上を図ることが可能となった。
- ・今後は冬期の暖房運転の評価を行い、通年での省エネ性についてまとめる。

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4報：設計・性能予測手法の改良と全国における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），方昱植（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），

大江基明(株イノアック住環境)，瀬川和幸(東北電力(株))

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

Katsura Takao (Hokkaido University), Higashitani Takashi (Hokkaido University), Fan Yuzhi (Hokkaido University), Nagano Katsunori (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University), Oe Motoaki (Inoac Corporation), Segawa Kazuyuki (Tohoku-Electric Power Co.)

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)~3)}。既報^{1), 2)}においては、熱回路網を応用した VSGHEX 内部の熱媒および充填材温度の計算手法について示してきた。また、前報³⁾では東北地方の各県と新潟県の県庁所在地を対象地域として、戸建住宅に 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。

本報では、VSGHEX の断面形状が床暖房と類似していることから、床暖房の放熱量の計算で用いられているフィン効率を用いる方法^{4), 5)}を応用することで、計算モデルの改良を行った。更には、全国の都道府県庁所在地を対象として、戸建住宅に 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した。

1. 螺旋状地中熱交換器の計算モデルの改良

既報^{1), 2)}において VSGHEX 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算モデルを開発してきた。VSGHEX の垂直断面図は図2に示される通りであり、螺旋状配管が設置されている部分については、縦横を入れ替えると床暖房の断面形状に類似していることがわかる。そこで、床暖房の放熱量の計算で用いられているフ

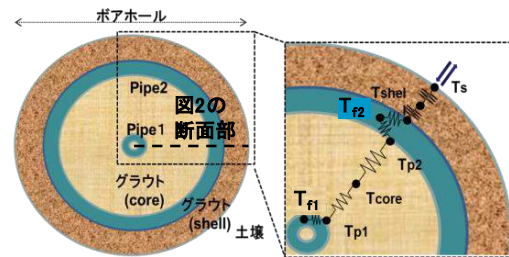


図1 熱回路網を用いた VSGHEX 計算モデル概念図

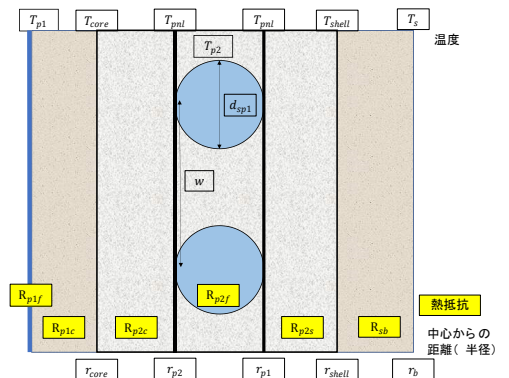


図2 VSGHEX の垂直断面図

イン効率を用いる方法^{4), 5)}を応用することで、計算モデルの改良を行った。図2に示される2本の線上の温度を T_{pnl} とすると、 T_{pnl} は以下の式により計算できる。

$$T_{pnl} = \frac{K_{fcore}}{K_{fcore}+K_{fshell}} \times [(T_{p2} - T_{core})\eta_{fcore} + T_{core}] + \frac{K_{fshell}}{K_{fcore}+K_{fshell}} \times [(T_{p2} - T_{shell})\eta_{fshell} + T_{shell}] \quad (1)$$

T_{pnl} を用いると、各部の熱収支式は以下となる。

パイプ 1 内部熱媒の熱収支式

$$c_f \rho_f V_{f1} \frac{dT_{f1}}{dt} = c_f \rho_f G_f (T_{pin} - T_{f1}) + \frac{1}{R_{p1f}} (T_{p1} - T_{f1}) \quad (2)$$

パイプ 2 内部熱媒の熱収支式

$$c_f \rho_f V_{f2} \frac{dT_{f2}}{dt} = c_f \rho_f G_f (T_{w1} - T_{f2}) + \frac{1}{R_{p2f}} (T_{p2} - T_{f2}) \quad (2)$$

Core 部の熱収支式

$$c_g \rho_g V_{core} \frac{dT_{core}}{dt} = \frac{\eta}{R_{core}} (T_{pnl} - T_{core}) + \frac{1}{R_{p1c}} (T_{p1} - T_{core}) \quad (4)$$

Shell 部の熱収支式

$$c_g \rho_g V_{shell} \frac{dT_{shell}}{dt} = \frac{\eta}{R_{shell}} (T_{pnl} - T_{shell}) + \frac{1}{R_{sb}} (T_s - T_{shell}) \quad (5)$$

ただし、

$$K_{core} = \frac{2\pi r_{p2} l_p}{R_{p2c}} \quad (6)$$

$$K_{shell} = \frac{2\pi r_{shell} l_p}{R_{p2s}} \quad (7)$$

$$\eta_{fcore} = \frac{\tanh(z_{core})}{z_{core}} \quad (8)$$

$$\eta_{fshell} = \frac{\tanh(z_{shell})}{z_{shell}} \quad (9)$$

$$z_{core} = 0.5(w - d_{sp1}) \sqrt{\frac{2 \cdot K_{fcore}}{C}} \quad (10)$$

$$z_{shell} = 0.5(w - d_{sp1}) \sqrt{\frac{2 \cdot K_{fshell}}{C}} \quad (11)$$

$$\eta_f = \frac{(\eta_{fcore} + \eta_{fshell})}{2} \quad (12)$$

$$\eta = \frac{\pi \cdot d_{sp1}}{4w} + \eta_f \left(1 - \frac{\pi \cdot d_{sp1}}{4w}\right) \quad (13)$$

$$R_{p1f} = \frac{1}{2\pi r_{sp2} \alpha_f l_p} + \frac{1}{2\pi \lambda_{sp} l_p} \log\left(\frac{r_{sp1}}{r_{sp2}}\right) \quad (14)$$

$$R_{p1c} = \frac{1}{2\pi \lambda_l l_p} \log\left(\frac{r_{core}}{r_{sp1}}\right) \quad (15)$$

$$R_{p2f} = \frac{1}{2\pi r_{sp2} \alpha_f d_{z2}} + \frac{1}{2\pi \lambda_{sp} l_p} \log\left(\frac{r_{sp1}}{r_{sp2}}\right) \quad (16)$$

$$R_{p2c} = \frac{1}{2\pi \lambda_g l_p} \log\left(\frac{r_{p2}}{r_{core}}\right) \quad (17)$$

$$R_{p2s} = \frac{1}{2\pi \lambda_g l_p} \log\left(\frac{r_{shell}}{r_{p1}}\right) \quad (18)$$

$$R_{sb} = \frac{1}{2\pi \lambda_g l_p} \log\left(\frac{r_b}{r_{shell}}\right) \quad (19)$$

また、 C はフィン熱伝導率補正であり、 r_{sp1} 、 l_p 、 r_{p1} の関数として、以下の式により求める。

$$C = 0.005216 - 1.70525 \times r_{sp1} + 0.982331 \times l_p - 0.08062 \times r_{p1} \quad (20)$$

2. 全国における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

表 1 各都市における住宅の断熱性能

省エネ地域区分(H11次世代省エネ基準)	省エネ地域区分(H25新省エネ基準)	該当都市	熱損失係数設定値 [W/(m ² ・K)]	
			H11次世代省エネ基準	高断熱
1	1	札幌	1.6	1
	2			
2	3	盛岡、長野	1.9	1.3
3	4	青森、秋田、山形、仙台、福島、富山	2.4	1.9
4	5	1~4、7地域に該当しない都市全て(沖縄を除く)	2.7	2
	6			
5	7			

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。住宅の条件として、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。都市については各都道府県の県庁所在地である 46 都市(沖縄県を除く)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 26℃、暖房 22℃とし、運転スケジュールは、既報³⁾と同様の設定を行った。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。計算結果の代表例として各都市の H11 次世代省エネ基準の断熱性能の条件に暖房負荷合計値、暖房最大負荷、冷房負荷合計値、冷房最大負荷を図 3 に示す。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 4 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 500 mm の VSGHEX を用いることとし、VSGHEX の深度については 4 m とし、それぞれ深さ 1~5 m 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、1.8 W/(m・K)の 2 条件を与えた。地中温度(不易層温度)については、図 5 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。

3. 地中熱交換器必要本数計算結果

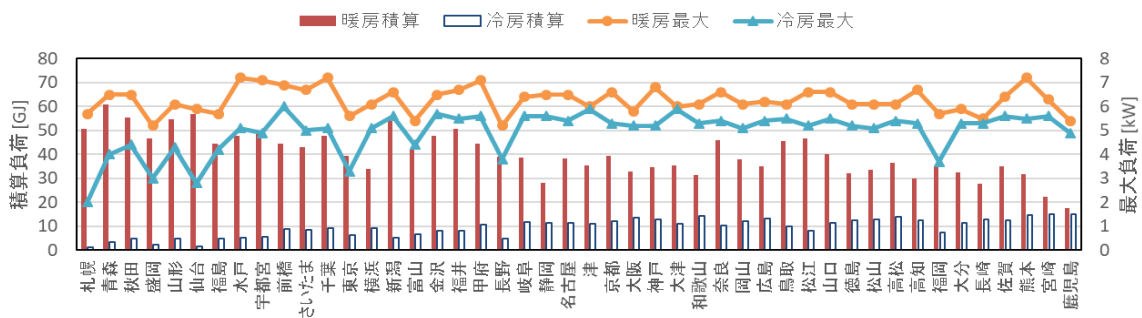


図3 H11 次世代省エネ基準の熱損失係数の条件に対する各都市における住宅の暖冷房負荷

計算結果の代表例として、図3の暖冷房負荷条件を与え、地盤の有効熱伝導率を $1.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と設定した場合の、各都市における VSGHEX の必要本数を図5に示す。なお、図5には暖房時の制約条件(熱媒温度の最低温度 -5°C)で必要本数が決まった都市は暖房時のみの必要本数を、冷房時の制約条件(熱媒温度の最高温度 35°C)で必要本数が決まった都市は、冷房時の制約条件を除いて暖房時の制約条件で必要本数を決めた場合の必要本数も示している。結果として必要本数は 10~20 本程度となり、大部分の都市において冷房時の制約条件によって本数が決まる結果となった。理由として、冷房の最大負荷は暖房の最大負荷よりも小さいものの、ヒートポンプの特性上、冷房時の放熱量は冷房負荷よりも大きく、暖房時の採熱量は暖房負荷よりも小さくなることや、不易層温度と制約条件の温度差が冷房時の方が小さくなることなどが挙げられる。

同様に住宅の断熱性能の条件や地盤の有効熱伝導率を変更し、それぞれの条件において VSGHEX の必要本数を求めた。そして、暖房時の制約条件で決められた必要本数について、暖房合計負荷値、暖房最大負荷それぞれの値に対して整理してまとめたものを図6に、冷房時の制約条件で決められた必要本数について、冷房合計負荷値、冷房最大負荷それぞれの値に対して整理してまとめたものを図7に示す。それぞれの図から必要本数は負荷合計値、負荷最大値と強い相関があることが伺える。また、必要本数は有効熱伝導率の影響も強く受けることがわかる。既報³⁾においては、必要本数を暖房最大負荷 Q_{hmax} と有効熱伝導率 λ の2変数で決定できるものと考えたが、今回は全国の都市を対象としており、図5に示すように不易層温

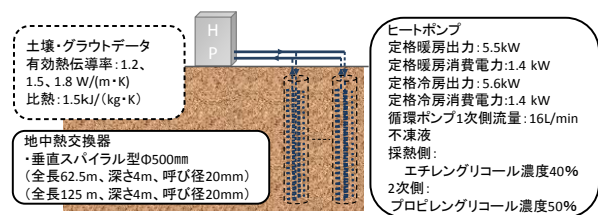


図4 地中熱ヒートポンプシステムおよび地盤条件

度が大きく異なっている。そこで今回は最大負荷 Q_{hmax} 、 Q_{cmax} と有効熱伝導率 λ 、更には不易層温度 T_{s0} の3つの変数として、深さ4mのVSGHEXの必要本数 n 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。

暖房時

$$n = 23.95 + 1.56Q_{cmax} - 5.69\lambda - 0.74T_{s0}$$

冷房時

$$n = -5.54 + 2.00Q_{cmax} - 7.19\lambda + 1.27T_{s0}$$

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、平均で2本程度の範囲内で収まること分かった。

まとめ

以下に本研究のまとめを示す。

- 1) VSGHEX の断面形状が床暖房と類似していることから、床暖房の放熱量の計算で用いられているフィン効率を用いる方法を応用し、計算モデルの改良を行った。その計算モデルについて示した。
- 2) 計算モデルを応用して、全国の都道府県庁所在地を対象として、戸建住宅に 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した。結果より必要本数は 10~20 本程度となり、大部分の都市において冷房時の制約条件によって本数が決まる結果となった。
- 3) 最大負荷や合計負荷と必要本数は強い相関が

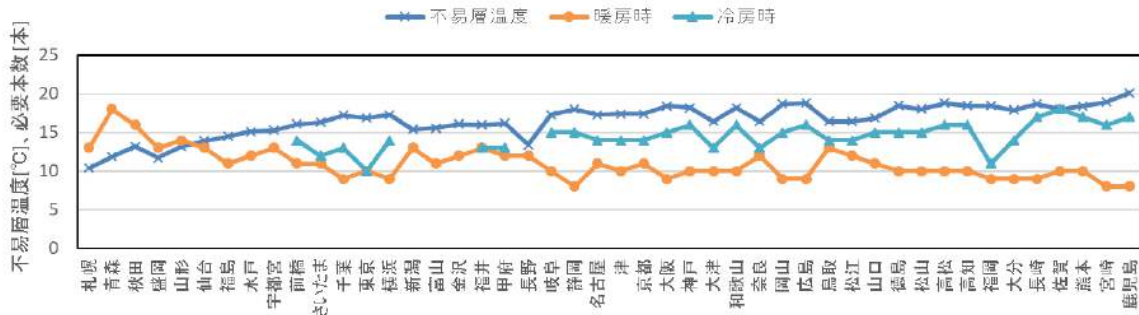


図5 VSGHEX の必要本数(H11 次世代省エネ基準の熱損失係数、地盤の有効熱伝導率を $1.8 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ と設定)

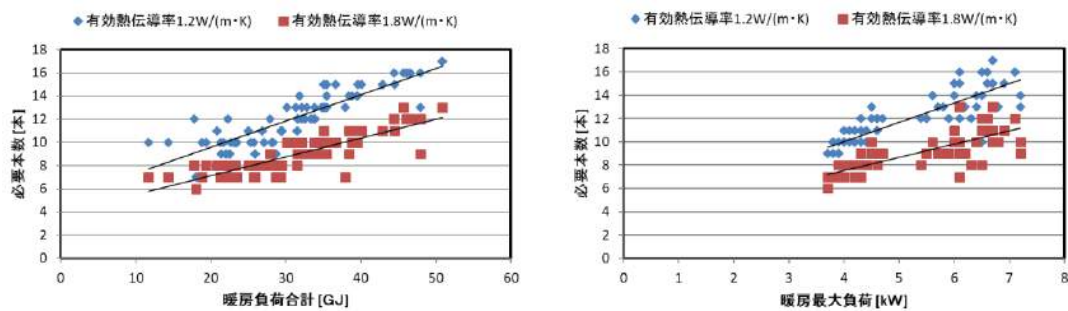


図6 暖房負荷合計、暖房最大負荷に対する必要本数(左：暖房負荷合計、右：最大暖房負荷)

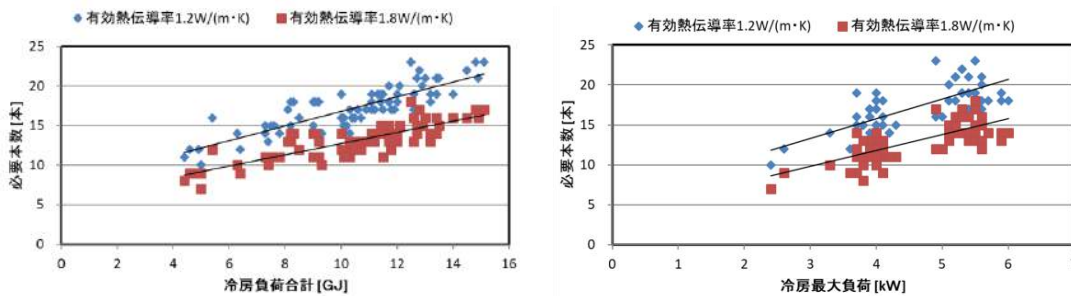


図7 冷房負荷合計、冷房最大負荷に対する必要本数(左：冷房負荷合計、右：最大冷房負荷)

あることを確認した。また、必要本数は最大負荷もしくは合計負荷と、地盤の有効熱伝導率、不易層温度を関数とした近似式より 2 本程度の範囲内で推定できることが分かった。

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) 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 3 報, 空気調和・東北支部学術・技術報告会論文集 (2017)

- 4) 井上宇市他：温水床暖房放熱量の推定法に関する研究、日本建築学会計画系論文集 第 494 号、pp.23-28 (1997)

- 5) 三浦尚志他：定常状態における温水床暖房のエネルギー消費量の推定法、日本建築学会環境系論文集 第 626 号、pp. 487-494 (2008)

記号 C : 補正值 [-], c : 比熱 $[\text{kJ}/\text{kg}/\text{K}]$, d : 直径 $[\text{m}]$, G : 流量 $[\text{m}^3/\text{s}]$, K : 熱貫流量 $[\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})]$, l : 長さ $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$, Q : 熱負荷 $[\text{kW}]$, R : 熱抵抗値 $[(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}]$, r : 径方向距離、半径 $[\text{m}]$, T : 温度 $[\text{°C}]$, V : 体積 $[\text{m}^3]$, w : スパイラル管間隔 $[\text{m}]$, η : フィン効率 [-], λ : 熱伝導率 $[\text{W}/\text{m}/\text{K}]$, ρ : 密度 $[\text{kg}/\text{m}^3]$

添え字 $core$: core 部, f : 熱媒, p : 熱交換器, sp : スパイラル管, s : 地盤, $shell$: shell 部 (残り詳細は図 2 に記載)

A-19

大規模施設への地中熱ヒートポンプシステムの導入に関する検討

○小司 優陸 (北海道大学), 葛隆生 (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)

Study on Introduction of Ground Source Heat Pump System to the Large-scale Facility

Yutaka SHOJI (Hokkaido University), Takao KATSURA (Hokkaido University),
Katsunori NAGANO (Hokkaido University), Hitoshi AKAI (Fukushima University / Hokkaido University)

キーワード：地中熱ヒートポンプシステム, 大規模施設

はじめに

近年日本でも、高効率な暖冷房・給湯が行える再生可能エネルギーを用いた熱源システムとして地中熱ヒートポンプ(以下 GSHP)の認知が広まってきている。しかし現状としては商業施設など中規模程度の建物への導入が多く、工場や複合施設といった大きな負荷需要がある建物に対する導入事例は少ない。そこで本研究では、大規模建物への GSHP システム導入シミュレーションによるケーススタディを行い、これにより大規模施設への GSHP システム導入可能性とその効果検証を行うことを目的とする。

1. 大規模施設への GSHP 導入シミュレーション

1.1 ケーススタディ概要

導入を検討する大規模施設として、図-1 のような年間熱負荷を需要する工場を対象とする。検討したケースは次の様である。

Case A. GSHP 一次側補助熱源なし

Case B. GSHP+太陽集熱器

Case C. 熱回収 GSHP(以下 HR-GSHP)システム
なお HR-GSHP システムは、温熱供給 GSHP と冷熱供給 GSHP をそれぞれ同じ GHEX に接続し、一次側配管にてそれぞれの廃熱を相互に熱回収するシステムである¹⁾。それぞれのケースのシステム系統図及びその仕様条件について図-2~4 に示す。地中の有効熱伝導率及び、不易層温度はそれぞれ $2.0 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$, $13.0 \text{ }^\circ\text{C}$ とした。また GHEX の配置は図-5 に示すとおり 5 m 間隔で 9×10 の配置とした。それぞれのケースでの年間 GSHP 処理負荷を図-6, 7 に示す。Case A, B は同様の処理負荷で温熱のみの処理とし、また 5-10 月は地中温度回復のため GSHP 停止期間とした。ただし、Case B に関しては夏季の GSHP 停止期間にも太

陽集熱器は稼働させ地中へ放熱を行うものとした。Case C については温冷熱それぞれの負荷を、地中温度が許容範囲を超えないよう温熱供給 GSHP の定格出力 300 kW と 1000 kW の条件でそれぞれ最適化した¹⁾。年間積算温熱負荷は、全体、A 及び B, C 300 kW , C 1000 kW の順に、 $3.72, 1.04, 1.87, 3.42 \text{ [GWh/year]}$ であった。また年間積算冷熱負荷は、全体、C 300 kW , C 1000 kW の順にそれぞれ、 $3.46, 1.45, 2.74 \text{ [GWh/year]}$ であった。長期的な運転への耐性を考慮するため計算年数は 3 年間とした。

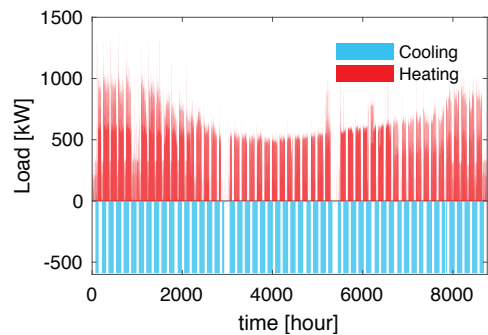


図- 1 検討建物需要負荷

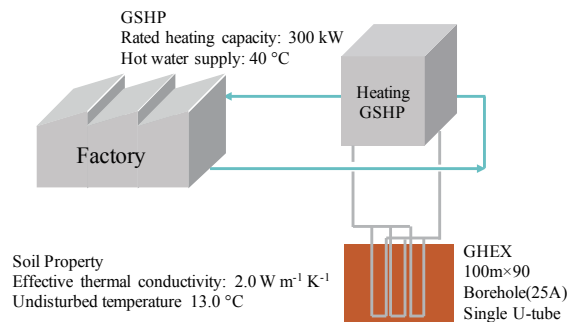


図- 2 Case A. システム概要

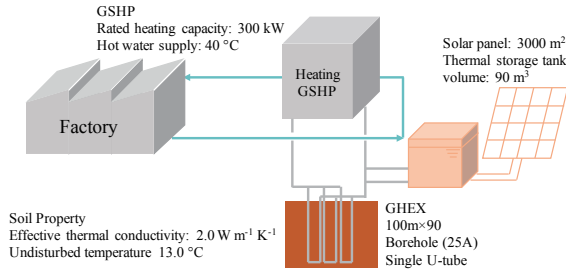


図- 3 Case B. システム概要

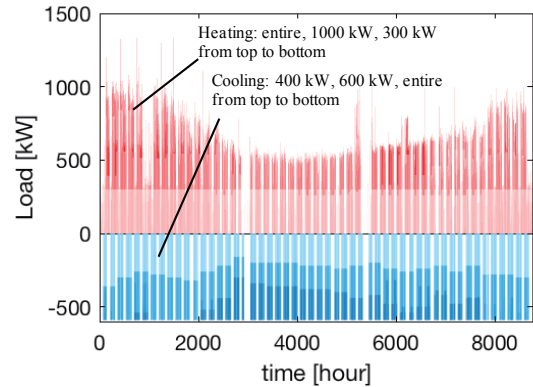


図- 7 Case C. GSHP 処理負荷

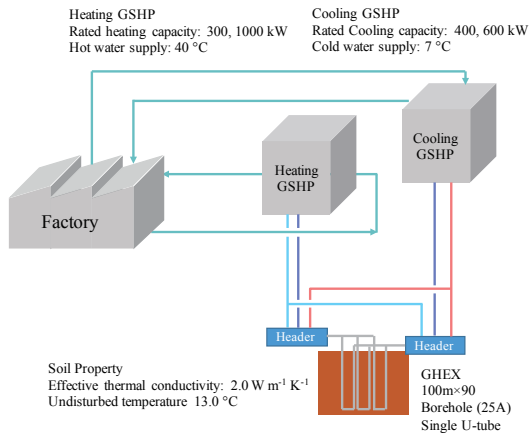


図- 4 Case C. システム概要

1.2 シミュレーションモデル概要

≧システムシミュレーションの概要を図-8 に示す。地中熱交換器周囲の地中温度を計算する地盤モデルと、地中熱交換器の内部熱媒温度を計算する GHEX モデル、空調用 GSHP モデル、太陽集熱器モデル、蓄熱槽モデル、ポンプモデルからなり、ここに温冷熱負荷、気象データ等の条件を入力し計算を行なう 2),3)。

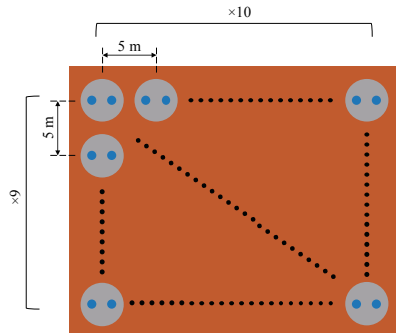


図- 5 GHEX 配置

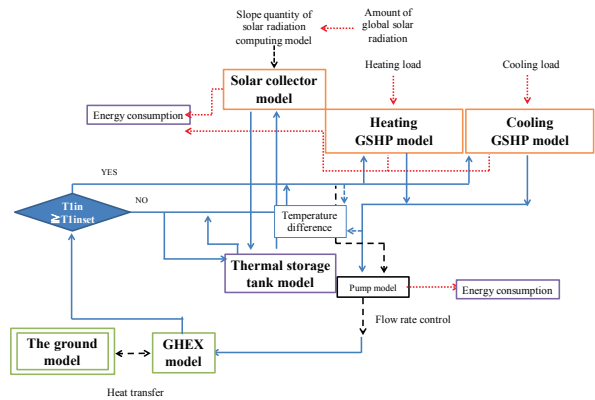


図- 8 シミュレーションモデル概要

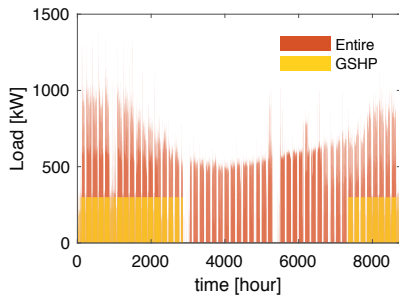


図- 6 Case A,B GSHP 処理負荷

1.3 ケーススタディ結果

≧図-9 にケース毎の全温熱負荷に占める温熱供給 GSHP の処理負荷量を示す。Case A, B では全温熱負荷の 28 %, ≧Case C では温熱供給 GSHP が 300 kW の時は全体の 50 %, 1000 kW の時は全体の 92 % の処理負荷割合であった。また、シミュレーションの結果得られたそれぞれのケースでの 3 年間の GHEX 出口温度推移を図-10~12 に、各

ケースの年間 GHEX 出口最低温度を図 13 に示す。Case A では長期運転によって GHEX 出口温度が低下していったが、Case B, C では熱源水の顕著な温度変化は見られない。したがって今回の条件下では、Case A では継続的利用が困難であるが Case B, C では長期運転が可能であると言える。また Case C の HR-GSHP システムでは、他ケースより大きな温熱負荷を、温度低下を起さずに処理できていた。また、各ケースの温熱供給 GSHP の平均 COP は、Case A が 4.08, Case B が 5.36, Case C の定格 300 kW が 4.84, 1000 kW が 5.10 であった。図-14 に各ケースの温熱供給にかかる一次エネルギー消費量の比較を示す。一次エネルギー消費量は GSHP 消費電力を一次エネルギー換算係数 9757 kJ/kWh で換算し、残りの負荷については効率 0.85 のガスボイラによって賄うとした。この図から、GSHP システムによる一次エネルギー消費削減効果が、Case A, B でも 10%程度、Case C については最大 50%程度まで削減可能であることが確認された。

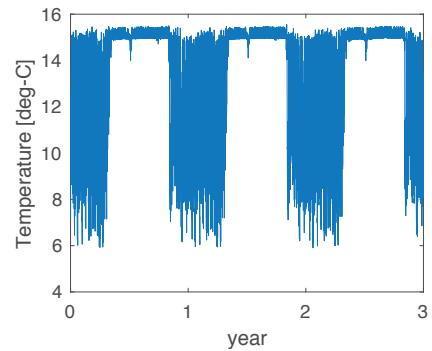


図- 11 Case B. GHEX 出口温度推移

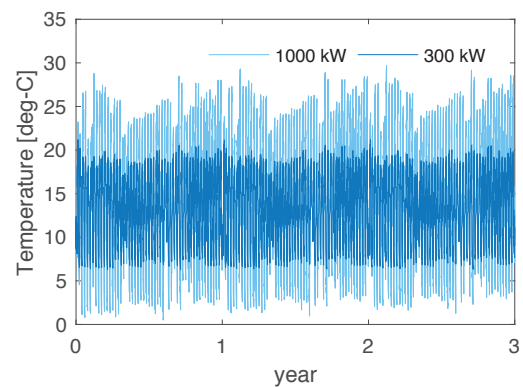


図- 12 Case C. GHEX 出口温度推移

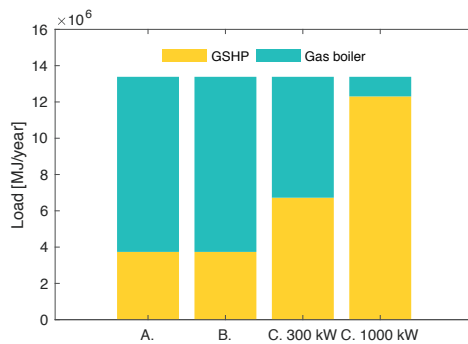


図- 9 各ケース GSHP 年間処理負荷量

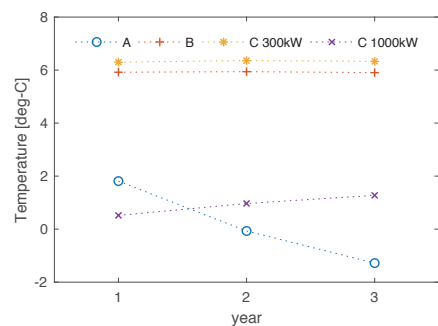


図- 13 各ケース年間 GHEX 出口最低温度推移

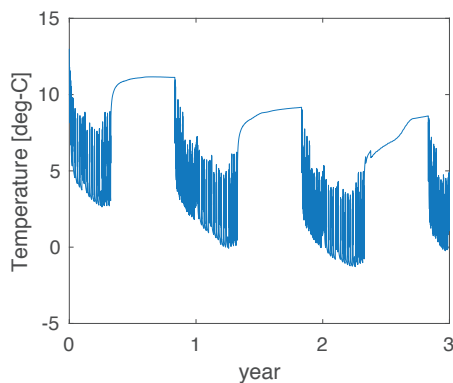


図- 10 Case A. GHEX 出口温度推移

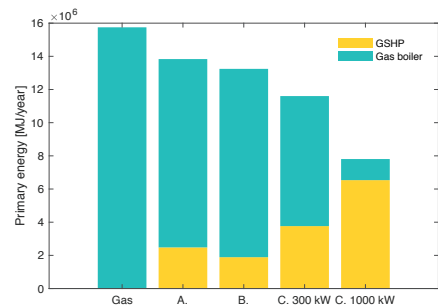


図- 14 温熱供給にかかる一次エネルギー消費量

2. 地下水流れを考慮したシミュレーション

2.1 検討システム概要

≧深度 10-20 m 地点近傍に地下水流れが存在すると仮定して、Case A'として地下水流れを考慮し、より浅層の GHEX を用いる場合について検討する⁴⁾。Case A'のシステム系統図及びその仕様条件について図-15 に示す。Case A'のシステムとしては、10-20 m 地点の浅層に地下水流れがあることから 20 m の GHEX を他ケースと総長が等しくなる様 450 本用いて運転することを想定した。また、全温熱負荷に占める GSHP の処理負荷量は Case A, B と同様とした。

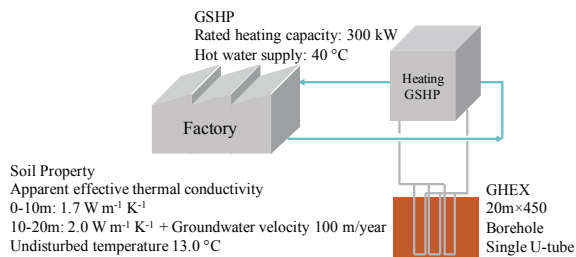


図- 15 Case A'. システム概要

2.2 Case A'. シミュレーション結果

≧計算の結果得られた GHEX 出口温度推移を図-16 に、また 0-10 m と 10-20 m 地点それぞれの地中温度変化を図-17 に示す。地下水流れの存在する 10-20 m 地点の層では夏季の GSHP 停止期間に地中温度が回復しきっており、3 年間の運転による温度低下も Case A と比較して抑えられていることが確認された。

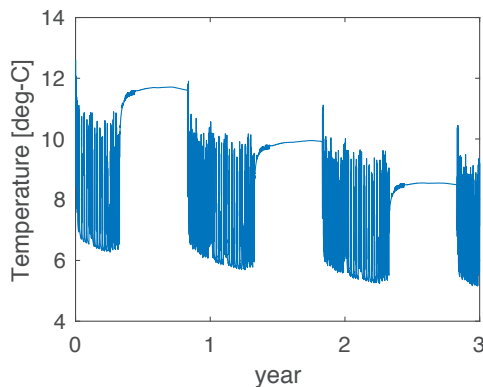


図- 16 Case A'. GHEX 出口温度推移

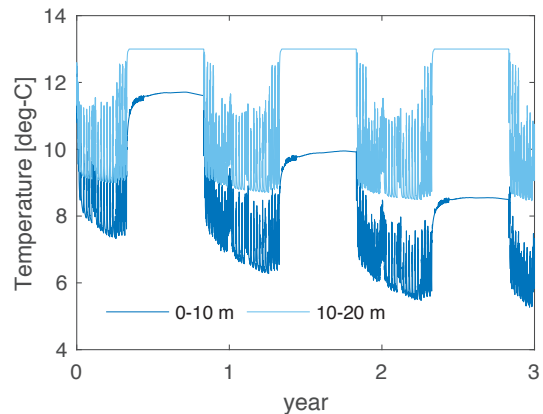


図- 17 Case A'. 各層地中温度推移

3. 結論

≧大規模施設への GSHP システム導入検討シミュレーションを行った。

- ・GSHP のみのシステムでは長期的な運転により熱源水温度の低下が見られたが、太陽集熱器を用いることで長期運転が可能となることがわかった。
- ・HR-GSHP の技術を用いることで上記条件の 3 倍程度の温熱負荷を処理できることを示した。
- ・一次エネルギー削減効果としては GSHP システムで 10% 程度、HR-GSHP システムで 50% 程度の削減効果が見込める結果となった。
- ・地下水流動を考慮した GHEX 設計により地中温度の過大な変動を引き起こさずに長期的運転が可能であることを示した。

参考文献

- 1) 葛隆生ほか: 地中熱熱回収ヒートポンプシステムの設計手法と最適制御システムの開発に関する研究(その 1~3), 空気調和衛生工学会論文集
- 2) 松尾祐樹, 葛隆生, 中村靖: 地中熱利用熱回収ヒートポンプシステムの最適運転制御手法の開発に関する研究, 空気調和衛生工学会北海道支部第 49 回学術講演会論文集, 2015
- 3) 葛隆生, 長野克則, 武田清香, 中村靖: 土壌熱源ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールに関する研究(1~3), 空気調和衛生工学会論文集
- 4) 葛隆生, 長野克則, 中村靖: 複層地盤を考慮した地中熱交換器のシミュレーションツールの開発とその応用, 日本冷凍空調学会論文集, 32 巻(2015)3 号, pp. 335-344

A-20

配電工事用建柱車による螺旋状地中熱交換器の埋設工法の開発と評価

○瀬川和幸, 大子田誠也 (東北電力株), 奥野敏彦 (東北電力株, 現:サイエンス株),

山本昌志 (株ユアテック), 赤井仁志 (福島大学), 葛隆生, 長野克則 (北海道大学)

Technical Development and Evaluation of Burying Method for Vertical Type Spiral Ground Heat Exchanger by Digger and Pole Setter Derrick Vehicle used for Power Distribution Construction Works

Segawa Kazuyuki, Ogota seiya (Tohoku-Electric Power Co., Inc.), Okuno Toshihiko (Science Corporation), Akai Hitoshi, Kusakari Hiroyuki (Yurtec Corporation), Nagano Katsunori, Katsura Takao (Hokkaido University)

キーワード: 地中熱利用ヒートポンプ, 螺旋状地中熱交換器, 配電工事用建柱車, 浅層土壌

はじめに

既報¹⁾²⁾では、空調・換気用スパイラルダクトの外周に、螺旋状に採熱管を均等に巻き付けて、地中熱交換器としたもので実証試験を行い、さらに浅層部の土壌に地中熱交換器を埋設する方式のコスト削減を目指し、空調・換気用スパイラルダクトを省略して、曲がりの形状を保持できるアルミ三層管を採用して実証試験を行い、地中熱交換器の仕様について検討した。

本報では、建柱車に適した掘削機材と地中熱交換器の開発および試験掘削結果について報告する。

1. 建柱車に適した掘削機材および地中熱交換器の開発

通常、建柱車は深さ 5.2m まで掘削可能である。さらに深い層の地中熱を有効活用するため、掘削ドリルおよび伸縮ロッド等を開発した (写真-1)。これにより、補強・改造された大型建柱車を用いて、12m 程度の深さまで掘削できるようにした。さや管は砂質土など崩れやすい地盤を掘削するために作製した。

浅層部の熱を効率よく使用するため、地中熱交換器は螺旋状とした (写真-2)。既報²⁾では、螺旋間隔を 35、90、145、200mm と変えた試験を行い、熱交換器の性能評価・螺旋間隔の最適化の検討を行った結果、螺旋間隔が 100mm の時に地中熱交換器のコストを抑え、採熱効率が最も良いことが明らかになった。本研究では、螺旋間隔を 100mm の高密度ポリエチレン製の地中熱交換器を使用した。



写真-1 開発した主な掘削機材

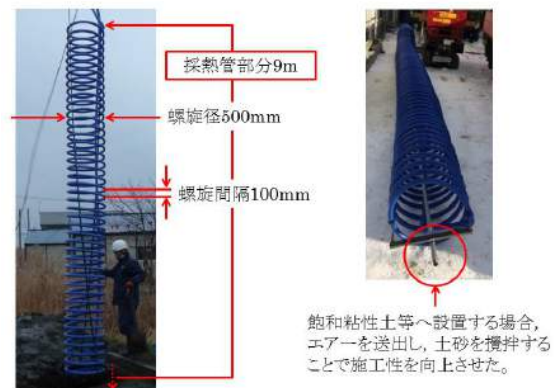


写真-2 開発した地中熱交換器

2. 地中熱交換器の設置試験（試験掘削）の概要

地中熱交換器の設置試験は、一般的な土質である飽和^{*}砂質土（秋田県秋田市）、飽和粘性土（青森県南津軽郡藤崎町）および固い地盤である不飽和^{*}礫混じり砂質土+軟岩（軽石凝灰岩）（宮城県仙台市三居沢）の3個所で実施した。試験に必要な車両は、建柱車、掘削機材を運搬するトラック、そしてバックホーの3種類である。試験の流れは、建柱車による掘削（写真-3）、さや管の設置（写真-4）、地中熱交換器の設置および埋設（写真-5、写真-6）の順で行い、試験掘削に要した時間を測定した。

※飽和：地下水で満たされている地盤

不飽和：地下水で満たされていない地盤



写真-3 建柱車による掘削 写真-4 さや管設置



写真-5 熱交換器設置 写真-6 埋設作業

3. 試験掘削および熱応答試験の結果

3.1 試験掘削の結果

土質毎の作業に要した時間を表-1に示す。掘削時間は飽和粘性土が最も短く、地中熱交換器の設置可能基数は2基/日であった。

飽和砂質土は、掘削孔が崩れやすく、流動化した土砂によりさや管を用いても掘削が困難であった。また、掘削ドリルとさや管の間隙が小さいた

め、掘削ドリルとさや管の共回りが発生し、掘削を進めることができなくなるといった現象も発生した。

不飽和礫混じり砂質土は、飽和粘性土と同様に掘削し易い地盤であったが、軟岩の掘削に時間を要し、掘削時間の長さが課題であった。

表-1 土質毎の作業に要した時間

土質	作業時間		
	掘削～さや管設置	熱交設置～埋戻し	合計
飽和粘性土	2時間05分	1時間05分	3時間10分
飽和砂質土	7時間40分	1時間30分	9時間10分
不飽和砂礫土 +軟岩（軽石凝灰岩）	7時間00分	0時間50分	7時間50分

3.2 熱応答試験の結果

地中熱交換器の性能評価方法と試験方法は、既報¹⁾の「4.2 熱応答試験による評価」と同様である。ここでは、試験結果のみ述べる。

各土質の熱応答試験結果を表-2に示す。各土質の結果を比較すると、飽和砂質土の平均有効熱伝導率が最も高く3.59W/(m・K)であった。これは、地下水が流れ易く、熱流動性が高いためと考えられる。

表-2 土質毎の熱応答試験結果

測定項目	単位	飽和粘性土	飽和砂質土	不飽和礫混じり砂質土 +軟岩
循環時の加熱量	W/m	132.6	138.5	146.1
循環流量	L/min	6.4	7.2	6.6
循環時の平均温度差	℃	2.7	2.5	2.9
初期地中温度	℃	11.5	14.7	12.1
平均出入口温度 [*]	℃	34.5	31.2	39.3
平均有効熱伝導率	W/(m・K)	1.60	3.59	1.53

※運転開始200時間後の値

参考文献

- 1) 赤井仁志・草刈洋行・長野克則・葛隆生：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1，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集（2016-3），pp.61～66
- 2) 瀬川和幸・奥野敏彦・山田俊郎他：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1，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集（2016-3），pp.67～68

B-1

潜熱蓄熱材による空間の温度変動緩和効果に関する検討

(その1) 既往研究の文献調査と実験計画の概要

○篠澤航平 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

竹内仁哉 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学)

Study for Effect of Introducing PCM in Test Chamber Assuming Houses (Part1) Investigation of Previous Research for PCM and Outline of Experiment Plan

Shinozawa Kouhei (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：潜熱蓄熱材, 暖房負荷削減, 文献調査, 実験

1. はじめに

東北地方の住宅用エネルギー消費量のうち, 冷暖房用途が占める割合は 40%を超える。冷暖房に対する省エネルギー手法の一つとして, 潜熱蓄熱材 (Phase Change Material 以降, PCM) の利用がある。PCM は固液相の相変化による潜熱や温度変化による顕熱を利用するもので, 物質の融点付近において熱エネルギーを長時間吸放熱することが可能であり, 相変化中は温度が一定となる (図-1)。熱容量が大きい物質と比較した場合, 単位容積あたり水の約 5 倍, コンクリートの約 10 倍の蓄熱効果 (表-1) があるため, PCM を適用した場合, 室内空気の温度変動緩和および熱負荷変動の平準化が期待される。しかしながら, 木造住宅のような熱容量が不足する構造体に PCM を付加した場合, 日射熱などに依存せず利用可能かについては不明な点がある。本研究では, 全国的に見て日射量が少ない秋田県における PCM の有効性を評価することを最終目標とし, 暖房時における PCM の導入効果を明らかにするために, 本報では既往研究の文献調査, ならびに居室を想定した基礎実験の実験計画概要について報告する。

2. 既往研究の文献調査

2.1 PCM を建材に適用している研究

表-2 に既往研究の文献調査概要を示す。尾崎ら¹⁾は, 屋外家屋実験および数値シミュレーションにより, PCM 建材の材料特性, 室内熱環境への影響および暖房負荷の削減効果について検討した。PCM を床面に施工し, 太陽熱を利用した冬季の

表-1 蓄熱材の蓄熱量の比較

蓄熱材	物質	密度	比熱	蓄熱量	
		[kg/m ³]	[kJ/kg·K]	[kJ/kg]	[kJ/m ³]
潜熱	硫酸ナトリウム	1,340	-	155	207,700
	水	1,000	4.2	42	42,000
顕熱	コンクリート	2,300	0.88	8.8	20,240
	石膏ボード	622	0.92	9.2	5,722

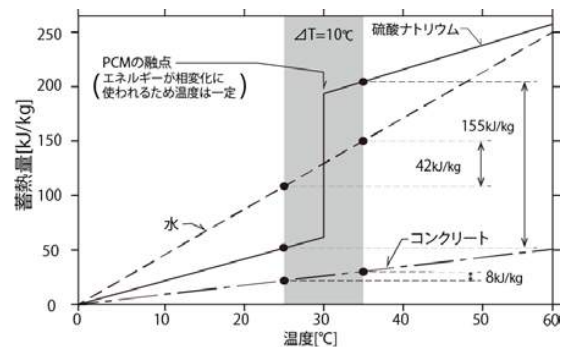


図-1 顕熱・潜熱蓄熱挙動

暖房消費電力量の削減効果を調査する実験では, 暖房消費電力量が最大で 1 日あたり 9.6%削減され, 日射量の日積算値と暖房消費電力削減量には正の相関がみられた。

射場本ら²⁾は, PCM を含浸させたペレットを石膏ボードに混入して小規模実験棟で実験, 数値計算を行った。特に, 数値計算では木造住宅に PCM を適用することにより, RC 造と概ね同等以上に室内空気の温度変動を緩和する効果が得られることを確認している。しかしながら, これらの研究は蓄熱エネルギーを日射熱に依存しており, 日射量が少ない地域での適用の可能性は明らかにされていない。

表-2 既往研究の概要

No	目的	手法	PCMの概要	結果
1 ¹⁾	PCMによる太陽熱の有効利用	試験家屋による実測 数値シミュレーション	木質基材とPCM(パラフィン)をPEフィルムでラッピング	暖房消費電力量が最大で1日あたり9.6%削減 施工面積、融点と暖房設定温度の差、 熱損失係数、PCM投入量の順に感度が高い
2 ²⁾	室内温熱環境改善および熱負荷平準化効果に関する検討	試験家屋による実測 数値シミュレーション	PCMを米粒状の高密度PEに含浸させ、石膏ボード内に混入	木造に不足する熱容量を補い、RC造と同等以上の蓄熱効果を有する
3 ³⁾	床下暖房にPCMを組み入れた蓄熱型の床下暖房について検討	実大家屋実験	有機系蓄熱材を基礎断熱住宅の床下に設置	熱源(ヒートポンプエアコン)がPCM相変化温度付近で推移する場合には、変化の小さい安定した居室温度が得られる

2.2 PCMを空調システムに適用している研究

藤田ら³⁾は、PCMとヒートポンプエアコンを床下に設置して蓄熱する、蓄熱型の床下暖房について実大家屋での実験を行った。その結果、蓄熱材が相変化温度付近で推移する場合には変化の小さい安定した居室温度が得られることが確認された。

以上より、PCMは日射熱と暖房熱源を活用した蓄熱に効果を示すことが分かった。しかしながら、木造住宅のように熱容量が不足する構造体に付加した場合、日射熱などに依存せずに利用可能かについては不明である。

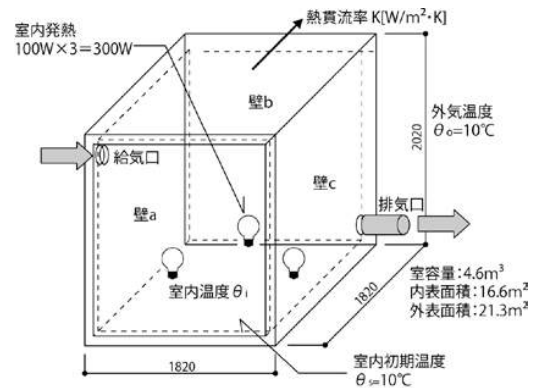


図-2 実験模型概要

(a) Case N

(b) Case A



図-3 実験模型(内観)

3. 実験模型によるPCM導入効果実験概要

図-2に実験模型概要、図-3に空調試験室内に設置した実験模型の内観を示す。実験模型の大きさは、幅1.82m×奥行1.82m×高さ2.02mである。実験ケースは表2に示す通り、PCMを貼付しないCase N、床と壁3面にPCMを貼付したCase Aの2ケース設定した。実験では、実験模型の周囲温度を10°Cに保ち、換気回数は、約6回/hとなるように排気系統のファン風量を調整した。また、PCMの特徴である固相から液相、液相から固相の状態変化を伴う温度変動を与えるために、空間内に発熱源として300Wの電球(100W×3箇所)を設置し、空間内を30°C付近まで昇温させ、各測定ポイントの温度が定常に達してから約1時間安定させた後、電球の電源を切り、空間内を降温させた。なお、実験を開始するにあたって、実験模型内温度が周囲温度と同等となったことを確認した後、電球により昇温させた。なお、実験で取り扱うPCMは、融点20°Cに対して±3°Cの相変化域17°C~23°Cの温度範囲にて蓄熱効果が期待できる仕様で、これはPCMの配合によって大きく異なる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、DIC株式会社の藤崎氏、静谷氏には多大なるご協力を頂いた。ここに、感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 佐藤友紀, 尾崎明仁, 中村哲己, 林禎彦, 石黒成紀: 潜熱蓄熱内装建材による暖房負荷の削減効果に関する研究 模型箱実験・試験家屋実験および数値シミュレーションによる検討 日本建築学会環境系論文集(2012-8), No.678, pp.651-659
- 2) 近藤武士, 射場本忠彦, 坪田祐二, 鎌田元康: 潜熱蓄熱壁体による躯体換気システムに関する研究 潜熱蓄熱ボードの性能把握および適用効果の検討 日本建築学会計画系論文集(2001-2), No.540, pp.23-29
- 3) 藤田浩司, 岩前篤, 松下敬幸, 中川浩, 横山弥嗣, 石津京二: 潜熱蓄熱材を用いた蓄熱型床暖房に関する研究 日本建築学会環境系論文集(2008-4), No.626, pp.479-486

B-2

潜熱蓄熱材による空間の温度変動緩和効果に関する検討

(その2) 室温緩和の効果試算・評価法の検討

○竹内 仁哉 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

篠澤航平 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学)

Study for Effect of Introducing PCM in Test Chamber Assuming Houses (Part2) Effect of Introducing and Evaluation Method for Thermal Storage of PCM based on Test Chamber Experiment

Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Shinozawa Kouhei (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：潜熱蓄熱材, 実験, 熱容量, 効果試算, 評価法

1. はじめに

前報(その1)¹⁾に引き続き,本研究では,全国的に見て日射量が少ない秋田県におけるPCMの有効性を評価することを最終目標とし,特に,暖房時におけるPCMの導入効果を明らかにするために,居室を想定した実験モデルによる基礎的実験を行い,PCM導入による効果試算,ならびにPCM単体の蓄熱量に関する推定方法の検討結果について報告する。

2. 実験モデルによるPCM導入効果実験

2.1 実験概要

表-1にメーカーから公表されたPCMの物性値,表-2に実験ケースを示す。本実験で取り扱うPCMは,暖房時の室内設計温度22℃付近にて蓄熱効果が期待できる,融点20℃に対して±3℃の幅がある相変化域17℃~23℃の温度範囲の仕様を用いた。実験ケースとして,PCMを貼付しないCase1,床と壁3面にPCMを貼付したCase2の2ケースを設定した。実験条件として,前報に示すように,実験モデル内に総計300Wの電球を設置し,昇温開始時は実験モデルの周囲温度,モデル内温度を10℃に維持し,各測定ポイントの温度が昇温開始から定常状態に達したことを確認後,電球の電源を切断し,モデル内温度が周囲温度と同等となるまで降温させる。

2.2 実験モデル内の温度推移

図-1に昇温時,降温時の実験モデル内の温度推移を示す。昇温開始から約2時間後は顕熱域のため各ケースとも同様の温度推移を示すが,相変化域では,Case2の温度勾配に変化が見られ,PCM

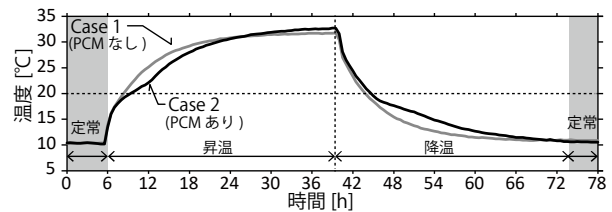
表-1 PCMの物性値²⁾

密度 [g/m ³]	比熱(顕熱域) [kJ/(m ² ·K)]	熱伝導率 [W/(m·K)]	熱容量 (15~35℃降温時) [kJ/m ²]	潜熱 (15~25℃) [kJ/kg]
1.0	5.0	0.1~0.3	196	150

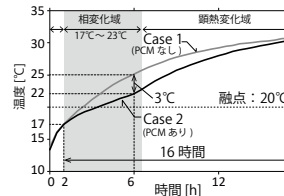
表-2 実験ケース

ケース名	PCM施工条件		
	貼付位置	貼付面積[m ²]	質量[kg]
Case 1	なし	0	0
Case 2	床・壁3面	10.8(合計)	36.7(合計)

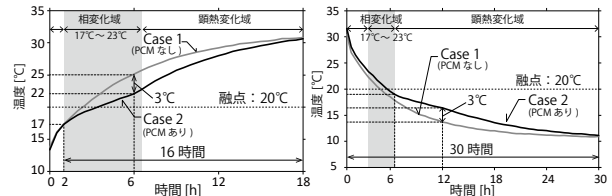
(a) 昇温時・降温時



(b) 昇温時



(c) 降温時



※グラフ内の相変化域17℃~23℃はメーカー公表値

図-1 実験モデル内温度推移

の有無により最大で3℃の温度差となる。相変化後の昇温開始から6時間後には顕熱域のためCase1の温度と同等になる。一方,降温時では降温開始の初期温度が多少異なるが,降温開始から約7時間後に相変化域となり,昇温時と同様にCase2の温度勾配に変化が見られ,最大で3℃の

温度差となる。昇温・降温時の相変化による温度変動後において、各ケースの温度推移が同等となる時間は、特に降温時で30時間と長く、相変化による温度緩和効果が大きいと考えられる。

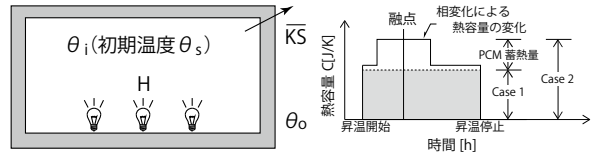


図-2 室温変動モデル 図-3 PCM蓄熱量概念図

3. PCM導入効果による検討

3.1 空間・PCM蓄熱量の推定

図-2に実験模型の室温変動評価モデル、図-3にPCM蓄熱量推定のための概念図を示す。相変化を伴うPCMを対象とした適切な比熱測定法⁴⁾は現在、確立されていない。PCM蓄熱量の測定例として、熱流センサ等を用いたPCM表裏面による熱流の流入出量の差から求める簡易的な計測等が考えられるが、精度に不明な部分が多く、PCM蓄熱量を何等かの方法で評価できることが望ましい。

図-2に示す単室の室温変動を想定して、図-3より、PCMの有無による空間内の熱容量を推定できれば、得られた熱容量と温度差^{注1)}から求まる各蓄熱量の差がPCM単体の蓄熱量とみなすことが出来る。そこで、室内温度 θ_i [°C]、室外温度 θ_o [°C]、室内初期温度 θ_s [°C]、空間熱容量 C [J/K]、室内発熱 H [W]、熱貫流率 K [W/(m²・K)]、外表面積 S [m²]と仮定した場合、時間 t [s]における模型内の熱収支式は式(1)にて表される。式(1)を微分方程式の形に直し、時刻 $t=0\sim t$ [s]における積分を解くと、式(2)を導出可能で、時刻 $t\rightarrow\infty$ にすると、室内温度は定常時の最高温度となるため、式(2)より空間としての熱容量 C を式(3)として大局的に推定可能である。ただし、Case 2の顕熱域と相変化域における総合熱貫流率 KS の熱物性は厳密には異なるが、室温変動を簡略的に把握する上で常時、 KS を同条件として仮定した。

$$C \times \Delta\theta = H \times \Delta t - KS(\theta_i - \theta_o) \times \Delta t \quad (1)$$

$$\theta_i = \theta_o + (\theta_s - \theta_o)e^{-\frac{KS}{C}t} + \frac{H}{KS} \left(1 - e^{-\frac{KS}{C}t}\right) \quad (2)$$

$$C = -KS \times t / \log_e \left\{1 - \frac{KS}{H}(\theta_i - \theta_o)\right\} \quad (3)$$

表-3に空間における熱容量、PCM蓄熱量の推定結果を示す。PCMを施工したCase 2の熱容量は、Case 1に対して約1.5倍となる。また、各ケースで算出した蓄熱量の差から得られるPCM単体の蓄熱量は2,351kJで、これはメーカー公表値

表-3 空間の熱容量・PCM蓄熱量推定結果

ケース名	空間の熱容量 C [J/K]	蓄熱量 Q [kJ]
Case 1	203.3	4,342
Case 2	299.5	6,693
Case 2-Case 1 (PCM蓄熱量)	—	2,351

表-4 PCMと顕熱蓄熱材の導入効果³⁾

建材名	蓄熱量[kJ]	質量[kg]	厚さ[mm]
PCM	2,351	36.7 (1.0)	3.3 (1.0)
コンクリート		117 (3.2)	4.5 (1.4)
石膏ボード		114 (3.1)	17 (5.2)

※表中の0内は、PCMを基準とした場合の各建材との比率を示す。

の熱容量にPCM施工面積を乗じることで得られる蓄熱量2,117kJと概ね近い値を示した。

3.2 PCMと顕熱蓄熱材の比較

表5にPCMと顕熱蓄熱材の導入効果を示す。試算方法として、表3で示すPCM単体の蓄熱量を用いて、各顕熱蓄熱材が必要となる質量、厚さを試算した。PCMと同じ蓄熱量を保有するために、コンクリートで厚さが約1.5倍、石膏ボードで厚さが約5.2倍必要になることが確認された。

4. 結論

実験模型を用いた暖房時の基礎的実験により、①PCM導入前に比べ最大で約3°Cの緩和効果がある、②代表的な顕熱蓄熱材より厚みを薄くしても蓄熱効果が大きい点を確認した。今後は、PCM蓄熱量の測定方法や評価法、実際の施工方法を考慮した施工位置等の影響について明らかにする。

謝辞 謝辞は連報(その1)にまとめて記す。

注釈 1)各ケースの定常時と実験開始時の温度差を用いた。

参考文献

- 1) 篠澤航平, 長谷川兼一, 竹内仁哉, 松本真一, 潜熱蓄熱材による空間の温度変動緩和効果に関する検討, (その1) 既往研究の文献調査と実験計画の概要, 空調調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会 発表予定 (2017-3)
- 2) DIC株式会社パンフレット:パッシブ蓄熱建材 蓄熱シートの紹介
- 3) 伝熱工学資料 改訂第4版 日本機械学会
- 4) JSTM H 6107: 2016, 建築材料の比熱測定法(断熱型熱量計法), (財)建材試験センター

B-3

寒冷地における庁舎建築の環境性能に関する実態調査

—熱源機運転実績と省エネルギー性の評価—

○山口拓真（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Investigation on the Environmental Performance of Public Office Building in Cold Area
Evaluation of Heat Source System Operation and Energy Saving Performance
Yamaguchi Takuma (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：ZEB，寒冷地，庁舎建築，運用実績，省エネルギー

1. はじめに

国のエネルギー基本計画¹⁾において「2020年までに新築公共建築物等で、2030年までに新築建築物の平均で ZEB を実現することを目指す」とする政策目標が設定された。そこで、寒冷地における公共建築物の ZEB に向けて検討することは意義があると考えられる。

本研究では、2016年4月に竣工した秋田市庁舎を対象に2016年5月から2017年12月までの期間における熱源運転実績(処理熱量、運転効率)、年間エネルギー消費実績を分析し、寒冷地における庁舎建築の ZEB の実現可能性について考察した。



写真-1 建物外観

2. 対象建物の概要

2.1 建物概要

写真-1に建物外観、表-1に建物概要を示す。建物形状はシンプルな矩形の低層建物（地上7階、地下1階）で、中央部に設けられたアトリウムが光や風の通り道として機能することに期待し、建物全体の環境調整装置になっている。建物は庁舎としての機能の他に、市民サービスセンターが併設されており、夜間・休日にも利用されている。

2.2 熱源概要

表-2に熱源機器構成及び計画原単位を示す。熱源システムは、メインの熱源として地中熱ヒートポンプ（以降、地中熱 HP）と水蓄熱槽を組み合わせ、深夜電力による蓄熱を行い、昼間もベース運転するように計画されている。その他、夜間、中間期等の低負荷対応及び停電時の稼働熱源とし

表-1 建物概要

建物名称	秋田市新庁舎
所在地	秋田県秋田市山王
主用途	行政庁舎・集会所・駐車場
竣工年	2016年
敷地面積	25,851.40m ²
建築面積	5798.28m ²
延床面積	31,916.56m ²
構造	RC造、一部PC 地下駐車場柱頭免震構造
最高高さ	29.5m（平均地盤面より）
階数	地上7階、地下1階（基準階高さ4.1m 天井高3.0m）
工期	2013年12月～2016年4月

表-2 熱源機器構成及び計画原単位

名称	型式	運転	能力 [kW]	COP	温度条件[℃]		流量 [L/min]	台数
					入口	出口		
ガス炭吸収式冷温水機	二重効用吸収式	冷却	422	1.27	19.6	11.0	703	3
		加熱	440	0.88	31.0	40.0		
空気熱源ヒートポンプ	冷房時散水仕様	冷却	170	7.80	20.0	11.0	271	1
		加熱	170	4.40	31.0	40.0		
地中熱利用ヒートポンプ	半密閉レシプロ圧縮機	冷却	205	5.11	19.0	10.0	326	1
		加熱	200	4.30	32.0	41.0		
	基礎杭利用(熱源用)	冷却	242	-	25.0	30.0	716	36
		加熱	156	-	12.0	7.0	476	
ボアホール(融雪用)	加熱	140	-	12.0	7.0	447	25	

て空気熱源ヒートポンプ（以降、空気熱源 HP）、ピーク負荷対応としてのガス冷温水機から構成されている。

2.3 計測概要

秋田市庁舎はビルエネルギー管理システム (BEMS) によって温度や設備の稼働状況などが監視されている。熱源の処理熱量や建物の消費電力などには BEMS データの約 500 点のデータを用いて演算され、監視できる状態にある。

3. 熱源運転実績

3.1 熱源機の処理熱量と消費エネルギー

図-1 に熱源別処理熱量と外気温を示す。2017 年 4 月にガスの契約量が見直されたことで、ガス冷温水機から運転効率が高い地中熱 HP と空気熱源 HP に運転頻度が高められた。図-2 に 2016 年 5 月から 12 月までを運用改善前、2017 年 5 月から 12 月までを運用改善後として各熱源機の処理熱量とエネルギー消費量を示す。運用改善後は運

用改善前と比べて処理熱量が増えているが、地中熱 HP と空気熱源 HP の利用が増えたことで、二次エネルギー消費量は 963GJ、一次では 653GJ 削減することができている。

3.2 運転効率 (COP)

COP (Coefficient Of Performance) は処理熱量を消費熱量で割った値である。図-3、図-4、図-5 に各熱源の運転効率を示す。地中熱 HP の冷房時の COP は定格 5.11 以上で運転されているが、暖房時^{注1)}は定格 4.3 を下回っている。ガス冷温水機の冷房時は定格 1.27 に対して、改善前は定格同等、改善後は定格以上で運転されている。暖房時は定格 0.88 を下回っている。空気熱源 HP は運転時間が少ない月では待機電力の割合が高くなることで COP が著しく低下しているが、改善後は利用が増えたことで、定格 (冷房:7.8, 暖房:4.4) を下回っているものの、安定した値で運転されている。

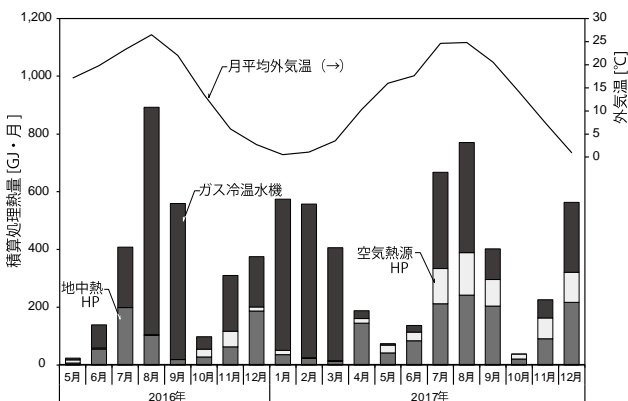


図-1 熱源別処理熱量と外気温

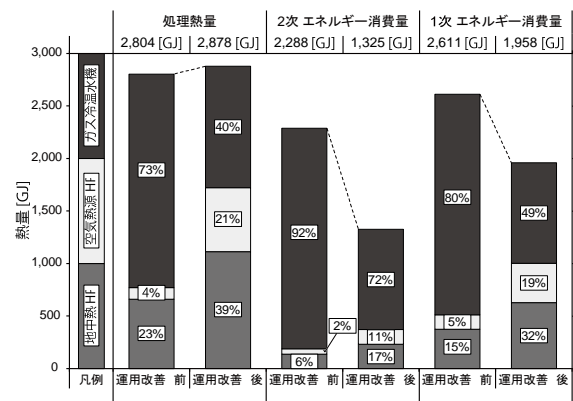


図-2 運用改善によるエネルギー消費量の変化

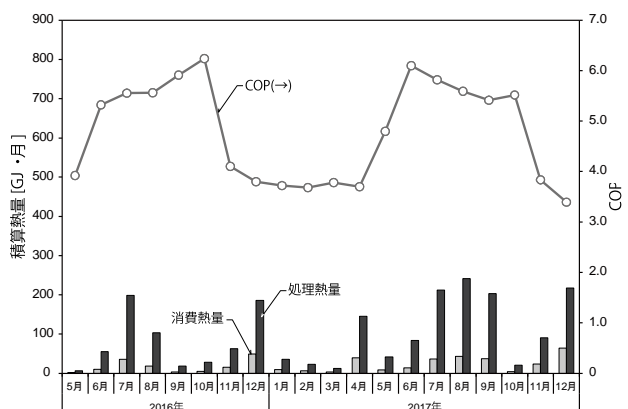


図-3 地中熱ヒートポンプ月別 COP

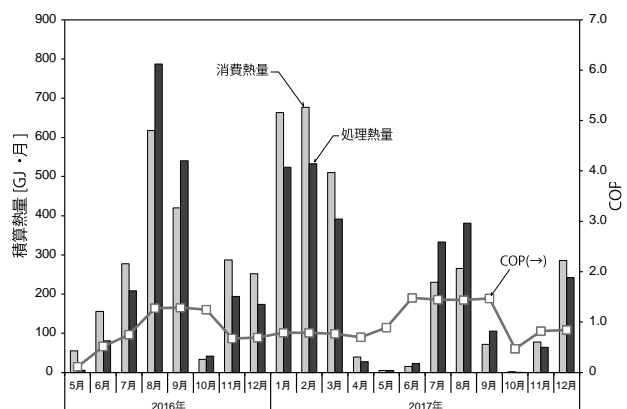


図-4 ガス焚吸収冷温水機月別 COP

4. エネルギー消費実績

図-6 に月別の一次エネルギー消費量, 図-7 に一次エネルギー消費割合を示す。使用用途の割合は空調関連(熱源, 熱源補機, 熱搬送)が全体の38%を占めている。また, OA コンセントは43%と最も高く, 照明が11%で, 他の用途は低い。図-8 に用途別一次エネルギー消費量を示す。一般的な庁舎²⁾を基準に用途別に比較すると, OA コンセントによる消費量が非常に多いことが分かる。照明は設備の高効率化の他にアトリウム部での自然採光によって, 空気搬送は床染み出し空調方式の導入によってエネルギー消費量が削減されていると考えられる。一方, 熱源は他の用途と比べて, 基準値に対して大幅には削減されていない。

5. ZEB 評価

ZEB は, 建物のエネルギー消費量を省エネルギーと再生可能エネルギーの利用によって, 限りなくゼロにするというコンセプトを有する。省エネルギー基準よりも50%以上の削減を「ZEB Ready」とし, 太陽光発電等の発電量を加えることで正味75%以上の削減を「Nearly ZEB」, 正味100%以上の削減を「ZEB」と評価する³⁾。図-9 にZEB 評価をする上での評価基準を示す。

図-10 にリファレンスケースに対する秋田市庁舎のZEB 評価を示す。図-9 より, 2017年1月から12月までを対象としてZEB の評価をする。OA コンセントによるエネルギー消費量を除いて一般的な庁舎と比較すると, 54.4%の削減, 太陽光発電量を含めると56.3%の削減となり, ZEB Ready と評価される。2016年5月から2017年4月において, 53.1%の削減, 太陽光発電量を含めると55.0%の削減であったことから, 5月から12月の運用改善によって削減率は1.3ポイント増えたことが分かった。

ここで, 1月から3月を熱源機運用改善後の場合を想定する。地中熱HPと空気熱源HPの処理熱量と, 各熱源機のCOPを同年12月の値として熱源のエネルギー消費量を算出し, 熱源補機は12月のエネルギー消費量を基準に, 熱源の処理熱量の比をかけて算出した。想定の結果, 基準値と比べると, 55.4%の削減, 太陽光発電量を含めると57.3%の削減となり, 1月から3月の運用改善によって削減率は1ポイント増えたことが分かる。

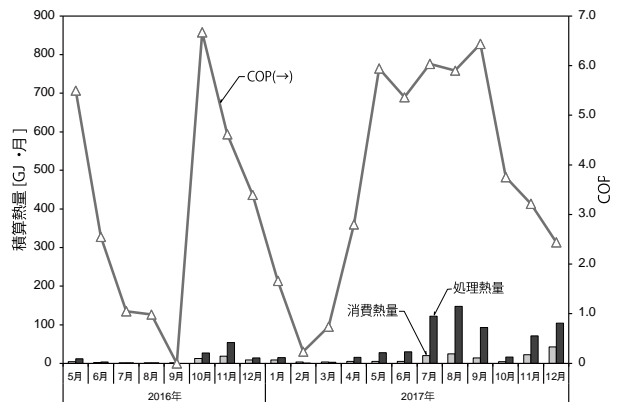


図-5 空気熱源ヒートポンプ月別 COP

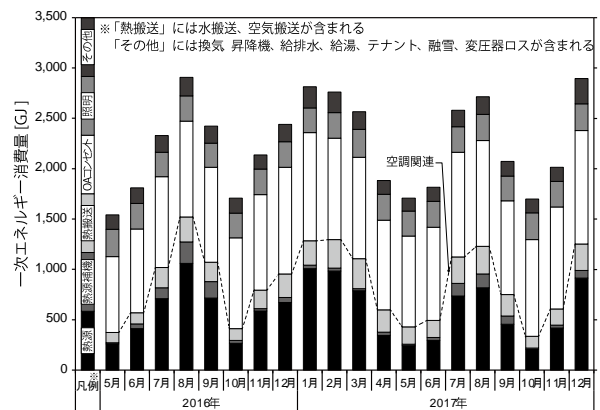


図-6 月別一次エネルギー消費量

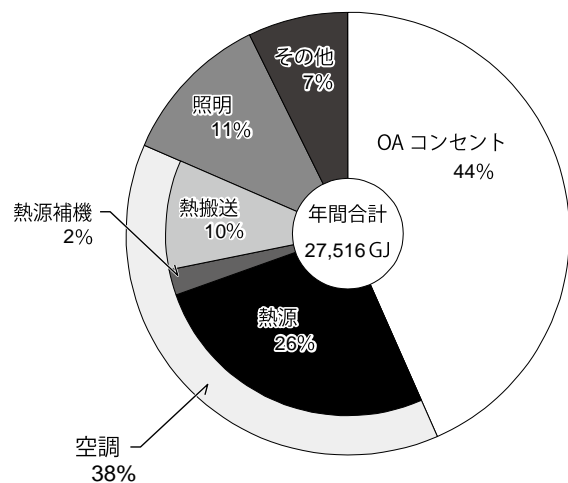


図-7 一次エネルギー消費割合 (2017年1月~12月)

6. まとめ

本研究では、秋田市庁舎を対象とした長期間にわたる熱源運転実績や年間エネルギー消費実績を分析した結果、熱源機の運用改善に伴い、地中熱HPと空気熱源HPを優先的に利用することにより、エネルギー消費量が削減されたことを確認した。運用改善による効果がZEB評価に顕著に表れると予想していたが、HP利用による電力消費量の増加が一次換算した際のエネルギー消費量に反映されるため、ZEB評価には大きな変化は見られない。

今回の調査から、秋田市庁舎はZEB Readyと評価されたことは、寒冷地における庁舎建築のZEBの実現に可能性が見いだせたといえる。

謝辞

本調査を実施するに当たっては、株式会社日本設計・星野聡基氏ならびに、秋田市役所・伊藤新氏を始め関係各位の多大なる協力をいただいた。また、本研究は、株式会社日本設計、清水建設株式会社、三菱冷熱工業株式会社より補助を受けて実施している。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

注釈

- 1) 本研究で取り扱う暖房日は2016/5/1～6/13、2016/10/15/～2017/5/9、2017/10/24～12/31、冷房日は2016/6/14～10/14、2017/5/10～10/23としてデータを処理した。

参考文献

- 1) 経済産業省(2014)「エネルギー基本計画」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/other_s/basic_plan/pdf/140411.pdf (2017年7月閲覧)
- 2) 省エネルギーセンター(2009)「オフィスのエネルギー消費の特徴」
https://www.eccj.or.jp/office_bldg/01.html(2017年5月閲覧)
- 3) 経済産業省(2016)「ZEBロードマップ検討委員会におけるZEBの定義」
http://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/zeb_report/pdf/report_160212_ja.pdf (2017年4月閲覧)

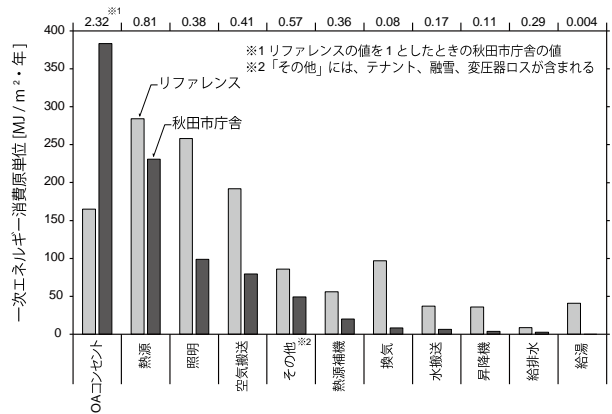


図-8 用途別一次エネルギー消費量

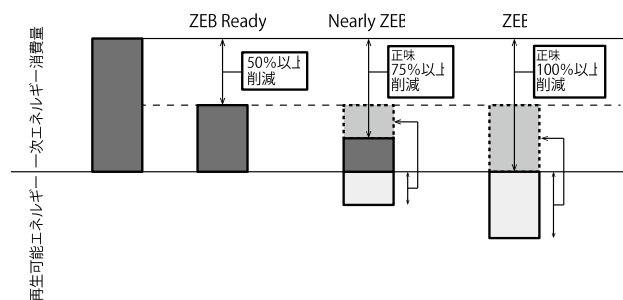


図-9 ZEB評価基準

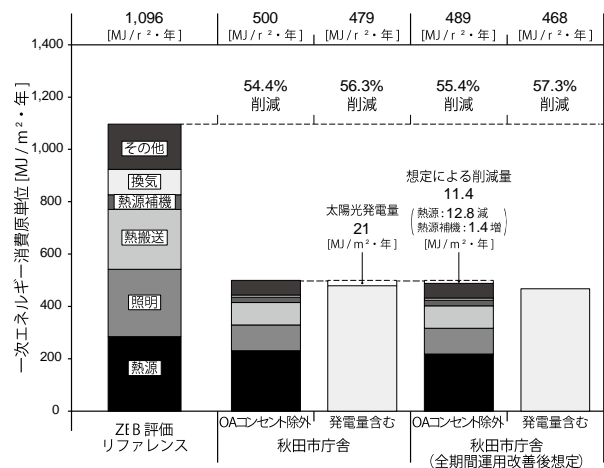


図-10 ZEB評価

B-4

建築物の衛生管理に関する調査研究

—統計データに基づく実態把握—

○村岡 篤 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

竹内仁哉 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学)

Investigation Study on Sanitary Management of Building Analysis based on the Statistical Data

Muraoka Atushi (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：法人土地・建物基本調査, 建物物衛生法, 衛生管理

1. はじめに

建築物衛生法における特定建築物は、特定用途に利用する延べ面積が 3,000m² 以上の建築物(学校は 8,000 m² 以上)と規定されており、検査や報告等が義務付けられている。一方、特定建築物に該当しない中小規模の建築物(以下、中小建築物)については検査・報告等の努力義務が課せられているのみであるため、衛生管理が適正に維持されているかの実態は明らかでない。予てから、法律に規定されている基準面積を引き下げることが議論されているが、状況を裏付ける情報が十分に整備されていない。

本研究では、特定建築物の範囲拡大を含めた適切な衛生管理方策の検討に必要な基礎的データを得るために、2 種類の調査データを用いて、中小建築物のストックや衛生管理実態について調査した結果について報告する。

2. 調査概要

本研究で扱う調査データは、行政や業界団体が取得しているデータであり、法人土地・建物基本調査^{注1)}、衛生行政報告例に基づく衛生管理実態の調査^{注2)}の 2 つである。

3. 法人土地・建物基本調査

中小規模の建物ストックを調べるために、法人建物について用途別の建物件数を調査した。

3.1 全国の用途別調査

図-1 に全国における用途別法人建物件数を示

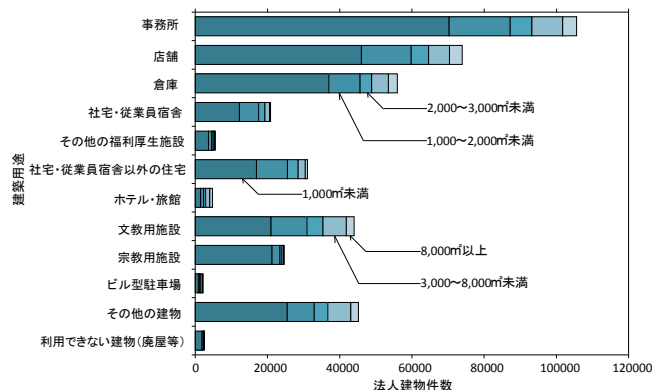


図-1 用途別の法人建物件数 (全国)

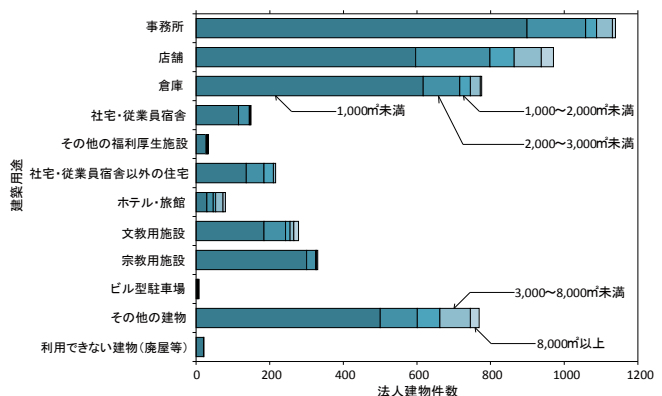


図-2 用途別の法人建物件数 (秋田)

す。事務所の場合、特定建築物に該当する割合は 11.8%、2,000~3,000 m² 未満は 5.7%、店舗の場合、特定建築物に該当する割合は 12.5%、2,000~3,000 m² 未満は 6.4%であった。また各用途における 1,000 m² 未満の建物件数が高い割合

を占める傾向にあったことから、2,000~3,000 m²未満の中小規模の建物ストックは比較的少ないといえる。

3.2 秋田県の用途別調査

都道府県の代表例として、秋田県の用途別法人建物件数を図-2に示す。事務所の場合、特定建築物に該当する割合は4.5%、2,000~3,000 m²未満は2.6%、店舗の場合、特定建築物に該当する割合は11%、2,000~3,000 m²未満は6.8%であった。また秋田県のように人口規模の小さな都道府県では総建物件数が比較的少ない傾向が見られた。このことから、2,000~3,000 m²未満の中小規模の建物ストックは都道府県ごとに差があり、全国的に見て秋田県の中小規模の建物ストックは少ないといえる。

4. 衛生行政報告例に基づく衛生管理実態調査

本調査では、全国の特定建築物における衛生管理の状況を調べるため、各衛生検査項目について、衛生行政報告例に基づく衛生管理実態を調査した。

4.1 衛生管理項目の適正割合

全国における特定建築物の衛生管理実態を図-3に示す。衛生行政報告例における衛生検査項目の内、不適割合が最も高い項目は「相対湿度」、次いで「温度」、「二酸化炭素含有率」であった。これらは全て空気環境に対する検査項目に属しているため、空気環境に対して衛生管理の改善の必要性が高いといえる。

4.2 建物用途別の特徴

地域別の傾向と同様に各建物用途において「相対湿度」で不適割合が最も高い。事務所は他の用途と異なり、「二酸化炭素含有率」の不適割合が「温度」を上回っている。空調設備による適正な温度管理に対して、室内の換気が十分でない実態が窺える。その他、各建物用途間の傾向に大きな差異は見られない。

5. まとめ

本研究により、以下のことが明らかとなった。

- ① 中小建築物のストック割合を示し、2,000~3,000 m²未満の建物を特定建築物として加えた場合、現状の1.5倍程度の件数に収まる。
- ② 不適割合が最も高い項目は相対湿度で、検査項目の中でも空気環境に関連する項目の割合が高い。

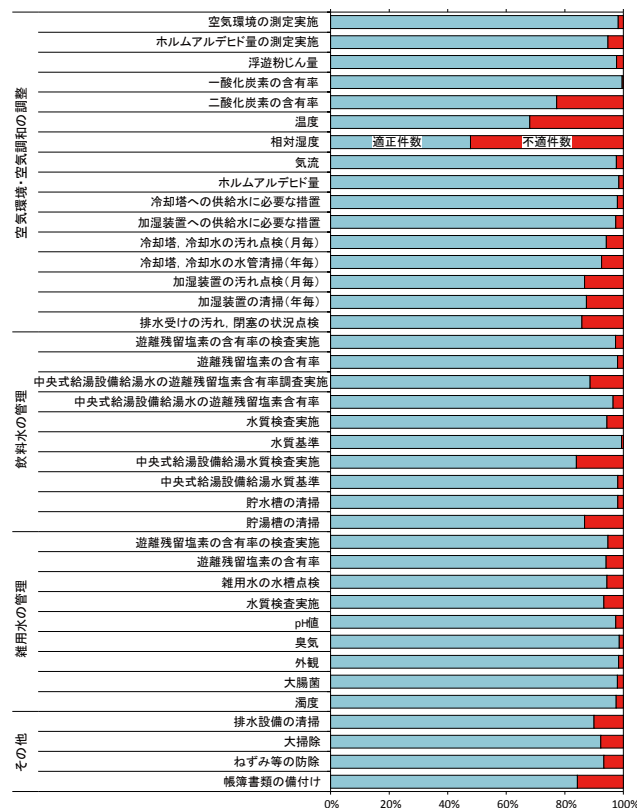


図-3 特定建築物の衛生管理実態 (全国)

注釈

- 1) 国土交通省が法人土地基本調査の付帯調査として、法人の建物の現況に関する事項を平成 10 年より 5 年毎に調査している。政府統計では延べ面積の区分が限定されているため、本研究では、平成 25 年における法人土地・建物基本調査のオリジナルデータ(全国 42 万件の建物に関する情報)の提供を受けた。
- 2) e-Stat 政府統計の総合窓口に掲載された平成 25 年度衛生行政報告。

謝辞

本論文で扱った法人土地・建物基本調査データは、国土交通省より調査票情報の提供を受けたものであり、関係各位に多大なる協力を得ました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。なお、本研究は、平成 29 年度厚生科学労働科学研究「中規模建築物における衛生管理の実態と特定建築物の適用に関する研究」(研究代表者：大澤元毅)の一環として実施している。

B-5

学校トイレの改修への LCP 対応型節水トイレシステム適用に関する研究

その1 常時・非常時仕様における課題点とシステム提案

○大場 涼太 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 亘理 咲綺 (関東学院大学),

呉 光正 (関東学院大学)

Study on the Application of the Water Saving Toilet System
for LCP (Life Continuity Plan) for School Restroom Repairs
Part1 Clarification of Issues and Proposal for a Usage System
for both Nomal and Emergency Conditions

Ryota Oba (Kanto Gakuin University), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin University),
Saki Watari (Kanto Gakuin University), Guangzheng Wu (Kanto Gakuin University)

キーワード : BCP・LCP, トイレ改修, 節水トイレ

はじめに

現在、日本における小・中学校の既存トイレは和式便器が全体の過半数を超える約57%を占め¹⁾、震災時などの避難所として利用する場合、和式便器では、衛生面の問題や高齢者、障害者が使用に際して負担が大きい。よって、最近の動向である節水化の促進とともに、バリアフリーの観点からも老朽化したトイレの改修を行う必要がある。一方、東日本大震災の際には長期に渡る上下水道や電気などのライフラインの途絶により避難所の水洗トイレが使用不可となり²⁾、災害時でも生活に支障なく使用可能なトイレの開発と普及が必要とされている。

そのような背景のもと、既存のトイレを常時・非常時にも兼用できる LCP 対応のトイレシステムへ改修する提案を行うために、初報では本システムにおける課題点を明確にする。また、改善提案を行い、それをういた単独排水実験による排水性能評価を行った結果について報告する。

1. 実験概要

1.1 配管形状決定のための予備実験

(1) 供試排水システム

図1に3-4階建規模の建物に設置するトイレを想定した供試排水立管システム、図2に供試排水横枝管システム平面図を示す。本システムは供試大便器を器具排水管の管芯より1000[mm]間隔で並列に5台連立させて設置したものである。管径及びこう配を図1、図2の図中に示す。また、

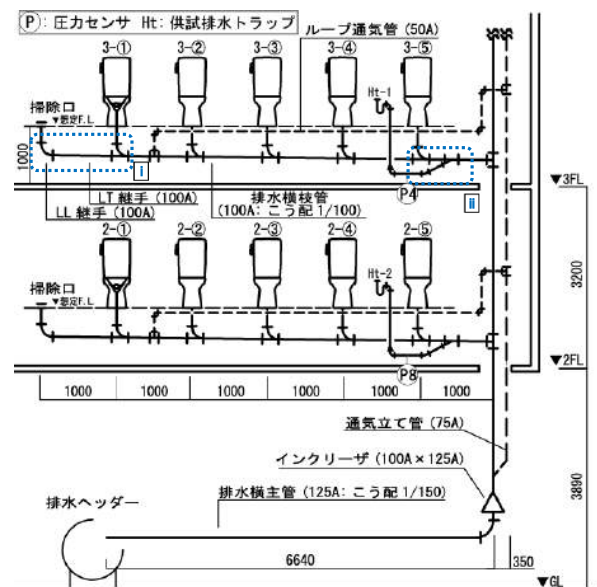


図1 供試排水立管システム系統図想定 (学校トイレを想定)

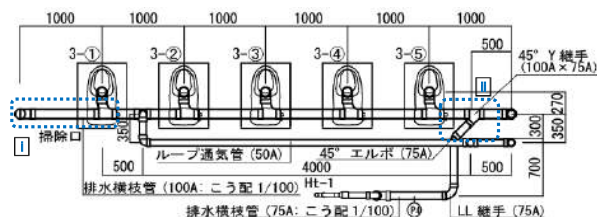


図2 供試排水横枝管システム平面図(3階)

器具排水管は流入角 45° で排水横枝管に接続する(図3参照)。

(2) 供試大便器

実験にはフラッパー弁の開閉により排水する機構を持つ簡易水洗トイレを用いる(図4参照)。この大便器は洗浄水量を選択でき、非常時には便鉢内に洗浄水1.0Lのみを投入して使用し、常時には同様に便鉢内に1.0L、ロータンク内に任意の水量を貯留し使用できる。図5、表1にその合計洗浄水量1.0L、5.0L、6.0L時の器具排水特性を示す。

(3) 予備実験

実験の導入にあたり、非常時使用を想定した1.0L連続排水を単独排水実験にて行う。極小な洗浄水量であるため、汚物が排水横枝管内に停滞することが懸念される。よって、最上流大便器の便鉢内に搬送水(便鉢内満水容量:9.0[L/回])×3回:合計27L)を溜め、排水横枝管内での搬送を助長させる。また、搬送水投入によって排水横枝管内完全搬送可能な汚物堆積限界量を把握する。

予備実験を通し、システムの課題点を明確化する。実験には表2に示す供試代用汚物Dを用いた。

1.2 同一階(3階)単独排水実験

本実験は、通常使用(洗浄水量:5.0L~6.0L)と常時使用(洗浄水量:1.0L)の双方を想定した排水実験により、本システムの実用化に向けた排水性能評価を行う。

(1) 供試排水システム

2.2より明らかになった問題点解決のため、3-①(最上流)大便器から掃除口までの排水横枝管の長さを1000mmから500mmに、供試排水トラップ(Ht-1)と排水横枝管が合流するY継手の角度45°に傾け、再度実験を行う。

(2) 通常時使用(洗浄水量5.0L~6.0L)実験

3階最上流大便器(3-①)より供試代用汚物Dを投入し、15秒間浸した後に排水を行う。排水横枝管内に汚物が停滞した場合は、最上流大便器の器具排水管の管心から停滞汚物の最後尾までの距離を測定する。また、清水で排水横枝管内を繰り返し洗浄した後に次の排水を行うものとする。

(3) 非常時使用(洗浄水量1.0L)実験

1.1-(3)と同様の実験方法にて3階最上流大便器より連続排水を行い、排水性能及び排水横枝管内への供試代用汚物限界堆積量の把握を行う。

1.3 測定項目及び判定基準

測定項目は、供試排水トラップ付近の管内圧力変動(図1のP4、P8)のシステム最大値 P_{smax} と最

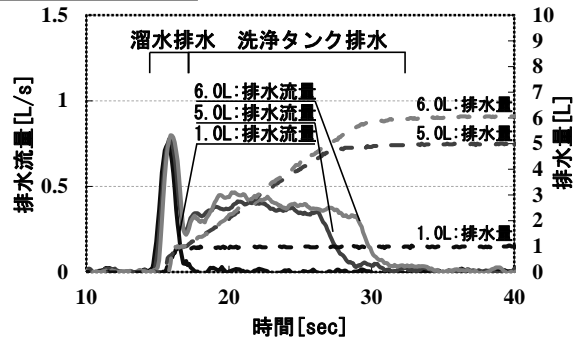
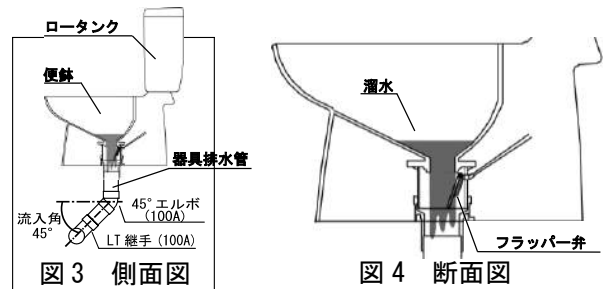


図5 器具排水特性

表1 器具排水特性

	器具排水流量	排水所要時間	排水時間	器具平均排水流量	最大器具排水流量
	W[L]	T[s]	td[s]	qd[L/s]	qmax[L/s]
1.0L	1.0	60.0	0.1	5.98	0.80
2.0L	2.0	60.0	3.4	0.35	0.81
3.0L	3.0	60.0	5.6	0.32	0.83
4.0L	4.0	60.0	7.5	0.32	0.82
5.0L	4.7	60.0	7.8	0.36	0.85
6.0L	6.1	60.0	9.1	0.40	0.86

※1:1.0L排水時は便鉢内のみ投入した洗浄水量の、その他は便鉢内とロータンク内に投入した合計洗浄水量の排水特性値を示す。

表2 供試代用汚物

種類	供試代用汚物	供試代用汚物概要	定義
D※2		平置き型トイレトーパー 1m×6枚(シングル仕様)	ペターリピング※3基準の負荷条件を1.7倍でより厳しくした負荷条件を採用

※2 川口俊哉 他:節水型連立トイレシステムの排水特性と搬送性能に関する研究
その1.単独排水時の性能評価,日本建築学会学術講演会,(2017.9)
※3(一財)ペターリピング, BLE WC:2013

小値 P_{smin} 、供試代用汚物の搬送距離、供試排水トラップ(図1のHt-1、Ht-2)の封水損失の4つとする。これらの値はSHASE-S218³⁾に準拠し、以下の判定基準より判断する。

- ① 管内圧力は、±400[Pa]以内とする。
- ② 封水損失は、供試排水トラップ封水深の1/2以内とする。

2. 実験結果及び考察

2.1 配管形状決定のための予備実験

図6に総洗浄水量1.0Lでの繰り返し排水時の汚物停滞状況の変化を、図7に搬送水投入時の供試排水トラップ付近の管内圧力比較を示す。連続排水回数30回までは排水横枝管内に停滞した供試代用汚物を搬送水9.0L×3回(合計27L)のみで完全搬送した。しかし、連続排水回数35回時には搬送水投入時に供試代用汚物が排水横枝管内に詰ま

り、それを取り除くため 9.0L×6 回(合計 54L)を要した。またその際に管内が判定基準値である 400Pa を大きく超える約 1600Pa が生じ(図 7 参照)、3 階供試排水トラップ(Ht-1)が跳ね出し現象により破封した。図 6 の掃除口付近に注目すると、便鉢より排出された供試代用汚物が上流側へ逆流している様子がわかる。これは排水時に器具排水管と排水横枝管の合流部(LT 継手)にて生じる逆流や抵抗によるものだと考えられる。

また、連続排水回数を 20 回～35 回にした際に供試排水トラップ合流横枝管内への供試代用汚物の逆流や供試代用汚物の上流部への逆流、搬送水投入時にループ通気管への水の侵入等が確認された。管内圧力、供試代用汚物搬送距離、供試排水トラップへの影響を考慮すると、本システムを安全に使用するに連続排水回数 10 回に対して 1 回の搬送水の投入が必要であると考えられる。

2.2 本システムにおける問題点

2.1 より、図 8 に示す①掃除口付近の供試代用汚物の逆流、②ループ通気管の立ち上げ部への水の侵入、③排水横枝管内の供試代用汚物の詰まり、④供試排水トラップの破封、⑤Y 継手部から供試排水トラップ側への供試代用汚物の逆流等の課題点がわかった。これらの改善には汚物の排出性能を向上させる必要があるため、掃除口付近と供試排水トラップ合流部の 2 箇所の配管形状を変更した。配管形状を図 9 に示す。

2.3 同一階(3 階)単独排水実験

(1) 通常時用(洗浄水量 5.0L～6.0L)実験

図 10 に通常使用となる 5.0L、6.0L 排水実験時の搬送距離の頻度分布を示す。同図より、一回の洗浄で排水横枝管内に停滞することなく、完全搬送できる頻度は、洗浄水量 5.0L 時は 40%、洗浄水量 6.0L 時は 60%であり、6.0L であれば 4m 以上の搬送性能は 70%程度確保できることがわかった。しかし、通常の連続使用となる 5.0L、6.0L 排水では汚物が一旦は停滞しても後追いの排水による完全搬送が想定できる。しかし、両水量において上流側に停滞するケースがみられ、その理由は、継手部の形状が LT 継手のため排水の逆流や抵抗が大きく、汚物がそこで停滞することによるものと推察する。また、図 11 に洗浄水量別管内圧力比較を示すように、-33Pa～49Pa で判定基準値の ±400Pa 以内におさまった。

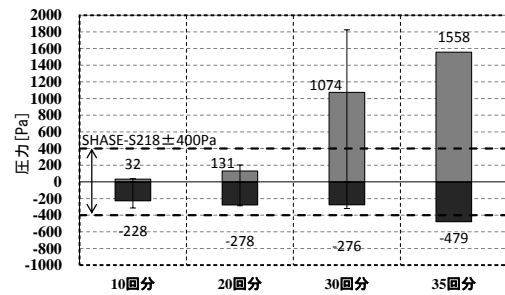
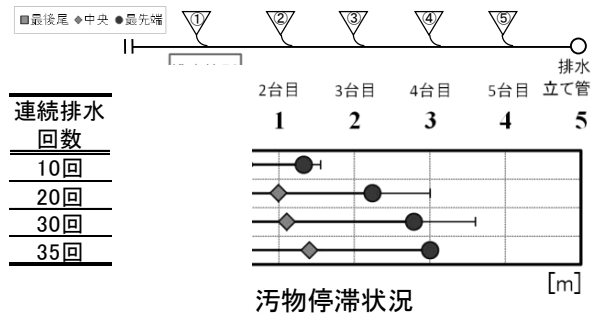


図 7 管内圧力比較図

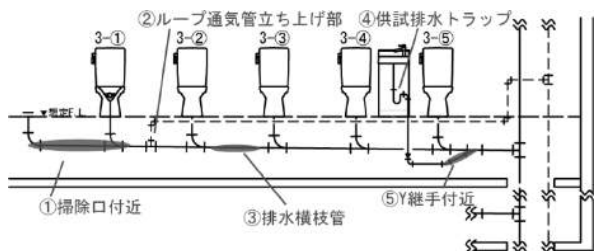
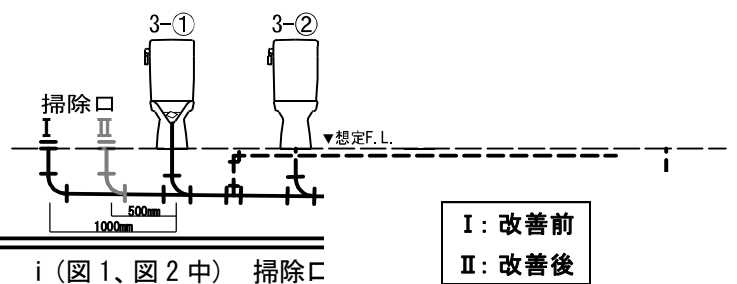


図 8 本システムにおける問題点



I : 立ち上げなし II : Y 継手部立ち上げ
ii (図 1、図 2 中) 供試排水トラップ付近

図 9 配管形状の変更

(2) 非常時使用 (洗浄水量 1.0L) 実験

図12に総洗浄水量1.0Lでの繰り返し排水時の汚物停滞状況の変化を示す。これより、排水回数が増えるにつれ、汚物は排水横枝管内に広く停滞し、最先端、中心位置は下流側へ押し流されて移動する。その際の管内圧力を図13に示す。これより停滞しても-367Pa~134Paで±400Paの範囲に収まり、排水トラップの破封は生じない。

(3) 非常時使用の使用水量削減効果

2.3-(2)より、排水横枝管内での停滞限界を30回の連続排水までと見なし、その後、搬送水として(9.0[L/回]×3回:合計27L)を投入した。図14にその時の総使用水量を2.1-(1)の通常使用時と比較示す。通常使用ならば150L(5.0L/回×30回)~180L(6.0L/回×30回)を必要とするが、非常時には30L(1.0L/回×30回)に搬送水27Lを加えても総使用水量は57Lであった。安全を考慮して搬送水を2セット分(9.0[L/回]×6回:合計54L)投入したとしても84Lで、通常使用の33%~56%の水量で搬送が可能である。また、搬送水は一気に排水されるので、管内圧力は図13に示す-400Paを超え-469Paに達することもあるが、供試排水トラップの破封に至る圧力ではないことやフラップ弁を使用するので一般大便器の水封式トラップに比べ支障をきたさないものとする。

3. まとめ

学校トイレの改修に際に適用する常時・非常時兼用の簡易水洗トイレシステムを提案し、その性能評価と今後の課題点を検討した。その結果、排水横枝管と器具排水管の接続継手LT継手とした場合において、非常時には通常使用の洗浄水量32%~56%で汚物が排出でき管内圧力への影響もSHASE-S218基準値以内に概ねおさまる。

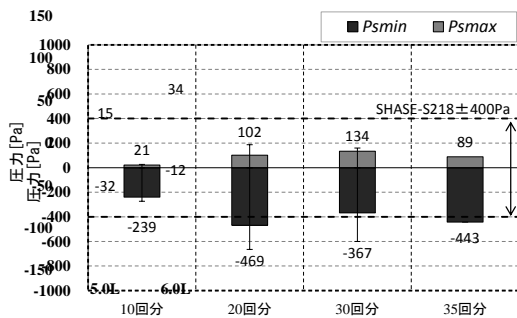


図13 管内圧力比較図(搬送水投入時)

【参考文献】
 1) 文部科学省:公立小中学校施設のトイレの状況調査の結果について、http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/28/11/_icsFiles/afieldfile/2016/11/10/1379078_1_1.pdf (2016.11).閲覧日:2018.01.20
 2) 空調調和・衛生工学会:[新版]災害時の水使用 飲める水・使える水,(2013.11)
 3) 社会法人 空調調和・衛生工学会規格-SHASE-S218-2014 「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」

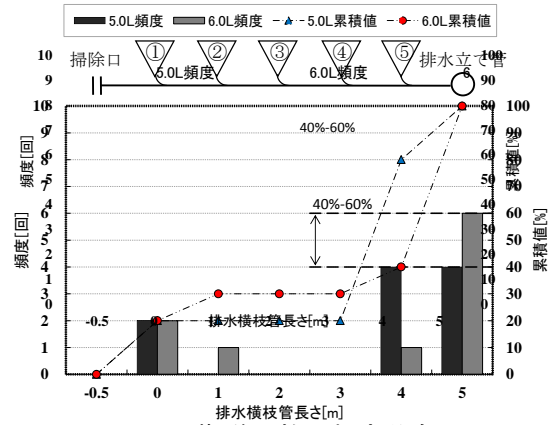


図10 搬送距離の頻度分布図

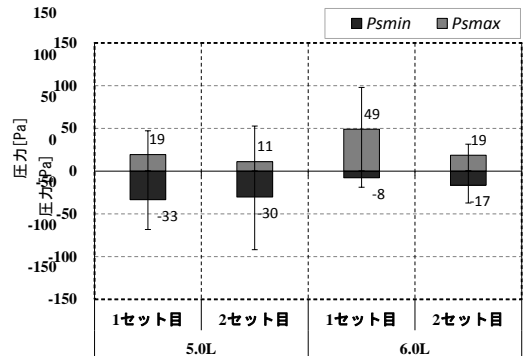


図11 管内圧力比較図(試行回数5回を平均)

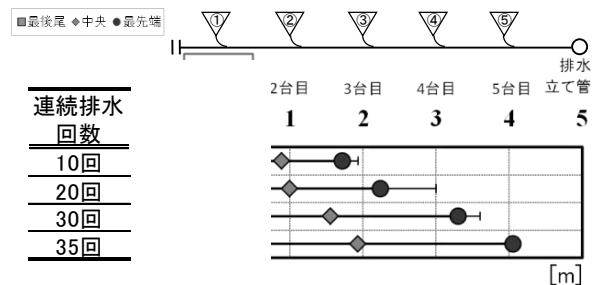


図12 汚物停滞状況

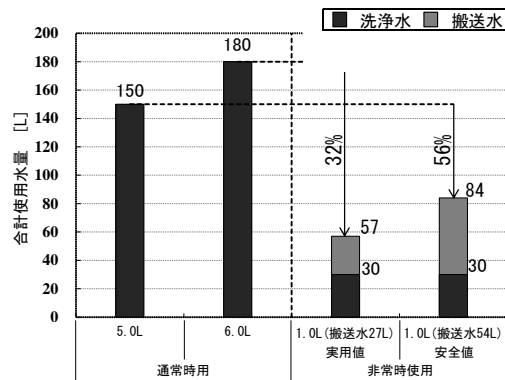


図14 総使用水量比較図

B-6

学校トイレの改修へのLCP対応型節水トイレシステムの適用に関する研究

その2 提案システムによる同一階及び多層階での合流排水

○亙理咲綺（関東学院大学），大塚雅之（関東学院大学），大場涼太（関東学院大学），

呉光正（関東学院大学）

Study on the Application of the Water Saving Toilet System for LCP (Life Continuity Plan) for School Restroom Repairs

Part2 Combined Drainage on Same Floor and Multilayered Floors by a Proposed System

Saki Watari (Kanto Gakuin University), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin University), Ryota Oba (Kanto Gakuin University), Guangzheng Wu (Kanto Gakuin University)

キーワード：BCP・LCP, トイレ改修, 節水トイレ

はじめに

前報¹⁾では、先ず当該システムを導入する際の配管上の課題点の抽出し、把握した課題点を改善したシステム(以下、改善システム)の提案を行った。さらに、同一階における単独排水による排水性能や搬送性能について検討を行い、より性能向上に繋がる配管上の工夫についても検討を行った。本報では、改善システムを用いて同一階及び多層階からの複数器具を用いた合流排水によるシステムへの影響等を同様に把握することを目的とする。

1. 実験概要

1.1 供試排水システム

本実験は、**図1**に示す供試大便器を設置した供試排水横枝管を排水立て管に設置したシステムを用いて行う。**写真1**のように、供試大便器の器具排水管は45°エルボ継手を用いて流入角45°の角度をつけた後、LT継手を用いた排水横枝管に接続する。

本実験は、基本的な検討として通常使用を想定し、洗浄水を5.0L、6.0Lとした場合と、水の使用が制限される災害時を想定した洗浄水を1.0Lとした場合について検討する。合流排水負荷パターンは、**表1**に示す同一階(3階)及び多層階(2階・3階)で実施する。実験に使用する供試代用汚物は**表2**に示す通常使用より厳しいDタイプを用いる。

実験には前報¹⁾で述べたように、フラッパー弁の開閉により排水する機構を持つ供試大便器を用いる。この供試大便器は洗浄水量をロータンク内

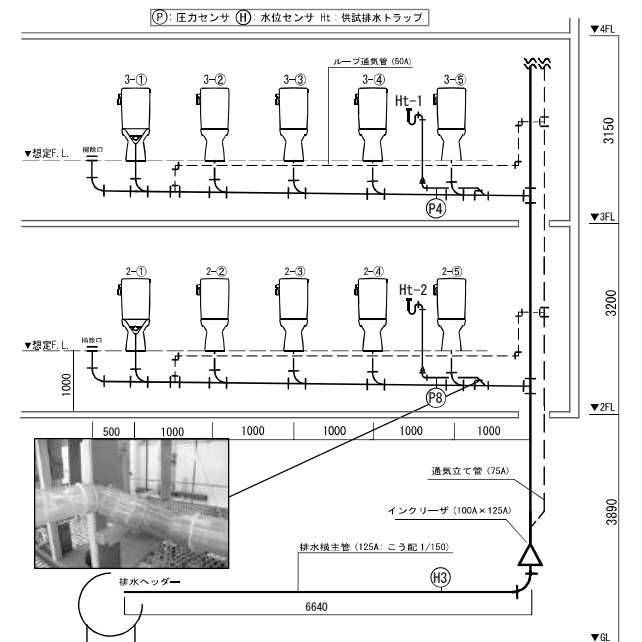


図1 供試排水システム



写真1 供試排水システム

の水量を調整することで、非常時には便鉢内に洗浄水量1.0Lのみで使用し、常時では同様に便鉢内に1.0L、ロータンク内に任意の水量を貯留し使用できるものとする。今回は初段階の検討として、非常時の洗浄水量を2.0Lとした場合も検討する。

1.2 常時使用実験(洗浄水量 5.0L、6.0L)

供試代用汚物 D を排水するすべての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。排水タイミングは、排水パターン毎に最上流となる大便器の排水後から 1 秒ずつタイムラグを設け、順次排水する。また、多層階合流排水では、2階は3階の最上流大便器の排水 3 秒後から順次 1 秒ずつのタイムラグを設け、管内圧力(負圧または正圧)が最大に達する最も厳しい条件で排水を行う。なお、供試代用汚物が排水管内に停滞した場合は清水で管内を完全に洗浄後、停滞のない状態で次の排水を行うものとする。

1.3 非常時使用実験(洗浄水量 1.0L)

本実験は前述 1.2 と同様のタイムラグで排水を行う。なお、本実験における搬送距離は、堆積した供試代用汚物の最後尾だけでなく、最先端も測定する。

合流排水負荷パターンは表 1 に示すとおり、同一階(3 階)、多層階(2 階・3 階)による合流に区分する。各階の排水横枝管における供試代用汚物の堆積量の上限值は、前報¹⁾より 30 回であると把握しているため、同表に示すとおり、これに向けて 10 回・20 回・30 回まで増やすとともに排水箇所数により、その排水回数を分割して一箇所分の排水回数を設定し実施した。なお、全排水の終了後、各階の最上流大便器から搬送水(9.0[L/回]×3; 合計 27L)を投入し、排水管内より完全に排出させる。

なお、本実験では同一階合流実験の結果のみを示す。

1.4 非常時の洗浄水量改善実験(洗浄水量 2.0L)

本実験は、非常時想定 of 洗浄水量を 1.0L から 2.0L へとさらに増水し、3 階に設置した最上流の供試大便器 3-①からの単独排水を行う。なお、検討は供試代用汚物堆積量 10 回(連続 10 回排水)のみとする。

1.5 測定項目及び判定条件

測定項目は、供試排水トラップ付近の管内圧力 P4、P8(図 1)の最大値と最小値を比較し、最高値となる①システム最大値 P_{smax} と最小値 P_{amin} 、②供試排水トラップ(図 1:Ht-1、Ht-2)の封水損失、③供試代用汚物の搬送距離、④排水横主管水位の

表 1 合流排水負荷パターン

排水パターン	供試大便器										非常時使用実験(洗浄水量1.0L) 各階毎の排水横枝管内 合計 供試代用汚物 堆積量(回)		
	3階					2階					大便器数×排水回数		
	①	②	③	④	⑤	①	②	③	④	⑤	計10回	計20回	計30回
同一階	No.1	○	○								2×5	2×10	2×15
	No.2			○	○						//	//	//
	No.3	○	○								3×4	3×7	3×10
	No.4	○	○	○	○						4×3	4×5	4×8
	No.5	○	○	○	○	○					5×2	5×4	5×6
多層階	No.6	○	○			○	○						
	No.7			○	○			○	○				
	No.8	○	○			○	○						
	No.9	○	○	○	○	○	○						
	No.10	○	○	○	○	○	○	○					

表 2 供試代用汚物

分類	供試代用汚物	供試代用汚物概要	定義
D1)		平置き型トイレトペーパー 1m×6枚(シングル仕様)	ベターリビング基準の負荷条件を1.7倍でより厳しい負荷条件を採用

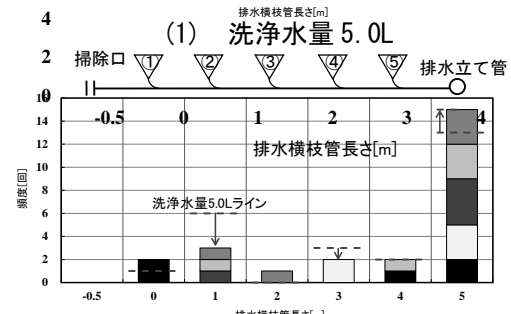
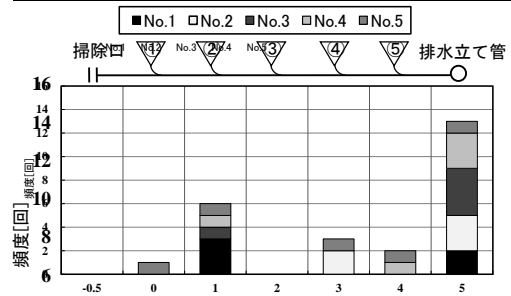


図 2 搬送距離の頻度分布(同一階合流排水)

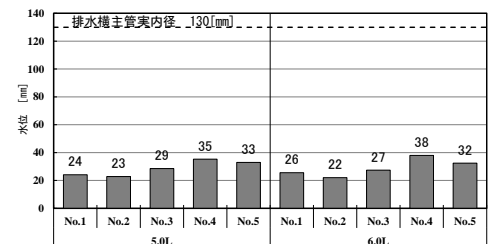


図 3 排水横主管水位(H3)(同一階合流排

4 つとする。この①、②は SHASE-S218²⁾に準拠し、以下の(1)、(2)の判定基準より判断する。

- (1)管内圧力は、±400[Pa]以内とする。
- (2)封水損失は、供試排水トラップ封水深の 1/2 以内とする。

また、③は常時使用実験では各排水時の供試代用汚物の最後尾、非常時使用実験では各排水後に排水管内に停滞している汚物の最後尾と最先端の距離を随時測定するとともに、閉塞状態も目視で

確認する。④は排水横主管に設置した水位 H3 で計測し、閉塞状態もチェックする。

2. 実験結果及び考察

2.1 常時使用実験(洗浄水量 5.0L、6.0L)

(1) 同一階合流実験

図2に洗浄水量 5.0L、6.0L 排水時の搬送距離の頻度分布を示す。同図より、全排水パターンの完全搬送された合計回数より、搬送性能は洗浄水量 6.0L のほうが若干ではあるが、最上流の排水位置から近い距離への停滞頻度も少なくなったが、全体的に顕著な差はなかった。しかし、バラつきはあるものの、どの排水パターンにおいてもバックフローの影響を受けていた。また、図3に示すように、排水横主管の供試代用汚物を含む排水の水位(H3)は22~38[mm]程度となり、管内を閉塞することなく搬送に必要な水位は十分確保されており、閉塞させるような停滞はなかった。よって、排水横主管へ排出された供試代用汚物は完全搬送できることがわかった。

図4に洗浄水量 5.0L、6.0L 排水時の管内圧力を示す。2階の供試排水トラップ付近で P_{smin} 、 P_{smax} が測定され、同図より、管内圧力は P_{smin} -138~ P_{smax} 39[Pa]となり、判定基準±400[Pa]の1/3程度に収まったことがわかる。

(2) 多層階合流実験

図5に洗浄水量 5.0L、6.0L 排水時の管内圧力を示す。概ね2階の供試排水トラップ付近で P_{smin} 、 P_{smax} が測定され、管内圧力は P_{smin} -40~ P_{smax} 42[Pa]となり、前述(1)よりも小さくなった。これは写真2に示すように3階からの排水によって2階からの排水が流下時に衝突し、抵抗を受けたことで排水立て管内への流下が妨げられ、負圧の発生が抑えられ、排水立て管継手部の改善も考慮する必要がある。

2.2 非常時使用実験(洗浄水量 1.0L)

(1) 同一階合流実験

本実験では、供試代用汚物の堆積量 20 回、30 回について述べる。図6に洗浄水量 1.0L で堆積量 20 回または 30 回分の連続排水を繰り返した終了後の供試代用汚物の最後尾と最先端の分布を示す。同図より、どの排水パターンにおいても供試代用汚物の堆積量に関係なく、排水横枝管内に広く汚物が停滞していることがわかる。しかし、排水パ

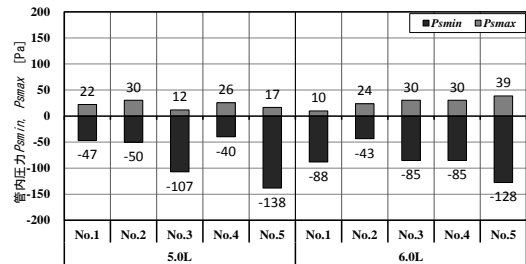


図4 管内圧力(同一階合流排水)

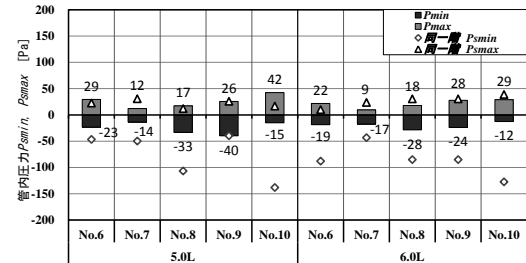


図5 管内圧力(多層階合流排水)



写真2 2階排水立て管合流部

ターンNo.2では下流側2台の供試大便器からの合流排水であっても、供試代用汚物の上流側への停滞がみられた。これは前述2.1と同様に、バックフローの影響を受けていると考えられる。

また、排水パターンNo.2において30回排水時の供試代用汚物の堆積状態は搬送水1回目投入後に排水横枝管下流部(供試大便器3-④付近)に写真3のような詰まりが生じた。この詰まりは搬送水2回目の投入によって解消され、完全搬送することができた。どの排水パターンにおいても、連続排水の途中に供試代用汚物の排水横主管への排出はあり、排水管内に停滞していた供試代用汚物は搬送水の投入により、完全に末端の排水ヘッダーまで搬送された。また、搬送水は排水パターンNo.2では計54L、その他では計27Lを要した。供試代用汚物の堆積量20回では合計必要水量が47Lとなり、洗浄水量5.0Lで20回排水を行う場合(計100L)と比較すると、1/2程度まで必要水量を削減することができる。

図7に搬送水投入後の管内圧力を示す。排水パターンNo.2の堆積量30回時は、搬送水投入2回目の管内圧力を示した。同図より、30回排水終了後における排水パターンNo.2、No.3の管内圧力は

P_{smin} が-438~-845[Pa]、 P_{smax} は528[Pa]となり、判定基準±400[Pa]を超えた。排水パターン No.2では2回目の搬送水を投入した際に2階の供試排水トラップが跳ね出し現象によって破封した。これは、排水横枝管内に詰まっていた供試代用汚物を含む多量の排水が一気に排水立て管へ排出されたことが原因であると考えられる。また、排水パターンNo.3では破封しなかったため、供試排水トラップへの影響は少なく、支障なく使用できると考えられる。

以上より、排水横枝管の閉塞には注意が必要であり、この閉塞によってループ通気管の効果がなげいと言える。よって、非常時も安全に使用するためには、現状では排水横枝管内に堆積させて使用する供試代用汚物の量は20回が限界であると考えられる。

2.3 非常時の洗浄水量改善実験(洗浄水量 2.0L)

以上の改善策として、図8に示すように洗浄水量を2.0Lに増やし、10回の排水を行った場合の排水管内の停滞状況を示す。同図より、最上流3-①からの単独排水であっても洗浄水量2.0Lで繰り返し排水を行うことで、排水横枝管に停滞した供試代用汚物が玉突き状態となって排水横主管へ排出されると推察される。よって、若干の洗浄水量の増量を考えることでスムーズに搬送ができる。

また、排水横枝管及び排水横主管から供試代用汚物を完全に排出するために18Lの搬送水を要した。

3. まとめ

同一階及び多層階合流排水実験を行った結果、常時使用では大きなトラブルは発生せず、使用することができると考えられる。非常時使用では供

試代用汚物の堆積量は20回を上限とし、搬送水を投入することで使用することが可能であると考えられる。また、今後は継手形状の影響によるバックフローを改善するために排水横枝管に接続するための継手をTY継手に変更する。さらに、非常時使用の洗浄水量を1.0Lのみでなく、2.0L、3.0L、4.0Lと順次変更し、繰り返し排水の回数に上限を設定せずに検討を行い、総使用水量の把握と削減効果、排水管システムへの影響を把握する。

【参考文献】

- 1)大場涼太 他; 学校トイレの改修へのLCP対応型節水トイレシステムの適用に関する研究 その1 常時・非常時使用における課題点とシステム提案, 空気調和・衛生工学会東北支部, (2018.3)
- 2)公益社団法人 空気調和・衛生工学会規格:SHASE-S218-2014 「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」

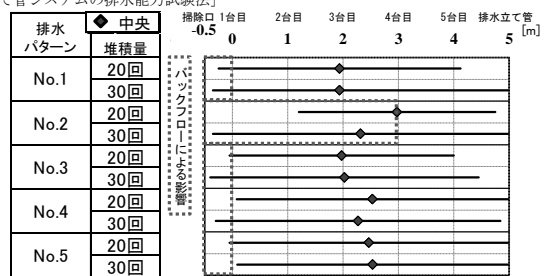


図6 汚物停滞状況(同一階合流排水)



写真3 搬送水1回目投入後(大便器3-④)

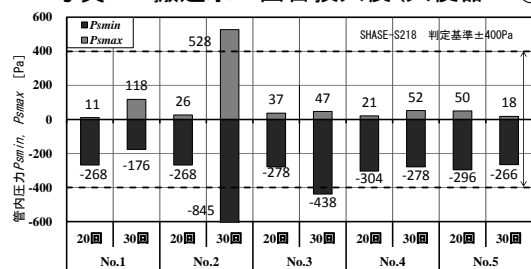


図7 管内圧力(同一階合流排水)

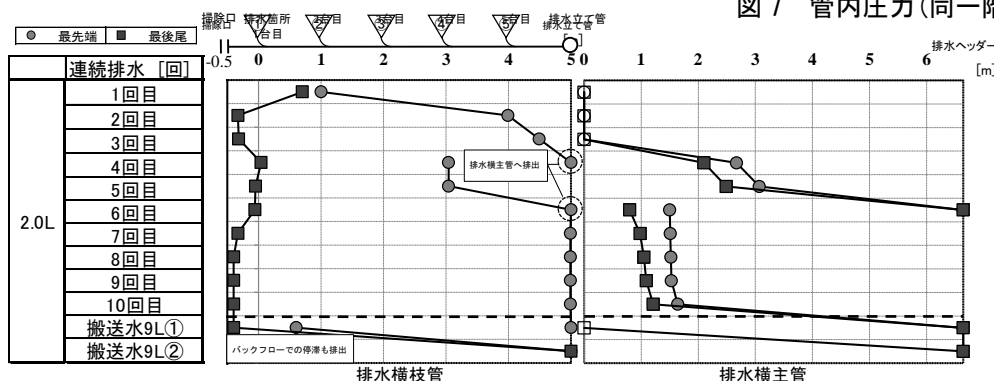


図8 排水管内の停滞状況



(1) LT継手



(2) TY継手

写真4 継手形状

B-7

業務用連立節水形トイレへの樹脂製特殊継手排水システム適用の可能性 その2 合流式排水及び代用汚物混入での検討

○久我 優希 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 川口 俊哉 (㈱久米設計),
本郷 智大 (山形県立産業技術短期大学校), 杉本 遼太 (㈱日本設計),

Possibility of an Application of a Single-Stack System with a Special Fitting Resin Joint Connecting a Commercial Combined Water Saving Toilet : Part2 Study of a Combined Drainage System Including Waste Substitute

Yuki KUGA (Kanto-Gakuin University), Masayuki OTSUKA (Kanto-Gakuin University),
Toshiya KAWAGUCHI (KUME SEKKEI Co., Ltd.), Norihiro HONGO (Yamagata College of Industry and
Technology), Ryota SUGIMOTO (NIHON SEKKEI Inc.)

キーワード：排水立て管システム, 特殊継手, 業務用建物

1. はじめに

現在、業務用連立大便器が接続される排水立て管システムは、ループ通気方式が採用されているが、筆者らは、昨今普及している洗浄水量6.5[L]以下の節水Ⅱ形の節水形大便器が、排水立て管システムの排水能力に及ぼす影響は、従来形に比べ小さいこと¹⁾また、排水横枝管上でみると、5台程度の連立節水形大便器であれば、ループ通気管の削減が期待できること²⁾を報告してきた。以上のことから、集合住宅等で採用される特殊継手排水システムの業務用途への適用の可能性がある。

前報³⁾では、業務用途に樹脂製特殊継手排水システムを提案し、SHASE-S 218 による定流量排水実験、3台連立大便器の清水排水による器具排水負荷実験から、当該排水システムの排水能力と連立節水形大便器が与える影響を把握した。

本報では、より実排水に近い負荷として、連立大便器による代用汚物混入排水の影響、複数の排水横枝管接続口より、汚水、雑排水が合流した場合の影響について検討することを目的とする。

2. 実験概要

2.1 連立大便器による代用汚物混入排水実験

図1に示す排水立て管システムの8,7階に設置した供試排水横枝管システム(図2)より、代用汚物を含む排水負荷を与える。排水は8階最上流大便器から1台ずつ増やし、最大6台の合流排水を行う。また、比較対象としてJIS-DT継手を用いた伸頂通気方式(従来継手)で同様の実験を行う。

2.2 汚水系統と雑排水系統の合流排水負荷実験

8,7階の特殊継手に、供試排水横枝管システムとは別の排水横枝管を接続し、洗面器等の雑排水を想定した定流量排水と連立大便器による器具排

水の合流排水を表1の排水パターンで行う。

2.3 供試代用汚物

供試代用汚物は、1[m]のシングルペーパーを4つ折りし、6枚重ねたもの(タイプD)とする²⁾。

2.4 測定項目及び判定基準

測定項目は、管内圧力変動を各階横枝管及び伸頂通気管に設置した小型半導体型圧力センサより測定し、その最大値(P_{max})、平均値(P_{ave})、最小値(P_{min})を各階ごと求める。判定基準はSHASE-S 218より、排水立て管システム全体における管内圧力変動のシステム最大値(P_{smax})、システム最小値(P_{smin})が±400[Pa]以内とする。

3. 実験結果及び考察

3.1 連立大便器による代用汚物混入排水実験

図3に $\sum qd'$ 5.4[L/s] (6台排水)排水時の圧

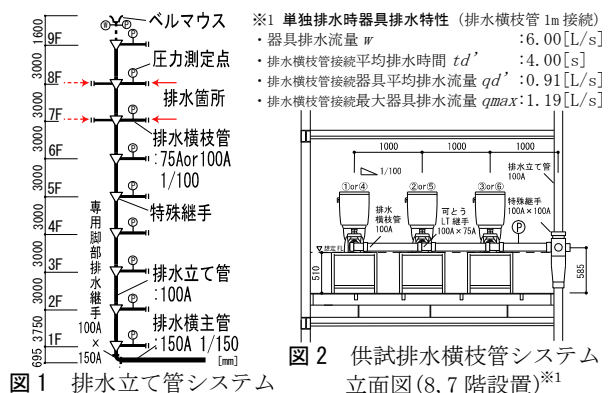


図1 排水立て管システム

図2 供試排水横枝管システム 立面図(8,7階設置)^{*1}

表1 合流排水負荷実験 排水パターン

排水系統	排水階	排水パターン							
		No. 1	No. 2	No. 3	No. 4	No. 5	No. 6	No. 7	No. 8
雑排水	8階	0.5	1	1.5	2	0.5	1	1.5	2
	7階					0.5	1	1.5	2
汚水	8階	●	●	●	●	●	●	●	●
	7階					●	●	●	●

*2 洗面器平均排水流量0.3[L/s] (≒0.5L/s)、掃除用平均排水流量1.0[L/s]を参考

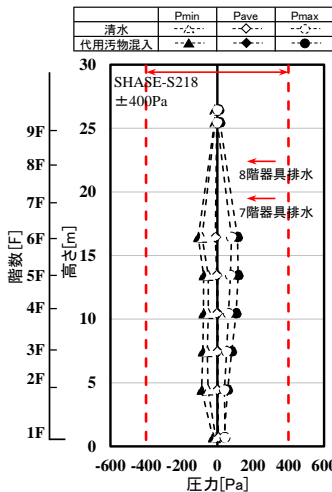


図3 6台排水時の圧力分布

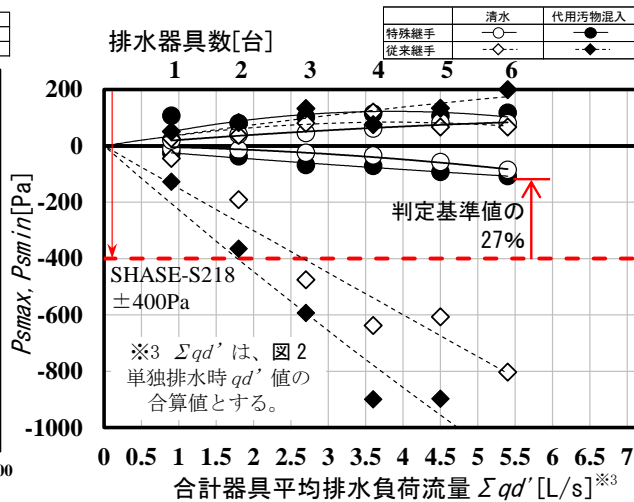


図4 排水器具数と P_{smax} 、 P_{smmin} の関係

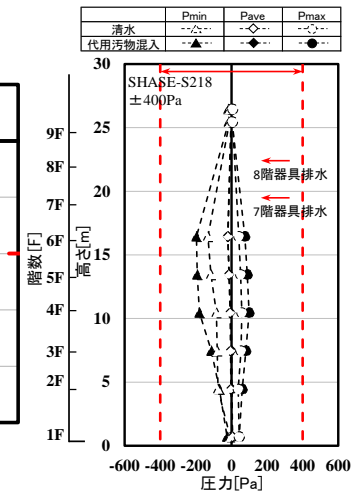


図5 汚水と雑排水合流排水時の圧力分布 (排水パターン No. 5)

力分布図示す。清水排水時と比べて大きな増加はなく、 P_{min} が -100 [Pa]程度、 P_{max} が 110 [Pa]程度となる。図4に器具数ごとの P_{smax} 、 P_{smmin} の比較を示す。 P_{smax} をみると比較対象の従来継手と大きな差はない。 P_{smmin} は、従来継手では、 $\Sigma qd'$ 1.8 [L/s] (2台排水)で、判定値の -400 [Pa]程度の圧力が生じるが、特殊継手では、6台でも -107 [Pa]程度となり、判定基準値の30%以内におさまり、汚物混入の影響は少ない。

3.2 汚水系統と雑排水系統の合流排水負荷実験

図5に合計6台の器具排水と合計 1.0 [L/s]の雑排水を、8,7階から与えた場合 (No.5) の圧力分布を示す。清水排水時で P_{max} が 50 [Pa]程度、 P_{min} が -130 [Pa]程度、代用汚物混入排水時で P_{max} が 100 [Pa]程度、 P_{min} が -190 [Pa]程度となり、判定値の50%以内におさまる。図6に各排水パターンでの P_{smax} 、 P_{smmin} の比較を示す。洗面器を想定した 0.5 [L/s]の雑排水が、上階1層から合流した場合 (No.1)、清水排水時で P_{smax} が 35 [Pa]程度、 P_{smmin} が -40 [Pa]程度、代用汚物混入排水時で P_{smax} が 80 [Pa]程度、 P_{smmin} が -70 [Pa]程度となり、上階2層からの場合 (No.5)でも、清水排水時で P_{smax} が 60 [Pa]程度、 P_{smmin} が -130 [Pa]程度、代用汚物混入排水時で P_{smax} が 100 [Pa]程度、 P_{smmin} が -200 [Pa]程度におさまる。さらに、雑排水流量を増加させた場合、No.7の代用汚物混入時、No.8の代用汚物混入時、清水時に判定値を超えた。

※4 想定する建物の大便器設置数： 3 [台/F] \times 8 [F] = 24 [台]
 本実験での許容大便器個数： 6 [台]
 同時利用率： 6 [台]/ 24 [台] = 25 [%]

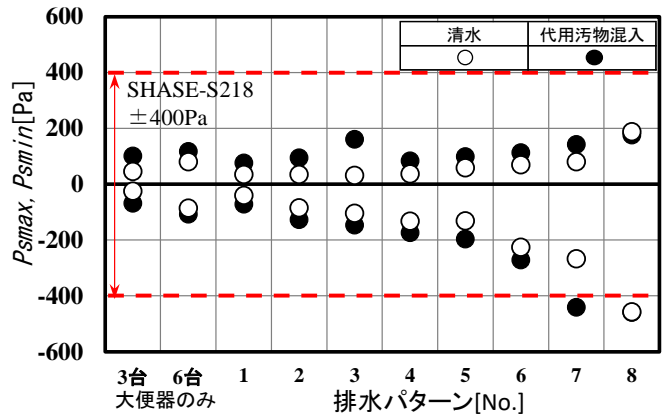


図6 汚水と雑排水合流排水時の P_{smax} 、 P_{smmin} の比較

4. まとめ

当該排水システムに同時使用率 25%程度※4 の節水形大便器による代用汚物混入排水を加えても十分許容できる。また、汚水とは異なる接続口から、雑排水 (洗面器程度)を加えても、当該排水システムは適応できる。これは、業務用建物における汚水系統と雑排水系統を、通気立て管・ループ通気管を必要としない、1つの排水立て管システムに集約することが可能であるといえる。

参考文献

- 1) 亙理咲綺, 大塚雅之 他: 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第5報-節水形大便器がオフセットを有する伸頂通気方式の排水能力に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp. 683~684, (2016. 8)
- 2) 磯川雄汰, 大塚雅之 他: 節水形連立トイレの搬送性能向上を可能にするシステム開発に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, pp. 11~14, (2016. 3)
- 3) 久我優希, 大塚雅之, 他: 業務用連立節水形トイレへの樹脂製特殊継手排水システム適用の可能性, 空調調和・衛生工学会大会学術講演論文集第1巻, pp. 9~12, (2017. 9)

B-8

ワイヤにより補強された吊り支持機器の制振補強

その2 振れ止め補強方法および防振ハンガー位置による耐震性能評価

○品田直也 (新日本空調㈱), 木村 崇 (新日本空調㈱), 田村 稔 (新日本空調㈱)

Damping Reinforcement of Equipment with Wire

Part2 Seismic Performance Evaluation by Reinforcement Method and Position of Vibration proof Hanger

Naoya Shinada (Shin Nippon Air Technologies Co.), Takashi Kimura (Shin Nippon Air Technologies Co.), Minoru Tamura (Shin Nippon Air Technologies Co.)

キーワード：吊り支持機器, 耐震補強, 制振補強

はじめに

本研究では吊り支持機器のワイヤを用いた振れ止め補強方法について検討を行っており、前報¹⁾ではワイヤを用いた振れ止め補強の施工方法および制振効果を報告した。またこれまでに吊長さが長く耐震指針に沿って振れ止め補強が行えない場合、全ねじボルトを用いた振れ止め補強およびワイヤを用いた振れ止め補強を組合せた2段の補強における耐震性能評価を行っている²⁾。

本稿は、防振吊りにおいて吊り支持機器の吊りボルト中間部にダクト・配管や2重天井の天井などの障害物が存在し、耐震指針に沿った1段の振れ止め補強が出来ず、障害物の上下で2段の振れ止め補強を行った場合、防振ハンガーの位置および補強方法により、機器変位および障害物があることを想定した吊りボルト中間位置の変位、機器加速度を抑制する方法を検討した。

1. 実験概要

実験は新日本空調㈱技術開発研究所内の鉄骨架台に設置したアクチュエータを用い、水平1軸方向(X軸)への加振による評価を行った。使用した装置および機器、計測機器を表-1に示す。アクチュエータ稼働部に鋼材を介してアルミ板(8mm厚)を設置し、アルミ板から機器を吊りボルト(W3/8)によって支持した。加速度はアクチュエータ稼働部に取り付けられた鋼材で水平方向(X軸)、吊り機器で水平(X軸)および垂直(Z軸)方向を加速度計で測定し、変位は加速度計設置箇所

および障害物を想定した吊りボルト中間位置(吊元より900mm)にレーザー変位計を照射し、水平方向(X軸)の変位を計測した。機器はビル用マルチエアコン室内機天井埋込ダクト形を用い、吊りボルトへの補強金具は、全ねじボルトを用いた耐震補強金具(写真-1)、およびワイヤを用いた制振補強金具(写真-2)を用いた。



写真-1 耐震補強金具



写真-2 制振補強金具

2. 実験条件

実験条件を表-2に示す。吊長さは1,450mmとし、加振方向は室内機の短辺方向とした。防振条件は防振ハンガーおよび防振ゴムを用い、設置場

所はスラブ下、吊りボルト中間、機器吊りピース上とした。加振時に防振ハンガー部にて吊り機器が浮き上がることを考慮し、防振ハンガー直下にダブルナットを設ける条件を追加した。補強条件は、吊りボルトの中間部分に障害物等がある場合を想定し、障害物が存在する高さ範囲は振れ止め補強を行わず、同範囲の上側と下側で全ねじボルトによる耐震補強方法及びワイヤによる制振補強方法を用いた2段の補強とした。図-1に試験 No.2の吊り状況の模式図を示す。

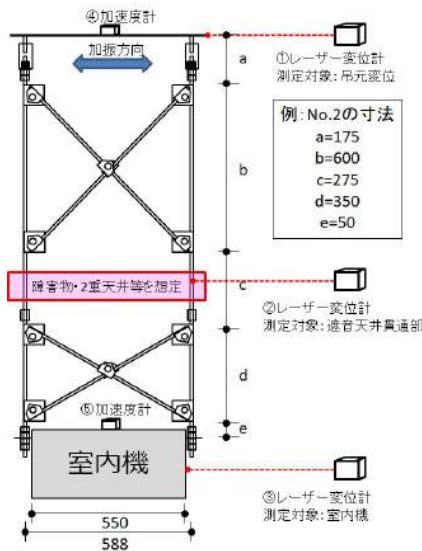


図-1 試験 No.2 吊り状況

加振波条件を図-2に示す。各試験条件の耐震性能比較のため、加振は周波数が15Hzから0.5Hzまで連続的に変化するSweep波（震度6強相当）

表-1 機器・センサ仕様

機器・センサ	仕様
鋼製架台	寸法:3m×3m×2.55mH
アクチュエータ	型式:SSPA-LXM-A-750-25-750-T1 最大速度:1250mm/s、 最大加速度:1.2G
吊り機器 (ビル用マルチ室内機天井埋込型)	寸法:800mm×550mm×245mmH 重量:23kg 吊り寸法:630mm×588mm
加速度計 (吊元)	型式:AS-2GB 定格容量:±19.61m/s ² 、 過負荷定格:300% 測定方向: X 軸
加速度計 (機器)	型式:AS-2TB 定格容量:±19.61m/s ² 、 過負荷定格:300% 測定方向: X 軸、Z 軸
レーザー変位計 (吊元、中間)	型式:IL-600 測定レンジ:200 to 1000 mm、 精度:±0.25% of F.S 測定方向: X 軸
レーザー変位計 (機器)	型式:IL-2000 測定レンジ:1000 to 3500 mm 精度:±0.16% of F.S 測定方向: X 軸
吊りボルト・斜材	径:W3/8
補強金具 1	メーカー:日栄インテック 型式:151101010
補強金具 2	メーカー:日栄インテック 型式:N-290101
防振ハンガー	メーカー: TOZEN 型式: PTH-30S
防振ゴム	メーカー: 昭和機工 型式: TN-1HB, T-GW

表-2 実験条件 (各寸法位置は図-1を参照)

No	スラブ側 (寸法)		補強	中間 (寸法)		機器側 (寸法)		
	防振			防振		補強	防振	
1	ハンガー a=175	フリー	全ねじ b=600	なし c=275	フリー	ワイヤ d=350	なし	e=50
2		Wナット						
3		フリー						
4		Wナット						
5	なし a=50		全ねじ b=710	ハンガー c=290	フリー	ワイヤ d=250	ハンガー e=175	フリー
6					Wナット			
7								
8	なし a=50		全ねじ b=725	なし c=275		ワイヤ d=350	ゴム e=50	
9						全ねじ d=350		

をベースとし、各試験条件に対し3回連続で加振を行った。

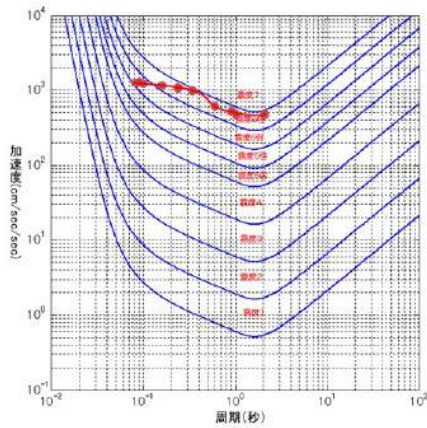


図-2 加振条件

3. 実験結果

実験結果一覧を表-3、機器相対変位 (X 軸) と機器加速度 (X 軸) の相関図を図-3、吊りボルト中間の相対変位 (X 軸) と機器加速度 (X 軸) の相関図を図-4、機器加速度の X 軸と Z 軸の相関図を図-5 に示す。

試験結果より機器相対変位および吊りボルト中間相対変位、機器加速度 (X 軸) が抑制される試験条件は No.8 (機器相対変位 : 61.8mm、吊りボルト中間部相対変位 : 19.9mm) となった。

防振ハンガーの取付位置について、ワイヤによる制振補強を用いた No.3~7 では、スラブ下および中間、機器吊りピースへ変更したが、機器加速度および変位はほぼ同等であったが、No.6,7 のみ

浮き上がりが発生しなかったため、防振ハンガーは機器側へ設置する方が浮き上がりを防止する上で有効である。

No.8,9 は機器吊りピースへ設置する防振を防振ハンガーから防振ゴムへ変更した条件であり、防振ゴムの方が、機器加速度 (X 軸、Z 軸) および機器相対変位が抑制される傾向がみられた。その要因として、防振ハンガーから防振ゴムに変更した場合、下段側でワイヤが補強できる長さ (図-1 寸法 d) が長く、補強範囲が増えたためだと考えられる。

上下2段を全ねじボルトで補強した No.1,2,9 では機器加速度 (X 軸、Z 軸) および機器・中間部相対変位が大きくなる傾向が見られた。本試験では吊りボルト中間部に障害物等を想定した振れ止め補強が出来ない範囲 (図-1 の寸法 c) がある。また、全ねじボルトで補強した範囲 (図-1 の寸法 b,d) は剛体に近づくため、図-1 の寸法「a+b」および「d+e+機器」の範囲をほぼ一つの剛体と見なすことができる。そのため、吊長さ寸法 c の振れ止め補強が無い吊り状態と類似した吊り条件となり、加振により共振が発生すると変位が大きくなると考えられる。

No.9 では 1 回目の加振時に補強金具の斜材取付部において、金具と全ねじボルトのねじ山への噛み合わせが破損し、金具の噛み合わせの山と全ねじボルトの山が擦れながら滑ることで、加振時の揺れのエネルギーを吸収したため、加振の回数を重ねるごとに変位と加速度が減少する傾向が見ら

表-3 試験結果

No.	最大変位 (X 軸) [mm]						最大加速度 (X 軸) [m/s²]			備考
	機器			中間			機器			
	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	1回目	2回目	3回目	
1	(59.9)	94.2	95.9	(37.6)	58.1	59.6	(9.0)	9.2	9.6	浮き上がり大
2	123.9			71.0			23.6			ハンガー破損
3	72.0	78.3	76.6	27.9	30.6	30.9	6.8	6.9	6.9	浮き上がり小
4	71.7	74.3	76.6	23.1	23.2	24.2	7.3	7.8	7.8	浮き上がり小
5	77.2	78.6	72.2	34.5	37.3	33.2	8.0	9.2	8.6	浮き上がり小
6	71.5	76.0	74.2	35.5	39.1	39.5	7.7	8.8	8.4	
7	77.5	77.7	75.4	20.9	22.8	23.7	7.9	8.6	8.7	
8	61.8	64.2	70.8	19.9	20.7	22.2	7.6	7.5	8.8	
9	106.1	81.7	67.4	63.1	63.5	55.0	39.6	19.1	12.8	補強金具破損

※No.1 の 1 回目のみ震度 5 弱相当の加振条件

れた。(本来の補強方法としては機能していない。)

No.1~5 は加振時に吊り機器の水平方向の力が垂直方向へ変換され防振ハンガー部で浮き上がりが発生した。また、図-5 で示す No.2 は Z 軸方向の加速度が大きく、浮き上がり防止対策として防振ハンガー直下にダブルナットを施したが、ハンガーの防振ゴム設置部の開口部からナットが通過し浮き上がりが発生 (破損) した。(写真-3)



写真-3 防振ハンガーW ナット通過状況

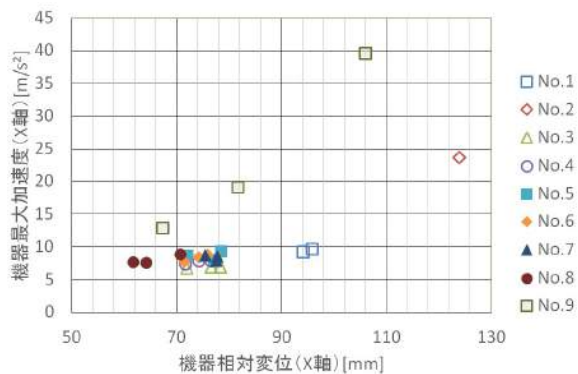


図-3 機器相対変位と機器加速度

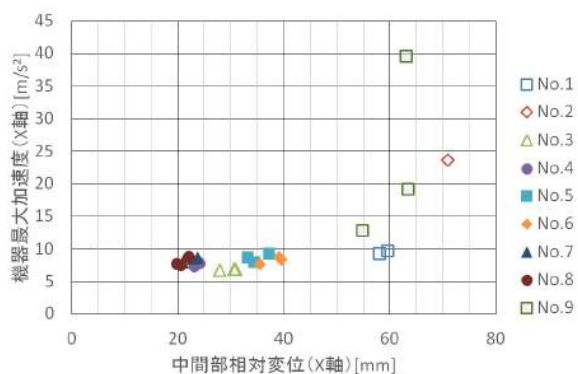


図-4 吊りボルト中間部相対変位と機器加速度

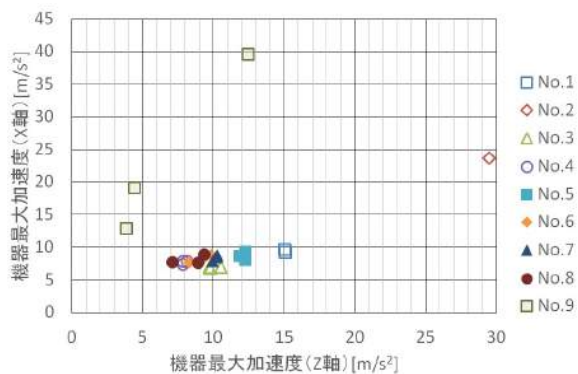


図-5 機器加速度 (X 軸、Z 軸)

4. まとめ

吊り機器の吊りボルト中間に障害物が存在し振れ止め補強が施せない範囲があり、障害物を上下で挟む形で2段の振れ止め補強を行う防振吊り条件において、以下の知見を得た。

- ・上下を全ねじボルトで補強すると防振ハンガー一部で浮き上がりや、補強金具が破損 (No.9) する場合があります、機器加速度および機器相対変位が大きくなる傾向がある。

- ・上段を全ねじボルトによる補強、下段をワイヤによる補強を行った場合、機器加速度および機器相対変位が抑制される傾向がある。

- ・防振ハンガーの位置により機器加速度および機器相対変位はほぼ同等であったが、機器側へ防振ハンガーを設置した場合は浮き上がりが発生しない傾向がある。

- ・防振ハンガーと防振ゴムでは、防振ゴムの方が補強を行える範囲が増えるため、機器加速度および機器相対変位が抑制される。

以上により、本吊り条件において上段を全ねじボルトによる耐震補強、下段をワイヤによる制震補強、防振を機器吊りピース側へ設置する条件が機器加速度及び変位、浮き上がりを抑制する上で有効である。

参考文献

- 1) 品田直也ほか:ワイヤにより補強された吊り支持機器の制振補強, 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(2017-3)
- 2) 品田直也ほか:天吊型空調機器の振れ止め補強方法による耐震性能評価, 日本冷凍空調学会大会講演論文集(2017-9)

B-9

避難所におけるアースバッグハウスの可能性

○渡部聡美（宮城教育大学），菅原正則（宮城教育大学）

Potentials of an Earthbag House for the Use at an Evacuation Place

Watanabe Satomi (Miyagi University of Education),
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education)

キーワード：アースバッグハウス，土嚢，避難所，防災教育，組積造

K

はじめに

K アースバッグとは土嚢のことであり、それを積み上げて製作する工法（アースバッグ工法）による家を「アースバッグハウス」と呼ぶ¹⁾。イランの建築家ナダー・カリリ氏が古代中東建築から、土や粘土、日干しレンガで作る古代建築 adobe と、今日の建築技術を組み合わせたアースバッグ工法を考案し、1984年に確立した。1991年にカリリ氏によってアメリカのカリフォルニア州にカルアース研究所が設立され、そこでは本格的なワークショップが開催されている²⁾。日本でも、本場で学んだ日本アースバッグ協会の職員がワークショップを開催してアースバッグビルダーの育成を行っている。アースバッグ工法はどこにでもある土を袋に入れて積み上げる簡便性があるため、世界中のどの土地でも製作することが可能といえる。もともとは、戦闘地において必ず用いられる有刺鉄線と土嚢袋で、避難民自らつくることができる家として、生み出されたものである。

日本においては戦闘地こそないが、自然災害は頻発しており、いつ避難所生活が始まってもおかしくない。しかし、避難所では、プライバシーや生活環境など解決すべき問題が多い。特にトイレ不足や環境の悪さは深刻である。東日本大震災では、発災当初は寒さが厳しく、屋外に設置された災害用トイレの使用が困難であった。さらに、組立トイレとセットで使うテントは、備蓄や持ち運びが容易であるが、屋外に設置したとき強風により転倒する例が多数生じた³⁾。またテントは、膜1枚で仕切られているため、使用中の音が外に聞こえたり、安心感がないことも懸念される。そこで、断熱性や防音性に優れると言われていたアースバッグハウスの利用が考えられる。アースバッグハウスで用いる土嚢袋は、洪水等の災害用に行

政が備蓄しており、土や砂は避難所に指定される学校構内から得やすいと考えられる。また、地震災害時には余震が心配されるが、アースバッグハウスのアーチ構造は耐震性も高いと言われている¹⁾。

そこで本研究では、アースバッグハウスを災害発生時に避難所において製作・利用することの可能性を明らかにすることを目的とし、次の手順で検討を進めた。K

- ①製作のためのアースバッグハウスの基礎調査K
- ②本学グラウンドの砂場での試作・検討K
- ③試作段階での問題点の抽出・整理K
- ④20分の1模型による全体イメージの検討K
- ⑤実物大のアースバッグハウスの試作K

K

1. 土嚢の歴史⁴⁾

1.1 最古の土嚢

3世紀の終わり頃に築造された椿井大塚山古墳（京都府木津川市）では、石室の周囲に土嚢らしい粘土の塊が積み上げられていた痕跡が確認されている。また、鳥取県内では7世紀頃に築造された晩田山 28～30号墳に土嚢積みと考えられる痕跡が見つかっている。しかし、遺物として取り上げられた土嚢は類例が少なく、本高弓ノ木遺跡の事例は、現存する国内最古の土嚢と言われている。

1.2 土嚢の出土と使用

鳥取市本高にある本高弓ノ木遺跡には、縄文時代の終わり頃から江戸時代に至る人々の暮らしのあとが残されている。鳥取県教育文化財団の発掘調査（2009年4月～2011年2月）により、古墳時代前期（4世紀）の池状の落ち込み内に構築されていた木製構造物の調査中に、編物のようなものにくるまれた粘土が積み上げられている場所が発見されている。これは同じ大きさのものが整然

K

と積み上げられており、現在の土嚢積みという工法に類似していると見られる。出土した土嚢には、イネ科植物の茎とみられる植物の繊維が使用されていた。当時は袋ではなく、編物のようなもので粘土をくるみ、紐で縛っていたようである。そのため、出土した土嚢は藁巻き納豆のような形をしている。土嚢の積まれた状況から、水利施設における斜面の崩落や水の浸食防止、木製建造物の締め固めに使用されていたと推定されている。K

1.3 現代の国産土嚢袋

K 国産品のほとんどを生産している萩原工業株式会社によれば、現在販売されている土木・河川工事や災害用土嚢の素材はポリエチレンで、一般的なサイズは48cm×62cmである。この寸法は、かつての麻袋に由来する。織機の最大幅135cmで作られた麻布を100cmで切り、さらに半分にした62.5×100cmの布を、折りたたみ、縫って袋状にしたときの縫い代を差し引いた値である。

2. 避難所におけるアースバッグハウス製作の方針

2.1 土嚢の積み方

K 避難所で製作するアースバッグハウスは、職人ではない一般の人が製作すること、材料は主にその場にある土嚢袋と砂であり、使用期間もそれほど長くないことから、本来のアースバッグ工法ではなく、次のような製作方法の工夫を行った。K

- ①土嚢袋に砂をスコップ4杯ほどの量を入れる。この量は袋の5分目ぐらいの量であり、持ち運んだり積み上げたりすることができる量である。また、並べたときに形を整えやすく、袋も破れにくい。K
- ②口を絞り、紐を一周巻き付ける。巻き付けた紐の内側の部分に紐の先を通し、紐が緩まないようにする。K
- ③平らな場所に横向きに置く。土嚢の上面を手で叩き、平らにする。K
- ④二つ目も同様にし、一つ目とは向きが逆になるように積む。同じ向きに積み上げていくと口の方の高さが低くなってしまいうため、向きを交互にする。K

2.2 小学校におけるアースバッグハウス製作の可能性

アースバッグハウスを製作するのに使用する砂場について、避難所に指定されることの多い

小学校の砂場について調査をした。仙台市教育委員会施設課によれば、仙台市立小学校の砂場の設置状況は、121校中1校を除き設置されていて、のべ147の砂場がある。砂場の設置は義務付けられているわけではないが、高学年で体力テストの走り幅跳びを行うため、原則として全ての学校に設置をしているとのことである。

K

3. 20分の1模型による全体イメージの検討

アースバッグハウス全体の大きさや雰囲気を検討するために、身長160cm、肩幅40cmの人を想定した20分の1模型を、油粘土で製作した(図-1)。アースバッグハウスの高さを、170cmとしたので、模型の中に人を立たせると、トイレとして利用するとともに、ある程度身動きがとれる広さであることが分かる。内径135cmであれば、しゃがむといった動作もできると考える。

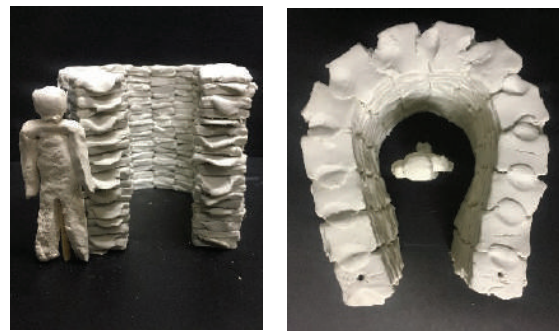


図-1 160cmの人との比較

K

4. アースバッグハウスの試作

2018年1月15日に宮城教育大学グラウンドでアースバッグハウスの試作を行った。事前に数日間かけて、十分な数の土嚢を作りためておき、組み立て～撤収を1日で実行できるようにした。

4.1 各部位の検討

(1) 入口

今回は、入口を内開きで作っていたので、入口に合わせて、一段に並べる土嚢の数を変えることにした(図-2)。計画では一段あたり14個であったが、入口部分の土嚢を2個増やし16個とすることで入口から後ろまでの長さを伸ばし、入口の板を内開きで開閉できるようにした。

(2) 屋根

候補として、ビーチパラソルとブルーシートが挙げられた。K

K



図-2 1段に16個並べ2段重ねた様子

ビーチパラソルの利点は、形状が固定されていて、強度も充分であり、パラソルを開きそのまま乗せれば完成するので、設置が簡単ということである。また、パラソルを乗せることでパラソル分の高さが出るため、積み上げた土嚢の高さよりも高くなり、中の広さにつながる。しかし、パラソルの場合、中の棒部分が中の空間の邪魔になる。身動きが取れないほどではないが、欠点としてあげられる。また、雨は問題ないが、今回パラソルを乗せたただけであったので、風により吹き飛ばされない工夫が必要である。K

ブルーシートの利点は入手が容易で、比較的設置が簡単ということである。また、全体が覆われているという安心感が、ビーチパラソルよりあると言える。風の面では、ブルーシートの端を土嚢で抑えているので、ビーチパラソルより風に耐えられると考えるが、ブルーシートの場合雨が溜まってしまふ欠点がある。

4.2 製作の様子

今回の試作では、17段を積み上げている途中で、正面から向かって右側が崩れてしまった(図-3)。



図-3 17段の途中で崩れてしまった様子

アースバッグハウスのワークショップでの製作方法⁵⁾でも、一度曲がってしまった壁を修復するのはかなり難しく、ひとつひとつを丁寧にまっすぐに積むことが大切である、と書いてあったが、それを成し遂げることの難しさを感じた。また、1段積み上げると横や正面からまっすぐかどうかをしっかりと確認していくことが大切だと感じた。K

4.3 完成させたアースバッグハウス

17段で崩れてしまったが、その後崩れてしまった半分を崩れる前より丁寧に積み直した。最終的に入口の板が開閉できる高さ、入口から一列目19段、二列目18段、それ以外の部分16段にとどめることとした。屋根としては、ビーチパラソルおよびブルーシートを乗せた(図-4、5)。K



図-4 完成したアースバッグハウス



図-5 ブルーシートを被せた様子

5. アースバッグハウス内外の環境及び強度

K 完成後は、室内環境や強度などを調査した。

5.1 防音性

アースバッグハウスの防音性を調べるために、騒音として電車の音源を流し、中と外で騒音計を用いて音の大きさを調べた。電車の音源を外で流し、騒音計で測定すると、50dBほどであった。

また、同じ音源を流し、アースバッグハウスの中で測定すると、40dB ほどであった。体感としても明らかに、アースバッグハウス内の方が、音が小さかった。アースバッグハウス内でしゃがむと周りの音があまり聞こえず、静寂な雰囲気になるので、土嚢の厚みの効果が感じられた。K

5.2 明るさ

アースバッグハウス内は、決して暗いということはなく、適度な明るさがあった(図-6)。これは、屋根にビーチパラソルを用いたため、適度な光の量であったと考える。内外の照度は、屋外3840~5500、室内(膝上)270~330luxであった。アースバッグハウス内で身動きする場合に暗く見えずに困ることはない明るさであった。K



図-6 アースバッグハウス内の様子
(左：ビーチパラソル、右：ブルーシート)

K

5.3 温かさ

冬で、午後16時ということもあり、外は立っていると寒く感じるが、アースバッグハウスに入っていると、気温差はほとんどないが風もないので、寒さを感じにくかった。土嚢の厚みがアースバッグハウス内の温かさにつながっていると感じた。

5.4 強度

防音性や明るさ、屋根の検討を行い、その後にアースバッグハウスの入口に向かって右側の部分がぐずれてしまった。途中17段で崩れた時も右側部分であったので、崩れていない部分である左側で強度を調査することとした。調査の仕方としては、男性(67kg)による体当たりとした。外から体当たりをしたが、びくともせず、体を痛めてしまうため、助走をつけて蹴ることとした。それ

K

でも1回では崩れず、1回で少しずれが生じ、3~4回で崩れるといった感じであった。土嚢を真つすぐ隣の結びつきを持たせながら積み上げることができれば、十分な強度があることが分かった。K

K

6. 今後の課題

K 本研究のアースバッグハウスの製作では、予定していた25段は積み上げられなかったことや、屋根の雨風の対策ができていないこと、強度や安定性がないことが課題としてあげられる。一つ一つ丁寧に時間をかけて積み上げることや、屋根が風で飛ばないようにするために杭で縛り付けるなどの固定をすること、砂だけでなく、粘土質の土を混ぜること、などの検討や工夫が必要である。また、避難所での製作ということに関して、支援物資の豊かな日本では、地域によっても異なるが、数日間ですむことも予想される。このアースバッグハウスを避難所におけるトイレ以外にも活かす方法を検討していく余地がある。

K

謝辞

K 萩原工業株式会社には国産土嚢袋の規格について、仙台市教育委員会には小学校の砂場設置状況について情報提供を頂きました。ここに記し、謝意を表します。K

K

参考文献

- 1) 日本アースバック協会:Information:
<http://earthbag.jp/index.html>(参照日 2017年5月9日)
- 2) カルアース研究所:OUR FOUNDER:
<http://calearth.org>(参照日 2017年5月9日)
- 3) 内閣府:避難所におけるトイレの確保・管理ガイドライン:
http://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/pdf/1604hinanjo_toilet_guideline.pdf(参照日 2017年4月27日)
- 4) (財)鳥取県教育文化財団調査室美和調査事務所:本高弓ノ木遺跡:
<http://kyo-bun.sakura.ne.jp/sonotashiryoy/umitenpusiryoy.pdf>(参照日 2017年8月3日)

K

B-10

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3 原発事故被災地における空間放射線ベクトル場の特性に関する研究

○中島主策（東北大学），小林 光（東北大学），本多祥平（東北大学），山守 諒（東北大学），
吉野 博（東北大学），野崎淳夫（東北文化学園大学），一條佑介（東北文化学園大学）

Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space after Nuclear Power Plant Accident : Part 3

Study on characteristics of spatial radiation vector field in nuclear accident affected area

Nakajima Shusaku (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Honta Shouhei (Tohoku University), Yamamori ryo (Tohoku University), Yoshino Hiroshi
(Tohoku University), Nozaki Atsuo (Tohoku Bunka Gakuen University),
Ichijo Yusuke (Tohoku Bunka Gakuen University)

キーワード：放射線，空間線量率，指向性測定器

はじめに

2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震による地震動と津波の影響で、福島第一原子力発電所で発生した水素爆発事故により広範囲にわたり人工放射性核種が沈着する被害が生じた。発災後には放射能汚染により福島県内に広く避難区域が設定されたが、その後の除染等の進展により徐々に避難指示区域の解除が進み、帰還が検討されるようになってきている。これまで、被災地の屋内外における放射線空間線量率の測定が多く行われているが、屋内外の空間線量率の関係は十分には明らかになっていない。こうした状況において、屋外にある線源が室内の放射線場の形成にどのように影響するか明らかにすることは建築環境工学上重要なテーマである。図-1は、福島県内の除染前の住宅の室内における放射線空間線量率の分布を示しており、建物外周部の線量が高く、中央は比較的に低い。また、断面分布では空間上方が高くなる傾向がある。こうした分布は、建物直下が汚染されていないことに加え、建物に入射する放射線(γ線)の方向と強さ及び建物による遮蔽性能に起因すると考えられる。線源からのγ線の放射特性や建物周辺のγ線の指向性などを把握することで、そのメカニズムを把握することが期待される。本報では、主に福島県内の除染地域の調査結果により、建物周辺の線源状態によって異なる建物に入射してくる放射線の指向性や、その違いによる室内への影響を明らかにすることを目的とする。

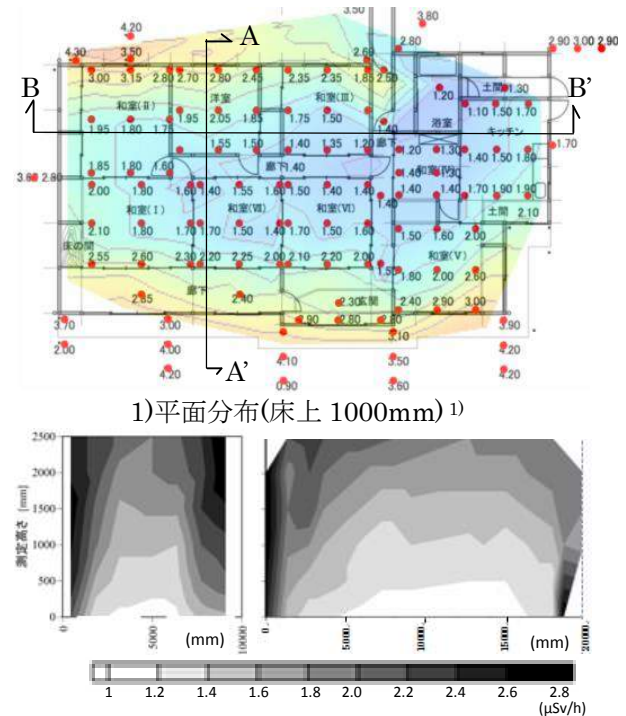


図-1 除染前の住宅内の空間放射線量分布

1. 方向放射線量測定ユニットの開発・実験

1.1 開発の目的

一般的に用いられる放射線測定器には指向性がないため、放射線の飛来方向を捉えられず、建物内外の放射線の指向性についてはあまり議論されていない。しかし、原発事故由来の放射能汚染が建築空間内に及ぼす影響を明らかにするためには、

実現場(除染・未除染地域)での方向線量(特定視野角からの γ 線空間線量)測定が不可欠である。そこで建物周辺の地面からの放射線、天空からの拡散線、建物等による拡散線など様々な放射線の成分を分解して捉えることができる指向性を持った測定器の開発を行った。一連の研究では山守らが視野角 $\pm 45^\circ$ の指向性を持つスペクトル計測可能な測定器を開発した²⁾が、本研究においては、より分解能の高い測定中心 $\pm 15^\circ$ の指向性を持つ測定器を計画した。

1.2 方向放射線量測定ユニットの設計

本研究では1インチのサーベイメータ(日立アロカ TCS-172B)用の視野角 30° の機器を製作した。本研究測定器の測定原理は鏡淵³⁾、山守らによる差引法を採用した。差引法を^{図-2}に示す。差引法は無指向状態の計測値から遮蔽板を置いた状態の値を引いた残差を指向値とする方法である。遮蔽板及び固定具からなる器具の名称を方向放射線量測定ユニットと称する。^{図-3}に本研究測定器と山守の指向性測定器を示す。本ユニットの設計に当たり、放射線解析コード PHITS2.92⁴⁾を用いて^{図-4}のようにジオメトリを設定した解析を行い、遮蔽板(鉛)の直径、検出領域と遮蔽板との距離を決定した。^{図-5}に視野角の比較図を示す。破線が本研究の方向放射線量測定ユニットを用いた視野角を示し、実線が山守の測定器の視野角を示す。

1.3 方向放射線量測定ユニットの精度検証実験

(1) 実験概要

設計したユニットと試験用の点線源を用いた指向性確認実験を行うとともに、実験体系をそのまま解析で再現した結果と比較した。実験は γ 線の入射角度別の測定器の感度(応答)を確認するため、検出器に対する点線源の角度を $0, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 60, 90, 135, 150^\circ$ (計11点)と変化させて検出相対レスポンス R ^{注1)}を求めた。本研究測定器の視野角は 30° なので $10^\circ \sim 30^\circ$ は 5° 毎に測定した。実験は^{図-6}の配置にて各ケースで遮蔽板有・無の測定値の差を求めた。加えて環境放射線(バックグラウンド)を除くため点線源無の測定も行った。線源は ^{137}Cs (強度 214kBq)を用いた。

(2) 実験結果・考察

解析値と実験値を比較した結果を^{図-7}に示す。解析値と実験値の角度毎のプロファイルはよく一

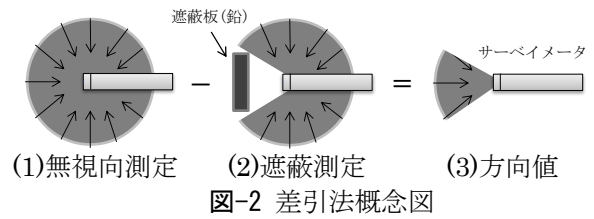


図-3 指向性測定器
(左図:1インチ、右図:3インチ)

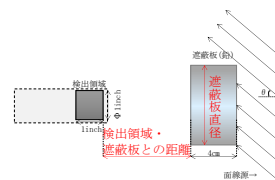


図-4 解析ジオメトリ

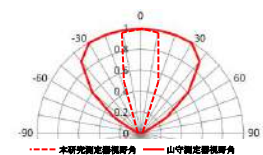


図-5 指向性測定器
視野角比較

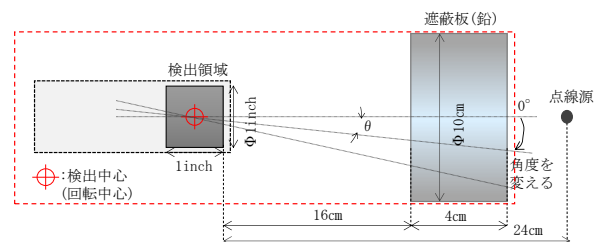


図-6 実験時の検出器と点線源の位置関係

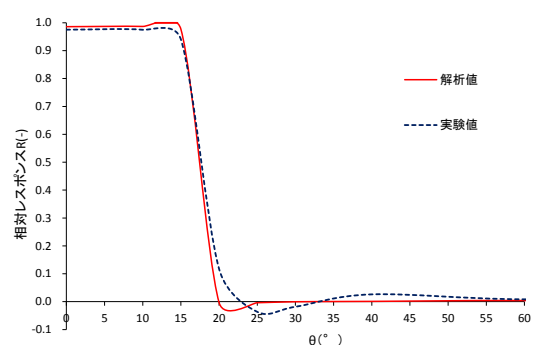


図-7 解析値と実験値の比較

致した。特に 60° 以降は一致したので省略した。解析、実験とも 20° ~30° において実測値が負値をとるのは、三脚、測定機本体等によるγ線の散乱によるものと考えられる。

2. 原発事故被災区域での実測による放射線ベクトルの把握

2.1 実測の目的

本実測の目的は、線源からの放射線の放射特性や建物周辺の放射線の指向性などを把握することで、建物内部の空間線量率分布のメカニズムを解明することである。

2.2 実測対象建物の概要

本研究では福島県富岡町の集会所を対象とした測定を行った。町内の避難指示解除区域にある 16ヶ所の集会所を調査し、周囲の線源状況や周囲の土地利用形態の確認をした上で、特定方向にある程度高い線量率のエリアが確認された O 集会所、S 集会所、K 集会所の 3ヶ所を測定地として選定した。O 集会所と S 集会所は木造、K 集会所は RC 造である。

2.3 実測の概要

各集会所では図-8 に示す測定ライン上で詳細な測定を行った(図中黄線)。測定ライン上で放射線空間線量率分布を測定するとともに、本研究で製作した指向性測定器を用い、放射線の方向特性を測定した。また、地面の表面汚染密度の測定を行った。

2.4 実測結果

各集会所の測定点及び空間線量率分布(図-9 を除く)を図-9、10、11 に示す。丸付数字は方向線量測定点を示し、赤数字は表面汚染密度(cpm)を表す。図-12、13、14 に各測定点の仰角方向線量率測定の結果を示す。

2.5 各測定地実測考察

[O 集会所] 空間線量率分布は西側用水路と東側駐車場の地表全体に強い線源が観測された。用水路の法面の土壌にも強い線源が観測された。図 8 O-⑦は用水路方向に明らかに強い放射線が観測される。O-①~③は真下のアスファルト面方向の線量率が高く、屋内の O-④は室外方向の線量率が高い。これらの方向線量が室内へ飛来することで、図 5 のように室内中央から室外側に向けて高い分布が形成されていると考えられる。

O 集会所	S 集会所	K 集会所
(1)空間線量率断面分布測定 (図下：北)		測定無し
・測定位置：ライン上約 2m 間隔	111 点	-
・測定点数：85 点	111 点	-
・測定高さ：5,50,100,150,200cm (但し室内は+50cm)		-
(2)空間線量率方向測定 ((1)断面内)		
・測定位置：線量率とともに 3.4 節に表記		
・垂直面内 0~360° を角度分割 30° 毎に 12 分割方位を測定 ※水平方向の方位は未測定		

図-8 各測定地測定ライン(黄線)・測定概要

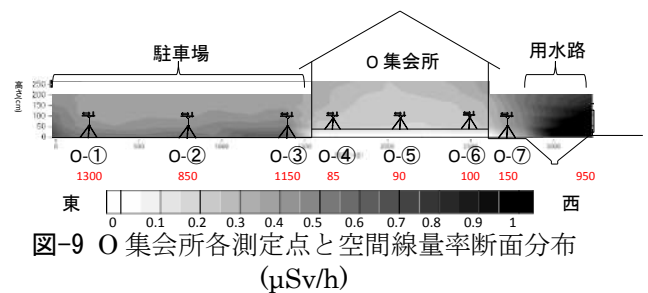


図-9 O 集会所各測定点と空間線量率断面分布 (μSv/h)

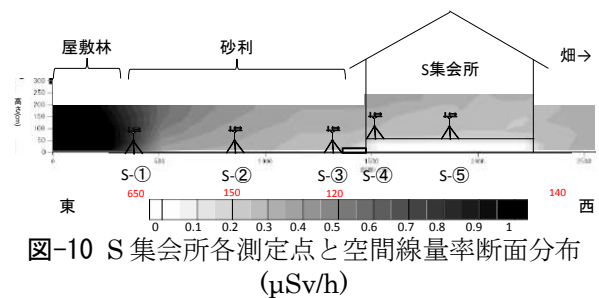


図-10 S 集会所各測定点と空間線量率断面分布 (μSv/h)

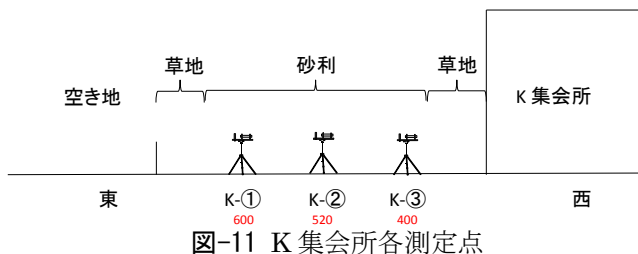


図-11 K 集会所各測定点

[S 集会所] 建物東の 10m 以上離れた地点(屋敷林)にホットスポット的に強い線源があった。林内は GL2mの地点でも高い線量率だが、S-①が木の根元方向よりの線量率が高いことから、線源が林の木々の幹や葉よりも地面に集中していることが分かる。このように線量率の大きさだけでなく方向性を確認することで、その場の線源状態を把握

することができる。S-②③の水平方向の線量率が高いのは、強い線源がある林から離れた位置にあり、遠方から飛来する放射線の影響が大きくなるためだと考えられる。強い線源から遠くなると放射線は水平に近い角度で飛来し空間線量率分布は上方ほど高くなる。

【K集会所】各測定点の線量率分布から真下方向に強い線源があり、空き地方向と建物方向には強い線源が無いことが分かる。

2.6 建物周辺線源状況の違い

多くの場合放射能は地面に沈着しており強い線源が近くにある場合、主に下方向から放射線が飛来するが、S-②③のように強い線源が遠くにある場合は真横から放射線が飛来すると考えられる。放射線の防護対策を考える際は、大きさだけでなく方向性を分析し線源の状態を把握することが有効である。

3. 結論

原発事故由来の放射能汚染による建築空間内への影響を明らかにするために方向放射線量測定器を製作し、実験で精度を確認した。また、福島県内の集会所において分析的な測定を実施することで室内空間線量率分布の形成メカニズムの一端が明らかになった。放射線のスカラー値だけでなくベクトル値も測定することで、室内空間線量率分布の形成の原因となる周囲の線源状態を把握できる。屋外の線源による建築空間への影響を評価するには、方向線量測定を行うことが望ましい。建物周辺の線源状態によってベクトルが異なり室内線量率分布は変化するため、それに応じ対策の方法も変えることが有効だ。今後は、同条件の場所で本実測に加え水平方向の分布も測定することで、より詳細に放射線のベクトル環境の分析ができることが期待される。

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。

参考文献

- 1) 野崎淳夫、小林光他；原発近傍に立地する木造住宅の空間放射線量率に関する調査研究，日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）
- 2) 山守諒他；測定精度及びフィールド調査を意図した γ 線方向線量測定器の開発，環境放射能除染研究発表会

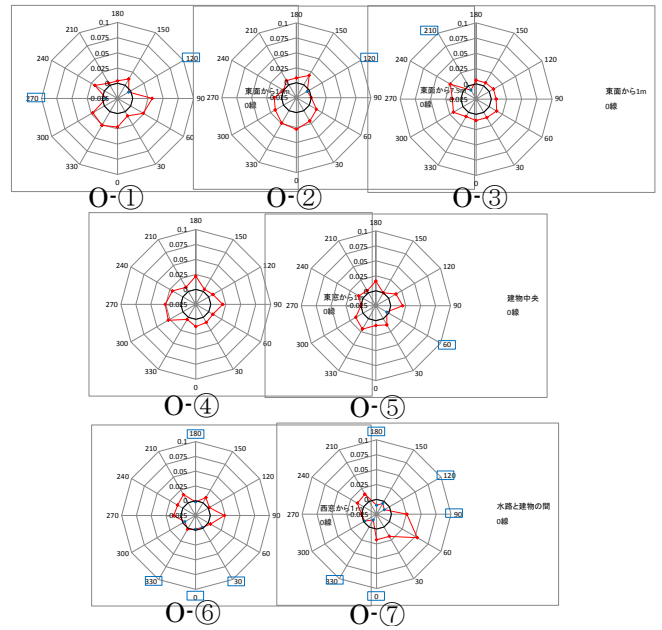


図-12 O集会所仰角方向空間線量率(μSv/h)

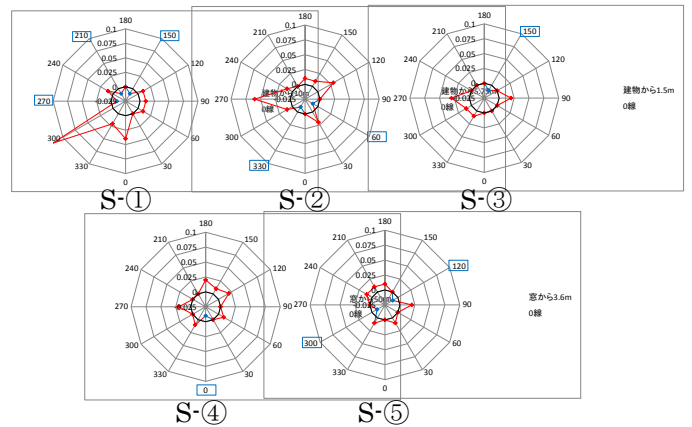


図-13 S集会所仰角方向空間線量率(μSv/h)

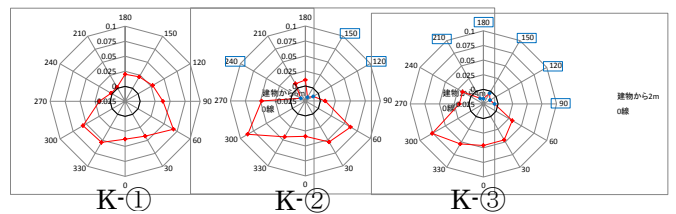


図-14 K集会所仰角方向空間線量率(μSv/h)

※黒線は0を表す。青線は負値を表す。

3) 鏡淵英紀(東京電力ホールディングス株式会社)ほか;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, 2015.

4) T. Sato et al : Particle and Heavy Ion Transport Code System PHITS, Version 2.52, J. Nucl. Sci. Technol. 50:9, 913-923 (2013)

注 1) 検出相対レスポンス R(θ) : 点線源を θ 方向に設置した際の、遮蔽無時に対する差引実施時の線量率の割合

B-11

災害時の避難所の飲み水とトイレに関するガイドライン

その1 避難所の概要と飲み水

○福井啓太（東北文化学園大学）、岡田誠之（東北文化学園大学）、赤井仁志（福島大学）、
草刈洋行（株ユアテック）、高橋秀一（山形県設備技術協議会（有）高橋設備設計事務所）、
寺田英彦（TOTO株）、前田信治（有）前田衛生興業）、船木寮一（三建設備工業株）、
山崎悟（エスワイ設備設計）

Guidelines on Drinking Water and Toilet at Evacuation Centers in the Event of a Disaster Part 1 Outline of Evacuation Center and Drinking Water

Fukui Keita(Tohoku-Bunka-Gakuen Univ.), Okada Seishi(Tohoku-Bunka-Gakuen Univ.),
Akai Hitoshi(Fukushima Univ.), Kusakari Hiroyuki(Yurtec Corporation), Takahashi
Shuuichi(Yamagata Equipment Technology Council), Terada Hidehiko(TOTO LTD.), Maeda
Nobuharu(MAEDA Clean Service INC.), Funaki Ryoichi(SANKEN SETUBI KOUGYO CO.,
LTD.), Yamazaki Satoshi(SY Mechanical Design for Building)

キーワード：避難所，飲み水，トイレ，仮設トイレ数

はじめに

ちょうど7年前の、東日本大震災もそろそろ忘れ去られようとしている時期である。推定であるが500万人の住民が断水で日常生活に異常をきたしたことは記憶に新しいものである。全国からの飲料水の支援は道路事情で数日後でない住民に届かなかつたが、沢水、雨水タンクの水、井戸水、雪解け水のいずれかが得られた住民は活用していたが、ごく一部の住民であった。

ところが、災害時であろうと人間は食べ物を口に入れると、排泄しなければならぬ生物であることを忘れがちである。すなわち、トイレの確保は飲み水の確保と同時に実行しなければならない。下水道があるからと安心しては行かない。たまたま、東北の被害を受けた下水処理場は大方が太平洋に面していたため放流水の希釈効果が大であるため、大きな漁業被害は発生しなかったが、内湾に放流される下水処理場が地震等で被害を受けた場合は、未処理に近い放流水であれば、希釈効果が少ない内湾では下水道の使用は不可能に近い。そうすると地面に穴を掘ることや、便袋、簡易トイレ等複数用意することが必要である。

ここではすでに平成20年度～24年度まで「災害時における建築設備分野の支援に関する研究」で提示した研究報告をうけて、平成25年度から27年度にわたって学校の体育館を避難所として考えることを前提とした避難所の「飲料水・トイレ」に絞りガイドラインを作成した。この目的は、既に初期の避難所の運営で多くの方が経験したことを糧として、できるだけ運営に携わる学校関係者等が「運営がスムーズ」に進むようにガイドラインを作成した。その後、平成28年度から29年度にかけてダイジェスト版及び「Q and A」について活動したので、概要を報告する。この報告は事務所等のBCP対策に応用できると考えられる。

1. 避難所の概要調査

1.1 対象避難所の給排水設備概要調査

日ごろから避難所の給排水設備等の調査を行って、トイレの数、排水系統の概要及び災害用備品の把握に努めておく必要がある。

1.2 避難所の運営の流れ

避難所の運営の考え方は、日数が経過するごとに避難所の状況が変化するため一定のルールはな

いが、大枠で発災時から6時間内対応、6時間程度後の対応、長期への対応の3段階に分かれると考えている。発災時から6時間内での避難所の運営は最も重要となる初期対応であるため、避難訓練を通して発災時に適正に運営がスムーズに進むようにしたいものである。特に衛生上の問題としてトイレについては最重要項目として対応すべきと考えている。

2. 小中学校の規模と避難者の収容人数

2.1 小中学校の規模

小中学校の規模は文部科学省の学校整備計画を基準としており、生徒数・学級数により当然規模（延面積）は異なるが、今回、避難者の収容人数の把握を行った。

2.2 体育館の延床面積

体育館はアリーナ、ステージ、玄関、トイレ、収納倉庫等で構成されるが、収納人数の把握にあたっては、アリーナの延面積により算定することにした。アリーナ以外のスペースは避難所運営上の共有スペースに提供されることとしている。

2.3 避難者収容人数の算定

避難者一人当たりの専有面積については、国連難民高等弁務官事務所（UNHCR）が定める難民キャンプの設置基準では一人当たり3.5㎡であるが、東日本大震災では最大人員収容時に1人当たり2.0㎡の避難所が多かったため、一人当たり2.0㎡と設定した。したがって避難者の収容人数は次により算定する。

収容人数＝アリーナの延面積（㎡）÷2㎡/人

アリーナの延面積が確認できない場合は文部科学省の学校整備計画基準では小学校体育館のアリーナ面積は約832㎡、中学校体育館のアリーナ面積は約1,008㎡としているので、下記の人数で設定してもよい。

$$\begin{aligned} & \text{小学校の避難者収容人数} \\ & 832 \text{ m}^2 \div 2 \text{ m}^2/\text{人} = 416 \text{ 人} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{中学校の避難者収容人数} \\ & 1,008 \text{ m}^2 \div 2 \text{ m}^2/\text{人} = 504 \text{ 人} \end{aligned}$$

ただし、実際のアリーナ面積が大きく異なる場合は計測して実面積を算定しなくてはならない。

3. 小中学校の給排水設備の概要

3.1 給水設備及び受水槽容量

小、中学校を避難施設として使用するにあたり、当該施設の受水槽容量を把握する。仙台市水道局基準¹⁾によると小中学校の受水槽容量は一日一人当たり小学校では45L、中学校では55Lの使用水量を基に下記算定式により算出される。

ステップ①【算定式により算出】

$$\text{受水槽容量 (L)} = \text{基準水量 (L) /人} \times \text{生徒数} \times 0.6$$

(1) 小学校の受水槽容量

ステップ②【早見図による受水槽容量算出】

上記ステップ①の算定式より、小学校において生徒数毎の受水槽容量を算定した数値を図1に示す。

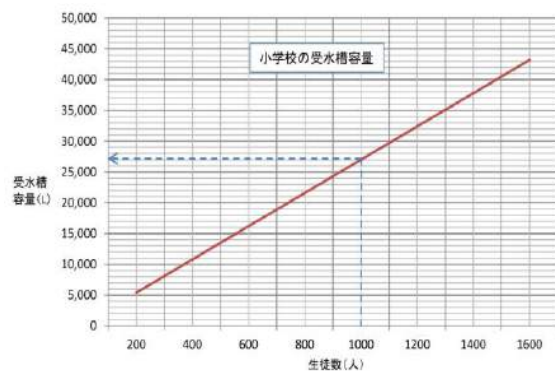


図1 小学校の受水槽容量算定図

(例) 生徒数 1,000 (人) の小学校の受水槽容量・・・27,000 (L)

(2) 中学校の受水槽容量

ステップ②【早見図により算出】

上記ステップ①の算定式により、中学校における生徒数毎の受水槽容量を算定した数値を図2に示す。

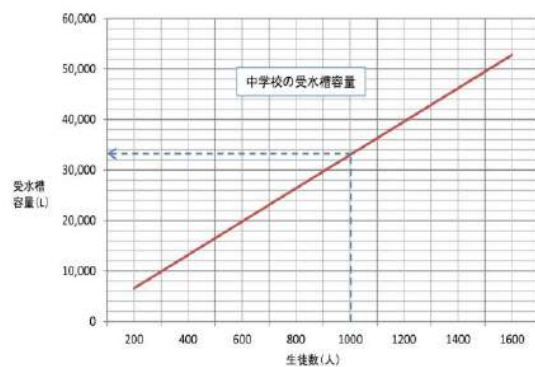


図2 中学校の受水槽容量算定図

(例) 生徒数 1,000 (人) の中学校の受水槽容量・・・33,000 (L)

(3) プールの水量

学校や公営・民営のプール水の水量を表1に示す²⁾。さらに、避難所として公共の体育館やスポーツ競技施設になることを考え、競技用プールの水量を表2に示す³⁾。

表1 学校・公営・民営プールの水量

プールの種類	長さ[m]	幅[m]	水深[m]	水容積[m]
学校のプール	25	10	0.95	238
		19	1.1	523
		18	1.2	540
		18	1.4	630
公営・民営の 野外プール	25	18	1.2	540
18		1.4	630	
公営・民営の 屋内プール	25	18	1.2	540
18		1.4	630	

表2 競泳用プールの水量

プールの種類	長さ[m]	幅[m]	水深[m]	水容積[m]		
競泳プール	50mプール	国際	50.00	25.00	2.00以上	2,500.00
		一般	50.00	17.90	1.35以上	1,208.73
	25mプール	国際	25.00	25.00	2.00以上	1,250.50
		一般	25.00	12.90	1.35以上	435.72
水球プール	国際	33.30	20.00	2.00以上	1,332.00	
	一般	33.30	20.00	2.00以上	1,332.00	
競技プール	シンクロナイズドスイミングプール	国際ルーティン・ゾーンの最低	20.00	30.00	2.50以上	1,500.00
		国際フィギュア・ゾーンの最低	12.00	12.00	3.00以上	432.00
		一般フィギュア・ゾーンの最低	12.00	25.00	1.80以上	540.00
		一般フィギュア・ゾーンの最低	12.00	12.00	2.50以上	360.00

(4) 避難所に開放出来る便器数の提案

避難所に開放できる便器は「体育館の便器数」と「開放できる教室棟の便器数」を合算したものとなる。この合算便器数と表3に示すとおり必要とする便器数を比較する。そこで避難所の収容人数によって、既存の便器で足りない場合は仮設トイレで補充することになる。

表3 必要とする便器数⁴⁾

避難者数 [人]	器具数 [個]		
	男子大便器	男子小便器	女子大便器
50	5	3	5
100	7	4	7
200	14	8	14
300	21	12	21
400	28	16	28
500	35	20	35
600	42	24	42
700	49	28	49

* 避難所に準備したい便器数は、空気調和衛生工学会、病院の適正器具数（任意利用型）サービスレベル2 100人以上は整数倍とした。

4. 飲み水水量及び尿尿量等の基本データ

4.1 飲み水及び尿尿量

平常時にヒトが一日活動するために生体が必要な水は、表4に示すとおり2500mLである。したがって、生命維持のための最低必要水量は1500mLといわれているが、この数値の2倍の数値として生体的な安全をみて3000mLが災害時の必要水量の基礎資料となっている。

表4 人間の身体の水の摂取と排出バランス⁵⁾

摂取		排出	
飲用水	1000~1500mL	尿	1200~1500mL
食物中の水分	700~1000mL	糞便中の水分	100g
代謝水	300mL	呼吸	300~400mL
		汗（不感蒸発）	400~600mL
計	2000~2500mL	計	2000~2500mL

4.2 年代と洗浄水量の変化

(1) 洋風便器

洋風大便器の洗浄水量の変遷は、1976年頃までは洗浄水量13Lの便器であったが、1994年頃から節水便器が出現し、2006年頃から洗浄水量6L便器、現在は洗浄水量4.8Lの便器がでまわっている。

(2) 和風大便器

和風大便器の洗浄水量は11~12Lタイプが主流であったが、1990年代初頭からタンク式洗浄方式で8Lタイプが登場している。

(3) 仮設トイレの種類と尿尿貯留量

便槽に貯留する方式の貯留量330~500Lの範囲であるが、平均貯留量は360L程度である。他に仮設トイレはマンホールへ直結して流下させる方式等もあり、バキューム車での汲み取りが必要でないマンホールトイレもある。

5. 発災時の給水対応

5.1 対応フロー

発災時の給水対応フローを図3に示す。水道水が供給されていても建物内の配管が破損している可能性があるため、配管が正常かどうかの確認が必要である。補給方法は給水車、受水槽、容器飲料水、井戸、雨水、河川水、プール水が水源としてあるが、飲用となると、給水車、受水槽、容器飲料水（ペットボトル）となる。雨水、河川水、プール水を飲用にするためには膜処理を行い、水質検査をすることによって飲用が可能となる。

5.2 水源対策

(1) 経過日数における飲み水の必要量算定

厚生労働省が提案している表5に示す経過日数

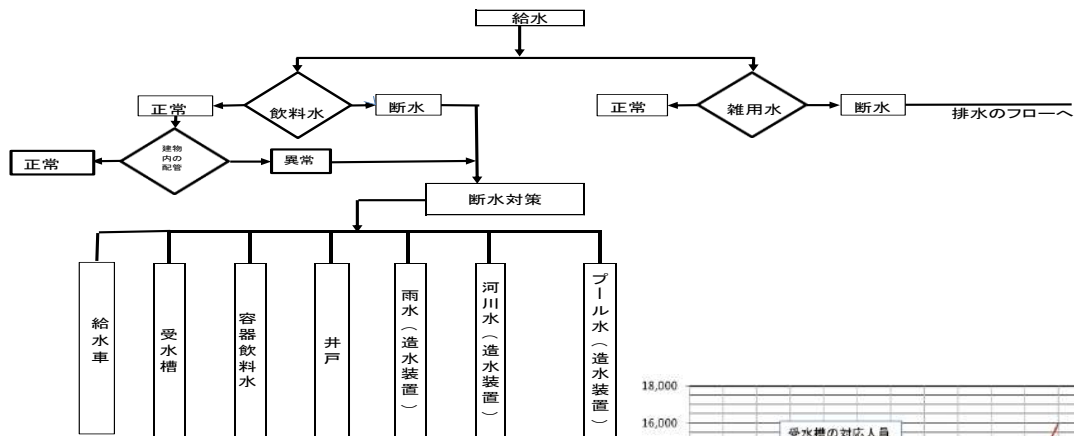


図3 発災時の給水対応フロー

ごとの目標水量を示す。発災時から日数が経過するごとに4段階にわたり必要水量が増えていく水量である。

表5 発災時から経過日数に伴う目標水量⁶⁾

応急給水の目標設定例 地震発生からの日数	目標水量	市民の水の運搬距離	主な給水方法
地震発生～3日まで	3L/人・日	概ね1km以内	耐震貯水槽、タンク車
10日	20L/人・日	概ね250m以内	配水幹線付近の仮設給水栓
21日	100L/人・日	概ね100m以内	配水支線上の仮設給水栓
28日	被災前給水量(約250L/人・日)	概ね100m以内	仮配管からの各戸給水、共同栓

(2) ペットボトルの必要本数

(1) で示した一日一人3Lが最低限必要であることから、必要本数は避難者一人当たりペットボトル3L分で算定する必要がある。

(3) 受水槽の貯水量による対応人員算定

震災等非常時に避難施設の受水槽容量による避難者用給水対応人員を算出する。

ステップ①【算定式より一日の対応人員を算出】

対応人員＝受水槽容量(L)÷使用給水量L/人

ステップ②【早見グラフにより対応人員を算出】

上記ステップ①の算定式により受水槽容量、使用給水量による給水対応人員グラフを図4に示す。

(例) 受水槽容量 80,000L、一日当たり給水量 20L/人の場合の給水対応人員・・・4,000人/日分

これをもとに、給水対応人員は避難日数 10 日の場合では、一日の対応人員が

4,000人/日 ÷ 10日＝400人分となる。

次に給水対応日数は避難者数 500 人の場合では

4,000人/日 ÷ 500人＝8日分となる。

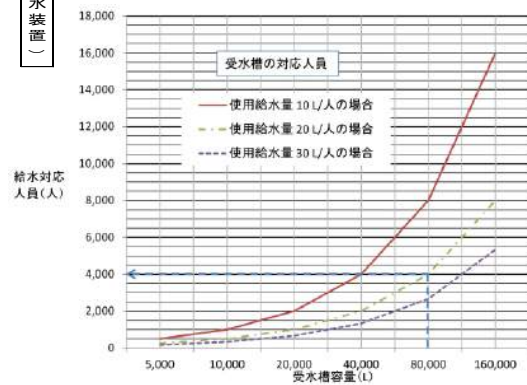


図4 受水槽の一日当たりの対応人員算定

おわりに

ここでは避難所を利用するには、事前に建築概要、給水や排水設備の概要を把握して、避難所のスタッフと夏方に周知するための具体的な作業を示し、飲み水を確保するための手法を検討した。なお、この報告は本学会東北支部東北地方の建築設備研究委員会の成果報告である。

参考文献

- 1) 仙台市水道局資料
- 2) (公社)空気調和・衛生工学会：水泳プール設備、空気調和・衛生工学便覧、第14版、(2012)、pp. VI-461～484
- 3) (財)日本水泳連盟：プール公認規則、2010、(2010.4.1施行)
- 4) 空気調和・衛生工学会衛生器具の適正個数算定法
- 5) 岩倉裕之：食の科学、1982、p64、丸の内出版
- 6) 水道の耐震化計画等策定指針(平成20年3月厚生労働省)

B-12

災害時の避難所の飲み水とトイレに関するガイドライン

その2 し尿の処理の種類

○岡田誠之（東北文化学園大学）、赤井仁志（福島大学）、草刈洋行（㈱ユアテック）、
高橋秀一（山形県設備技術協議会（(有)高橋設備設計事務所）、寺田英彦（TOTO㈱）、
前田信治（(有)前田衛生興業）、船木寮一（三建設備工業㈱）、山崎悟（エスワイ設備設計）、
福井啓太（東北文化学園大学）

Guidelines on Drinking Water and Toilet at Evacuation Centers in the Event of a Disaster Part 2 Types of Disposal of Night Soil

Okada Seishi(Tohoku-Bunka-Gakuen Univ.), Akai Hitoshi(Fukushima Univ.), Kusakari
Hiroyuki(Yurtec Corporation), Takahashi Shuuichi(Yamagata Equipment Technology Council),
Terada Hidehiko(TOTO LTD.), Maeda Nobuharu(MAEDA Clean Service INC.), Funaki
Ryoichi(SANKEN SETUBI KOUGYO CO., LTD.), Yamazaki Satoshi(SY Mechanical Design for
Building), Fukui Keita(Tohoku-Bunka-Gakuen Univ.)

キーワード：避難所，飲み水，トイレ，仮設トイレ数

はじめに

その1では避難所の概要と飲料水やトイレの対応を述べたが、その2ではヒトから排出されるし尿の処理にどのように対応するかについて検討し、ガイドラインを作成したのでその概要を述べる。

1. 発災時のトイレ対応

1.1 対応フロー

発災時の尿尿の処理の対応フローを図1に示す。水洗トイレの使用については水道水が断水していることを前提として、フローシートに示した。設備・装置が正常であれば、バケツの水でトイレの洗浄が可能である。しかし、浄化槽や下水道が使用できなければ、排水管や装置が破損したことと同等になり、素か使用となる。掘りトイレ、便袋、仮設トイレ、既設貯留トイレ、マンホールトイレのいずれの使用となる。

下水道や浄化槽が機能しない場合、すなわち、トイレに洗浄水を流すことができない場合の素掘りトイレ、便袋、仮設トイレ、既存貯留トイレ、マンホールトイレのいずれかを選定しなければならない。

下水道利用地域での対応は、まずマンホールトイレが使用できるかどうかから検討を始めなければならない。

マンホールトイレが使用できなければ、図2に示す順序となる。

(1) 素掘りや既存の汲み取り貯留トイレが考えられる（第1段階）。

(2) 便袋を活用し、既存のトイレの大便器の利用、既存のトイレが不足している場合は、避難所の一部を区切り、簡易トイレ（ポータブルトイレ）、椅子の座る板をくりぬいた簡易トイレを設置して便袋をセットして活用して使用後、ごみ集積所を設置して、便袋を集積所に貯留することが必要である（第2段階）。

(3) 仮設トイレが考えられるが、バキューム車で貯留タンクの尿尿をくみ取る手段がないと、第1段階とか第2段階を考えなければならない（第3段階）。

(4) バイオトイレや車載トイレの自己完結型トイレは発災後3週間程度過ぎて避難所が落ち着いた時点で設置が考えられる（第4段階）。

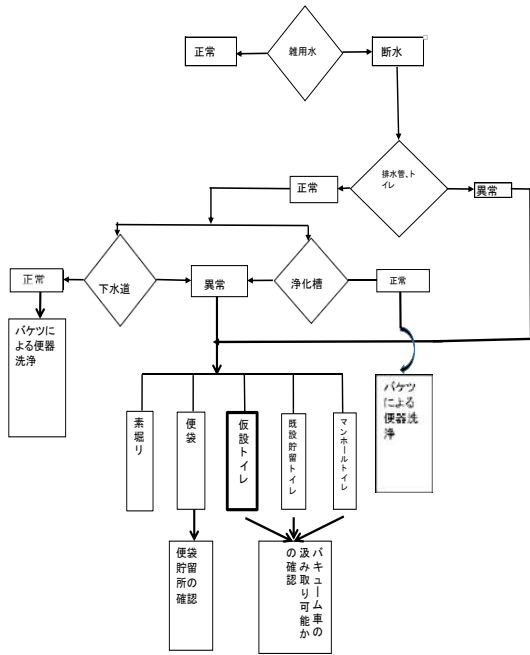


図1 発災時の尿尿の対応トイレフロー

1.2 水洗トイレが使用できない場合の避難所のトイレ対応

(1) 穴掘りトイレ

素掘り式トイレ（別名アーストイレ）は地面に穴を掘り、トイレとする。浅い穴はすぐに満杯になる。満杯になったら新しい穴を掘る必要がある。しかし、深く掘ると崩れやすく、浅く広くすると、幅が広くなり使用しにくくなる。側溝のように長く掘ると使用しやすいが、プライバシーを保つための囲いなどの工夫が必要である。

避難所において校庭や庭がある場合は、600mm程度の深さで下記の図3のような大きさの穴を掘り、股いでトイレができるように厚さ20mm程度で耐荷重性のある板を2枚渡して作る。更に、踏板2枚の間に蓋用の板を敷くことで尿尿を見えなくするなどの工夫をする。また、貯留スペース上部に約300mm程度空間を設けることによって、汚物の跳ね返り防止及び感染症対策を行うことができる。便槽の深さは、人が容易に穴を掘ることができることなどを考慮すると40～80cm程度であると考えられる。男女合わせての使用条件で、表1にアーストイレ使用時の規模と使用限界日を示す。

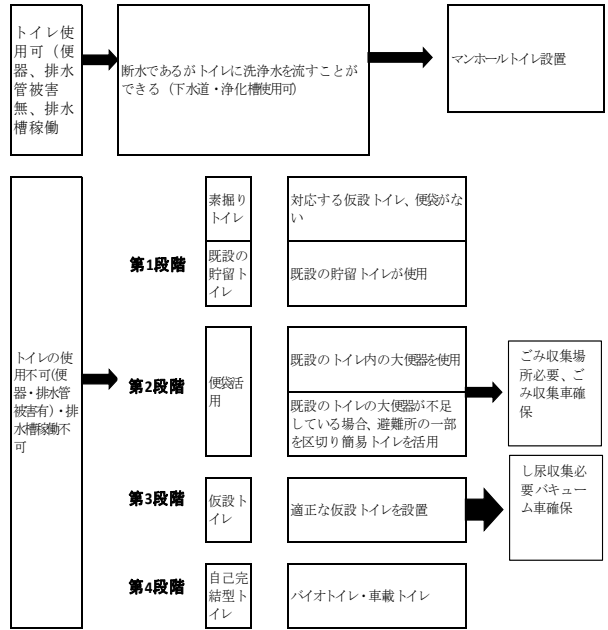


図2 断水で既存のトイレの使用ができない場合の対応

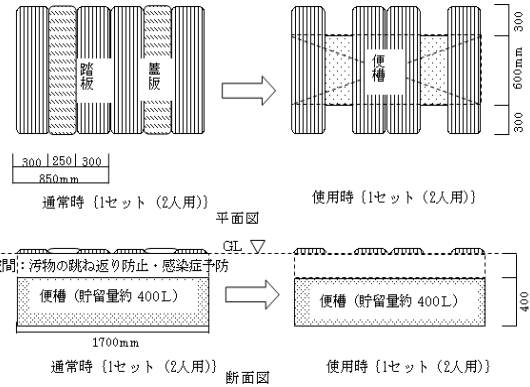


図3 素掘り式トイレ（前田（案））

*一日のトイレ使用回数は小便5.5回/人・日と大便1.1回/人・日から大小回数を6.6回/人・日とした。
*一回のトイレ占有時間は男女及び大・小便を含めて平均値を1.5分とした。

表1 アーストイレの人数に対する必要セットと使用限界日

避難者数	50人	100人	200人	300人	400人	500人
必要台数	1セット	1セット	1セット	2セット	2セット	3セット
使用限界日	4.8日	2.4日	1.2日	2.0日	1.2日	1.5日

ステップ①【算出方法 基本事項】

男女混合使用

アーストイレの容量 400L/セット

(1) 一日の尿尿量 1.65L/（人・日）、尿尿のトイ

レ利用回数の合計 6.6 回/ (人・日) とする。

トイレの貯留量からの台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 1.65\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日}) = 82.5\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日})$ 400L 以下であるので 1 台

(2) 睡眠時間 (6 時間) を除いた 18 時間の内、一回当たりの使用時の占有時間 90 秒 (0.025 時間) /回 (男子小便、男子大便、女子大便器の占有時間の平均値) から延べ使用時間から台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 0.025 \text{ 時間} = \text{延べ} 1.25 \text{ 時間}$ 18 時間以内であるので 1 台

ステップ②【セット数の比較】

避難者数ごとに 400L 貯留量からの台数と延べ使用時間からの台数を比較して提案台数を採用する。ここでは延べ使用時間からの台数より貯留量からの台数を採用する。表 1 にアーストイレの人数に対する必要セットと使用限界を示す。

(2) 仮設トイレ

仮設トイレの使用条件を「男子小便器専用」、「男子大便器専用」、「女子便器専用」と台数を算定した。すべて尿尿量からの算定に比べて便器占有時間からの算定が優位になったので、便器占有時間から仮設トイレの台数を算定した。汲み取り間隔は仮設トイレ 1 台の貯留量 360L に対して尿尿量から日数を算定した。

A 男子小便器の仮設トイレ台数

ステップ①【算出方法 基本事項】

男子小便器の容量 360L/台

(1) 一日の尿尿量 1.5L/ (人・日)、尿尿のトイレ利用回数の合計 5.6 回/ (人・日) とする。

(2) 睡眠時間 (6 時間) を除いた 18 時間の内、一回当たりの使用時の占有時間 40 秒 (0.011 時間) /回 (男子小便の占有時間から延べ使用時間から台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 0.011 \text{ 時間} = \text{延べ} 5.55 \text{ 時間}$ 18 時間以内であるので 1 台

ステップ②【セット数の比較】

トイレの貯留量からの台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 1.5\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日}) = 75.0\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日})$ 360L 以下であるので 1 台避難者数ごとに 360L 貯留量からの台数と延べ使用時間からの台数を比較して提案台数を採用する。ここでは延べ使用時間より貯留量からの台数からの台数を採用する。表 2 に男子小便器の仮設トイレ台数と汲み取り間隔を示す。

表 2 男子小便器仮設トイレ台数と汲み取り間隔

避難者数	50人	100人	200人	300人	400人	500人
必要台数	1台	1台	1台	2台	2台	3台
汲み取り間隔	4.8日	2.4日	1.2日	1.6日	1.2日	1.4日

B 男子大便器の仮設トイレ台数

ステップ①【算出方法 基本事項】

仮設トイレの貯留容量 360L/台

(1) 一日の尿尿量 0.15L/ (人・日)、尿尿のトイレ利用回数の合計 1.1 回/ (人・日) とする。

トイレの貯留量からの台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 0.15\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日}) = 7.5\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日})$ 360L 以下であるので 1 台

(2) 睡眠時間 (6 時間) を除いた 18 時間の内、一回当たりの使用時の占有時間 300 秒 (0.083 時間) /回 (男子小便の占有時間から延べ使用時間から台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 0.083 \text{ 時間} = \text{延べ} 4.15 \text{ 時間}$ 18 時間以内であるので 1 台

ステップ②【台数の算出】

避難者数ごとに 360L 貯留量からの台数と延べ使用時間からの台数を比較して提案台数を採用する。ここでは貯留量からの台数より延べ使用時間からの台数を採用する。表 3 に男子大便器の仮設トイレ台数と汲み取り間隔を示す。

表 3 男子大便器仮設トイレ台数と汲み取り間隔

避難者数	50人	100人	200人	300人	400人	500人
必要台数	1台	1台	1台	2台	2台	3台
汲み取り間隔	48.0日	40.0日	12.0日	8.0日	6.0日	4.8日

C 女子便器の仮設トイレ台数

ステップ①【算出方法 基本事項】

仮設トイレの貯留容量 360L/台

(1) 一日の尿尿量 1.65L/ (人・日)、尿尿のトイレ利用回数の合計 6.6 回/ (人・日) とする。

トイレの貯留量からの台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 1.65\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日}) = 82.5\text{L}/(\text{人} \cdot \text{日})$ 360L 以下であるので 1 台

(2) 睡眠時間 (6 時間) を除いた 18 時間の内、一回当たりの使用時の占有時間 100 秒 (0.0278 時間) /回 (男子小便の占有時間から延べ使用時間から台数算定

例 $50 \text{ 人} \times 0.0278 \text{ 時間} = \text{延べ} 1.39 \text{ 時間}$ 18 時間以内であるので 1 台

ステップ②【台数の算出】

避難者数ごとに 360L 貯留量からの台数と延べ

使用時間からの台数を比較して提案台数を採用する。ここでは延べ使用時間より貯留量からの台数を採用する。表4に女子大便器の仮設トイレ台数と汲み取り間隔を示す。

*占有時間は SHASE-S206 2009 に示してある、男子小便器占有時間 40 秒 (0.011 時間)、男子大便器占有時間 300 秒 (0.083 時間)、女子大便器占有時間 100 秒 (0.0788 時間) を採用した。

表4 女子大便器仮設トイレ台数と汲み取り間隔

避難者数	50人	100人	200人	300人	400人	500人
必要台数	1台	1台	1台	2台	2台	3台
汲み取り間隔	4.3日	2.1日	1.0日	1.4日	1.0日	1.3日

空調和・衛生工学会の衛生器具数適正数の提案値を器具利用形態が集中型の劇場の最低限のレベル 3、及び任意利用形態の待ち時間をほとんどなしにした病院の標準的なレベル 2、さらに総務省の避難所におけるトイレの確保管理ガイドライン¹⁾及び国土交通省のマンホールトイレ整備・運用のためのガイドライン (案)²⁾に示されているトイレ台数と本研究の台数の5種類を表5に示し比較する。

劇場は開演前・後のトイレ集中利用である状況は避難所の朝食前のトイレ集中利用がかなり類似しているように思われる。

病院はトイレ利用が待ち時間がほとんどない状況であるので過大になっているものと思われる。総務省の提案値は発災当初は避難者約 50 人当たり 1 基トイレの平均的な使用回数は一日 5 回のみで、男女別トイレとしていなく、占有時間は決めていなく、トイレ使用貯留容量は検討していない。中央防災会議の資料から、マンホールトイレ一基当たり一時間最大供給可能は 30 回。一日使用時間 16 時間、平均所要時間を一回当たり 8 分としているが、男女別のトイレとしていなく、トイレ

使用貯留容量は検討していない。したがって、下記のような条件下で衛生器具数を決定することを推奨するが、利用トイレはできるだけ各仮設トイレを平均的に使うことを前提条件とする。

利用頻度を平準化する場合は本調査の衛生器具数を採用する。この器具数は国土交通省の提案値の最小数値に近い値である。

利用頻度を朝のトイレ利用頻度に合わせた場合は劇場の例を採用する。この器具数は総務省の提案値に比べてやや多い値である。

利用時の待ち時間を全くなくした病院の例の場合は仮設トイレに余裕があれば、理想的な器具数である。

1.3 トイレ設備が使用できるが、水道水が使えない場合のバケツによる既存のトイレ使用

大便器にはタンク式と洗浄弁式の2種類があり、既存の大便器がどちらか選別する必要がある。

(1) タンク式大便器

タンク式大便器は住宅に設置されるものであるが、避難所があれば、タンクに水を補給すれば、通常のトイレの使用が可能である。

(2) 洗浄弁式大便器

ここで示す洗浄弁方式は下記の流れに従って検討を行う。バケツによる既存のトイレの搬送状況は図4に示す。シングルとダブルそれぞれのトイレレットペーパーを1mにカットしたものを6つ折りにして、それを1枚重ね~3枚重ねまでを使用する。そのトイレレットペーパーを水面に平行に置き、1人が時間(秒数)を計り、その時間(秒数)に合わせバケツで(2L・4L・6L・8L・10L・15L)便器内に水を入れ、トイレレットペーパーが搬送された距離を測定する。バケツの投入高さは、2L~8Lまで手で持って入れることができるため、便器から垂直方向20cm離れたところから投入した。

表5 提案値と他の数値との比較

	避難者	50人		100人		200人		300人		400人		500人	
		男25人	女25人	男50人	女50人	男100人	女100人	男150人	女150人	男200人	女200人	男250人	女250人
劇場 (SHASE)	男子小便器	1		1		2		3		4		4	
	男子大便器	1		1		1		1		2		2	
	女子大便器		1		1		2		3		5		7
	合計	3		3		5		7		11		13	
病院 (SHASE)	男子小便器	3		4		8		12		16		20	
	男子大便器	5		7		14		21		28		35	
	女子大便器		5		7		14		21		28		35
	合計	13		18		36		54		72		90	
総務省	1		2		3		4		5		6		
国土交通省	1~2						2~10						
提案値	男子小便器	1		1		1		1		1		2	
	男子大便器	1		1		1		1		1		2	
	女子大便器		1		1		1		1		1		2
	合計	3		3		3		3		3		6	

10Lと15Lはバケツが重いため便器にバケツを接して投入した。その実験を3回繰り返して流れる距離の平均値を求める。配管の勾配は1/100とし、排水管の全長は10mとしている装置で10m流れれば完全に流れたことになる。例えば、大便器の洗浄水量13Lの便器の例を下記に示す。

1枚重ねシングルでは6Lバケツで7秒かけて流すと、10mはトイレトペーパーが流れる。7秒以上かけて流すと10m流れない。

1枚重ねダブルでは6Lバケツで5秒かけて流すと、10mはトイレトペーパーが流れる。5秒以上かけて流すと10m流れない。

使用時の対応は、便器の種類によって搬送状況は異なるが、避難所では専門家がいらない限り便器の種類を明確にすることは不可能に近い状況である。そこで、下記の要領でバケツの水を便器に投入することを試みる必要がある。

まず試みる内容

- ① バケツに8L程度水を入れる
- ② 10秒程度で便器に流す

上記で流れなければ、バケツで流す時間(10秒程度)を変えずに、バケツの水量を増やすことを試みる。

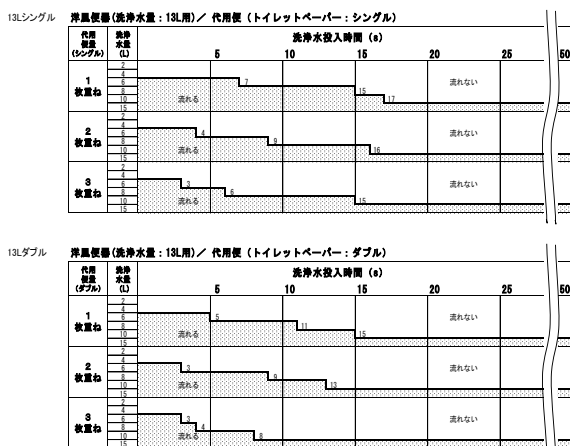


図4 洗浄水量、投入時間、トイレトペーパーの影響

(3) プール水の対応人員算定

体育館が避難施設として利用され、下水道や浄化槽が正常と判断された場合を想定し、プールの水をトイレ洗浄水に利用した場合のプールの水がなくなる日数を算定する。

ステップ①【避難者数の想定をする】

体育館面積 (㎡) ÷ 占有面積 2.0[☆]㎡/人 = 避難者数

☆国連難民高等弁務官事務所(UNHCR)における難民キャンプ設置時の緊急事態初期の一人あたりの占有面積は3.5㎡/人である。

ステップ②【グラフから必要洗浄水量を算出する。(図5早見表)】

ステップ①で算出した避難者数と準備しているバケツ容量を図5の直線から選び、必要洗浄水量(㎡/日)を算出する。

※必要洗浄水量(㎡/日)は、排泄回数を5(回/(人・日))として計算している。

ステップ③【プールの水が無くなる日数を把握する】

プール水面積 (㎡) × 水深 0.8^{**}m ÷ 必要洗浄水量 ㎡/日 = プールの水が無くなる日数

※財団法人日本水泳連盟「プール公認規則(2010.4.1 施行)」の25m一般プールの水深1.00m以上を使用し、80%使用を想定する。

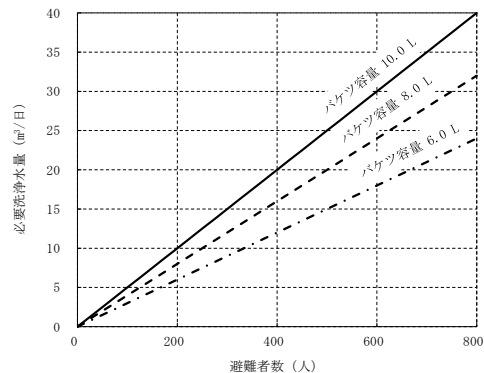


図5 避難者数に対する必要トイレ洗浄水量

2. 廃棄物の貯留 貯留室の規模算定

2.1 一般ごみ量

貯留区分は地域の分別収集区分により行う。規模は3日程度の堆積量を想定する。

避難所廃棄物(生活ごみ)の発生量 = 避難者数 × 1人当たり1日の発生量 1300g

貯留量 = 1日の発生量 g ÷ 見かけ比重 0.05kg/L × 3日分

1人当たりの発生量は下記より想定した。

平時排出量は1人当たり 963g³⁾ ~ 787g⁴⁾、地域、調査年、世帯当たりの人数等により幅がある。見かけの比重は平均 99~59g/l⁴⁾ である。

むつ等の多い特別老人ホームの参考数量は定員 1 人当たり約 1500 g である。⁵⁾ 避難所の排出量資料として弁当、ペットボトル、空き缶等が通常より多く 1 人当たり約 1200 g (通常 700 g) ⁶⁾

【例 300 人収容の場合】

避難所廃棄物(生活ごみ)の発生量=避難者 300 人×1 人当たり 1 日の発生量 1300 g =390kg
貯留量=(1 日の発生量 390kg÷見かけ比重 0.05kg)×3 日分=7,800L

2.2 おむつ類のごみ量

便袋の貯留量は下記により想定した。

・子供おむつ用

子供人数(避難者数×0.04(4%⁷⁾)×5 回/(人・日) 1 枚/人×使用日数分=使用枚数

・大人尿取りパットおむつ用

大人おむつ使用人数(避難者数×0.13(13%⁸⁾)×0.5(50%⁹⁾)×5 回/(人・日)×1 枚/人×使用日数分=使用枚数

・生理用品用

生理用品使用人数(避難者数×0.52(52%¹⁰⁾)×0.6(60%¹¹⁾)×0.25(25%¹²⁾)×1 枚/(人・日)×使用日数分=使用枚数

【例 300 人収容の場合】

・子供おむつ

子供人数(避難者 300 人×0.04×5 回/(人・日)×1 枚/人×3 日分=180 枚

1 枚(2L)とする 180 枚×2 L=360 L

・大人尿取りパットおむつ

大人おむつ使用人数(避難者 300 人×0.13×0.5×5 回/人・日×1 枚/人×3 日=293 枚

1 枚(2L)とする 293 枚×2 L=586 L

・生理用品

生理用品使用人数(避難者 300 人×0.52×0.6×0.25×1 枚/人×3 日分=70 枚

1 枚(0.5L)とする 70 枚×0.5 L=35L

袋は半透明のビニール袋で一般ゴミと分別の為表示が望ましい。

発災時は、大形ポリ容器 90 L(約 550φ×830 mm 高)6~7 個専用の大形ポリ容器を準備したい。

2.3 便袋の収集ごみ量

便袋を活用する状況は下記の 3 種類であり、既設の洋風便器、ポータブルトイレ、簡易に段ボールから作成トイレ、椅子を加工したトイレ等に便袋を設置して使用する。

① 災害時初期でトイレの準備ができない混乱期
② 素掘り式トイレ、簡易トイレ、既存のトイレすべて利用できない場合の最悪時

③ 足腰の不自由な避難者が利用する時
便袋の貯留量は下記により想定した。

貯留袋=避難者数×5 袋/(人・日)×使用日数分

【例 300 人収容の場合】

避難者 300 人×5 袋/(人・日)×3 日分=4500 袋

1 袋 0.002m³(2L)とすると 4500 袋×0.002m³/袋=9m³

おわりに

報告したガイドラインは避難所先の職員の方々が理解できるように、解説を行った。避難所の初期が重要であるので、日ごろから飲み水やトイレの対応をシミュレーションできることに重点をおいた報告である。なお、本報告は本学会東北支部東北地方の建築設備研究委員会の成果報告である。

参考文献

- 1) http://www.bousai.go.jp/taisaku/hinanjo/pdf/1604hinanjo_toilet_guideline.pdf、避難所におけるトイレの確保管理ガイドライン 内閣府防災情報
- 2) <http://www.mlit.go.jp/common/001111250.pdf>、マンホールトイレ整備・運用のためのガイドライン(案)国土交通省水管理・国土保全局下水道部
- 3) 環境省：一般廃棄物の排出及び処理状況等(平成 25 年)
- 4) 平成 23 年ゴミ排出実態調査書 板橋区：1 人世帯の可燃不燃資源ゴミの 1 日平均量
- 5) 山形県内某養護特別老人ホームのデータ(平成 26 年)
- 6) 阪神・淡路大震災・神戸市の記録 1997
- 7) 総務省統計局：人口推計(平成 25 年)0 歳~4 歳までの人口比率
- 8) 総務省統計局：人口推計(平成 25 年)75 歳以上の人口比率
- 9) (一財)医療経済研究・社会保険福祉協会 医療経済研究機構：介護老人福祉施設における施設運営の実態に関する調査研究」尿取りパット等の使用率
- 10) 総務省統計局：人口推計(平成 25 年)男女の人口比率
- 11) 総務省統計局：人口推計(平成 25 年)10 歳~55 歳の人口比率
- 12) 生理周期データ

B-13

震災被災者による都市河川での応急取水活動と水辺空間に関する研究 —東日本大震災での仙台市梅田川の場合—

○八十川淳（東北文化学園大学）

STUDY ON THE WATER DRAWING ACTIVITY BY THE DISASTER VICTIMS AND THE WATERSIDE SPACE OF THE CITY RIVER

—A Case Study of the UMEDA River in Sendai during the great East Japan earthquake—

Yasokawa Jun (Tohokubunkagakuen Univ.),

キーワード：都市河川， 応急取水， 震災被災者

はじめに

東日本大震災時、暫時、上水道が寸断し、生活用水の確保は多くの被災者にとって喫緊の課題となった。震災当時、河川や池など市街地内の公共水域が、一部の被災者により雑用水の応急水源として活用された。平成26年度に仙台市が策定した「地域防災計画」では避難所運営における雑用水確保の目的で河川の活用が盛り込まれている。災害時の雑用水確保のために河川活用を指示する事例は全国的にも少ない。しかし震災当時における河川活用の実態は把握されておらず、来るべき災害時に河川での応急取水の実践を支援する具体的施策も存在しないし、策定予定も存在しない。

当時の水道復旧の記録によれば、発災3月11日の夜には仙台市全域にて断水・減水区域が広がり3月12日に仙台市による応急給水が開始され（箇所数不明）、翌13日に11箇所、14日に42箇所、以後、日を追って応急給水所は増加し、3月23日の72箇所がピークとなる。給水車による最後の応急給水は3月31日の6箇所だった（仙台市水道局ホームページより）。応急給水の様子については、各所で長蛇の列が形成され、水を得るためには最低1～2時間以上の行列での待機が必要だった。給水車による応急給水は原則として飲料水のみとしていたが、雑用水を含む多量の給水を受ける被災者がほとんどだった。よって供給能力に制約のある広域災害時の応急給水においては、雑用水源の確保も非常に重要である。

筆者は仙台市梅田川において2013年度から仙台市の梅田川を事例として、護岸形状と緊急時の雑用水確保の作業性との関係などの関連調査を試行してきた。2016年度は表題に示すように、実際の利用者に対してヒアリングやアンケート調査を行った。この調査を通じて都市河川での応急取水実施のために必要な空間条件を考察するものである。

1. 調査方法

東日本大震災時に梅田川で応急取水を実施した作

業者は、河川から近距離の地域住民あるいは公共施設（臨時あるいは予備避難所等として機能した市民センター、体育館、コミュニティセンター、町内会集会所等）の関係者と想定し、以下の方法にて聞き取り調査を実施した。質問項目は表1に示す。作業期間は平成26年12月～平成28年4月だった。

(1) 地域住民による雑用水確保の実態について

梅田川本流の河川美化推進協議会等に参加する44の町内会の会長へヒアリングし、町内での河川水利用の有無を把握した（調査A）。このうち梅田川での取水があった12の町内会については、アンケートにより当時の取水の様子について調査した。対象を当該町内会の会長を含む役員および班長として震災当時の自身および家族の様子を回答していただいた（調査B）。

(2) 公共施設での雑用水確保の実態について

梅田川から直線距離500m以内にある市民センターやコミュニティセンター等を対象とした。該当する33の公共施設の責任者に連絡確認し、取水実施した5つの施設には、当時の取水の詳細な様子についてヒアリングにより確認を行った（調査C）。

2. 取水場所の分類

護岸上から河川高水敷へ一般利用者がアクセスすることを前提とした階段やスロープ等の整備箇所を「アクセス箇所」と定義する。アクセス箇所に川沿いの公園や河川敷広場も含まれる。梅田川本流にアクセス箇所が43か所、支流に5箇所あることを確認した（図1のNo.1～48）。

一方、アクセス箇所以外の場所での取水もあった。具体的には河川管理者の管理作業用ステップ（2箇所）や、護岸に脚立の設置（1箇所）、護岸法面をそのまま上り下り（9箇所）など、一般立入できない護岸で12箇所（図1のNo.201～212）、橋上から3か所（図1のNo.401～403）だった。これらを「アクセス困難な水辺」と定義する。

護岸上から河川高水敷へ一般利用者がアクセスす

ることを前提とした階段やスロープ等の整備箇所を「アクセス箇所」と定義する。アクセス箇所に川沿いの公園や河川敷広場も含まれる。梅田川本流にアクセス箇所が43か所、支流に5箇所あることを確認した(図1のNo.1~48)。

一方、アクセス箇所以外の場所での取水もあった。具体的には河川管理者の管理作業用ステップ(2箇所)や、護岸に脚立の設置(1箇所)、護岸法面をそ

表1 ヒアリングとアンケートの質問項目

調査A-町内会長へのヒアリング項目(町内会の一次調査)		
1. 町内会名称	2. ヒアリング回答者	3. 市街地密度
4. 震災当時の水利用に関する町内会構成員の様子(①~⑤)		
①断水したか(Y/N)、断水の期間は		
②河川で取水する住民はあったか(Y/N)		
③河川で取水の方法は?特に町内会として工夫や実践		
④町内会範囲内で河川以外の給水場所の有無(Y/N)		
⑤町内会範囲外の給水場所名称		
5. 震災時に拠点施設として機能した町内施設の水利利用(①~⑨)		
①拠点として機能した施設の有無(Y/N)		
②施設種類(集会所・コミュニティセンター・市民センターほか)		
③施設名称		
④当該施設は断水したか(Y/N)		
⑤河川で取水の有無(Y/N)		
⑥取水期間		
⑦河川で取水の方法は?特に施設として工夫や実践		
⑧町内会範囲内で河川以外の給水場所の有無(Y/N)		
⑨町内会範囲外の給水場所名称		
6. 町内会と近隣河川(梅田川)とのかかわり		
調査B-地域住民の取水のアンケート項目(町内会の二次調査)		
1. 震災時の居住地	2. 住まい形式	3. 当時の同居人数
4. 断水の有無と期間		
5. 河川水の利用の有無(Y/N)		
6. 河川水を利用した際の様子(下記①~⑫)		
①川の水を利用した理由(a~f、複数可) a川が身近か、b給水所より近い、c混雑回避、dアイデアが浮かんだ、 e他人が利用する様子見て、fその他(1ポンプ設置、2自由記入)		
②運搬手段(a徒歩、b自転車、cクルマ、d台車、eその他)		
③取水作業人数		
④取水道具		
⑤取水日数		
⑥一日の実施回数		
⑦一回の取水量と一日の合計水量		
⑧水の使用用途		
⑨取水時の課題、印象		
⑩運搬時の課題		
⑪取水場所と自宅および運搬経路(地図に記入)		
⑫水汲み場所の選定理由(a~g、複数可) a自宅から近い、b以前訪れた経験、c降りる場所として記憶、 d町内会での河川清掃経験、e他人が利用している様子見て、 f水汲み運搬の適所、gその他(1ポンプ設置、2自由記入)		
7. 川で水汲みしない場合の生活用水の水源		
調査C-公共施設の取水のヒアリング項目		
1. 施設名称	2. ヒアリング回答者	
3. 施設立地(公共水域までの距離)	4. 震災時の機能	
5. 震災時の水源(下記①~③)		
①断水の有無(Y/N) および断水期間		
②河川での取水の有無(Y/N)		
③河川以外の給水場所の有無(Y/N) および場所		
6. 河川で取水した場合の様子(下記①~⑩)		
①取水方法、および施設での貯留方法		
②運搬手段(a徒歩、b自転車、cクルマ、d台車、eその他)		
③取水作業人数		
④取水道具		
⑤取水日数		
⑥一日の実施回数		
⑦一回の取水量と一日の合計水量		
⑧水の使用用途		
⑨取水時の課題		
⑩運搬時の課題		
⑪取水場所と自宅および運搬経路(地図に記入)		
7. 当該施設における河川との日頃のかかわり		

のまま上り下り(9箇所)など、一般立入できない護岸で12箇所(図2のNo.201~212)、橋上から3か所(図1のNo.401~403)だった。これらを「アクセス困難な水辺」と定義する。

3. 調査結果

3-1 取水実施の有無と町内会による取水支援策の実施について(調査A)

取水実施は27%(12/44)の町内会で確認された。断水期間と町内の被災者等による応急取水実施の有無を図3に示す。「断水なし」の町内会では全く河川取水されなかった(0/6)。「1~4日の断水期間」では5%(1/22)の町内会にて河川で取水があった。「1週間程度の断水期間」では55%(6/11)の町内会にて、「2週間程度」では100%(4/4)の町内会にて、「3週間程度」では100%(1/1)の町内会にて、町内の被災者等による河川での取水があった。断水期間1~4日の場合、風呂の残り水など個人備蓄で対処の間に水道が復旧したとのこと。1週間程度の場合は1町内会が井戸を共用していた。

町内会長などの判断にて町内のために河川での応急取水の支援策を企画・実施した事例は7町内会で、その内容を表2に示す。

3-2 地域住民による自宅での雑用水確保のための取水実施の実態(調査B)

取水があった12町内会からの回収数222のうち、現住所地で被災し、断水を経験した回答数は196だった。このうち梅田川で応急取水を行った回答32%(62/196)、川で取水しなかった回答68%(134/196)だった。川で取水しなかった回答については、断水期間が1~2日の場合は家庭の備蓄でしのいでいた。断水期間が長い場合は、大半が飲料と雑用水を近隣の小中学校での給水車による応急給水にて獲得しており、そのほか稀に、水の出る知人の水道を借りたケースや、発災1~2日後に復旧した自家の水道を地域に提供したり、自宅や近隣の井戸を利用、近隣の人が届けてくれた、あるいは断水しなかった公共施設の水道を利用した等のケースもあった。

河川で応急取水を実施した回答者の平均断水期間は8.6日、取水実施の平均日数は6.0日だった。発災後2日程度は家庭の備蓄や浴槽水でしのぎ、概ね3日目以降から河川で応急取水を実施したケースが多かったと考えられる^{注5)}。そして応急取水のために川と自宅など避難先との間を一日に平均2.2回、往復している(以下、川と避難先との往復回数を「実施回数」とする)。1回の取水量が平均23.0Lで、一日の合計取水量は平均46.4Lだった。震災当時の家庭での避難人数は平均3.4人、当時、河川水を利用した場合の水量は平均で13.4L/人・日と判明した。

表 2 町内会による応急取水の支援事例

<p>事例① 橋上にバケツとロープを設置 (実施場所は図7のNo.401)</p> <p>震災発災から町内会長自宅の井戸を提供していたが、湧水量が少なく涸れてしまったため、近所の橋上にバケツとロープを設置して、水汲み場所として提供した。幹線道路付近の橋に設置したため、町内会構成員よりも域外の被災者による利用が多かったとのことだった。また川に下したバケツが水面に浮き、水が入らないため、バケツの中におもりの石を入れるなど工夫が必要だった。結果、水汲み作業を繰り返すうちにバケツが壊れた、とのこと。</p>
<p>事例② 工事業者から可搬エンジンポンプを借用設置 (実施場所は図7のNo.201)</p> <p>発災4～5日の後、近隣の工事業者から可搬エンジンポンプを2日間、夕方16～17時の1時間だけ、応急的に設置・稼働してもらった。その案内は回覧板と町内会掲示板で実施したが、後日、町内会未加入の住民から、河川水取水のアイデア通知がなかったことで水汲みできなかった、とする苦情が寄せられた、とのこと。なおポンプ設置場所のNo.201は町内会による毎月1回の河川清掃の拠点の水辺空間である。</p>
<p>事例③ 立ち入りできない護岸にハシゴ設置 (実施場所は図7のNo.203)</p> <p>発災後、4日間程度、昇降できない護岸の上に水汲み時に使用できるようにハシゴを設置した。利用者はハシゴを利用して水汲み作業後、ハシゴを護岸の上に戻しておくようにした。なお、実施場所のNo.203は、毎月1回、町内会での河川清掃時にハシゴを用いて、立ち入る護岸である、とのこと。</p>
<p>事例④ 域外からの被災者の雑用水給水場所として川辺へ誘導 (実施場所は図7のNo.20)</p> <p>町内会が運営支援した避難場所(原町小学校)に、多賀城市や塩釜市など想定を超えた広域・遠方からの被災者が自動車でも水を求めて集まったため、その雑用水の給水場所として河川敷広場を案内・提供したものである。この時、町内の街路は取水に集まった車で交通マヒになった、とのこと。</p>
<p>事例⑤ 川辺に町内会拠点を設営して炊き出しと取水実施 (実施場所は図7のNo.24)</p> <p>発災日と翌日の2日間、川辺に町内会拠点としてテントを設営して炊き出しと取水を実施した。場所は、町内会での夏まつりを行う川辺の公園、とのこと。</p>
<p>事例⑥ 町内会集会所のトイレ用水確保のための取水実施 (実施場所は図7のNo.20、24)</p> <p>施設Cでは町内会拠点の運営のためにNo.24で、施設Eでは身体の不自由な町内の避難所として運営するためにNo.20で、トイレ用水・雑用水を河川から取水した、とのこと。なお町内会集会所は断水していた。</p>

3-3. 公共施設での雑用水確保のための取水実態 (調査 C)

市民センターとコミュニティセンターは梅田川近隣に 8 施設存在し、そのうち河川取水を実施したのは「荒巻コミュニティセンター (施設 A)」、「福沢市民センター (施設 B)」、「東部市民センター (施設 D)」の 3 施設だった。また 44 町内会のうち、河川水を取水利用した集会所は「原町中央集会所 (施設 C)」と「中原町内会館 (施設 E)」の 2 施設だった。立地は施設 B が梅田川に隣接するが、他は内陸側に離れている。取水場所までの移動距離は 150～500m、平均 270m だった。5 施設とも震災当時、何らかの応急拠点機能を担った。

取水日数と実施回数は、施設 A が 1 日のみで合計 5 回、施設 B が 20 日で 1 回/日、施設 C が 15 日で 1 回/日、施設 D が 20 日で 0.5 回/日、施設 E が 3 日で 2～3 回/日だった。用途はトイレ洗浄用だった。

取水方法については、施設 A は「消防バケツ 6 個を台車と一部区間は徒歩にて 4～5 人」で 30L/回を図 1 の No. 11 にて取水し、防火用水槽に蓄えた。施設 B は「初回は 18L ポリタンク 10 個を台車に乗せて

4 人で、2 日目以降は同ポリタンクを 2 個 2 人」で 2 日目以降は 30L/回を図 1 の No. 402 の橋上から取水した。施設 C は「18L ポリタンク 4 個を手を持って徒歩 3～4 人」で 60L/回を図 1 の No. 20 にて取水した。施設 D は「60L ゴミ容器を台車に乗せて 2 人」で 30L/回を No. 23 にて取水した。施設 E は「一斗缶 4 個を台車に乗せて 2 人」で 40L/回を No. 24 にて取水した。運搬方法は台車が 80% (4/5) で徒歩が 20% (1/5) だった。

4. 雑用水確保の実施場所について考察 (まとめ)

1) 東日本大震災時、町内会エリア I～VII の梅田川の水辺では一部の地域住民が雑用水を応急取水していた。避難所や復旧支援の拠点となった公共施設でも取水を実施していた。遠方から車で移動して取水する事例もあった。

2) 地域住民による取水作業は、一日平均 2.2 回実施して、各回 2.0 人の作業人数で一回平均 23.0L、一日合計平均 46.4L を取水した。家庭での避難人数一人当たり平均 13.4L/日の取水量だった。なお断水期間は平均 8.6 日で応急取水の実施期間は平均 6.0 日、発災から概ね 3 日目から河川での応急取水を開始したと思われる。水辺から自宅までの運搬距離は平均 217m で、運搬手段は徒歩での携行が 68% (39/57) で最多だった。

4) 5 つの公共施設での取水の頻度や方法等は大きく異なった。運搬手段は台車が 80% (4/5) で最多だった。

5) 町内会エリア I～VII 内にアクセス箇所は 18 で、このうち 13 箇所では河川からの取水が実施された。利用されたアクセス箇所ではアプローチ勾配が 16～40° に対して、利用されなかったアクセス箇所は 55～63° の急勾配で、入口扉に施錠されたものも多かった。またアクセス困難な水辺でも 15 箇所において応急取水された。このうち利用が集中した No. 201 と 203 は町内会による河川清掃時の河川高水敷への進入場所だった。

以上、震災時に梅田川ではアクセス整備された一部の場所やそれ以外において取水実施が確認された。ある地域では取水作業性向上のための整備要望もある。震災時の長期断水の経験を経て、仙台市では災害時給水施設の整備を進めている。本報の結果は、都市河川の災害時給水の補完機能のために「応急取水用のアクセス整備」が有効かつ必要であることを示している。なお、本研究では梅田川を調査事例として応急取水活動を調査した。今後は河川規模の違った対象についても、同様の調査が必要である。

謝辞 本研究の一部は、平成 26～27 年度公益財団法人河川財団の河川整備基金の助成を受けて実施した。



図1 東日本大震災時に応急取水が実施された水辺

表1 河川での応急取水実施エリアとその利用頻度、利用主体、応急取水の実施された場所

エリア	利用主体の分類	回答者総数	取水実施数	取水実施率%	取水日数 (平均値)	実施回数 (延べ)	実施回数 (一日平均)	アクセス箇所		アクセス困難な水辺	
								利用されたアクセス箇所 (アプローチ勾配)	利用されなかったアクセス箇所 (アプローチ勾配)	護岸での利用箇所	橋上での利用箇所
I	域内での利用 公共施設: なし	15	4	27	3.3	25	8	No.26(27°)	...	No.210,211,212	...
	域外からの利用	なし						...	...	...	...
II	域内での利用 公共施設: 2施設	125	43	34	6.4	637	100	No.22(34°), 23(32°), No.24(29°), 25(18°), No.44(33°)	No.45(63°), 46(63°), No.47(63°), 48(63°)	No.204,205,206, No.207,208,209	No.403
	域外からの利用	なし						...	...	...	...
III	域内での利用 公共施設: 1施設	2	2	100	22.5	45	2	No.20(16°)	...	...	...
	域外からの利用	多数(広域から集中)						No.20(16°)	...	...	...
IV	域内での利用 公共施設: なし	37	7	19	4.0	56	14	No.15(34°), 16(33°), No.17(33°)	...	No.203	...
	域外からの利用	なし						...	...	...	...
V	域内での利用 公共施設: 1施設	18	3	17	8.0	30	4	...	No.14(55°)	No.202	No.401
	域外からの利用	利用あり						...	...	...	No.401,402
VI	域内での利用 公共施設: なし	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	域外からの利用	利用あり						No.12(27°)	...	...	...
VII	域内での利用 公共施設: 1施設	27	8	30	5.6	125	22	No.10(26°), 11(40°)	...	No.201	...
	域外からの利用	なし						...	...	...	...

※エリアIIIについては調査対象数がきわめて少なかったため、取水実施に関する調査結果は参考値である。実際は多くの取水があったとの報告である。



図2 No. 22の水辺



図3 No. 23の水辺



図4 No. 25の水辺



図5 No. 201と昇降ステップ



図6 No. 203水辺



図7 No. 14の階段(55°)



図8 No. 45の階段(63°)



図9 No. 48の入口扉と施錠

B-14

秋田県における非住宅建築物の低炭素化に向けた省エネルギーシナリオの作成

○内海 禎一 (秋田県立大学), 長谷川 兼一 (秋田県立大学), 竹内 仁哉 (秋田県立大学),

松本 真一 (秋田県立大学)

Proposal of energy saving scenario towards low carbon society of non-residential buildings in Akita

Utsumi Tomokazu (Akita Prefectural University), Hsegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University), Takeuti jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ih (Akita Prefectural University)

キーワード：非住宅建築物, エネルギー消費量, 省エネルギーシナリオ

1. はじめに

近年, 温室効果ガスが原因で地球温暖化問題が喫緊な問題となっている。日本の現状として, CO₂ 排出量は増加傾向にあり, 住宅及び業務ビルを含む民生部門の CO₂ 排出量が全体の約 4 割を占めている。また, 秋田県においても CO₂ 排出量は増加している。これを受けて 2017 年 3 月に「第二次秋田県地球温暖化対策推進計画」¹⁾を策定し, 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, 人口動態や建物用途に対応できるマクロモデルによる推計が有効である。

伊香賀ら²⁾は, 業務用建築起因 CO₂ 排出量の超長期予測モデルの開発し, 業務用建築における削減ポテンシャルを検討した。

筆者らは, 伊香賀らの手法を参考にマクロモデルの予測精度の向上に取り組み, 秋田県における民生業務部門の低炭素化シナリオの削減効果を検討したので報告する。

2. 非住宅建築物のエネルギー消費量の推計方法

図-1 に建設・運用・改修・解体段階における推計方法の概要を示す。エネルギー消費量推計モデルを構築するにあたり, 伊香賀らの手法³⁾を参考にした。エネルギー消費量の推計は, 各段階の原単位に床面積を乗じて推計する。

3. 運用段階におけるストック床面積の推計

3.1 推計手法

表-1 に建物用途別の原単位と数量を示す。運用段階の建物用途別ストック床面積は「原単位」に「数量」を乗じることで算出する。原単位とは, 例えば事務所では, 「オフィス人口 1 人あたりの床面積」, 学校施設では, 「就学者 1 人あたりの床面積」といった, 各種建物用途のストック床面積に関係しているものであり, 標準化された床面積のことである。数量に関して, 事務所・学校施設・医療施設・文化施設は, 将来人口の推移に, 商業施設・宿泊施設は, 日本の GDP の推移に関連するとして推計する。

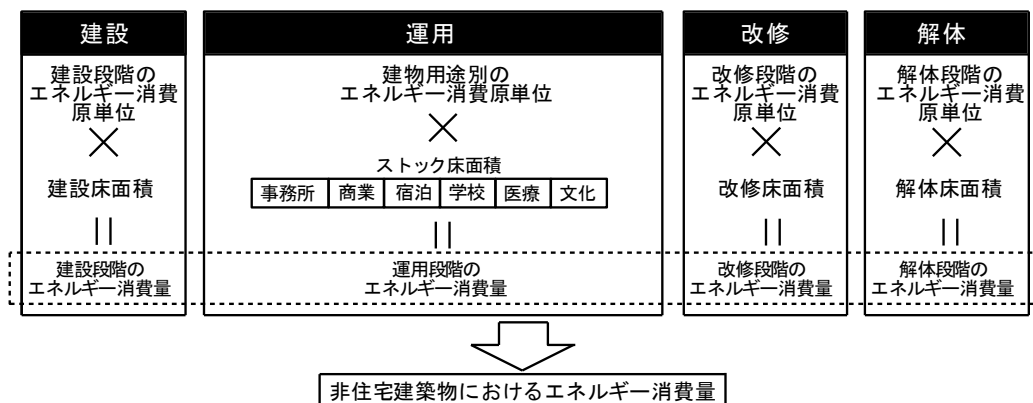


図-1 建設・運用・改修・解体段階における推計方法

3.2 推計結果

図-2 に秋田県における運用段階のストック床面積を示す。各建物用途を合計した秋田県全体のストック床面積の推移は、2050年の時点で2000年比0.54倍まで減少する。その中でも小・中学校のストックの減少量が大きく、2050年時には2000年比0.27倍まで減少する結果となった。これは、少子化に伴う減少だと考えられる。小・中学校の割合は、2000年時に全体の21%を占めているのに対し、2050年には11%にまで減少する。病院・福祉施設は、2000年には11.9%を占めているのに対し2050年には13.4%に減少する結果となり、高齢化に伴い増加傾向であることが確認された。また、商業施設のストック床面積は2000年には21.9%を占めているのに対し2050年には32.7%に増加する結果となった。

4. 運用段階のエネルギー消費量

4.1 エネルギー消費量の推計結果

ストック床面積にエネルギー消費原単位を乗じてエネルギー消費量を推計した。エネルギー消費原単位は、DECCの公開用データベースより地域別・建物用途別・面積区分別単位床面積当たりの年間一次エネルギー消費量³⁾を使用した。さらに、事務所、デパート、コンビニ、大型店舗、飲食店、宿泊施設の6用途は、既往研究⁴⁾と省エネルギーセンターのリファレンス値⁵⁾より空調、給湯などの消費用途の割合を算出し、消費用途別にエネルギー消費原単位を推計した。

図-3 に運用段階におけるエネルギー消費量の推移を示す。運用段階におけるエネルギー消費量の推移は、2005年から2050年にかけて徐々に減少し、2050年時には、2000年比で0.7倍となる。また、商業施設のエネルギー消費量は、各年全体の4~5割を占めており、学校施設のエネルギー消費量は、各年1割にも満たない結果となった。

4.3 実績値との比較

図-4 に本研究で推計したエネルギー消費量と秋田県の実績値を比較した図を示す。実績値には、経済産業省が公表している都道府県別エネルギー消費統計⁶⁾の中から本研究で対象としている第三次産業の値を使用した。2000年から2014年の予測値と実績値との相対誤差は、4.3%、8.9%、10.6%、2.9%であり、予測精度として妥当な範囲に収まっている。

表-1 建物用途別の原単位と数量

大分類	小分類	原単位	
		事務所	数量
商業	デパート	オフィスワーカー1人あたりの床面積	オフィスワーカー数
	コンビニ	年間商品販売額あたりの床面積	年間商品販売額
	大型店舗		
	家電量販店		
	その他物販		
宿泊	飲食	飲食売上高あたりの床面積	飲食売上高
	ホテル	宿泊収入額あたりの床面積	宿泊収入額
学校	幼稚園	就学者1人あたりの床面積	就学者数
	小・中学校		
	高校		
	大学		
医療	病院	患者1人あたりの床面積	患者数
	福祉施設	定員1人あたりの床面積	定員数
文化	劇場・展示	人口1人あたりの床面積	総人口

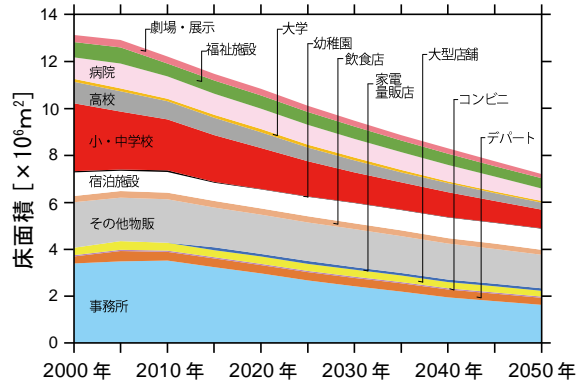


図-2 運用段階のストック床面積

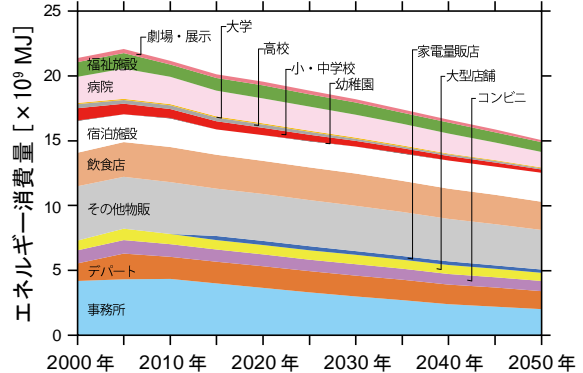


図-3 運用段階のエネルギー消費

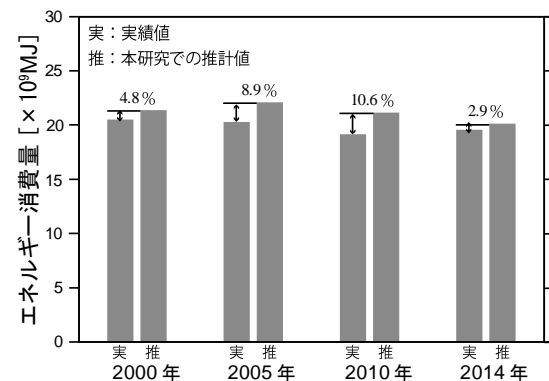


図-4 推計値と実績値の比較

5 建設・改修・解体段階のエネルギー消費量

5.1 床面積の推計

2015年までの建設・解体段階については、建築着工統計調査の建設面積、解体面積などを基に推計した。2016年以降の推計値に関しては、ストック床面積における解体床面積の割合である解体率から推計した。改修床面積については、新築後20年周期で改修工事が行われると仮定し、毎年の改修床面積を推計する。図-5に建設・改修・解体段階の床面積の推移を示す。各段階の床面積は、2050年にかけて減少する結果となった。

5.2 エネルギー消費量の推計

建設・改修・解体段階におけるエネルギー消費量は、日本建築学会の建物のLCA指針⁸⁾よりエネルギー消費原単位を算出し、各段階の床面積を乗じて推計する。使用する評価モデルは、日本建築学会の標準オフィスモデル(RC造、延べ床面積7583㎡を設定した。事務所ビルの部材構成や使用に関しては、一般的な使用を想定し、建物のLCA指針のデフォルト値を用いた。図-6に建設・改修・解体段階におけるエネルギー消費量の推移を示す。全体の傾向として2000年以降、減少傾向にあり、各段階の内訳を見ると、建設段階が最も大きく全体の85%を占めている。

6章 省エネルギーシナリオの作成

6.1 BAU ケースにおける将来推計

図-7に運用・建設・改修・解体段階における対策しないケース(BAU ケース)を示す。BAU ケースのエネルギー消費量は、2000年から減少傾向にあり、2050年時には2000年の0.53倍となる。段階別の割合では、2000年時に運用段階が6割を占め、建設・改修・解体段階が4割を占める。2050年時には、運用段階が8割を占め、建設・改修・解体段階が2割を占めると結果となった。このことから、長期的に見た場合、運用段階におけるエネルギー消費量の削減が必要であると言える。そこで、省エネルギーシナリオにより、運用段階のエネルギー消費量の削減効果を検討する。

6.2 省エネルギーシナリオの設定

表-2に各シナリオの内容を示す。BEMS導入シナリオとLED照明導入シナリオの導入率は、地球温暖化対策計画¹²⁾を参考に設定した。運用改善シナリオの実施率については、既往研究¹³⁾を参考に設定した。

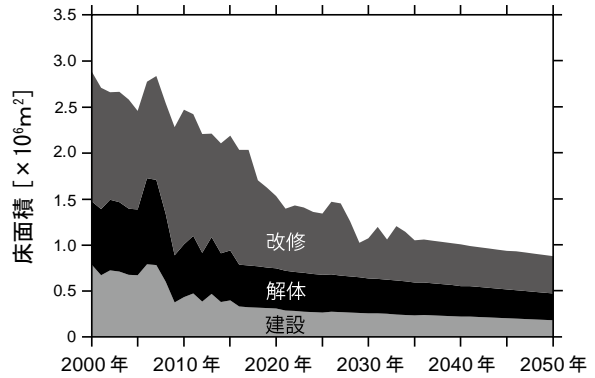


図-5 建設・改修・解体段階の床面積

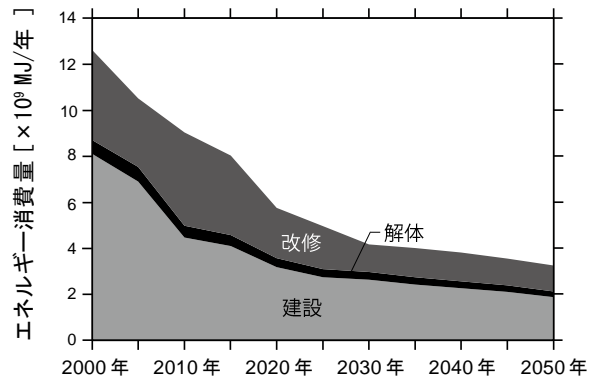


図-6 建設・改修・解体段階のエネルギー消費量

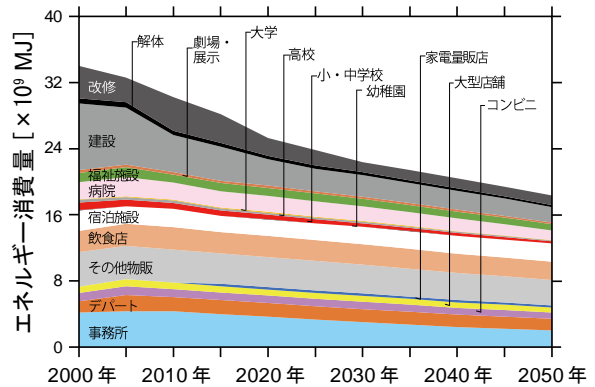


図-7 BAU ケースのエネルギー消費量

表-2 省エネルギー対策の内容

番号	対策項目	具体的内容	文献No.
(1)	BEMS導入	BEMS導入によりエネルギー消費原単位4.7%削減・導入率:2030年時47%(2050年まで一定)	9)
(2)	LED照明導入	従来型蛍光灯からHf蛍光灯または直管形LED照明に交換した場合、照明消費電力が40%削減・導入率:2030年時100%(2050年まで一定)	10)
(3)	運用改善	簡単に行える省エネ行動の削減効果を反映・実施率:2030年時100%(2050年まで一定)	10)
(4)	新築改善	事務所: ZEB ready化した場合、原単位30%削減 コンビニ: 建物の断熱性を向上させた場合、空調用原単位40%削減	4), 11)
(5)	複合	(1)~(4)の対策を行った場合の削減効果を反映	

6.3 推計結果

図-8、図-9 にシナリオ毎のエネルギー消費量、CO₂排出量の推移を、図-10、図-11 に2030年時の推計値を示す。削減効果の最も高かった複合シナリオのエネルギー消費量は、2050年時に2000年比で0.59倍となり、BAUケースと比べ11.5%減少する。同様に複合シナリオのCO₂排出量は、2050年時に2000年比で0.63倍となり、BAUケースと比べ13.3%減少する。これは、秋田県の目標である2013年比で21%の削減を達成する結果となった。しかしながら、国の計画では、2050年までに80%の温室効果ガスの削減を目指しているため、秋田県においても更なる削減が必要であると言える。今後は建設・改修・解体段階における省エネルギーシナリオの作成や全建物用途の原単位を消費用途別に推計し、精度の高い将来推計を目指す。

7. まとめ

民生業務部門の低炭素化に向けた省エネルギーシナリオを作成するため、マクロモデルを構築し、5パターンのシナリオでエネルギー消費量、CO₂排出量の削減効果を検討した。

その結果、複合シナリオにおけるCO₂排出量は、秋田県の削減目標を達成する。今後は、建設・改修・解体段階の省エネシナリオの作成や、マクロモデルを改善することが望まれる。

参考文献

- 1) 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;2017.3
- 2) 新谷圭右, 伊香賀俊治, 村上周三：建築・都市のサステナビリティに関する研究(その6) 業務用建築起因CO₂排出量の都道府県別予測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.2259-2262, 2008.8
- 3) 日本サステナブル建築協会：非住宅建築物の環境関連データベース(DECCE), <http://www.jsbc.or.jp/decc/index.html>
- 4) 積雪寒冷地域におけるコンビニエンスストアの店内 温熱環境及び電力消費特性に関する研究, 菊田弘輝他, 日本建築学会環境系論文集, 第77巻, 第667号, 583-590, 2012.7
- 5) 一般財団法人省エネルギーセンター, <https://www.eccj.or.jp/index.html>
- 6) 経済産業省：都道府県別エネルギー統計表
- 7) 国土交通省：建築着工統計調査
- 8) 日本建築学会：建物のLCA指針, 2006.11
- 9) 芳賀祐輔, 中島卓巳他, 既存業務建物へのBEMS等の導入による省エネ効果に関する調査研究(第1報)BEMS導入建物の省エネルギー効果 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 2012.9
- 10) 経済産業省：夏季の電力需要対策について 2012.5
- 11) 星野聡他, 寒冷地庁舎における環境負荷低減に関する研究(第1報)計画概要と年間エネルギー消費実態
- 12) 環境省：地球温暖化対策計画;2016.5.
- 13) 電力中央研究所報告：事業所アンケート調査に基づく2011年夏の節電実態-東日本地域を中心とした分析-, 2012.5

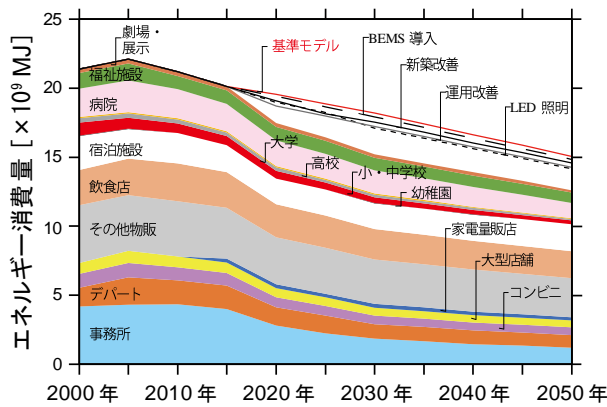


図-8 複合シナリオのエネルギー消費量

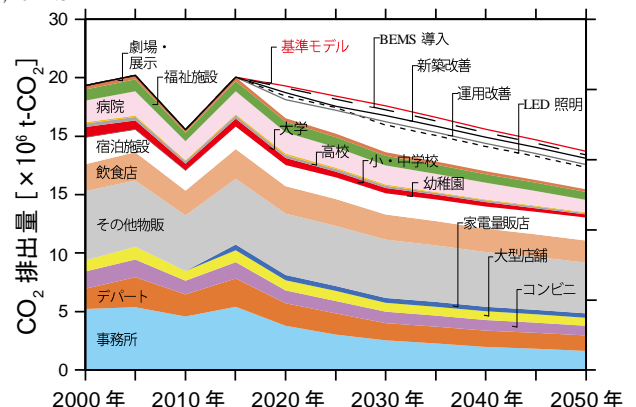


図-9 複合シナリオのCO₂排出量

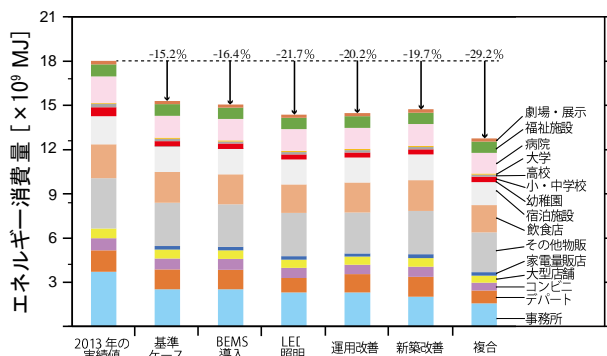


図-10 2030年時点のエネルギー消費量の比較

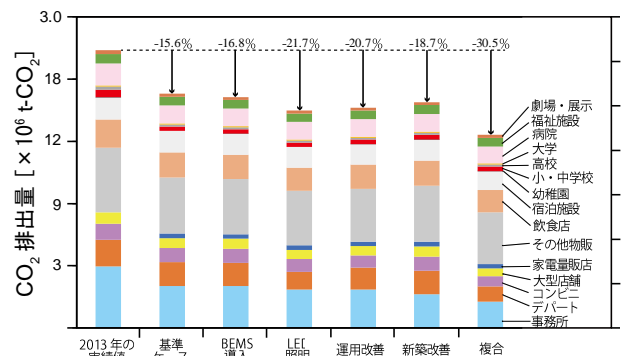


図-11 2030年時点のCO₂排出量の比較

B-15

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

第2報 電力モニタリングデータに基づく電力需要予測モデル

○大塚 彩美 (横浜国立大学), 中村省吾 (国立環境研究所), 平野勇二郎 (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), 鳴海大典 (横浜国立大学)

Study on Residential Electricity Monitoring in Shinchi-Town, Fukushima Prefecture Part.2 Electricity demand modeling based on the electricity monitoring data

Ayami Otsuka (Yokohama National University), Shogo Nakamura (National Institute for Environmental Studies), Yujiro Hirano (National Institute for Environmental Studies), Kei Gomi (National Institute for Environmental Studies), Tsuyoshi Fujita (National Institute for Environmental Studies), Daisuke Narumi (Yokohama National University)

キーワード：電力消費，モニタリング，需要予測，気象影響

はじめに

福島県新地町では環境未来都市に選定されて以来、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。

地域 ICT システムの機能については前報¹⁾にて詳しく述べたとおりであるが、このうちエネルギー部分については、火力発電や自然エネルギーを利用した地域エネルギー会社によるエネルギー供給と、スマートメータおよびその表示端末である「新地くらしアシストシステム」を通じたエネルギーの見える化の他、今後はデマンドレスポンス等の一歩進んだ需給調整を行うことが予定されている。本稿では、今後のエネルギーマネジメントに資することを目的に、このシステムの一環として蓄積されてきた電力モニタリングデータを用いて需要予測モデルを構築するための影響要因を検討した。

1. 分析の方法

本研究の地域 ICT システムにおける電力モニタリングは、公募によるモニター世帯を対象に2014年6月から順次電力モニタリングが開始された。現在は約70軒のモニター世帯が計測対象となっている。各世帯では家全体の総電力消費量の他に、6系統の系統別電力消費量を計測している。ただし系統は統一されていない。

電力需要予測を行う際には、大きなサンプル数を採用することにより母集団に対する代表性を確保して行うことが多い。本研究で対象としているモニター世帯は公募による約70世帯と比較的少数であること等を勘案し、本稿では1世帯ごとのデータからの積み上げ方式で需要予測を試みることにした。

分析には2016年1月から2017年12月までの電力モニタリングデータを用い、まず平日、休日ごとに各時刻の電力消費量と気象庁が公開している気温の時刻データ（新地町）から冬季および夏季の分岐外気温を算定する。エアコン系統を個別で計測している世帯については、分岐外気温の算定の際に実際のエアコン系統の利用状況を参考にした。次に、そこで算定された分岐外気温で区分した冬季、中間期、夏季ごとに時刻別の総電力消費量を従属変数として重回帰分析を行った。説明変数には、気温に加えて降雨量（新地町）および日照時間（相馬）を用いた。

なお本稿では例として任意で抽出した1世帯の分析結果を示す。対象とした世帯は、2014年のモニター申込時のアンケートによれば、世帯主の年齢は30代、小学生以下の子どもが同居している5人家族世帯である。住居は1994年築の木造戸建て住宅（床面積298平米、9部屋構成）で、太陽光発電設備が設置されている。冷暖房に関しては電気と灯油の併用と回答している。また世帯主は

給与所得がある正規雇用就いており、平日の日中には1人が在宅している。2017年秋に行ったアンケートでは世帯構成に関する変化は報告されていない。

2. 結果と考察

図-1は当該世帯の各時刻、気温における居間のエアコンシステムの利用率を示したものである。図では代表的なエアコン利用を示していると思われる時間帯のみを抜粋した。朝4時頃から気温感応を開始し、5時には12℃以下ではほぼ100%の日においてエアコンが利用されている。その後8時代には利用が減り始め、10時～14時の日中は12時～13時の昼の時間帯に利用が若干見られるが利用は少ない。その後16時代から利用が再び増加し、朝5時とほぼ同様になるのが18時である。

図-2はこれを基に算出した冬季および夏季におけるエアコン利用の境界となる分岐外気温を示したものである。0時～3時の夜中は居間のエアコンはほとんど利用されていないため、境界気温は空欄となっている。その後の重回帰分析の実施においては、境界が定められない時刻については各時刻の分岐外気温の平均値（冬季7.6℃、夏季24.9℃）を用いた。また時刻独自の境界気温が平均値と比べ5割以上の差がある場合には平均値を用いた。

次に時刻別境界区分別に、家全体の電力消費量を従属変数とした重回帰分析を行い、電力消費量に対する説明変数を検討した。この結果、図-3に示すとおり、冬季においては12～13時には日照時間が、18時には降雨量が影響する以外は気温の影響が大きいと示された。中間期は逆に朝～日中の時間帯は日照時間が主影響要因で、夜～早朝には気温が影響している。夏季は朝と夜の団らん時間帯は気温の影響が大きい、昼間は気温と降雨量、日照時間の混合影響と示された。気候的に比較的涼しいこともあるが、気象影響が強くない時間帯には在宅人数やエアコンシステムによらない影響要因の検討も必要であると思われる。

3. まとめ

本稿では、電力需要予測モデルの構築に資することを目的に電力モニタリングデータに基づく個別世帯のエアコン利用を中心とした気象影響を検

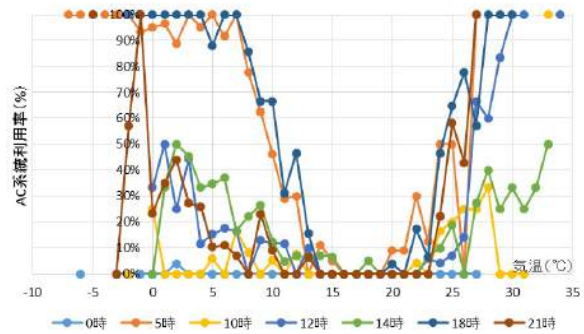


図-1 各時刻・気温における居間エアコンの利用率

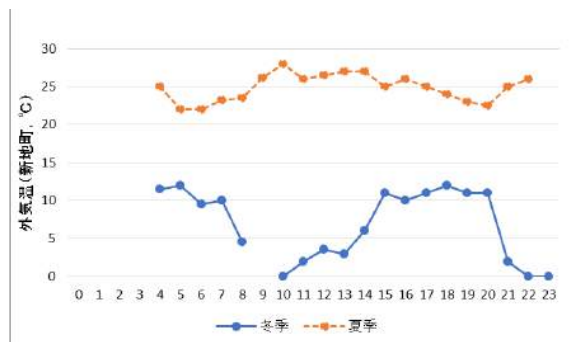


図-2 時刻別 居間エアコン利用の境界気温



図-3 季節別・時刻別電力消費量に対する気象影響

討した。今後はこれらの結果を基にモデルの検証およびより多くの世帯の分析から属性別のモデルを構築していく予定である。

謝辞

本研究は環境省「平成29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) 中村省吾・平野勇二郎: 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, 空気調和・衛生工学会 東北支部大会論文集, (2017)

B-16

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

第3報 電力需要の季節変化と気温感応度の分析

○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），大塚彩美（横浜国立大学），鳴海大典（横浜国立大学）

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

Part.3 Analysis of Seasonal Variation and Temperature Sensitivity of Electricity Demand

Yujiro Hirano (National Institute for Environmental Studies), Shogo Nakamura (National Institute for Environmental Studies), Kei Gomi (National Institute for Environmental Studies), Tsuyoshi Fujita (National Institute for Environmental Studies), Ayami Otsuka (Yokohama National University), Daisuke Narumi (Yokohama National University)

キーワード：電力消費，気温感応度，電力モニタリング，情報通信システム

1. はじめに

震災復興まちづくりの一環として、著者らは福島県の新地町を対象として情報通信（ICT）システムを活用して省エネルギー行動支援や地域活性化を実現するための研究を進めている¹⁾。これは新地町が掲げる「スマート・ハイブリットタウン」構想の一環として、新地町と国立環境研究所の連携・協力に関する基本協定の下で推進しているものである。

前報²⁾において、著者らは社会実証実験を進めている地域 ICT システムの機能の一環として取得されている電力モニタリングデータを用い、電力消費実態や省エネルギー行動への効果の分析事例を紹介した。しかしながら、電力消費は諸要因により変動し、今後地域におけるエネルギー需給マネジメントに結び付けるにはよりの確かな予測手法の確立が不可欠である。こうした背景から本研究では、電力消費と気温の季節季節変化に着目し、気温変化による電力消費量への影響、すなわち気温感応度について検討した。

2. 対象地域と利用データ

気温感応度の抽出方法を図-1 に示す。本研究では気温と電力消費の季節変化パターンに基づいて分析を行った。まず、図-1 の通りに気温と電力消費の季節変化パターンから、電力消費が最小となる月の電力消費をベース需要とし、各電力消費量とベース需要との差を季節変動分とした。その際、ベース需要となった月の平均気温より気温が高ければ夏季増分、低ければ季節変動分は冬季増分と

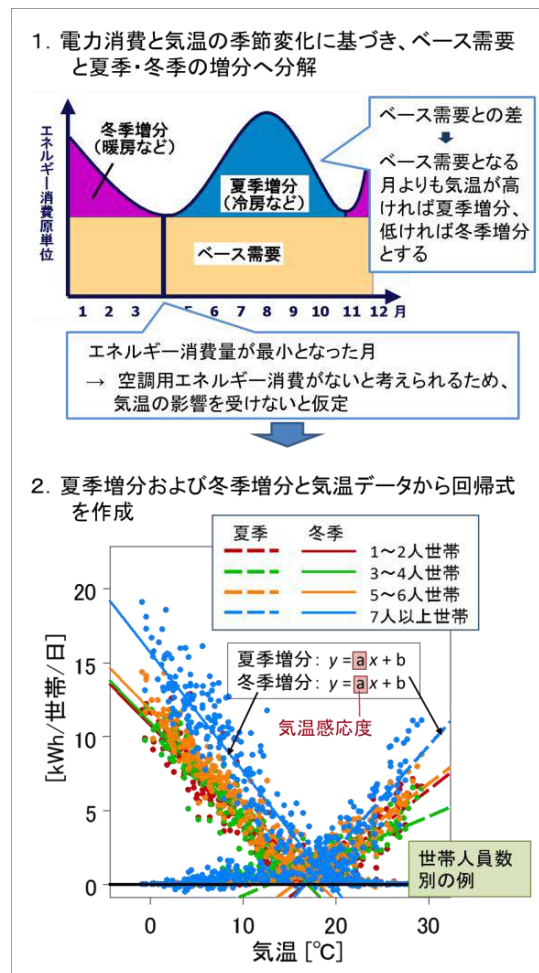


図-1 気温感応度の算定手法

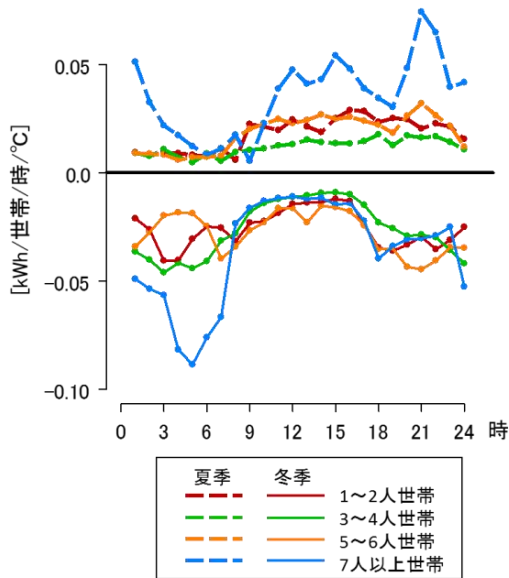


図-2 時刻別の気温感応度 (世帯人員数別の例)

した。なお、夏季増分は冷房、冬季増分は暖房と概ね対応していることが推察されるが、電気式の給湯や冷蔵庫なども気温の影響を受けるため、冷房用、暖房用と記述することは避けた。次に、夏季増分・冬季増分のそれぞれについて気温による推定式を作成した。著者らはすでに折れ線の回帰式により気温とエネルギー消費の関係を近似する方法を提案している³⁾。本研究ではこの手法において片側の直線を $y=0$ で固定することにより、折れ線の関係を表現した。なお、回帰式の作成には時刻別データを用いたが、長時間の外出などによる不規則な変動がベース需要の推定に及ぼす影響を除去するため、ベース電力の算定には月平均時刻別値を用いた。

本報では 2015 年度のデータを解析対象として選択した。前報²⁾では複数年のデータを用いたが、本報は気温の影響を抽出することを目的としており、対象期間中の世帯人員数や機器の変化の影響をできる限り除去するため、年度を絞ることが適切であると判断した。本報では前報²⁾と同様に地域 ICT システムにより得られた電力モニタリングデータを用いた。気温データは気象庁による新地の観測データを用いた。

3. 解析結果

前述した方法により得られた時刻別の気温感応度の例を図-2 に示す。ここでは世帯人員数別に比較したところ、とくに 7 人以上世帯では、夏季、冬

季とも気温感応度が大きく生じており、人員数よる冷房・暖房需要の差異が影響している。また、7 人以上世帯では、夏季は日中・夜間、冬季は深夜早朝の気温感応度が大きい。このため、住宅規模に伴う設備の差異の影響が含まれており、電気式の給湯機器が導入されている可能性が高い。

また、夏季・日中は 1~2 人世帯の気温感応度が 3~4 人世帯の気温感応度よりも大きいことも特徴的である。都市部であれば 1~2 人世帯は若い世代が多いため日中の在宅率が低いことが多いが、少子高齢化が進む新地町の地域条件では 1~2 人世帯は高齢者が多く、日中の在宅率が高いことが推察される。このため、日中在宅者の有無が気温の影響を受けやすい夏季・日中の冷房消費に影響している可能性が高い。

4. まとめ

本研究では新地町における住宅の電力モニタリングデータに基づき、電力消費の気温感応度について分析した。とくに本報では世帯人員数に着目して集計した例を示し、地域の電力需要予測や需給マネジメントに貢献し得る種々の知見を得た。今後、種々の世帯属性の差異や、平日・休日などにも着目し、詳細な電力消費予測モデルを構築することにより地域スケールでのエネルギー需給効率化を検討する予定である。

謝辞

本研究は環境省「平成 29 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) 藤田壮・平野勇二郎; 福島からの新しいまちづくり -新地町の地域イノベーション-, 土木学会誌, 101-12, (2016), pp.60~63.
- 2) 中村省吾・平野勇二郎: 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, 空調和・衛生工学会東北支部第 6 回学術・技術報告会論文集, (2017), pp.61~62.
- 3) Hirano Y., Fujita T.: Evaluation of the impact of the urban heat island on residential and commercial energy consumption in Tokyo. Energy, 37(1), (2012), pp.371~383

B-17

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

第4報 工学的・社会的手法による電力需要予測

○Lubashevskiy Vasily (国立環境研究所), 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)

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

Part.4 Power demand in developing cities: engineering and social based prognosis

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

キーワード : Electricity profile, Power demand, Consumption prediction.

1. Introduction:

The problem of power demand analysis is under discussion for a rather long period. The interest to this topic is caused by the necessity to adapt the existent power supply systems to the changing conditions in residential sector of cities. The electric power consumption is increasing continuously along with the population, the GDP growth and the shift from gas and oil consuming devices to its electric analogues.

The residential power demand and consumption dynamic depends on various factors, such as a households' composition, the type and number of households' appliances, households' type and size, the environmental conditions, the season and others. There are many attempts to predict the power consumption pattern and to model the consumption dynamics [1-4].

In Shinchi-town, a community energy management system that links information and communication technology is being introduced at the base as part of reconstruction town building after the Great East Japan Earthquake. The National Institute for

Environmental Studies provides academic support in design and planning of such systems, examination of energy conservation and CO₂ emission reduction, and examination of feasibility. Based on this, we developed an information system that will be the residential interface for the community energy project and is presently at the phase of social demonstration experiment [5].

Given research is conducted in order to numerically evaluate the electricity consumption patterns that are typical for the local developing cities, and to predict the further changes in it depending on mentioned above factors.

2. Modelling approach.

The engineering method of electricity consumption patterning has been chosen as a most adaptive to changes of individual households' characteristics and as a less statistics requiring. It is a bottom up approach based on the piecing together of subsystems to give rise to more complex systems. In case of living area power demand analysis, the basic subsystem that should be modeled individually

is a household.

The engineering method has been fulfilled by the statistical data about the leisure, activities and time use, that has been provided by the Statistics Bureau of Ministry of Internal Affairs and Communications. To make the modelling system more concrete we add to it the information about 45 characteristic households from the Shinchi-town. This city has been chosen because it has been severely damaged by a disaster of 2011, but local government and living society is established a developing direction to the recreation of the surrounding environment and sociotechnical urban system in order to restore the damaged city to its previous and even more developed conditions.

3. Electricity consumption patterns

The numerical modelling of an electric power demand in various households demonstrated that one of the crucial specifics of the rural but developing cities is in a high deviation of the demand from household to household. Figure 1 depicts this effect very clearly by comparing the hourly power demand of three households. The first one is the household with the minimal integral daily demand. In this household the heating system is functioning on the base of gas and oil heaters, that is why the main factor of the electricity consumption (heating/cooling by the room air conditioners) is absent. The other two dynamics depicts electricity consumption patterns of households that are heating the indoor space using RACs. The difference between this two households is that one household (orange dynamics) has a power storage that is charging during the night and compensate the evening increase of the electricity demand which is supplied by the regular electricity provider in the second case matching the grey color pattern.

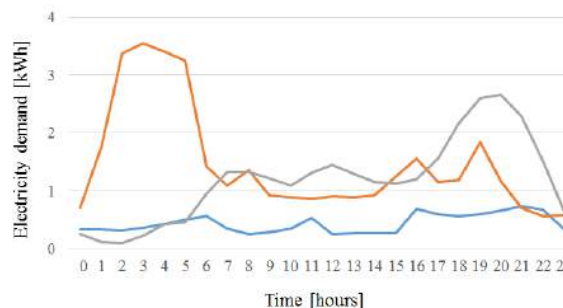


Figure 1. The electricity consumption dynamics by three households. Blue line matches a gas heating, grey line corresponds to RAC heating and the orange line depicts the household with RAC heating and the night charging power storage.

4. Aggregated demand of Shinchi town and the prediction of its increase.

The data collected from Shinchi town has been obtained by the survey distributed among the representative set of households. The average household in Shinchi consumes around 28 kWh of electric power per a day. This value matches an average household with 4 living people, 3 air conditioners and permanent presence of at least one inhabitant in the household. Referring to the official cite of Shinchi town and applying this data to the current number of citizens and households we are getting the value of 72.2 MW that is matching the integral daily demand of Shinchi. The open question is the further dynamics of the mentioned integral daily demand of a town depending on various factors. The main factor that we may find in many publications is the increase/decrease of the electricity demand because of changes in number of local residents. For most of big cities this factor corresponds to the expected decrease in the demand because of the superiority of aging factor over the birth rate in megapolises. However in developing cities this dynamics is opposite. According to the local information about the population dynamics, because of reasonable investment

into the local society and higher birth rate in smaller towns the population is expected to be increasing. As an outcome of it the number of consuming agents will grow, the correspondent increase of the local power demand is shown on Figure 2.

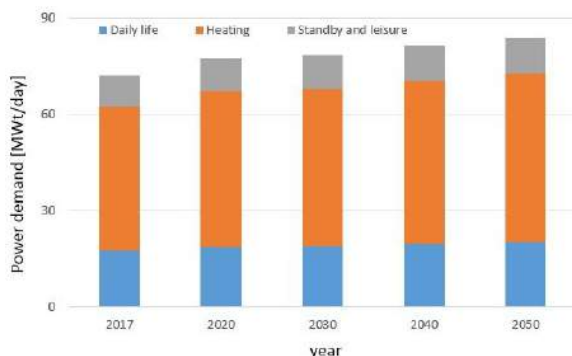


Figure 2. The electricity demand prognosis. The expected increase because of the population growth.

The other two main reason of changes in the local electricity demand are the modernization of local households (shift from gas consuming devises to its electric analogues) and the increase of efficiency of modern electric appliances. These two factors are presented in Table 1 by values of a predicted electricity demand in Shinchi. The first row of data corresponds to the increase presented on Figure 2. Second row matches expected increase of the electricity demand if we will assume that the local households that still heat their indoor space by gas heaters will gradually replace these old devices by modern RACs. As we may see, this assumption makes the expected demand increase much more significant. The third line corresponds to the decrease of the electricity demand caused by the appearance of the innovative technologies on the market of electric appliances. It has been assumed that every 10 years efficiency of electric devises increase up to 10%. As we may see, the last factor leads to the high

compensation of the modernization caused increase in the predicted demand but still cannot cover the whole increase.

Table-1 Grow of the power demand in Shinchi

	current	2030	2040	2050
Population grow	72.2	78.1	81.2	83.9
modernization	72.2	98.9	124.5	151.0
efficiency	72.2	89.0	99.6	105.7

5. Conclusion.

This research is devoted to the prediction of power demand in developing cities. We described the method enabling to evaluate the characteristic electricity consumption by the residential area of a city, that is based on the combination of the engineering approach, statistical data and the information collected by the survey distributed among the representative set of households.

The outcome of the electricity consumption patterning demonstrated the high deviation of the electricity demand from household to household caused by the difference in the indoor heating appliances. This problem is rather typical for developing cities that are not so regulated as megapolises.

The usage of the data collected in the representative set of households enabled us to assume the aggregated integral power demand of Shinchi town. This value has been used as a starting value for the prognosis of the integral demand depending on the social and technological factors. Social factor corresponds to the expected increase in number of local residents. The technological factors correspond to the increase of the integral power demand caused by the expected migration of local households from gas/oil consuming devices to its analogues; and to the decrease of the electricity demand caused by the better

efficiency of electric appliances from generation to generation.

Japanese)

The integral predicted increase of the power demand in Shinchu town is exceed 20% per 10 years. This outcome shows the reasonableness to invest into existent power supply systems of local developing towns in order to be prepared to the further changes.

Acknowledgements

This work was supported by Ministry of the Environment, Low Carbon Technology Assessment Program.

REFERENCES

- 1) Y. Shimoda, T. Asahi, A. Taniguchi, M. Mizuno. "Evaluation of city-scale impact of residential energy conservation measures using the detailed end-use simulation model". *Energy*, vol. 32 (9), 2007, pp. 1617~1633.
- 2) L.G. Swan, V.I. Ugursal. "Modeling of end-use energy consumption in the residential sector: a review of modeling techniques". *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13 (8), 2009, pp. 1819~1835.
- 3) K. Tsuji, F. Sano, T. Ueno, O. Saeki. "Bottom-up simulation model for estimating end-use energy demand profiles in residential houses". *Proc. ACEEE summer study on energy efficiency in buildings*, 2004.
- 4) J. Ortiz, F. Guarino, J. Salom, C. Corchero, M. Cellura. "Stochastic model for electric loads in Mediterranean residential buildings: validation and applications". *Energy Build*, vol. 80, 2014, pp. 23~36.
- 5) S. Nakamura, Y. Hirano. "Study on Residential Electricity Monitoring in Shinchu-Town, Fukushima Prefecture", *Collection of Papers of the 6th Conference, Tohoku Branch of The Society of Heating, Air-Conditioning and Sanitary Engineers of Japan (SHASE)*, 2017, pp.61 ~ 62. (in

B-18

空調設備機器から発生する低周波音の実態と影響に関する研究

○沼田寿明 ((東北文化学園大学), 川村広則, 須藤諭, 田原靖彦 (東北文化学園大学)

Study on the Actual Situation and Influence of Low Frequency Sound Generated from Air Conditioning Equipment Use

Numata Toshiaki (Tohoku Bunka Gakuen University),

Kawamura Hironori, Sudo Satoshi, Tahara Yasuhiko (Tohoku Bunka Gakuen University)

キーワード：空調設備機器、低周波音、騒音レベル、実測調査

はじめに

環境省の調査によると、依然として空調設備機器から発生する騒音が社会問題となっている。特に可聴域未満の低周波音(周波数 20Hz 未満の音。以下、超低周波音という)については、その実態と影響は殆ど解明されていない。一方、環境省では、低周波音問題対応のための評価指針として「心身に係わる苦情に関する参照値」を公開しており、苦情の原因が低周波音なのかどうかを判断する目安とされている。さらに超低周波音が問題になる可能性は低いとされているが、実際には苦情を訴える人が少なくない。¹⁾

1. 調査目的

このような背景から本研究では空調用室外機から発生する超低周波音の実態を明らかにする、次に超低周波音に対する窓サッシの遮音性能を明らかにする、最後に空調用設備機器による住宅内の超低周波音を環境省参照値と比較し、人への影響を検討する事ことを調査目的とした。

2. 空調用室外機による超低周波音の測定

2.1 測定概要

空調用室外機から発生する超低周波音の実態を調査するため、本学と住宅に設置されている室外機を対象に測定を行った。

測定には低周波音レベル計 (NA-18) を使用し、低周波音レベル計の高さは地上から 1.2m とした。測定内容は G 特性周波数 1Hz~80Hz を 1/3 オクターブバンド毎に行い、測定時間は 10 秒間として透過騒音レベルを求めた。写真-1 に低周波音レベル計を、写真-2 に実測風景を示す。

測定対象とした本学の空調用室外機の設置位置を図-1 に示す。



写真-1 低周波音レベル計



写真-2 実測風景

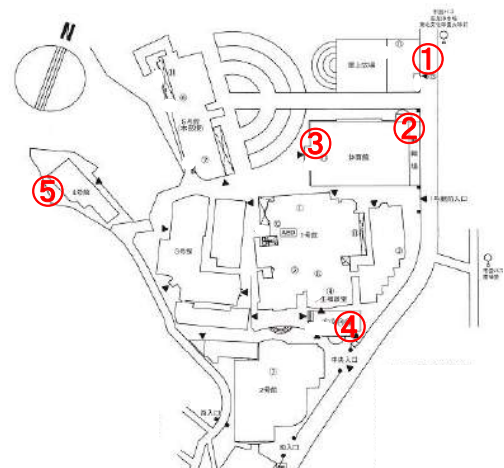


図-1 本学に設置されている室外機の設置位置

測定点①~⑤に設置されている室外機 5 台を対象に測定を行った。測定日は平成 29 年の 7 月 14 日の夕方に行い、測定回数はそれぞれ 3 回で、その結果をエネルギー平均した。

本学に設置されている空調用室外機の設置状況を写真-3、4 に、仕様を表-1 に示す。



写真-3 測定点②室外機



写真-4 測定点⑤室外機

12月15日、住宅Cは10月27日、住宅Dは11月26日にそれぞれ行い、時間帯は夕方から夜中にかけて行った。住各宅に設置されている空調用室外機の状態を写真-5、6に、仕様を表-2に示す。



写真-5 住宅A 室外機

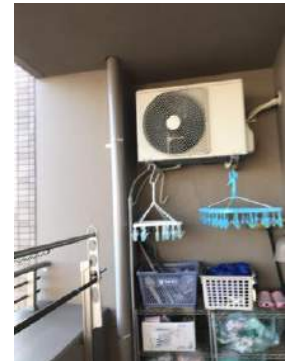


写真-6 住宅B 室外機

表-1 本学の空調機器の仕様表

項目	室外機1	室外機2	室外機3	室外機4	室外機5
メーカー	H社	H社	H社	M社	M社
空調機器名称	ルームエアコン	ルームエアコン	パッケージエアコン	パッケージエアコン	パッケージエアコン
電源	単相100V	単相100V	三相200V	三相200V	三相200V
質量	32kg	28kg	240kg	240kg	122kg
圧縮機出力	800W	600W	720W	3500W	3500W
冷房能力	3.6kW	2.2kW	28kW	28kW	16.0kW
暖房能力	4.2kW	2.5kW	31.5kW	31.5kW	17.0kW
運転電流	冷房 11.2A 暖房 10.3A	冷房 4.9A 暖房 5.0A	冷房 34.2A 暖房 30.4A	冷房 34.6A 暖房 33.6A	冷房 18.0A 暖房 14.8A
消費電力	冷房 1.005kW 暖房 0.93kW	冷房 0.44kW 暖房 0.45kW	冷房 10.9kW 暖房 9.58kW	冷房 10.92kW 暖房 10.5kW	冷房 5.79kW 暖房 4.78kW
運転音(dB)	冷房 47dB 暖房 48dB	冷房 45dB 暖房 46dB	58dB	57dB	53dB

測定対象とした各住宅の空調用室外機の設置位置を図-2~5に示す。それぞれ仙台市内のアパートの1階(住宅A)マンションの10階(住宅B)マンションの2階(住宅C)アパートの1階(住宅D)に設置されている各室外機を対象に測定を行った。

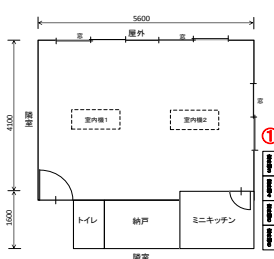


図-2 住宅Aの測定点

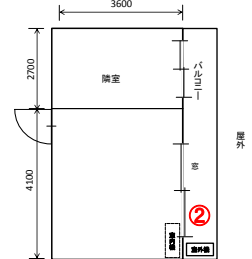


図-3 住宅Bの測定点

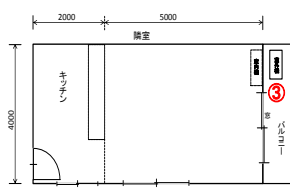


図-4 住宅Cの測定点

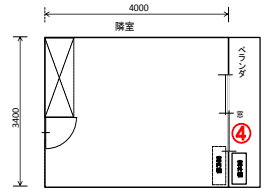


図-5 住宅Dの測定点

測定日時は、住宅Aは12月21日、住宅Bは

表-2 各住宅の空調機器の仕様表

項目	室外機A	室外機B	室外機C	室外機D
メーカー	S社	T社	S社	M社
空調機器名称	冷暖房兼用セパレートエアコン	T社ルームエアコンディショナー	S社セパレート形ルームエアコン	M社セパレート形ルームエアコン
電源	200V	200V	100V	100V
質量	30kg	30kg	30kg	30kg
圧縮機出力	750W	750W	650W	750W
冷房能力	2.8kW	5.0kW	2.7kW	4.4kW
暖房能力	4.2kW	6.0kW	4.0kW	5.6kW
運転電流	冷房 5.8A 暖房 8.2A	冷房 9.71A 暖房 8.49A	冷房 5.3A 暖房 5.5A	冷房 12.3A 暖房 12.9A
消費電力	冷房 0.86kW 暖房 1.1kW	冷房 1.43kW 暖房 1.26kW	冷房 0.79kW 暖房 0.98kW	冷房 1.52kW 暖房 1.36kW
運転音(dB)	冷房 43dB 暖房 45dB	冷房 51dB 暖房 53dB	冷房 46dB 暖房 45dB	冷房 44dB 暖房 45dB

2.2 測定結果

図-6に本学の空調用室外機の測定結果を示す。

図-6の測定結果から、超低周波音が本学の室外機から発生している事を確認した。また、可聴域低周波音では室外機による音圧レベルの差異が確認できるが、超低周波音においてはそれぞれの室外機の大きさ、規模による音圧レベルの差異は殆どないことを確認した。

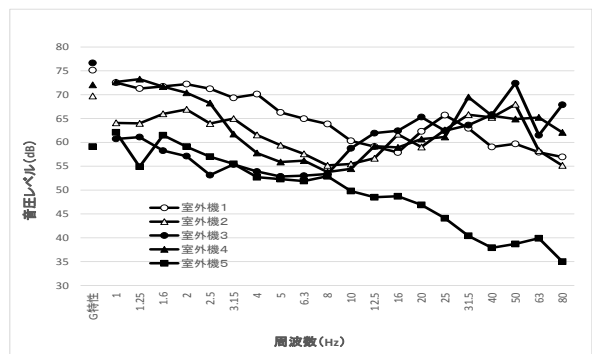


図-6 本学の空調用室外機の測定結果

図-7に住宅の空調用室外機の測定結果を示す。

図-7の測定結果から、超低周波音が各住宅の室外機から発生している事を確認した。また空調機器の仕様による音圧レベルの差異は殆どないことを確認した。

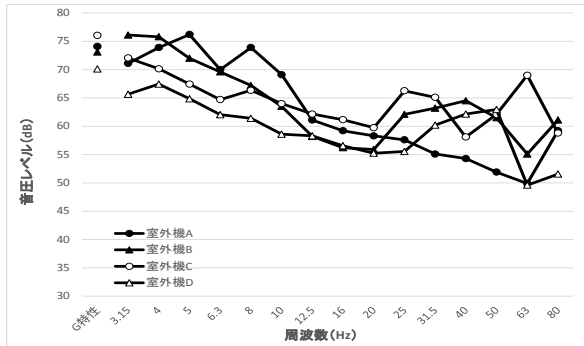


図-7 各住宅の空調用室外機の測定結果

3. 異なる季節における空調用室外機の測定

3.1 測定概要

異なる季節における室外機から発生する超低周波音の空調負荷による音圧レベルの違いの測定を行った。測定場所は住宅 A (図-2 参照)、測定日時は(中間期)10月15日、(冬期)12月21日、それぞれ深夜2時に測定を行った。なお測定結果は音圧レベルの差を比較しやすいように1/1オクターブバンド毎に行った。

3.2 測定結果

図-8に住宅Aの室外機における中間期、冬期の測定結果を示す。

図-8の測定結果から31.5Hz~63Hzの可聴域低周波音では冬期、中間期の空調負荷による音圧レベルの違いは殆どないが、4Hz~16Hzの超低周波音においては空調不可による音圧レベルの上昇を確認した。

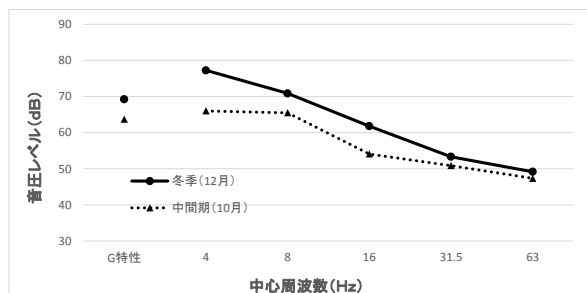


図-8 室外機における中間期と冬期の測定結果

4. 窓サッシの遮音性能に関する測定

4.1 測定概要

図-9に住宅Aの測定室の状況及び測定点を示す。測定は住宅Aの室内5点のエネルギー平均値を求め、窓を開放した状態と閉鎖した状態でそれぞれ測定を行う。測定は室外機3、4、5、6を稼働させた状態で行い、室内に設置されている室内機1、2は停止している状態である。

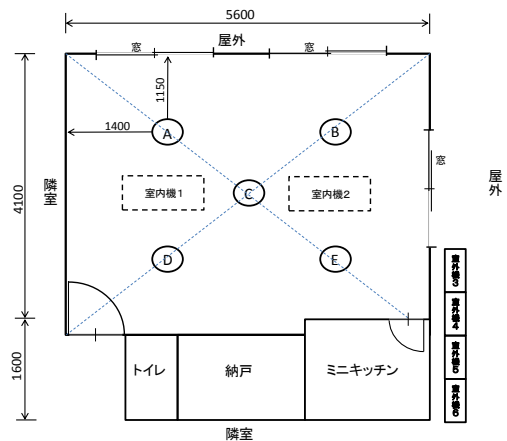


図-9 測定室の状況及び測定点

4.2 測定結果

図-10に窓開放時と閉鎖時による室内音圧レベル差の測定結果を示す。

図-10の測定結果から31.5Hz以上の可聴域低周波音では開放時と閉鎖時に音圧レベル約8dBの差異が確認できるが、周波数4Hz~16Hzの超低周波音では約3dBとほとんど音圧レベルが変わらない結果となった。この結果から超低周波音に対して窓サッシの遮音性はほとんど期待できない事を確認した。

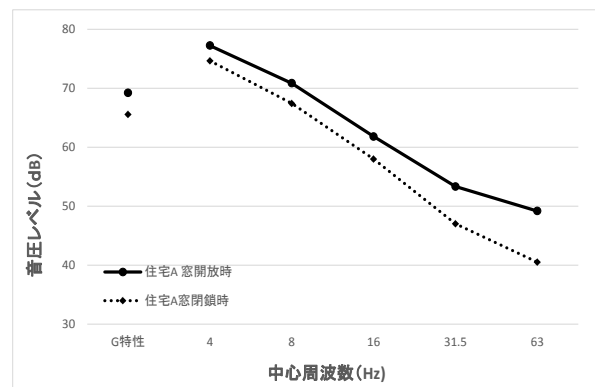


図-10 窓開放時と閉鎖時による室内の測定結果

5. 空調設備機器による住宅内低周波音の測定

5.1 測定概要

図-11～14に各住宅内の測定点を示す。

各住宅内の超低周波音を測定するため、空調機を稼働させた状態で住宅A、B、C、Dの室内にて測定を行った。

また空調設備機器による超低周波音の人への影響を検討するため、測定結果を環境参照値と比較した。測定内容はG特性及び周波数1/3オクターブバンド毎に測定した。測定点は住宅Aの室内5点、住宅B、C、Dの室内それぞれ3点とした。

表-3に低周波音による心身に係わる苦情に関する参照値を示す。環境省は「低周波音による心身に係わる苦情に関する参照値」を公表している。これは低周波音の音圧レベルと比較し、参照値以上であれば低周波音による苦情の可能性を考慮するものである。

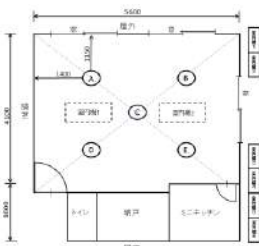


図-11 住宅A 測定点

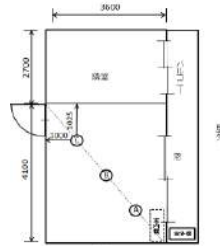


図-12 住宅B 測定点

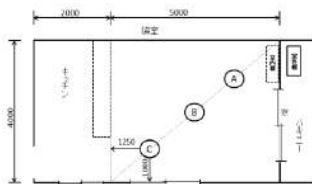


図-13 住宅C 測定点

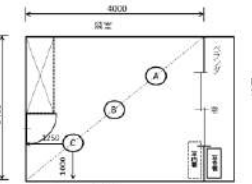


図-14 住宅D 測定点

表-3 低周波音による心身的苦情に関する参照値

1/3オクターブバンド 中心周波数(Hz)	10	12.5	16	20	25	31.5	40	50	63	80
1/3オクターブバンド 音圧レベル(dB)	92	88	83	76	70	64	57	52	47	41

5.2 測定結果

住宅内の低周波音の測定結果を図-11に示す。

図-15の測定結果から周波数50Hz～80Hzでは環境省参照値と近い音圧レベルを確認した。一方、周波数20Hz未満の超低周波音では環境省参照値を下回る事を確認した。

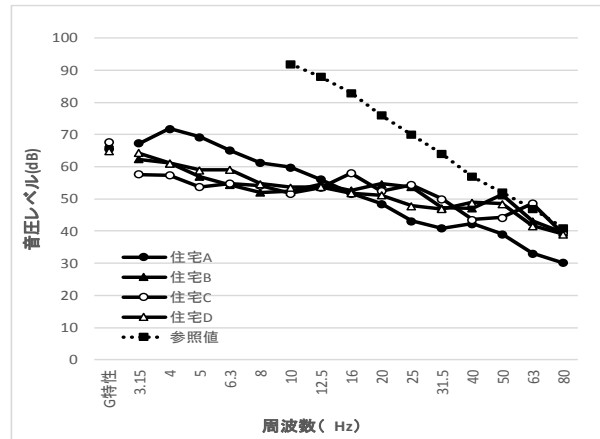


図-15 住宅内の低周波音の測定結果

6. まとめ

本研究で、種々の仕様の空調用室外機による騒音を測定した結果、いずれの機器からも超低周波音が発生している事を確認し、空調機の仕様による音圧レベルに違いがないことを確認した。

また、異なる季節における空調用室外機の実測結果から、空調負荷が大きくなれば超低周波音も大きくなる事を確認した。

次に空調用室外機を音源として、住宅用窓サッシの遮音性能を測定した結果、超低周波音に対しては、窓サッシの遮音性能はほとんど期待できない事を確認した。

最後に空調設備機器による住宅室内の低周波音を測定した結果、周波数50Hz～80Hzの可聴域低周波音では環境省参照値と近い音圧レベルを確認した。一方周波数20Hz未満の超低周波音では、環境省参照値を下回る事を確認した。

参考文献

- 1) 環境省水・大気環境局大気生活環境室：低周波音対応事例集（平成20年12月）

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。

B-19

PEDOT/PSS を用いた通電再生型デシカント空調における除湿エレメントの最適化に関する研究

○松田健太郎（東北大学）、小林光（東北大学）、日浦良太（東北大学）、
金井文彦（株式会社理学）

Research on the optimization of dehumidification element using “PEDOT/PSS” for desiccant air-conditioning of energization-regeneration type system

Matsuda Kentaro (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Hiura Ryota (Tohoku University), Kanai Fumihiko (Rigaku Co. Ltd.)

キーワード：デシカント空調、通電再生、省エネルギー

はじめに

建築分野の空調における省エネルギー化の取り組みとしてデシカント空調(図 1)が用いられている。これは除湿エレメントの吸着作用によって直接的に除湿する空調であり、従来の冷却除湿のものよりエネルギー消費量を削減できると考えられている。デシカント空調は除湿エレメントの再生によってその性能が左右されるが、通常の温風再生では、再生熱源を必要とする点、システムが複雑である点から装置サイズが大きくなってしまふ等の課題を持っているのが現状である。そこで一連の研究で弥富らは再生方法を見直すことを意図して、吸湿性と導電性を兼ね備えた材料 PEDOT/PSS を用い、通電加熱により除湿エレメントを直接再生する通電再生型デシカント空調(図 2)を開発した。同方式では再生用の熱源等が不要であり、装置の小型化や除湿性能及び制御性向上が見込まれる。また吸着等温線の測定から、PEDOT/PSS が従来の無機系材料よりもデシカント材として優れる可能性も示唆されている。本研究では、同方式に適した除湿エレメントの改善を目的として、以下の取り組みを行っている。

(1) デシカント材料の最適化

導電性ポリマーPEDOT/PSS はポリ 3,4-エチレンジオキチオフエンとポリスチレンスルホン酸の混合体であり、前者が導電性を、後者が吸湿性を持つとされる。PEDOT/PSS は透明電極等に用いられる材料であり、本来の用途に最適化されている。そこでデシカント空調に利用するために吸湿性と

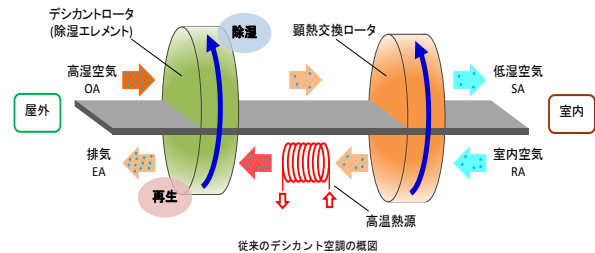


図.1 従来のロータ式デシカント空調

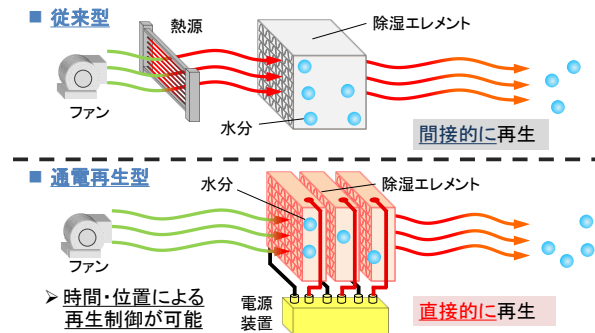


図.2 通電再生型デシカント空調

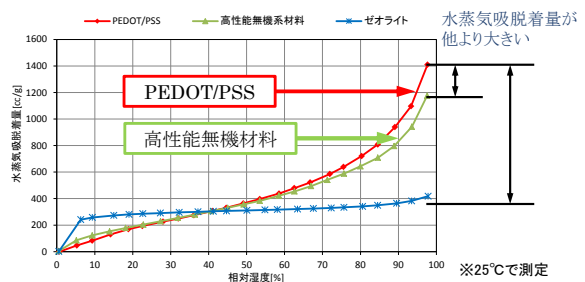


図.3 各種デシカント材の吸着等温線

導電性のバランス、すなわち PEDOT と PSS の比率の最適化の検討を行う。

(2) 除湿エレメントの形態の最適化

弥富らの研究により、除湿エレメントに担持されたデシカント材の厚さ、および除湿エレメントと除湿空気の接触表面積が性能に寄与することが示唆されている。そこで、通電再生型デシカント空調に最適な除湿エレメントの形態の検討を行う。

1. 除湿エレメントの改善

1.1 PEDOT/PSS の成分調整

前述のように PSS が吸湿性を持つため、通電性能とのバランスを考慮しながら PSS の割合を高めたポリマーによる除湿エレメントを作製する。これまでの研究では単体で電気伝導率 150[S/m](S:ジーメンス、電気抵抗の逆数)を発現するポリマーを用いているのに対し、本研究では表 1 のように PSS の比率を高めた(PSS の割合を増大させると電気伝導率は低下する)30[S/m], 10 [S/m], 1[S/m], に調整した PEDOT/PSS および PSS 単体を用いた膜を作製し性能を測定した(図 3)。エレメントの構成は従前の膜を積層させた形態を踏襲し、成分調整のみによる性能変化の純粋な比較を行った。

1.2 除湿エレメントの形態検討

ポリマーの膜厚による性能変化を確認するため、プラスチック板に PEDOT/PSS を厚さを変えて薄く塗布した膜およびこれを用いたエレメントを作製し、性能を測定した。また表面積増大を意図した新たな膜表面形状および断面形状を持つ除湿エレメントを作製した。表面形状の検討では図 4 のように微粒子を膜の表面に一体化させ意図的に凹凸を付けた膜を作製、性能を測定した。断面形状の検討では表 3 のような既製のデシカントロータの断面形状を再現した基材を用いたエレメントを作製し、性能を測定した。

2. 実験による除湿エレメントの性能評価

2.1 実験概要

図 5 に示すバッチ式の実験システムを用いて除湿と再生を 3 分毎に切り替えることでデシカントロータの運転を再現し、処理空気の温湿度から除湿性能を評価した。表 4 に実験 CASE を示す。CASE:A は成分調整、CASE:B は形態検討を目的としている。実験は関東相当の夏季外気を除湿空

表.1 成分調整した 5 種類の PEDOT/PSS 膜

電気伝導率[S/m]	150	30
エレメント抵抗[Ω]	23.7	71.9
作製したデシカント膜		
10	1	PSS単体
168.7	1009.7	2181.9

表.2 塗布膜(左)と微粒子混合膜(右)

電気伝導率[S/m]	150	150
エレメント抵抗[Ω]	480	26.7
作製したデシカント膜		

表.3 電子顕微鏡で見る各膜の表面状態

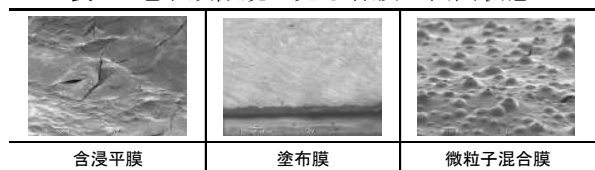


表.4 コルゲートの仕様

主成分	ガラス繊維
耐熱温度	200°C
素材厚み	0.17mm
サイズ	

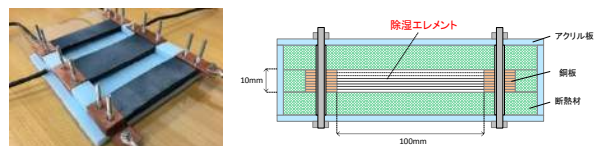


図.4 平膜積層型ユニット(左)とその断面(右)

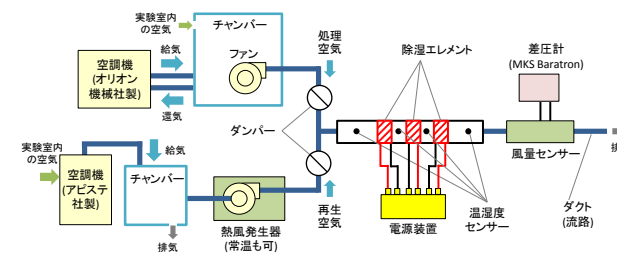


図.5 バッチ式実験システム

気、標準的な室内空気を再生空気として想定する。測定項目はユニット入出口の温湿度、風量、投入電力である。除湿量は式(1)によって算出した。

$$D = \int_{3min} \left(\rho_a \times \frac{Q}{3600} \times \Delta X \right) dt \dots\dots\dots \text{式(1)}$$

D: 除湿量[g], ρ_a : 空気密度[kg/m³], Q: 風量[m³/h], ΔX : 除湿エレメントの入口と出口の絶対湿度差[g/kg'], t: 時間[s]

2.2 実験結果・考察

(1) CASE:A 成分調整実験

図6に成分調整を施した膜および塗布膜の吸着等温線を示す。PSS単体のものを除いて、PEDOT/PSSは分調整を施しても定常状態の吸着性能に差がないことがわかる。図8にバッチ式実験におけるCASE:Aの除湿量を示す。図8よりバッチ式実験における除湿性能については通電再生時、温風再生時ともにPSS割合を増大させるほど性能が向上する傾向にあり、またPSS量に依らず通電量の増大は性能向上に寄与することがわかる。PEDOT/PSSの成分調整が動的な吸・放湿に大きく作用することは重要な知見と考えられる。PSS単体の膜は変形が激しく(表1)、積層すると流路を塞ぐため、風量確保の観点から膜の枚数を減らし

て(表面積4/7倍)実験を実施した(CASE:A-12)。CASE:A-6.9.11は接触表面積で劣るにも関わらず、既製の高性能デシカントロータであるスポンジ酸化チタンを用いたCASE:A-13と同程度の性能を発揮した。

(2) CASE:B 形態操作実験

図7に塗布膜と含浸膜の吸着等温線比較を示す。図7より、膜厚が小さいほど単位重量当たりの吸着量が大きいこと、塗布膜が従来の膜よりも単位重量当たりの吸着量が大きいことが示された。膜の厚み方向に対して、表面から遠い内部が膜の表面と同程度吸着に作用するならば、塗布膜と含浸膜で吸着等温線に大きな差は出ないと考えられる。これより膜の厚み方向に対して、表面から遠い内部は吸着への作用が低い可能性が示唆される。図9にCASE:Bのバッチ式実験におけるユニットあたりの除湿量を示す。図9より、塗布膜はユニット当たりの除湿量が低いことが示された。表1の担持量と図9の除湿性能より、膜厚を薄くするほどデシカント材単位重量当たりの性能は向上するが、実用的な除湿量を確保できないと考えられる。ただし大表面積を確保できる素材に薄く塗布することが可能であれば、高い性能を発揮できる可能性がある。図9より、微粒子混合膜は通電量200[W/m²](CASE:B-4)では高い性能を発揮する

表.5 実験 CASE

実験ケース	構成材料	接触表面積 [m ² /ユニット]	ポリマー単体の電気伝導率 [S/m]	通電量 [W/m ²]	処理空気		再生空気		面風速 [m/s]	厚み [μm]	担持量 [g/ユニット]
					温度 [°C]	湿度 [g/kg]	温度 [°C]	湿度 [g/kg]			
CASE:A-1	PEDOT/PSS	0.14	150	200	33	19.1	28	11.8	2.5	300	3.24
CASE:A-2	PEDOT/PSS	0.14	150	300	33	19.1	28	11.8	2.5	300	3.24
CASE:A-3	PEDOT/PSS	0.14	150	400	33	19.1	28	11.8	2.5	300	3.24
CASE:A-4	PEDOT/PSS	0.14	150	0	33	19.1	50	11.8	2.5	300	3.24
CASE:A-5	PEDOT/PSS	0.14	30	200	33	19.1	28	11.8	2.5	300	4.01
CASE:A-6	PEDOT/PSS	0.14	30	400	33	19.1	28	11.8	2.5	300	4.01
CASE:A-7	成分調整 PEDOT/PSS	0.14	30	0	33	19.1	50	11.8	2.5	300	4.01
CASE:A-8	PEDOT/PSS	0.14	10	200	33	19.1	28	11.8	2.5	300	4.32
CASE:A-9	PEDOT/PSS	0.14	10	400	33	19.1	28	11.8	2.5	300	4.32
CASE:A-10	PEDOT/PSS	0.14	10	0	33	19.1	50	11.8	2.5	300	4.32
CASE:A-11	PEDOT/PSS	0.14	1	0	33	19.1	50	11.8	2.5	300	4.34
CASE:A-12	PSS単体	0.08	×	0	33	19.1	50	11.8	2.5	※	21.29
CASE:A-13	スポンジ酸化チタン	0.35	×	0	33	19.1	50	11.8	2.5		
CASE:B-1	塗布 PEDOT/PSS #40	0.07	150	0	33	19.1	50	11.8	2.5	1.28	0.088
CASE:B-2	塗布 PEDOT/PSS #20	0.07	150	0	33	19.1	50	11.8	2.5	0.64	0.044
CASE:B-3	塗布 PEDOT/PSS #10	0.07	150	0	33	19.1	50	11.8	2.5	0.32	0.022
CASE:B-4	微粒子 PEDOT/PSS	0.155	150	200	33	19.1	28	11.8	2.5	470	3.85
CASE:B-5	微粒子 PEDOT/PSS	0.155	150	400	33	19.1	28	11.8	2.5	470	3.85
CASE:B-6	微粒子 PEDOT/PSS	0.32	150	200	33	19.1	28	11.8	2.5	170	3.77
CASE:B-7	微粒子 PEDOT/PSS	0.32	150	300	33	19.1	28	11.8	2.5	170	3.77
CASE:B-8	コルゲート PEDOT/PSS	0.32	150	0	33	19.1	50	11.8	2.5	170	3.77
CASE:B-9	コルゲート PEDOT/PSS	0.32	30	0	33	19.1	50	11.8	2.5	170	4.75
CASE:B-10	コルゲート PEDOT/PSS	0.32	10	0	33	19.1	50	11.8	2.5	170	3.35
CASE:B-11	PSS単体	0.32	×	0	33	19.1	50	11.8	2.5	170	12.52

が、通電量を増大させても性能が向上しない。これは微粒子の比熱や、微粒子混合による内部の空隙の存在により通電によるジュール熱が効果的に作用しなかったことなどが考えられる。コルゲート基材を使用した CASE:B-6~11 は接触表面積の増大に応じて性能が向上し、接触表面積の増大が除湿性能の向上に大きく寄与することが確認できた。また、これらの CASE は基材の総面積は増大したにも関わらず、デシカント材の担持量は CASE:A と同程度である(表 4)。これより、コルゲート基材の表面にデシカント材が薄く担持されていると推察できる。塗布膜を用いた CASE:B-1~3 の結果から、PEDOT/PSS を薄く担持することで高性能化が期待される結果が得られていたが、コルゲート実験の結果はそれを裏付けるものとなった。一方でコルゲート総表面積に対するデシカント材担持量が小さくなったことから電気抵抗値が高くなってしまい、150[S/m]の以外の PEDOT/PSS では通電実験が困難であった。

3. 結論

PEDOT/PSS の成分調整が除湿性能の向上に貢献することが確認された。膜厚の検討によりデシカント材単位重量当たりの除湿性能向上の可能性が

示された。また接触表面積の増大が性能の向上に大きく寄与することが確認できた。CASE:A および CASE:B の結果を総合的に判断すると、10[S/m]の PEDOT/PSS をコルゲート基材に含浸させた除湿エレメントで通電再生を行うことができれば、既製のデシカントロータの性能を上回る可能性が大いにあると言える。今後は PEDOT/PSS をより効果的に基材へと含浸させる手法を検討していき、通電再生型デシカント空調の実現を図る。

謝辞

株式会社 アースクリーン東北 今野 賢一 氏、高橋 公雄 氏には、研究を進めるにあたり、多大なる御支援と貴重な御意見を頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) H Okuzaki et al, Reactive and Functional Polymers, Vol73,Issue7,p-986-2013
- 2) 弥富飛鳥 他:日本建築学会大会学術講演梗概集,p-1241-1242, 2016
- 3) 義江龍一郎 他:空気調和衛生工学会大会学術講演会論文集,pp-351-354, 2006

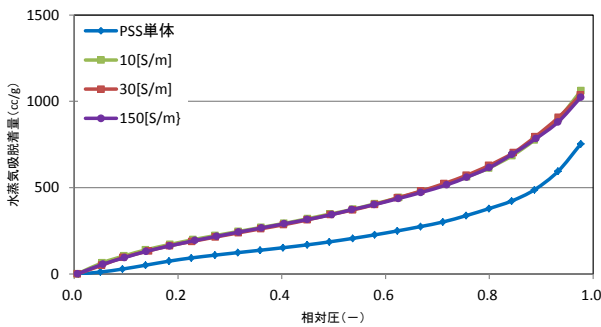


図.6 成分調整膜の吸着等温線

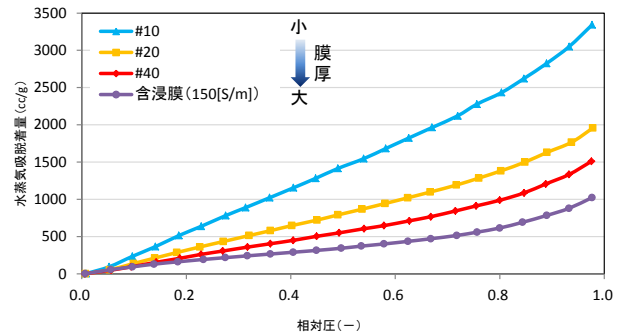


図.7 塗布膜と含浸膜の吸着等温線比較

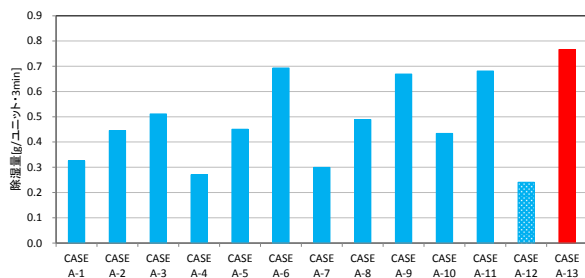


図.8 CASE:A のバッチ式実験におけるユニット当たりの除湿量

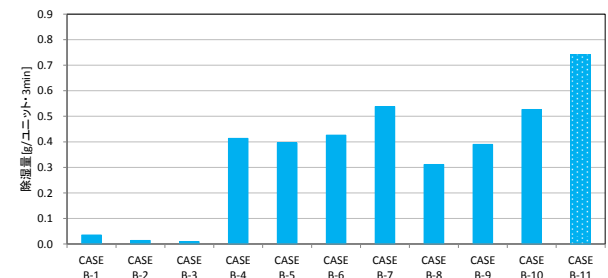


図.9 CASE:B のバッチ式実験におけるユニット当たりの除湿量

B-20

海風により変化する広域の温湿度分布と市街地上空の気流性状の時系列変化の同時計測

—温湿度の多点同時測定とドップラーライダー計測に基づく分析—

○小野田真帆（東北大学），山本ミゲイル（東北大学），石田泰之（東北大学），
持田灯（東北大学），渡辺浩文（東北工業大学），上田裕洋（日本気象株式会社）

Concurrent measurement of horizontal distributions of air temperature and humidity over wide area and vertical wind profiles above city center
-Analysis based on the results of multi-point measurements of air temperature and humidity and Doppler lidar observation-

Onoda Maho(Tohoku University), Yamamoto Miguel(Tohoku University),
Ishida Yasuyuki(Tohoku University), Mochida Akashi(Tohoku University),
Watanabe Hironori(Tohoku Institute of Technology),
Ueda Hiromi(Japan Meteorological Corporation)

キーワード：海風、多点温湿度測定、ドップラーライダー

1. 研究の背景と目的

ヒートアイランド現象や大気汚染といった都市環境問題が深刻化し、様々な対策が検討されている。都市はその規模や立地条件等により多様な気候条件下にあるため、最適な対策を講ずるには、都市ごとの気候特性を把握することが重要である。地表付近の温熱・風環境は上空風性状と一定の相関があり^{文1)}、これまで気温の多点同時測定に基づいて実都市の気候特性を捉えようとする研究^{文2)3)}などが多く行われてきたが、上空の気流性状を併せて測定した例はほとんどない。

そこで本研究では、仙台市広域の温湿度の多点同時測定と同時に、機器から半径約 2km の範囲の風向・風速の計測が可能な観測機器であるドップラーライダー（以降、ライダーと表記）を用いた仙台市中心市街地上空の気流性状の計測を実施し、温湿度分布と上空風性状を併せた、仙台市の気候特性を把握することを目的とする。なお、

仙台市中心市街地を対象としたライダー観測はこれまでに例がなく、初の試みである。

2. 測定概要

2.1 温湿度の多点同時測定

測定期間は9月21日から11月6日。温湿度センサー付きデータロガーを仙台市内の計 19 か所の小学校(図-1)の百葉箱内に自然通風状態で設置。測定間隔は10分。

2.2 ライダー設置位置及び測定期間

仙台市中心部に位置する電力ビル屋上（地上高さ31m、図-2、図-3）にライダー(HALO Photonics社製 StreamLine)を設置。測定方法別に(1)2017年9月23日~10月6日、(2)10月6日~10月13日の期間で計測した。

2.3 ライダーの測定原理と本研究の測定方法

ライダーから発射される赤外線を最大 3km 遠方の空気中の微粒子(エアロゾル)に衝突させ、そ

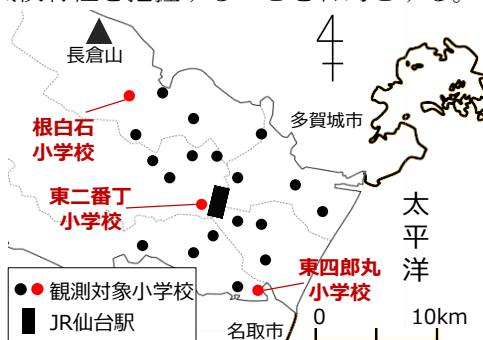


図-1 温湿度測定点分布

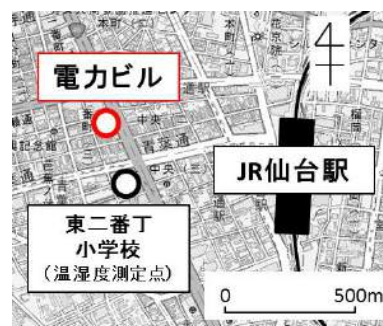


図-2 ライダー設置地点



図-3 ライダー設置状況

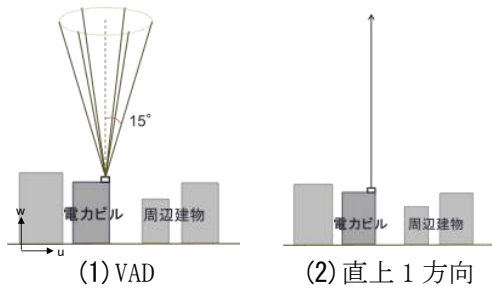


図-4 測定方法概要

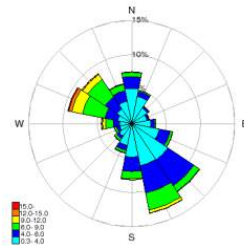


図-5 仙台の年間の風配図^{注1)}

表-1 仙台管区気象台における風向の時刻変化

時刻	風向		
	9月30日	9月24日	10月5日
9:00	南	南南東	北西
10:00	南	南東	西北西
11:00	西	東	北北西
12:00	南西	南東	北北西
13:00	西南西	南南東	東北東
14:00	西	南南東	南東
15:00	西北西	南南東	南東
16:00	西北西	南南東	南南東
17:00	北西	南南東	南南東

の散乱光を受信しドップラー効果による周波数変化をエアゾルの移動速度として計測するものであり、設置地点から遠隔地点までの直線上の風速測定が可能である。本研究では2種類の方法(図-4)で、設置地点から半径2kmの範囲についてデータを取得した。距離分解能は30mである(9月23,24日のみ18m)。

(1)VAD(Velocity Azimuth Display)

鉛直方向から15°傾け、1周を6分割(一部8分割の期間あり)した方向へ赤外線を射出し、直上の風向・風速の鉛直分布を約35秒間隔で計測。

(2)直上1方向

設置地点から直上1方向に赤外線を射出し、直上の鉛直成分風速の鉛直分布を約1秒間隔で計測。

3.測定結果の抽出方法と西風日・海風日の定義

本研究では、まず、測定期間のうち、仙台管区気象台で観測された天気が一日を通して概ね快晴・晴れである日と比較的天候が良好な曇天日を抽出した。仙台では風向が北西と南東が多いため(図-5)、仙台管区気象台(観測高:地上52m)で観測された日中(9時から17時)の風向が主に南西から北の範囲である日を西風日、南から東の範

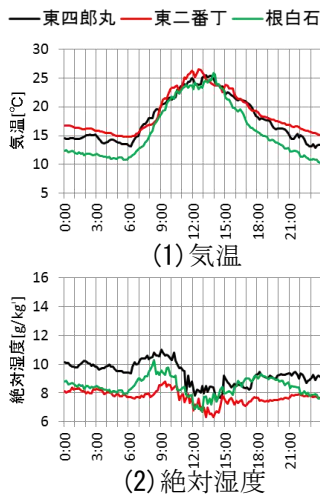


図-6 西風日の温湿度の日変化 (2017年9月30日)

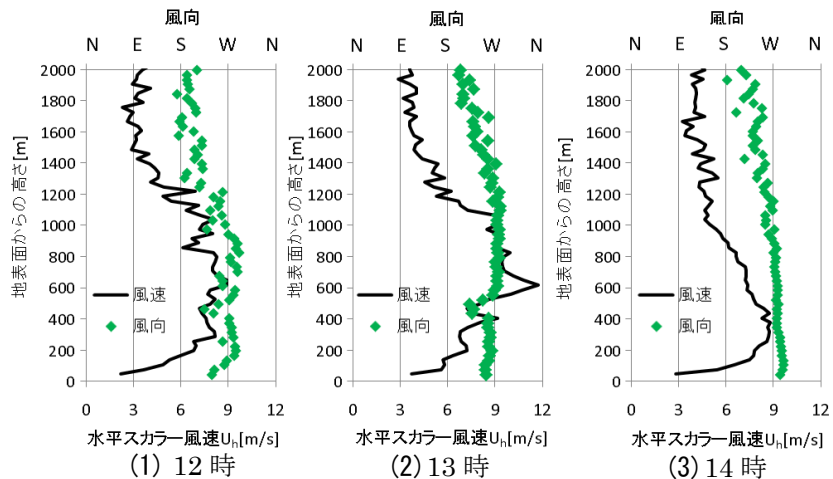


図-7 西風日の風向・風速の鉛直分布^{注2)}(2017年9月30日)

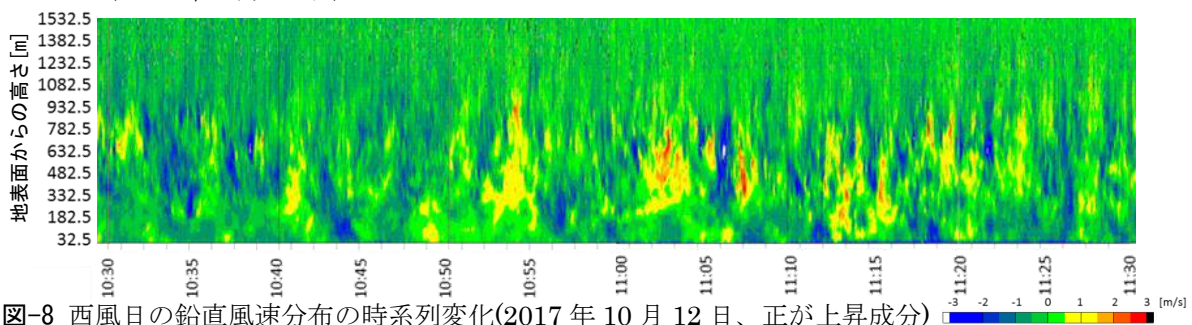


図-8 西風日の鉛直風速分布の時系列変化(2017年10月12日、正が上昇成分)

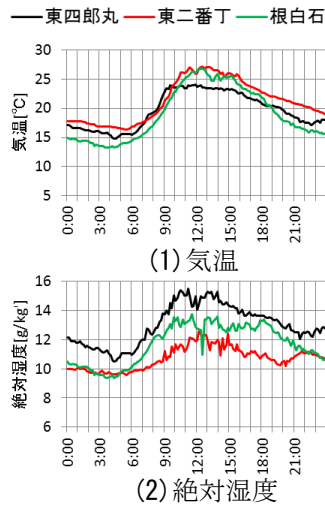


図-9 海方向から風が吹く日の
湿度の日変化(2017年9月24日)

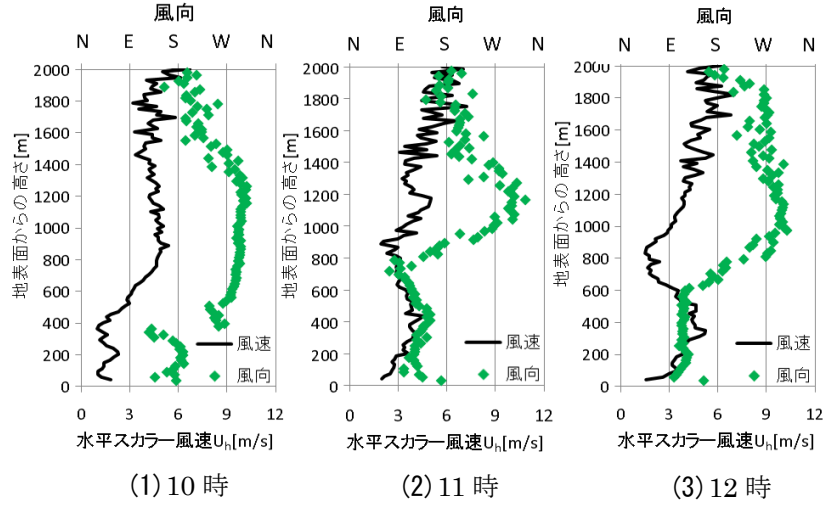


図-10 海方向から風が吹く日の風向・風速の鉛直分布^{注2)}
(2017年9月24日)

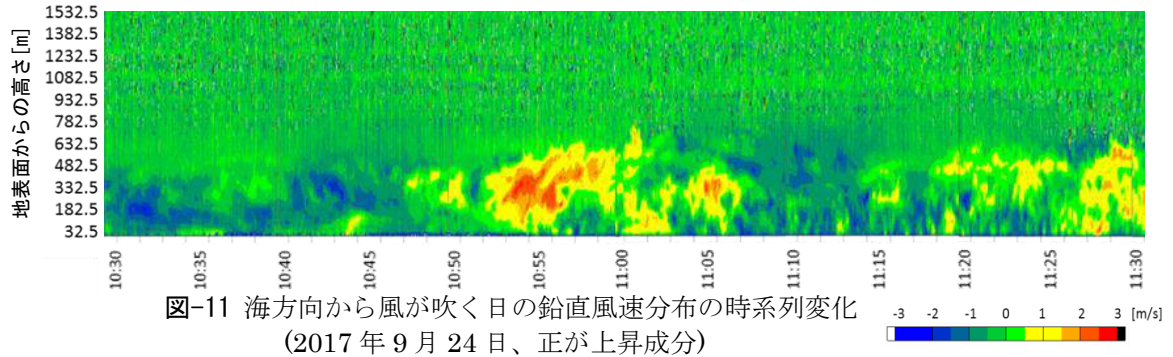


図-11 海方向から風が吹く日の鉛直風速分布の時系列変化
(2017年9月24日、正が上昇成分)

囲である日を海風日と定義する。本稿では西風日の9月30日と10月12日、海風日の9月24日と10月8日、これに加え特徴的な風向変化(正午まで北北西風、14時から南東風)が観測された10月5日の測定結果を示す。

4. 測定結果

4.1 西風日の特性(図6~図8)

図-6に図-1中に赤で示した南東-北西軸に並ぶ3校の小学校の測定結果を示す。気温は3地点全てにおいて6時頃から上昇し正午付近で最高気温に到達、その後減少に転じた。図-6(2)より、絶対湿度は3地点全てにおいて9時頃から日中にかけて減少する。図-7に、气象台における観測風向が西風となってから、それぞれ2時間後、3時間後、4時間後の風向風速の鉛直分布を示す。地表付近から上空まで概ね一様に西風が吹いていることが分かる。図-8より、風速の鉛直成分は地表付近から高さ約1000mの範囲で、1分から3分の間隔で最大3m/s程度の値を示し、上昇流と下降流が交互に発生している。

4.2 海風日の特性(図9~図11)

図-9(1)より、気温は各地点とも6時頃から上昇するが、海側の東四郎丸では9時半頃に最高気温に到達し、東二番丁では11時過ぎに、内陸の根白石では12時過ぎに最高気温を迎え、気温上昇の停止が海側から順に起きており、海風の気温低減効果によるものと推察される。図-9(2)より、各地点とも絶対湿度は明け方から正午にかけて上昇し続け、山なりの時刻変化を見せている。図-10に气象台における観測風向が海風となってから、それぞれ2時間後、3時間後、4時間後の風向風速の鉛直分布を示す。ここから上空の風向は、10時には地表面から約400mでは南東(海風)、それ以上の高さでは西であったが、11時には海風の厚みが約700mまで増加し、その後も600m以上の厚みを維持している。いずれの時刻でも風向が南東から西へ遷移する高さで、スカラー風速が極小値をとる分布となっており、海風の層の上に西風の層が存在する状態となっていることが分かる。図-11を見ると、地表付近から高さ約700mの範囲

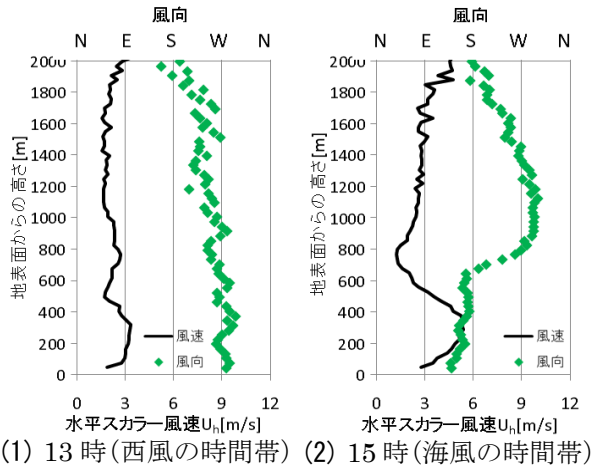


図-12 特徴的な風向変化が観測された日の風向・風速の鉛直分布^{注2)}(2017年10月5日)

で、約20分間隔で3m/s程度の上昇流と下降流が発生している。この高さが図-10で確認された海風の高度とほぼ一致していることから、海風の層内で活発な大気混合が生じていると考えられる。

4.3 特徴的な風向変化が観測された10月5日の測定結果(図12, 図13)

10月5日は、仙台管区气象台において、正午まで西風が観測され、14時以降に海風が観測された日であり(表-1)、図-12の上空の風向を見ると、9時には西風日(図-7)、15時には海方向から風が吹く日(図-10)と比較的類似した分布となっている。図-13(2)に示す絶対湿度をみると、海側の東四郎丸では13時、中心部の東二番丁では14時、内陸の根白石では15時と、海側から内陸にかけて順に値の急増が生じており、海風によって絶対湿度の急増が生じたことと推察できる。これは、海風の到達を絶対湿度の変化から捉えることができることを示唆している。

5. 結論

- (1) 西風日は、気温・絶対湿度ともに3地点での日変化の傾向の差が小さく、特に絶対湿度は日中に減少した。上空風は地上から上空まで概ね一様に西風となる。
- (2) 海方向から風が吹く日は気温上昇の停止が海側から順に生じ、絶対湿度は日中に上昇した。上空風は海風の層の上に西風の層が存在する構造となり、海風の層の厚みが時々刻々と増加し、最終的に約600mの厚みとなる。
- (3) 西風日と海方向から風が吹く日では、鉛直風速分布の時系列変化において、上昇流と下降流の発生間隔は海方向から風が吹く日の方が

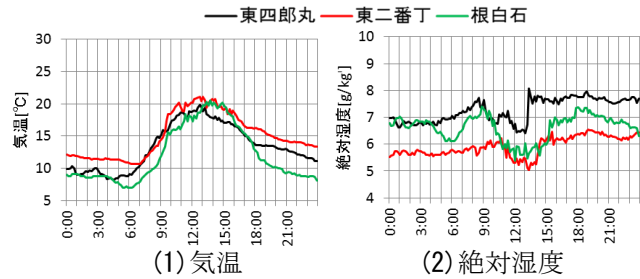


図-13 特徴的な風向変化が観測された日の温湿度の日変化(2017年10月5日)

西風日よりも長く、混合層の高さは海方向から風が吹く日の方が西風日よりも低い。

- (4) 特徴的な風向変化が観測された10月5日の計測結果では、風向・風速の鉛直分布では15時に、海方向から風が吹く日と類似した分布が計測され、また14時前後には海側から内陸にかけて順に絶対湿度の急増が確認されたことから、絶対湿度の変化により海風の到達を捉えられる可能性が示唆された。

謝辞

ドップラーライダー設置場所として電力ビル屋上を東日本興業株式会社に提供していただいた。記してここに謝意を表す。また、本研究は科研費(課題番号:17H03349、研究課題名「気候変化で変わる近未来の顕熱・潜熱三次元収支構造の分析—沿岸都市蒸暑化への適応—(研究代表者:持田灯)」)の助成により行われたものである。

注釈

注1) 仙台の通年の風配図。環境省風況マップより転載。

注2) 水平スカラー風速 U_h は各時刻の後10分間の区間平均である。

$U_h = \langle \sqrt{u^2 + v^2} \rangle$ u :東西方向成分, v :南北方向成分, $\langle \rangle$:時間平均値

参考文献

- 文1) 森脇亮, 神田学:都市接地層における放射・熱・水・CO₂フラックスの長期連続観測, 水文・水資源学会誌第16巻5号, p.477-490, 2003
- 文2) 十二村佳樹, 渡辺浩文:夏季の広域都市気温分布実態と風が緑被と気温との関係に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 2007
- 文3) 清田忠志, 清田誠良:夏季の広島市広域圏における海陸風が気温に及ぼす影響に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第587号, p45-51, 2005

空気調和・衛生工学会創立 100 周年記念東北支部講演会
空気調和・衛生工学会東北支部
第 7 回学術・技術報告会特別セッション
『関連学協会賞作品にみるスマート設備システムへの取組 その 2』
～寒冷地における環境計画と負荷低減の最先端技術～

主 催 空気調和・衛生工学会東北支部
共 催 建築設備技術者協会東北支部、電気設備学会東北支部、日本技術士会東北本部
後 援 日本建築学会東北支部、住まいと環境 東北フォーラム、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連合会東北ブロック、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 30 年 3 月 9 日（金） 15:00-16:30
会 場 東北文化学園大学 5 号館 〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見 6-45-1
定 員 100 名（先着順）
参加費 無料

【プログラム】（予定）

講演（15:00-15:45）

空気調和・衛生工学会振興賞 第30回技術振興賞受賞

「北海道ガス札幌東ビル 技術開発・研修センターの環境計画と建築設備」

第5回カーボンニュートラル賞（北海道支部）受賞

「北海道ガス札幌東ビルにおける低炭素化の取組み」

講師：市川卓也（山下設計）

パネルディスカッション（15:45-16:30）

パネラー： 小坂千里（清水建設：東京スクエアガーデン設計者）

梅田裕之（大和ハウス工業：大和ハウス福島ビル設計者）

市川卓也（山下設計：北海道ガス札幌東ビル設計者）

第30回 空気調和・衛生工学会 振興賞技術振興賞

北海道ガス 札幌東ビル
技術開発・研修センターの
環境計画と建築設備

株式会社山下設計
北海道ガス株式会社
鹿島建設株式会社 北海道支店
新菱冷熱工業株式会社 北海道支社
北海道大学大学院工学研究院

市川卓也
横川 誠
後藤秀樹
大神 陽
菊田弘輝

1. はじめに

設計コンセプト

- ・次の100年に向けた長寿命性とフレキシビリティを有する場
- ・将来にわたって技術や人材を継続的に開発・育成し続けることができる知的創造の場
- ・北国のエネルギーに携わる企業として省エネルギーの実践と発信の場



2. 計画のポイント

近年北方圏において、暖房需要に加え冷房需要も増加
その対策として

積雪寒冷地に対応した再生可能エネルギーの利用

しかし、再生可能エネルギーは不安定であり、その有効活用のためには最適な熱源・空調システムの構築が必須の課題

再生可能エネルギーと天然ガスの融合を図り、
ZEB化を目標とした事務所建物の性能検証

2. 計画のポイント

本計画の基本的なテーマ

- ① 持続性の高いインフラストラクチャとしての施設づくり
- ② 部門間の日常的な交流を誘発する空間づくり
- ③ 北海道の快適な未来生活の実現に向けた新たな環境技術への取り組み

- ① 太陽光・コージェネ排熱・実験排熱を利用した熱源計画
- ② 天井輻射冷暖房による事務室空間の省エネと快適性検証
- ③ クールヒートトレンチによる地中熱利用の効果検証

3. 計画概要

建物名称	北海道ガス 札幌東ビル 技術開発・研修センター
所在地	北海道札幌市厚別区
用途	事務所（研究所・研修所）
敷地面積	12,311.95㎡
延床面積	7,635.24㎡
（内訳）	実験室：1,168㎡、研修室：2,662㎡
	事務室：547㎡、共用部：320㎡
構造	RC造（現場プレストレスト造）
階数	地上4階
竣工	2013年5月

3. 計画概要



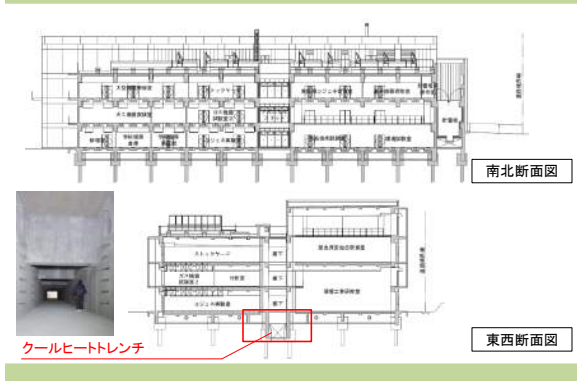
3. 計画概要



3. 計画概要



3. 計画概要



3. 計画概要



3. 計画概要



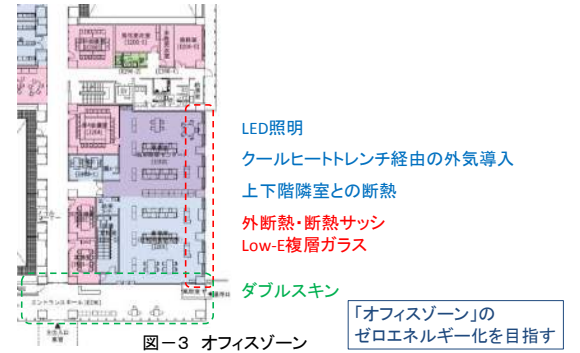
4. 自然落雪式貯雪塔



5. 設備計画

主要熱源 空調機器	機器名称	仕様	備註仕様・能力
主要熱源 空調機器	冷温水発生機 AR-1	型式	ソーラー吸収式
		能力 冷温水流量	冷凍281kW 加熱186kW 500L/min 冷水15~7°C、温水54.7~60°C 3φ200V 2.25kW
	コージェネ レーション装置 CGS-1	動力	マイクログラスエンジン
		能力 温水量 動力	発電35kW 熱回収51.5kW 150L/min 3φ200V 0.98kW
	太陽集熱器 SP-1	型式	真空管式
		集熱器寸法 最大変換効率	2.08×1.64×0.12m、容量2.4L 64%
	外気処理機 OAC-1	型式	天井吊り機型
		送風機 冷温水コイル	3,350m ³ /h×300Pa 2.2kW 冷却36kW、加熱56kW
	ファンコイル ユニット FCU	型式	天井隠蔽型
		送風量 空調能力	(H)690 (M)460 (L)240m ³ /h 冷房4.76kW、暖房7.12kW
温水パネルヒーター PH-1	型式	自立型ラジエータタイプ	
	放熱能力 能力条件	580W 室温20°C、温水温度50~45°C	
床下ファン	型式	OAフロア床吹き出しファン	
	風量 消費電力	(H)150 (M)100 (L)70m ³ /h (H)6W (M)4W (L)3W	

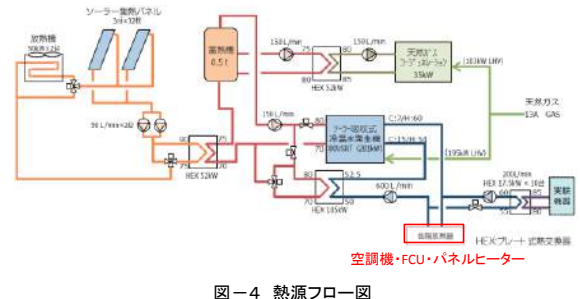
5. 設備計画



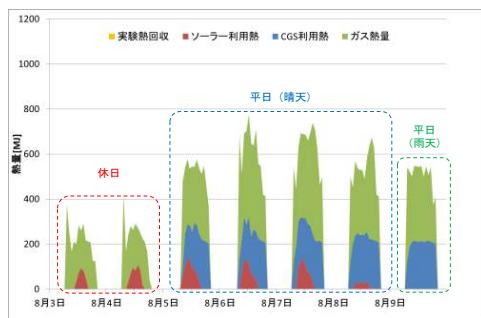
5. 設備計画



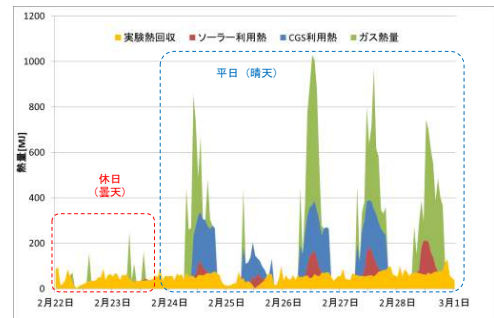
5. 設備計画 5-1 熱源システム



5. 設備計画 5-1 熱源システム



5. 設備計画 5-1 熱源システム



5. 設備計画 5-1 熱源システム

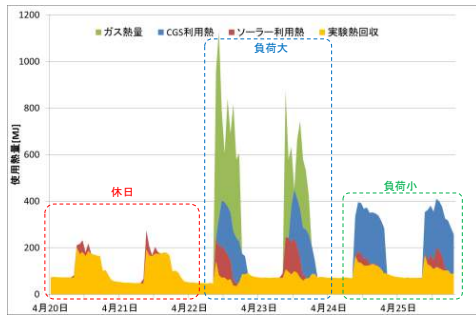


図-7 中間期熱源運転実績(暖房、2013年4月20日～25日)

5. 設備計画 5-1 熱源システム

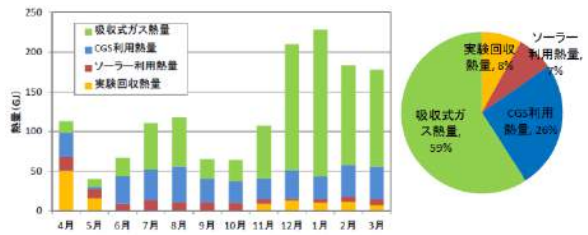


図-8 年間熱源エネルギー消費の内訳(2014年度)

5. 設備計画 5-2 空調システム

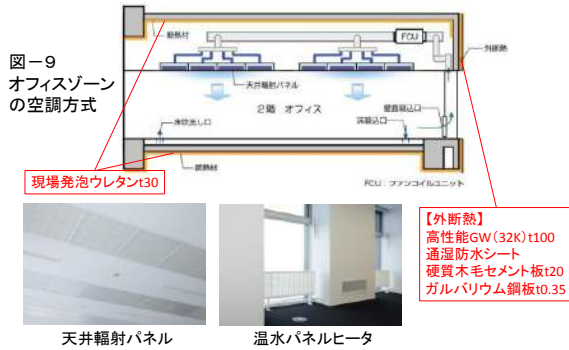


図-9 オフィスゾーンの空調方式

天井輻射パネル

温水パネルヒータ

5. 設備計画 5-3 換気システム

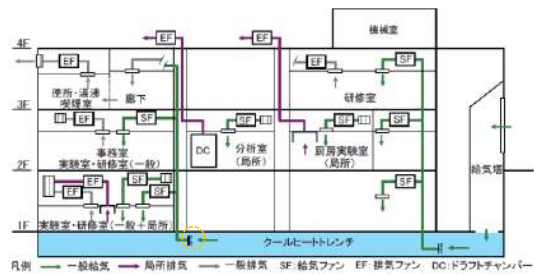


図-10 概略換気フロー図

6. 室内環境評価

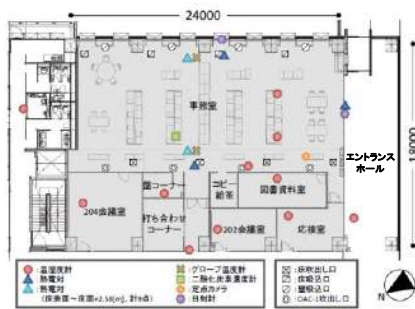


図-11 オフィスゾーンの平面図と計測点

6. 室内環境評価 6-1 調査内容

表-1 運転ケース(夏期)

ケース	運転温度	運転時間		設定温度	期間
		開始	停止		
ケース①	24.5℃間欠運転	6:00	19:00	24.5℃	2013/7/22～7/23 2013/8/22～8/23
ケース②	26℃間欠運転	6:00	19:00	26℃	2013/7/30～7/31
ケース③	28℃間欠運転	6:00	19:00	28℃	2013/8/1～8/2

着衣量: 0.7clo

表-2 運転ケース(冬期)

ケース	運転温度	運転時間		設定温度	期間
		開始	停止		
ケース①	24℃間欠運転	6:00	19:00	24℃	2014/1/9～1/10 2014/1/29～1/30
ケース②	床下ファンなし	6:00	19:00	24℃	2014/2/5～2/6
ケース③	20℃間欠運転	6:00	19:00	20℃	2014/1/16～1/17
ケース④	24℃連続運転	0:00	翌0:00	24℃	2014/1/22～1/23

着衣量: 1.1clo

6. 室内環境評価 6-2 夏期調査結果

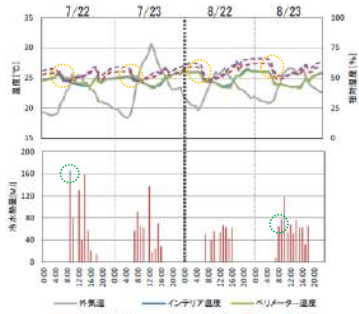


図-12 夏期代表日の室温と冷熱熱量(ケース①)

6. 室内環境評価 6-2 夏期調査結果

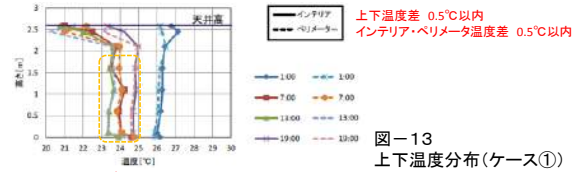


図-13 上下温度分布(ケース①)

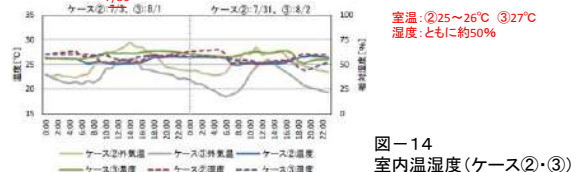


図-14 室内湿度(ケース②・③)

6. 室内環境評価 6-2 夏期調査結果

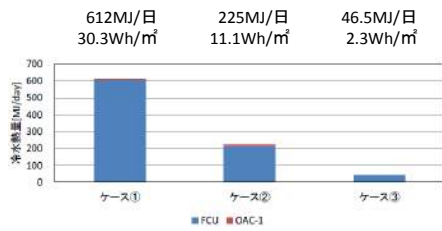


図-15 ケースごとの冷熱熱量

6. 室内環境評価 6-2 夏期調査結果

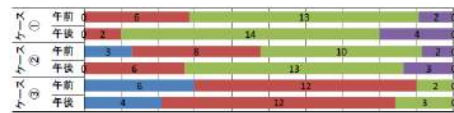


図-16 湿度感(夏期)

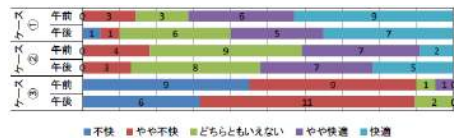


図-17 全身快適感(夏期)

6. 室内環境評価 6-3 冬期調査結果

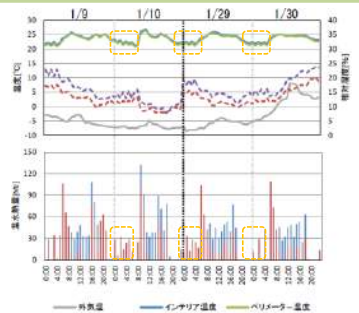


図-18 冬期代表日の室温と温熱熱量(ケース①)

6. 室内環境評価 6-3 冬期調査結果

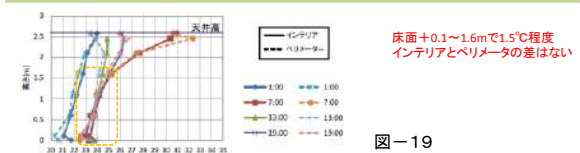


図-19 上下温度分布(ケース①)

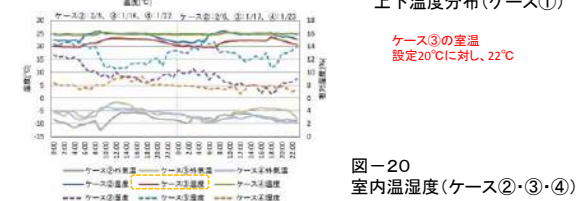


図-20 室内湿度(ケース②・③・④)

6. 室内環境評価 6-3 冬期調査結果

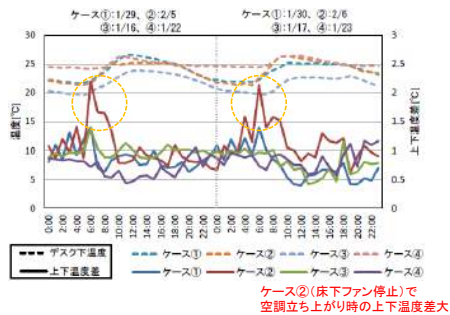


図-21 デスク下との上下温度差

6. 室内環境評価 6-3 冬期調査結果

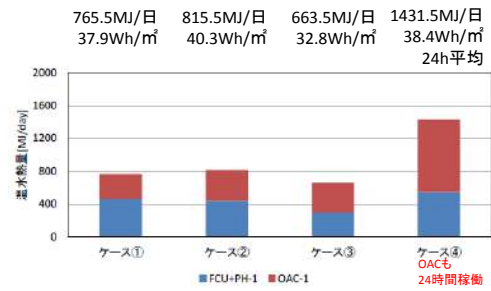


図-22 ケースごとの温水熱量

6. 室内環境評価 6-3 冬期調査結果



図-23 上下温度差感

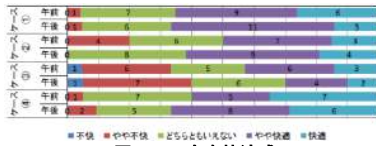


図-24 全身快適感

7. クールヒートトレんチの効果

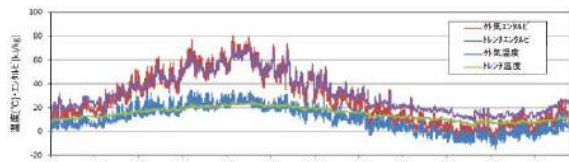


図-25 クールヒートトレんチ内温度と外気温度

GL-4.5m 断面積5m² 面速1m/s以下
夏期最大13°C 冬期最大21°C, 5°C以上
表面結露・カビの発生なし

【断熱材】
消臭材兼用打込型枠:MKボードt50
熱伝導率:0.058W/m・h・°C



7. クールヒートトレんチの効果

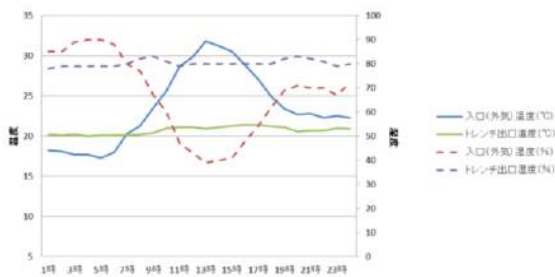


図-26 夏期代表日のCHTトレんチ出入口の温湿度

7. クールヒートトレんチの効果

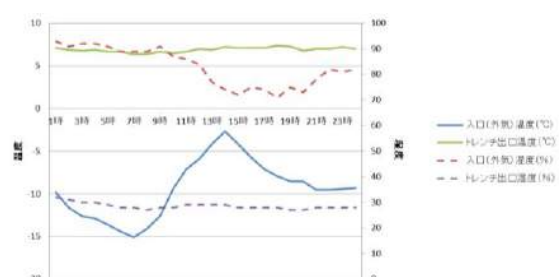


図-27 冬期代表日のCHTトレんチ出入口の温湿度

7. CHTレンチの効果 7-1 オフィスゾーンでの性能検証

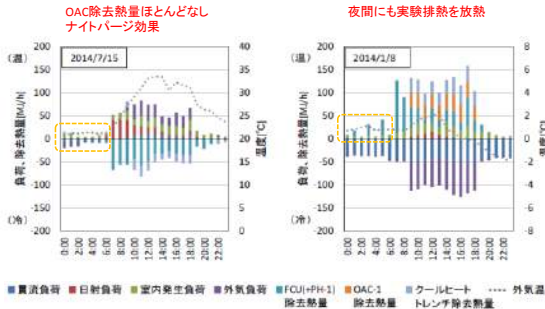


図-28 夏期・冬期のオフィスゾーンの熱収支

7. CHTレンチの効果 7-2 クールヒートレンチ寄与率

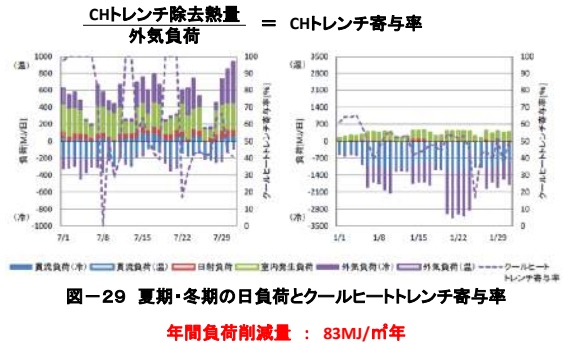


図-29 夏期・冬期の日負荷とクールヒートレンチ寄与率

年間負荷削減量：83MJ/m²年

8. 一次エネルギー評価

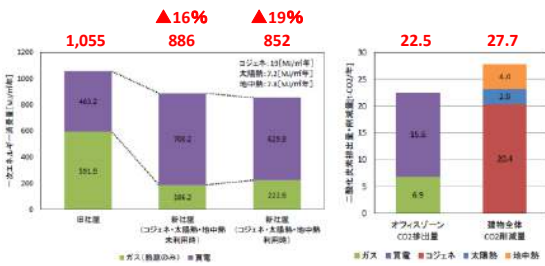
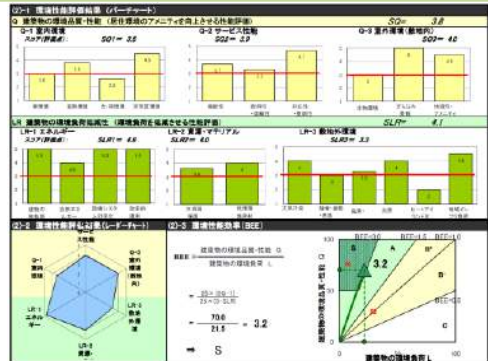


図-30 一次エネルギー消費量の削減効果

図-31 二酸化炭素評価

10. 資料 (CASBEE札幌)



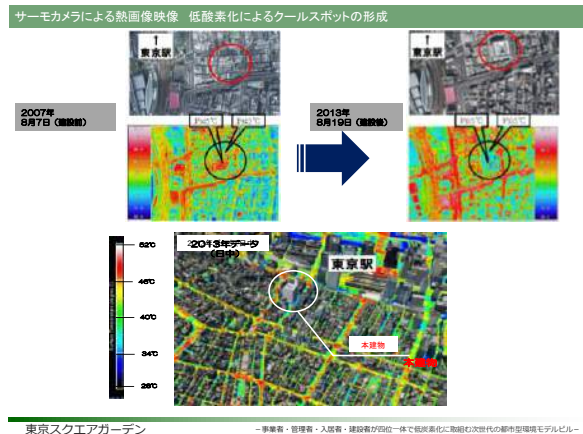
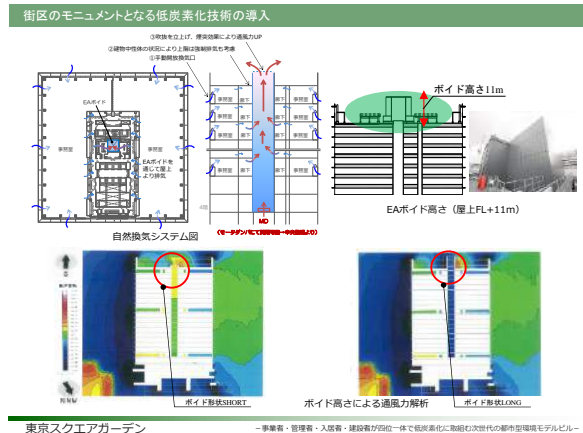
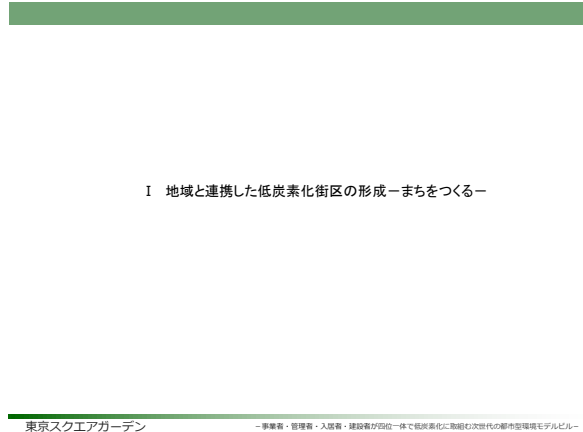
11. まとめ

本施設の計画・施工・運用検証を通して、以下の知見を得ることができた。

- ・積雪寒冷地に対応した再生可能エネルギー利用システムの構築を行った。
- ・オフィスゾーンの天井輻射冷暖房について、その省エネ性と快適性を確認した。
- ・クールヒートレンチの有効性を把握した。

また、これらの計画の実現により、オフィスゾーンのゼロエネルギー化を達成できた。

本施設により得られた知見が、今後の積雪寒冷地での設計の一助となることに期待したい。



地域・街区の核となる施設展開(環境ステーション) 16

エココクーン
本建館に採用した低炭素化技術の展示・紹介

中央区立環境情報センター
デジタルサイネージや研修室を設け、区民が環境問題を学び活動をするための機会と場を提供。

エコマダ象の開催
都市計画、建築・環境・エネルギー社会等様々なキーワードによる「エコなまちづくり」について講演の実施

東京スクエアガーデン

AEMセンターの活動及び地域の核となる防災拠点

中央区建物規模別CO2排出量

大規模ビル 25%
中規模ビル 60%
小規模ビル 15%

AEMセンターの概念

地域の核となる防災拠点

東京スクエアガーデン

II 入居者・建物管理者が自ら低炭素に取り組むサービスの提供

— 共につくっていく —

東京スクエアガーデン

TSSシステム図・機能

ACS・TSSシステム図

TSSによる低炭素化へのフロー

TSS (テナントサービスシステム) の機能	
機能コンセプト	機能一覧
I 親しみやすく、操作性が良い	室内環境情報 エネルギー効率設定
II 低炭素化を促せる	温度・湿度・自然換気・ナイトヒーティング 窓開けセンサー設定・操作履歴
III 低炭素化が実感できる	エネルギー消費量(電力・熱量)の見える化
IV 競争優位を強化させる	エネルギー削減の傾向づけ エネルギー削減に応じた物販の付与
V 建物管理者とテナントが双方に利益がある	建物管理者からのお知らせ機能 建物管理者による緊急時の対応

TSS機能・コンセプト

東京スクエアガーデン

TSS(テナントサービスシステム)の構築

東京スクエアガーデン

ACS(オートコミッションシステム)の概念・開発・導入

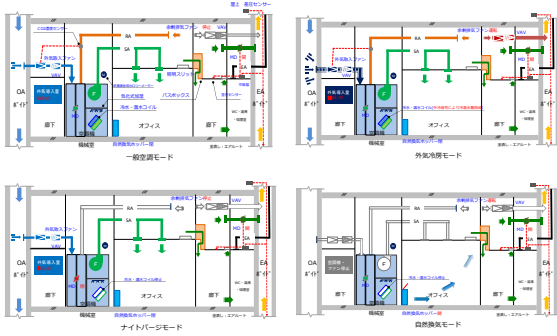
従来のBEMSとACS導入の概念

ACS (オートコミッションシステム) による16種類のコミッションシート			
エネルギー種別	用途別・エリア種別	低炭素化技術種別	再生エネルギー評価シート
I エネルギー一般	I フロア/エリア別	I 熱源特性評価	I 地中熱利用評価シート
II エネルギー-社会	II エネルギー-消費一般	II 空調・換気・照明(49種)	II 太陽光発電評価シート
III 設備種別電力消費量一般	III エネルギー-空調	III 変換率・変圧器効率評価	
IV 土木・雑用水消費量一般	IV エネルギー-給排水	IV 給排水の高度制御評価	
		V 断熱・気密・気密性評価	

ACSによるアウトプットシート(16種類)

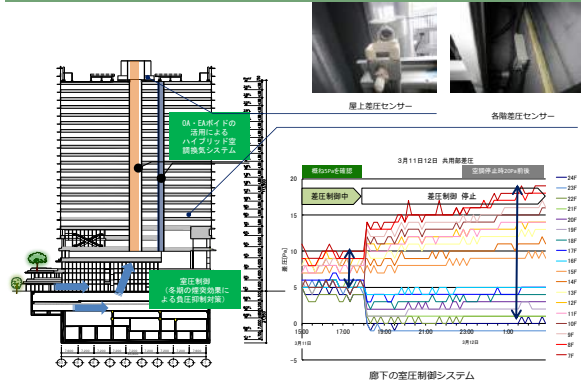
東京スクエアガーデン

オフィスの空調・換気切替システム



東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

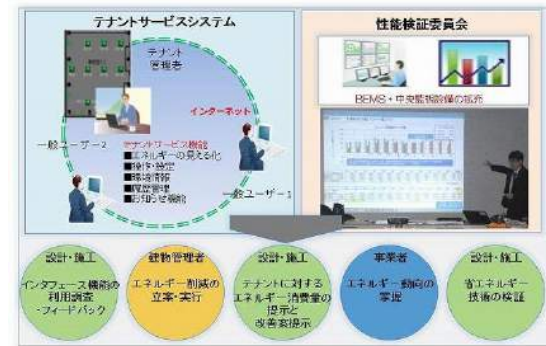
廊下負担抑制制御システム



東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

IV 本建物の主たる取組みとエネルギー消費に関する実績・検証

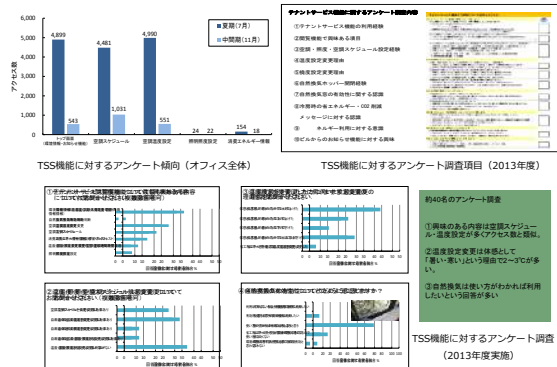
エネルギー消費管理体制(性能検証委員会)の構築



東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

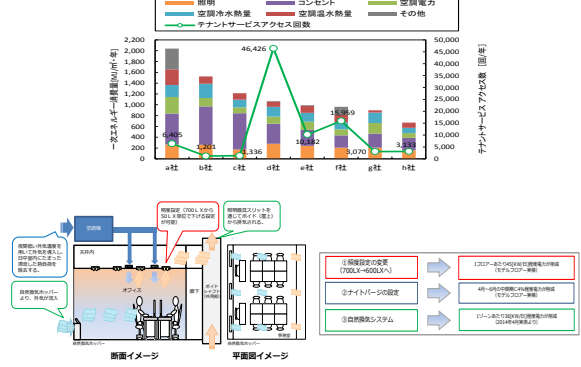
東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

TSSによる入居者アンケートによる実態調査と分析



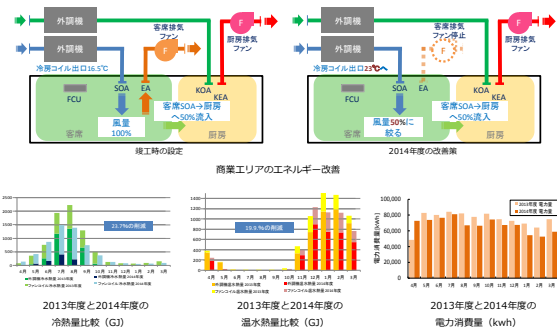
東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

2014年度の入居者アクセスと一次エネルギー消費量と入居者への啓蒙



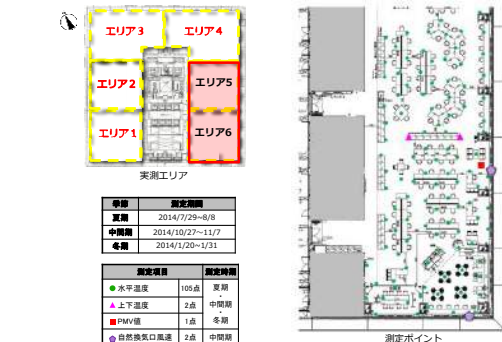
東京スクエアガーデン 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に貢献む次世代の都市型環境モデルビル

ACS提供によるエネルギー削減効果(商業エリア)



東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

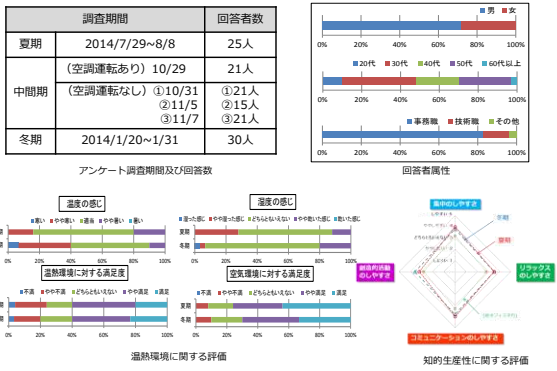
オフィスフロアにおける環境実測



東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

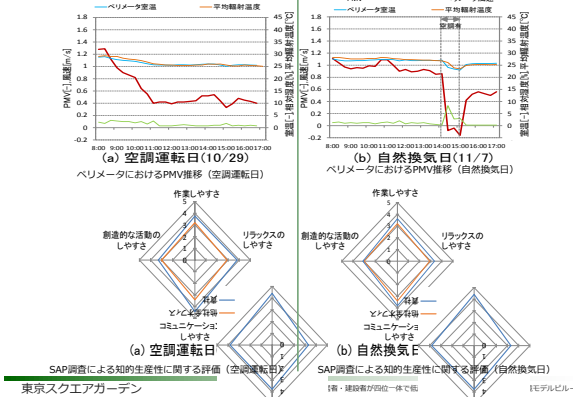
知的生産性に関するアンケート調査

46



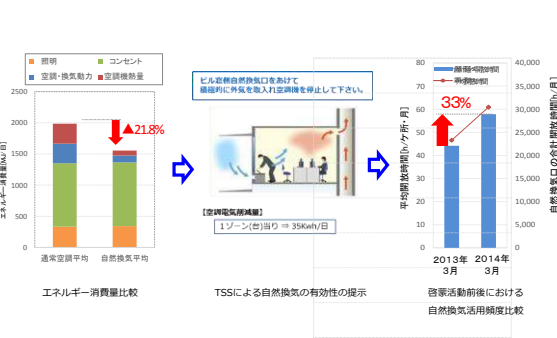
東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

中間期における自然換気性能評価



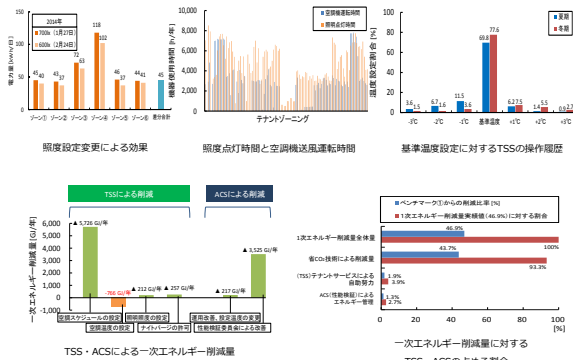
東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

エネルギー消費量比較と自然換気システム活用推進



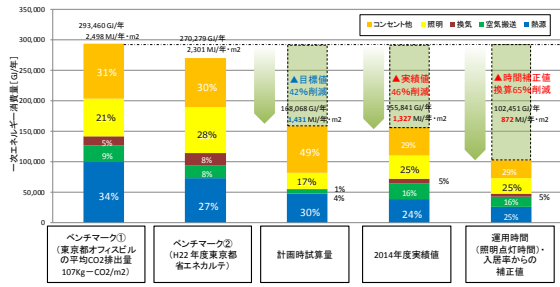
東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

TSSを活用した入居者による省エネルギー活動と削減実績



東京スクエアガーデン - 事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取組む次世代の都市型環境モデルビル

2014年度ベンチマークに対するエネルギー削減量



東京スクエアガーデン

—事業者・管理者・入居者・建設者が四位一体で低炭素化に取り組む次世代の都市型環境モデルビル—



2018.1.16

テーマ
次世代中小ビルにおける環境負荷低減の取組み
ビル名称:大和ハウス福島ビル

空気調和・衛生工学会創立100周年記念東北支部講演会
■日時:2018年1月16日(火) 14時00分~14時45分
■場所:ユアテック本社3階A会議室

大和ハウス工業株式会社 東京本社流通店舗事業推進部
企画開発設計部 環境・設備グループ 梅田 裕之

Daiwa House Group

発表内容

Daiwa House Group

1. 大和ハウスの概要と取組み
2. 建物概要
3. 大和ハウス福島ビルコンセプト
4. 主な環境配慮技術
5. 自然換気による空調負荷削減
6. 地中熱ハイブリッド空調負荷削減
7. IoTによる見える化について
8. 創エネと蓄エネ利用
9. 効果について

1

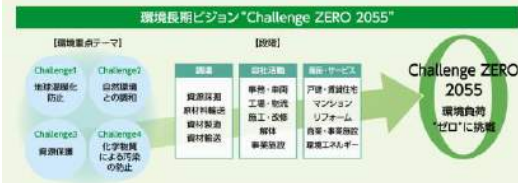
1. 大和ハウスの概要と取組み

Daiwa House Group

○会社概要

社名 :大和ハウス工業株式会社
本社所在地 :大阪市北区梅田3丁目3番5号
創業 :昭和30年4月5日
資本金 :1,616億9,920万1,496円
従業員数 :15,725名(H29年4月1日現在)

大和ハウスグループでは大和ハウス工業の創業100周年にあたる2055年を見据えて、環境長期ビジョン“Challenge ZERO 2055”を策定し、4つの環境重点テーマに関して3つの段階を通じ、環境負荷ゼロへ挑戦します。



2

2. 建物概要

Daiwa House Group

○ネット・ゼロ・エネルギービルディング(ZEB)の実現へ向けた取り組み
~自社施設での実証~

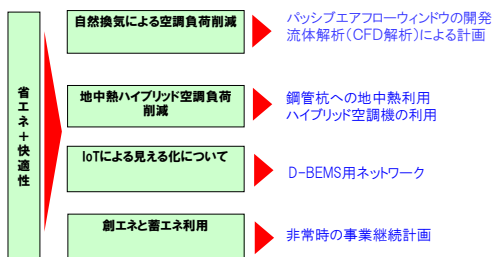


3

3. 大和ハウス福島ビルコンセプト

Daiwa House Group

○省エネと快適性を両立させるビルの実現



4

4. 主な環境配慮技術

Daiwa House Group

○大和ハウス福島ビルの計画

エネルギー量を基準値より半減以下にすることを目標に設計を実施した。建物を高気密・高断熱とし、空調についてはデシカント空調、全熱交換器を配置し、照明については照度設計を400lxとしてタスクアンビエント照明とし、省エネと快適性を考慮した。

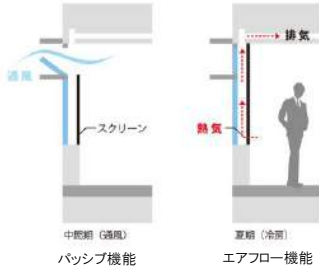


5

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○パッシブエアフローウィンドウ(以下PAFW)
 中・低層建物用に大和ハウス工業が独自開発したエアフローウィンドウで、中間期において自然風を建物に取り込み、かつ夏期は熱気を排気することでペリメータ部の負荷低減をすることが最大の特長です。(サブタイトル:呼吸するオフィスビル)

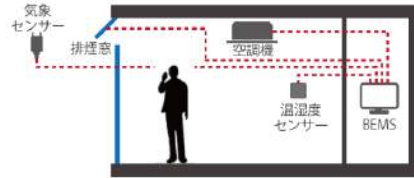


6

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○パッシブ機能システム構成
 気象センサーにて、外気温・風速・室内温度センサーにて室内温度を測定し、気象条件が適した場合、窓を開閉させる。開口部の開閉は、事務室の窓に連動する自動制御としている。

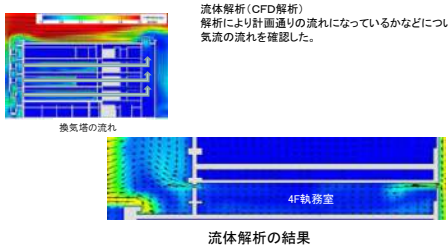


7

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○パッシブ機能流体解析(CFD解析)による計画
 自然通風の促進を目的に、建物鉛直方向の流路を計画した。専用のボイドを設けず、階段室を流路に利用している。階段室上部には、壁面4方向に開口部を有する「換気棟」を設置している。開口部の開閉は、事務室の窓に連動する自動制御としている。



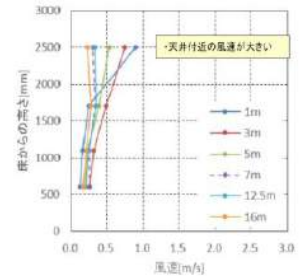
8

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○パッシブ機能風速比較

床からの高さにおける風速分布では、2.5m天井付近では、風速が大きい。高さが低くなるにつれて風速も低下し、机上高さにおいては風をあまり感じない程度まで風速が低下している。

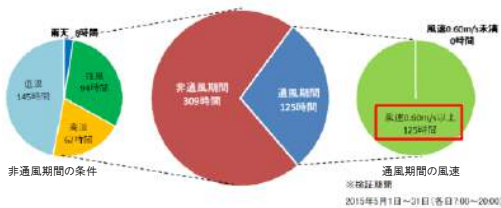


9

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○パッシブ機能の中間期における自然換気の有効時間
 総業務時間が434時間あり、そのうち自然換気利用時間が125時間であった。従って、全体の28.8%の時間が快適な環境を自然換気のみで構成できることを示している。



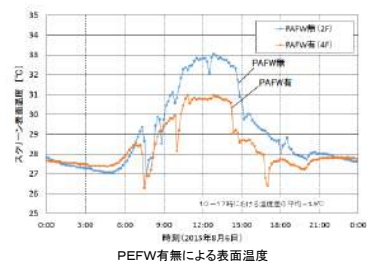
10

5. 自然換気による空調負荷削減

DaiwaHouse Group

○エアフロー機能の温度効果

2FはPAFW無で窓部はLow-Eガラスのみであり、4FはLow-EガラスにPAFW仕様と比較した。日中10時~17時の平均で比較するとPAFW有の平均表面温度はPAFW無(Low-Eガラス)に対して、1.9℃低いことを確認した。



11

5. 自然換気による空調負荷削減

Daiwa House Group

○パッシブエアフローウィンドウと換気用塔屋の外観



パッシブエアフローウィンドウ



換気用塔屋

12

5. 自然換気による空調負荷削減

Daiwa House Group

○外部媒体の掲載（日経アーキテクチャ 2015年6月10日号）



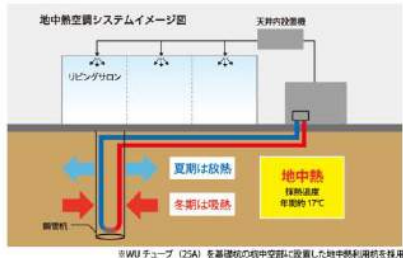
窓を自動開閉させる環境配慮型ビルー自然通風で空調負荷低減

6. 地中熱ハイブリッド空調負荷削減

Daiwa House Group

○ハイブリッド空調機の利用

鋼管杭23本中7本の内部に採熱管を設置し、ブライン液を通して、地中熱を利用した空調システムをリビングサロン(商談室)の一部に利用している。



※WU チューブ (25A) を基礎杭の中空部に設置した地中熱利用杭を採用

14

6. 地中熱ハイブリッド空調負荷削減

Daiwa House Group

○鋼管杭への地中熱利用

オーガーで、採熱管を鋼管杭内部に挿入



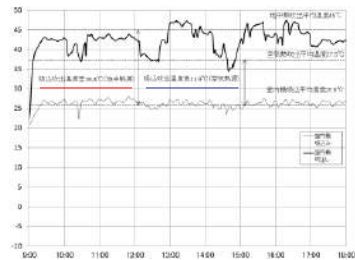
15

6. 地中熱ハイブリッド空調負荷削減

Daiwa House Group

○温度差比較

空気熱源の吹出平均温度と吸込み温度差が11.9℃、地中熱熱源平均温度と吸込み温度差が19.4℃であり、地中熱源の温度差が大きいことが確認された。これは、空気熱源に対して地中熱源の空調方式の方が効率としては高いことを示している。

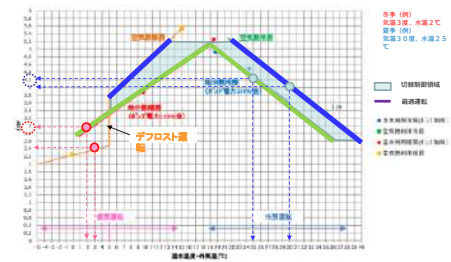


16

6. 地中熱ハイブリッド空調負荷削減

Daiwa House Group

○地中熱方式、空気熱方式の比較



地中熱、空気熱SCOP推移

外気温度の条件により効率運転が変化するため、最適条件で切替運転する。

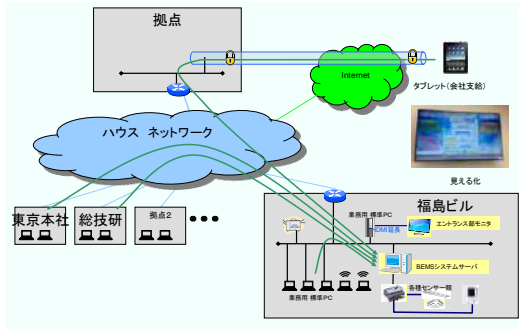
17

7. IoTによる見える化について

Daiwa House Group

OD-BEMS用ネットワーク

- ・通常業務用と同一LAN上
- ・現在のiPad から利用できる環境を用意



18

8. 創エネと蓄エネ利用

Daiwa House Group

○非常時の事業継続計画

BCP対策として、蓄電池15kwhを太陽光と連携し、停電後8時間非常電源を確保し、トイレ洗浄水は高置水槽を設け非常時に利用

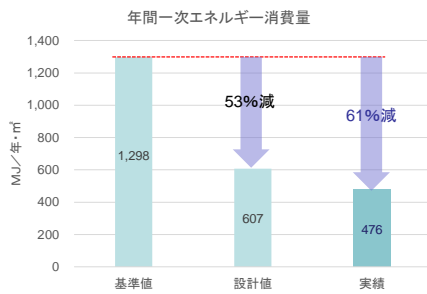


19

9. 効果について

Daiwa House Group

○一次エネルギー基準からの比較

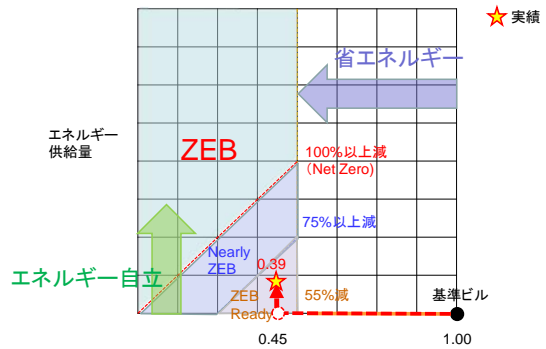


20

9. 効果について

Daiwa House Group

○ZEB化の評価



21

Daiwa House Group

共に創る。共に生きる。
We Build Hearts



大和ハウス工業株式会社

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】

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】

K K K 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】

K K K 〒162-0825 東京都新宿区神楽坂4-8 神楽坂プラザビル4F

【会長】

奥宮K 正哉（名古屋大学・教授）

【ホームページ】

<http://www.shasej.org/>

平成29年3月末現在

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K 【2017年（第45期）・2018年（第46期）】

役K 職	氏K K 名	所K K 属
支部長	須藤K 諭	東北文化学園大学
副支部長	渡辺K 浩文	東北工業大学
	船木K 寮一	三建設備工業(株)東北支店
事業幹事	内海K 康雄	仙台高等専門学校
	赤井 仁志	福島大学
	小林K 光	東北大学大学院工学研究科
	田原K 誠	(株)竹中工務店K 東北支店
総務幹事	荒川K 博之	高砂熱学工業(株)東北支店
	及川K 義信	新日本空調(株)東北支店
	金田K 清満	新菱冷熱工業(株)東北支社
会計幹事	庄司K 恒久	空気調和・衛生工学会東北支部
	小林 照和K	(株)興盛工業所
	牧野K 泰弘	ダイダン(株)東北支店
委員	石島 和明	大成建設(株)
	岡田K 誠之	東北文化学園大学
	許K 雷	東北工業大学K
	後藤K 正徳	第一工業(株)東北支店
	菅原K 正則	宮城教育大学
	鈴木K 道哉	東北学院大学
	須知K 秀行	(株)朝日工業社K 東北支店
	高原K 洋介	東北地方整備局
	田中K 和則K K	(株)ユアテック
	谷K 博之	(株)大気社K 東北支店
	月野K 智弘	(株)ピーエーシー仙台支所
	早瀬K 訓	東北電力(株)
	山田K 英明	東洋熱工業(株)東北支店
	渡邊K 東一	三機工業(株)東北支店

K

■ 賛助会員

社K K 名	郵便番号	住K K 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
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 1-5-20Ever-I片平丁ビル4階
(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 仙台ファーストタワー
三建設備工業(株)東北支店	980-0014	仙台市青葉区本町 1-13-22 仙台松村ビル 5F
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 仙台駅南部現業事務所 3F
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 1-3-45AI.Premium 8F
(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 サンハイツ泉 103
公益財団法人ふくしま海洋 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
黒澤建設工業(株)	990-0067	山形県山形市花楸 2-9-21

平成 30 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
過去優秀発表奨励賞受賞者

第6回

平成29年3月14日(火) 東北学院大学多賀城キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
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)
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
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(株)
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

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(株)
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

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
過去優秀発表奨励賞受賞者**

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

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第7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

2018年（平成30年）3月9日 発行

編集・発行所 K K K 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 K 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 K 3階内

TEL : 022-224-7091 K 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 K 東北フォーラム内

TEL : 022-221-9042 K FAX : 022-221-9243

定 K K K K 価 K K K 3,000円（税込）

表紙デザイン K K K 松本若菜 K 赤井仁志
