

---

---

第 8 回  
学術・技術報告会  
論文集

Collection of Papers of the 8th Conference

---

平成 31 年 3 月 13 日(水)

東北大学川内北キャンパス

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

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



**空気調和・衛生工学会東北支部**  
**第8回学術・技術報告会**  
**口頭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8回学術・技術報告会を下記の要領にて実施いたします。つきましては、空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学一般に関する研究や調査、物件の企画や設計・施工・試験結果等の技術報告、新製品・新素材や試製品の紹介等の講演および技術展示を募集致します。報告会当日には、若手研究者・技術者を対象とした優秀発表奨励賞の表彰も行います。産官学各界よりたくさんのご応募を賜りますよう、お願い申し上げます。また、一般来場者も聴講可能な特別セッションを予定する他、交流会も行いますのでぜひお誘いあわせのうえご参加下さい。

- 主 催 空気調和・衛生工学会東北支部
- 共 催 電気設備学会東北支部、建築設備技術者協会東北支部、日本技術士会東北本部
- 後 援 東北大学大学院工学研究科、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北海道・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、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31年3月13日(水) 8:50~17:30 (8:30受付開始) 予定
- 会 場 東北大学川内北キャンパス講義棟 (B棟 B102、B103、談話室)  
〒980-8576 仙台市青葉区川内 41  
(<https://www.tohoku.ac.jp/japanese/profile/campus/01/kawauchi/>)  
アクセス 最寄り駅：仙台市地下鉄東西線 川内駅(キャンパス直結)or 国際センター駅(西1口より徒歩約5分)

**【口頭発表・技術展示の申し込み】**

- エントリー締切 平成31年1月11日(金) (口頭発表講演者・技術展示共通)  
※エントリーを受付けた後、後日論文集掲載用原稿を提出頂きます。  
※エントリー用紙は必ず今年度版をご使用下さい。
- 応募資格 発表者(連名者)/展示者(紹介者)のうち少なくとも1名が本学会または共催・後援学協会の会員(会員種別不問)であること。
- 申込方法 エントリー用紙を当学会東北支部ホームページからダウンロードし、必要事項を記載のうえ、メールにて件名に“第8回東北支部学術・技術報告会申込み”と標記しお申込み下さい。
- 登録料
  - ・一般講演(口頭発表)：一題につき3,000円(税込)を当日お支払い下さい。連名者は無料です。当日はつり銭のないようご協力ください。
  - ・技術展示出展料：1ブース当たり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8日(金)頃までに出席者(責任者)宛に請求書を送付致します。
- 参加費 無料
- 論文集 エントリー頂いた方にPDF版ダウンロード先のリンクをメールにてお送りします(3月4日頃予定)ので、当日までにダウンロードして下さい。また、本年度より紙媒体の論文集(白黒印刷、1冊3,000円 税込)は予約販売のみとなりますので、エントリー用紙の論文購入欄にてお申込み下さい。

**【口頭発表】**

- 投稿方法 論文集掲載用原稿は偶数頁(最大6ページ)、ファイルサイズは2ページあたり1MB以内とし、期日までにPDFデータをメールにて提出ください。テンプレートや発表時の諸注意(伝達事項)は、後日当学会東北支部ホームページに掲載します。
- 原稿締切 平成31年2月14日(木)17:00必着。  
※原稿は後日HPに掲載される伝達事項を確認し、所定のファイル名をつけ提出下さい。

- 講演方法
- ・一題につき発表9分、討論3分程度を予定。
  - ・各自パソコンと発表データをご持参ください。
  - ・接続はシリアル端子のみです。Macの方、HDMI端子のみの方はアダプタをご準備下さい。
- 採 否 東北支部運営委員会に一任願います。



## 【技術展示】

- 出展内容
- ①空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学に関連する研究・調査、技術・機器・システム等を紹介するポスター等や機器・製品・システム等
  - ②技術展示会場に展示ブース(幅約180cm×奥行90cm+テーブル)を予定。
  - ③お昼前に、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 否 東北支部運営委員会に一任願います。

---

## ■プログラム (予定)

- 8:30 受付開始  
※発表者・技術展示代表者は発表・展示前に必ず受付を済ませて下さい(発表者は発表の30分前まで)。
- 8:50 開会
- 9:00 発表開始
- 午前 口頭発表、技術展示コアタイム
- 午後 口頭発表、特別セッション、奨励賞表彰式
- 17:30 閉会

- 交流会 当日18:00~20:00(予定)東北大学川内厚生会館 キッチンテラス『クルール』  
参加費6,000円(予定)。エントリ時または3月5日(火)までに当実行委員会へお申込み下さい。参加費は当日お支払い下さい。

- 連絡先 空気調和・衛生工学会 東北支部第8回学術・技術報告会実行委員会

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

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町3-8 春日町ファインビル4F

住まいと環境 東北フォーラム内

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

E-mail tohoku.shase@gmail.com 担当：柴田

※@gmail.comからのメールが受け取れるように設定をお願いします。

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

第 8 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〔口頭発表〕	1
特別セッション	121
空気調和・衛生工学会の概要	129
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	130
第 1～7 回 優秀発表奨励賞受賞者	132

第 8 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
	小林 光	東北大学
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	鈴木 道哉	東北学院大学
	菅原 正則	宮城教育大学
	須知 秀行	(株)朝日工業社東北支店
	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8回学術・技術報告会 スケジュール

	口頭発表A会場 (1階B102教室)	口頭発表B会場 (1階B103教室)	技術展示会場 (1階談話室)
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 <b>【排水通気システム】</b> A1～A4 司会:須藤 諭	9:00～9:48 <b>【建築環境①】</b> B1～B4 司会:許 雷	
	10:00～10:48 <b>【給排水設備・凍結対策】</b> A5～A8 司会:岡田 誠之	10:00～10:48 <b>【建築環境②】</b> B5～B8 司会:鈴木 道哉	
	11:00～12:00 <b>【エネルギー消費】</b> A9～A13 司会:赤井 仁志	11:00～12:00 <b>【都市計画・建築】</b> B9～B13 司会:船木 寮一	
技術展示コアタイム			12:00～12:30 (展示は8:50～16:00) T1～T5 司会:後藤 正徳
学術・技術報告 (口頭発表)	13:30～14:18 <b>【システム開発】</b> A14～A17 司会:谷 博之	13:30～14:18 <b>【再生可能エネルギー①】</b> B14～B17 司会:小林 光	
	14:30～15:06 <b>【原発事故・放射線】</b> A18～A20 司会:須知 秀行	14:30～15:18 <b>【再生可能エネルギー②】</b> B18～B21 司会:菅原 正則	
特別セッション	15:30～16:30  平成30年度地区講演会 司会:赤井 仁志		
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		
★交流会	17:30～19:30 司会:船木 寮一	会場:キッチンテラス「クルール」	

# 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

## 第8回 学術・技術報告会

### プログラム

平成31年3月13日(水)

東北大学川内北キャンパス講義棟

#### 1. 開会式

<b>【開会式】</b>	司会: 田原 誠 (株)竹中工務店
8:50~8:55 口頭発表A会場 (1階B102教室)	
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〕

<b>【排水通気システム】</b>		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 (1階B102教室)				
A-1	オフィスビルの排水立て管システムにおける排水負荷算定データに関する一考察	○ 武田 征樹 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学 佐藤 奨悟 関東学院大学 小柴 貞弘 (株)竹中工務店		1
A-2	オフィスビルの排水横枝管におけるループ通気管削減の可能性	○ 久保田真仁 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学 佐藤 奨悟 関東学院大学 小柴 貞弘 (株)竹中工務店		5
A-3	オフィスコンバージョンに対応した圧送排水システムの性能評価と設計・計画手法に関する研究 その1 圧送排水が既存排水立て管の排水性能に与える影響の検討	○ 本村 雄大 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学		9
A-4	オフィスコンバージョンに対応した圧送排水システムの性能評価と設計・計画手法に関する研究 その2 待ち行列理論を用いたシミュレーションによる排水負荷の推定	○ 呉 光正 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学		13

<b>【給排水設備・凍結対策】</b>		司会: 岡田 誠之	東北文化学園大学	掲載 ページ
10:00~10:48 口頭発表A会場 (1階B102教室)				
A-5	大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術(その1) 研究の目的、水抜き栓	○ 菅原 正則 宮城教育大学 赤井 仁志 福島大学 濱田 靖弘 北海道大学 小林 光 東北大学 飯沼 靖彦 鹿島建設(株) 田原 誠 (株)竹中工務店 田中 和則 (株)ユアテック 新倉 万結 (株)ユアテック		17
A-6	大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術(その2) 断熱ラインと配管位置①	○ 飯沼 靖彦 鹿島建設(株) 赤井 仁志 福島大学 濱田 靖弘 北海道大学 小林 光 東北大学 菅原 正則 宮城教育大学 田原 誠 (株)竹中工務店 田中 和則 (株)ユアテック 新倉 万結 (株)ユアテック		19

A-7	大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術(その3) 断熱ラインと配管位置②、給湯配管	○ 赤井 仁志 福島大学 濱田 靖弘 北海道大学 小林 光 東北大学 菅原 正則 宮城教育大学 飯沼 靖彦 鹿島建設(株) 田原 誠 (株)竹中工務店 田中 和則 (株)ユアテック 新倉 万結 (株)ユアテック	21
A-8	大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術(その4) 給水配管、ヒートポンプ給湯機と貯水槽	○ 田中 和則 (株)ユアテック 新倉 万結 (株)ユアテック 赤井 仁志 福島大学 濱田 靖弘 北海道大学 小林 光 東北大学 菅原 正則 宮城教育大学 飯沼 靖彦 鹿島建設(株) 田原 誠 (株)竹中工務店	23

【エネルギー消費】			司会: 赤井 仁志 福島大学	掲載 ページ
11:00~12:00 口頭発表A会場(1階B102教室)				
A-9	東北地方の気候風土に対応したZEHのあり方に関する研究～ 創エネルギーに関する検討～	○ 佐々木 讓 東北工業大学 渡邊 浩文 東北工業大学	25	
A-10	BEMS導入建物における計測システム稼働の調査分析	羽生 悠人 東北工業大学 ○ 渡邊 浩文 東北工業大学	27	
A-11	雨水利用施設の環境負荷の実態に関する研究	○ 岡田 誠之 東北文化学園大学 前田 信治 (有)前田衛生興業 八十川 淳 東北文化学園大学 福井 啓太 東北文化学園大学	29	
A-12	家庭用エアコンによる連続運転の効果増進に関する考察	○ 長谷川 智 (一財)電力中央研究所 高橋 大智 東北電力(株)	35	
A-13	高断熱住宅での実計測によるエアコン暖房を連続運転にした 場合の効果検討	○ 大子田誠也 東北電力(株) 松田 賢 東北電力(株) 工藤 堅治 東北電力(株)	39	

【システム開発】			司会: 谷 博之 (株)大気社	掲載 ページ
13:30~14:18 口頭発表A会場(1階B102教室)				
A-14	地中熱を利用する無散水融雪システムの導入事例	○ 村上 栄造 (株)朝日工業社 川村 勇太 (株)朝日工業社 須知 秀行 (株)朝日工業社 渋谷 浩志 ミサワ環境技術(株) 坂本 隼人 大泉開発(株) 藤村 一樹 (株)横河建築設計事務所	43	
A-15	天井吹出口毎に風量制御する空調システムの開発	○ 鈴木 慎介 三機工業(株) 福森 幹太 三機工業(株) 新村 浩一 三機工業(株) 土屋 茂樹 三機工業(株)	47	
A-16	金属加工プロセスにおけるナノサイズオイルミストの発生と特性	○ 福森 幹太 三機工業(株) 岩崎 守顕 三機工業(株) 東 秀憲 金沢大学 瀬戸 章文 金沢大学	51	
A-17	アンズリウムのポリエステル媒地栽培における炭酸ガスの局所 施肥がその生育に及ぼす影響 ー 福島県伊達郡川俣町の場合 ー	○ 清水 一功 新日本空調(株) 高塚 威 新日本空調(株) 田中 尚道 近畿大学 青山 恭久 アースコンシヤス(株)	55	



【原発事故・放射線】		司会：須知 秀行 (株)朝日工業社	掲載 ページ
14:30～15:06 口頭発表A会場 (1階B102教室)			
A-18	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4)γ線空間線量率分布解析のための実用的放射線境界条件モデルの開発	○ 小林 光 東北大学 山守 諒 (株)竹中工務店 中島 主策 東北大学 一條 祐介 東北文化学園大学 古田 琢哉 日本原子力研究開発機構 吉田 浩子 東北大学 野崎 淳夫 東北文化学園大学 吉野 博 東北大学	59
A-19	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5)木造建築を対象としたγ線空間線量率分布の解析	○ 中島 主策 東北大学 小林 光 東北大学 遠藤 聡人 東北大学 山守 諒 (株)竹中工務店 古田 琢哉 日本原子力研究開発機構 吉田 浩子 東北大学 野崎 淳夫 東北文化学園大学 吉野 博 東北大学	63
A-20	原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する研究 (その6)建築空間内γ線空間線量率分布の実測による詳細調査	○ 遠藤 聡人 東北大学 小林 光 東北大学 中島 主策 東北大学 一條 祐介 東北文化学園大学 野崎 淳夫 東北文化学園大学 吉野 博 東北大学	65

【建築環境①】		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 (1階B103教室)			
B-1	寒冷地の庁舎建築における環境性能に関する長期実測 -地中熱利用技術と居住空間の環境調整機能の考察-	○ 小田島賢成 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	67
B-2	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 -実大試験家屋を対象とした暖冷房実験と戸建住宅への導入事例における長期実測-	○ 松田 芳輝 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	71
B-3	乳幼児と高齢者の体温調節反応の特性に関する文献調査 -主として暑熱環境と寒冷環境について-	○ 小林 集地 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	75
B-4	熱環境からみた冬期の居住性能に関する36年間の推移 -東北地方都市部における地域特性の分析-	○ 増田早也花 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	77

【建築環境②】		司会：鈴木 道哉 東北学院大学	掲載 ページ
10:00～10:48 口頭発表B会場 (1階B103教室)			
B-5	戸建住宅の部分断熱改修が熱環境性能に及ぼす効果に関する研究 -山形県鶴岡市内の事例を対象として-	○ 羽染 優 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	81
B-6	戸建住宅における健康リスク低減のための居住リテラシーに関する調査研究 -統計手法を用いた室内環境形成要因の分析-	○ 三澤 彩乃 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	85
B-7	住宅のダンプネスと室内真菌汚染に関する事例調査 -特徴的な真菌叢に着目して-	○ 阿部 光祐 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	89
B-8	(欠番)		

【都市計画・建築】		司会：船木 寮一 三建設備工業(株)		掲載 ページ
11:00～12:00 口頭発表B会場 (1階B103教室)				
B-9	木造オフィスビルにおける環境計測とシミュレーションに関する研究 その1 中間期における実測調査	○ 相澤 那樹 杉浦 洋一 許 雷	セルコホーム(株) セルコホーム(株) 東北工業大学	93
B-10	木造オフィスビルにおける環境計測とシミュレーションに関する研究 その2 中間期における実測とシミュレーションの比較	○ 許 雷 相澤 那樹 杉浦 洋一	東北工業大学 セルコホーム(株) セルコホーム(株)	95
B-11	戸建住宅及び集合住宅を対象とした省エネ・エコに関する意識調査	○ 渡部 慎吾 佐藤 夏輝 信太 崇佑 鈴木 道哉	東北学院大学 東北学院大学 東北学院大学 東北学院大学	97
B-12	(欠番)			
B-13	避難自助検討のための洪水ハザードマップのあり方に関する基礎的研究	茄子川 柊 ○ 渡邊 浩文	東北工業大学 東北工業大学	101

【再生可能エネルギー①】		司会：小林 光 東北大学		掲載 ページ
13:30～14:18 口頭発表B会場 (1階B103教室)				
B-14	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その1) 事業とキャンパスの概要、熱・電気エネルギー需要簡易ポテンシャル推定	○ 関根 卓哉 池田 俊幸 赤井 仁志 佐藤 秀樹 渡部 一徳	(株)アーク (株)アーク 福島大学 福島大学 福島大学	103
B-15	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その2) 電力特性、太陽光発電と風力発電の導入計画	○ 阿部 良道 佐藤 正佳 松本 利文 先崎 希 五十嵐勝裕 赤井 仁志 佐藤 義久 斉藤 公彦 佐藤 秀樹 渡部 一徳	(株)ユアテック (株)ユアテック (株)ユアテック (株)ユアテック 東北電力(株) 福島大学 福島大学 福島大学 福島大学 福島大学	107
B-16	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その3) 地中熱・地下水熱利用簡易ポテンシャルマップ	○ 小林 強 加藤 邦康 須藤 明德 宮田 弘幸 藤沼 伸幸 阿部健一郎 谷藤 允彦 赤井 仁志 佐藤 秀樹 渡部 一徳	(株)福島地下開発 (株)福島地下開発 (株)福島地下開発 (株)福島地下開発 新協地水(株) 新協地水(株) 新協地水(株) 福島大学 福島大学 福島大学	19
B-17	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その4) フリーヒーティングによる融雪と地中熱利用空調システム計画①	○ 小野 勇人 田中 雅人 中元 秀則 高杉 真司 館野 正之 赤井 仁志 佐藤 秀樹 渡部 一徳	ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) ジオシステム(株) ジオシステム(株) 福島大学 福島大学 福島大学	111

【再生可能エネルギー②】		司会：菅原 正則	宮城教育大学	掲載 ページ
14:30～15:18 口頭発表B会場 (1階B103教室)				
B-18	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その5) 地中熱利用空調システム②と地下水利用ヒートポンプハイブリッド給湯システム計画	○ 渡部 一徳 佐藤 秀樹 赤井 仁志 谷藤 浩二 宮平 英樹	福島大学 福島大学 福島大学 ゼネラルヒートポンプ工業(株) ゼネラルヒートポンプ工業(株)	113
B-19	福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(その6) 地中熱利用による学内熱源水ネットワーク計画、福島市としての展開と総括	○ 加藤 龍宏 勝又 雅浩 新倉 万結 赤井 仁志 佐藤 秀樹 渡部 一徳 吉田 典生 高橋 克典 池田 俊幸 関根 卓哉	(株)ユアテック (株)ユアテック (株)ユアテック 福島大学 福島大学 福島大学 福島市環境課 福島市環境課 (株)アーク (株)アーク	115
B-20	再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(その1)	○ 赤井 仁志 長谷川 巖 土井 章弘 中島 一義 濱田 靖弘 仲川 ゆり 松鶴さとみ 矢崎 稜馬 土山 紘平	福島大学 (株)日建設計 (株)竹中工務店 (株)総合設備コンサルタント 北海道大学 JR東日本ビルテック(株) 鹿児島大学 北海道大学 北海道大学	117
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 12:00～12:30 (展示は8:50～16:00)		技術展示会場 (1階談話室)	
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	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-4	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-5	Shinryo BIM solutions	新菱冷熱工業(株)	

## 4. 特別セッション

### 空気調和・衛生工学会東北支部 平成30年度地区講演会

<b>【特別セッション】再生可能エネルギー先駆けの地・福島の現状と副会：赤井 仁志 福島大学</b> 15:30～16:30 口頭発表A会場 (1階B102教室)		掲載 ページ
1. 開会		121
2. 講演	「再生可能エネルギー先駆けの地を目指して ……ふくしまで進む産学官連携による再エネ関連産業の集積」	
3. 閉会	服部 靖弘 福島県産業振興センター エネルギー・エージェンシーふくしま	

## 5. 閉会式

<b>【閉会式】</b>		司会：田原 誠 (株)竹中工務店
16:30～16:45 口頭発表A会場 (1階B102教室)		
優秀発表奨励賞 発表	優秀発表奨励賞 選考・表彰委員会委員長	渡邊 浩文 東北工業大学
優秀発表奨励賞 受賞式	空気調和・衛生工学会 東北支部長	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8回 学術・技術報告会 交流会

平成31年3月13日(水)  
 東北大学川内厚生会館 キッチンテラス「クルール」  
 (仙台市青葉区川内40)

### ★ 交流会

<b>【交流会】</b>		司会：船木 寮一 三建設備工業(株)
17:30～19:30 キッチンテラス「クルール」 [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	電気設備学会 東北支部 副支部長	太田 良治 (株)ユアテック
乾杯	住まいと環境 東北フォーラム 副理事長	石川 善美 東北工業大学
【 歓 談 】		
閉会挨拶	第8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

オフィスの排水立て管システムにおける排水負荷算定データに関する一考察

○武田 征樹 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 佐藤 奨悟 (関東学院大学),

小柴 貞弘 (株式会社竹中工務店)

A Study on Drainage Load Calculation Date in the Drainage Stack System of Office Buildings  
Takeda Masaki (Kanto gakuin University), Otsuka Masayuki(Kanto gakuin University),  
Satou Shougo(Kanto gakuin University), Koshiba Sadahiro(Takenaka Corporation)

キーワード：オフィスビル, 器具占有時間, 器具平均排水間隔

はじめに

新築・既築のオフィスビルにおいて、施工性の良い、連立節水形トイレユニットが普及してきている。設置される大便器の洗浄水量は、従来の洗浄水量(13[L])に比べ、現在は 6.0[L]以下となり、半分以上にまで節水化が進んでいる。ただし、現行の空気調和・衛生工学会 SHASE-S206 給排水衛生設備規準 同解説<sup>1)</sup>の定常流量法の排水負荷計算では、過剰な器具排水量と器具平均排水流量が設定されていることが課題といえる<sup>2)</sup>。さらに、器具平均排水間隔についても、大便器の利用実態の変化に伴い変化しつつあると考える。

本調査では、実在の高層オフィスビルの大便器ブースの、適正器具数や排水管への排水負荷算定上、重要なファクターとなる、大便器の占有時間、排水間隔を調査し、その利用実態を把握するとともに、最後に、それらを用いて排水立て管への負荷計算を実施し、現行 SHASE-S206 データを用いた結果と比較、検討する。

1. 調査方法

1.1 調査概要

表 1 に建物概要を、図 1、2 に調査対象としたフロアの男女便所の配管平面図をそれぞれ示す。調査期間は 2018 年 8 月 22 日 (水) ~ 11 月 13 日 (火) の 3 ヶ月間とする。調査対象フロアの在室人員は男性 206 名、女性 61 名、床面積は 2,994[m<sup>2</sup>]である。調査対象トイレにおける設置器具は、排水横枝管(管径 100[A])に、節水形大便器 (フラッシュタンク式<sup>2)</sup>) 4~5 台、小便器 5 台、洗面器 4~5 台、手洗い器 1 台、うがい器 1 台 (男子のみ) が設置されており、その末端は排水立て管 (管径 125[A]) に接続されている。当該建物の大便器の

表 1 建物概要

所在地	大阪府大阪市	用途	オフィスビル
構造規模	S造 地上9階 地下4階	設置衛生器具	大便器 (調査対象) 節水形フラッシュタンク式 <sup>2)</sup> 器具平均排水流量 $q_d$ 0.72 L/s
在室人員	男性206名 女性61名		男子4台 女子5台
敷地面積	4,420m <sup>2</sup>	小便器	5台
建築面積	3,706m <sup>2</sup>	洗面器	男子4台 女子5台
床面積 (対象階)	2,994m <sup>2</sup>	手洗い器	男子1台 女子1台
延床面積	44,592m <sup>2</sup>	うがい器	男子1台
特徴	建物中央にコア、周辺に事務室		
排水設備システム	排水立て管径125A 排水横枝管径100A 通気立て管径100A	排水方式	合流排水 ループ通気方式 (50A)

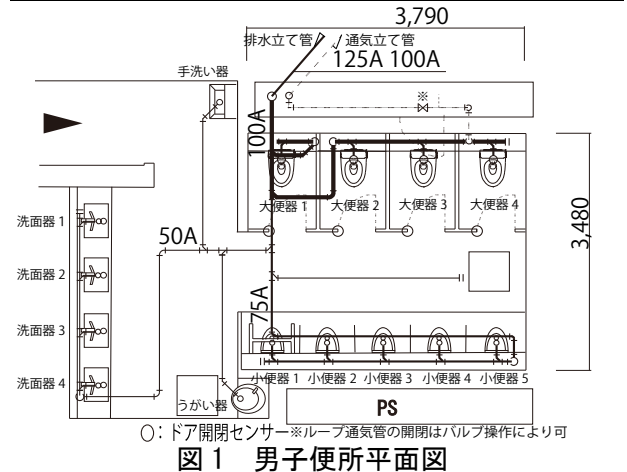


図 1 男子便所平面図

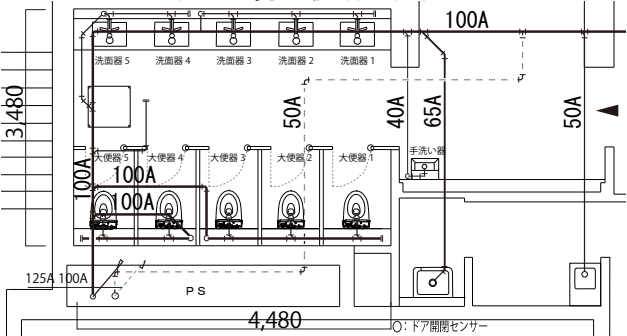


図 2 女子便所平面図

設置個数は、SHASE-S206 による適正器具数算定法によれば、男女共にレベル I (上限値: ゆとりのある器具数) の条件であった。なお、大便器の器具平均排水流量  $q_d$  は 0.72[L/s]<sup>2)</sup> ( $\approx 0.75[L/s]$ ) である。また、排水横枝管より、ループ通気管 (管径 50[A]) を取り出し、末端は通気立て管 (管径

100[A]) に接続されている。

1.2 測定項目及び方法

図1、2において、大便器ブース（便所入口側から1～5とする）にドア開閉センサーが設置されており、この開閉の時間差により器具平均占有時間  $\tau$  (以降  $\nu$ ) を把握する。また、各大便器の洗浄弁に作動センサーが設置されており、この洗浄弁作動間隔より器具平均排水間隔  $T_0$  (以降  $T_0$ ) を把握する。ドア開閉時間は無線ルーターを介し、建物内のデータ収録装置へ記録する。また、洗浄弁の開閉信号（サンプリング間隔 0.1[s]）は、データロガーに記録する。これらの値は事前に同期させ、内蔵時計の時刻を合わせ、整理する。

1.3 器具占有時間  $\tau$  と器具平均排水間隔  $T_0$  の求め方

図3にドア開閉と洗浄弁開閉信号の事例を示す。1.2で述べた、ドアの開閉時間差 ( $t_{d2}-t_{d1}$ )、( $t_{d4}-t_{d3}$ ) … ( $t_{dn}-t_{dn-1}$ ) より、これらを平均し、 $\tau$  を求める。また、同様に ( $t_{f2}-t_{f1}$ ) … ( $t_{fn}-t_{fn-1}$ ) の洗浄弁作動間隔を平均し、 $T_0$  を求める。

2. 排水負荷算定フロー

図4にSHASE-S206 定常流量法の算定フローを示す。器具排水量  $w$  (以降  $w$ ) には、従来の節水形サイホン式：13[L]と、節水形フラッシュタンク式：6.3[L]<sup>2)</sup> を使い、 $T_0$  には、従来の男子大便器4台：600[s]、女子大便器5台：170[s]と、本報で測定したものをを用いる。また、器具平均排水流量  $q_d$  (以降  $q_d$ ) には、従来の大便器：1.5[L/s]と、既報<sup>2)</sup>：0.72[L/s] (概ね0.75[L/s]とする) を用いる。以上の数値より、負荷流量  $Q_L$  [L/s]と管径  $D$  を算定し、比較する。

3. 調査結果及び考察

3.1 器具占有時間  $\tau$  の調査

図5、6に男女便所の全調査期間（3ヶ月間）での  $\tau$  の発生頻度分布と平均値をそれぞれ示す。図5より、既往研究<sup>3)</sup>では、男子大便器ブースの  $\tau$  の平均値は7分14秒（434[s]）と報告されているのに対し、本調査は6分34秒（394[s]）と40秒短く、その差は1分以内におさまった。しかし、既往研究の  $\tau$  の平均値を超える時間の発生頻度は、全体の約30%に達する。次に、図6より、既往研究では、女子大便器ブースの  $\tau$  の平均値は2分14

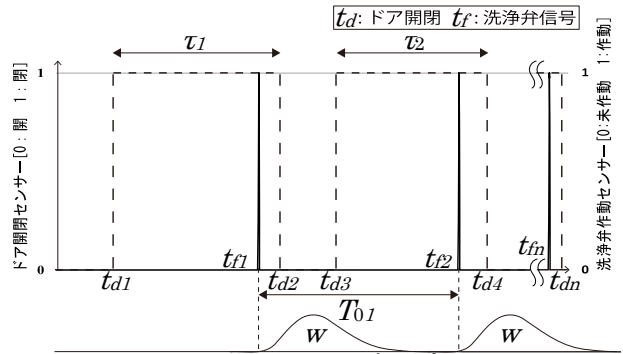


図3  $\tau$  と  $T_0$  の求め方

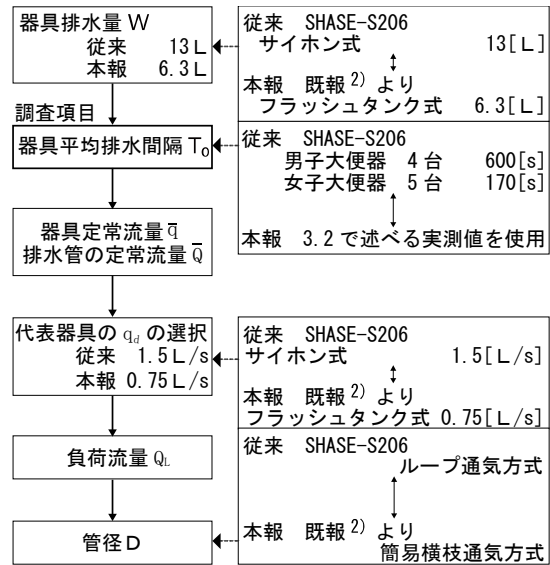


図4 SHASE-S206 定常流量法算定フロー

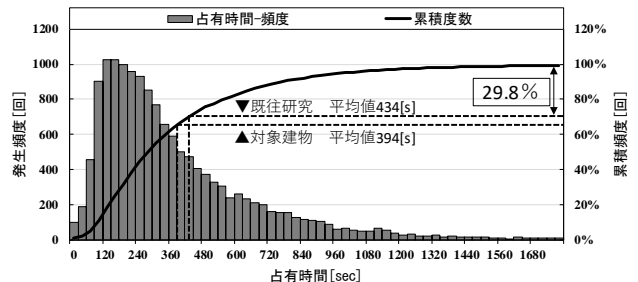


図5 男子大便器全ブースの器具占有時間  $\tau$  頻度分布（全調査期間）

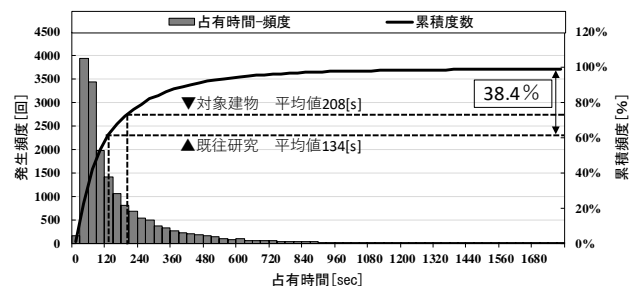


図6 女子大便器全ブースの器具占有時間  $\tau$  頻度分布（全調査期間）

秒 (134[s]) と報告されているのに対し、本調査は 3分38秒 (208[s]) と 1分14秒 (74[s]) 長くなった。また、既往研究の  $\tau$  の平均値を超える時間の発生頻度は、全体の約 38% に達する。さらに、男女便所のブース別に  $\tau$  の平均値及び最大値・最小値を求めたものを、表 2 に示す。同表より、男子は、便所入口から遠いブースほど占有時間が伸びる傾向がみられ、最大  $\tau$  は全ブース平均  $\tau$  から 46分28秒長く、最小  $\tau$  は平均  $\tau$  から 6分24秒短くなった。一方、女子は、ブース毎の平均  $\tau$  に最大 2分以上の差がみられ、最大  $\tau$  は全ブース平均  $\tau$  から 54分29秒長く、最小  $\tau$  は平均  $\tau$  から 3分28秒短くなり、男女共に数値のばらつきが多くみられた。次に、表 3 に対象建物の大便器の適正設置器具数を、現行 SHASE-S206 事務所の適正器具数の選定図<sup>4)</sup>より求め、実際の設置器具数と比較したものを示す。同表より、いずれもサービスレベル I 以上の安全率を有しているが、前述の結果より、男子は約 30%(最大 53分2秒)、女子は 38%(最大 57分57秒)の超過が生じ、待ち時間の発生及び  $T_0$  が延びるものと推定される。

### 3.2 器具平均排水間隔 $T_0$ の調査

図 7、8 に男女の 1 日の時間帯別洗浄弁作動頻度を全調査期間 (平日のみ) で集計し、その平均値・標準偏差をそれぞれ示す。SHASE-S206 の  $T_0$  のデータは、最も利用頻度の高い時間帯 (以降ラッシュアワー) より決定しており、同図より、本調査では、男子トイレは 8 時~9 時、女子トイレは 12 時~13 時の 1 時間をラッシュアワーと見なす。この時間帯における男女の  $T_0$  の頻度分布を図 9、10 にそれぞれ求めて示す。図 9 より、SHASE-S206 では、男子大便器 4 台の  $T_0$  は 10 分 (600[s]) と定めているのに対し、本調査では、5 分 5 秒 (305[s]) と半分程度となった。また、図 10 より、SHASE-S206 では、女子大便器 5 台の  $T_0$  は 2 分 50 秒 (170[s]) と定めているのに対し、本調査では、6 分 18 秒 (378[s]) と 3 分 28 秒 (208[s]) 長くなった。以上より、前述 3.1 の結果からも推定したように、 $\tau$  の変化が  $T_0$  に影響を及ぼしていることが明らかとなり、図 4 の負荷算定フローにおいて、この結果と  $w$  及び  $q_d$  の低減値を総合的に考慮し、定常流量法の排水負荷計算を行い、比較し、知見を得ることは、排水立て管のサイズダウンの可能性を検討する上で有益であると考えられる。

表 2 男女トイレ各ブースの平均・最大・最小  $\tau$

	ブース番号	全ブース	ブース1	ブース2	ブース3	ブース4	ブース5
男子	平均	6分34秒	6分18秒	6分22秒	6分40秒	7分3秒	
	最大	+46分28秒	50分2秒	53分2秒	44分44秒	45分11秒	
	最小	-6分24秒	10秒	10秒	18秒	11秒	
女子	平均	3分38秒	3分11秒	2分49秒	4分53秒	3分29秒	3分46秒
	最大	+54分29秒	56分40秒	46分10秒	57分57秒	35分52秒	50分44秒
	最小	-3分28秒	12秒	15秒	10秒	10秒	12秒

表 3 SHASE-S206 事務所の適正器具数<sup>4)</sup> と対象建物との比較

事務所	人数	レベル	適正設置器具数	対象建物設置器具数
男性	206名	1	4台	4台
女性	61名	1	4台	5台

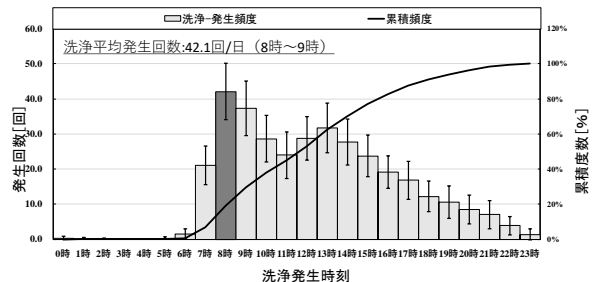


図 7 男子トイレの時間帯別洗浄弁作動頻度

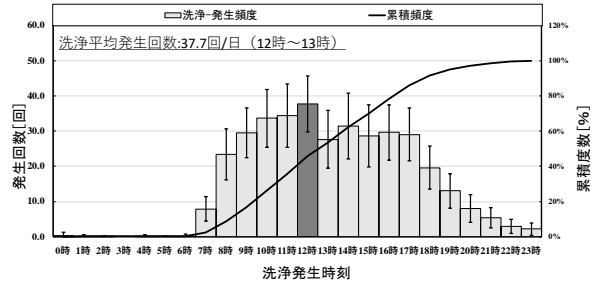


図 8 女子トイレの時間帯別洗浄弁作動頻度

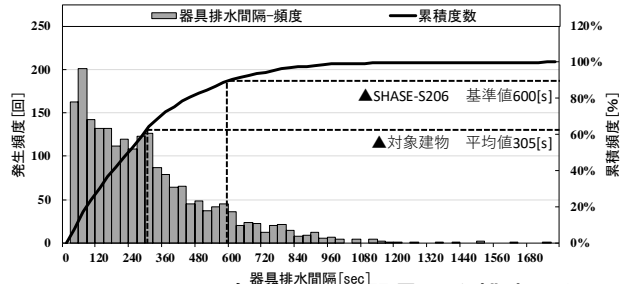


図 9 男子トイレ全ブースの器具平均排水間隔  $T_0$  頻度分布 (全調査期間 8 時~9 時)

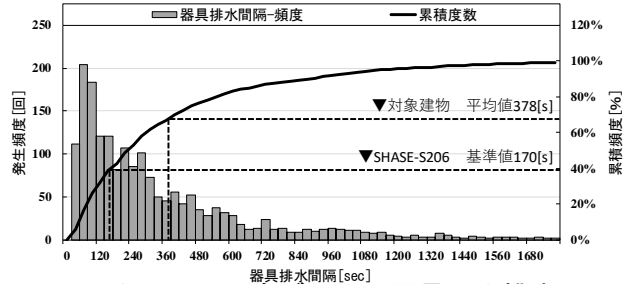


図 10 女子トイレ全ブースの器具平均排水間  $T_0$  頻度分布 (全調査期間 12 時~13 時)

### 3.3 排水負荷計算結果の比較

表4に、排水負荷計算に用いるSHASE-S206と調査結果の数値をそれぞれ示す。大便器における $w$ と $q_d$ は、図4で示したデータを採用する。 $T_0$ は、前述3.2より、男子大便器はSHASE-S206で定められている600[s]と、調査結果の305[s]を採用し、女子大便器はSHASE-S206で定める170[s]と、調査結果の378[s]を採用する。その他、設置衛生器具の $w$ 、 $q_d$ 、 $T_0$ については、SHASE-S206記載データを採用する。また、調査対象建物は9階建てであるが、他の階数も想定し同様に階数 $F$ と負荷流量 $Q_L$ の関係を比較したものを男女別に図11、12に示す。さらに、図13には男女合流排水システムを想定し、比較したものを示す。図11より、男子便所の負荷流量 $Q_L$ は、9階建規模では、SHASE-S206データが約12.2[L/s]、本調査データが約8.8[L/s]と27.8%程度、排水負荷が低減し、排水立て管径 $D$ も125[A]から100[A]へとサイズダウンできる。また、図12より、女子トイレの負荷流量 $Q_L$ は、9階建規模では、SHASE-S206データが約15.3[L/s]、本調査データが約7.1[L/s]と53.6%程度、排水負荷が低減し、排水立て管径 $D$ も125[A]から100[A]へとサイズダウンできる。さらに、図13より、男女合流排水システムとした場合、SHASE-S206データが約21.2[L/s]、本調査データが約12.9[L/s]と39.1%程度、排水負荷が低減し、排水立て管径 $D$ も150[A]から125[A]へとサイズダウンできる。以上より、男子便所の場合、 $w$ が13[L]から6.3[L]へ、 $T_0$ は600[s]から305[s]へ短くなるので定常流量 $\bar{q}=13/600$ (=0.021)から $6.3/305$ (=0.020)へ変わり、計算上大きな変化はないが、排水負荷算定のファクターとなる、大便器の代表器具の $q_d$ が1.5[L/s]から0.75[L/s]へ低減したため、総合的に排水負荷流量が低減された。女子便所の場合、さらに $T_0$ が170[s]から378[s]へ長くなるので、大幅な負荷流量の低減がみられた。

### 4. まとめ

平均 $\tau$ は、男子は既往研究より短く、女子は長くなったが、男子は約30%、女子は約38%が長時間ブースを占有しており、利用実態が変化していることが指摘できる。また、 $T_0$ もSHASE-S206より、男子は短く、女子は長くなったが、排水負

荷計算の結果、節水化により、負荷流量 $Q_L$ は減少した。以上より、SHASE-S206データの $w$ と $q_d$ 、 $T_0$ の見直しが必要だと指摘できる。

表4 排水負荷計算におけるSHASE-S206データと調査結果データの比較

設置器具	参考データ		階数	器具排水量 $W$		器具平均排水間隔 $T_0$		器具平均排水流量 $q_d$
	男子	女子		男子	女子			
大便器	SHASE-S206		9階	13L	600s	170s	1.5L/s	
4台 5台	調査結果			6.3L	305s	378s	0.75L/s	
小便器				6L	180s		0.5L/s	
洗面器	SHASE-S206		9階	3L	80s	70s	0.3L/s	
4台 5台	数値を使用							
手洗い器				3L		600s	0.3L/s	
※2台	1台							

※うがい器は手洗い器とみなす

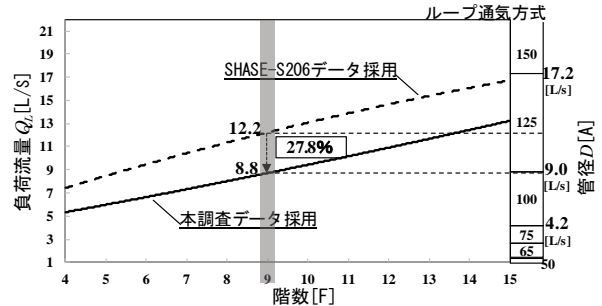


図11 SHASE-S206と調査結果による負荷流量 $Q_L$ 及び排水管径 $D$ の比較(男子)

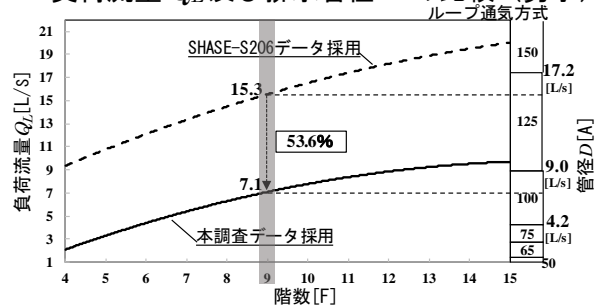


図12 SHASE-S206と調査結果による負荷流量 $Q_L$ 及び排水管径 $D$ の比較(女子)

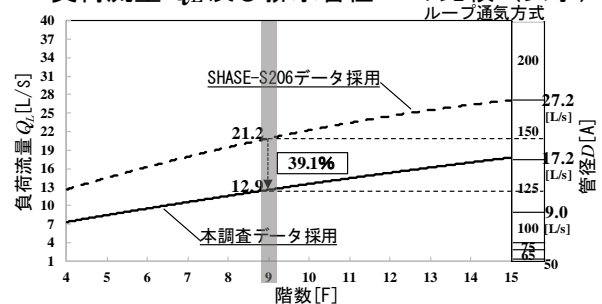


図13 SHASE-S206と調査結果による負荷流量 $Q_L$ 及び排水管径 $D$ の比較(男女)

### 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会設備基準 SHASE-S206.2009 定常流量法-排水通気管径の決定 p257-266
- 2) 若菜颯人 他:「オフィスビルのトイレ改修に適應する節水形トイレユニット排水システムの提案」空気調和・衛生工学会大会 2018年9月
- 3) 高橋未樹子 他:「オフィスでのトイレ利用実態について 公共的トイレの利用実態に関する研究 その1」日本建築学会大会学術講演梗概集 2017年8月
- 4) 空気調和・衛生工学会設備基準 SHASE-S206.2009 衛生器具の設置個数の決定 p207-211



# A-2

## オフィスの排水横枝管におけるループ通気管削減の可能性

○久保田 真仁（関東学院大学）,大塚 雅之（関東学院大学）,

佐藤 奨悟（関東学院大学）,小柴 貞弘（株式会社竹中工務店）

Possibility of reduction of loop vent pipe in dragnage horizontal branch pipe of office building  
 Masahito KUBOTA(Kanto-gakuin University),Masayuki OTSUKA(Kanto-gakuin University),Shougo SATOU (Kanto-gakuin University), Sadahiro KOSIBA(Takenaka Corporation)

キーワード：オフィスビル, 排水横枝管, ループ通気管

### 1. はじめに

通常、オフィスの連立大便器の設置された排水横枝管には、誘導サイホン作用防止のために、ループ通気管が設置されている。しかし、既往の研究によれば、節水形大便器が普及することによって、従来より排水流量が低くおさえられるため、ループ通気管を削減することが可能であると指摘されている<sup>1)</sup>。このような背景より、本研究は、一般のオフィスビルにおいて、連立節水形トイレユニットが接続される排水横枝管におけるループ通気管の削減を目的に、実在のオフィスの大便器の接続された排水横枝管を用い、排水性能実験と長期排水性能調査を行い、その可能性を明らかにすることを目的とする。

### 2. 実験及び調査方法

本研究で用いる実在オフィスの概要を表 1 に、図 1 に代表部分の排水立て管系統図を、図 2 に対象階(5 階)のトイレ平面図を示す。本研究では、地上 9 階建てのオフィスの 5~7 階の排水横枝管を用いて実施する排水性能実験と、同建物 5 階の排水横お枝管を用いて、約 3 ヶ月間実施する長期排水性能調査の 2 つから排水性能を把握する。

#### 2.1 排水性能実験

##### (1) 排水実験システム

表 2 に示す大便器を含む 5 種の衛生器具は、管径 100A の排水横枝管に接続されており、それより取り出した管径 50A のループ通気管は通気立て管 100A へ接続されている。また排水立て管は 125A とする。ループ通気管と通気立て管はボールバルブを用いて適宜開閉を行い、実験ごとにループ通気管の有無を設定する。

表 1 建物概要

構造規模	S造 地上9階 地下4階	
用途	オフィスビル	
特徴	建物中央にコア、その周辺に事務室	
敷地面積	4,420㎡	床面積(対象階) 2,994㎡
建築面積	3,706㎡	延床面積 44,592㎡
設備システム	排水立て管径125A 排水横枝管径100A	排水方式：合流排水 ループ通気方式(50A)

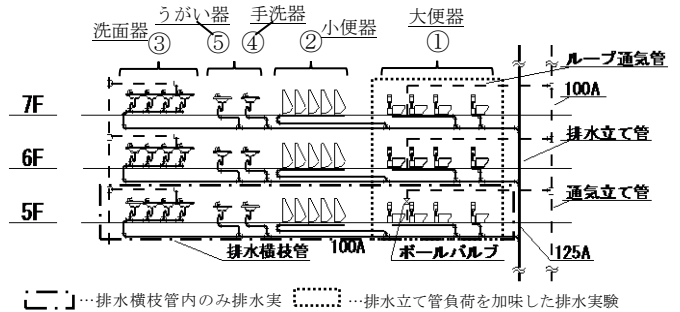


図 1 排水立て管システム (一部)  
3,790[mm]

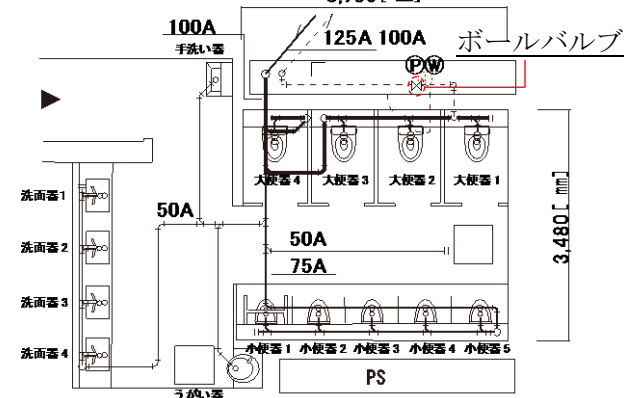


図 2 排水横枝管システム図 (5階)

表 2 設置衛生器具

器具番号	①	②	③	④	⑤
衛生器具名	大便器	小便器	洗面器	手洗器	うがい器
写真					
洗浄水量	6[L/回]	1.45[L/回]	0.08[L/s]	0.84[L/s]	0.15[L/s]

(2) 排水負荷の与え方

排水性能実験の排水負荷パターンを表-3 に示す。排水性能実験では、清水のみで行う清水排水と、供試代用汚物(トイレットペーパー)D、D<sup>2</sup>) (以下、汚物とする) の2種を設定し、混入排水を行う。排水タイミングは、まず排水立て管から最も遠い位置にある小便器5台の排水を行い、5台排水完了3秒後に大便器4台が合流するように排水タイミングを設定する。ただし、洗面器4台、手洗い器1台、うがい器1台は、洗浄水量が前記2種の衛生器具に比べ少ないため、測定開始から絶えず排水させ続けるものとする。また、5階の排水横枝管における合流排水に対し、より厳しい負荷条件として、上層6階、さらには6,7階からの合流排水負荷を与える。なお、本実験は、それぞれ試行回数3回とし、実験結果には、その平均値を用いる。また、小便器排水は疑似小便として図3に示すペットボトル500[ml]の1/3程度を1.5[s]以上放水し、その放水をマイクロ波センサーへ感知させることで洗浄水を排水する。

(3) 測定項目及び方法

① 通気管内圧力

ループ通気管立ち上げ部で圧力センサーを用い管内圧力[Pa]の測定を行う。また、その判定基準値は、SHASE-S 218<sup>3)</sup> に準拠し±400[Pa]以内とする。

② 通気管内風速

ループ通気管立ち上げ部で熱線風速計を用いて、通気管内風速[m/s]の測定を行い、通気流量に換算する。

③ トラップ封水損失

排水の前後に大便器の封水の変化から封水損失値及び破封の有無を測定する。ただし、測定は各排水パターンの試行回数の1回目に行うものとし、判定規準値は、封水トラップの深さ(封水深)の1/2以下(25[mm])とする。ただし、封水損失は目視メジャーにより測定する

2.2 長期排水性能調査

調査期間は、2018年8月22日(水)~11月11日(日)の約3ヶ月間とし、その期間中はボールバルブの開閉を設定することで、実使用時のループ通気管の有無による管内圧力の変動を測定する。設定したボールバルブの開閉期間は、8月22日

表3 排水負荷パターン

No.	実験条件 器具 汚物	排水負荷パターン							
		大便器1	大便器2	大便器3	大便器4	小便器(4台)	洗面器(5台)	うがい器	手洗い器
排水横枝管内合流排水パターン	開	なし							
	閉					○	◎		□
	開					○			
	閉						◎		□
	開	●							
	閉	●	●						
	開	●	●	●					
	閉	●	●	●	●				
	開	●	●	●	●	○			
	閉	●	●	●	●	○	◎		
	開	●	●	●	●	○	◎		□
	閉	●	●	●	●	○	◎		□

(1) 排水横枝管のみ排水実験

No.	実験条件 器具 汚物	大便器						
		5階	6階	7階	6階	7階	7階	7階
排水立て管負荷を加	開							
	閉					●	●	
	開	●	●	●	●	●	●	
	閉	●	●	●	●	●	●	●
	開	●	●	●	●	●	●	●
	閉	●	●	●	●	●	●	●
	開	●	●	●	●	●	●	●
	閉	●	●	●	●	●	●	●

(2) 排水立て管負荷を加味した排水実験



図3 疑似小便放水用ペットボトル

(水)~10月4日(水)までがボールバルブを閉じ通気無、同年10月5日(金)~11月11日(日)の間はボールバルブを開放した通気有とした。本調査は、前記した排水実験と同じ位置で管内風速、管内圧力を測定する。

3. 結果及び考察

3.1 排水性能実験

(1) 通気流量の変動

図-4に通気流量  $Q_{amax}$  と負荷流量  $Q_L$  でまとめたものを示す。大便器4台排水を行っても、SHASE-S 206<sup>4)</sup> に規定されている必要通気量を大きく上回り、設置されているループ通気管が機能していることが把握できた。このことから、ループ通気管を削減した場合、管内圧力が増加すると推定できる。

(2) 排水横枝管における排水性能の検証

図5に表3(1)に示す排水負荷パターンで実験を行った管内圧力  $P_{min}, P_{max}$  の比較を示す。

また、同図には、汚物の混入の有無による条件も含まれている。同図より、最も厳しい組み合わせである No.12 を見ると、管内圧力  $P_{min}$  は通気有で-48[Pa]、通気無が-169[Pa]を測定しており、通気の有無だと 120[Pa]の差が生じた。また、同パターンを汚物の有無で比較すると、50[Pa]程度の差が生じた。これらの比較から、汚物の有無より通気の有無による管内圧力の差が大きくなることが明らかとなった。

また、最も大きな負荷を加えた No.12 でも  $P_{min}$  の変動の最大値は-170[Pa]程度に収まっており、連立節水形大便器、小便器、洗面器、手洗い器、うがい器の合流排水で、排水横枝管の管径が 100A 以上であればループ通気管は不要とみなせる。

(3) 排水立て管負荷を加味した排水横枝管システムにおける排水性能

図 6 に表 3(2) に示す排水パターンで、実験を行った管内圧力  $P_{min}, P_{max}$  の比較を示す。この実験では、5 階大便器 4 台に加え、6 階さらに 7 階からの合流排水を行い 5 階の排水横枝管に負荷を加えた。同図は、通気の有無について比較しており、汚物種の比較も含まれている。また、図 5 で生じた負圧の平均値も示す。ボールバルブを閉じ通気無とした場合、排水横枝管内のみでの合流排水では、大便器 4 台で-153[Pa]程度であったが、大便器の排水台数を最大にし、汚物 D を混入して行った No.17 の負荷パターンでは、 $P_{min}$  が -240[Pa]を測定し、排水立て管からの負荷を加えると、およそ 70[Pa]増加する結果となった。また、さらに負荷を厳しくした条件として汚物を D から D'とした場合では、最大で-581[Pa]となり、SHASE-S 218<sup>3)</sup> に示される判定基準値±400[Pa]を超える結果となった。そこで、図 7 に示す封水損失(一部)の結果を参照すると、管内圧力が -600[Pa]近くまで増加しても封水損失は 10[mm]程度となり、5 階大便器 4 台に、6 階大便器 2 台、7 階大便器 2 台からの合流排水による過剰な負荷が加わっても破封には至らなかった。

また、実際、排水立て管にここまでの過剰な負荷は発生しないと考えられるため、ループ通気管を設置せずに、十分に排水横枝管における誘導サイホン作用の安全率が確保できると考えられる。

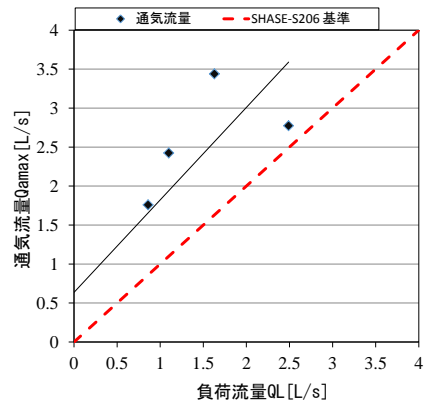


図 4 通気流量の変動

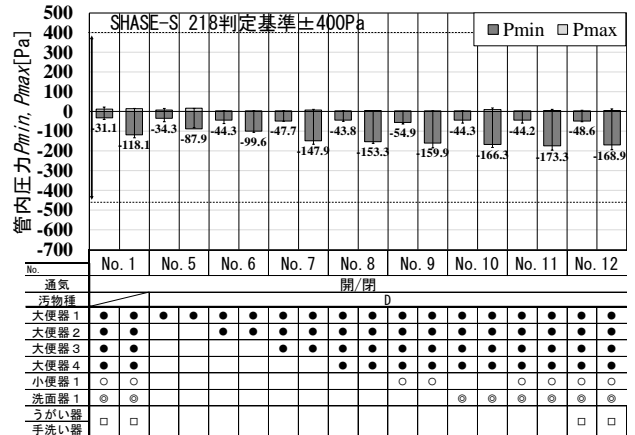


図 5 排水横枝管内のみでの実験による管内圧力

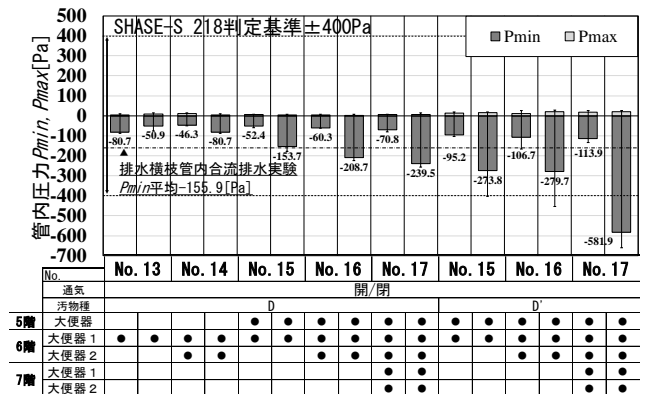


図 6 排水立て管負荷を加味した実験での管内圧力

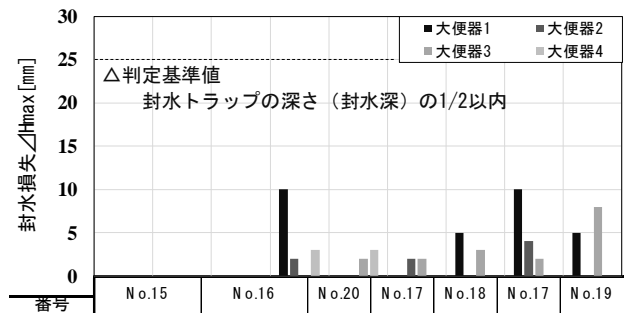


図 7 封水損失

### 3.2 長期排水性能調査の結果

図8に長期排水性能調査の1日毎の管内圧力  $P_{min}$ 、 $P_{max}$  を時系列で示す。同図より、通気無の期間で管内圧力  $P_{min}$  の変動の平均値は-200[Pa]、 $P_{min}$  の変動の最大値は-450[Pa]となった。また  $P_{max}$  の変動の平均値は66[Pa]をとった。通気有の期間では、 $P_{min}$  の変動の最大値は-190[Pa]におさまり、 $P_{max}$  については、あまり大きな変動は見られなかった。通気無の状態でもほとんど-200[Pa]程度におさまり、上階からの負荷も加わっているが SHASE-S 218<sup>3)</sup>の判定基準値 $\pm 400$ [Pa]以内に概ねおさまる結果となった。

この結果を、排水横枝管内合流排水実験と照合を行った。図9に排水横枝管内合流排水実験において器具数別に管内圧力を整理したものを示す。長期排水性能調査の通気無の期間中の  $P_{min}$  の変動の平均値である-200[Pa]や、同期間中の  $P_{min}$  の変動の最大値の-450 [Pa] と同等の管内圧力は排水横枝管内合流排水実験では確認できなかった。このことから、実使用の際多くの場合、単層のみの同時使用ではなく、多層での同時使用が行われていることが推定できる。

続いて、図10に排水立て管負荷を加味した排水実験において大便器台数別に管内圧力を整理したものを示す。同図と長期排水性能調査を照合すると、長期排水性能調査の通気無の平均値が、図10の排水負荷パターンNo.16で行った大便器6台での合流排水による管内圧力と同程度であることから、長期排水性能調査の通気無の期間中、多層で大便器合計6台程度の同時使用が行われていたことが推定できる。さらに、図8に示す長期排水性能調査中発生した  $P_{min}$  の変動の最大値である-450[Pa]は、大便器7台以上の排水に加え、供試代用汚物 D'相当の汚物が排水されたことに匹敵すると推定で得きる。

### 4. まとめ

この排水横枝管システムにおいて、考えられる合流排水では、管内圧力が判定基準値の半分程度におさまった。また、上層階からの合流排水による負荷が加わると、管内圧力  $P_{min}$  の最大でも

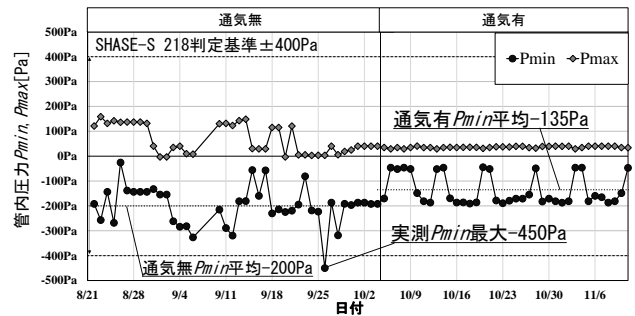


図8 長期排水性能調査における一日毎の管内圧力の変動



図9 排水横枝管内合流排水実験における器具数別管内圧力の変動

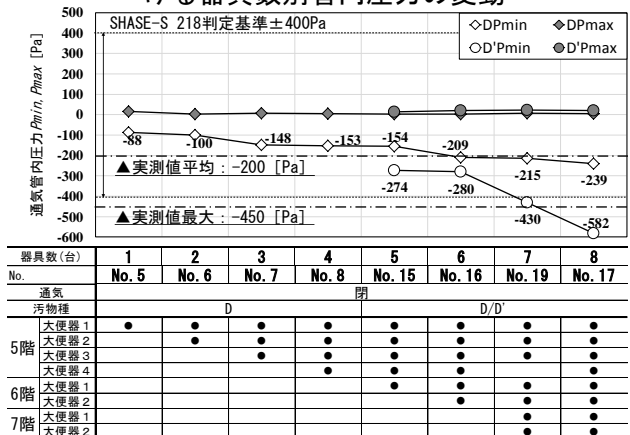


図10 排水立て管負荷を加味した排水実験における大便器台数別管内圧力

582Pa となるが、封水損失と照合させると封水トラップが破封に至ることはなかった。よって、過負荷である汚物 D' を混入させて行った実験で、確認できた管内圧力-600Pa 程の過度の圧力が加わらなければ排水性能上ループ通気管は削減できるものと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 久我優希他：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 空気調和・衛生工学会学術講演論文集 (2017.9)
- 2) 佐藤奨悟, 大塚雅之他：既存中高層オフィスビルのトイレ用排水システムの更新手法の提案と性能検証, その1 連立トイレユニットの排水性能と結合通気の効果, 空気調和・衛生工学会大会 (2018.9)
- 3) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会; SHASE-S 218-2008 「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」
- 4) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会; SHASE-S 206-2009 「給排水衛生設備規程・同解説」

A-3

オフィスコンバージョンに対応した圧送排水システムの

性能評価と設計・計画手法に関する研究

その1 圧送排水が既存排水立て管の排水性能に与える影響の検討

○本村雄大（関東学院大学），大塚雅之（関東学院大学）

Study on Drainage Performance and Design Methods of a Force-Feed Type Drainage System for Application to Office Building Conversions

Part 1 About Study on Influence of Force-Feed Drainage Merging into the Existing Drainage Stack of Using Loop Vent System

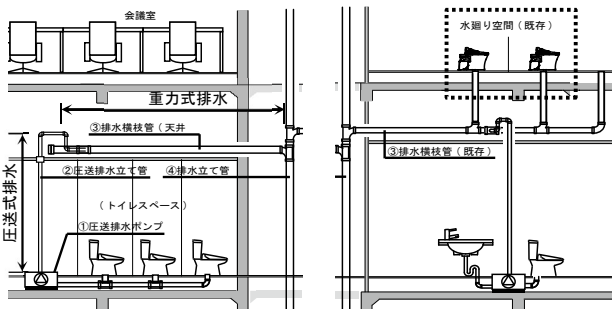
Yudai Motomura (Kanto-Gakuin University), Masayuki Otsuka (Kanto-Gakuin University)

キーワード：コンバージョン，圧送排水，排水立て管システム

1. 背景及び目的

既存のオフィスビルのコンバージョンにおいて、トイレや厨房などの水廻り空間を自由に設置できることは、建築計画上のメリットとして大きい。その際にネックとなるのは、排水立て管までの各衛生器具からの排水横枝管の引き回しと適正なこう配を有する配管のおさまりの課題である。

筆者らは、その解決方法として図1(1)に示す、天井部に新設した排水横枝管へ排水を揚水する圧送式排水大便器を接続する圧送排水式トイレユニットシステムについて、実在建物において有効性を検証してきた<sup>1)</sup>。また、既報<sup>2)</sup>では図(2)のような、上階からの既存の排水横枝管を活用し、そこに下層階に増設した圧送排水を加える「既存排水管活用システム」を提案した。それらのシステムは、圧送排水ポンプによる機械式排水とそれ以降の、配管のこう配による自然流下で排水を流す重力式排水を併用したものであり、これを「ハイブリッド排水システム」と定義する。



(1) 天井配管新設 横枝システム (2) 既存排水管活用 横枝システム  
図1 ハイブリッド排水システム 概念図

これまでに行われてきたハイブリッド排水システムに関する性能検証は、排水横枝管システムの検証が主であったが、本研究では、当該排水システムについて既存の排水立て管システムに設置した場合に排水性能に与える影響や、実用化の可能性を検討する。

2. 実験概要

2.1 供試排水立て管システム

本実験では、図2に示す既存オフィスビルの排水立て管システムを想定した供試排水システムに、図3に示す器具排水特性を有する供試排水器具を設置して実験を行う。圧送排水ポンプの排水管接続時最大排水流量 $q_{max}$ は、一般的な大便器の排水流量を上回る能力を有しており、これにより既存の排水システムに合流する際に与える影響が大きくなることが考えられる。

測定項目及び方法は、各階の排水横枝管に設置した⑥で圧力センサーにより管内圧力変動を測定し、各排水パターンにおける各測定点の圧力変動の最小値を $P_{min}$ 、最大値 $P_{max}$ として、それらの中でシステム全体の最小値の $P_{smin}$ 、最大値の $P_{smax}$ を抜粋し、判断指標として用いる。

伸頂通気管の⑦で風速センサーにより管内中心風速を測定する。その値に通気管の断面積を乗ずることで通気流量 $Q_{av}$ に換算する。

システムの6階及び1階に供試排水トラップを設置し、メジャーを用いた目視により各排水トラップの封水損失 $\Delta H$ を把握する。

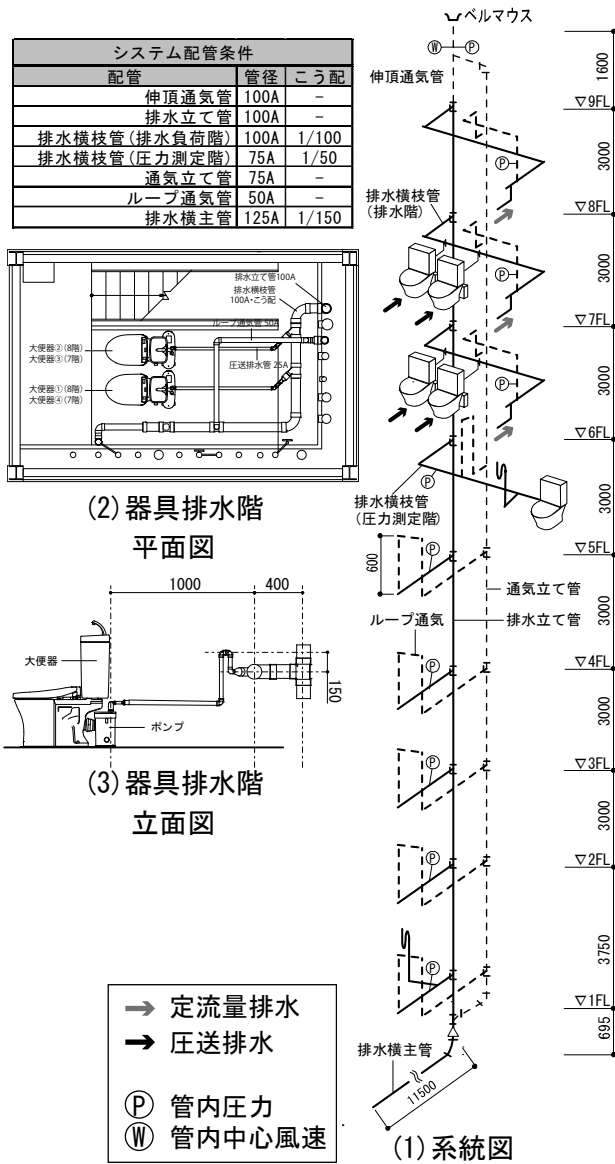


図2 排水立て管システム図

なお、本実験では、SHASE-S218 に準拠して、管内圧力変動の判定基準である $\pm 400\text{Pa}$  以内、トラップ封水損失は封水深の1/2 以内(大便器トラップは27.5mm、Pトラップは30mm)を検討時の目安とする。

## 2.2 排水負荷の与え方

### (1) 定流量排水負荷

定流量排水負荷は、既存の連立大便器からの排水負荷を想定しており、SHASE-218 に準拠して与えるものとする。既報<sup>3)</sup>にて排水立て管径100A、通気立て管及びループ通気管径75Aでの排水能力は5.5~10L/sであることが分かっており、本実験システムではループ通気管が50Aであるが、同程度の排水能力を有すると想定する。この立て管システムの各階に男子大便器4台と女子大便器4台が設置されるものとみなし、SHASE-S206の定常流量法により当該排水立て管システムへの負荷流量を算定すると、7.5L/sとなるため、本実験では表2に示す排水パターンで7,8,9階の各階から0.5~2.5L/sの排水を行い、合計排水負荷流量7.5L/sまで排水負荷を与えることとする。

表2 排水負荷パターン(定流量排水)

排水階	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15
9階										0.5	1	1.5	2	2.5	
8階	0.5	1	1.5	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
7階						0.5	1	1.5	2	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
合計排水負荷流量ΣQd [L/s]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5

### (2) 定流量排水負荷+圧送排水負荷

既報<sup>2)</sup>で大便器4台からの重力式排水とポンプ2台からの圧送排水を合流させた場合の排水立て管流入時の $q_{max}$ が4.22L/sであったことから、これを1層からの排水負荷の目安とし、事前に図2(2)及び図2(3)に示す、ポンプ設置階である7・8階の排水横枝管システムを模擬したシステムにて行った器具排水特性実験より把握した排水流量と、そこに連立大便器システムからの重力式排水と想定した定流量排水の合計排水負荷流量が4.2L/s程度となるように合流させる(表3)。1つの排水負荷パターンにつき5回排水を行い、その際にトラップの封水への補充は行わずに連続で排水をし、封水損失の測定を行うものとする。7,8階よりポンプからの圧送排水を合流させる場合、ポンプに接続した大便器の排水タイミングは、同層階では同時排水(タイムラグ0秒)、複層での合流時は8階排水から2秒後に7階から排水を行う。

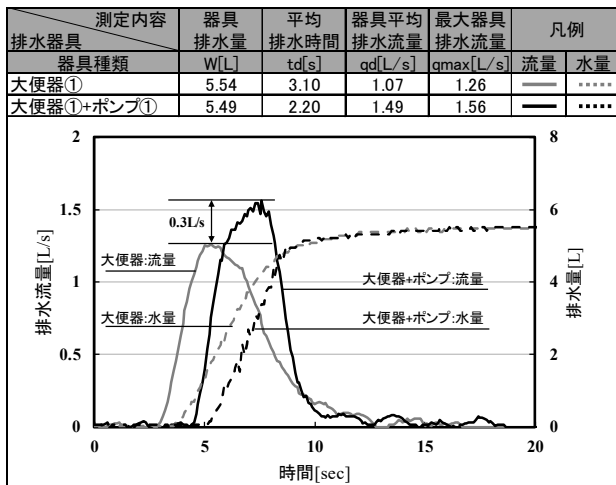


図3 供試排水器具 排水特性

表3 排水負荷パターン(定流量排水+圧送排水)

No.	8階		7階		合計排水 負荷流量 ΣQd
	既存 器具想定 定流量	増設部-圧送排水 ポンプ-1 ポンプ-2	既存 器具想定 定流量	増設部-圧送排水 ポンプ-3 ポンプ-4	
No.1		○			0.87[L/s]
No.2		○	○		1.75[L/s]
No.3	1.5	○	○		3.25[L/s]
No.4	2	○	○		3.75[L/s]
No.5	2.5	○	○		4.25[L/s]
No.6		○	○	○	2.77[L/s]
No.7	1.5	○	○	○	4.27[L/s]
No.8	2	○	○	○	4.77[L/s]
No.9	2.5	○	○	○	5.27[L/s]
No.10		○	○	○	3.62[L/s]
No.11	1.5	○	○	○	5.12[L/s]
No.12	2	○	○	○	5.62[L/s]
No.13	2.5	○	○	○	6.12[L/s]
No.14	2.5	○	○	1.5	7.62[L/s]
No.15	2.5	○	○	2	8.12[L/s]
No.16	2.5	○	○	2.5	8.62[L/s]

3. 結果及び考察

3.1 定流量排水負荷

図4に、先に述べた既存連立大便器システムからの排水を想定した定流量排水負荷を8Fから1.5~2.5L/s、7階及び8階から1.5~2.5L/sずつ(5.0L/s)排水した際の管内圧力  $P_{min}, P_{max}$  の分布を示す。2.5L/s排水時は  $P_{smin}$  が-196Paであるのに対し、そこに7Fからの排水を加えると-271Paまで増加した。

図5に排水負荷流量と管内圧力  $P_{smin}, P_{smax}$  の相関を示す。先に述べた定常流量法より算定した排水負荷(7.5L/s)を与えた場合でも  $P_{smin}$  は-290Paであり、判定基準以内におさまっていた。

これを前提として以降で、圧送排水の影響について検討する。

3.2 定流量排水負荷+圧送排水負荷

図6に、先の3.1で述べた定流量排水負荷にポンプからの圧送排水負荷を合流させた際の管内圧力分布を示す。

図6より、8Fから排水を行った場合、定流量排水時の  $P_{smin}$  は-196Paであるのに対し、定流量排水負荷+圧送排水負荷では-208Paであり、大きな差は見られなかった。

図6(2)より、7階、8階の2層から排水を行った場合、定流量排水時は、-290Paであるのに対し、そこに圧送排水が合流することで-352Paまで負圧が増加しているが、判定基準にはおさまっていた。

図7に、図7で示した排水パターンにおける6階の管内圧力変動の比較を示す。器具排水から10秒後に瞬時的に負圧側へ-100Pa程度変動しているが、圧送排水が合流したことで流入部での通気抵抗の増加に伴い管内の圧力も増加したものと推察する。

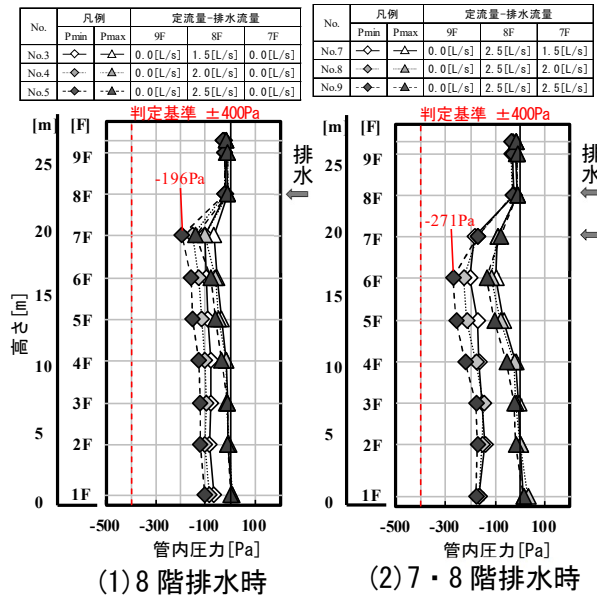


図4 管内圧力分布  $P_{min}, P_{max}$

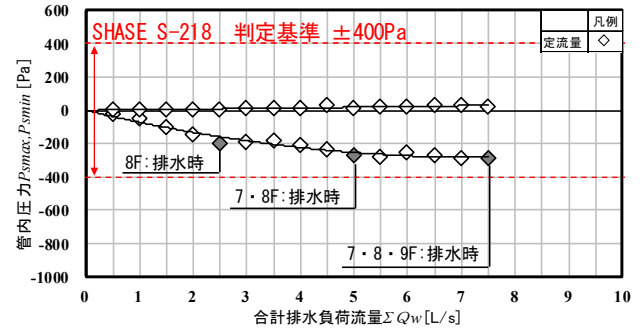


図5 管内圧力  $P_{smin}, P_{smax}$  と排水負荷流量の相関(定流量排水時)

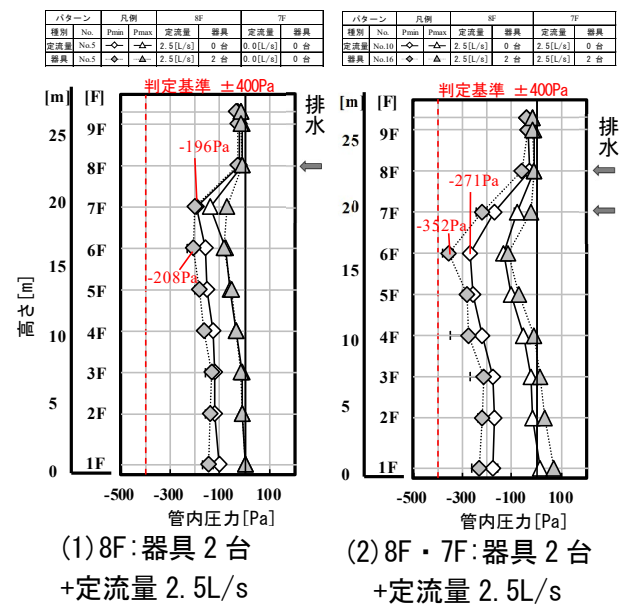


図6 管内圧力分布  $P_{min}, P_{max}$

図8に、合計排水負荷流量  $\Sigma Q_w$  と排水トラップの封水損失  $\Delta H$  との相関を示す。合計排水負荷流量の増加に伴い、封水損失も増加しているが、7.5L/s 程度まではトラップの封水深は半分以上残っている。器具-No.16 においては、6 階の大便器トラップで封水深の半分未満、もしくは半分をわずかに上回る程度の封水損失が確認されたが、封水に補充を行わずに厳しい条件で連続排水を実施した結果でこの程度におさまったため、安全性は確保されると判断した。

図9及び図10に、合計排水負荷流量  $\Sigma Q_w$  と、管内圧力  $P_{smin}, P_{smax}$  及び通気管の通気流量  $Q_{av}$  との相関を示す。管内圧力及び通気流量の双方を指標に判断しても、通常使用では、同程度の排水負荷

流量の定流量排水負荷と定流量排水負荷+圧送排水負荷を比較しても両者に顕著な差は生じなかった。

#### 4. 総括

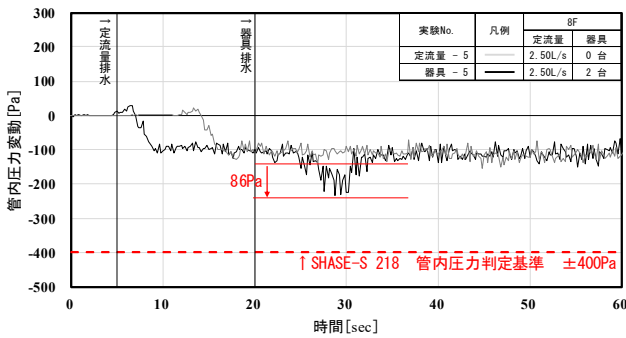
本実験により、既存の排水システムに圧送排水が合流した場合、既報<sup>2)</sup>で検討された排水横枝管システムからの最大排水流量に相当する排水負荷を一層から与えても、影響は僅かであり、2 層から排水した場合でも圧送排水負荷の合流による影響は受けるものの、本実験システム程度では管内圧力は判定基準におさまり、封水損失は、厳しい条件により連続で排水しても封水は封水深の 1/2 程度は確保されていたため、実使用には支障をきたさないものとする。

#### 謝辞

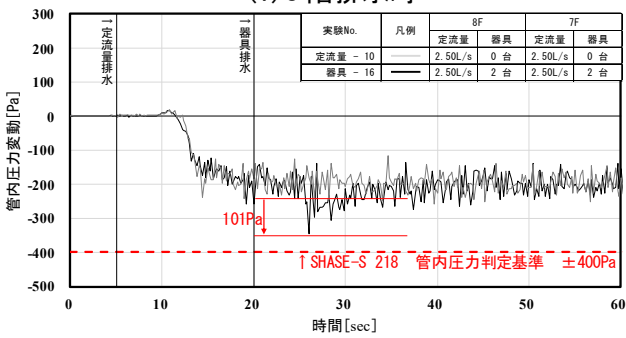
本研究は科研費(18K04468)の助成によるものである。ここに記し、感謝の意を表します。

##### 【参考文献】

- 1) 本村雄大 他: 業務用ビルの水廻りスペースのフリープラン化に対応する小型圧送排水システムに関する研究 その2 排水性能調査と排水騒音影響調査, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(高知), 2017.9, pp. 13-16
- 2) 本村雄大 他: 業務用ビルの水廻りスペースのフリープラン化に対応する小型圧送排水システムに関する研究 その3 排水横枝管への圧送排水合流の影響と圧送排水ポンプの通気システムに関する検討, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(名古屋) 第1巻, 2018年9月, pp. 125-128
- 3) 大塚雅之 他: 高層建築におけるループ通気方式排水立管システムの排水能力把握とその予測手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, 第83巻 750号, 2018.8, pp. 691-701



(1) 8階排水時



(2) 7・8階排水時

図7 排水時の管内圧力変動 (6階)

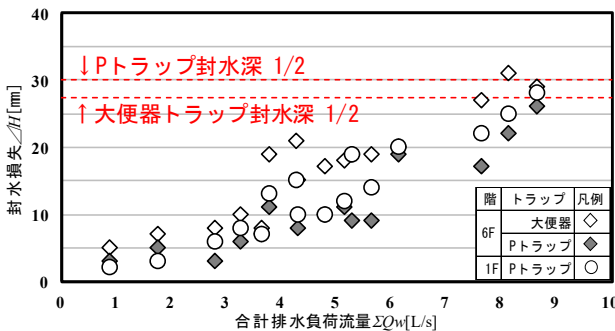


図8 排水負荷流量と6階トラップの封水損失の相関

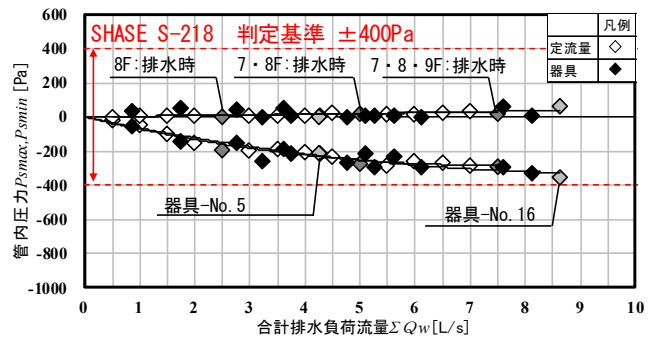


図9 排水負荷流量と管内圧力  $P_{smin}, P_{smax}$  の相関

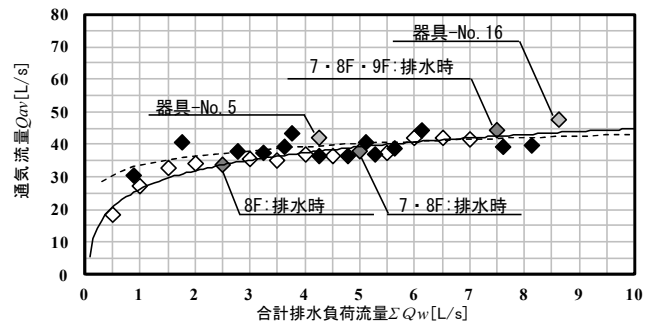


図10 排水負荷流量と伸頂通気管の通気流量  $Q_{av}$  の相関



A-4

オフィスコンバージョンに対応した圧送排水システムの

性能評価と設計・計画手法に関する研究

その2 待ち行列理論を用いたシミュレーションによる排水負荷の推定

○呉 光正 (関東学院大学), 大塚雅之 (関東学院大学)

Study on Hybrid Drainage System combined with Force-feed and Gravity type  
Part 2 Evaluation of system performance by simulation using queuing theory

Guangzheng Wu (Kanto Gakuin University), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin University),

キーワード：待ち行列理論, シミュレーション, 洗浄パターン, 排水負荷

はじめに

オフィスビル等で連立大便器が設置された排水横枝管において、実際の排水負荷の発生を把握することは、排水立て管へ流入する排水負荷の推定、さらには、その結果を用いて、排水立て管システムの管径決定を経済的に行ううえでも有効な知見となる。しかし、現在、その排水負荷の算定は、SHASE-S206<sup>1)</sup>定常流量法を用いて行っているが、同法では、図1に示しているように、排水量  $w[L]$  を器具平均排水間隔  $T_0[s]$  で除した平滑化された器具定常流量  $\bar{q}$  が負荷算定の基本負荷となっており、大便器などの排水流量のピーク値（最大排水流量）等は、算定中で十分に加味されてない。

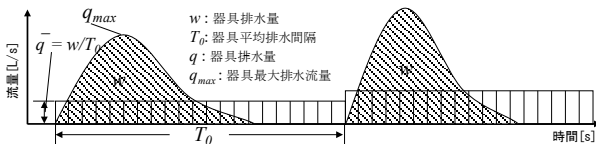


図1 器具定常流量  $\bar{q}$  の算定

一方、排水横管内の排水能力、すなわち許容流量を測定する方法として、SHASE-S220<sup>2)</sup>器具排水特性試験法が用いられており、実物大の排水横枝管に複数の大便器を設置し、実験的にタイムラグを設け、排水流量波形を重なり合わせ、最大排水流量が発生するようにし、その際に管内圧力による誘導サイホン作用も併せて検討し、決定する<sup>3)</sup>。しかし、確率的に生じることの少ない最大排水流量は、排水管の排水能力、すなわち設計用許容流量を求めるための数値であり、実排水負荷との差異において、かなり安全性の高い、厳しいな条件設定となる。

以上の背景より、本報では、一般オフィスビルに設置される連立式4台程度の大便器における洗浄パターンを乱数発生により求め、実験で把握した排水流量波形をそれに入力することで、排水流量波形の重なるの可能性等をシミュレーションより検討し、使用回数の多い時間帯での排水負荷の発生頻度を把握することを目的とする。今後は、ここで提案した排水負荷シミュレーション手法を拡張させ、既報<sup>4)</sup>で述べたような、オフィスコンバージョンによる排水管工事で直面するような重力式大便器に加え、大便器の圧送排水システムなどを合流させ、複合的な排水負荷の推定へもつなげていくための基礎研究と位置づけた。

1. 器具使用のシミュレーションモデル提案

1.1 待ち行列モデルの概要

給水負荷算法等で用いられる器具同時使用確率  $P_n(t)$  は、式(1)のポアソン分布で表される<sup>1)</sup>。この式を排水負荷の発生パターンに応用する。同式において、時刻  $t$  (すなわち到着時間間隔) までに到着者数が0人となる確率は、式(2)の指数関数で示すことができる。よって、時刻  $t$  まで最初到着者が何人か到着する確率は式(3)となる。ここで、パラメータとなる  $\lambda$ : 平均到着率を決定した上で、到着確率  $F(t)$  をエクセルの乱数発生関数 RAND を用いてランダムに [0,1] の区間で発生させ、 $t$ : 到着間隔の計算を実施した。また、到着後、排水に至る器具の占有確率  $g(t_0)$  は、指数分布<sup>1)</sup>で表され、パラメータとなる  $\mu$ : 器具平均占有率を決定した上で、 $t_0$ (器具占有時間) をパラメータとして式(4)

を用いて求められる。

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (1)$$

$$P_0(t) = \frac{(\lambda t)^0}{0!} e^{-\lambda t} = e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (2)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t} \dots \dots \dots (3)$$

$$g(t_0) = e^{-\mu t_0} \dots \dots \dots (4)$$

ここで、 $\lambda$ :平均到着率  $\mu$ :器具平均占有率  $n$ :同時使用器具数  
 $t$ :到着時間間隔  $t_0$ :占有時間  $F(t)$ :到着確率  $g(t_0)$ :占有確率

また、本報では、任意利用形態の待ち行列モデルを使用するため、そのモデルを適用するオフィスビルの条件を設定する。前述のとおり、4台の大便秘器が排水横枝管に設置されているトイレシステムの大便秘器使用をシミュレートすることを考える。ここで、設置される大便秘器4台は、オフィスビルの適正器具数算法<sup>1)</sup>により、男子トイレ大便秘器を適正器具数のレベル3に相当するものとして設定し、使用者数300人、平均到着率を0.13[人/(min・100人)]、平均占有時間を5.0minと見なす。よって、式(3)、式(4)より平均到着率 $\lambda$ を0.39、平均占有率 $\mu$ を0.2とし、行列の発生方法は図2の(イ)に示しているような、使用者がトイレに到着後、一列に並びながら便器の使用を待つ「一列方式」とする。以上の計算条件で、任意の使用者のパラメータとなる到着間隔 $t$ と占有時間 $t_0$ を算出した結果の一部を表1に示す。ここで、算出する各時間の単位はすべて分(min)とする。

1.2 大便秘器への使用者の配分シミュレーション

参考文献<sup>5)6)</sup>により、複数の大便秘器がある場合、大便秘器の選択率について、大便秘器の配置によって大きく影響し、入口から奥行方向に向かって選択率が低くなる傾向が、生ずることが報告されている。よって、4台の連立大便秘器への使用者の到着、大便秘器の選択(空室の有・無の判断)、使用開始、占有終了までの流れ(イ)~(ホ)を図2に、その計算フローを図3に示す。ここで、入力条件となる大便秘器台数N=4台を入力条件とし、1.1で決定した、ポアソン分布により到着した使用者が空室の有・無を判断し、大便秘器に使用者を配分する。その後、すべての計算が終了後、各大便秘器の使用開始時間と使用終了時間を出力する。出力された大便秘器の使用状況の一部を表2、図4に示す。

なお、本報では、オフィスビルを対象とし、また、次の2.2で述べる0.1s間隔で実測した供試大便秘器の排水流量曲線を用いて排水横枝管末端に発生する排水流量を推定するため、勤務時間8時か

表1 乱数発生で計算した使用者別のパラメータ

使用者番号	到着時間間隔 $t(\text{min})$	占有時間 $t_0(\text{min})$	理論開始 時間 $t_s(\text{min})$
1	3.25	5.23	3.25
2	0.31	1.41	3.56
3	1.20	3.39	4.76
4	4.54	0.94	9.31
5	2.88	3.43	12.19
6	7.43	1.23	19.63
...	...	...	...

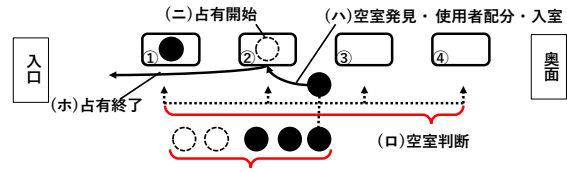


図2 大便秘器への到着から占有終了までの流れ

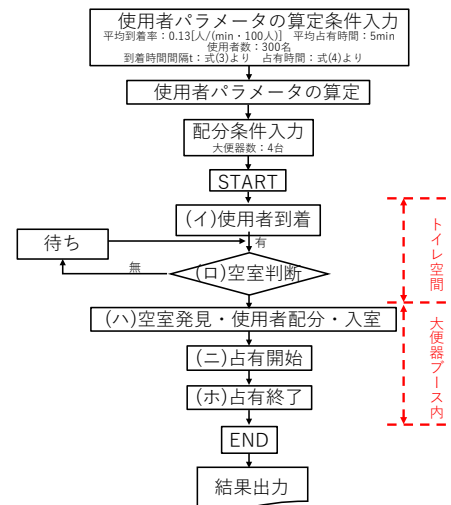


図3 大便秘器の使用開始・終了時間等計算フロー

表2 便器使用の配分結果

使用者番号	使用開始時間[0.1s]				使用終了時間[0.1s]			
	便器①	便器②	便器③	便器④	便器①	便器②	便器③	便器④
0	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00	00:00:00
1	3:15.0				8:29.0			
2		3:33.9				4:58.7		
3			4:46.0				8:09.5	
4				9:18.8				10:15.4
5	12:12.0				15:37.8			
6	19:38.1				20:52.4			
...	...	...	...	...	...	...	...	...

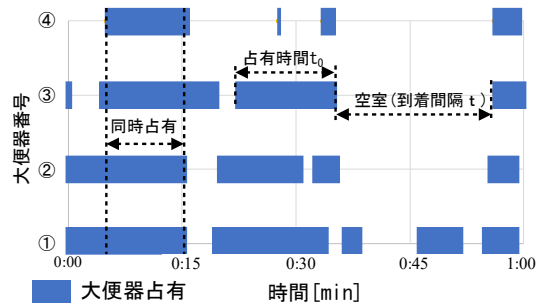


図4 便器の使用状況(1時間分)

ら17時までの全9時間分のシミュレーションを0.1sの時間間隔で行った。大便秘器の使用状況の結果より、まとめた各大便秘器の同時占有状況(同時

占有回数、占有時間合計、同時占有回数割合)の一部を表3に示す。表3より、同時占有大便器数は、その増加によって、同時占有が発生する回数が減少し、モデルとした4台程度の設定の条件下では、2台程度の同時使用回数が最も多く、同時占有数の34.5%を占め、3台が23.5%、最大の4台は8.4%と10.0%以下の発生状況となる。

2. シミュレーションによる排水負荷の推定

2.1 連立大便器の単独・合流排水実験の結果

1.2 で述べたシミュレーションによって、排水負荷の発生した時刻に、各位置から実測した大便器の器具排水流量曲線を入力し、排水横枝管末端での排水負荷流量を求めることができる。

図5に供試大便器の設置された排水横枝管システムを示す。供試大便器(ロータンク式、公称洗浄水量6.0L)は、最上流から最下流へ①～④の番号を付す。なお、排水横枝管径は100A、最小勾配1/100をし、全長は4mとし、1m刻みで供試大便器を設置した。この供試大便器単体の器具排水管を接続しない条件でSHASE-S220<sup>2)</sup>器具排水特性試験法により測定した器具排水流量曲線、及びその排水特性諸値を図6に示す。一方、図7及び表4に、図5の状態では供試便器①～④より単独排水を実施した際の排水横枝管末端での排水流量と排水特性諸値<sup>7)</sup>を示す。

これより、最上流供試大便器①よりの排水は、最下流④に対し、 $q_d$ 値は0.54L/sから0.31L/s(42.6%減)、最大排水流量は1.12L/sから0.72L/s(35.7%減)と低下する。また、図6は、器具排水管が接続されない状態での値であるが、これに排水立て管までの距離の一番短い④からの排水時の値を比較すると、器具平均排水流量 $q_d=1.1L/s$ に対し、排水管接続器具平均排水流量 $q_d'=0.5L/s$ と半減するが、器具最大排水流量 $q_{max}=1.3L/s$ に対し、排水管接続器具最大排水流量 $q_{max}'=1.1L/s$ と15%の低下に留まる。実際の排水実験では、大便器①～④が重なり管内圧力が最も大きく与えるタイムラグ(1秒)を設けている。この各大便器からの排水流量を1.で求めた排水パターンに加え、排水立て管負荷流量を算出する。

2.2 排水負荷流量の推定

1.2 で算定した各大便器の使用パターンに、大便器の排水流量曲線を入力して排水負荷流量を求

表3 便器同時占有の状況

同時占有便器数[台]	同時占有回数[回]	占有時間合計[min]	同時占有回数割合%
1	99	267.3	33.6
2	101	114.7	34.5
3	69	76.2	23.5
4	25	65.8	8.4

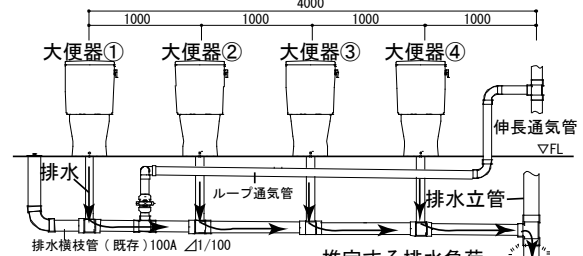


図5 連立供試大便器の排水横枝管配管図

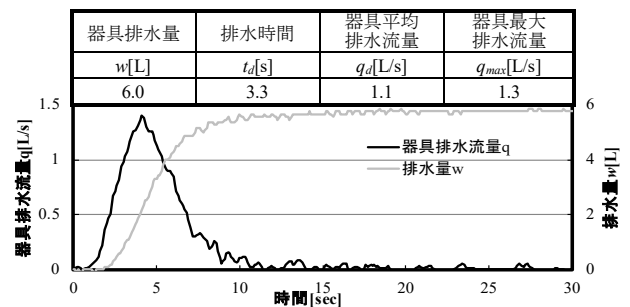


図6 供試大便器の器具排水特性の一例と諸値

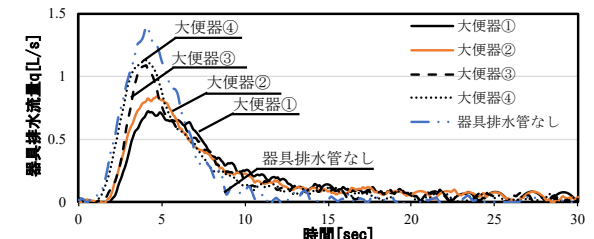


図7 排水横枝管における排水流量の一例

表4 供試大便器の排水負荷諸値

大便器番号	器具排水流量 w[L]	排水時間 $t_d$ [s]	排水管接続器具平均排水流量 $q_d'$ [L/s]	排水管接続器具最大排水流量 $q_{max}'$ [L/s]
①	6.00	11.70	0.31	0.72
②	5.95	11.20	0.32	0.84
③	6.05	8.80	0.41	1.08
④	6.09	6.80	0.54	1.12

表5 便器洗浄合流の発生状況

合流洗浄便器数[台]	合流回数[回]	合流時間合計[min]	合流回数割合%
1	169	491.9	72.1
2	53	28.42	12.1
3	12	6.6	2.8
4	0	0	0

めた。図8(1)に、8～17時の間に発生した排水負荷流量の発生状況を、図8(2)に、その図より最大排水流量となる11時14分～11時25分間の発生状況の詳細を示す。これより、ピーク時は、1.73L/s程度の排水流量に達しており、例えば、表4において、 $q_{max}'$ は②では0.84L/s、④は1.12L/sでその2台が重なることによって1.96L/sとなるの

で、その値に近い重なり方を生ずることなどがシミュレーションの結果から確認できる。

このように、**図 9**に、このシミュレーション手法により、全測定時間で排水負荷流量を算出し、各排水流量の発生頻度分布を求めた結果を、**図 10**にその一部（排水負荷流量 1.4L/s 以上）結果の詳細を、**表 5**に合流洗浄回数<sup>1)</sup>の発生状況を示す。特に、1~2 台の発生の頻度が高いことがわかる。また、**図 10**より、 $q_{max}$ 'の発生頻度はわずかであり、極めて少ないことが確認でき、同一階までの実排水負荷流量の最大値は 1.73L/s 程度であるので管径 100A（勾配 1/100）の排水横管の許容流量は SHASE-S206<sup>1)</sup>より、伸頂通気方式で 2.8L/s、ループ通気方式で 5.6L/s より、伸頂通気方式の 62% であるので、配管内に十分な通気効果があるのでループ通気管は不要と考える。また、最頻値は 0.2~0.1L/s 程度で、平均値は 0.25L/s 程度であり、1.0L/s を超える排水流量の発生頻度は 1.0% 未満であり、発生頻度は少ない。排水横枝管で誘導サイホン作用について既往研究<sup>8)</sup>で明らかにしてきたが、実排水負荷は、この程度を見なせば、その危険率の少なく、むしろ、排水流量が低下し、搬送性能の低下につながる可能性が高いことが示唆される。

### 3. 総括

本報では、連立大便器を有する排水横枝管システムにおける器具の使用パターンを発生させる手法を提案し、実測した排水流量波形を入力することで、排水立て管へ流入する排水負荷流量を推定した。今後の課題として、冒頭で述べたように、オフィスビルのコンバージョンで、**図 11**に示す圧送排水大便器などの排水が加える場合を加味した器具使用のシミュレーションモデルを構築する。

### 謝辞

本研究は科研費（18K04468）の助成によるものである。ここに記し、感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会規格, SHASE-S206-2005, 2009
- 2) 空気調和・衛生工学会規格, SHASE-S220-2017, 2017
- 3) 五味慎太郎ほか: 8 台連立節水型トイレシステムのスラブ下での配管における排水性能評価に関する研究, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 1 巻, pp5-8, 2017.9
- 4) 和田友貴ほか: 業務用建物への圧送・重力併用方式排水システムの適用の可能性-性能評価と排水負荷の検討, 平成 24 年度空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 1151~1154, 2012.9
- 5) 中山三郎ほか: オフィス建築における衛生器具利用状況に関する調査研究, 空気調和・衛生工学, 第 47 号, pp. 1137-1152, 1973.12
- 6) 紀谷文樹ほか: 衛生器具の配置と使用頻度に関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 359 号, pp24-30, 1986.1
- 7) 大塚雅之ほか: 集合住宅用排水横管における節水形大便器の汚物搬送性能の実用的推定手法に関する研究, 日本建築学会環境系論文集 第 83 巻 第 744 号, pp. 183-192, 2018.2
- 8) 市川憲良ほか: 排水横枝管における誘導サイホン作用に関する研究, 昭和 60 年度空気調和・衛生工学会学術論文集, pp. 129-132, 1985.9

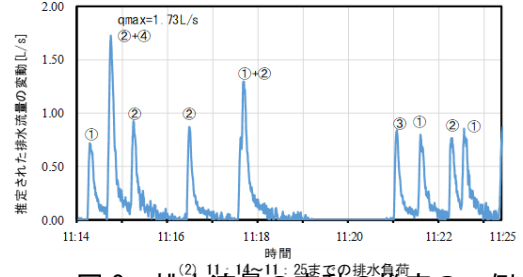
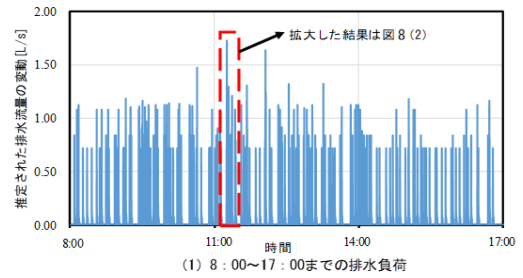


図 8 排水流量の変動の推定の一例

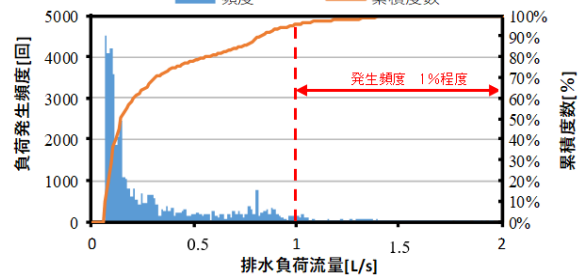


図 9 推定された排水流量の頻度分布

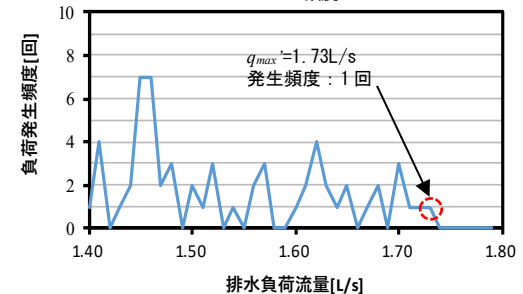


図 10 推定された排水流量の頻度分布の一部拡大

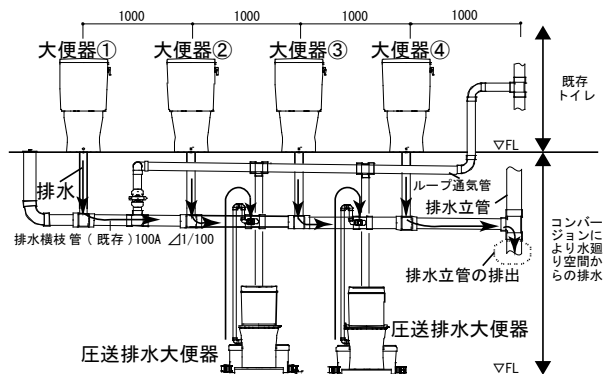


図 11 オフィスビルのコンバージョンにより圧送排水大便器からの排水が加わる場合

## A-5

### 大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術（その1） 研究の目的、水抜き栓

○菅原 正則（宮城教育大学）、赤井 仁志（福島大学）、濱田 靖弘（北海道大学）、  
小林 光（東北大学）、飯沼 靖彦（鹿島建設㈱）、田原 誠（㈱竹中工務店）、  
田中 和則（㈱ユアテック）、新倉 万結（㈱ユアテック、当時：福島大学学生）

A Study on Anti-freezing Engineering Methods of Water and Hot Water Plumbing System in regard to Power Outages Caused by Large-Scale Disasters in Winter,

Part 1 : Purpose of Study and Drain Cock

Sugawara Masanori (Miyagi University of Education), Akai Hitoshi (Fukushima University),  
Hamada Yasuhiro (Hokkaido University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),  
Iinuma Yasuhiko (Kajima Corporation), Tahara Makoto (Takenaka Corporation),  
Tanakaka Kazunori, Shinkura Mayu (Yurtec Corporation)

キーワード：大規模災害、停電、断水、凍結、水抜き栓

#### はじめに

過去 100 年間、宮城県に大きな被害を及ぼした M7.0 以上の地震は 9 回ある<sup>1)</sup>ほか、戸建住宅で中央式給湯設備を含む建築設備が発展した 1970 年代以降、半世紀の間に発生した 6 回は 3 月 9 日～8 月 16 日の時期である。そのため、これらの設備は厳寒期の被災を経験しておらず、東北地方で大規模災害が発生し停電が続いた際には、凍結被害への不安がある。そこで筆者ら<sup>2)</sup>はこれまで、そのような凍結被害の防止対策を検討するため、対策先進地である北海道への視察調査を実施してきた。

本研究（その 1～4）は、給水・給湯設備に焦点を当てて凍結防止対策技術をまとめたものである。本報（その 1）では、研究の背景である今後の地震の可能性および目的、そして給水管の凍結防止に関する基礎技術である水抜き栓について報告する。

#### 1. 東北・北海道での大地震の可能性

##### 1.1 千島海溝を震源とする超巨大地震(17世紀型)<sup>3)</sup>

北海道東部では、海岸付近で確認される津波堆積物から 1611～1637 年の間に超巨大地震が発生したとみられており、そのような地震が過去 6500 年間に最多で 18 回発生したと推定されている。これに基づいて、今後 30 年以内（2047 年まで）の発生確率は 7～40%、規模は M8.8 程度以上とみられている。北海道大学の平川一臣名誉教授によれば、前回（17 世紀）の巨大津波の痕跡は、根室から十勝に留まらず、北海道の噴火湾、青森県や岩手県等の太平洋沿岸にも見られるという。北海

道から東北の太平洋沿岸では、東日本大震災と同規模の津波被害が発生する可能性が高い。

##### 1.2 長町一利府線断層帯による地震<sup>4)</sup>

北東－南西方向に 21～40km にわたって延び、仙台市を貫通するこの断層帯は、過去 4～5 万年間に少なくとも 3 回活動したと推定される。最新の活動は約 16,000 年前以後にあったと考えられているため今後 30 年以内（2032 年まで）の発生確率は 1%以下、断層帯全体が 1 つの活動区間として活動した場合の規模は M7.0～7.5 程度とみられている。ただし、直下型地震であるため緊急地震速報が間に合わず、東北大学災害科学国際研究所の源栄正人教授らの研究グループによれば、鉄筋コンクリート造の建物でも崩壊して、14,000 人の死者負傷者が生じるとしている。

##### 1.3 宮城県沖地震<sup>5)</sup>

宮城県沖では、1897 年 (M7.4)、1936 年前後 (M7.1～7.4)、1978 年 (M7.4)、2010 年前後 (M7.2) に繰り返し地震が発生している。平均発生間隔が約 38.0 年であり、2011 年の東北地方太平洋沖地震の余効変動が続いていることから、今後の発生確率は不明とされている。また、この繰り返し発生する地震以外の地震が、M7.0～7.3 の規模で約 31.8 年に 1 回の割合で発生している。この地震は、今後 30 年以内（2041 年まで）の発生確率が 60%程度とみられている。

#### 2. 研究の目的

1 章で挙げたように、近い将来、東北・北海道において地震の可能性があるが、厳寒季に大規模な災害が発生して中長期間の停電が発生すると、給水・給湯管、

給湯器、貯水槽、公衆トイレ等の凍結防止ヒータが機能不全に陥ることが予想される。凍結により亀裂や破損が生じると、通電などによる融解後、損傷部から水漏れが多発すると考えられている。さらに断水が重なって給水が停止すると、流動式の凍結防止もできない。公衆トイレには、自動間欠流動方式の他、手洗器の感知センサ付自動水栓と連動した自動水抜き方式が採られていることもあるが、停電時や断水時は作動せず、凍結しやすくなる。ある箇所が凍結すると、連鎖的に他の箇所も凍結しやすくなる現象も知られている。

筆者らは、こういった背景を踏まえて、2018年1～2月に長野県および北海道において、設備設計実務者および水抜き栓メーカー等に対して給水・給湯設備の凍結防止対策技術に関するヒアリングを行った。本研究では、その知見を整理し、本州の寒冷地における対策技術として示すことを目的とする。

### 3. 水抜き栓

近年、東北地方でも高気密・高断熱住宅が増えたため、屋内での給水管凍結は減少しつつある。水抜き栓は、屋外地下型（屋外操作型）であったものが、機械式遠隔型（屋内操作型）、さらに電動式遠隔型へ変遷して、使いやすくなったことも凍結防止に役立っている。

しかし、東北地方では、戸建住宅の住民が水抜き栓の場所や操作方法、原理等をほとんど知らないというのが、筆者らが水抜き栓製造業者から聞き取り調査した際の実感である。たとえ水抜き栓の操作方法を知っていたとしても、水抜き栓のみの操作で管内の水が抜けきると考えているのが実態だと推測する。これらへの対応として、特に次の点を住民へ周知し、理解してもらう必要がある。

- ①水抜き栓の操作とともに、蛇口を開けるなどして空気を給水管に入れないと、屋内給水管から水が抜け切らない仕組みであること。
- ②シートパッキンの劣化・固着を防ぐため、水抜きの必要がない場合でも1年に1回以上の水抜き栓の操作が推奨されること。
- ③電動式水抜き栓においては、停電時は動作しない上、断水も併発している場合は凍結の可能性が高まるので、手動で水抜きしなければならないこと。

給湯器に関して、東北地方における戸建住宅では、屋外に設置することが多い。これら給湯器の凍結防止には電気ヒータを用いているため、停電時は凍結防止ができないことになる。そこで、屋

外に給湯器を設置する場合には、給水管側と給湯管側の双方の配管の湯水を同時に抜くことのできる「湯水抜き栓」への交換を促すべきである。

### 謝辞

本報告は、公益財団法人給水工事技術振興財団の平成29年度給水装置工事技術に関する調査研究助成で実施した成果報告書<sup>8)</sup>を加筆修正したものである。本調査研究にあたり、北海道大学大学院工学研究院の長野克則、葛隆生、たかまつ技術士事務所の高松康二、(株)山下設計北海道支社の村井裕康、(株)光合金製作所の乾雅宏、加川美香、(株)竹村製作所の藤森良哉、静谷智弘、小山孝洋、大島伸介の各氏に、指導と助言をいただいた。紙面を借りて、感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 仙台市博物館：土と文字が語る仙台平野の災害の記憶 仙台平野の歴史地震と津波 増補改訂版，(2014-3)
- 2) 菅原正則・赤井仁志・小林光・飯沼靖彦・田原誠：大規模災害時の停電による空調・給排水衛生設備の凍結事例予測と対策の検討(第1報)～(第5報)，第4回学術・技術報告会論文集，空気調和・衛生工学会東北支部(2015-3)，pp. 55-64
- 3) 文部科学省地震調査研究推進本部地震調査委員会：千島海溝沿いの地震活動の長期評価(第三版)，(2017-12)，[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou\\_pdf/chishima3.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/chishima3.pdf) (2019.2.14 参照)
- 4) 同：長町一利府線断層帯の評価，(2002-2)，[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudan\\_sou\\_pdf/20\\_nagamachi\\_rifu.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudan_sou_pdf/20_nagamachi_rifu.pdf)(2019.2.14 参照)
- 5) 同：三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価(第二版)，(2011-11)，[https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou\\_pdf/sanriku\\_boso\\_4.pdf](https://www.jishin.go.jp/main/chousa/kaikou_pdf/sanriku_boso_4.pdf)(2019.2.14 参照)
- 6) 空気調和・衛生工学会編：空気調和・衛生工学便覧(第12版) 応用編，寒冷地の給排水衛生設備，(1995)
- 7) 同：建築設備の凍結・雪対策 計画設計施工の実務の知識，(2018)
- 8) 赤井仁志・濱田靖弘・小林光・菅原正則：大規模災害時の凍結防止対策技術，きゅうすい工事，Vol.19, No.2，(2018-夏季号)

# A-6

## 大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術（その2） 断熱ラインと配管位置①

○飯沼 靖彦（鹿島建設株）、赤井 仁志（福島大学）、濱田 靖弘（北海道大学）、  
小林 光（東北大学）、菅原 正則（宮城教育大学）、田原 誠（㈱竹中工務店）、  
田中 和則（㈱ユアテック）、新倉 万結（㈱ユアテック、当時：福島大学学生）

A Study on Anti-freezing Engineering Methods of Water and Hot Water Plumbing System in regard to Power Outages Caused by Large-Scale Disasters in Winter,  
Part 2 : Insulation Line and Plumbing Drawing Calculation #1

Akai Hitoshi (Fukushima University), Hamada Yasuhiro (Hokkaido University),  
Kobayashi Hikaru (Tohoku University), Sugawara Masanori (Miyagi University of Education),  
Iinuma Yasuhiko (Kajima Corporation), Tahara Makoto (Takenaka Corporation),  
Tanakaka Kazunori, Shinkura Mayu (Yurtec Corporation)

キーワード：断熱ライン，配管位置，集合住宅，外断熱工法

### はじめに

2018年2月に、凍結防止対策技術について北海道にて設備設計実務者、及び、水抜き栓メーカー等にヒアリングを行った。その中で、東北地方と北海道地方の建築設備技術者には、「断熱ラインの認識」について大きな違いがあることが分かった。

東北地方の技術者も、断熱ラインの内側に配管しなければならないという意識はあるが、時には断熱材を切り欠いたりすることもあり、北海道地方と比べ断熱に対する徹底さに劣る部分がある。東北地方でも停電時に給水・給湯配管や装置が凍結しないためには、断熱ラインを確実に設け、その内側にパイプシャフトや配管類を確実に配置することが求められる。

### 1. 断熱ライン

北海道地方では、断熱ラインの内側であってもパイプシャフトを外壁側に設けることをせず、外壁から離れた箇所に配置することを基本としている。近年、断熱化が進み、北海道地方でもパイプシャフトを外壁側に配置することもあるが、配管を固定する支持金物が冷橋（クールブリッジ）とならない対策を講じている。また、外壁近くの鉄筋コンクリートスラブに配管を貫通させる場合も凍結が生じ易くなるため、その配慮が必要となる。

図-1のように、外壁の外側にパイプシャフトを配置するのは避け、図-2のようにパイプシャフトを断熱ラインの内側に設け、点検扉も内部から開閉する平面計画が望ましい。

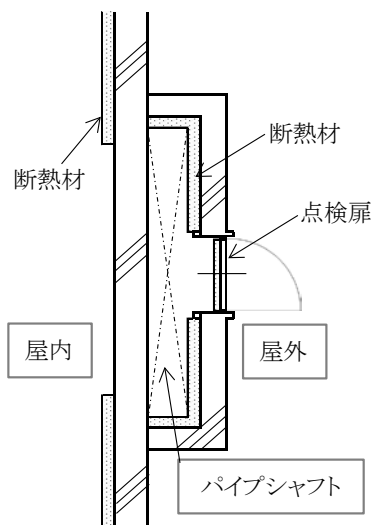


図-1 外壁に接するパイプシャフトの悪い例（平面図）<sup>1)</sup>

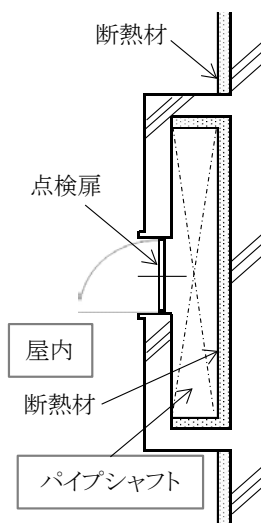


図-2 外壁に接するパイプシャフトの改善例（平面図）

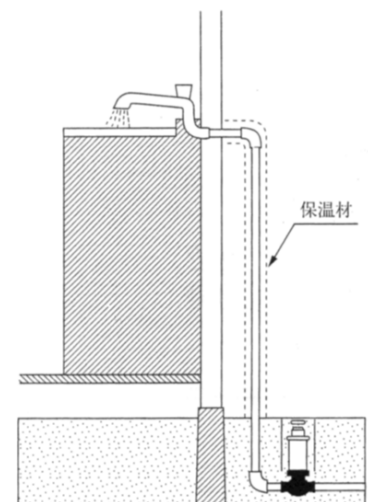


図-3 屋外に給水管を立ち上げ（断面図）  
（福島市水道局資料）

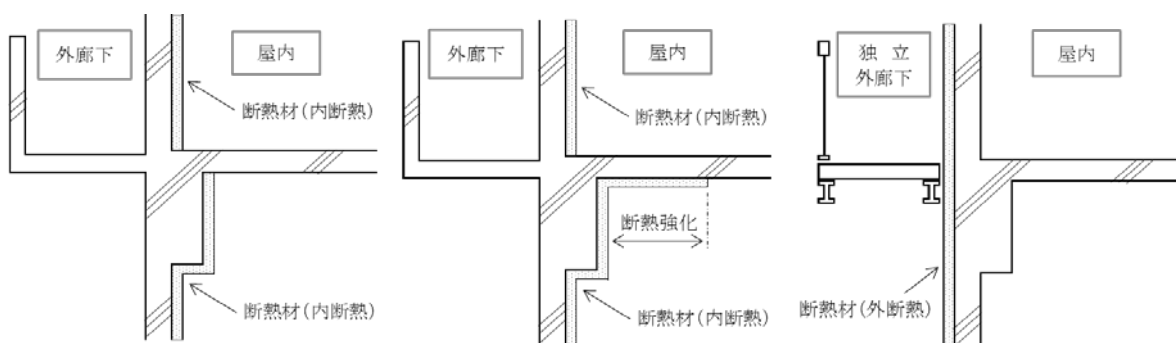


図-4a 一般的な内断熱工法 (断面図) <sup>3)</sup>

図-4b 断熱を強化した内断熱工法 (断面図) <sup>3)</sup>

図-4c 外断熱工法 (断面図) <sup>5)</sup>

## 2. 凍結防止の予防対策

### 2.1 全般

最上階で、鉄筋コンクリート躯体の下側に発泡系断熱材を打ち込む内断熱工法では、結露防止のためにスタイロフォーム用のインサートを用いることで、吊り支持金物からの冷橋防止対策を行っていた。最近では、屋上の鉄筋コンクリート躯体の上に断熱材を敷く外断熱工法が増えており、最上階の天井部の配管での凍結防止対策にも繋がっている。

### 2.2 主に、木造の場合

東北地方の特に南部の戸建て住宅や低層の木造集合住宅では、図-3 のように、屋外に給水管を立ち上げて、保温筒と樹脂製カバーが一体になった既製品で断熱を施す場合がある。断熱ラインの外側に給水管を配置することになるため、凍結の恐れがある地域や場所では、更に水抜き栓を設ける。

### 2.3 集合住宅の場合

鉄筋コンクリート躯体スラブの上の転がし配管工法の場合、建築の断熱方法に配慮することで、凍結の発生が緩和される。図-4a は、一般的な内断熱工法の集合住宅の外壁周辺の断面図である。外壁側のスラブ下まで断熱することで、断熱が強化され、躯体からの冷橋による冷却を緩和できる(図-4b)。さらに、外断熱工法にすることにより、断熱ラインが完全に連続するために冷橋にならず、凍結防止対策の強化となる(図-4c)。しかし、外断熱工法は、共用通路(外廊下)やバルコニーを、居住部の建物から熱的に切り離す必要があり、建設コストの増額に繋がる。

## 3. まとめ

凍結防止の予防対策は、基本計画時に断熱ラインを設定することが大切である。実施設計時には、防火区画と同様に、平面図と断面図で断熱ラインが連続

していることの確認と、断熱ラインの内側に給水・給湯管や装置が配置されていることを精査する。また、施工段階での現地確認が大切となる。

昨年3月に、大雪により北海道各地で深夜に数時間の停電があった。しかし、大きな事故被害が報告されず、電気復旧後は通常の生活に戻ることが出来たのは、建物の断熱ラインの的確な設定と、日頃の住民の対策意識にあると考えられる。今後、東北地方でも厳冬期に大規模災害に備え、北海道地方の対策を参考にすることが必要と考えられる。

## 謝辞

本報告は、公益財団法人給水工事技術振興財団の平成29年度給水装置工事技術に関する調査研究助成で実施した成果報告書を加筆修正したものである。本調査研究にあたり、北海道大学大学院工学研究院の長野克則、葛隆生、たかまつ技術士事務所の高松康二、(株)山下設計北海道支社の村井裕康の各氏に、指導と助言をいただいた。紙面を借りて、感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会編: 空気調和・衛生工学便覧, 第12版、応用編、寒冷地の給排水衛生設備, (1995)
- 2) 赤井仁志: 給水設備、東北地方の給排水衛生設備と空調設備の凍結対策 SHASE-M 0008-2005, pp.47~61, 空気調和・衛生工学会, (2007)
- 3) 中山哲: 北海道における寒冷地設計の留意事項, 給排水設備研究, pp.16~19, (2015-1)
- 4) 空気調和・衛生工学会編: 建築設備の凍結・雪対策計画設計施工の実務の知識, (2018)
- 5) 赤井仁志・濱田靖弘・小林光・菅原正則: 大規模災害時の凍結防止対策技術, きゅうすい工事, Vol.19, No.2, (2018-夏季号)



# A-7

## 大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術（その3） 断熱ラインと配管位置②、給湯配管

赤井 仁志（福島大学）、濱田 靖弘（北海道大学）、小林 光（東北大学）、  
菅原 正則（宮城教育大学）、飯沼 靖彦（鹿島建設株）、田原 誠（株竹中工務店）、  
田中 和則（株ユアテック）、新倉 万結（株ユアテック、当時：福島大学学生）

A Study on Anti-freezing Engineering Methods of Water and Hot Water Plumbing System in regard to Power Outages Caused by Large-Scale Disasters in Winter,  
Part 3 : Insulation Line and Plumbing Drawing Calculation #2, Hot Water Plumbing System  
Akai Hitoshi (Fukushima University), Hamada Yasuhiro (Hokkaido University),  
Kobayashi Hikaru (Tohoku University), Sugawara Masanori (Miyagi University of Education),  
Iinuma Yasuhiko (Kajima Corporation), Tahara Makoto (Takenaka Corporation),  
Tanakaka Kazunori, Shinkura Mayu (Yurtec Corporation)

キーワード：断熱ライン、ピロティ等天井内配管、鳥居配管、壁横引き配管

### 1. 断熱ライン（主に、鉄筋コンクリート造の場合）

中層以上の集合住宅や事務所ビル、テナントビル等に、水道直結増圧方式や水道直結直圧方式の給水方式を採用することが増えている。

例えば、1階のエントランスホールや管理人室等を除いたピロティ部分が駐車場で、2階以上の階は集合住宅とする。2階住居部は、鉄筋コンクリートスラブ下部に断熱材が打ち込まれたり、吹

き付けられたりする。給水管は、上向き供給方式となり、1階の天井内に給水横主管を配管するのが一般的である。

天井材は、天井材同士や躯体部との見切り等に隙間が生じる。また天井材の上に断熱材を敷いても、天井点検口があったり、照明器具や火災報知器の検知部への配線等があったりするために完全には敷き詰めることはできない（図-1）。非常用発電回路の系統から給電すれば良いが、商用電源とすると停電により電熱ヒータでの凍結防止はできない。給水横主管の配管部分のみ、鉄筋コンクリート躯体による二重スラブにして躯体に断熱を施すことで、凍結を緩和できる（図-2）。

周辺が断水すれば水は出ないので、給水管が水抜きできるような措置をするのが良い。その後、復旧して通水した場合は、停電したままであれば、流水による凍結防止方法をとるべきである。このような手順を建物ごとのシステムに合わせてマニュアル化しておくのが肝要である。

集合住宅の駐車場部分を例に挙げたが、荷捌き室や車両通行部分の天井内配管も同様である。

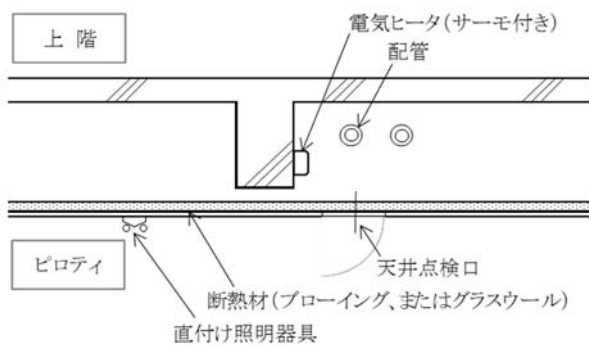


図-1 一般的な天井内配管 1)

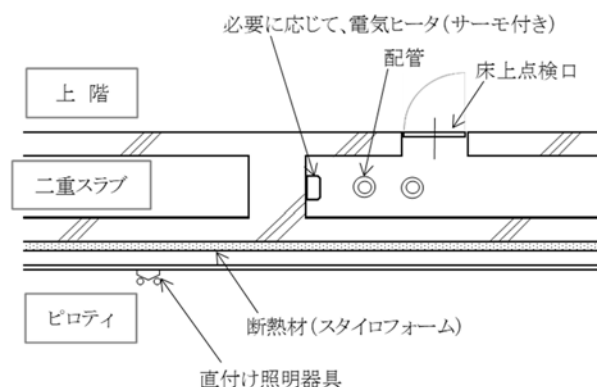


図-2 二重スラブ内にした天井内配管

### 2. 鳥居配管（主に、集合住宅）

東北地方では、水抜き栓から給水管を先上がり勾配をつけて配管をすることを原則とすることが多かった。北海道地方の戸建て住宅では、給水管が建物内に入ると、いったん天井内まで立ち上げて、1階天井内を横引き配管、下向きに器具へ配管する鳥居配管も用いられる。

鉄筋コンクリート造の集合住宅でも、北海道地方では天井内を鳥居配管（オーバーヘッド配管）

することが多い(図-3)。停電しても、居住していれば発熱があり、暖気が天井付近に上がることから、天井内の鳥居配管部は給水管や給湯管は凍結しにくい。また、水抜きを行うこともできる。東北地方の多くの集合住宅で採られる鉄筋コンクリート躯体スラブの上の転がし配管は、配管周辺の温度が低く凍結に脆弱である。給水管や給湯管、ガス管や排水管が交差するために、完全な水抜きも困難である。

### 3. 壁横引き配管(主に、集合住宅)

単身赴任者や独身者用共同住宅では、帰宅時間

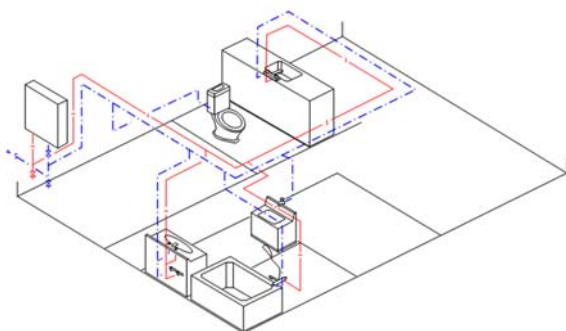


図-3 集合住宅の鳥居配管の例<sup>2)</sup>

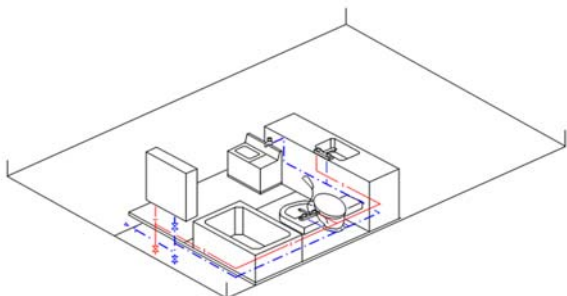


図-4 ワンルーム共同住宅の壁横引配管の例(3点セットユニットバス以外の例)<sup>2)</sup>

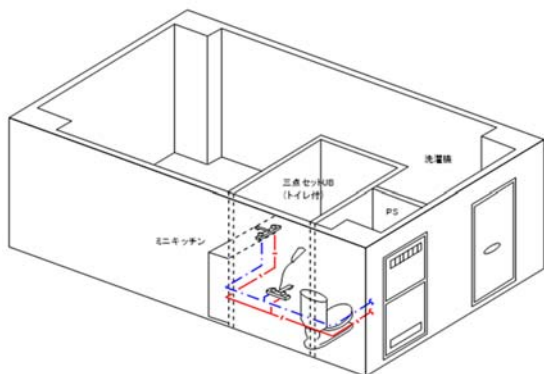


図-5 ワンルーム共同住宅の壁横引配管の例(3点セットユニットバスの例)<sup>2)</sup>

が遅い傾向があり、帰省の機会も多くなりがちのため長時間暖房が停止しやすい特徴がある。このような形態の集合住宅の場合、プランニングである程度水まわりを集中させることが可能である。

パイプシャフトと給水・給湯箇所を結ぶ配管を壁横引き配管として、パイプシャフトで水抜きするように考慮した例も見られる(図-4~図-5)。

### 謝辞

本報告は、公益財団法人給水工事技術振興財団の平成29年度給水装置工事技術に関する調査研究助成で実施した成果報告書を加筆修正したものである。本調査研究にあたり、北海道大学大学院工学研究院の長野克則、葛隆生、たかまつ技術士事務所の高松康二、(株)山下設計北海道支社の村井裕康、(株)光合金製作所の乾雅宏、加川美香、(株)竹村製作所の藤森良哉、静谷智弘、小山孝洋、大島伸介の各氏に、指導と助言をいただいた。紙面を借りて、感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 空気調和・衛生工学会編:空気調和・衛生工学便覧, 第12版、応用編、寒冷地の給排水衛生設備, (1995)
- 2) 赤井仁志:給水設備、東北地方の給排水衛生設備と空調設備の凍結対策 SHASE-M 0008-2005, pp.47~61, 空気調和・衛生工学会, (2007)
- 3) 高松康二:寒冷地・積雪地での留意事項, 中央式給湯設備の設計方法 R 2027-2015, 中央式給湯設備設計方法検討小委員会成果報告書, 空気調和・衛生工学会, pp.178~184, (2013)
- 4) 小林光・菅原正則・赤井仁志・飯沼靖彦・田原誠:大規模災害時の停電による空調・給排水衛生設備の凍結事例予測と対策の検討(第3報)給湯熱源設備と消火設備, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集, pp.59~60, 東北大, (2015-3)
- 5) 空気調和・衛生工学会編:建築設備の凍結・雪対策 計画設計施工の実務の知識, (2018)
- 6) 赤井仁志・濱田靖弘・小林光・菅原正則:大規模災害時の凍結防止対策技術,きゅうすい工事, Vol.19, No.2, (2018-夏季号)

A-8

大規模災害時の給水・給湯設備の凍結防止対策技術（その4）  
給水配管、ヒートポンプ給湯機と貯水槽

田中 和則（㈱ユアテック）、新倉 万結（㈱ユアテック、当時：福島大学学生）、  
赤井 仁志（福島大学）、濱田 靖弘（北海道大学）、小林 光（東北大学）、  
菅原 正則（宮城教育大学）、飯沼 靖彦（鹿島建設㈱）、田原 誠（㈱竹中工務店）

A Study on Anti-freezing Engineering Methods of Water and Hot Water Plumbing System in regard to Power Outages Caused by Large-Scale Disasters in Winter,  
Part 4: Water Plumbing System, Heat Pump Water Heater and Outdoor Reservoir  
Tanakaka Kazunori, Shinkura Mayu (Yurtec Corporation),  
Akai Hitoshi (Fukushima University), Hamada Yasuhiro (Hokkaido University),  
Kobayashi Hikaru (Tohoku University), Sugawara Masanori (Miyagi University of Education),  
Iinuma Yasuhiko (Kajima Corporation), Tahara Makoto (Takenaka Corporation)

キーワード：凍結防止対策，集合住宅，ヒートポンプ給湯機，貯水槽

1. 量水器設置スペースと集合住宅の共用通路

集合住宅で、量水器の設置スペースは、給水立て管のパイプシャフトを兼用すると共に、燃焼式給湯器の設置場所にもなる。平面的に、量水器設置スペースは、断熱ラインの外側になる。燃焼式給湯器がガス焚きの場合、自然通風を考慮することが多く、外部に面して配置することから電熱ヒータで加温しないと凍結する。

量水器設置スペースが通風を必要としなくとも、屋外と鉄板扉1枚で隔てた量水器スペースは、量水器を断熱カバーで保温しても寒冷地では電熱ヒータで加温しなければ、凍結を防ぐことは難しい。つまり、停電すれば、凍結の可能性が高い。近年、集合住宅でもヒートポンプ給湯機を選択することが多いことから、屋外ユニットは屋外に設置せざるを得ないが、貯湯タンクは外壁に接しておく必要はない。ヒートポンプ給湯機を選択した場合、量水器を集中検針方式（遠隔検針方式）とすることで、計量法による8年ごとの量水器の交換になるので、必ずしも共用廊下に面して設

置する必要はない。

積雪時の避難と消防活動を円滑にするために、札幌では、集合住宅の共用通路を囲っても、屋外の開放共用通路と見なす特例があるために、量水器設置スペースが共用通路に面していても凍結しにくくなっている。積雪地で囲った共用通路を開放空間に見なす措置があれば、停電時、量水器と周辺配管の凍結を免れる可能性がある。

2. 家庭用ヒートポンプ給湯機

家庭用エコキュートは、凍結防止ヒータによる配管や熱源装置の保護と給湯装置による自動的な凍結防止運転（流水による浴槽配管の凍結保護など）が充実しており、電源が供給される限り安全である。使用者による日常の水抜きなどの対策も不要なケースが多い。

しかし、極寒季に電源供給が途絶えた場合の対策として、屋外機ユニットから貯湯槽への戻り配管に専用の電動弁を設け、停電信号で開弁して流水にて熱

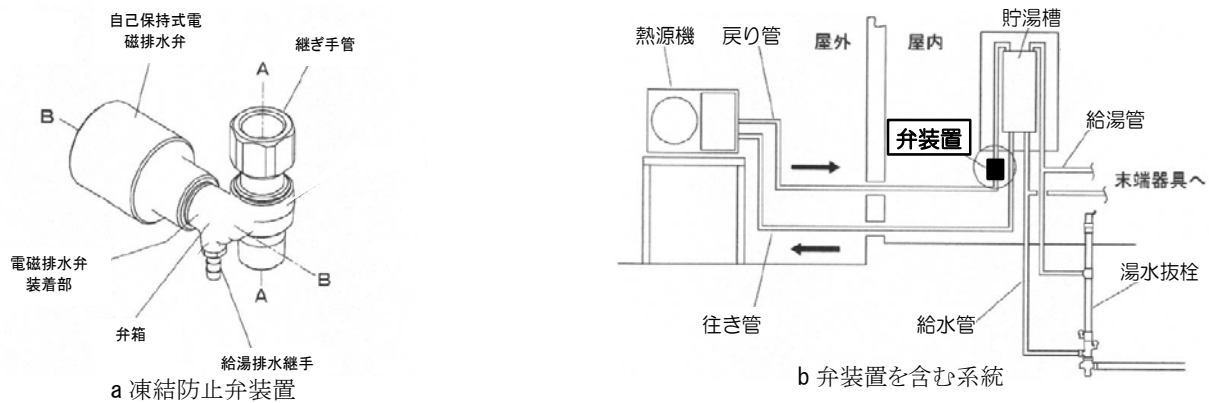


図-1 ヒートポンプ給湯機用凍結防止システム 1)

交換器内の凍結を防止して、復電時に閉弁して復旧する装置(図-1)が販売されているが、あまり普及していない。

### 3. 貯水槽

東北地方の民間建築物は、山間地に建つ場合や重要性の高い施設を除き、貯水槽を屋外に設置することが多い。このため、貯水槽やその周辺が、外気に直接暴露することから、貯水槽水面や水の動きが少ない排水管や揚水管等が凍結しやすい。

東北地方では受水槽への入水管(給水引込管)は、電熱ヒータにより凍結防止をすることが一般的である。停電と断水が起きることを考慮すると給水管に水抜き栓を設置して、凍結防止を図る必要がある。

貯水槽の水面が凍結する可能性が高い。貯水槽水面の凍結のメカニズムは、溢水管(オーバフロー管)から冷やされた外気が貯水槽に侵入して、通気口から抜けて貯水槽の気層部が冷却されるもので、図-2の通りである。この要因による水面凍結を防ぐために、溢水管にエアハンドリングユニット型空調機のドレン管に取り付けるためのドレントラップ(逆流防止機能付排水金具)が有効である。

溢水管に S 字型や P 字型、U 字型のトラップを設けて凍結防止を図っている事例が見受けられるが、つぎのことから避けるべきである。

- ・トラップの封水が凍結して、溢水した場合、溢水管の機能を果たせない。
- ・トラップ部の凍結防止のためにヒータ加温をすると封水が蒸発しやすく、封水が切れる。
- ・トラップに封水を充填する手間がかかる。排水トラ

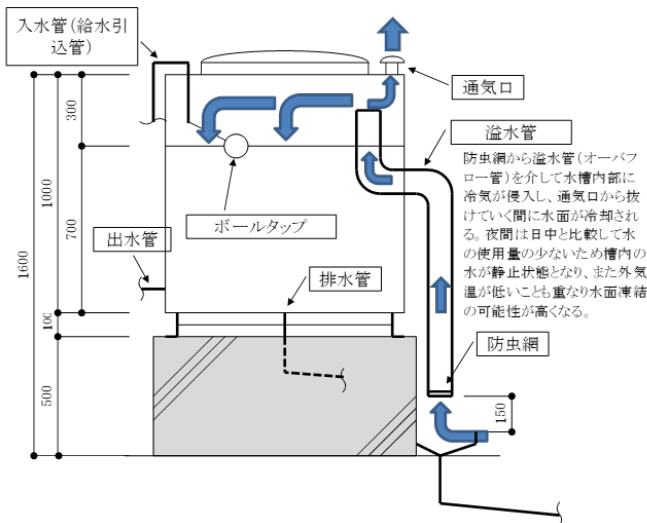


図-2 貯水槽水面凍結メカニズム 3) 5)

ップに用いられる自動補給水装置もあるが、凍結しやすい箇所になる。

- ・封水は浄水ではなく、汚水と捉えるのが妥当である。溢水管には吐水口空間を設けなければならず、これに違反する。

### 謝辞

本報告は、公益財団法人給水工事技術振興財団の平成 29 年度 給水装置工事技術に関する調査研究助成で実施した成果報告書を加筆修正したものである。本調査研究にあたり、北海道大学大学院工学研究院の長野克則、葛隆生、たかまつ技術士事務所の高松康二、(株)山下設計北海道支社の村井裕康の各氏に、指導と助言をいただいた。紙面を借りて、感謝申し上げます。

### 参考文献

- 1) 光合金製作所・北海道電力:特許 4568900 号, ヒートポンプ式給湯機の凍結防止システムとその凍結防止弁装置
- 2) 赤井仁志・田中和則・斎藤俊幸・草刈洋行・岡田誠之・前田信治・福井啓太・久住知裕:屋外貯水槽の凍結防止対策の実験的検討(第 1 報)目的と予備・簡易実験, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集, pp.87～88, 東北工業大学, (2016-3)
- 3) 斎藤俊幸・赤井仁志・田中和則・草刈洋行・岡田誠之・前田信治・福井啓太・久住知裕:屋外貯水槽の凍結防止対策の実験的検討(第 2 報)本実験計画, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集, pp.89～90, 東北工業大学, (2016-3)
- 4) 田中和則・斎藤俊幸・草刈洋行・赤井仁志・岡田誠之・福井啓太・前田信治・久住知裕:屋外貯水槽の凍結防止対策の実験的検討(第 3 報)本実験結果と考察, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集, pp.105～106, 東北学院大学, (2017-3)
- 5) 赤井仁志・田中和則・斎藤俊幸・草刈洋行・岡田誠之・前田信治・福井啓太:屋外設置貯水槽の凍結防止対策の実践研究, 空気調和・衛生工学会大会学術講演会論文集, 第 1 巻, pp.165～168, 高知工科大学, (2017-9)
- 6) 赤井仁志・濱田靖弘・小林光・菅原正則:大規模災害時の凍結防止対策技術, きゅうすい工事, Vol.19, No.2, (2018-夏季号)

A-9

東北地方の気候風土に対応した ZEH のあり方に関する研究

～創エネルギーに関する検討～

○佐々木 穰 (東北工業大学), 渡邊浩文 (東北工業大学)

Consideration on the way of corresponding ZEH with climate-like climate in Tohoku district

～Study on energy creation～

Sasaki Joe (Tohoku Institute of Technology),  
Watanabe Hironori (Tohoku Institute of Technology),

キーワード：創エネルギー，ZEH，小型風力発電，太陽光発電，BEST-H

1. はじめに

ZEH の実現に向けて太陽光発電が主体となっているが日射量の少ない地域での太陽光発電は、非効率でありコスト面の負担も大きい。そこで主に地域資源の日射量、風速である気候風土を利用し、創エネルギーを対象とした発電手法による東北地方で、その地域に合った ZEH のあり方の検討を目的としている。

2. 標準住宅モデル・解析ソフト詳細

本研究では財団法人建築環境・省エネルギー機構刊行の「住宅事業建築主の判断基準の概要」<sup>1)</sup>より標準住宅モデルを用いることにした(図1)。建築環境・省エネルギー機構のエネルギーシミュレーションツール BEST-H<sup>2)</sup>を活用し、年間一次エネルギー消費量と太陽光発電量を算出する。断熱仕様および標準を用い、冷暖房スケジュールは BEST-H の標準設定とし、設定温度を冷房時は 27 度、暖房時は 20 度とした。

気象データは拡張アメダスの標準年データ<sup>3)</sup>を使用した。東北地方各 6 県の気象官署及びアメダスの観測所 142 箇所を対象とした。

3. 一次エネルギー消費量・創エネルギー量の解析

3.1 年間一次エネルギー消費量

BEST-H で解析した結果の一例を図 2 に示す。最も消費量が大きかった青森県酸ヶ湯の結果である。90GJ/年以上の地点が秋田県と岩手県の県境に集中していた。

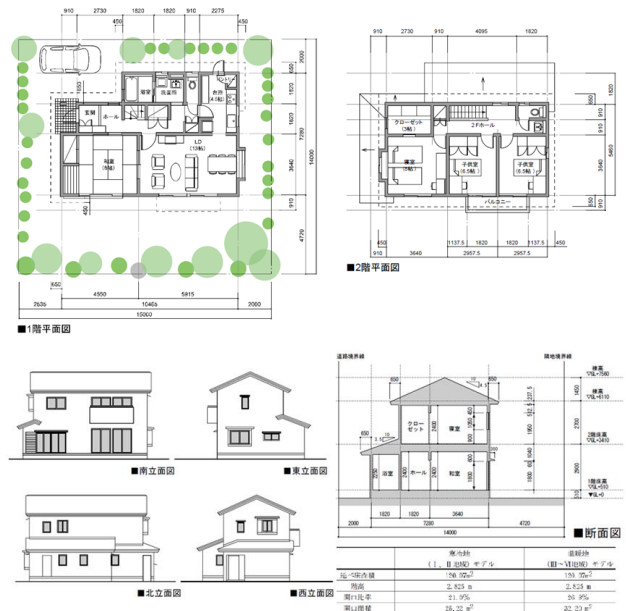


図 1 標準住宅暖地用モデルプラン詳細

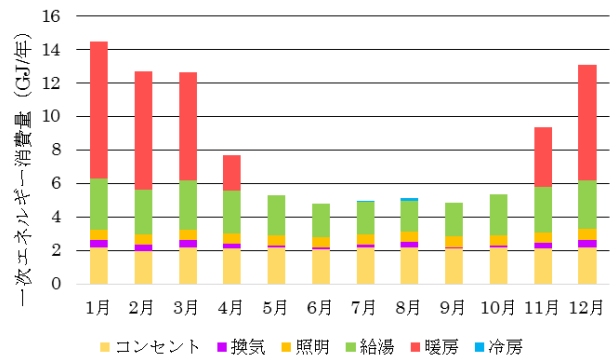


図 2 酸ヶ湯における月別一次エネルギー消費量

### 3.2 太陽光発電による発電量

BEST-Hの計算エンジンBESTprogramを用いて計算し、発電量を解析した。日本海側の秋田県や山形県、青森県の市浦、深浦などは発電量が小さく、反対に太平洋側の岩手県、宮城県、福島県では比較的に発電量が大きい傾向にあった。

### 3.3 小型風力発電による発電量

独自に計算し発電量を解析した。気象データ<sup>4)</sup>は気象庁の2017年の時刻別風速データを使用し、家庭用小型風力発電機はメーカーA社のものを採用した。次の計算式で計算した。なお、カットイン風速は2.5m/sである。

発電量[GJ/年] = 定格出力[kW] × 時間[h] (式1)

### 3.4 地域別による発電量の違い

図3より狩川(山形県)と湯ノ岱(秋田県)の太陽光発電量は25.1GJ/年と24.9GJ/年でほぼ同じ値になるが、小型風力発電では8.9GJ/年と0.1GJ/年となり大きな差があることが分かった。

## 4. 考察とまとめ

図4からZEHの実現をしやすい地点と難しい地点が分かる。図5は図4であげた代表地点の年間一次エネルギー消費量に対する創エネルギー量の割合を表したものであり、割合で見ると石巻が創エネルギー53%、ZEHのために必要な省エネルギー・低エネルギーが47%とであることが分かる。図6の上位5地点では高効率設備導入や高性能断熱材の使用により低エネルギー・省エネルギーでZEHを実現させていく必要があると言える。下位4地点では必要な低エネルギー・省エネルギーが70%近くあるため高性能断熱材の使用などのみではZEHの実現は難しいため、太陽熱利用など他の創エネルギーの検討も必要であると言える。

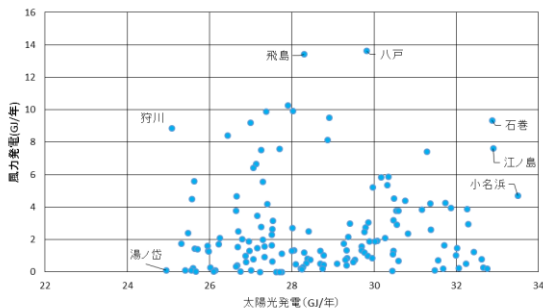


図3 対象地点142箇所における太陽光発電量と小型風力発電量の散布図

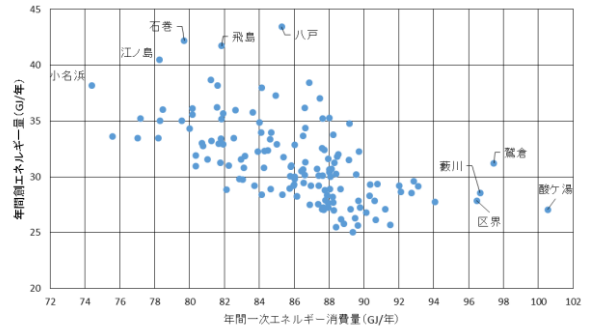


図4 対象地点142箇所における一次エネルギー消費量と創エネルギー量の散布図

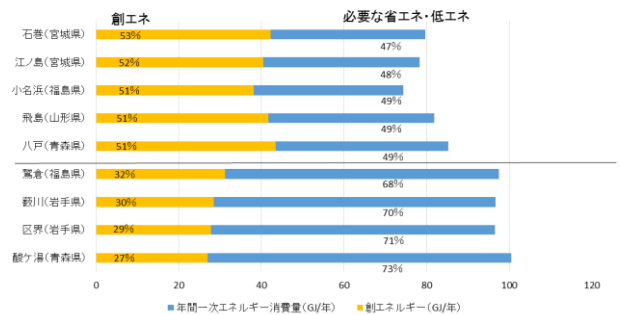


図5 年間一次エネルギー消費量に対する創エネルギー量の割合(上位5地点、下位4地点)

## 参考文献

- 1) 財団法人建築環境・省エネルギー機構:住宅事業建築主の判断基準の概要(2009-7),pp10~11
- 2) BEST-H(財団法人建築環境・省エネルギー機構)
- 3) 拡張アメダス気象データ(MDS株式会社 気象データシステム)
- 4) 気象庁(国土交通省)  
<https://www.data.jma.go.jp/gmd/risk/obsdl/index.php#!table> (2019.1.25)

# A-10

## BEMS 導入建物における計測システム稼働の調査分析

羽生悠人(東北工業大学), ○渡邊浩文(東北工業大学)

Survey analysis of measurement system operation in BEMS installation building

Yuto Hanyu (Tohoku Institute of Technology), Hirofumi Watanabe (Tohoku Institute of Technology)

### BEMS, エネルギー計測機器, 熱源機, 熱搬送動力

#### 1. はじめに

近年、建物のエネルギー利用状況の把握、合理化をするエネルギーマネジメントが重要視されている。BEMS は、省エネの有効な手段として大規模施設を中心に導入が普及しつつある。

一方、BEMS 導入にはコストがかかり、経費削減のため不用意にエネルギー計測メーターを減らされる場合があると聞く。将来 IoT 化により、設備機器全ての消費電力が機器内で計測され、容易に情報を得られるようになることが予想されるが、現時点ではすべての設備にメーターを設置することは現実的ではない。また、メーターの数が不足していても十分な省エネルギー効果を得ることは難しい。

本研究では、BEMS データ<sup>注1)</sup> を用いてエネルギー計測結果の調査分析を行い、BEMS 導入建物の計測システム稼働状態の把握を踏まえたメーター設置の合理性を考察する。

#### 2. 調査方法

エネルギー計測図から K ビル、F ビルのおおよそのシステムを想定し(図 1、図 2)、熱源補機と熱搬送動力との稼働状況の相互関係を考察し、相互関係があると考えられる熱源補機と熱搬送動力との組み合わせをグループ(表 1、表 2)毎に分け、月別エネルギー使用量データを用いてさらに詳しく分析を行う。

#### 3. グラフによる分析と評価

##### 3.1 グラフ作成における条件と評価方法

表 1、表 2 で設定した各グループで熱源補機または熱搬送動力の計測データが複数あるものに対しては、関係を統一化するためにそれらの月別平均エネルギー消費量データを合計したグラフを作成し、グラフの波形から相互関係の比較を行うものとする。しかし、それらのグラフを比較しても、単純にはその相互関係を見出すことは困難である。そこで、対象とする機器の稼働状況の特徴を更にわかりやすく示すため、計測データを特定の閾値(最大値の 10%~20%程度)で量子化することで、稼働の有無(0 か 1 か)を調べて、そのデータの一致度合い(以下、一致率という)を算

出し、機器の相互関係を明らかにする。

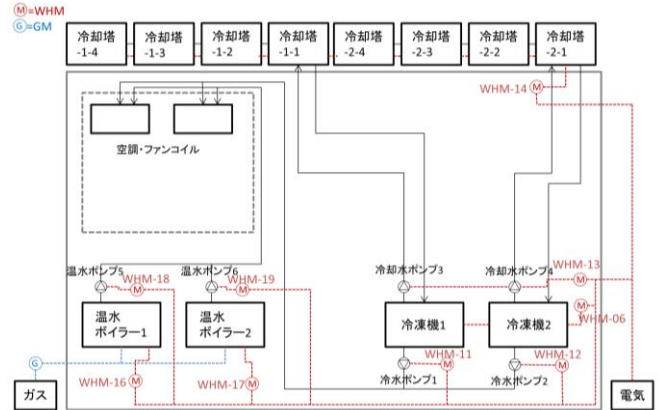


図 1 K ビル システムの想定図

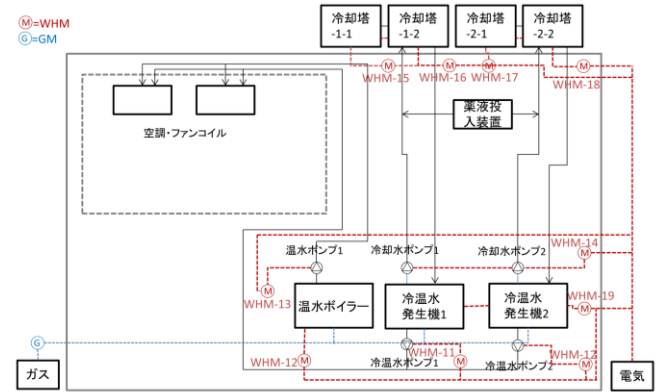


図 2 F ビル システムの想定図

表 1 K ビル熱源補機と熱搬送動力との組み合わせ

グループ	熱源補機	熱搬送動力
グループ①	WHM-06(冷凍機 1、冷凍機 2)	WHM-11(冷水ポンプ 1)、WHM-12(冷水ポンプ 2)
グループ②	WHM-14(冷却塔-1.1、冷却塔-1.2、冷却塔-1.3、冷却塔-1.4、冷却塔-2.1、冷却塔-2.2、冷却塔-2.3、冷却塔-2.4)	WHM-13(冷却水ポンプ 3、冷却水ポンプ 4)
グループ③	WHM-16(温水ボイラー1)	WHM-18(温水ポンプ 5)
グループ④	WHM-17(温水ボイラー2)	WHM-19(温水ポンプ 6)

表 2 F ビル熱源補機と熱搬送動力との組み合わせ

グループ	熱源補機	熱搬送動力
グループ⑤	WHM-19(冷温水発生機 1、冷温水発生機 2)	WHM-11(冷温水ポンプ 1)、WHM-10(冷温水ポンプ 2)
グループ⑥	WHM-15(冷却塔-1.1) WHM-16(冷却塔-1.2) WHM-17(冷却塔-2.1) WHM-18(冷却塔-2.2)	WHM-14(冷却水ポンプ 1、冷却水ポンプ 2)

3.2 グラフの比較

一例として、グループ①の冷水ポンプ 1,2 と冷凍機 1,2 の7月～9月の月別平均エネルギー消費量のグラフを示す(図3、図4)。ここでは稼働状況の波形に類似性が見られた。更に稼働の有無の一致率を算出するために量子化したグラフを作成した(図5、図6)。

3.3 考察

本研究では、グラフの波形の類似性の高さで量子化を行った場合の稼働の有無の一致率の高さ(90%以上を高いとする)から、メーターを減らすことができる可能性があるものは「過大」、減らすべきではないと考えたものは「妥当」、メーターを増やすべきだと考えたものは「過少」と評価する(表3)。グループ①では稼働状況の一致率が98%で、波形の類似性も高かったため「過大」とした。グループ②では一致率が81%で、主に冬季において稼働状況に違いが見られたため「過少」とした。グループ③では、一致率が93%で、波形の類似性が低かったため「妥当」とした。グループ④では一致率が91%で、波形の類似性が低かったため「妥当」とした。グループ⑤では一致率が84%で、主に冬季において稼働状況に違いが見られたため「過少」とした。グループ⑥では一致率が97%で、波形の類似性も高かったため「過大」とした。

4. まとめ

本研究では、相互関係があると考えられる熱源補機と熱搬送動力との組み合わせをグループごとに抽出し、月別平均エネルギー消費量グラフの波形の比較を行い、稼働状況の特徴を更にわかりやすく示すために量子化を行った。その結果、一部の設備機器では高い類似性と一致率が見られ、省エネ効果のある程度維持したままメーターを削減できる可能性を見出すことができた。今後は更に多くのデータを分析し、メーターの合理的な設置のあり方を提案することに結び付けていくことが期待できると考える。

表3 KビルとFビルの熱源補機と熱搬送動力との類似性の評価

		量子化における稼働状況の一致率	
		高い(90%以上)	低い(90%未満)
グラフ 波形の 類似性	高い	グループ① グループ⑥  (過大)	(妥当)
	低い	グループ③ グループ④  (妥当)	グループ② グループ⑤  (過少)

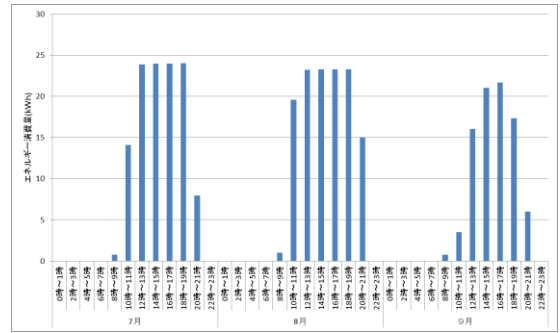


図3 冷水ポンプ1,2の2014年7月～9月の月別平均エネルギー消費量の合計値

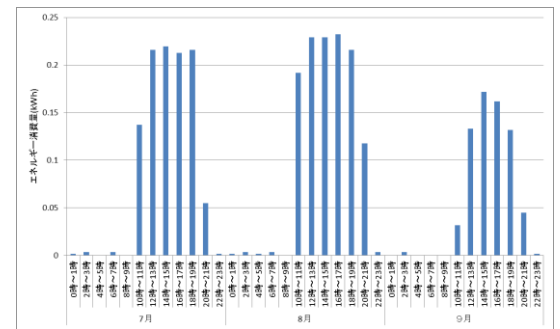


図4 WHM-06(冷凍機1、冷凍機2)の2014年7月～9月の月別平均エネルギー消費量

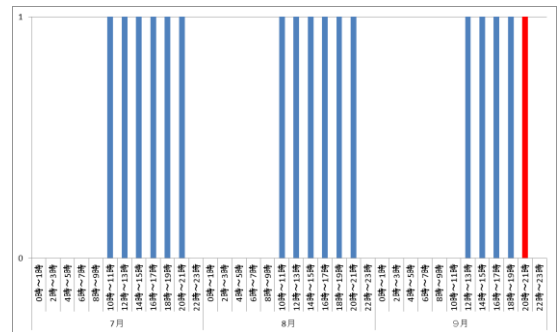


図5 冷水ポンプ1,2の2014年7月～9月の量子化(閾値5kWh)

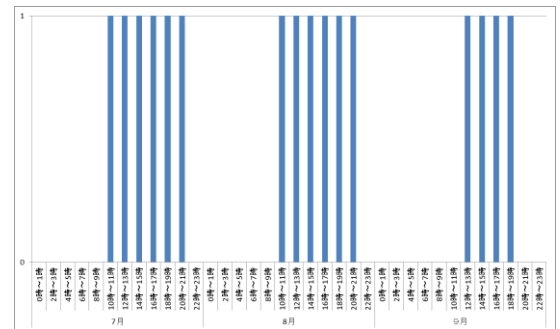


図6 WHM-06(冷凍機1、冷凍機2)の2014年7月～9月の量子化(閾値0.05kWh)

〈参考文献〉

- 注1) DECC Level13 データベース 月別平均エネルギー消費量データ
- 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3版 2010.11)
- 2) ジョンソンコントロールズ株式会社 KビルFビルエネルギー計量図



# A-11

## 雨水利用施設の環境負荷の実態に関する研究

○岡田誠之（東北文化学園大学），前田信治（前田衛生興業），八十川淳（東北文化学園大学），福井啓太（東北文化学園大学）

Study on the Actual Situation of Environment Load of Rainwater Utilization Facilities

Okada Seishi(Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Maeda Nobuharu (Maeda Clean Service Inc.), Yasokawa Jun(Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Fukui Keita(Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

by Keita FUKUI\*<sup>1</sup>, Nobuharu MAEDA\*<sup>2</sup>, Fumio KANATU\*<sup>3</sup> and Seishi OKADA\*<sup>4</sup>

キーワード：雨水利用施設・環境負荷・二酸化炭素

### はじめに

1965年ごろから湧水が頻繁に発生するようになり、便所洗浄水の確保や災害時の水確保としても雨水利用が重要視され、普及するようになってきた。さらに、「雨水の利用の推進に関する法律」も2014年5月に施行され、これからますます雨水利用が増加することが予想される。現在では公共施設や事務所ビル等の雨水利用を行っている施設は平成2015年度末時点で2150か所<sup>1)</sup>設置されているといわれている。設計の基準については雨水利用・排水再利用設備計画基準<sup>2)</sup>や雨水活用建築ガイドライン<sup>3)</sup>があり、これらに設計されている例が多く、実態の調査例としては設計<sup>4)</sup>や維持管理<sup>5)</sup>の報告例がある。雨水利用施設の建築物への導入の目的や効果は、水資源の有効利用、河川・下水道への流出抑制、環境負荷削減、非常時対応、節水等が挙げられ、これらの中の単独または複数をもって雨水利用施設を設置している。そこで本報告ではトイレや散水に利用することを目的として設置されている雨水利用施設を対象として、二酸化炭素（以後CO<sub>2</sub>と称す）を対象とした運用時の環境負荷から雨水利用施設を評価する。雨水利用施設は、建物の屋上で雨水を集水してトイレ洗浄水等に使用するため、水道水を使用することに比べて電力消費量や薬品使用に係るCO<sub>2</sub>排出量が少ないといわれている。しかし、雨水利用施設からCO<sub>2</sub>

CO<sub>2</sub>排出量がどの程度あるかについては、空気調和・衛生環境負荷削減マニュアル<sup>6)</sup>に記しているろ過装置が設置されていない施設の例があるが、ほとんど把握されていないことが指摘されている。実稼働している雨水利用施設のCO<sub>2</sub>排出量がどの程度かについて、雨水集水量、雑用水使用量、設備諸元の実績調査を基にCO<sub>2</sub>の排出量を算定し、CO<sub>2</sub>排出量の把握と環境負荷削減策を提案することを目的とする。

### 1. 対象とした施設

対象とした施設は雨水利用を目的とした建築物であり、実稼働している施設のろ過装置有・無の条件を「各2施設」、ろ過装置を設置してなくて移流ポンプ2台の条件を「1施設」について設計諸元と実績データが揃っている施設を選定して表-1に示す。延べ面積当たりの人員は0.014~0.044（人

表-1 対象建築物の概要と雑用水の諸元

施設	建物概要	延べ床面積当たりの人員 (人/m <sup>2</sup> )	雑用水使用量 (m <sup>3</sup> /日)	上水代替率 (%)	揚水ポンプ出力 (kW)
1	RC-2	0.044	4.2	32.2	0.25
2	SRC-12-B1	0.014	17.8	72.7	0.75
3	RC-5-B1	0.022	3.2	48.0	0.25
4	SRC-7-B1	0.029	7.5	65.9	0.75
5	S-9-B1	0.030	22.3	16.9	1.50

表-2 対象とした雨水利用施設の設備・装置

施設	移送ポンプ	移送ポンプ	ろ過ポンプ	逆洗ポンプ	塩素注入ポンプ	塩素剤	補給水
1			34L/min×0.5 kW	32L/min×0.5 kW	35mL/min×0.02 kW	添加	水道水補給有
2			330L/min×2.2 kW	433L/min×2.2 kW	35mL/min×0.03 kW	添加	水道水補給有
3	90L/min×0.8 kW				35mL/min×0.04 kW	添加	水道水補給有
4	220L/min×0.75 kW				35mL/min×0.05 kW	添加	水道水補給有
5	100L/min×0.75 kW	220L/min ×1.5 kW			35mL/min×0.06 kW	添加	水道水補給有

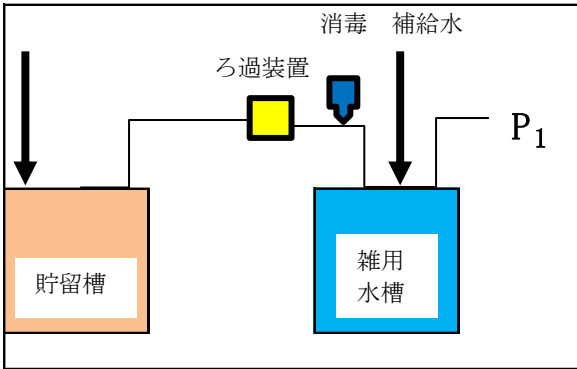


図-1 ろ過装置を設置している条件で、「ろ過ポンプと消毒」の組み合わせ（施設 1.2）P<sub>1</sub>は対象としていない

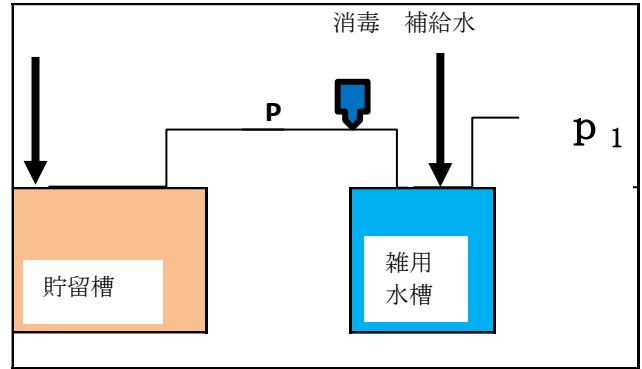


図-2 ろ過装置を設置していない条件で、「移流ポンプと消毒」の組み合わせ（施設 3.4）P<sub>1</sub>は対象としていない

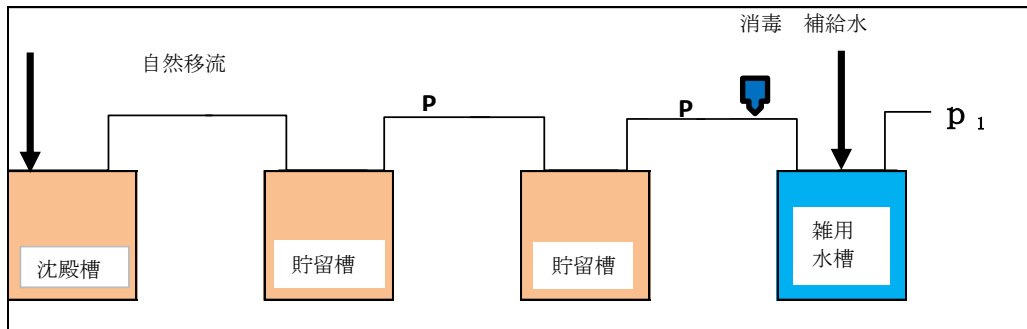


図-3 ろ過装置を設置していない条件で「移流ポンプ 2 台と消毒」の組み合わせ（施設 5）P<sub>1</sub>は対象としていない

/m<sup>2</sup>), すでに雨水利用施設が稼働しているので、データを提供してもらい上水代替率を示した。また、雑用水槽で水道水を補給するための受水槽を設置するとして揚水ポンプの出力も示した。

雑用水使用水量及び設備・装置を表-2 に示し、この処理フローから 3 種類に大分類して図で次に示した。

- ① ろ過装置を設置している条件で、ろ過ポンプが移送を兼ねている「ろ過ポンプと消毒」との組み合わせ(図-1)
- ② ②ろ過装置を設置していない条件で、移流ポンプで移送して「移流ポンプと消毒」との組み合わせ (図-2)
- ③ ろ過装置を設置していない条件で、「移送ポン

プ 2 台と消毒」の組み合わせ (図-3)

なお、算出の範囲は移動ポンプから消毒までを対象とし、トイレ等への供給ポンプは含まないとした。

## 2. CO<sub>2</sub> 排出量算定値

対象とする雨水利用施設から CO<sub>2</sub> を排出する設備・装置は、移送ポンプに利用する電力と消毒が関係するので、採用する原単位を下記に記す。

(1) ポンプに用いる電力に係る CO<sub>2</sub> 排出量

2017 年 12 月 21 日の環境省・経産省公表の「実排出係数 0.518kg- CO<sub>2</sub>/kWh)」<sup>7)</sup> を用いる。

(2) 消毒に用いる次亜塩素酸ナトリウムに係る CO<sub>2</sub> 排出量

表-3 雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量

施設	雨水集水量	移送ポンプ	移送ポンプ	ろ過ポンプ	逆洗ポンプ	塩素注入ポンプ	塩素剤	雨水集水量のみから算出したCO <sub>2</sub> 排出量	
	m <sup>3</sup> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup>
1	1,243			157.81	2.24	6.28	1.19	167.52	0.134
2	3,199			184.12	9.87	1.66	3.07	198.72	0.062
3	387	29.53				0.74	0.36	30.63	0.079
4	1,346	87.15				2.31	1.29	90.75	0.067
5	2,049	59.96	120.61			1.60	1.96	184.13	0.089

2016年3月作成の環境省・国土交通省下水道における地球温暖化対策マニュアル<sup>8)</sup>に示している「0.32kg-CO<sub>2</sub>/kg」を用いる。

(3) 水道水の補給水に係る CO<sub>2</sub> 排出量原単位

雑用水槽への補給水は水道水を使用することによる CO<sub>2</sub> 排出量に建築物の給水設備から生じる CO<sub>2</sub> 排出量を加えた数値を用いる。

1) 水道水に係る CO<sub>2</sub> 排出量は公表値を採用した。この公表値は電力消費量に対する実排出係数を 0.55CO<sub>2</sub>/kWh (温対法における事業者別排出係数(2012年)代替値)に基づいた「0.468kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>」<sup>9)</sup>である。他にも2012年に環境省が発表している「0.36kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>」<sup>10)</sup>、2006年厚労省が報告している「0.22kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>」<sup>11)</sup>があるが、実排出係数や電力消費量の集計方法の異なりがあると推定される。

2) 給水設備に係る CO<sub>2</sub> 排出量は受水槽から「揚水するポンプに係る CO<sub>2</sub> 排出量原単位は 0.11kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>」<sup>12)</sup>、<sup>13)</sup>があるが、ここでは個々の対象建築物の給水設備は雑用水のみに用いる受水槽から高置水槽に揚水するポンプを設けたものとする。表-1に示した揚水ポンプを稼働することによる CO<sub>2</sub> 排出量原単位を算定した。この数値は「施設1」では 0.051kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、「施設2」では 0.0503kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、「施設3」では 0.067kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、「施設4」では 0.086kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>、「施設5」では 0.056kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>となった。

ここでは水道水に係る数値と給水設備に係る数値を加えて CO<sub>2</sub> 排出量を算定した。

3. 算出方法

算定は次の3種類に分けた。①雨水集水量を消毒装置まで移送する「雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量」と②「雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量」、それに③「す

べて雨水を集水したと仮定して算出した CO<sub>2</sub> 排出量」とした。

(1) 雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量

雨水集水量を消毒装置まで移送ポンプ及びろ過するポンプ、ろ過の逆洗は一回当たり5分の逆洗で週2回として逆洗ポンプの消費電力量に実排出係数0.518kg-CO<sub>2</sub>/kWhを乗じた。消毒剤は3mg/Lになるように添加するとして次亜塩素酸ナトリウムに係る CO<sub>2</sub> 排出量を算定した。塩素注入ポンプは移流ポンプまたはろ過ポンプと連動しているのと同じ稼働時間とした。

(2) 雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量

実稼働の雨水利用施設は、雨水集水量が不足していると水道水を雑用水槽で補給する。上水代替率から水道水の補給水量を算定して、これに「0.468kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>」を乗じて算定した数値に(1)雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量で得た数値の合計とした。

(3) すべて雨水を集水したと仮定して算出した CO<sub>2</sub> 排出量

雨水利用施設がすべて雨水で賄うと仮定して検討した。「雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量」で算出した設備・装置の能力はそのまま活用するとした。

4. 算出結果及び考察

4.1 雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量

雨水集水量を消毒装置まで移送するポンプの消費電力量、ろ過装置に流入させるポンプ、消毒剤を注入するポンプの消費電力量、消毒剤の消費から算出した年当たりの CO<sub>2</sub> 排出量を表-3に示す。ここでは補給水量に係る CO<sub>2</sub> 排出量は含まれていない。CO<sub>2</sub> 排出量原単位は 0.062~0.134kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>の範囲である。「施設1」の CO<sub>2</sub> 排出量が他の施設に比べて高いことは、ろ過ポンプの揚水量が少な

いたため、稼働時間が長いことが影響していると考えられる。また、塩素注入ポンプのCO<sub>2</sub>排出量も他に比べて高いことは、ろ過ポンプと塩素注入ポンプが連動しているため、ろ過ポンプの稼働時間が長いため、塩素注入ポンプに係るCO<sub>2</sub>排出量が多くなっている。

次にCO<sub>2</sub>排出量を「移流ポンプ」、「ろ過ポンプ」、「逆洗ポンプ」、「塩素注入ポンプ」に分けて割合を図-4に示す。この移流ポンプのCO<sub>2</sub>排出量の占める割合はろ過ポンプが移流ポンプを兼用していることになり「施設1」では94.3%、「施設2」では92.7%、移流ポンプが有で「施設3」では96.1%、「施設4」では98.1%、移流ポンプが2台ある

って、できるだけ移流にポンプを使用しないで、水槽間の移流は水位差を利用して移流させることがCO<sub>2</sub>排出量を削減することになる。

#### 4.2 雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出したCO<sub>2</sub>排出量

実稼働の雨水利用施設は、雨水集水量が不足していると水道水を補給する。先に求めた「雨水集水量のみから算出したCO<sub>2</sub>排出量」に「水道水補給水におけるCO<sub>2</sub>排出量」を加えた「雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出したCO<sub>2</sub>排出量」の数値を表-4に示す。CO<sub>2</sub>排出量原単位は0.182~0.450 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>の範囲である。また、表-3の「雨水集水量のみから算出したCO<sub>2</sub>排出量」の移流ポン

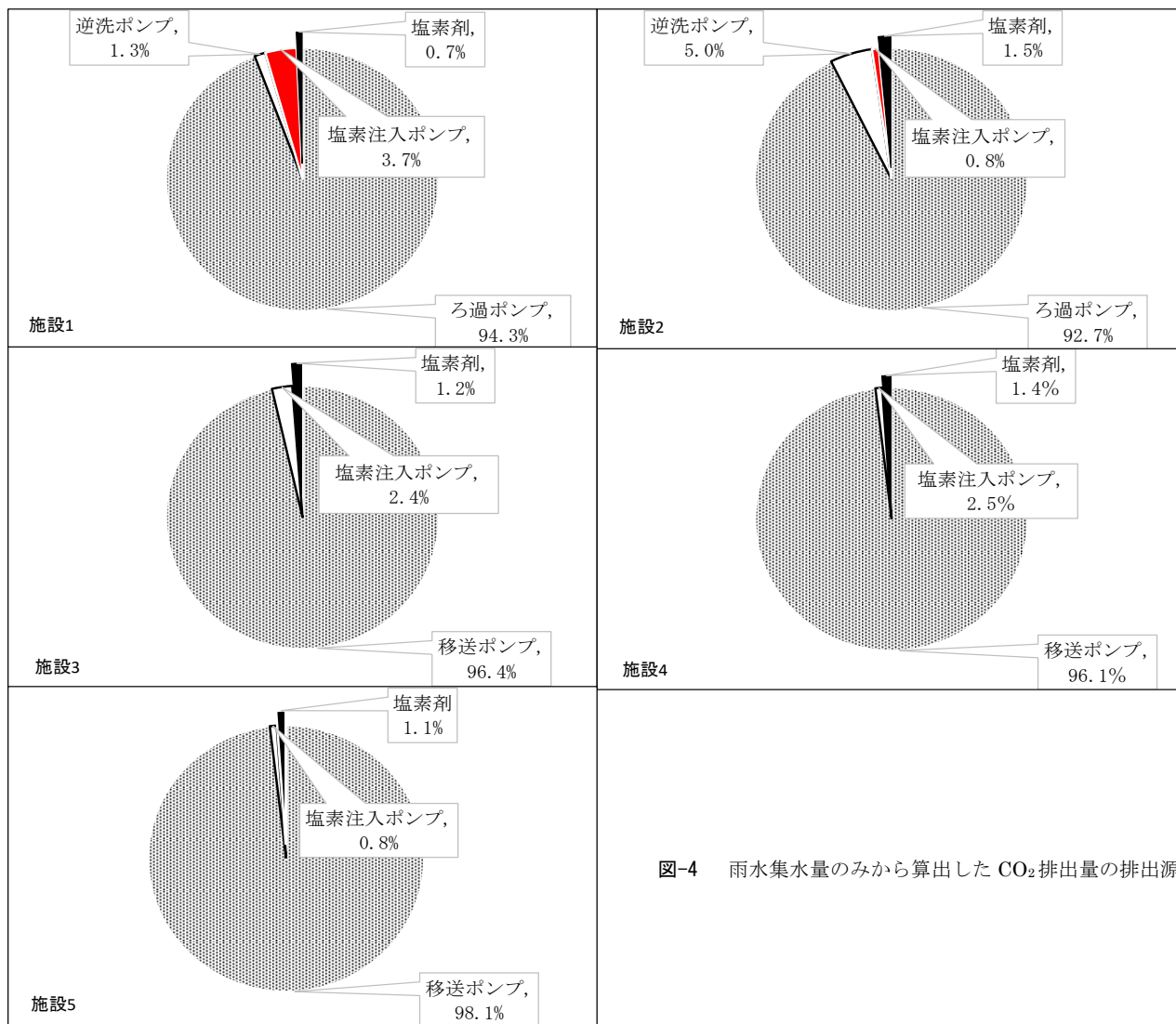


図-4 雨水集水量のみから算出したCO<sub>2</sub>排出量の排出源

「施設5」では98.1%である。ポンプ類が全体のCO<sub>2</sub>排出量の92.7~98.1%を占めている。したが

って、できるだけ移流にポンプを使用しないで、水槽間の移流は水位差を利用して移流させることがCO<sub>2</sub>排出量を削減することになる。

めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量」の CO<sub>2</sub> 排出量の合計に対する各設備・装置の CO<sub>2</sub> 排出量を「施設 1」について百分率で表すと図-5 のとおりとなる。

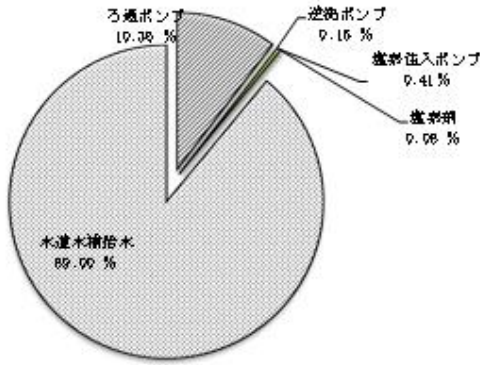


図-5 水道水を補給した条件の CO<sub>2</sub> 排出量の割合 (施設 1 の例)

表-4 雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量

施設	雨水集水量	雑用水量	雨水集水量のみから算出した CO <sub>2</sub> 排出量 (1)	水道水補給水量 (2)	雨水集水量と水道水の補給水を含めた CO <sub>2</sub> 排出量と原単位	
	m <sup>3</sup> /年	m <sup>3</sup> /年			kg-CO <sub>2</sub> /年	kg-CO <sub>2</sub> /年
1	1,243	3,853	167.52	1354.59	1522.11	0.395
2	3,199	4,400	198.72	604.10	802.82	0.182
3	387	805	30.63	224.88	255.51	0.317
4	1,346	2,040	90.75	384.47	475.22	0.232
5	2,049	12,059	184.13	5245.24	5429.37	0.450

補給水が 89.00%，ろ過ポンプ（移流ポンプ）が 10.36%，逆洗ポンプが 0.15%，塩素注入ポンプが 0.41%，塩素剤が 0.08% であり，水道水を補給することで CO<sub>2</sub> 排出量の割合が大きくなっている。他の施設の補給水に係る CO<sub>2</sub> 排出量の割合は上水代替率に比例しており，「施設 2」では 75.2%，「施設 3」では 88.0% 「施設 4」では 80.9%，「施設 5」では 96.6% であった。

#### 4.3 すべて雨水を集水したと仮定して算出した CO<sub>2</sub> 排出量

水道水の補給を必要としなくて，雨水ですべて雑用水をまかなう上水代替率 100% と仮定した場合の稼働時の CO<sub>2</sub> 排出量原単位は，雨水集水量のみで稼働した時の水量に応じた設備・装置の稼働時間の比率が同じであるので原単位は同じ数値である。

#### 4.4 各条件の水量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量原単位の比較

#### 比較

水量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量比較を表-5 に示す。「雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量原単位」及び「すべて雨水を集水したと仮定して算出した CO<sub>2</sub> 排出量原単位」は 0.062～0.134 の範囲になり，平均値が 0.074 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> となっている。

「雨水集水量と水道水の補給水を含めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量」の原単位は 0.182～0.450kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> の範囲にあり，平均値が 0.315 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> となった。この時の上水代替率の平均値は 47% であった。補給水量が多くなると，水道水を使用する時の CO<sub>2</sub> 排出量原単位に近づくことになる。

表-5 各条件の水量当たりの CO<sub>2</sub> 排出量

施設	雨水集水量 (m <sup>3</sup> /年)	雑用水量 (m <sup>3</sup> /年)	雨水集水量のみから算出した CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )	雨水集水量と水道水の補給水を含めた CO <sub>2</sub> 排出量原単位 (kg-CO <sub>2</sub> /m <sup>3</sup> )
1	1,243	3,853	0.134	0.395
2	3,199	4,400	0.062	0.182
3	387	805	0.079	0.317
4	1,346	2,040	0.067	0.232
5	2,049	12,059	0.089	0.450

「雨水集水量のみと水道水の補給水を含めて算出した CO<sub>2</sub> 排出量原単位」に対して「雨水集水量のみから算出した CO<sub>2</sub> 排出量原単位」または「すべて雨水集水したと仮定して算出した CO<sub>2</sub> 排出量原単位」は，「施設 1」では 33.9%，「施設 2」では 34.0%，「施設 3」では 24.9%，「施設 4」では 28.8%，「施設 5」では 19.7% を占めている。

次に上水代替率と「水道水の補給に係る CO<sub>2</sub> 排出量原単位」と「雨水集水量に係る CO<sub>2</sub> 排出量原単位」を図-6 に示した。上水代替率の順に「施設 5」<「施設 1」<「施設 3」<「施設 4」<「施設 2」の順に図示した。上水代替率ごとに「水道水の補給に係る値」に「雨水集水量に係る値」を加えて全体の CO<sub>2</sub> 排出量原単位を示すと上水代替率が高くなると CO<sub>2</sub> 排出量原単位は低くなっている。各施設の上水代替率が 100% の時の CO<sub>2</sub> 排出量原単位は各施設の雨水利用のみの基本の数値となる。

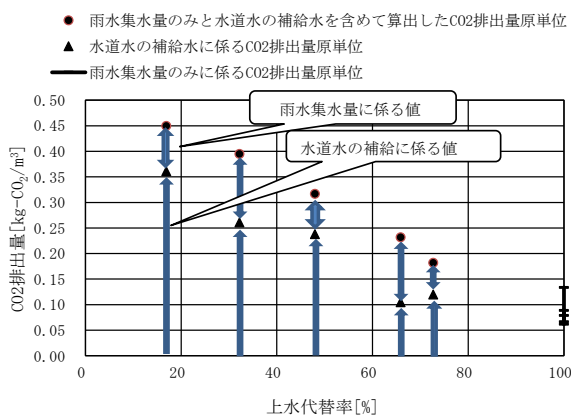


図-6 上水代替率と CO<sub>2</sub> 排出量原単位の関係

## 5. まとめ

稼働している雨水利用施設の中で処理フローの特長から 3 種類に大分類して、ろ過装置の設置有無、さらには移流ポンプを 2 か所設置している施設を選定して、CO<sub>2</sub> 排出量が設備・装置に係るもの、あるいは水道水補給に係るものを算出し、下記のようにまとめることができた。

- (1) 雨水利用施設的环境負荷を CO<sub>2</sub> 排出量及び CO<sub>2</sub> 排出量原単位で評価することができる。
- (2) 過小なポンプの選定をすると稼働時間が長くなり CO<sub>2</sub> の排出量が多くなるので適正なポンプ能力を選定する必要がある。
- (3) 上水代替率が低い場合は水道水補給水が多くなり、CO<sub>2</sub> 排出量が多くなるので、できるだけ上水代替率は高くすることが必要である。

次に雨水利用施設的环境負荷削減の提案は下記の事項が挙げられる。

- (1) 移送ポンプを設置しないで自然移流を考える。
- (2) 初期雨水排除を積極的に行い、貯留槽の水質を良質に維持してろ過装置を設置しない。
- (3) 雑用水量を雨水集水量で賄うように、貯留槽の容量を考慮した設計とする。

本報告は雨水利用施設の CO<sub>2</sub> に伴う環境負荷削減から評価を加えたが、他の導入目的に沿って雨水利用施設が設置されていることもあるので、今後は総合的な評価方法を検討しなければならないと考えている。

## 謝辞

この研究は給排水衛生設備委員会雨水対策小委員会の活動の一環としてまとめたものであり、委員会の委員に有益な助言をいただき誌上で感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 内閣官房水循環制作本部事務局:平成 30 年版水環境白書 (2018) p 81
- 2) 国土交通省大臣官房庁営繕部設備・環境課監修:雨水利用・排水再利用設備計画基準・同解説 (一社) 公共建築協会 (2016)
- 3) 日本建築学会:雨水活用建築ガイドライン, AIJES-W0002- (2011)
- 4) 金津文夫他 10 名:雨水利用施設の設計・維持管理の実態に関する研究 空気調和・衛生工学会論文集 No244, (2017), pp9~15
- 5) 中井隆他 9 名:排水再利用・雨水利用施設の実態に関する研究 空気調和・衛生工学会論文集 No235, (2016-10), pp15~21
- 6) 空気調和衛生工学会編:空気調和・衛生設備の環境負荷削減対策マニュアル (2001) p 141
- 7) [http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity\\_and\\_gas/electric/gwc/gwc\\_002.html](http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/electric/gwc/gwc_002.html) (参照 20181123)
- 8) 環境省・国土交通省:下水道における地球環境温暖化対策マニュアル (2016) p 38
- 9) [www.env.go.jp/council/38ghg-dcgl/y380...mat03.pdf](http://www.env.go.jp/council/38ghg-dcgl/y380...mat03.pdf) (参照 20181123)
- 10) 環境省:エコアクションの温室効果ガス削減効果算定例<参考資料>Ver.1. (2012-6)
- 11) [www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/.../090729-1f.pdf](http://www.mhlw.go.jp/topics/bukyoku/.../090729-1f.pdf) (参照 20181123)
- 12) 空気調和衛生工学会編:空気調和・衛生設備の環境負荷削減対策マニュアル (2001) p 47, p 49
- 13) 岡田誠之:水系設備の電力消費量に関する研究 日本建築学会学術講演梗概集(東北) (2000-8) pp563~56

# A-12

## 家庭用エアコンによる連続運転の効果増進に関する考察

○長谷川智 ((一財)電力中央研究所), 高橋大智 (東北電力株)

### Study on the Improvement of the Effect of Continuous Heating and Cooling by Room Air Conditioner

Hasegawa Satoshi (Central Research Institute of Electric Power Industry), Takahashi Daichi (Tohoku Electric Power)

キーワード：冷暖房, 温冷感, エネルギー

#### はじめに

東北地方や新潟県などの準寒冷地<sup>註1)</sup>においては、暖房時における温熱環境などのNEB (Non Energy Benefit) やエネルギーについての検討に加え、冷房に対する検討のウェイトが寒冷地の北海道より高くなる。

筆者は東北地方と新潟県に建つ戸建住宅(4人居住)を対象に、エアコンによる冷暖房の連続運転の効果について各種グレードでのシミュレーションを行っている<sup>1), 2)</sup>。ここで連続運転とは在室状況に応じてエアコンの電源をオン・オフするのではなく、在室状況によらず長時間オンにし続けることをいう。既報では以下のことを示した。

- ・間欠運転の場合、室の使用開始時は高温(冷房時)／低温(暖房時)であるが、連続運転では改善される。ふく射環境も間欠運転よりよい。
- ・間欠運転ではエアコン起動時に効率の低下と消費電力のピークが発生する。連続運転ではこれらを回避できる。
- ・冷房では起床時間帯に連続運転するときの積算消費電力量は間欠運転に対し2割程度少ない。しかし、頻度が高い低出力時に除湿できない。
- ・暖房では外皮性能が平成25年省エネルギー基準(等級4)を満たせば、24時間連続運転(就寝時は設定温度緩和)するときの期間積算一次エネルギー消費量は間欠運転と同等かそれ以下になる。全熱交換換気とすると暖房の連続運転の省エネルギー効果が増す。

本報では、まず既報をもとにエアコンの連続運転時の温冷感を標準新有効温度SET\*により評価するとともに、連続運転の効果増進のための現状の課題を整理する。つぎに今後の気候変動や社会情勢の変化を見据えたときに今後の建物・設備はどうあるべきか道筋を示すための考察を行う。

#### 1. シミュレーションの概要

##### 1.1 検討対象地点, 計算ツール, 気象データ

既報で示した青森(4地域)で引き続き検討する。計算は質点系シミュレーションプログラム「CAD IEE」<sup>3)</sup>などにより0.1時間刻みで行う。エアコンのCOPと消費電力は「エアコン熱源特性モデル」<sup>4)</sup>などにより求めている。気象データは1995年版拡張アメダス気象データ<sup>6)</sup>の標準年である。

##### 1.2 居住者, 生活スケジュール

居住者構成は4人(勤め人, 専業主婦, 高校生, 中学生)とし、生活・発熱スケジュールはSCHE DULE Ver. 2.0<sup>7)</sup>により、平日/休日の2種類を1時間刻みで生成した。

##### 1.3 住宅モデルと冷暖房対象室

住宅モデルは文献<sup>8)</sup>に示される建築環境・省エネルギー機構(IEBC)の自立循環型住宅のモデルプラン(図-1)の「温暖地用」である。対象建物の周囲に日射を阻害するものはない。

性能・仕様の概要を表-1に示す。既報では3つのグレードについて検討しているが、紙面の制約もあり、本報では等級4と「HEAT20」<sup>9)</sup>の「G1」をとりあげる。換気回数は各室0.5回/hとした。G1で

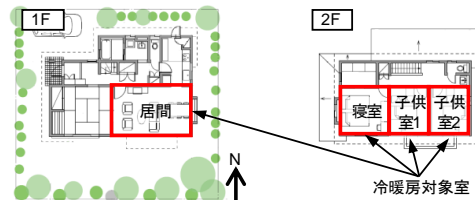


図-1 検討対象住宅の平面

表-1 住宅の性能・仕様(4地域)

		G1	等級4
U <sub>A</sub> 値	[W/(m <sup>2</sup> ・K)]	0.44	0.69
窓仕様	ガラス	Low-E・三層	Low-E・複層
	空隙, 枠素材	G6, 木or樹脂	A6, 金属+樹脂
全熱交換換気の有無		あり	なし
見かけの換気回数 [回/h]		0.15	0.5

は全熱交換換気 ( $\eta=70\%$ ) とし、見かけの換気回数を低減することで模擬した<sup>注2)</sup>。

### 1.4 冷暖房方法

冷暖房方法を表-2に示す。設定温度は文献<sup>8)</sup>を参考にした。

### 1.5 エアコンの仕様

エアコンはCADIEEライブラリの2012年標準機とした。容量は等級4では畳数目安で選定する。G1では1.4の間欠運転としたときのCADIEEによる1時間間隔の熱負荷計算で得られる最大暖房負荷をエアコンの定格能力が上回るように選定した。その結果、居間だけが等級4より1ランク低い容量となった。エアコンの主な仕様を表-3に示す。

### 1.6 SET\*計算のための仮定

SET\*計算のための残りの要素は、風速: エアコン運転時0.15m/s・停止時0.1m/s, 着衣量: 冷房時0.5clo・暖房時1.0clo, 活動量: 1.1metと仮定した。

## 2. 冷房代表日の時系列

平日の日平均気温のピーク日(8月28日)における外気温, 居間の温湿度, 居間の中心におけるMRTおよびSET\*ならびにエアコンの消費電力および累積消費電力量の推移を図-2に示す。

### 2.1 室温, MRT

間欠運転では室温がエアコン停止後に上昇し, 16時ではG1で32°C, 等級4で34°Cに達する。16時のエアコン起動後, 室温は40分程度かけて設定の27°Cに到達する。MRTはなりゆき推移で, 等級4の連続運転では日射侵入と外皮からの貫流熱により32°Cに達する。日射遮へいと断熱性能向上により, なりゆきの度合いを抑える必要がある。

### 2.2 エアコンの消費電力, 累積消費電力量

間欠運転では日中のエアコン起動後, 室温が設定に達するまで高負荷運転し, G1で1.3kW, 等級4で1.7kWの消費電力のピークが発生する。一方, 連続運転ではピークが発生することなくゆるやかに推移する。また, ピーク日においても午後から夜にかけて発停を繰り返していることから過大容量であり, 容量適正化の余地がある。

23時の運転終了時の累積消費電力量は連続運転のほうが間欠運転よりもG1で24%, 等級4で36%少ない。

### 2.3 湿度

湿度はなりゆき推移である。間欠運転で消費電

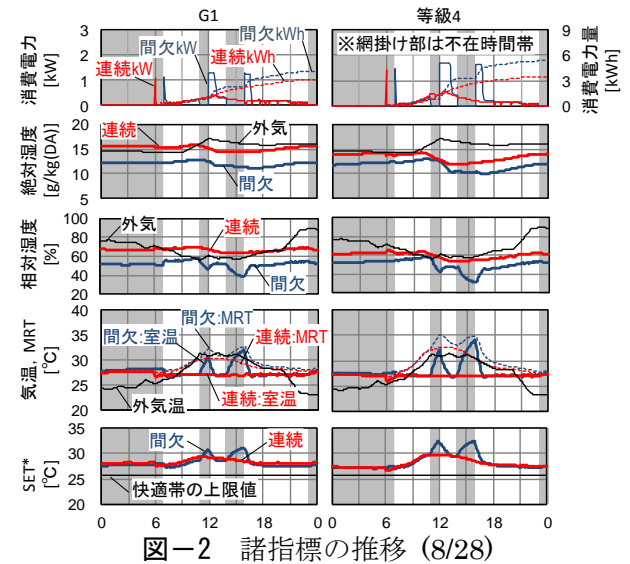
表-2 冷暖房方法

		運転方法	設定温度
冷房	間欠運転	起床時間帯のうち在室時に運転	27°C
	連続運転	起床時間帯に連続運転	
暖房	間欠運転	起床時間帯のうち在室時に運転	20°C
	連続運転	24時間連続運転	起床時20°C 就寝時17°C

※起床時間帯は6-23時とする

表-3 各室エアコンの主な仕様

室(性能)	面積 [m <sup>2</sup> ]	冷房時定格 [kW]		暖房時定格 [kW]		APF [-]
		能力	消費電力	能力	消費電力	
居間(等級4)	21.53	4.0	1.270	5.0	1.280	4.9
居間(G1)		3.6	1.280	4.2	1.140	4.9
寝室	13.25	2.5	0.645	2.8	0.590	5.8
子供室 1,2	10.77	2.2	0.580	2.2	0.450	5.8



力のピークが発生している時間帯と連続運転の11-13時ころに除湿されている。低負荷時には顕熱しか処理できない噴出温度となるためである。過大容量とあわせて考えると, 容量の低減によって低負荷時の稼働率を上げることにより, 除湿可能な温度まで噴出温度を下げることも一案である。

### 2.4 SET\*

G1の連続運転では, 間欠運転でエアコンが高負荷運転する時をのぞきSET\*が間欠運転より0.3°C程度高い値となっている。連続運転では除湿されにくいことによる。等級4においてもG1より程度は小さいが同様の傾向である。

また, 今回の計算ではSET\*の快適域上限の25.2°CよりSET\*が高い。快適域におさめるためには設定温度を低くする必要がある。



### 3. 暖房代表日の時系列

平日の消費電力量のピーク日（1月14日）における外気温、居間の室温、居間の中心におけるMRT および SET\*ならびにエアコンの消費電力および累積消費電力量の推移を図-3に示す。

#### 3.1 室温, MRT

間欠運転で朝の起動時刻である7時の室温はG1で10.9℃, 等級4で6.6℃で, MRTも同程度である。エアコン起動から設定の20℃に室温が到達するまで40分程度を要す。7時のエアコン起動後, MRTは室温より低い勾配で上昇し, 室温の設定温度到達後は勾配がさらにゆるやかになる。連続運転でも室温より低いMRTであるが, 間欠運転よりは高く推移する（等級4の8時で2.5℃高い）。

#### 3.2 エアコンの消費電力, 累積消費電力量

消費電力をみると, 間欠運転ではエアコン起動から設定温度に到達するまでの間にG1で1.5kW, 等級4で2.1kWの消費電力のピークが発生する。連続運転でも6時の設定温度変更時に同様のピークが発生するが, 持続時間は10分程度である。就寝時も起床時と同じ設定温度とすればこのピークは発生しない。このことにより小容量・高稼働とでき, 冷房時の潜熱処理能力の向上も見込むことができる方向である。

累積消費電力量<sup>注3)</sup>をみると, 24時における連続運転の累積消費電力量はG1では間欠運転の96%, 等級4では101%であり, 間欠運転と大差ない。

#### 3.3 SET\*

G1の連続運転では, 7-23時にかけてのSET\*は快適域下限の22.2℃に近い値で推移する。等級4の連続運転では, 7時に20.8℃であり快適域の下限値より1.4℃低い。以降も下限値より1.0-1.3℃低い値で推移する。快適域におさめるためには設定温度を高くする必要がある。

間欠運転では, G1でも7時のエアコン起動時のSET\*は約15℃である。室温の設定温度到達後のMRTの上昇が鈍くなることから22.2℃に達するのに2時間を要す。消費電力量に大差ないことを鑑みれば, 設定温度について検討の余地があるものの, 連続運転のほうが好ましい。

### 4. ASHRAE Standard 55 の快適帯との比較

図-4に2. と3. で取り上げた代表日の在室時間帯の作用温度OT<sup>注4)</sup>と湿度を湿り空気線図上にプロ

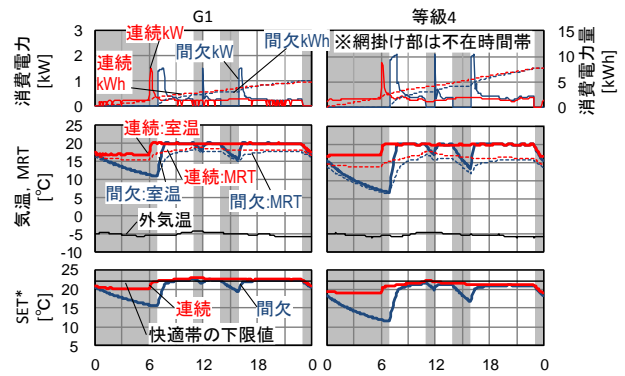


図-3 諸指標の推移 (1/14)

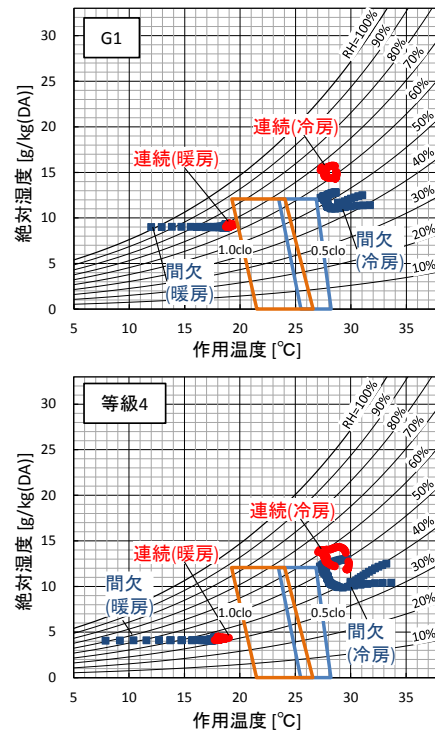


図-4 代表日の OT・湿度と快適帯

ットし, あわせてASHRAE Standard 55の快適帯を示す。今回の設定温度では冷暖房とも快適帯にはいずれもプロットされない。

等級4とG1の比較では, G1の冷房では湿度が上がり, OTは下がる。暖房では湿度が上がり, OTが上がる。また, G1の間欠運転では結露リスクが増すことから, 時間的・空間的 (非暖房室も含む) に均一な室温維持が必要である。

### 5. 今後を見据えた建築・設備のあり方の道筋

エアコンの連続運転の効果を増進し快適帯におさめるための建築・設備の現状の課題として, 容量の適正化, 設定温度の検討, ふく射のなりゆき

度合いの低減、湿度（冷房時の潜熱処理能力向上および暖房時の結露リスク回避）があげられた。

この章では今後の気候・社会の変化を見据えた準寒冷地における建築・設備のあり方の道筋を考える。

### 5.1 気候変動への対応

今後、地球温暖化が進展することから、仙台においてもWBGTが上昇し、熱中症リスクが高まることが予測されている<sup>10)</sup>。採涼を通風に頼るだけでは高温高湿による熱中症リスクが高まると考えられるため、冷房の必要性が増す。冷房する室の低湿化は熱中症リスク低減に作用することから、冷房時の潜熱処理は今後より重要になる。

### 5.2 高齢化への対応

温暖化するとはいえども、高齢化する社会の健康維持のためには引き続き暖房時の良好な温熱環境形成が重要である。よって、今後は冷暖房ともに重要になる。エアコンによる暖房の連続運転では、間欠運転時に比較して良好な温熱環境の形成、維持が可能であり、消費エネルギーは間欠運転と大差ない。現状の課題をクリアすることで、エアコンの連続運転は高齢化に対するエネルギー、NEBの観点からの有効解になると考える。

また、ヒートショックと結露のリスクを低減するために、非居室の温熱環境も向上する必要がある。検討項目として断熱強化、換気経路（居室→非居室）、非居室の暖房熱源等があげられる。

### おわりに

既報をもとにエアコンの連続運転時の温冷感について評価し、連続運転の効果を増進させるための現状の課題を整理した。つぎに、今後の気候・社会の変化を見据えたときに建物・設備がどうあるべきか道筋を示すための考察を行った。エアコンの連続運転は現状の課題を解決することでNEBと省エネルギーの両立に寄与することができると考えられる。ひきつづき検討していく。

### 注 釈

- 1) 最も寒冷な北海道と区別するため、東北地方や新潟県などの本州において寒冷とされる地域を「準寒冷地」と呼ぶこととした。
- 2) 全熱交換換気を考慮した見かけの換気回数は  $0.5[\text{回/h}] \times (1-0.7) = 0.15[\text{回/h}]$ とした。

- 3) CADIEEのエアコン熱源特性モデルでは室外機への着霜による影響を考慮していないため、期間積算値では補正が必要である。
- 4) 作用温度OTは室温（乾球温度）とMRTの算術平均値とした。

### 参 考 文 献

- 1) 高橋大智・長谷川智：東北地方と新潟県に建つ断熱性能等が異なる戸建住宅におけるエアコンによる連続冷暖房の効果に関するシミュレーション（第1報）シミュレーション概要と冷房時の効果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（2018-9）、pp.173～176
- 2) 長谷川智・高橋大智：東北地方と新潟県に建つ断熱性能等が異なる戸建住宅におけるエアコンによる連続冷暖房の効果に関するシミュレーション（第2報）暖房時の効果、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集（2018-9）、pp.177～180
- 3) 宮永俊之・占部亘：住宅用室内温熱環境計算ツールの実用化 その1：多数室空調負荷・温熱快適性指標の同時計算手法、電力中央研究所研究報告書R06016（2007-6）
- 4) 上野剛・北原博幸・宮永俊之：家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発 その1：冷房時モデル、空気調和・衛生工学会論文集No.190（2013-1）、pp.41～49
- 5) 上野剛・北原博幸・宮永俊之：家庭用エアコンの熱源特性モデルの開発 その2：暖冷房時モデルへの拡張と汎用性の検証、空気調和・衛生工学会論文集No.204（2014-3）、pp.85～92
- 6) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ（2000）
- 7) 空気調和・衛生工学会：生活スケジュール自動生成プログラムSCHEDULE Ver. 2.0（2000）
- 8) 建築環境・省エネルギー機構：住宅事業主の判断基準におけるエネルギー消費計算方法の解説
- 9) 2020年を見据えた住宅の高断熱化技術開発委員会：HEAT20 設計ガイドブック+PLUS G1・G2住宅の設計・評価 — 全国版（2016-9）
- 10) 山本ミゲイル・河西昌隆・大風翼・花岡和聖・持田灯：擬似温暖化手法を用いたWRFによる気候解析結果に基づく熱中症リスクの評価 2050年代における東京と仙台の比較、日本風工学会平成29年度年次研究発表会梗概集（2017-5）、pp.101～102

# A-13

## 高断熱住宅での実計測によるエアコン暖房を連続運転にした場合の効果検討

○大子田誠也, 松田賢, 工藤堅治 (東北電力株)

Study on Comparison between Continuous Operation and Intermittent Operation of Air-conditioning Heating by Field Measurement of a Wooden House  
Ogota Seiya, Matsuda Ken and Kudo Kenji (Tohoku Electric Power, Co.,Inc.)

キーワード：エアコン暖房, 住宅, 連続運転

### はじめに

一般家庭で冬季の暖房に使われるエネルギーは、年間の使用エネルギー中でも高い割合を占めている。特に東北地方では4割が暖房用に使われることから、快適性を向上させたうえで省エネルギーとなる暖房機器の選定や利用方法に関する知見が重要となる。

近年建設される住宅は高气密・高断熱の仕様となっており、断熱性能や密閉性が高い住宅では暖房機器として、燃焼による二酸化炭素等の排出のない電気式のエアコンを利用している住宅が多くなってきている。

これまでにも、エアコンの暖房における運転方法として、連続運転と間欠運転を比較した結果が報告されている。例えば実験用住宅を用いた家庭用のエアコンの運転において、停止して30分もしくは60分で再起動した試験では、冷房では連続運転が、暖房では間欠運転が省エネルギーになる結果が報告されている<sup>1)</sup>。またシミュレーションソフトを使い、6分、30分、52分の頻繁な停止を繰り返すことで、消費電力量が増加する結果が得られている<sup>2)</sup>。

いずれも“間欠”運転としては、2時間以内の比較的短時間の停止についての実験やシミュレーションであり、また居住者のいない試験住宅での結果となっている。

実際の住宅で暖房は、1時間程度の短時間の停止・再起動よりも、夜間就寝時や日中の外出時などのより長い停止時間を伴う間欠運転を行っていると考えられる。また実際に居住者が生活する住宅において計測を行うことで、より実態に近い比較が実施できると考えられる。

以上のことから本報告では、宮城県内の居住者がいる戸建木造住宅の1室を対象とし、エアコン暖房の連続運転と夜間等に停止する運転（間欠運

転）を行い、温熱特性および省エネ性について比較を行ったので報告する。

### 1. 計測概要

#### 1.1 計測した住宅の概要

本計測は一般のお客さま及び建築した工務店の協力を得て行ったものであり、設備設計は当該工務店の標準的な仕様となっている。断熱性の指標である設計UA値は0.54W/m<sup>2</sup>Kであり、平成25年度改正省エネ基準4地域としては断熱性の高い住宅である。暖房は、LDKを含むすべての部屋で電気式エアコンを主として使い、部分的に電気ヒーター(こたつなど)を補助暖房として用いている。

被計測室である1階のLDKは北東南の3面が外に面しており、東南角にエアコンが設置されている。エアコンの暖房能力は6.7kWであり、一般に広さ目安で選定されるものよりも若干小さい能力の機種が設置されている。

リビングに接する洗面所、ホール・玄関は常には暖房されておらず、生活者の扉の開閉およびLDKから壁面や隙間を通じてホールへの熱の流出が生じる。

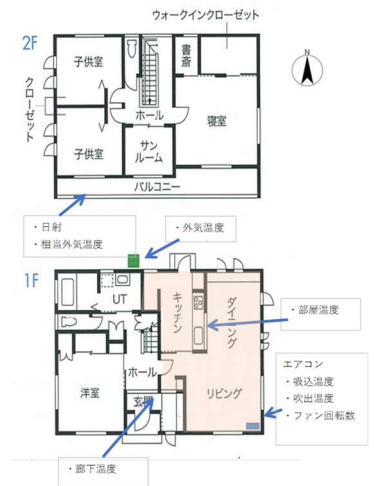


図-1 計測住宅間取り

表-1 住宅の諸元

計測場所：	宮城県柴田郡柴田町 *改正省エネ基準4地域
住宅：	2階建て戸建住宅(延べ床面積約145㎡)
住宅性能：	設計UA値:0.54W/m <sup>2</sup> K
被計測室：	1階のLDK38㎡(図-1の着色部分)
エアコン	暖房能力6.7kW(定格消費電力1,540W)

1.2 計測項目等

連続運転と間欠運転の比較を行うにあたり、協力していただいた居住者の負担を軽減するために、計測の前半（12月～1月）は居住者の昨年までの利用方法（夜間等の不在時は電源を切る間欠運転）とし、後半（2月～3月）はエアコンの電源を切らない利用方法（連続運転）とした。

また温度以外の温熱特性は計測しない代わりに、温度設定については居住者が快適と感じる温度に変更してもらった。その結果、12月～1月はエアコンの設定温度を22℃としたが、2月以降連続運転に切り替わってからは20℃の設定温度に下げた。後述する安定的な室温により、壁等の躯体温度が下がらないために輻射熱の効果により、設定温度が低くても快適と感じられたと推定される。

計測項目は、①室温：LDKの中央部、床上1200mm高さ、②廊下温度、③外気温度：住宅北側で大気輻射の影響がない場所で計測、④エアコンの消費電力量、吸込・吹出温度、ファン回転数、⑤全日射量である。

エアコンの処理熱量は、計測した吸込・吹出温度とファン回転数から換算した。なおファン回転数から風量への換算は、別途実施された測定結果をもとに行った。

表-2 計測項目

計測期間：平成29年12月～平成30年3月
＊12月～1月：間欠運転，2月～3月：連続運転
測定項目：
・エアコンの消費電力，吸込・吹出温度，ファン回転数
・室温，・廊下温度，・外気温度，・日射量
設定温度：22℃（間欠運転時）20℃（連続運転時）

1.3 計測期間の気象条件

計測データを比較するための環境条件として、住宅設置個所から最も近い気象庁の観測地点である白石での気温・日照時間を表3にまとめた。

表-3 計測期間の気象状況

年月	気温(℃)			日照(h)			
	平均気温	平年値	差	日照時間	平年値	比(%)	
間欠	12月	2.1	3.8	-1.7	140.2	129.1	109
	1月	0.3	1.1	-0.8	150.4	133.7	112
連続	2月	0.2	1.4	-1.2	195.9	140.6	139
	3月	6.5	4.3	2.2	211.1	166.7	127

白石における気温平年値は12月と3月が0.5℃の差、1月と2月が0.3℃差であり、計測した期間

が平年値に近ければ期間全体での比較ができたが、2017年12月は平年より1.7℃低く、一方3月は2.2℃高くなっており、間欠運転期間と連続運転期間では消費電力に影響を与える外気温度に乖離がみられた。日照についても同様で、2月～3月は1.4倍の日照時間であった。

2. 計測結果と分析

2.1 気象条件とエアコンの動作

図-2に、1時間平均にした1日の計測データ例を示す。1/10（間欠運転）と2/10（連続運転）は、いずれも外気温度が日平均3℃の日である。1/10は就寝時はエアコンを停止しており、2/10はエアコンを連続運転した。

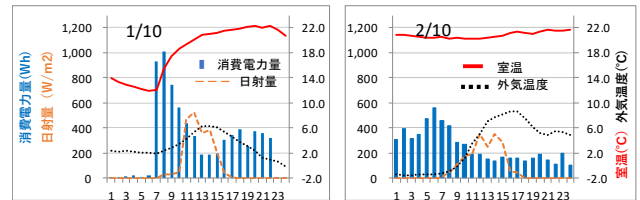


図-2 実測例（左：間欠運転，右：連続運転）

1/10は、前日の就寝時から10時間暖房を停止したため、室温は12℃まで低下した。暖房開始とともに室温は上昇するが20℃に達するまで約5時間要し、消費電力は起動当初に最大1000Wを超えた。一方2/12は連続運転のため、室温はほぼ一定（約20℃）で、エアコンの消費電力は外気温度が低い朝方でも500～600Wでの運転となった。

なお連続運転でも、日射があり外気温度が上昇する日中は、夕方室温の低下を検知して運転を再開するまでエアコンが自動停止する。

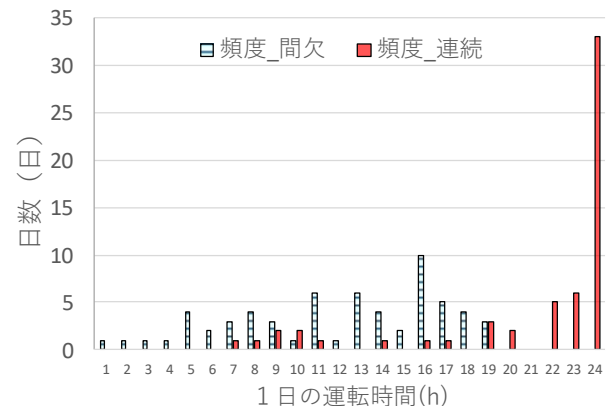


図-3 1日の運転時間頻度

エアコンの運転時間の分布(図-3)を見ると、連続運転の期間はほとんどが24時間動作しているが、1日に20時間程度の運転も何日もあり、3月下旬では1日の運転時間が10時間以下になる場合もある。

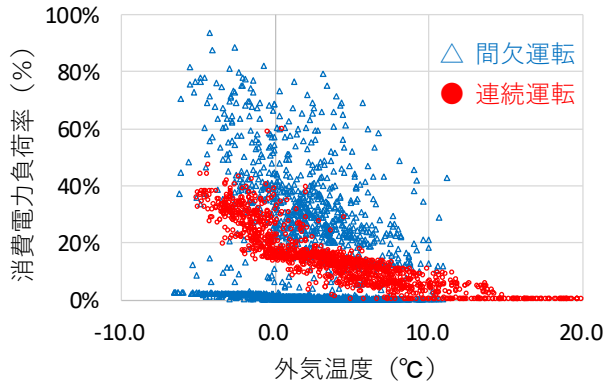


図-4 エアコン負荷率の外気温度依存性

LDK に設置されているエアコンは、暖房時の消費電力が定格 1,540W、最小 85W(負荷率 5.5%)～最大 3,750W(同 243%)の仕様である。1時間平均値でプロットした負荷率と外気温度の相関(図-4)を見ると、間欠運転では再度暖房開始時の高負荷運転の必要性から数%から80%近い範囲でばらついた。一方連続運転では、外気温度の低下とともに負荷率も上昇し、-5℃で40%程度となり、ばらつきも少ない。

2.2 室内の温熱環境の比較

間欠運転時と連続運転時の室内の温熱環境の比較として、LDK 中央付近の床面から高さ 120 cm の位置での室温で比較すると、エアコンを運転している時間帯の平均室温はどちらも 20.6℃となった(表-4)。設定温度に 2℃の違いがあるものの、間欠運転では目的温度まで室温が上がるまでに運転開始後から2時間程度かかるため、運転時間帯の平均気温としては連続運転期間と同程度となった。

室温の変動は、連続運転はほぼ一定の室温(1日の変動は 2℃以内、期間全体の最低 - 最高温度差は 4.2℃)であるのに対し、間欠運転では1日のうちでは最大 11℃程度の室温の変動があるため、居住環境

表-4 室内温度

運転方法	平均気温 (°C)		室温の最大値-最小値	
	期間全体	運転時	期間全体	1日
間欠運転	19.0	20.6	15.2	10.9
連続運転	20.6	20.6	4.2	1.9

としては連続運転の方が快適である。

2.3 消費電力量に与える環境等の因子

エアコンの消費電力量に与える因子を考える。消費電力量の比較でも記述したとおり、外気温度が下がれば室からの放熱量が多くなるために、室温を一定にするためには必要加熱量は多くなる。また日射が多ければ、窓から侵入する熱と外壁面を暖めることにより室内からの放熱抑制が期待されるため、消費電力量は抑えられる。この二つの因子について、測定結果として相関があるかを確認した(図-5)。

外気温度と消費電力量の相関は、間欠運転(△)も連続運転(●)も負の相関がみられた。計測した外気温度の範囲が広いことから連続運転の方が決定係数 R2 の値も大きくなっている。

一方、日射量と消費電力量との関係では、明らかな相関は見られなかった。外気温度の寄与が大きいなどのために明確には出てこないと考えられる。

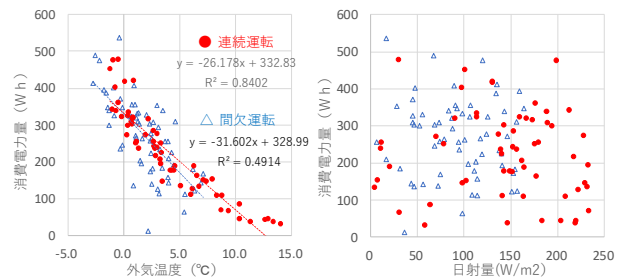


図-5 エアコン消費電力量の相関 (左：外気温度，右：日射量)

2.4 消費電力量の比較

外気温度および日射など条件の異なる期間において連続運転と間欠運転の比較を行うために、気象等の条件を揃える必要がある。1.3 で示したように、二つの運転期間を比較すると、連続運転の期間の方が平均外気温度が高く、また日射量も多い。そのため、単純な消費電力量の平均で比較すると、連続運転が有利となる。また重回帰分析の適用も母集団の条件の分布が同等でなければ比較が難しい。このことから、今回の分析においては、1日ごとにデータを集計し、外気温度と日射総量が同程度になる日を抽出して比較を実施した。抽出条件は、外気温度は1日の平均温度の差が±0.7℃以下、1日の日射量合計の差が50W以下とし、

両方の条件を満たす 21 ケースを検討した。

表-5 比較した 21 ケースの測定値等

ケース	間欠 / 連続	測定日	平均外気温度 (°C)	1日の日射量 (W)	運転時間 (h)	運転時間差	平均消費電力量 (W)	消費電力量低減率
1	間欠	1/5	-0.2	93	18	6.0	347	20.5%
	連続	2/2	0.1	130	24		419	
2	間欠	1/22	-0.4	17	18	6.0	536	-10.8%
	連続	2/12	-0.5	30	24		479	
3	間欠	12/3	4.5	140	16	6.0	193	-7.3%
	連続	3/10	4.5	142	22		179	
4	間欠	12/19	3.5	84	17	7.0	340	-25.9%
	連続	2/10	3.3	78	24		252	
5	間欠	12/12	3.0	29	17	7.0	353	-27.6%
	連続	3/8	2.7	11	24		256	
6	間欠	12/21	1.0	147	16	7.0	272	17.5%
	連続	2/25	0.8	166	23		320	
7	間欠	12/27	-0.9	47	16	8.0	402	19.1%
	連続	2/12	-0.5	30	24		479	
8	間欠	1/10	3.1	88	16	8.0	293	-14.0%
	連続	2/10	3.3	78	24		252	
9	間欠	12/21	1.0	147	16	8.0	272	-12.4%
	連続	2/4	1.3	156	24		239	
10	間欠	12/28	1.0	91	16	8.0	355	-9.8%
	連続	2/9	0.8	90	24		321	
11	間欠	1/20	0.6	125	16	8.0	324	-6.7%
	連続	2/5	0.8	142	24		303	
12	間欠	12/14	1.3	156	14	9.0	310	3.1%
	連続	2/25	0.8	166	23		320	
13	間欠	12/15	2.6	73	14	10.0	308	-18.3%
	連続	2/10	3.3	78	24		252	
14	間欠	12/14	1.3	156	14	10.0	310	-23.1%
	連続	2/4	1.3	156	24		239	
15	間欠	1/1	3.2	137	13	11.0	235	-11.7%
	連続	2/15	3.2	162	24		207	
16	間欠	1/13	-1.3	143	11	12.0	339	0.1%
	連続	2/6	-0.7	188	23		339	
17	間欠	12/11	4.3	140	10	12.0	225	-20.7%
	連続	2/11	4.3	149	22		179	
18	間欠	1/18	6.3	151	7	12.0	121	-7.0%
	連続	3/20	6.0	140	19		113	
19	間欠	12/7	2.6	154	11	13.0	182	56.6%
	連続	2/28	2.7	152	24		286	
20	間欠	1/24	-1.3	52	8	16.0	300	51.1%
	連続	2/13	-1.3	101	24		453	
21	間欠	1/7	2.4	152	7	16.0	173	83.4%
	連続	2/3	2.2	173	23		318	

消費電力量低減率は、(連続運転の消費電力量－間欠運転の消費電力量)／間欠運転の消費電力量、で計算し、マイナスの値になれば、連続運転の方が省エネルギーとなることを示す。

この 21 ケースのうち、連続運転の方が省エネルギー（消費電力量低減率がマイナス値）になったのは 13 ケース、間欠運転の方が省エネルギーとなったのは 8 ケースであった。21 ケース全体で比較すると、低減率は 0.1%となり、どちらの運転でも消費電力量に大きな違いはない。

連続運転と間欠運転の運転時間差に対する削減率としてプロットすると、運転時間差が 12 時間

以上の場合(■)，間欠運転の方が有利になる傾向が見られる(図-6)。時間差 12 時間以下のケース(▲，●)の合計で計算すると、低減率は-7.1%となり、連続運転としたほうが省エネルギーになる結果となった。特に夜間 6～8 時間停止したケース(●)で比較すると-10.4%の省エネルギーとなった。

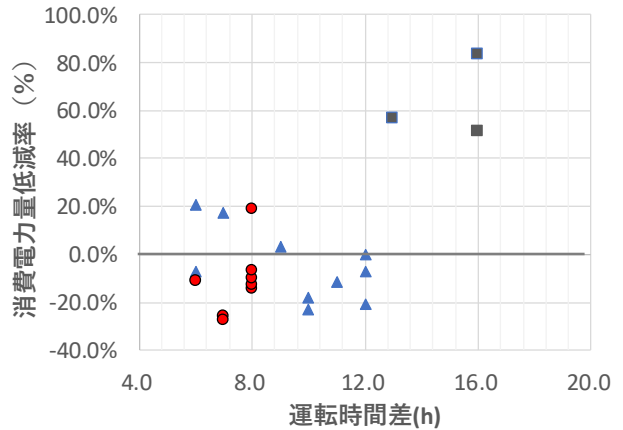


図-6 消費電力低減率の運転時間差依存性

### 3. 結論

今回実測した事例でのエアコン暖房を連続運転にした場合の効果は、エアコン暖房を間欠運転した場合と比較しても消費電力量が大きく増加することはないという結果となった。特に夜間就寝時のみ停止する条件と比較すると、連続運転は省エネルギーになる可能性が高いことが示唆された。

### 謝辞

本研究における計測にあたりご協力をいただいた有限会社 渡建(宮城県村田町)様および関係各位に感謝の意を表します。

### 参考文献

- 1) 村上洋介：家庭用エアコンの連続運転と間欠運転の省エネ性比較について，第30回エネルギーシステム・経済・環境コンファレンス講演論文集，p493-496
- 2) 上野剛：エアコンの暖房時連続・間欠運転による省エネ可能性に関する検討，日本建築学会四国支部研究報告集(15)，75-76

A-14

地中熱を利用する無散水融雪システムの導入事例

○村上栄造 (㈱朝日工業社), 川村勇太 (㈱朝日工業社), 須知秀行 (㈱朝日工業社),  
 渋谷浩志 (ミサワ環境技術㈱), 坂本隼人 (大泉開発㈱), 藤村一樹 (㈱横河建築設計事務所)

Case Study of Watering-less Snow Melting System Using Geothermal Heat  
 Murakami Eizo, Kawamura Yuta, Suchi Hideyuki (Asahikogyosha Co.Ltd),  
 Shibuya Hiroshi (Misawa Environmental Technology Co.Ltd),  
 Sakamoto Hayato (Taisendevelopments Co.Ltd), Fujimura Kazuki (YOKOGAWA Architects & Engineers, Inc)

キーワード：地中熱利用, クローズドループ, 融雪, 自然エネルギー

はじめに

近年、化石燃料の使用により大気に放出された二酸化炭素などの温室効果ガスによって気候変動を伴う地球温暖化が問題になっている。2015年の第21回締約国会議(COP21)では、2020年以降の温室効果ガス排出削減等のための「パリ協定」が採択された。エネルギーの殆どが化石燃料から供給されている日本の目標は2030年度の温室効果ガスの排出を2013年度水準から26%削減であり、相応のエネルギー削減が必要である。一方、10m以深の地中温度は、年間を通してほぼ一定であり、地中熱を回収して夏は冷熱源、冬は温熱源として利用すれば化石燃料の使用を減少できる。

本発表では、地球温暖化対策として地中熱利用を検討し、寒冷地における路面の融雪・凍結防止に対する有効性を検証したので知見を報告する。

1. 融雪システムの特徴

図-1 に計画した融雪システムのフローを示す。口径130mm、深さ約114m 垂直に掘った掘削孔(ボアホール)にUチューブ30A(高密度ポリエチレン管)を2本挿入して、安全性の高い不凍液(プロピレングリコール)を密閉循環することで地中熱を回収し放熱管に通水して融雪・凍結防止を図る。当該システムは、クローズドループ方式に該当し、地下水を放熱管に通水するオープンループ方式と比べて、管内の腐食やスケール付着の問題がなく、実揚程も小さいので循環ポンプを小型化できるという利点がある。また、従来方式である地下水を汲み上げて路面に直接散水する消雪システムは、散水した水による凍結や歩行者への水はね、路面の汚れ、地盤沈下などがあったため、当該システムは無散水、不凍液循環を採用した。

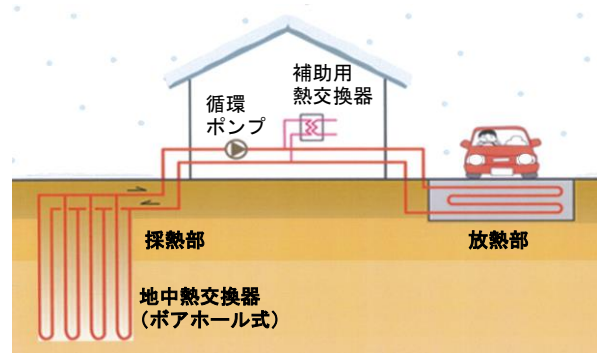


図-1 計画した無散水融雪システムのフロー

2. 融雪システムの計画と評価方法

2.1 融雪熱負荷の推定<sup>1)</sup>

融雪熱負荷  $q$  は、式(1)~式(7)に諸条件を算入し求めた。 $q$  は  $133.5 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$  ( $155 \text{ W/m}^2$ ) である。

$$\text{融雪熱負荷 } q = q_0(1 + q_\xi) \quad (1) \quad \text{上部放熱量 } q_0 = q_s + q_n + A_r(q_e + q_i) \quad (2)$$

$$\text{顕熱 } q_s = C_1 \cdot \Delta t \cdot S \cdot \rho_s \quad (3) \quad \text{融解熱 } q_n = J \cdot S \cdot \rho_s \quad (4)$$

$$\text{気化熱 } q_e = h_{fp}(0.00872V + 0.0107) \cdot (4.7 - P) \quad (5)$$

$$h_{fp} = 539 - 0.643(t_f - 100) - 0.000834(t_f - 100)^2 \quad (6)$$

$$\text{対流放射熱 } q_i = 290(0.00872V + 0.0107) \cdot (t_f - t_a) \quad (7)$$

融雪強度  $S: 0.015 \text{ m/h}$ 、外気温  $t_a: -4.2^\circ\text{C}$ 、平均風速  $V: 2.9 \text{ m/s}$ 、  
 雪密度  $\rho_s: 80 \text{ kg/m}^3$ 、雪温の絶対値  $\Delta t: 1.0^\circ\text{C}$ 、  
 雪の比熱  $C_1: 0.5 \text{ kcal/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ 、大気の水蒸気圧  $P: 3.9 \text{ mmHg}$ 、  
 氷の融解熱  $J: 80 \text{ kcal/kg}$ 、下部放熱率  $q_\xi: 0.05$ 、  
 自由面積比  $A_r: 0.5$ 、加熱状態の路面温度  $t_f: 0^\circ\text{C}$ 、

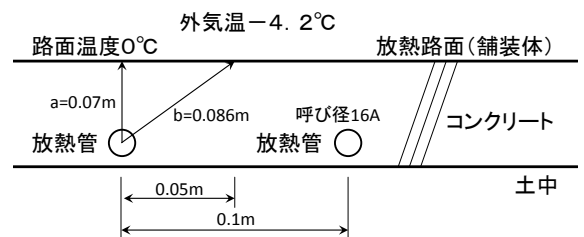


図-2 放熱部の断面構造

次に上部放熱量  $q_0$  と諸条件を式(2)に算入し放熱管送り温度求めた。送り温度  $t_s$  は  $5.5^{\circ}\text{C}$  である。

$$\text{放熱管送り温度 } t_s = t_r + q_0 \times (a+b) / (2 \times \lambda) \quad (2)$$

放熱路面の熱伝導率  $\lambda$  :  $1.8 \text{ kcal/m} \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$  (コンクリート板)

$$t_s = 0 + 148 \times 0.86 \times (0.07 + 0.086) / (2 \times 1.8) \approx 5.5 [^{\circ}\text{C}]$$

$a, b$  は放熱管との距離 (図2参照)

ここで、融雪システムメーカーの既往事例に基づく推定では、深度  $100\text{m}$  における地中熱交換器1本あたりの採熱量  $E$  が  $7000\text{W}$  (不凍液  $27\ell/\text{min}$  循環) であり、放熱管温度差は  $3.7^{\circ}\text{C}$  ( $\approx 7000[\text{W}] \times 0.86[\text{kcal/h} \cdot \text{W}] \div 60[\text{min/h}] \div 27[\ell/\text{min}]$ ) である。放熱管送り温度は  $5.5^{\circ}\text{C}$ 、還り温度は  $1.8^{\circ}\text{C}$  となる。

## 2.2 地中熱交換器1本あたりの採熱量

地中熱からの採熱量は、地質構成、地下水の有無、地中熱交換器の大きさ、不凍液循環チューブの素材、不凍液循環水量、温度条件に左右される。そこで、設計上必要な地中熱交換器1本あたりの採熱量は、施工予定地において機械ボーリングによる温度検層調査と採熱試験を行い、採熱量に影響する要因(深度、循環水量)を考慮して求めた。

図-3に採熱試験装置を示す。採熱量は、冷水を試験孔(深度  $103\text{m}$ )の地中熱交換器に通水し、定常時の循環水温度差(出口温度-入口温度)と循環水量を乗じて求めた。

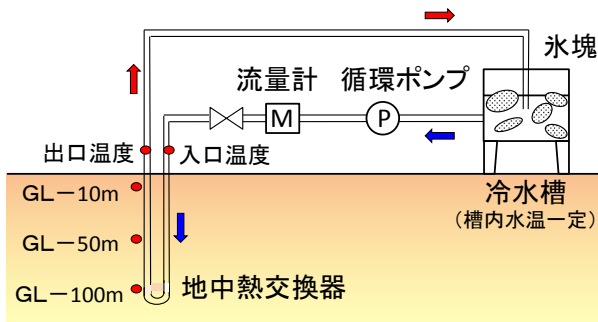


図-3 採熱試験装置

## 2.3 地中熱交換器本数の決定

融雪システムで用いる地中熱交換器の全本数は、2.1で推定した放熱路面あたりの融雪熱負荷  $q$  ( $155\text{W/m}^2$ )に融雪面積  $2213\text{m}^2$  (3系統:① $700\text{m}^2$ 、② $1073\text{m}^2$ 、③ $440\text{m}^2$ ) を乗じた後、2.2の地中熱交換器1本あたりの採熱量で除して求めた。

## 2.4 融雪システムの導入効果

実稼働期間の冬期2ヶ月間に地中熱交換器温度(入口、出口)、放熱路面温度、外気温(青森県津軽半島の中南部)、採熱量、降雪状況を連続計測し、その結果から融雪システムの導入効果を評価した。

ここで、循環ポンプ(動力3系統:① $2.2\text{kW}$ 、② $3.7\text{kW}$ 、③ $1.5\text{kW}$ )の運転は、路面温度による自動発停( $5^{\circ}\text{C}$ 運転、 $8^{\circ}\text{C}$ 停止)とした。

## 3. 融雪システムの構築と評価結果

### 3.1 地中熱交換器1本あたりの採熱量

#### (1) 機械ボーリングによる温度検層の結果

図-4に温度検層結果を示す。施工予定地の地質は、深度  $70\text{m}$  付近までは軟質でそれ以深はやや硬質であった。深度増加に伴い地中温度は上昇し、増温率は深度  $10\text{m} \sim 50\text{m}$  で  $0.53^{\circ}\text{C}/10\text{m}$ 、深度  $50\text{m} \sim 100\text{m}$  で  $0.94^{\circ}\text{C}/10\text{m}$  である。

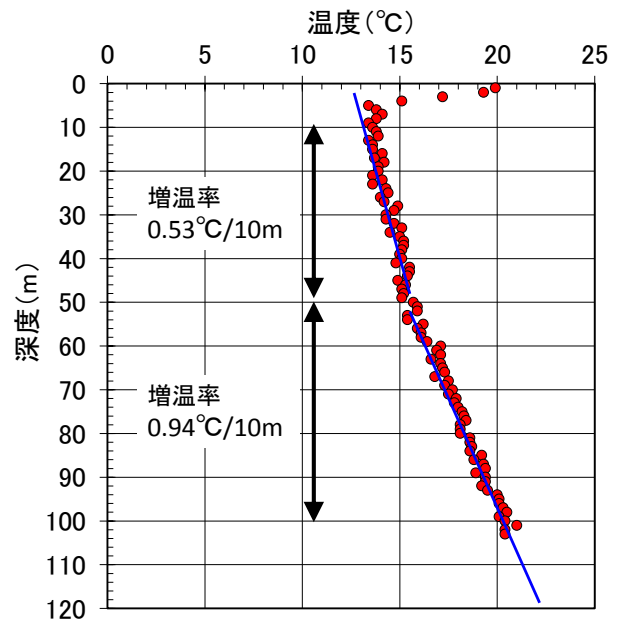


図-4 温度検層結果

#### (2) 採熱試験の結果

図-5に採熱試験時の温度、循環水量の経時変化を示す。採熱試験は循環水量を4段階に設定した。どれも設定後から約2時間で定常状態に達した。

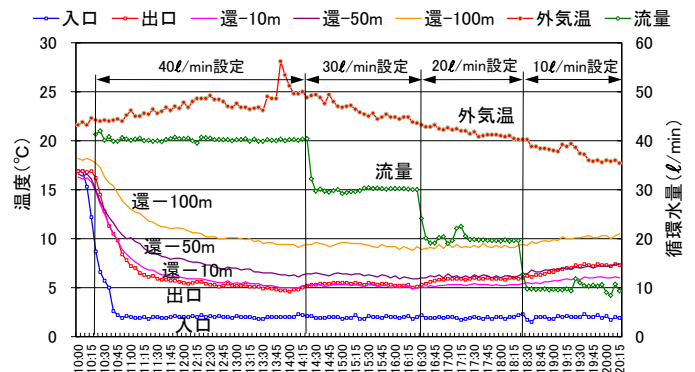


図-5 採熱試験時の温度、循環水量の経時変化



表-1 に温度が定常状態に達した時の採熱試験結果を示す。地中熱交換器出口温度は、循環水量の減少に伴い上昇した。この時の採熱量は、冷水循環で循環水量 30.1ℓ/min に対し 6720W である。ここで、本施工で用いる循環水は不凍液であり、冷水の採熱量と異なる。そこで、表-1 に不凍液の密度・比熱に変えて不凍液の採熱量を推定した。循環水量 30.1ℓ/min に対し 6681W となり、冷水循環と比べて顕著な差ではないと判断できる。

表-1 温度が定常状態に達した時の採熱試験結果

循環水量 Q[ℓ/min]	循環水温 [°C]		地中温度[°C] (還り, GL 基準)			外温 [°C]	採熱量[W]	
	入口	出口	-10m	-50m	-100m		冷水	不凍液
40.2	2.1	4.8	5.1	6.3	9.3	25.6	7573	7529
30.1	2.0	5.2	5.0	6.0	9.1	22.2	6720	6681
19.6	2.0	5.9	5.3	6.1	9.2	20.4	5333	5302
9.8	2.0	7.3	6.0	7.2	10.2	17.9	3624	3603

採熱量 q [w] = Q · 60 · ρ · c · (T<sub>出口</sub> - T<sub>入口</sub>) / 0.86  
 ρ : 水の密度 1000kg/m<sup>3</sup>、不凍液の密度 1025kg/m<sup>3</sup>  
 c : 水の比熱 1.0kcal/kg·°C、不凍液の比熱 0.97kcal/kg·°C

図-6 に温度定常状態時の循環水量と採熱量の関係（不凍液循環の場合）を示す。融雪に必要な出口温度（放熱管送り温度）5.5°Cを達成させる地中熱交換器の諸元は、入口温度（還り温度）2.0°C、循環水量 25.5ℓ/min、採熱量が 6200W である。この値は概ね融雪システムメーカーの解析結果（放熱管送り温度 5.5°C、還り温度 1.8°C、不凍液循環水量 27ℓ/min、採熱量 7000W）と一致した。

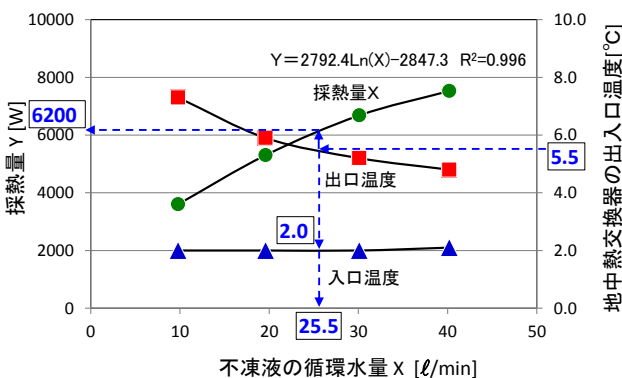


図-6 温度定常状態時の循環水量と採熱量の関係（不凍液循環の場合、地中熱交換器深度 103m）

### 3.2 地中熱交換器本数の決定

表-2 に融雪システムで用いる地中熱交換器の全本数を示す。2.1 で推定した放熱路面あたりの融雪熱負荷 q (155W/m<sup>2</sup>) に融雪面積 2213m<sup>2</sup> (3系統 : ①700m<sup>2</sup>、②1073m<sup>2</sup>、③440m<sup>2</sup>) を乗じた値から、3.1 (2) の採熱試験で得た地中熱交換器 1 本あたりの採熱量 6200W で除して、融雪シス

テムで用いる地中熱交換器の全本数を算出した。地中熱交換器の必要本数は、系統①18本、系統②27本、系統③11本であり、合計 56本のボアホール数が必要である。しかし、ボアホールとボアホールが近接すると地中熱交換に支障がでる可能性があるため、離隔距離 4m 以上とする文献<sup>2)</sup>から 5m を確保できるボアホール許容数を定めたが、算出した必要本数はボアホール許容数を超えてしまった。そこで地中熱交換器の本数をボアホール許容数とし、当初予定していた地中熱交換器深度を 103m から 114m に変更することで採熱量を補う方法を検討した。図-4 に示す温度検層結果から深度 50m~100m の増温率は 0.94°C/10m であり、掘削を約 10m (≒114m - 103m) 深くすると 0.94°Cの改善が見込める。

表-2 地中熱交換器の必要本数

	系統①	系統②	系統③
融雪面積[m <sup>2</sup> ]	700	1073	440
	(合計) 2213		
融雪熱負荷 q[W/m <sup>2</sup> ]	155		
全所要熱量[W]	108500	166315	68200
地中熱交換器の採熱量[W/本]	6200		
地中熱交換器の本数 (ボアホール数) [本]	18	27	11
	56		
ボアホール許容数[本]	17	26	11

図-7 に地中熱交換器深度 114m における採熱量の予測結果を示す。温度検層結果から出口温度で 0.94°Cの改善が見込めるが、安全設計を考慮し、約 0.3°C (≒0.94 の 1/3) の熱量回収とした結果である。深度を 114m に変更することで、計画時の採熱量 7000W を達成できる。

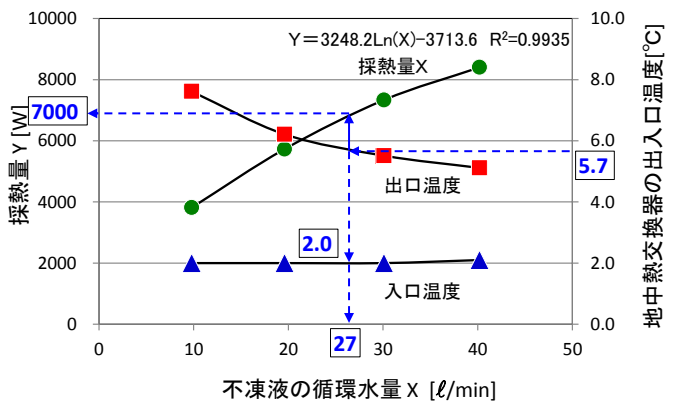


図-7 地中熱交換器深度 114m における採熱量の予測結果（不凍液循環の場合）

### 3.3 融雪システムの導入効果

図-8に融雪システム(系統①)のフィールド試験結果を示す。試験は実稼働期間の冬期2か月間(1月23日～3月27日)に実施した。その間の外気温度平均は $-3^{\circ}\text{C}$ (最低 $-9.2^{\circ}\text{C}$ )、降雪量平均は $6.3\text{cm/h}$ (最大 $10.7\text{cm/h}$ )であったが、融雪部の路面温度平均は $6.3^{\circ}\text{C}$ (最大 $10.7^{\circ}\text{C}$ )で $3.4^{\circ}\text{C}$ を下回ることにはなかった。融雪システム循環ポンプによる路面温度制御( $5^{\circ}\text{C}$ 運転、 $8^{\circ}\text{C}$ 停止)が機能しているといえる。写真-1に融雪システム導入後の駐車場(系統①)を示す。融雪と凍結防止効果を確認した。地中熱交換器の出口温度(融雪路面への送り)平均は $9.3^{\circ}\text{C}$ で最終設計条件の $5.7^{\circ}\text{C}$ (図-7)より $3.6^{\circ}\text{C}$ 高い温度となっていた。一方、入口温度平均は $8.0^{\circ}\text{C}$ であり出入口温度差 $1.3^{\circ}\text{C}$ は図-7の予測結果 $3.7^{\circ}\text{C}$ ( $=5.7^{\circ}\text{C}-2.0^{\circ}\text{C}$ )を大きく下回った。そのため地中熱交換器1本あたりの採熱量平均は $2346\text{W}$ に留まり、最終設計条件の採熱量 $7000\text{W}$ に達しなかった。採熱量が設計能力に達しなかった原因として、外気温度がフィールド試験期間を通して設計条件 $-4.2^{\circ}\text{C}$ より高く推移したこと、路面温度が $3.6^{\circ}\text{C}$ 以上を維持できたことで融雪熱負荷が減少し温度差が小さくなったことが考えられる。



写真-1 融雪システム導入後の駐車場(系統①)

### 4. まとめ

本発表では無散水融雪システムの導入にあたり検討した事項や温度検層調査、地中熱採熱量試験の結果を報告した。外気温度平均 $-3^{\circ}\text{C}$ 、降雪量平均 $6.3\text{cm/h}$ の環境で2か月間のフィールド試験を行った結果、その間、融雪部の路面温度は $3.4^{\circ}\text{C}$ を下回ることにはなく、融雪システムの有効性を確認した。本システムはA重油焚ボイラーを熱源とするシステムと比べて、運転費が約100万円/年、 $\text{CO}_2$ 削減率80%と試算しており、地球温暖化防止の対策技術の一つとして今後の普及を期待する。

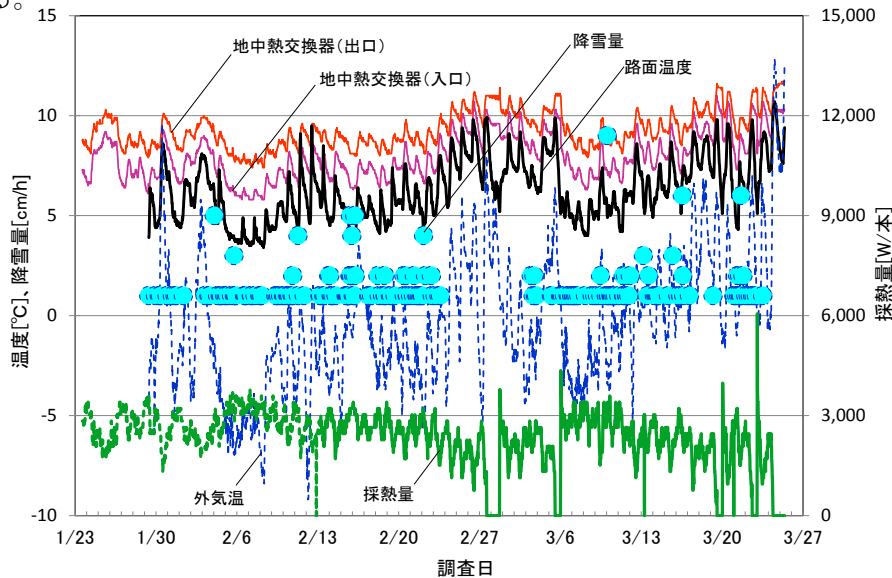


図-8 採用した無散水融雪システムのフィールド試験結果  
(地中熱交換器深度114m、青森県津軽半島の中南部)

### 謝辞

本論文の作成に当たり、ご助言を賜りました千葉工業大学創造工学部建築学科の若山尚之教授に謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 日本道路協会:道路防雪便覧 第5刷,丸善(2010), p167~p173
- 2) 北海道大学地中熱利用システム工学講座:地中熱ヒートポンプシステム, オーム社(2007), p33

# A-15

## 天井吹出口毎に風量制御する空調システムの開発

○鈴木 慎介（三機工業），福森 幹太（三機工業），

新村 浩一（三機工業），土屋 茂樹（三機工業）

Preparation of Papers for SHASE Tohoku Conference

Shinsuke Suzuki\*1, Kanta Fukumori\*1, Kouichi Shinmura\*1, Shigeki Tsuchiya\*1

\*1 Sanki Engineering Co Ltd

キーワード：個別空調、快適性、空調機器

### はじめに

一般的な事務所ビルでは、変風量単一ダクト方式（VAV方式）が広く採用されている。概ね50m<sup>2</sup>程度の制御区画を、VAV（可変風量装置）によって温度制御している。

しかし、最近のワークプレイスの形態や形状の変化に伴い、VAV制御区画よりも小さなスケールでの負荷の偏在が生じる状況に変わってきた<sup>1)</sup>。

図-1に示すとおり、VAV方式では制御区画よりも小さなスケールで内部発熱が発生したり、VAV制御区画の間に内部発熱が発生した場合、吹出口毎の風量制御ができず、結果的に在室者のニーズに応えられないことがある。

このような背景から、空調制御区画を吹出口単位（10m<sup>2</sup>程度）まで小さくし、吹出口単位で吹出風量を制御する空調制御方式について検討を行った。本報では、ファンを組み込んだ吹出口の開発と制御方式について検討を行ったので、結果を報告する。

### 1. 個別風量制御システム概要

本システム（個別風量制御システム）は、天井給気チャンバ方式のダクトレス空調システムとファン付吹出口を組み合わせた空調システムである。以前から、同様の空調システムについて研究開発が行われていた<sup>2)</sup>。これら既往の技術と、近年急速に発展している情報通信技術等を上手く組み合わせることで、個人のニーズに合わせた空調が実現できると考えた。

本システムの主な特徴は、在室者のPC端末から自由に吹出風量を操作できることである。在室者に空調の選択権を与えることで、個人の好みに

合わせた運用が可能となる。また、吹出口は容易に移設可能であるため、室内のレイアウト変更にも柔軟に対応できる（図-2）。

天井に小型DCファンを内蔵したファン付吹出口（以下FDU：Fan Diffuser Unit）を設置する。FDUを制御するための制御子機は天井内の吊りボルトに取付け、各FDUに制御子機の配線をコネクタ接続する。

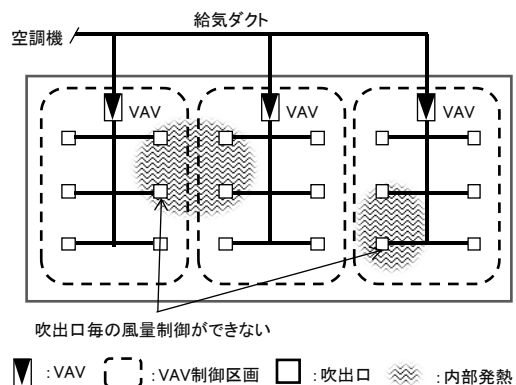


図-1 負荷偏在の例（VAV方式）

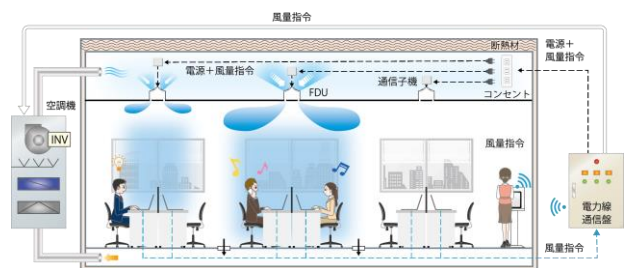


図-2 個別風量制御システム概要

電力線通信を使ってFDU制御盤から電源と制御信号を出力し、FDUの制御を行う。制御子機は

DC ファンが運転できるように、電源と制御信号を変換する機能を持つ。FDU は在室者にて停止/弱/強の3段階で設定できるようにした。また電力線通信を使うことで、電源配線と制御配線を1本にまとめることができ、配線工事量の増加を抑えることができる。

空調機の送風量は FDU の運転状態によって制御する。空調機の給気温度は、還気温度が設定温度になるよう給気温度を制御する。低負荷時など、FDU が全て停止している場合でも空調機の下限風量を設定し、最低限必要な換気量を確保する。このとき天井内の空気は、停止している FDU を経由して室内へ流れる。

## 2. 基本仕様

### 2.1 設計条件

一般事務室であるため、天井はシステムグリッド天井を想定する。オフィスの基本モジュールを3200mm×3200mmとし、1モジュールに FDU を1台設置する設計条件としている。FDU の設計風量は200m<sup>3</sup>/ (h・台) とした。

写真-1 に FDU を示す。システム天井用アネモの吹出口フェイス、GW ボード、小型 DC ファンを組み合わせて製作した。

### 2.2 外形寸法と重量

表-1 に市販のシステム天井用アネモ（以下、市販アネモ）と FDU の外形寸法と重量を示す。FDU は市販アネモと同程度の重量であり、市販アネモの設置方法と同じく、照明器具等に載置可能であるといえる。したがって、FDU 設置のためのスラブアンカー打設や吊りボルトが不要と考えられる。

### 2.3 吹出風量と消費電力

図-3 にファン出力毎の FDU 吹出風量と消費電力を示す。天井内と室内の圧力差を0Paとした状態で測定した結果である。ファン出力50%で設計風量に達し、そのときの消費電力は4.9Wとなった。FDU の下限風量は108m<sup>3</sup>/h（ファン出力25%）であり、そのときの消費電力は3.1Wとなった。ファン出力25%未満になるとファンは起動しない。制御子機の電源回路を検討することにより、停止中の待機電力を0.8Wまで低減させることができた。以上の結果より、FDU の基本風量は強運転200m<sup>3</sup>/h、弱運転108 m<sup>3</sup>/hとする。

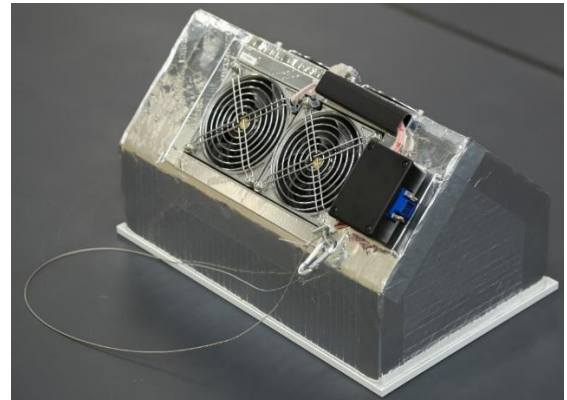


写真-1 FDU

表-1 市販アネモと FDU の寸法重量

	市販アネモA	市販アネモB	FDU
吹出口寸法(mm)	350×210	430×210	350×210
高さ(mm)	150~220	150~220	200
重量(kg)	1.6	2.3	1.9

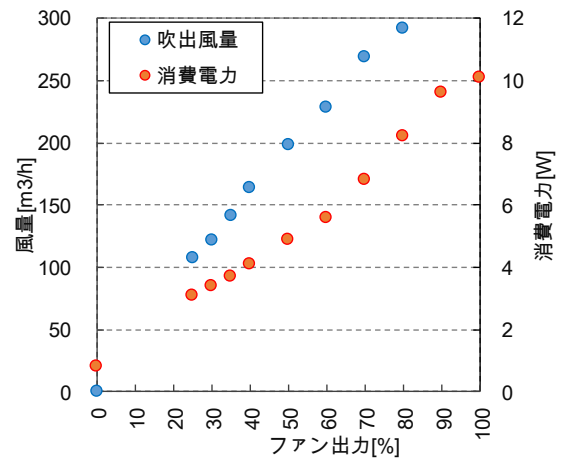


図-3 出力毎の FDU 吹出風量と消費電力

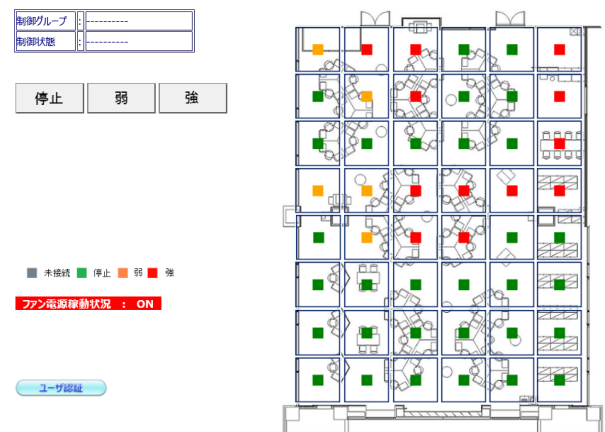


図-4 FDU 操作画面

### 3. FDU 操作画面

本システムは内部発熱の偏在に対応すべく、吹出口単位 (約 10m<sup>2</sup>) の空調ゾーンを形成している。FDU の操作を在室者に委ねることで、人の在不在だけでなく、個人の好みに合わせた運用が可能である。そのためには、空調に詳しくない人でも直感的に FDU を操作できる画面にする必要がある。

図-4 に FDU 操作画面を示す。机のレイアウト図に FDU の制御区画をトレースし、容易に場所の特定ができるようにした。また、操作する手間 (面倒臭さ) を極力抑えるため、FDU の操作完了までマウスで 2 クリックとした。

在室者が「停止」「弱」「強」の何れかのボタンをクリックすると、FDU の色が瞬時に変わる。画面上で FDU の起動/停止を認識できるため、在室者に「空調を操作した」という心理的な達成感の提供も図れる (写真-2)。



写真-2 FDU 操作イメージ

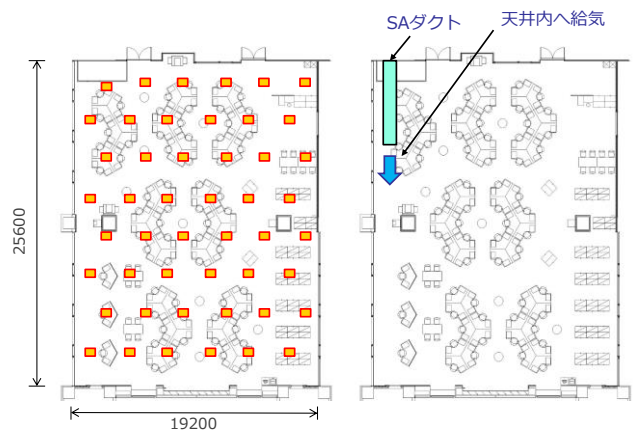
### 4. 実証試験

本システムを三機テクノセンター (神奈川県大和市) 内にある、R&D センター執務室に試験導入し、夏期の測定を実施した。本報では、測定結果の一部を報告する。図-5 に FDU の配置と天井内給気ダクトの位置を示す。491m<sup>2</sup> の執務室に 48 台の FDU を天井に設置した。在籍者数は 51 名である (2018 年 12 月現在)。図-6 に評価対象エリアと騒音測定点を示す。各エリアに温湿度計を 3 台ずつ設置し、3 台の平均温度をエリア平均温度とした。

#### 4.1 FDU 運転による効果

図-7 にエリア別の FDU 出力変化と温度の変化を示す。A エリアは 15 時から FDU 出力を上げている。それに伴い、A エリアの平均温度が低下していることがわかる。一方、B エリアは FDU 出力の変化が無いため、B エリアの平均温度も殆ど変化していない。17 時になると、B エリアの温度も低下しているが、これは A エリアの FDU が B エリアの温度低下に影響していると考えられる。18 時になり、A エリアの FDU が停止すると、平均温度も上昇していることから、FDU の運転/停止による温度調節が可能であるといえる。

A、B エリアの内部発熱の状況が異なるため、FDU 出力変化量と温度変化の相関をまとめた(図



FDU 配置 天井内ダクト  
図-5 FDU 配置と天井内ダクト平面図

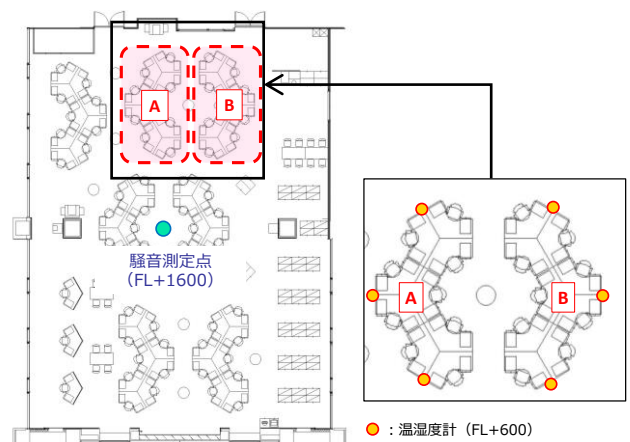


図-6 評価対象エリア

-8)。1時間前のFDU出力と1時間後のFDU出力の差をFDU出力変化量と定義し、当該時刻の1時間前後のエリア平均温度の差を温度変化と定義した。FDU出力変化量が増えると、温度変化はマイナスに寄る。つまり、FDU出力増加によって、1時間前と比べて温度を低下させたことを示す。逆に、FDU出力を減らすと温度は上昇していく。A、Bエリアともに同様の傾向を示しており、FDU操作によって室内温度を調節することが可能といえる。温度調節幅としては±0.4℃程度であった。

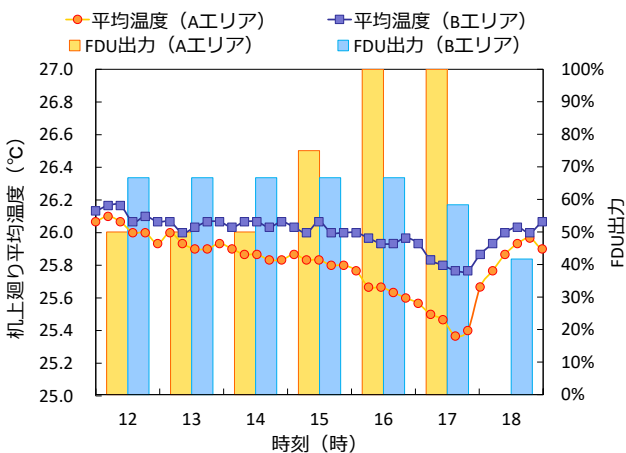


図-7 エリア別のFDU出力と温度の変化 (8/3)

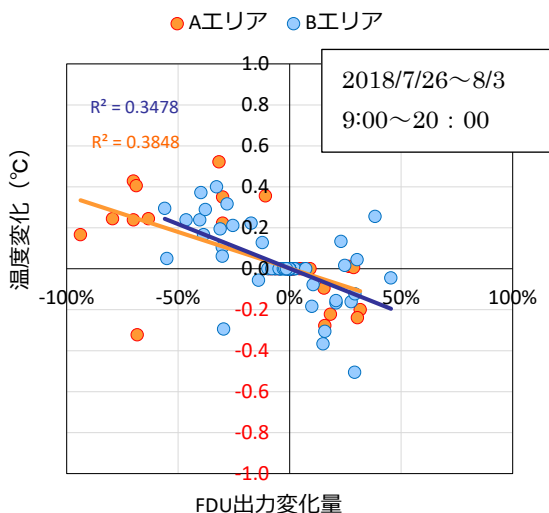


図-8 FDU出力変化量と温度変化の相関

#### 4. FDU 運転音の評価

事務室では、ある程度静穏性を求められる。FDUは小型ファンを内蔵しており、居住者に近い

位置に騒音発生源が位置している。FDUを48台全て強運転(吹出200m³/h)とした条件で、騒音測定を実施した。測定位置は室の中央である(図-6)。図-9に騒音測定結果を示す。測定の結果、NC34となった。一般事務室の許容騒音値をNC40とすると、問題ない数値である。

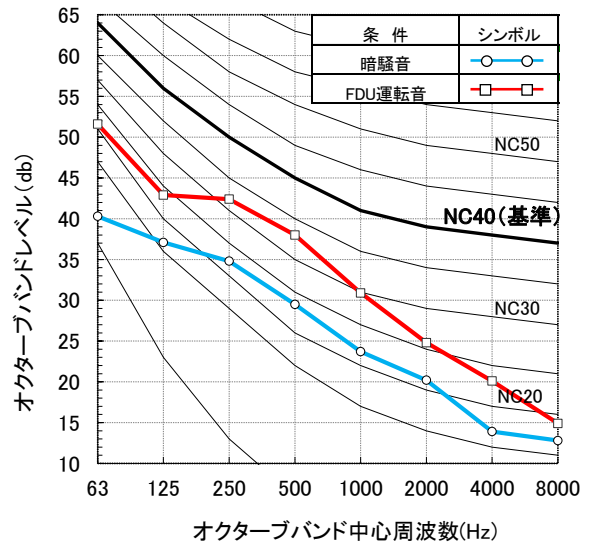


図-9 騒音測定結果 (NC 曲線)

#### 5. まとめ

本報では、吹出口単位で個別に風量制御可能な空調システムの開発を行い、電力線通信を用いたFDUの個別操作、吹出風量を確認した。当社研究室内に導入し、夏期においてFDUの出力操作による温度調整能力があることを確認した。また、FDUを全台数運転した状態でも、一般事務室の許容騒音値(NC40)を下回っていることを確認した。

引き続き冬期の試験を行い、システムの検証と改善を進めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 柳井崇、永田明寛：内部負荷の偏在化を考慮した空調設備の性能評価と設計手法に関する研究(第1報)内部発熱の偏在化推定と室内熱環境・エネルギー消費への影響の検討、空気調和・衛生工学会論文集、2015
- 2) 例えば、下鳥ら：VAVダクトレス空調システムの実証実験およびシミュレーション、空気調和・衛生工学会 学術講演会論文集、1982

# A-16

## 金属加工プロセスで発生するナノサイズオイルミストの特性

○福森幹太(三機工業株), 岩崎守頭(三機工業株), 東秀憲(金沢大学), 瀬戸章文(金沢大学)

Characterization of nanometer-sized oil mist generated in metal machining process

Kanta Fukumori, Moriaki Iwasaki (Sanki Engineering CO., LTD.)

Takafumi Seto, Hidenori Higashi (Kanazawa University)

キーワード：オイルミスト 工場環境 集塵機

### はじめに

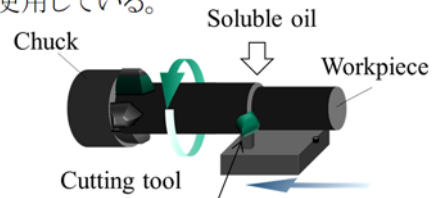
金属加工の工作機械からは切削治具と被切削物との摩擦熱によって切削油やクーラントが加熱・蒸発し、空气中で凝縮することでオイルミストが発生する。オイルミスト(鉱物油ミスト)は、日本産業衛生学会が許容濃度  $3\text{mg}/\text{m}^3$  を勧告<sup>1)</sup>し、人体への悪影響として、皮膚の炎症、喘息、気管支過敏症、咽頭癌等が報告されている<sup>2)</sup>。実際の環境改善を求められる現場では  $1.0\text{mg}/\text{m}^3$  以下の環境がほとんどであるものの、視界が悪く、ゴーグルやマスクによる防護が必要となる場合がある。一般にオイルミストの粒子径は  $10\text{nm} \sim 10,000\text{nm}$  の範囲で広く分布し、熱を伴って発生した油煙は核生成により  $100\text{nm}$  以下のナノ粒子を含む<sup>3)</sup>。ナノ粒子は個数基準での発生量が圧倒的に多く、比表面積が大きく大気中に浮遊しやすいため、視界の低下<sup>4)</sup>や作業従事者の肺深部へ沈着が示唆されている。このためオイルミストを除去する集塵機(ミストコレクタ)の設置や、加工装置の排気を屋外に放出する対策が取られる。実際の作業環境におけるオイルミスト用の計測器は質量濃度(粒子径  $0.3\mu\text{m}$  以上、 $1\text{m}^3$  あたりの重量(mg))による評価が一般的であるが、 $100\text{nm}$  以下のナノ粒子を含めた個数濃度(粒子径ごとの数量)で評価した事例や報告はない。

オイルミスト対策の集塵機やフィルターは、比較的大きな粒子を対象としたものであり、ナノ粒子の除去を目的に適切な対策方法を検討するためには、その特性を把握する必要がある。そこで本研究では、金属加工の代表的な3種類の加工方法から発生するナノ粒子を含むオイルミストの個数濃度の測定と特性の把握を行った。またオイルミストの除去性能について電気集塵器(静電式)を用いた検証結果を紹介する。

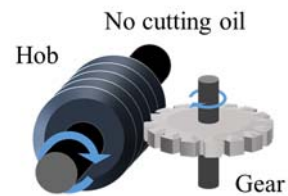
### 1. 実験方法

オイルミストの測定は、実稼働中の工場において

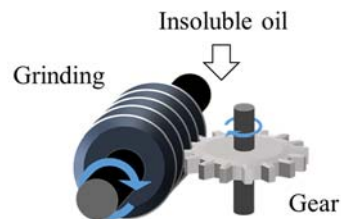
3種類(旋盤加工、ギヤ歯切加工、ギヤ歯研加工)の加工装置を対象とした。旋盤加工(図-1(A))は、被切削物を回転させ、刃物(バイト)を当てて切削を行う。主軸の回転数や回転方向、バイトの移動速度を変更できる。本工場では、切削油は水溶性油を使用している。ギヤ歯切加工(図-1(B))は、ホブと呼ばれる刃物と被切削物をそれぞれ回転させ被切削物にギヤの溝を切り歯を立てる。本工場のギヤ歯切加工は、切削油を使用しないドライ加工である。ギヤ歯研加工(図-1(C))はらせん状の砥石を回転させることにより、ギヤ歯切加工で形成されたギヤの歯の表面を研磨し、滑らかに仕上げる工程である。本工場では、不水溶性油を使用している。



(A)旋盤加工



(B)ギヤ歯切加工



(C)ギヤ歯研加工

図-1 3種類の金属加工プロセス

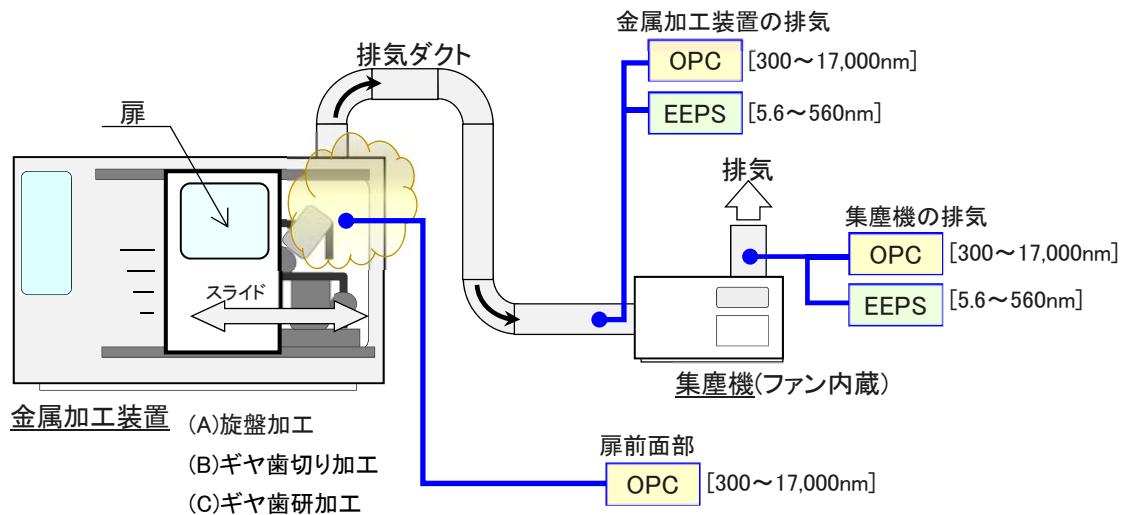


図-2 測定概要

図-2 に測定概要を示す。加工装置には、装置内のオイルミストを排出するための排気ダクトが取り付けられており、その後段には集塵機(ミストコレクタ)が設置されている。加工装置の前面には、ワーク(加工物)を作業者が出し入れするための自動開閉扉がある。測定は加工装置から発生するオイルミストを捕集するため、排気ダクトの集塵機入口に近い直管部とし、Optical Particle Counter (OPC,レーザーパーティクルカウンター,Palas 社製 welas2000digital)と Engine Exhaust Particle Sizer Spectrometer (EEPS,電気移動度分析装置,TSI 社製 model3090)を用いた。また加工装置の扉が解放する際に前面部の作業側側に漏れ出てくるオイルミストを捕集するため、OPC のみの測定とし 5 分間連続で排気側と同じタイミングで計測を行った。

## 2. 結果と考察

### 2-1. 加工方法の違いによるナノ粒子の発生特性

図-3 (A)~(C)に旋盤加工、ギヤ歯切加工、ギヤ歯研加工の各プロセスに対する排気ダクト内と金属加工装置の扉前面部における個数濃度の時間変化を示す。それぞれ図において、グラフ①は排気ダクト内で OPC を用いた粒子径 300~17,000nm の測定結果、グラフ②は同じく排気ダクト内で EEPS を用いた粒子径

5.6~560nm のナノ粒子 測定結果、タイムチャート③は加工装置で行われた動作状態、グラフ④は排気ダクト内の総個数濃度(a)、ナノ粒子個数濃度 (b)、粒子径 5.6~100nm)、微小粒子個数濃度 (c)、粒子径 100~17,000nm)と前面側の個数濃度 ((d)、粒子径 300~17,000nm)を表している。

加工中もしくは加工終了後、加工装置内部のオイルミストが排出された際に個数濃度の上昇が確認され、100nm 以下のナノ粒子の発生が顕著に見られた。濃度のピークは粒子径 60nm 付近で約 100,000 個/cm<sup>3</sup>である。ギヤ歯切加工は切削油を使用しないドライ加工であるが、加工時にオイルミストが確認された。これは、前工程で付着した切削油や加工前に防錆の目的で塗布されていた油脂に由来するオイルミストと考えられる。他の 2 種類の加工方法と比較し、加工開始時に 10~20nm のナノ粒子が大量に発生している。これは、ドライ加工では切削油を使用しないため、ワークと切削治具の接点加熱され、ワークに付着していた油が蒸発したと思われる。ギヤ歯研加工では他の 2 種類の加工と比較し、OPC で測定した粒子径 300~17,000nm の微小粒子が多い。

扉前面部における扉開放時の個数濃度は、旋盤加工では増加が見られず、ギヤ歯切加工とギヤ歯研加工では約 10,000 個/cm<sup>3</sup>まで上昇している。



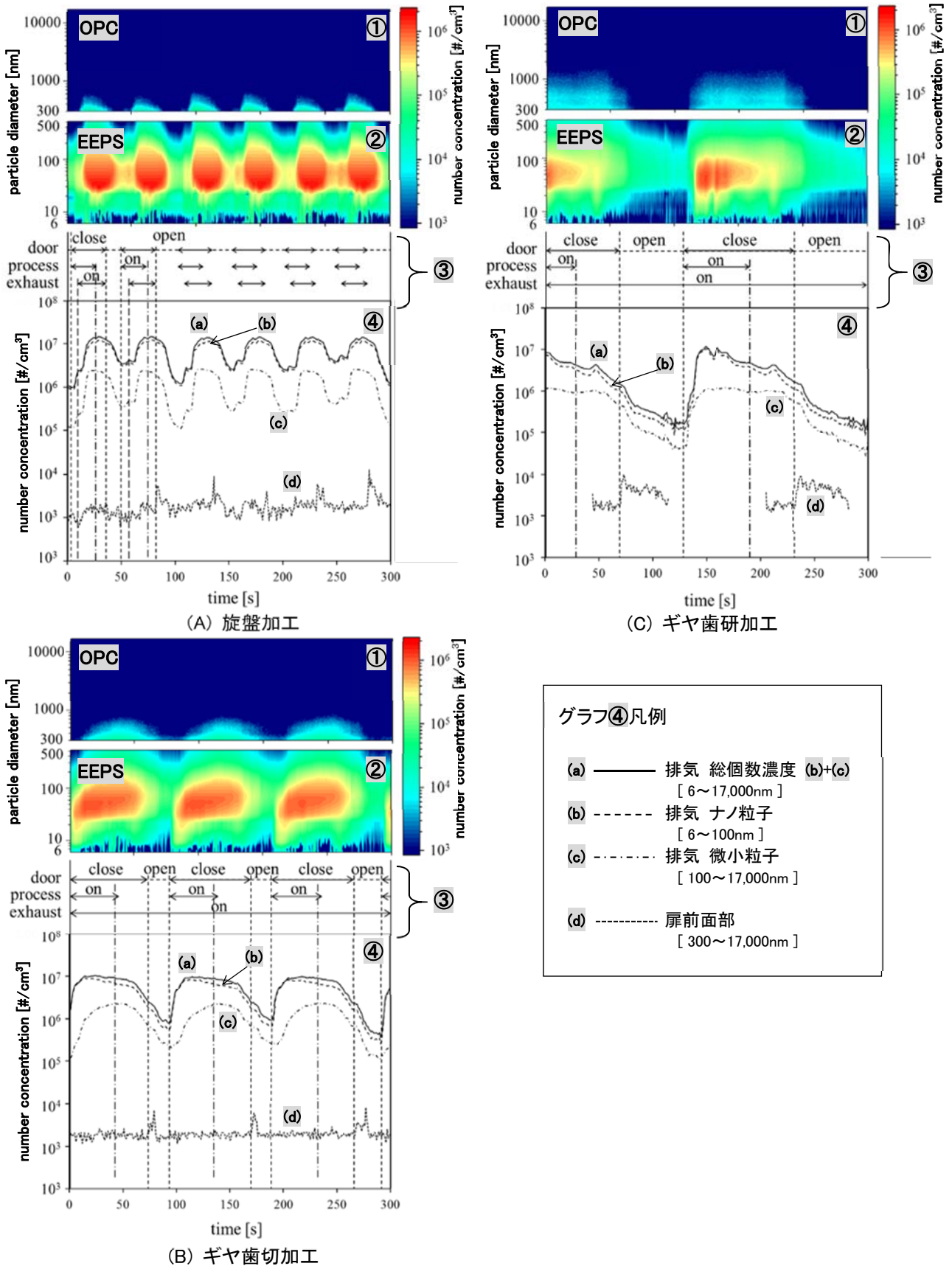


図-3 個数濃度の経時変化

## 2-2. 電気集塵器によるナノ粒子の捕集効率

金属加工装置に設置される集塵機はオイルミストを捕集の仕組みが異なる数種類の方式がある。代表的な方式として慣性衝突式(円盤状の金網等に衝突させる方法)、遠心分離式(サイクロン)、静電式(電気集塵機)、フィルター式がある。慣性衝突式と遠心分離式は保守・メンテナンスが容易なことから加工装置の標準部品として組み込まれるケースが多い。しかし実際の工場では集塵機の排気から白煙が吹き出している状況を目にする機会がある。これは微小粒子、ナノ粒子が集塵機で捕集しきれず排気されているか、集塵機の内部で捕集したオイルミストが再飛散しているものと考えられる。微小粒子の捕集ができる静電式(電気集塵機)に着目し、ナノ粒子を含めた捕集効率の検証をおこなった。

図-2 の集塵機を静電式(電気集塵機)とし、集塵機の入口(金属加工装置の排気)と出口(集塵機の排気)で個数濃度を測定して粒子径毎の除去率を評価した。金属加工装置は図-1(C)ギヤ歯研加工である。捕集効率の結果を図-4 に示す。OPS(粒子径 300~5,000nm)ではすべての粒子径において捕集効率 90%以上となり、EEPS(粒子径 5.6~560nm)ではナノ粒子のうち粒子径 30nm 以上に対しても捕集効率 90%となった。10nm においても約 40%の捕集効率を維持した。

## 3. 結論

金属加工の代表的な 3 種類の加工装置の排気と加工装置前面でオイルミストの個数濃度を評価し、ナノ粒子は微小粒子(100nm 以上)の 10 倍以上が発生していること確認した。加工方法によってオイルミストの粒子径分布が異なり、加工時に切削油を使用しないドライ加工でも前工程等で付着した油に由来するオイルミストが確認された。ギヤ歯切加工とギヤ歯研加工では、扉の開放時に前面からオイルミストが漏洩したため、排気風量の増加や、扉の開放のタイミングを遅らせる等の対策が必要である。また加工装置の排気処理に静電式集塵機(電気集塵機)を用いることで、ナノ粒子の除去が可能であることを示した。

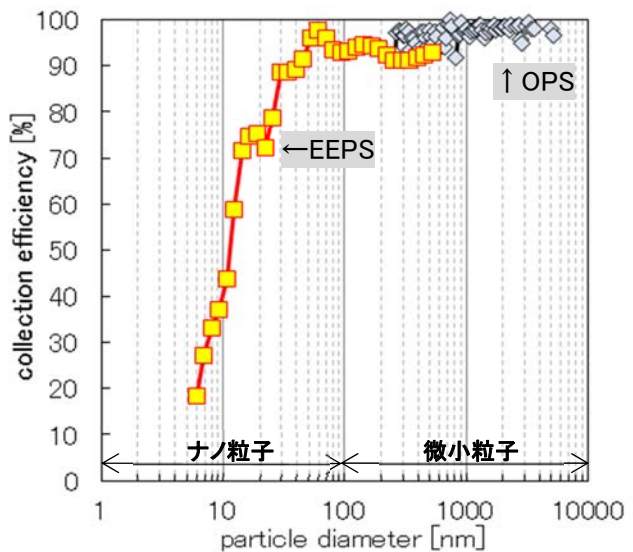


図-4 静電式(電気集塵機)の捕集効率

## おわりに

全国的に金属加工工場ではオイルミストの問題を抱えており、対策の要望が多い。本研究で紹介した静電式集塵機は、オイルミストの捕集効率が非常に良い反面、メンテナンスが頻繁になり管理者から敬遠されることがある。今後は集塵機の設置に伴う配管ダクト等の設備施工を工夫してメンテナンス回数の低減等を検証し、工場内の汚れや視界不良で苦慮している設備管理者、金属加工の従事者へ向けた環境改善や対策を提案していきたい。

## 参考文献

- 1) 日本産業衛生学会(2017) 許容濃度等の勧告
- 2) Mackerer CR.,(1985) *Health effects of oil mists a brief review*, *Toxicol Ind Health*, 5, 429-440
- 3) Greg M. Piacitelli , W. Karl Sieber , Dennis M. O'Brien , Robert T. Hughes , Robert A. Glaser, James D.Catalano,(2001) *Metalworking Fluid Exposures in Small Machine Shops: An Overview*, *American Industrial Hygiene Association*, 62(3), 356-370
- 4) William C . Hinds, 早川一也(訳), (1985) *エアロゾルテクノロジー*, 303-333

# A-17

## アンズリウムのポリエステル媒地栽培における炭酸ガスの局所施肥が

### その生育に及ぼす影響 — 福島県伊達郡川俣町の場合 —

○清水 一功 (新日本空調株), 高塚威 (新日本空調株),

田中尚道 (近畿大学), 青山恭久 (アースコンシャス株)

Effects of local fertilization with carbon dioxide on growth in *Anthurium andraeanum* L. with polyester medium — In Kawamata-machi Date-gun Fukushima —

Ikko Shimizu (Shin Nippon Air Technologies Co.), Takeshi Takatsuka (Shin Nippon Air Technologies Co.), Naomichi Tanaka (Kindai University), Yasuhisa Aoyama (Earth Conscious Co.)

キーワード：促成栽培，炭酸ガス，局所施肥，光合成，アンズリウム

#### はじめに

植物栽培の生育環境(温湿度、飽差、水分、光環境、CO<sub>2</sub>濃度、肥料等)を制御することによって、単位面積当たりの収量(生産性)を大幅に向上させることができる。特に二酸化炭素(以下、CO<sub>2</sub>)は光合成に必要であり、CO<sub>2</sub>を施肥することは植物の生長を促進させ、生産性向上に寄与する有効な手段である。既往の研究では、ナスやキュウリなどの植物に対してCO<sub>2</sub>を施肥すると、増収効果があることが報告されている<sup>1)2)</sup>。施設園芸の場合の一般的なCO<sub>2</sub>施肥制御方法は、CO<sub>2</sub>発生装置などを用いた施設内全体へのCO<sub>2</sub>施肥である。この方法では生育エリア(植物近傍)以外の空間もCO<sub>2</sub>施肥の対象となっており、CO<sub>2</sub>施肥量に大幅な無駄が生じる。

著者らはCO<sub>2</sub>を効率的に植物に吸収させるため、温度と湿度を管理しながら植物近傍(局所)のみにCO<sub>2</sub>を与えるCO<sub>2</sub>局所施肥制御技術をアースコンシャス株式会社と共同で開発した。その技術を福島県伊達郡川俣町(以下、川俣町)でのアンズリウム栽培に対し、近畿大学と協力して導入・検証した。

本稿では、CO<sub>2</sub>局所施肥制御技術を実際のアンズリウム栽培の現場(ビニールハウス)に適用し、その生長促進効果を確認したので報告する。

#### 1. 試験概要

##### 1.1 栽培ハウス内のアンズリウム栽培方法

本試験で使用した栽培ハウスの概要を図-1、ア

ンズリウムの栽培棚の概要を図-2、栽培棚(下段)の状況を図-3に示す。栽培ハウスは近畿大学が川俣町に新設したもので、鉄骨のビニールハウス(約200m<sup>2</sup>)である。その中の一部(約50m<sup>2</sup>)にアンズリウムの栽培棚を9台設置した。図-1に示すように、栽培棚9台のうち6台(A,B,C,G,H,I棚)はCO<sub>2</sub>無施肥区、残りの3台(D,E,F棚)はCO<sub>2</sub>施肥区とした。CO<sub>2</sub>施肥時に、CO<sub>2</sub>がCO<sub>2</sub>無施肥区へ影響しないようにするため栽培棚(D,E,F棚)の周りを仕切りカーテン(ブルーシート)で囲った。図-2に示すように、アンズリウムの栽培棚は幅700mm×奥行き1,800mm×高さ1,600mmの合掌造りのベンチを一部改変した構造で、土壌を入れるポケット4列(上下段各2列)で構成されている。今回の試験では、土壌の代わりにポリエステル培地(アースコンシャス)を使用した。図-3に示すように、栽培株数は1つの棚に16株(8株/列×下段2列)とし、苗の配置は隣接する苗との干渉を避けるため苗間は20cmとした。

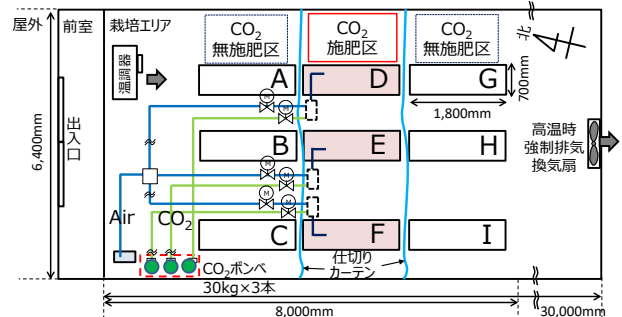


図-1 栽培ハウスの概要

栽培環境条件を表-1に示す。栽培ハウス内の温度は、室内の温調器または、換気扇による24時間空調制御とした。栽培ハウス内はアンズリウムの生育適温<sup>3)</sup>を考慮し、夏場は高温時(27℃)に換気扇が作動し強制排気を、冬場は低温時(12℃)を下回らないよう温調器による加温を行った。湿度は制御せず、成り行きとした。測定期間中の平均温度は21℃、湿度は68%であった。また、遮光カーテンを利用し、照度を上限20,000lx程度になるよう制御した。肥料には緩効性肥料のロング360を採用し、1年間に1株あたり40gの速度で与えた。水は点滴灌水にて1週間に1株あたり1Lを目安(3回/日×3日/週)に与えた。

### 1.2 CO<sub>2</sub>局所施肥制御

植物は主に葉の裏側に多くある気孔からCO<sub>2</sub>を吸収する。CO<sub>2</sub>局所施肥制御は、CO<sub>2</sub>を効率的に植物に吸収させるために、植物の葉裏に到達するようにCO<sub>2</sub>を施肥し、植物近傍(局所)のみCO<sub>2</sub>濃度を上げる方法である。

CO<sub>2</sub>施肥ノズルの周辺状況(写真-1)に示すように、CO<sub>2</sub>施肥には、ポリウレタンチューブとノズル(園芸緑化用ミストノズル)を採用し、灌水チューブと並行に設置した。図-3に示すように、CO<sub>2</sub>施肥ノズル位置は、施肥量を均等にするため苗の配置と施肥影響を半径250mmの同心円と想定し決定した。各列の中央に1個と中央から左右500mm離れた位置に1個ずつの合計3個を土壌面上350mmの高さに設置した。CO<sub>2</sub>施肥区の栽培棚(D,E,F棚)それぞれに6個(3個/列×下段2列)とした。CO<sub>2</sub>局所施肥制御用のCO<sub>2</sub>濃度センサ(非分散型赤外線吸収式)は、各列中央のノズル直上に設置した。CO<sub>2</sub>はガスボンベから供給し、エアコンプレッサからのAirと混ぜ、希釈したCO<sub>2</sub>ガスをノズルから上向きに吹き出すようにした。ノズル1個からの吹出風量は約16mL/sで、吹出CO<sub>2</sub>濃度を約8,000ppm(CO<sub>2</sub>,0.1L/min+Air,12L/min)とした。Air中のCO<sub>2</sub>濃度を400ppm、植物近傍の目標CO<sub>2</sub>濃度を1,000ppmとすると、施肥するCO<sub>2</sub>濃度は600ppm(=1,000ppm-400ppm)となり、CO<sub>2</sub>濃度比は13.3(=8,000ppm/600ppm)となる。これらより、ノズルから吹き出す空気の体積は213mL/s(=16mL/s×13.3)となる。このような条件下で、アンズリウムにCO<sub>2</sub>を施肥した。

育苗期間はCO<sub>2</sub>施肥を実施せず、定植後CO<sub>2</sub>施肥を実施した。CO<sub>2</sub>施肥時間は1日12時間(5

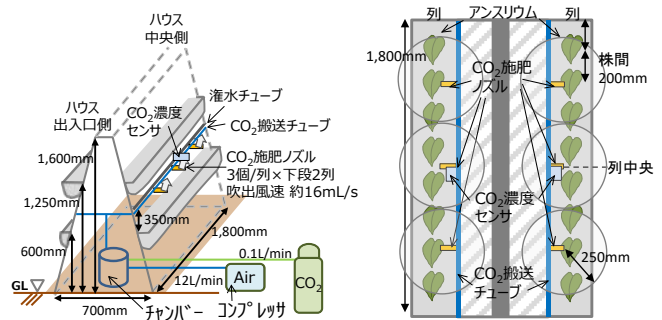


図-2 栽培棚の概要 図-3 栽培棚(下段)の状況

表-1 栽培環境条件

項目	栽培ハウス内環境条件
温度	21℃(栽培期間中の平均)
湿度	68%(栽培期間中の平均)
CO <sub>2</sub> 濃度	1,000ppm(CO <sub>2</sub> 施肥時平均値)
CO <sub>2</sub> 施肥時間	12時間/日(5:00~17:00)

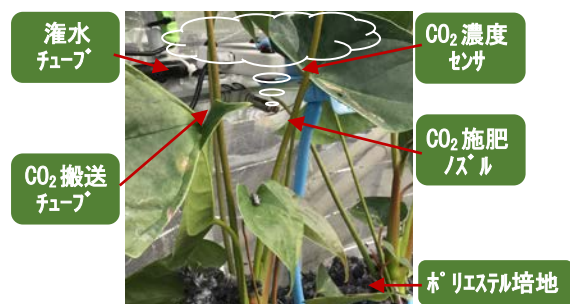


写真-1 CO<sub>2</sub>施肥ノズルの周辺状況

時~17時)とし、植物近傍のCO<sub>2</sub>濃度を平均1,000ppm程度になるよう制御した。

### 1.3 評価する苗の抽出方法及び計測方法

評価する苗は、定植時に各栽培棚8株(4株/列×下段2列)を選択し、定植後から定期的に計測した(測定期間:2018年2月~10月の8か月間)。花は定期的に収穫したが、各苗の最も大きな葉は残し、8か月間栽培した。草高は植物を直立させたときの最も高い位置から地表までの高さを、葉幅は葉の中で最も大きい葉を選び、その幅が最も広い位置の長さを定規で計測した。計測数は、CO<sub>2</sub>無施肥区では48株(8株/棚×6棚(A,B,C,G,H,I棚))、CO<sub>2</sub>施肥区では24株(8株/棚×3棚(D,E,F棚))とし、それぞれの平均値を算出した。

## 2. アンズリウムの栽培結果と考察

### 2.1 CO<sub>2</sub>局所施肥制御の効果(草高・葉長・葉幅)

アンズリウムの生育に与えるCO<sub>2</sub>局所施肥制御の効果について図-4~図-6に示す。縦軸はそれぞれの測定値を、横軸はCO<sub>2</sub>無施肥区とCO<sub>2</sub>施肥区の栽培開始時と栽培8か月後の結果を表す。

栽培開始時の草高(図-5)は、CO<sub>2</sub>無施肥区では323mm、CO<sub>2</sub>施肥区では325mmであった。一方、栽培8か月後の草高は、CO<sub>2</sub>無施肥区では444mm、CO<sub>2</sub>施肥区では523mmとなった。崎山ら<sup>4)</sup>の手法を参考に、各条件の伸長率を算出した。栽培開始時の草高を100%とした場合、栽培8か月後のCO<sub>2</sub>無施肥区では137%、CO<sub>2</sub>施肥区では161%とCO<sub>2</sub>施肥区の方が高かった。また、栽培8か月後の草高を比較するとCO<sub>2</sub>施肥区では、CO<sub>2</sub>無施肥区に対し、約18%生長が促進された。

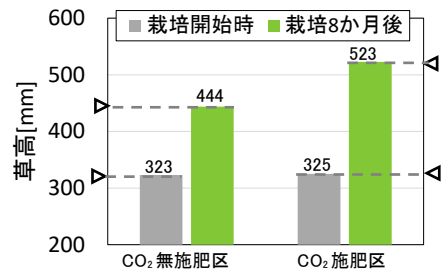


図-4 草高の平均値(アンスリウム)

同様に、栽培開始時の葉長(図-5)は、栽培開始時の葉長を100%とした場合、栽培8か月後のCO<sub>2</sub>無施肥区では135%、CO<sub>2</sub>施肥区では150%とCO<sub>2</sub>施肥区の方が高かった。また、栽培8か月後の葉長を比較するとCO<sub>2</sub>施肥区では、CO<sub>2</sub>無施肥区に対し、約9%大きくなった。

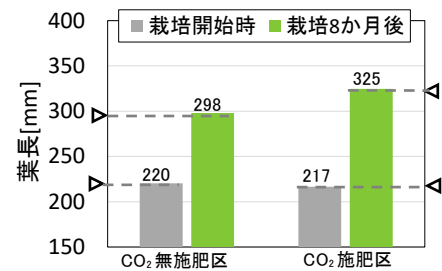


図-5 葉長の平均値(アンスリウム)

さらに、栽培開始時の葉幅(図-6)は、栽培開始時の葉幅を100%とした場合、栽培8か月後のCO<sub>2</sub>無施肥区では131%、CO<sub>2</sub>施肥区では143%とCO<sub>2</sub>施肥区の方が高かった。また、栽培8か月後の葉幅を比較するとCO<sub>2</sub>施肥区では、CO<sub>2</sub>無施肥区に対し、約7%大きくなった。

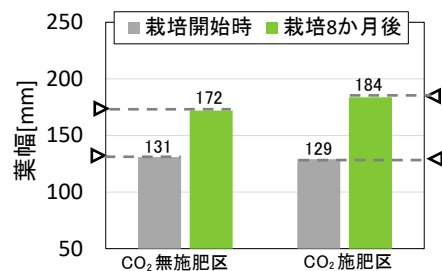


図-6 葉幅の平均値(アンスリウム)

植物の光合成において、葉はCO<sub>2</sub>を吸収し、太陽光エネルギーを利用して光合成産物(糖)を生成する。その生成された糖は転流により新しい葉や根等に送られ、これら組織の生長の基となる。本試験では、草高、葉長、葉幅いずれもCO<sub>2</sub>無施肥区よりCO<sub>2</sub>施肥区の苗が生長し、CO<sub>2</sub>局所施肥制御による生長促進効果を確認した。

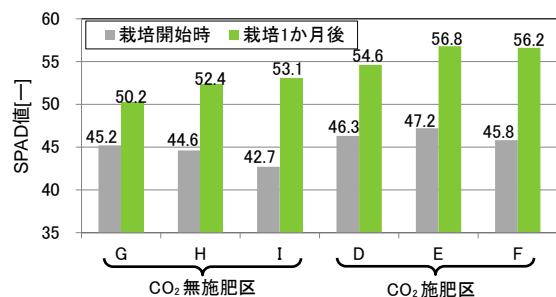


図-7 SPAD 値の平均値(アンスリウム)

## 2.2 CO<sub>2</sub>局所施肥制御の効果 (SPAD 値)

SPAD とは農林水産省農蚕園芸局の土壤作物体分析機器開発事業 (Soil and Plant Analyzer Development, 略称 SPAD) においてミノルタ(株)が開発した計測機器(葉緑素計)である。この葉緑素計の指示値 (SPAD 値) は、植物の葉に含まれる葉緑素(クロロフィル)量と相関があり、非破壊的に計測できる<sup>5)</sup>。アンスリウムの生長促進状況を把握するために、葉緑素計(コニカミノルタジャパン, 502plus)を用い、SPAD 値を計測した。計測は栽培開始時と栽培1か月後の2日で、計測数はCO<sub>2</sub>無施肥区(G, H, I 棚)、CO<sub>2</sub>施肥区(D, E, F 棚)ともに、各棚6株ずつ(3株/列×下段2列)とし、6株の平均値を算出した。その結果を図-7に示す。縦軸はSPAD 値を、横軸はCO<sub>2</sub>無施肥区とCO<sub>2</sub>施肥区の栽培開始時と栽培1か月後の結果を表す。

図-7 (SPAD 値) に示すように、栽培1か月後のSPAD 値は、2.1章の試験と同様に栽培開始時を100%とした場合、栽培1か月後においてCO<sub>2</sub>無施肥区ではI棚が一番高く約124%、次いでH棚で約118%、G棚で約111%となった。CO<sub>2</sub>施肥区ではF棚が一番高く約124%、次いでE棚で約120%、D棚で約118%となった。

既往の研究<sup>6)</sup>によれば、福岡県農業総合試験場におけるキク栽培において、CO<sub>2</sub>施肥区のSPAD 値がCO<sub>2</sub>無施肥区より大きくなった。また、キク

の葉の光合成速度と葉緑素含量の指標となる SPAD 値との間には、高い正の相関があり、CO<sub>2</sub>濃度が上昇するほど光合成速度が増加する。

アンズリウムにおいて、栽培 1 か月後の SPAD 値を比較すると、CO<sub>2</sub> 施肥区では CO<sub>2</sub> 無施肥区に対し、約 8%大きくなった。SPAD 値と葉緑素(クロロフィル)量には相関があることから CO<sub>2</sub> 施肥が葉緑素の増加を促し、光合成が活性化され、アンズリウムの生長が促進されることが示唆された。また、アンズリウムの生長が促進されることで、開花時期が早まり、年間の開花数が増加すると考えられる。

### 2.3 栽培ハウス内の空間分布に関する考察

栽培ハウス内における CO<sub>2</sub> 濃度の空間分布について調査した。代表日(2018年7月31日23時～8月1日23時)における栽培ハウス内の CO<sub>2</sub> 濃度推移を図-8、2018年8月1日の CO<sub>2</sub> 施肥時間中(5時～17時)の栽培ハウス内、屋外の平均 CO<sub>2</sub> 濃度分布を図-9 に示す。

図-8、図-9 に示すように、CO<sub>2</sub> 濃度は、CO<sub>2</sub> 施肥区では 1,140～1,171ppm、CO<sub>2</sub> 無施肥区では 442～454ppm となった。屋外では 426ppm であり、CO<sub>2</sub> 無施肥区では外気の CO<sub>2</sub> 濃度と同等であった。CO<sub>2</sub> 無施肥区より CO<sub>2</sub> 施肥区の方が高く、植物近傍にのみ CO<sub>2</sub> が施肥されていることが確認された。一般的な施設全体に CO<sub>2</sub> 施肥する方法に比べ、CO<sub>2</sub> 量を適切に減らした状態で施肥し、対象植物の生長を促進させることに成功した。

### 3. まとめ

CO<sub>2</sub> 局所施肥制御技術をアンズリウムに適用した場合の生長促進効果について検証し、以下の内容を確認した。

- 1) 栽培 8 か月後の CO<sub>2</sub> 無施肥区と CO<sub>2</sub> 施肥区のアンズリウムを比較すると、CO<sub>2</sub> 施肥区では、CO<sub>2</sub> 無施肥区を 100%とした場合、草高約 118%、葉長約 109%、葉幅約 107%に促進された。
- 2) 栽培 1 か月後のアンズリウムの SPAD 値の結果から、CO<sub>2</sub> が葉緑素の増加を促し、光合成が活性化され、アンズリウムの生長が促進されることが示唆された。
- 3) 本技術では、一般的な施設全体に CO<sub>2</sub> 施肥する方法に比べ、CO<sub>2</sub> 量を適切に減らした状態で施肥し、対象植物の生長が促進された。

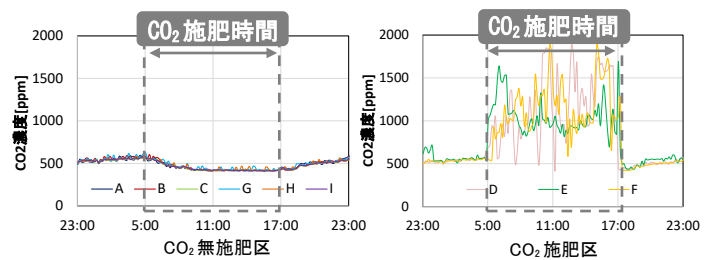


図-8 栽培ハウス内の CO<sub>2</sub> 濃度推移 (2018年7月31日23時～8月1日23時)

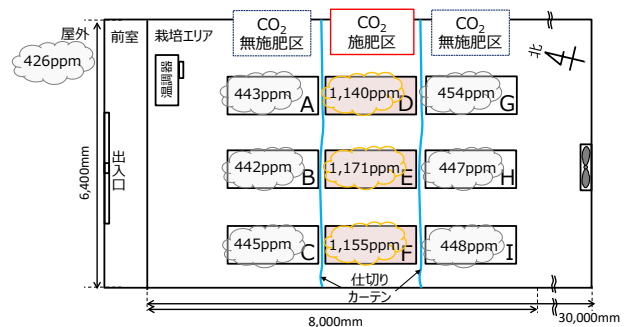


図-9 CO<sub>2</sub> 施肥時間中の栽培ハウス内の平均 CO<sub>2</sub> 濃度分布 (2018年8月1日, 5時～17時)

### 参考文献

- 1) 古賀武ほか:炭酸ガス施用が促成ナスの光合成速度及び収量に及ぼす影響,福岡県農林業総合試験場研究報告,第1号,pp.82-86,2015.
- 2) 第II章,低濃度二酸化炭素施用が促成栽培キュウリの収量に及ぼす影響とその経済性評価,千葉県農林総合研究センター特別報告,第3号,pp.4-8,2012.
- 3) 松田大ほか:アンズリウム切り花の収穫本数予測モデルの構築,園学研,(Hort.Res.(Japan)). 15(4),pp.425-431,2016.
- 4) 崎山一ほか:高温条件下の湿度がキュウリ幼植物の生育、蒸散、養分吸収、乾物生産に及ぼす影響,千葉農総研研報,(Bull.Chiba Agric.Res. Cent.) 1:pp.25-33,2002.
- 5) 陶山健一郎ほか:葉緑素計(SPAD-502)によるシダレザクラとソメイヨシノの葉中クロロフィル濃度の比較, Kyushu J.Jpn.For.Res., No.62, pp.90-93,2009.
- 6) CO<sub>2</sub> 施用によるキクの光合成効率および切り花品質の向上に関する研究,福岡県農業総合試験場特別報告,第13号,pp.31-45,2000.

# A-18

## 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4) γ線空間線量率分布解析のための実用的放射線境界条件モデルの開発

○小林光(東北大), 山守諒(竹中工務店), 中島主策(東北大), 一條佑介(東北文化学園大),  
古田琢哉(日本原子力研究開発機構), 吉田浩子(東北大), 野崎淳夫(東北文化学園大), 吉野博(東北大)

### Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space after Nuclear Power Plant Accident: Part 4-Development of Practical Radiation Boundary Model for γ-Ray Space Dose Rate Simulation

Kobayashi Hikaru(Tohoku University), Yamamori Ryo(Takenaka Corporation),  
Nakajima Shusaku(Tohoku University.), Ichijo Yusuke(Tohoku Bunka Gakuen University.),  
Furuta Takuya(Japan Atomic Energy Agency), Yoshida Hiroko(Tohoku University.),  
Nozaki Atsuo(Tohoku Bunka Gakuen University.), Yoshino Hiroshi (Tohoku University.)

キーワード：原発事故，放射線解析，γ線境界条件モデル，γ線空間線量率分布

#### はじめに

筆者らは建築環境工学の視点で，原発事故被災地における放射性物質の沈着が建築空間に与える影響を明らかにすること，及び建築内部の放射線空間線量率を予測する手法を確立することを目的として研究を進めている。被災地の生活再建に伴う建築計画においては，建設地の状況を反映して，計画中の建築空間内に生じるγ線空間線量率分布を実用的に解析する方法の確立が必要だと考えられる。本報では，筆者らが開発を進める，現地の放射線場の状況を比較的簡単に実用的に解析に反映する方法について報告し，次報にて解析例を報告する。

#### 1. γ線空間線量率の解析

##### 1.1 モンテカルロ法によるγ線解析

発災直後には事故由来の人工放射性核種として，ヨウ素(<sup>131</sup>I)，セシウム(<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Cs)，ストロンチウム(<sup>90</sup>Sr)が環境中に存在したが，発災後8年を経過した現在では半減期が長くβ線γ線を発する<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Csが主要な放射能となっている。放射性Csから放出されるβ線の中にはエネルギーの高いものもあるが，比較的軽く薄い材料で遮蔽される。γ線は光子線で透過力が高い。そのため，解析は外壁を透過して屋内環境に影響するγ線を対象とすることとなる。γ線の解析は可視光同様にモンテカルロ法によって実現されている。本研究では日本原子力研究開発機構(JAEA)による放射

線解析コードであるPHITS<sup>1)</sup>を用いている。古田ら<sup>2)</sup>はPHITSによって，均質に汚染された土地に囲まれた建築物内部のγ線空間線量率分布の解析を行い，原発事故後の屋内における解析例を示している。適切な境界条件さえ与えることができれば，精度の高い解析が期待できる。

##### 1.2 被災地を再現する境界条件の難しさ

建物を対象としたγ線の解析では，周辺敷地から飛来する<sup>134</sup>Cs, <sup>137</sup>Csからのγ線の放出エネルギーは，其々平均で約700 keV及び662 keVであり，空気中の平均自由行程は約110 mと評価されるため，解析対象建物を中心として半径約100mの解析領域を設定することが必要とされる。正確な解析を実施するためには，この領域内に存在する放射能沈着の全てと地形や建物，樹木など地物の全てを設定すれば正確な解析が可能になる。考慮すべき放射線源は，図-1に示すA)周辺敷地に沈着した放射能，B)建物近傍に沈着した放射能，C)建物自体に沈着した放射能(既存建物の場合)に分類できる。半径100mには様々な敷地が内包される。発災直後はほぼ全ての事故由来の放射性核種が地面と地物の表面にあることから，比較的簡単に境界条件を設定できると考えられるのに対し，時間経過と共にウェザリングや除染が進むことで周辺敷地の放射性物質の分布状況は不均質となる。このため，周辺敷地が全て均質な農地等である場合を除き，A)で示す周辺敷地全域の正確な

調査とこれに基づく境界条件の設定は現実的には困難である。実際の被災地では、農地が広がる地域においても建物周辺には農地と共に近隣住戸や屋敷林等が複雑に混在していることが多い。住宅地においては、区画道路が概ね 50~100m 間隔に整備され、半径 100m の解析範囲内の線源を厳密に設定しようとするれば、建物周辺の複数の街区内の汚染状況を全て調査する必要が生じる。

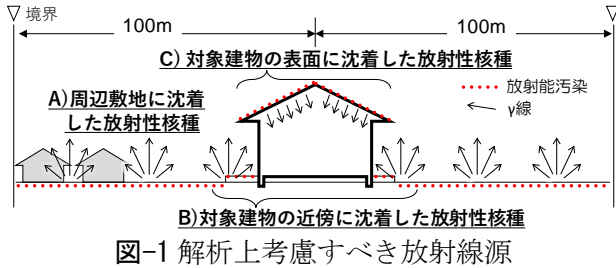


図-1 解析上考慮すべき放射線源

## 2. 実環境における放射線源の設定

筆者らは、図-1 に示す放射線源の内、実質的に調査が困難な A については、実用上有効な精度でモデル化し、且つ現地測定の情報と併用することで、現地の状況を反映した解析を可能とすることとした。以下に、モデル化の概要を示す。放射線源 A の影響を再現するモデルは、線源そのものではなく、図-2 に示す建物周辺に設定した境界を超えて建物側に入射する  $\gamma$  線フルエンス(図-2 D)を再現する事とした。この境界に入射する  $\gamma$  線は敷地周辺の半径 100m 程度の放射能御汚染の影響を反映した  $\gamma$  線であり、これを正しく再現できれば正確な解析が可能になる。境界を仮想境界と称し、仮想境界上の  $\gamma$  線の分布をして仮想線源モデルと称する。放射線源 B,C は別途調査して解析に反映することが出来る。

### 2.1 仮想線源モデル

周辺敷地に沈着した放射能による  $\gamma$  線は、図-2 の境界面を外から内に向けて通過する。即ち、仮想線源モデルは界面を通過する  $\gamma$  線の方角と強度で表現される。建物周辺を 4 方位に分割することを基本として各方位に仮想線源を設定する。図-3 に仮想線源モデルの適用イメージを示す。ここでは主に低層の戸建て住宅を解析対象とすることを意図して、高さ方向に a~k の 11 分割とし、地表面から 10m を細かく上空は粗く分割した(表-1)。高さ方向の分割数及び高さは今後更に調整する必要があると考えている。尚、仮想線源モデルの最上端

高さを 100m とすることで、上空からの放射線に対応しうることを意図した。分割面 a~k それぞれには、これを通過する  $\gamma$  線のエネルギースペクトル帯毎の  $\gamma$  線角度分布を与える。本研究では考慮すべき放射能が全て  $^{137}\text{Cs}$  であるものとしている。 $^{137}\text{Cs}$  が放射する  $\gamma$  線(直射)が 0.622 MeV であることから、エネルギースペクトルについては、0.05~0.75 MeV を 0.1 MeV 毎に 7 等分したエネルギー帯( $e^{-1}\sim e^{-7}$ )毎に与えることとした。各面を通過する  $\gamma$  線の分布は、そのまま  $\gamma$  線の放射角度の分布となる。この値を実測から求めることは困難なため、PHITS を用いて原発事故被災地域で標準的と考えられる土地利用と放射能沈着状態を想定した解析を実施して、各面を通過する  $\gamma$  線を計算して仰角  $\theta$ 、回転角  $\phi$  について 5 度刻みに整理し、各方向の微小立体角当たりの  $\gamma$  線量を得た。

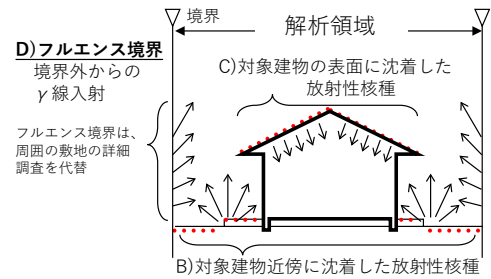


図-2 放射線仮想線源面

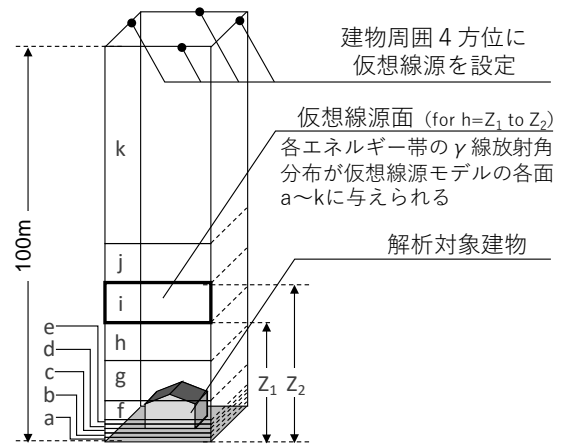


図-3 放射線源モデルの構成

表-1 仮想線源面 a~k の高さ ( $Z_1, Z_2$ ) [m]

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
$Z_1$	0	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50
$Z_2$	1	2	3	4	5	10	20	30	40	50	100



この取り扱いを建築分野で共通の可視光の見知を用いて説明する。 $\gamma$ 線とそのエネルギースペクトルを可視光と波長になぞらえる。方向 $(\theta, \phi)$ の立体角当りの $\gamma$ 線量は可視光であれば方向 $(\theta, \phi)$ の光度に相当する。仮想線源面を、住宅を囲む大光源面と考えれば、仮想線源モデルはこの光源面の配光分布に他ならない。エネルギー帯毎に可視光で言うところの配光分布も異なるため、エネルギー帯を分けて扱うこととした。敷地周辺の土地利用や除染の状況等によっても $\gamma$ 線の“配光分布”が異なるため、典型的と考えられる周辺敷地の状況毎に仮想線源モデルを計算した。照明計算では配光と器具光束量によって各方向の光度を規定するのに対し、放射能汚染の場合にはトータルの放射線量を計測できないため、現地で方向放射線計測器によって計測した空間線量率によってその強さを規定することとした。図-4は仮想線源モデルのプロファイル計算体系を示す。図中の線源領域は周辺敷地に相当する。ここに放射能の沈着状態を設定し、a~kの仮想線源面に入射する $\gamma$ 線方向と強度を求める。また、現地での方向放射線計測値と仮想線源モデルを紐づけるため、仮想線源モデルを計算する際に、方向放射線計測器のモデルを計算に組み込み、計測値とプロファイルの対応関係を求める。本研究では、建物周りの地上1m高さで方向放射線を計測することとしたため、計測器モデルは地上1mに設定した。尚、本研究で用いたコリメータを併用した方向放射線計測器の特性が解析上の計測器モデルと一致することを事前に確認している。

2.2 周辺敷地の状態と線源モデルの算出

$\gamma$ 線源としての建物周辺敷地の状態は、 $^{137}\text{Cs}$ の平面分布及び地中の鉛直分布で規定される。本論では被災地で典型的な土地の状態として、農地に代表される地表に人工被覆の無い透水性の土壌の広がる平地を対象とする。建物周辺のこうした平地の放射能汚染と除染等による線源としての状態を表-2の3つの状態に分類した。これら3つの状態に対応した仮想線源モデル(プロファイル)を計算する。復興期の解析に用いることを意図して地中の線源状態は事故後5~20年の時期を想定している。表-2に示すような線源モデル A:全面線源(除染前)モデル, モデル B: 全面線源(除染後)モデルはそれぞれ、建物前方の線源領域が均質に全て未除染, 均質に除染済みの線源状態を想定しており、境界前方に畑など未舗

装の土地が広がる状態が該当する。未除染モデル A の $^{137}\text{Cs}$ の地中分布は、発災後5~10年の状態を想定し、ICRU<sup>3)</sup>による地中放射能の指数関数分布(式1)を用いて $\beta=10 \text{ g/cm}^2$ とした。除染後のモデル B は、モデル A の状態から表土を5 cm 剥ぎ取った後に覆土がなされた状態とし、0-5 cm の放射能濃度を  $0 \text{ Bq/m}^3$ とした。モデル A,B を組み合わせた遠方線源モデル(モデル C)は建物近傍のみが除染され、遠方が除染されていない線源状態を想定している。

$$A(t) = A_0 \cdot \exp(t/\beta) \tag{式 1}$$

- $A_0$  : 地表面の $^{137}\text{Cs}$ 濃度[Bq/m<sup>3</sup>]
  - $A(t)$  : 地中深さ t[g/cm<sup>2</sup>]の $^{137}\text{Cs}$ 濃度[Bq/m<sup>3</sup>]
  - B :  $^{137}\text{Cs}$ の浸透度合[g/cm<sup>2</sup>]
- (事故後 0-1 年: 1, 1-5 年:3, 5-20 年: 10)

2.3 仮想線源モデルの計算結果及び考察

表-3にモデル A,B,C について、仮想境界面と直交する鉛直断面内の $\gamma$ 線の強度分布を示す。尚、数値は最も地上に近い面Aにおける直射線を含むエネルギー帯(0.65-0.75 MeV)の最大値にて基準化している。表-3は紙面の都合にて、面 a, b, c, d, e, g, i, k の8面について示した。表-3各面のプロファイルに示す黒実線は0.65-0.75 MeVの $\gamma$ 線、 $^{137}\text{Cs}$ からの直射が殆ど拡散せずにエネルギーを維

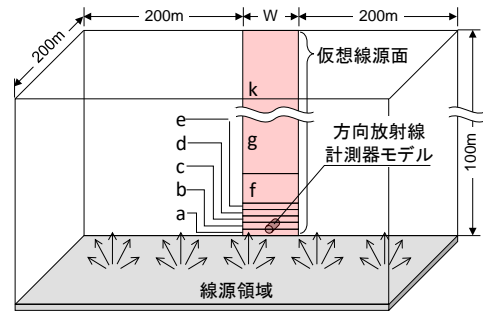
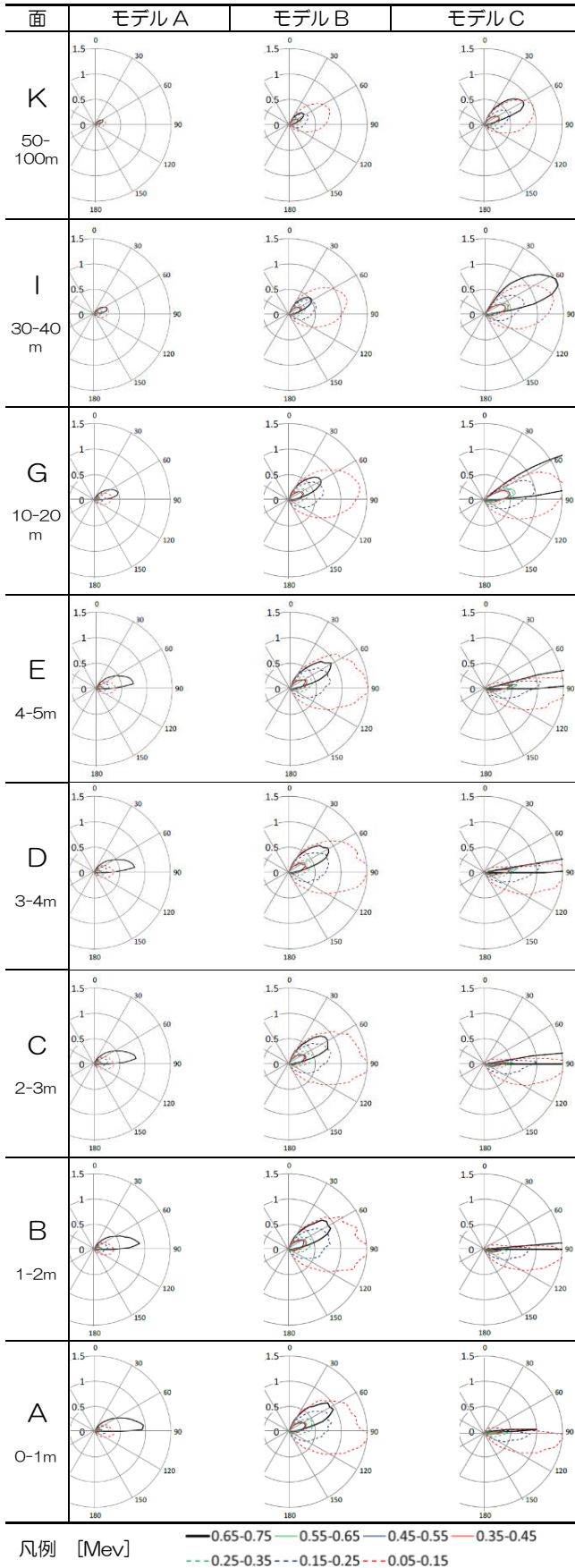


図-4 仮想線源モデルの計算体系

表-2 想定される周辺敷地の状態

	モデルA 全面線源(除染前)	モデルB 全面線源(除染後)	モデルC 遠方線源
放射能の地中分布			Profile A + Profile B
線源設定			

表-3 仮想線源モデルのγ線強度分布



持して当該面に到達したものを示す。一定の拡散を経た 0.35-0.65 MeV 帯のγ線を大きい順に緑、青、赤の実線、更に拡散した 0.05-0.35 MeV 帯のγ線を大きい順に緑、青、赤の破線で示す。発災後 5~10年の除染前モデルAでは、放射能が地表面に広く存在するため、拡散せずに到達する黒実線の 0.65-0.75 MeV 帯が卓越する。全面除染(表土 5cm の剥取りと覆土)を行ったモデルBでは拡散成分が卓越する。モデルAの線源面は点線源が地表面に多く分布した状態で、地表面からのγ線は地面からの射出角によらず強度が変わらない等強度面(等光度面に相当)で、仮想線源面では角度 90° 方向が卓越すると考えられる。一方、モデルBは地中 5cm 以深から地表に到達するγ線が射出角に応じて減弱されることで、地表面が均等拡散面的な状態と考えられ、仮想線源面では斜め上向き 60° 付近に強い指向性を示した。拡散線には特徴的な指向性は認められない。破線で示す弱いエネルギーの拡散線には下向成分が多く含まれ、空気中での拡散による寄与と考えられる。建物近傍のみ除染したモデルCでは、遠方からの直射成分が強い方向性を示す結果となった。

### 3. まとめ

本報では、原発事故に由来する放射能汚染によって被災地の鉛直面内に生じるγ線の方向特性を解析より求め、建築空間内の実用的なシミュレーションの境界条件に利用する方法をしついで示した。これを仮想線源モデルと称し、3種の汚染状況に応じたモデルを例示した。次報でこれらを用いた解析例について報告する。

### 謝辞

本研究はJSPS 科研費 16H04459 の助成を受けたものです。記して謝意を表します。

### 参考文献

- 1) Tatsuhiko Sato et al.: Features of Particle and Heavy Ion Transport code System ver3.02, J.Nucl. Sci. Technol., 2017
- 2) 古田琢哉ほか: 環境に沈着した事故由来の放射性セシウムからのガンマ線に対する建物内の遮蔽効果及び線量低減効果の解析, JAEA-Research 2014-003, 2014, 100p.
- 3) Gamma-ray spectrometry in the environment, International Commission on Radiation Units and measurements (ICRU) report: 53, (1994).

# A-19

## 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5) 木造建築を対象とした $\gamma$ 線空間線量率分布の解析

○中島主策 (東北大学), 小林 光 (東北大学), 遠藤聡人 (東北大学), 山守 諒 (竹中工務店),  
古田琢哉 (日本原子力研究開発機構), 吉田浩子 (東北大学),  
野崎淳夫 (東北文化学園大学), 吉野 博 (東北大学)

Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space  
after Nuclear Power Plant Accident : Part 5  
Analysis of  $\gamma$ -ray space dose rate distribution inside wooden buildings.

Nakajima Shusaku (Tohoku Univ.), Kobayashi Hikaru (Tohoku Univ.), Endo Akito (Tohoku Univ.),  
Yamamori ryo (Takenaka Corporation), Huruta Takuya (Japan Atomic Energy Agency),  
Nozaki Atsuo (Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Yoshino Hiroshi (Tohoku Univ.)

キーワード：原発事故，放射線解析， $\gamma$ 線空間線量率分布

### はじめに

前報では主要な汚染源であるセシウムによる建築空間内の $\gamma$ 線空間線量率分布の解析方法に関して、現地の情報を実用的に解析に反映する仮想線源モデルを提案し、これを用いた解析手法について報告した。本稿では木造建築(図1)を対象として仮想線源モデルを用いた予測手法の検証を目的に、木造平屋建築の空間線量率を、実測調査と本手法を用いた解析から求め、その結果を比較する。

### 1. 現地実測調査

福島県T町の木造平屋建築を対象に測定を行った。本建物の立地条件を図2に示す。建物室内の空間線量率分布及び建物周囲の東西南北4方向の方向線量、建物周囲1m内の表面汚染密度を測定した。室内空間線量率分布の測定にはNaIシンチレーションサーベイメータ(日立アロカ TCS-172B)を3台使用し、室内平面方向108点、高さ方向6点(床上0.3,0.5,0.95,1.35,1.75,2.15[m])の計648点を計測した。図3に床上0.95m高さの測定結果を示す。図中の点は測定点を示す。また、表2に上下分布を示す。測定値は南東側の空間線量率が高い傾向を示す。また、床上高さが高いほど値が大きくなる傾向にある。なお、3台の計測器は比較校正したが校正が十分ではない可能性がある。各面の方向線量率は図5のように方向放射線測定器<sup>2)</sup>を地上1m高さに設置して測定した。方向線量測定には $\gamma$ 線スペクトロメータ(EMF211)と遮蔽体で構成した方向線量測定器を用い、表面汚染密度測定にはGM管式サーベイメータ(日立アロカ TGS-146B)を用いた。

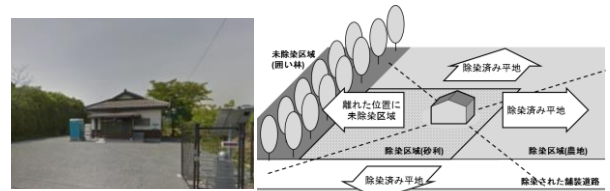


図-1 対象建物 図-2 対象建物立地条件

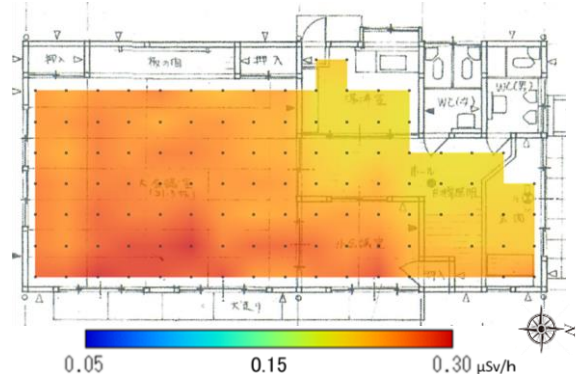


図-3 実測による木造建築室内空間線量率分布 (FL+0.95m)

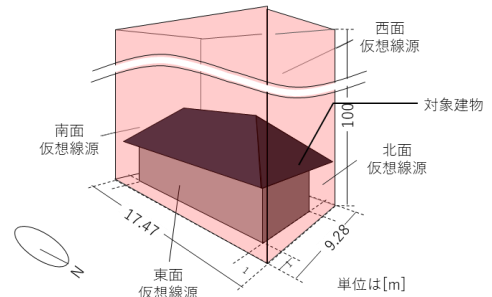


図-4 解析体系

### 2. 仮想線源モデルを用いた予測解析

本解析は仮想線源モデルを用い、放射線解析コードPHITS<sup>1)</sup>によって実施した。解析体系を図4

に示す。建物モデルの周囲に仮想線源モデルを 4 面設定し、建物モデルより 1m 離れた位置に設定した。また、仮想線源内側の建物近傍の地表面と建物に沈着した線源は設定していない。建物モデルは建物図面をもとに設定した(図 6)。建物モデルは BIM ツール(Autodesk 社,Revit)のアドインプログラムとして本研究にて開発した RevitPhits<sup>注)</sup>によって作成した。表 1 に各仮想線源の設定を示す。使用するモデルは各方位の立地条件(図 2)を踏まえて選定した。東面を遠方線源モデルとしたのは除染された区域の先に未除染の屋敷林があるためであり、その他の面を全面線源(除染後)モデルとしたのは各面前方に除染後の土壌面が広がるためである(図 7,8)。解析結果を図 9、表 2 に示す。解析結果にはバックグラウンドの線量率として 0.04 $\mu$ Sv/h を加えた。実測値(図 3)と比べ解析値は全体に低い値となった。建物近傍の線源を適切に与える必要があると考えられる。



図-5 方向線量測定<sup>2)</sup>

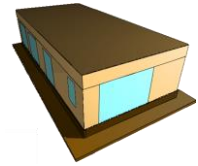


図-6 建物モデル

表-1 各方位の線源設定

	使用線源モデル	方向線量[ $\mu$ Sv/h $\cdot$ sr]
東面線源	モデルC_遠方線源	0.043
西面線源	モデルB_全面線源(除染後)	0.033
南面線源	モデルB_全面線源(除染後)	0.030
北面線源	モデルB_全面線源(除染後)	0.018



図-7 遠方線源を適用した東面



図-8 全面線源を適用した南面

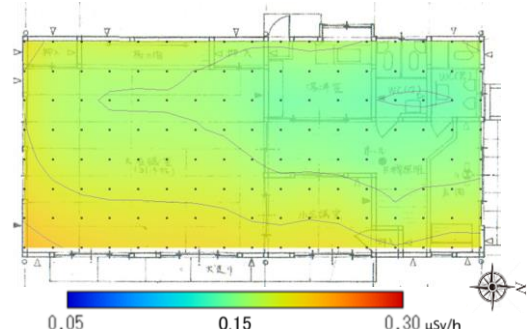


図-9 解析による木造建築空間線量率分布

### 3. 実測値と解析値の比較による検証

提案した解析手法を検証するため、空間線量率分布の解析結果と実測を比較した(表 2)。なお、表 2 では分布の傾向を比較するために解析のスケールを実測の 80%としている。解析は現地調査をもとに各方位に異なる線源条件を設定したことで、南東側で線量率が高い状況を再現した。また、仮想線源モデルで $\gamma$ 線の角度分布を与えたことで下方より上方の線量率が高くなる状況を再現した。

### 4. 結論

仮想線源モデルにより、空間線量率分布の傾向の再現が可能になったが、解析値は実測値より全

体的に数値が低くなった。これは解析では解析領域内に沈着した放射線源を考慮していないことが一因だと考えられる。相対的な傾向は再現していることから、領域内の線源を考慮するとともに仮想線源モデルの改善を行うことで精度は向上すると考えられる。

表-2 空間線量分布の実測値と解析値

	実測値	解析値
上下分布 (右が北方向)		
スケール[ $\mu$ Sv/h]	0.18 ~ 0.32	0.14 ~ 0.26
備考	・①、②、③は 3 台の計測器の別を示す。	・実測と分布の傾向を比較するため解析のスケールを実測の 80%としている。

### 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) Tatsuhiko Sato et al. : " Features of Particle and Heavy Ion Transport code System ver3.02", J. Nucl. Sci. Technol, 2017
  - 2) 山守諒他:測定精度及びフィールド調査を意図した $\gamma$ 線方向線量測定器の開発,環境放射能除染研究発表会
- 注) Revit のデータから PHITS のインプットファイルへの変換プログラム. Revit 上では 3D 的に建物モデルを作成できるため、複雑なジオメトリを作成する場合、本プログラムを使用することで作成時間を大幅に短縮できる。

A-20

原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する研究(その6)  
 建築空間内γ線空間線量率分布の実測による詳細調査

○遠藤 聡人 (東北大学), 小林光 (東北大学), 中島主策 (東北大学),  
 一條祐介 (東北文化学園大学), 野崎淳夫 (東北文化学園大学), 吉野博 (東北大学)

Study on Prediction Method of Radiation Dose Rate in Building Space after Nuclear Power Plant Accident: Part 6-Detailed Surveys of Gamma-ray Air Dose Rate Distribution inside the Buildings

Endo Akito (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),  
 Nakajima Syusaku (Tohoku University), Ichijo Yusuke (Tohoku Bunka Gakuen University),  
 Nozaki Atsuo (Tohoku Bunka Gakuen University), Yoshino Hiroshi (Tohoku University)

キーワード：原発事故, 実測調査, γ線空間線量率分布

はじめに

筆者らは建築環境工学の視点で、原発事故被災地の放射能が建築空間に与える影響を明らかにするとともに、建物内部の放射線空間線量率を予測する手法を確立することを目的に研究を行っている。前2報では空間線量率予測手法に関して報告したが、実際に屋内に形成されている線量率分布を調査し、解析結果と比較可能な詳細データを得ることは極めて重要である。本報では避難指示解除区域に属する福島県T町の、木造とRC造の既存建物を対象として実施した空間線量率分布調査結果、及びγ線エネルギースペクトル測定結果について報告する。

1. γ線空間線量率分布詳細測定

1.1 実測概要

建物周辺に沈着した放射性物質が、建築内の放射線空間線量率の分布に与える影響を調査した。表-1に示す2棟の既存建物を対象に屋内外γ線空間線量率分布の多点測定を実施した。γ線空間線量率測定には、NaIシンチレーションサーベイメータ(日立アロカ TCS-172B)を用いた。時定数は10秒、測定点あたりの測定時間は30秒とした。

1.2 実測結果

(1) 建物S

建物中央付近断面のγ線空間線量率分布を図-1に示す。屋内外ともに除染済であり、高線量を示す箇所はみられなかった。γ線空間線量率は屋内外で連続的に変化し、外壁による遮蔽効果は分布として明瞭に現れない。また、東面と天井へ近づくと、線量率が上昇する傾向を示した。これは敷地東側に位置する未除染土壌、すなわち遠方

表-1 調査対象建物

(1)建物 S: 木造平屋 測定日: 2018/05/31,07/11 測定点(建屋内3次元測定) 平面 108点×高さ方向 6点 =648点 910mm間隔で測定 屋外建物周囲も測定	 (北側玄関)
(2)建物 T: RC造3階 測定日: 2018/11/01,12/12 測定点(断面内2次元分布) 断面 11点×高さ方向 6点 ×3階=198点 東西に長い平面形状 代表鉛直断面(南北)内で 屋外含め1m間隔で測定	 (南側)

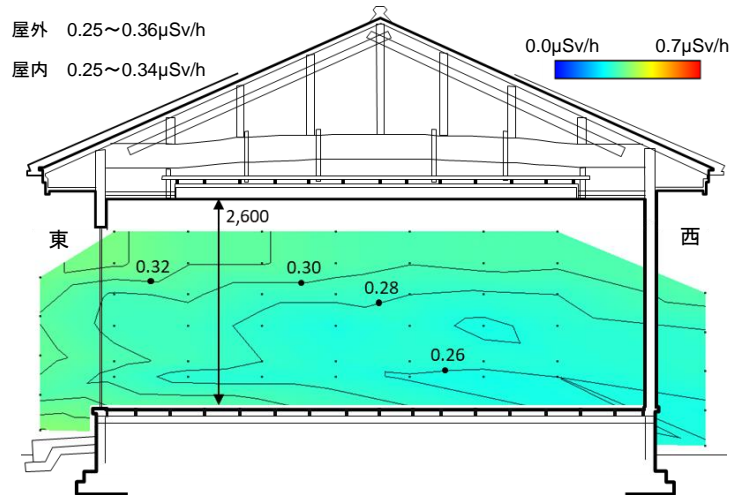


図-1 建物 S

に存在する線源によるものと考えられる。

(2) 建物 T

建物 T の実測結果を図-2に示す。建物北側には高線量を示す植栽及び舗装面が存在し、測定値は0.31~0.96μSv/hに分布していた。南側の測定値

は  $0.16\sim 0.32\mu\text{Sv/h}$  を示した。屋内では、居室内で一様な分布を示し、建物 S よりも低い  $0.10\sim 0.13\mu\text{Sv/h}$  の測定値を示した。1階～3階廊下の北側腰壁以上の高さにおける測定点で、開口部のガラス面に接近するにつれて、線量率が上昇する特徴的な分布を示した。これは RC 壁 (180mm) が有する遮蔽性能と窓ガラス面の持つ遮蔽性能の差により、地表面から飛来する  $\gamma$  線のうち RC 壁に入射したものは遮蔽され、開口部からは屋内に透過したためであると考えられる。

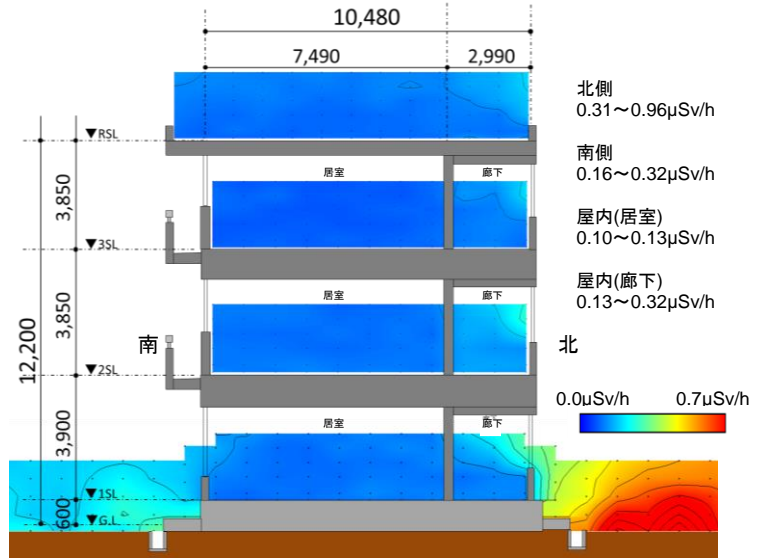


図-2 建物 T

## 2. エネルギースペクトル測定

### 2.1 測定概要

人工核種(主に  $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ )による  $\gamma$  線が外壁越しに屋内空間に及ぼす影響を把握するため、建物 S と建物 T において外壁を挟んで屋外屋内それぞれの地上 1m 高さにて、 $\gamma$  線エネルギースペクトル測定を行った。測定には、ガンマ線スペクトロメータ EMF211 を用いた。

### 2.2 測定結果

測定結果を図-3 に示す。矢印は、 $^{137}\text{Cs}$  による  $\gamma$  線 (0.662MeV) 及び  $^{134}\text{Cs}$  による  $\gamma$  線 (0.796MeV) を示す。両建物屋外において、0.662MeV と 0.796MeV にピークが見られ、 $^{134}\text{Cs}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  が存在していることがわかる。木造である建物 S のエネルギースペクトルには屋内外で絶対値・プロファイル共に大きな差がみられない。しかし、RC 造の建物 T では、屋内で絶対値が大幅に減少するとともにプロファイルも大きく異なる。これは、木造外壁による遮蔽性能は低い一方、RC 造の壁が遮蔽性能を有していることによると考えられる。

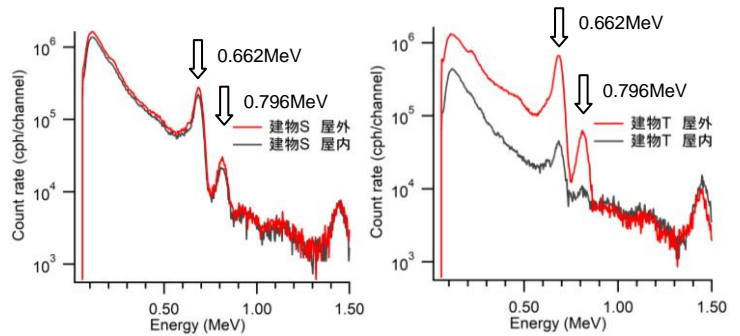


図-3 測定結果(左：建物 S、右：建物 T)

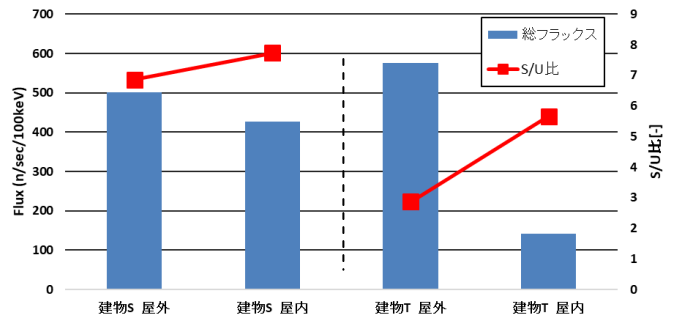


図-4 S/U 比

### 2.3 S/U 比

スペクトル測定結果から直接成分 (U : Uncollided) と拡散成分 (S: Scattered) の比を求めた。両成分の区分は吉田らの方法 <sup>1)</sup> に倣った。図-4 に結果を示す。棒グラフは全エネルギー帯のフラックス総数、折れ線は S/U 比を示す。周囲が除染済である建物 S では、屋内外ともに拡散成分が支配的であった。また、RC 造に関しては、屋内外の差が大きく、直接成分が支配的な屋外に比べ、屋内では S/U 比が大きく減少し、直接線が遮蔽、拡散されたと考えられる。

## 3. まとめ

本報では、原発事故被災地である福島県 T 町の木造及び RC 造の建物内外に生じている  $\gamma$  線空間線量率分布の詳細調査結果、及び  $\gamma$  線エネルギースペクトル測定結果を報告すると共に、木造と RC 造の遮蔽性能の差異を分析的に考察した。

## 謝辞

本研究は JSPS 科研費 16H04459 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- 1) 吉田浩子・細田正洋・斎藤順子・小林育夫・平澤典保: 福島第一原発事故後の住家の空間線量率低減を目的とした遮蔽材の効果, RADIOISOTOPES, 62-pp.203-210, 2013.4.

# B-1

## 寒冷地の庁舎建築における環境性能に関する長期実測

### 一 地中熱利用技術と居住空間の環境調整機能の考察 一

○小田島賢成 (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)

Long-Term Measurement on the Built Environmental Performance of  
a Public Office Building in Cold Climate Region  
Indoor thermal Environment in a Heating and Cooling Trench and Residential Areas  
Odashima Kensi (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，クールヒートトレンチ，実測，温熱環境

#### 1. はじめに

2018年7月に閣議決定されたエネルギー基本計画では、「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」という政策目標が設定されている。本調査の対象建物は東日本大震災直後に計画されたZEBを目指した庁舎建築である。本研究では、長期実測により得られたデータをもとに、地中熱を利用したクールヒートトレンチ内の温湿度の状況を確認するとともに、執務室の室内環境について考察する。

#### 2. 建物概要

##### 2.1 対象建物

表-1に本庁舎の建物概要、図-1に地中熱利用技術と主な環境調整機能を示す。写真-1に示す本庁舎は「寒冷地に立つ災害に強い環境建築」を目指して、自然採光や自然換気を活用するパッシブ建築をベースとして、省エネ性の高い設備システムの構築や再生可能エネルギーの導入をテーマとした建物である。

##### 2.2 執務空間

図-2に床吹出空調の概要、写真-2に調査対象となる4階西側執務室の風景を示す。執務空間では寒冷地の快適性と省エネ性を配慮して全面床吹出空調が採用されている。この方式の特徴として、執務空間全体が均一な温度分布を形成することがあげられる。床吹出空調は定風量制御による運用が一般的に多く見られるが、秋田市庁舎では



写真-1 対象建物外観  
表-1 秋田市庁舎の建物概要

敷地面積	25,851.40m <sup>2</sup>	
建築面積	5,798.2m <sup>2</sup>	
延べ床面積	31916.56m <sup>2</sup>	
構造	RC造、一部PC、	
最高高さ	29.5m(平均地盤面より)	
階数	地上7階、地下1階	
PAL値	206.8MJ/m <sup>2</sup> ・年(基準値:300MJ/m <sup>2</sup> ・年)	
アトリウム形状	中庭型	
クールヒートトレンチ	全長	約 137m
	表面積	約 2480m <sup>2</sup>
	最大通過風速	29000m <sup>3</sup> /h
	通過面風速	0.57m/s

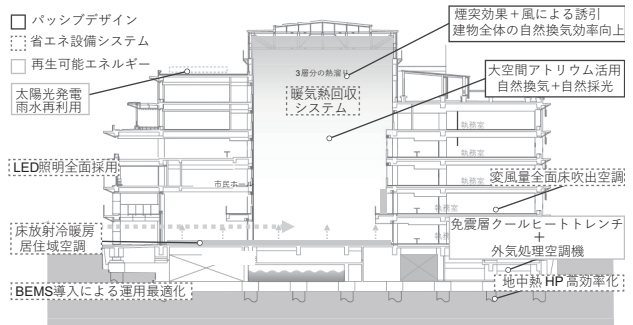


図-1 地中熱利用技術と環境調整機能

寒冷地という地域性から変風量制御が採用されている。

### 2.3 クールヒートトレンチ

図-3にクールヒートトレンチの概要を示す。対象建物では夏期、冬期に免震ピットを利用した総延長約137mのクールヒートトレンチ経由で外気を導入し、地下系統の外気処理空調機をベース運転し地中熱利用を行う。特に、夏季ではクールヒートトレンチを経由して外気より低温な約25℃の空気を、冬期では外気より高温な約8℃の空気を外調機に取り入れることで省エネ効果を期待したシステムである。

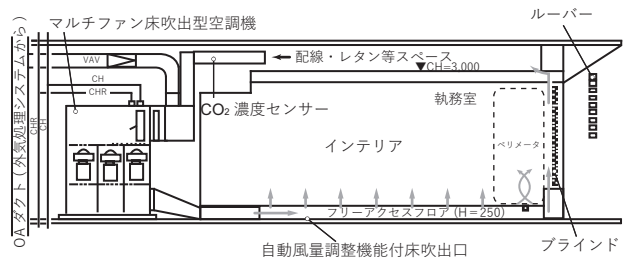


図-2 執務室における床吹出空調のフロー



写真-2 4階西側執務室風景

### 3. 測定概要

対象建物ではビルエネルギー管理システム(BEMS)が導入されており、建物内外で温湿度、消費電力量、外気環境データ等の約1,400点のデータが測定・管理運用されている。図-4に執務室の測定概要を示す。BEMS以外に追加計測として、4階西側執務室のインテリアゾーンにて床上0.1m地点で空気温度、床上1.1m地点で温湿度のほかCO<sub>2</sub>濃度とグローブ温度を10分間隔で自動計測している。なお、本研究では2018年1月～12月までの1年間を分析対象とした。

### 4. 測定結果

#### 4.1 クールヒートトレンチ内の温湿度

外気を利用する際、クールヒートトレンチを経由させることにより省エネ効果は期待できるが、トレンチ内の温湿度の状況や地下水による水分発生の影響等、トレンチ内の実態については不明な部分が多い。そこで、クールヒートトレンチ内の温湿度の実態を明らかにするために、図-5、図-6にクールヒートトレンチ内の冬期・夏期<sup>注1)</sup>における温湿度の累積頻度分布を示す。冬期では、-2～6℃の外気が全体の約8割占めるが、外気導入口から約100m以上通過した地点③では、8～10℃の温度が約9割以上を占めており、トレンチを経由することによって外気の昇温が確認できる。一方、夏期では約7割を占める20～28℃の外気導入空気が、地点③では18～24℃まで下がっている。相対湿度に着目すると、冬期は外気相対湿度が70%以上の場合が約8割を占め、地点③の相対湿度は40～70%と、トレンチ内の

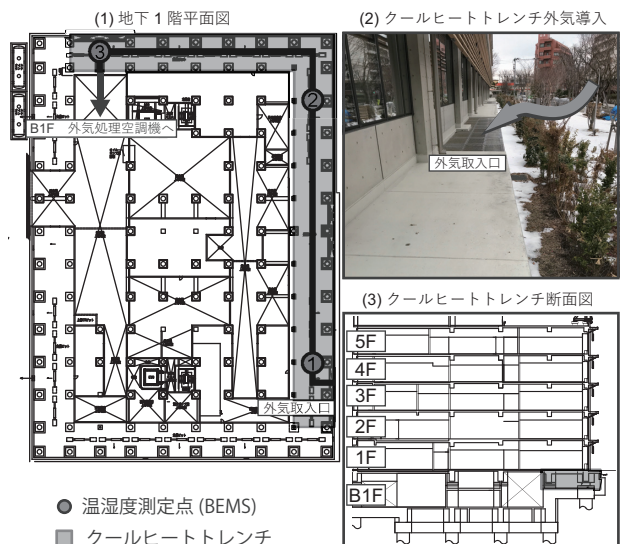


図-3 クールヒートトレンチの測定概要

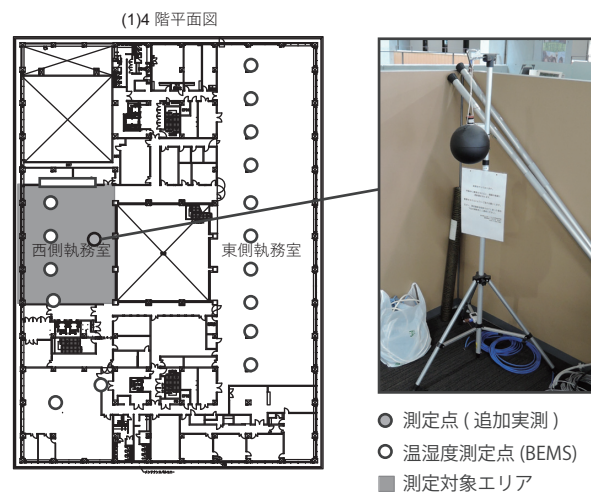


図-4 執務室の測定概要



經由することによって温度上昇により相対湿度が低下したと考えられる。一方、夏期では外気、地点③の相対湿度がともに70%以上が約9割を占める。

図-7にクールヒートトレンチ内と外気の絶対湿度の関係を示す。外気の絶対湿度に対してトレンチ内の絶対湿度が高くなる割合は、夏期では地点①で12.3%、地点③で13.9%、冬期では地点①で49.3%、地点③で50.7%となる。したがって、図-5、図-6の結果とあわせて、冬期、夏期とともにトレンチの長さが増しても大幅な湿度上昇は見られない点を確認した。

#### 4.2 執務空間の温湿度

建築物衛生法における空気環境基準として温度に関しては17~28℃、相対湿度に関しては40~70%の範囲で定められている。

図-8に執務室における温度と湿度の頻度分布を示す。執務時間冬期と中間期の温度、湿度の頻度を示している。温度は冬期、中間期ともに25℃をピークとして分布している。相対湿度も空調機、中間期ともに50%をピークとして分布している。相対湿度ともに建築物衛生法の基準を満たす結果となっている。

#### 4.3 執務空間のCO<sub>2</sub>濃度

建築物衛生法における空気環境基準として1,000ppm以下であることが定められている。

図-9に執務時間の冬期と中間期別における各階のCO<sub>2</sub>濃度の頻度分布を示す。冬期においてはどの階において約5割の頻度で1,000ppmを超えていることが確認できる。中間期においては夏期程ではないが約2割の頻度で1,000ppmを超えていることが確認できる。

以上の結果より、室内環境改善のために2018年7月下旬に空調機風量の設定が見直しされた。図-10に設定変更前後による執務室のCO<sub>2</sub>濃度と外気導入量とCO<sub>2</sub>濃度を示す。代表日においては、設定変更後は変更前に対して外気導入量が約2.6倍程度増加し、執務時間内のCO<sub>2</sub>濃度の減少が確認できた。

#### 4.3 執務空間のCO<sub>2</sub>濃度

執務室に在室している執務者の快適性を評価するために、図-11に冬期、中間期、夏期の代表月におけるPMVとPPDの頻度分布を示す。なお、PMVの算出にあたり、気流速度を0.15m/s、代

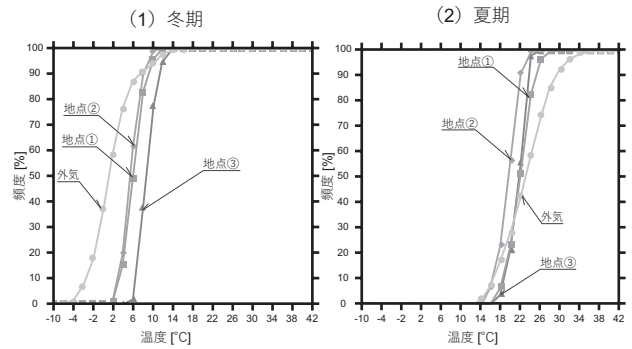


図-5 トレンチ内温湿度累積頻度分布(地点①)

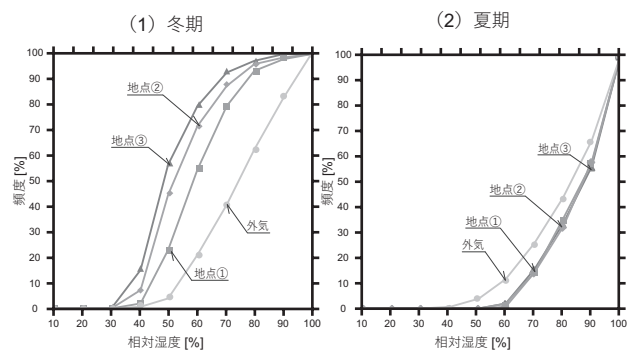


図-6 トレンチ内温湿度累積頻度分布(地点③)

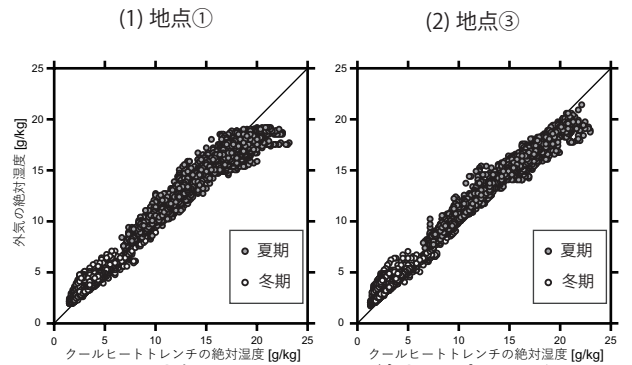


図-7 外気とトレンチ内絶対湿度の関係

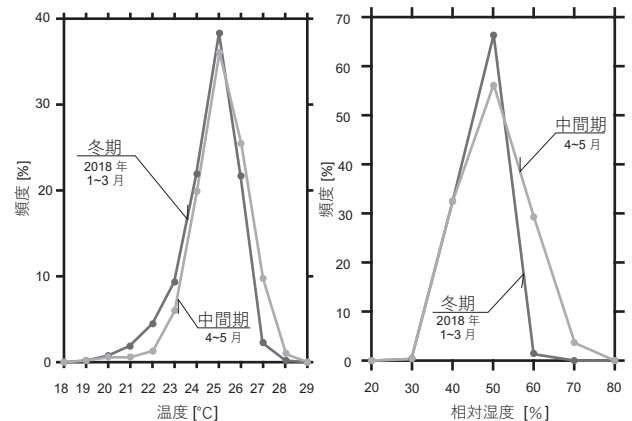


図-8 執務室の温湿度頻度分布

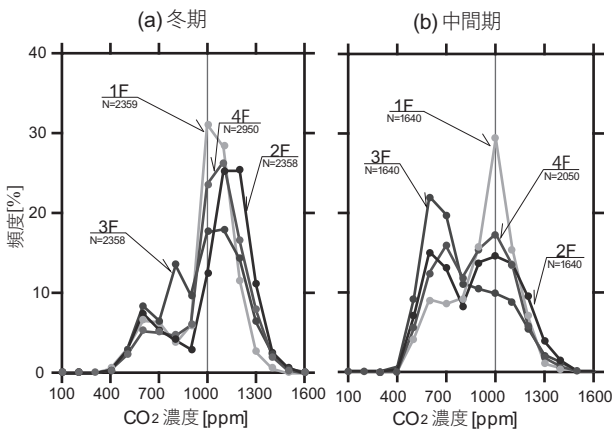


図-9 執務室のCO<sub>2</sub>濃度頻度分布(運轉變更前)  
(1)冬期代表月(2月) (2)夏期代表月(8月)

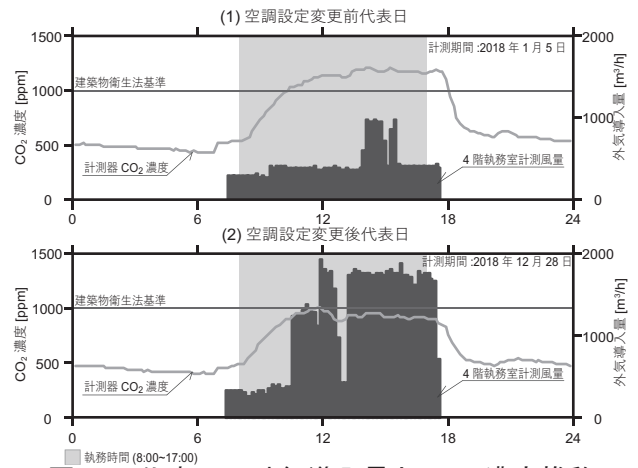


図-10 代表日の外気導入量とCO<sub>2</sub>濃度推移  
(1)空調設定変更前代表日 (2)空調設定変更後代表日 (3)中間期代表月(10月)

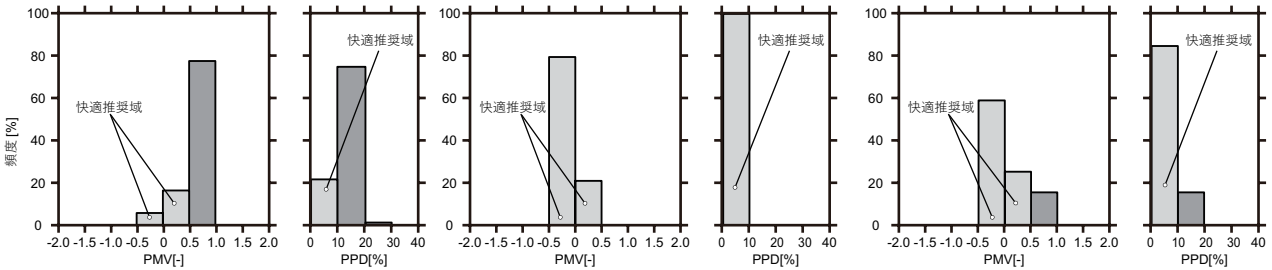


図-11 代表月のPMVとPPD

謝量を1.1met, 着衣量を冬期は1.2clo, 夏期は0.6clo, 中間期は0.9cloと設定し, 執務時間の8時~17時を対象とした。結果として, 冬期は快適推奨範囲外の割合が全体の8割となり, 「やや暑い」側に評価されることが確認された。一方, 夏期や中間期においては約8割以上が快適推奨範囲を占める結果となった。

## 5. まとめ

本研究では, クールヒートトレンチ内の温湿度状況の確認と執務室の温湿度とCO<sub>2</sub>濃度の確認と快適性評価を行った。トレンチ長さが増すにつれて, 夏期では予冷, 冬期では余熱が期待できると同時に, トレンチ内での水分の発生は見られない。また, 執務室の温湿度は建築物衛生法の基準を満たす割合が高かった冬期には十分な暖房環境が形成されていることがわかった。

【注釈】1)冬期(1月~3月, 12月), 夏期(6月~9月), 中間期(4,5,10,11月)とした。

## 謝辞

本調査を実施するにあたり, 株式会社日本設計ならびに, 秋田市役所を始め, 関係各位の多大なる協力をいただいた。ここに記して, 深甚なる謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 経済産業省:エネルギー基本計画, 2018年7月 [http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/pdf/180703.pdf](http://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf)(2018年7月閲覧)
- 2) 星野聡基, 山形史人, 木下雅広, 竹部友久, 長谷川兼一:寒冷地の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績
- 3) 木下雅広, 星野聡基, 山形史人, 竹部友久, 長谷川兼一:寒冷地の庁舎における環境負荷低減に関する研究(第2報)地中熱ヒートポンプを利用した熱源運転実績
- 4) 山形史人, 星野聡基, 木下雅広, 竹部友久, 長谷川兼一:寒冷地の庁舎における環境負荷低減に関する研究(第3報)二次側空調設備の運用実績とエネルギー削減効果

B-2

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

— 実大試験家屋を対象とした暖冷房実験と戸建住宅への導入事例における長期実測 —

○松田芳輝 (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 Grand Source Heat Pump System  
Experiment for Space Heating and Cooling in Full-scale Test House  
And Long-Term Measurement in a Detached House

Matsuda Yoshiki (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，戸建住宅，実測，実験

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。

本研究グループで実施した調査研究では，GSHPを導入した戸建住宅の年間の暖冷房エネルギー消費量は統計値より少ないものの，エネルギー消費効率については定格値を下回る結果となった。

昨年度，本学本荘キャンパス内にある秋田スギ実験棟（以降，実大試験家屋）にGSHPを導入する機会を得た。本研究では，GSHPの送水温度や放熱器の稼働台数を変更するなど，運転方法を変化させる暖冷房実験を行い，既往研究においてエネルギー消費効率が定格値を下回った原因を探るとともに，GSHPの最適な運転方法を検討する。

2. 実験環境の概要

図-1に実大試験家屋の一階平面図と測定点を示す。

2.1 実大試験家屋の概要

表-1に実大試験家屋の概要を示す。試験家屋の一階は，比較対照実験を可能とするため，規模や断熱・気密性能を同一仕様とした試験室二室（西側A室，東側B室）と，玄関ホール，機械室から構成されている。試験室二室は，両室ともに第一種換気方式を採用している。北側壁面にヒートポンプ式エアコンとGSHPの放熱器（以降，FCU：写真-2）が設置されており，機械室にはGSHP本体（写真-1）が設置されている。実験期間中は各室の入口ドアは閉鎖し，南北面の窓に

はカーテンなどの日射遮蔽物は施されていない。各試験室の断熱性能は，平成25年に改正された基準である外皮平均熱貫流率 $U_A$ 値で $0.41W/(m^2 \cdot K)$ となり，対象家屋が位置する4地域の基準値 $0.75W/(m^2 \cdot K)$ を満たしている。各試験室の気密性能を表す相当隙間面積（C値）は，複数の計測値を平均すると $1.64cm^2/m^2$ である。

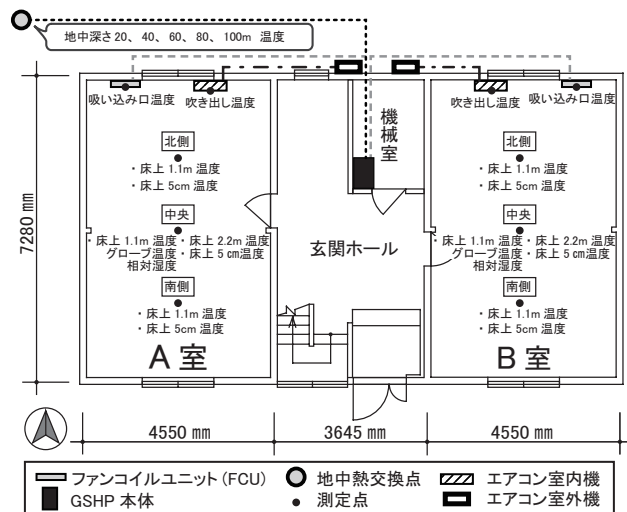


図-1 実大試験家屋の平面図と測定点



写真-1 GSHP 本体



写真-2 FCU

### 2.2 GSHP の概要

GSHPは地中から熱を汲み上げ、空調の熱源として利用する空調システムである(図-2)。地中は10m以深では年間を通して温度が安定するといわれており、この熱源を利用することで空調設備を高効率で稼働させることが可能となる。地中から採放熱するために地下約100m地点まで熱伝導性のあるU字状のチューブを埋設し、そこに不凍液(ブライン)を循環させることによって熱エネルギーを得る。エネルギー消費効率の評価指標にはCOPが主に用いられる。COPとは、空調設備のエネルギー消費効率を表す指標で、暖冷房出力(以降、二次側出力<sup>注1)</sup>)をヒートポンプ消費電力で除した値である。GSHPに循環する不凍液は、地中熱の採熱側(一次側)にエチレングリコール、室内の暖冷房側(二次側)にプロピレングリコールを希釈したものをを用いている。

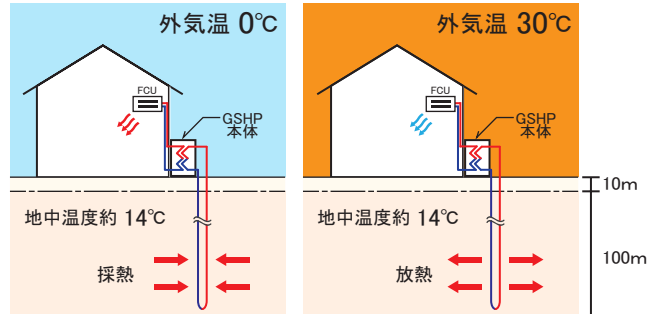


図-2 GSHPの原理(左:暖房,右:冷房)

### 3. 実験概要

#### 3.1 暖冷房実験概要

表-2に暖冷房実験の実験条件を示す。冬季の暖房実験では送水温度を35~60°Cの範囲を5°C間隔で変更して運転する。さらに、放熱器のFCUを1台稼働する場合と2台稼働する場合に分けて運転し、得られたエネルギー消費効率COPを評価する。FCUを1室に1台だけ稼働させる実験条件の場合はもう一方の試験室でエアコンによる暖房をすることでエアコンの消費電力と比較をできるようにしている。冷房実験も暖房実験と同様に放熱器のFCUを1台稼働する場合と2台稼働する場合に分けて運転し、常時内部発熱600W(電気ヒーターにて加熱)の状況下で送水温度7°Cと14°Cの場合に分けて実施した。

#### 3.2 実験結果

図-3に暖房実験におけるCOPと負荷率<sup>注2)</sup>の関係、図-4に冷房実験におけるCOPと負荷率の関係を示す。図-3,4より、暖房では送水温度が低いほどCOPが高く、冷房の場合は送水温度が高いほどCOPが高い傾向が見られた。また、放熱器の台数が多いほど負荷率が上がり、暖房の場合は送水温度が35~40°CまではCOPの変化はなく、45°C以上の送水になると負荷率の上昇とともにCOPはやや減少している。冷房の場合、COPは負荷率の上昇とともにやや上昇傾向が見られた。

表-1 実大試験家屋の概要

竣工		2003年3月
構造		木造2階建
試験家屋	面積	建築面積 115.9 m <sup>2</sup> 延床面積 176.6 m <sup>2</sup> 1F床面積 92.8 m <sup>2</sup> 2F床面積 83.8 m <sup>2</sup> 試験室(A,B室)床面積 33.1 m <sup>2</sup>
	各試験室容積	89.4 m <sup>3</sup>
	各室の隙間相当面積(C値)	1.6~1.8 cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
	各室の外皮平均熱貫流率(U <sub>a</sub> 値)	0.41 W/(m <sup>2</sup> ·K)
	GSHP	能力 5.4 kW 定格消費電力 1.49 kW 定格COP 4.2
暖房	能力 5.5 kW 定格消費電力 1.49 kW 定格COP 4.2	
FCU	冷房	能力 1.85 kW 定格消費電力 33 W
	暖房	能力 3.1 kW 定格消費電力 33 W

表-2 暖冷房実験概要

暖房	室	空調機	送水温度設定	室内温度設定	暖房	室	空調機	送水温度設定	室内温度設定
実験1	A室	エアコン	—	22°C	実験6	A室	GSHP	45°C	22°C
	B室	GSHP	35°C			B室	GSHP		
実験2	A室	GSHP	35°C	22°C	実験7	A室	エアコン	50°C	22°C
	B室	GSHP				B室	GSHP		
実験3	A室	エアコン	40°C	22°C	実験8	A室	GSHP	50°C	22°C
	B室	GSHP				B室	GSHP		
実験4	A室	GSHP	40°C	22°C	実験9	A室	エアコン	60°C	22°C
	B室	GSHP				B室	GSHP		
実験5	A室	エアコン	45°C	22°C					
	B室	GSHP							
冷房	室	空調機	送水温度設定	室内温度設定	冷房	室	空調機	送水温度設定	室内温度設定
実験1	A室	エアコン	7°C	25°C	実験3	A室	エアコン	14°C	25°C
	B室	GSHP				B室	GSHP		
実験2	A室	GSHP	7°C	25°C	実験4	A室	GSHP	14°C	25°C
	B室	GSHP				B室	GSHP		

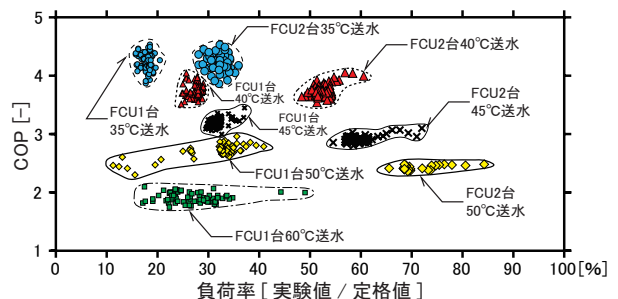


図-3 暖房実験のCOPと負荷率<sup>注2)</sup>の関係

4. GSHP を備えた戸建住宅の長期実測

4.1 住宅概要

表-3 に長期実測の対象住宅の概要を示し、図-5 に平面図と空調機の位置関係を示す。暖房は主に温水パネルで行い、冷房はFCUを使用して。温水パネルは各部屋に取り付けられており、温水パネルに付属しているバルブを回すことによってパネル内の流量を調整し、室温を調節することができる。

4.2 GSHP のエネルギー消費量

図-6 に2017年と2018年の対象住宅と秋田県の一般住宅における統計値<sup>2)</sup>による床面積<sup>3)</sup>当たりのエネルギー消費量(二次換算)の比較を示す。対象住宅における2017年と2018年の消費量に大きな差は見られない。対象住宅の消費量は全体で統計値の0.62倍、空調のみで0.40倍程度となっており、GSHPによる省エネルギー効果が見て取れる。

4.3 夏季における運転状況

図-7 に2018年の冷房期におけるCOPとHP消費電力の変動を示す。対象住宅のGSHPにおける定格冷房COPは3.2であるが、2017~2018年度の冷房期のCOPは2.3~3.6程度となっており、定格値に近い状態で運転をしている。

4.4 冬季における運転状況

図-8 に暖房期におけるCOPとHP消費電力の変動を示す。対象住宅のGSHPにおける定格暖房COPは3.7であるが、11月下旬頃から定格を下回る運転をしており、運転方法の改善の余地が見られた。暖冷房実験結果より、COPの変動には送水温度設定が大きく関わることがわかったため、2017年度の暖房期における二次側送水温度とCOPの変動に着目した(図-9)。図より、11月末頃から居住者が送水温度設定を高く変更したことが推測でき、それとともにCOPが定格暖房COP3.7を下回る様子が確認された。

4.5 暖房期のCOPと負荷率の関係

図-10 は、2017年度の暖房期における居住者によって送水温度が変更されたと思われる3つの期間ごとにCOPを分類し、負荷率との関係を示したものである。図より、送水温度を高くすると負荷率は上がるものの、送水温度が低い時と比べCOPが向上しにくい傾向が読み取れる。また、実験結果と比較的近い傾向が得られている。

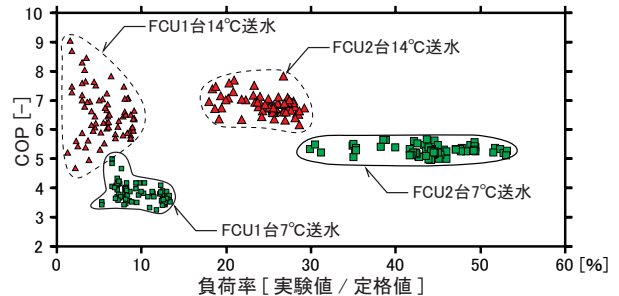


図-4 冷房実験のCOPと負荷率<sup>注2)</sup>の関係

表-3 対象住宅の概要

所在地	秋田県能代市		
竣工	2015年12月		
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)		
延床面積	241.0 m <sup>2</sup>		
設備	給湯	自然冷媒(CO <sub>2</sub> )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	10.0 kW
		冷房	10.0 kW
	定格COP	暖房	3.7
		冷房	3.2
断熱材	壁	フェノールフォーム1種2号:50 mm	
	基礎	押出法ポリスチレンフォーム3種:30 mm	
	天井・屋根	高性能グラスウール24K:150 mm	
窓	サッシ	樹脂サッシ	
	ガラス	Low-e複層ガラス	
外皮平均熱貫流率(U <sub>a</sub> 値) [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	設計値		基準値
		0.57	0.75

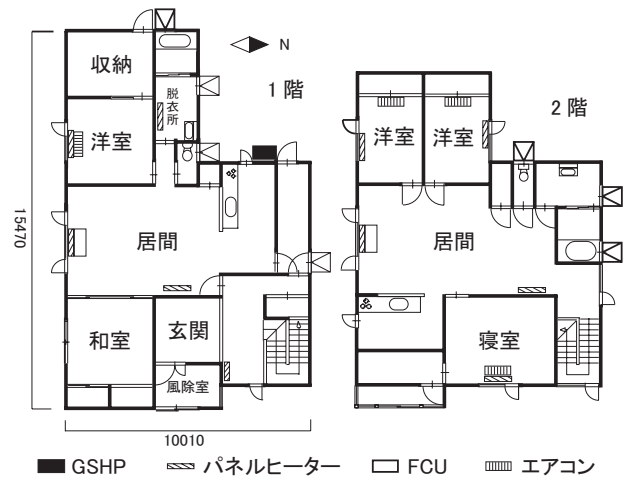


図-5 対象住宅の平面図

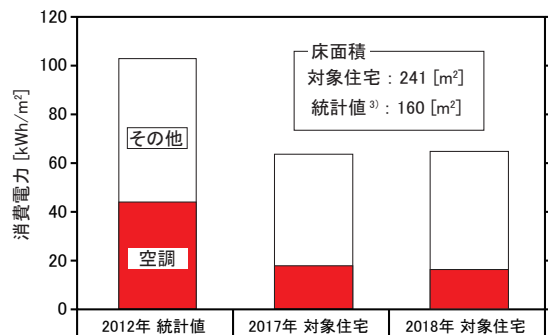


図-6 エネルギー消費量の比較

5. まとめ

長期実測を行った住宅において冷房期は比較的定格に近い運転をしており、暖房期は定格を下回る運転をしていた。COPの変動には負荷率や送水温度が大きく関係しており、冷房の場合は送水温度が高いほど、暖房は低いほど定格COPを満たしやすいことが実験で確認された。さらに、放熱器の台数が増加するほど負荷率が高くなる傾向が実験で確認できたため、実測住宅において負荷率をこれまで以上に上昇させることができれば、COPがさらに向上することが期待される。今後は、実験により得られた成果を実測住宅に適用し、GSHPのより効果的な運用方法に資する知見を蓄積する。

謝辞

本研究は、平成30年度 秋田県立大学・部局提案型研究推進事業の一環として研究補助を受けて実施している。

実測調査を実施するにあたっては、対象住宅のご家族の皆様にご理解とご協力をいただきました。また、サンポット株式会社の関係各位には、多くの貴重なご助言をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。なお、実測調査の実施に対しては、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認(受付番号倫第15-16号)を得ている。

注釈

- 1) 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]  
 $\rho_{b2}$ : 不凍液の密度 [kg/L]  $Q_2$ : 二次側出力 [kW]
- 2) 負荷率を次の式で算出した。  $\eta = Q_2 / Q_d \cdot 100$   
 $Q_2$ : 二次側出力 [kW]  $Q_d$ : 定格暖冷房出力 [kW]  $\eta$ : 負荷率 [%]

参考文献

- 1) 高崎力也: 地中熱ヒートポンプ空調システムの消費エネルギー効率に関する研究—秋田県内の戸建住宅への導入事例における長期実測—, 秋田県立大学 平成30年度卒業論文, 2018.3
- 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

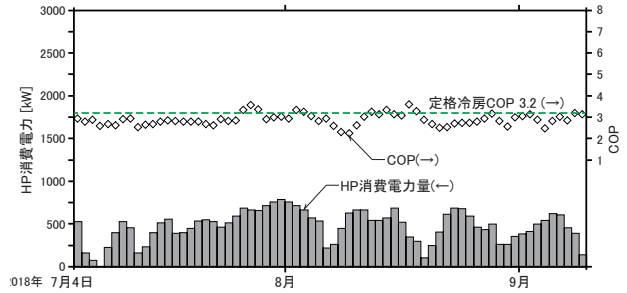


図-7 2018年度冷房期のCOPとヒートポンプ消費電力の変動

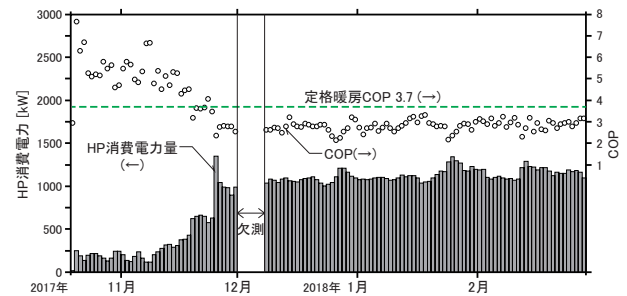


図-8 2017年度暖房期のCOPとヒートポンプ消費電力の変動

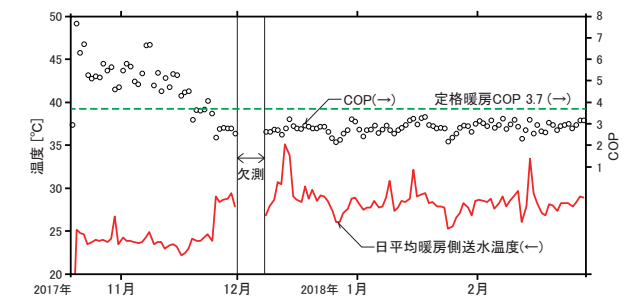


図-9 2017年度暖房期のCOPと暖房側送水温度の変動

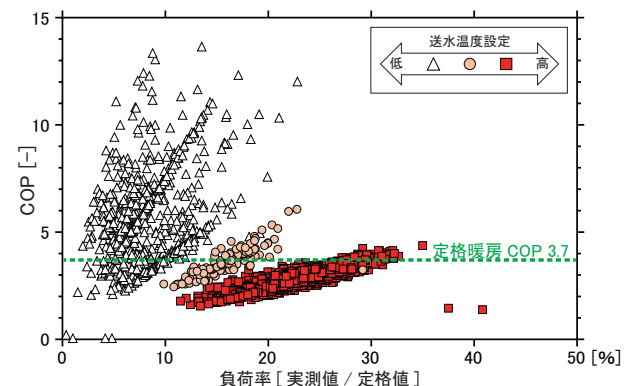


図-10 2017年度暖房期のCOPと負荷率の関係

## B-3

### 乳幼児と高齢者の体温調節反応の特性に関する文献調査

#### - 主として暑熱環境と寒冷環境について -

○小林集地 (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)

#### Review for Characteristic of Thermoregulation between Infants and Elderly person About Exposure to Environment of Heat and Cold

Kobayasi Shuji (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：乳幼児 高齢者 体温調節 文献調査

#### 1. はじめに

一般に、体が未発達な乳幼児や、加齢に伴い身体機能が衰えていく高齢者は一般成人より体温調節機能が劣るとされている<sup>1)2)</sup>。乳幼児は暑熱環境においてうつ熱を起こし高温障害に陥りやすいことが知られ<sup>1)</sup>、高齢者は環境温度の変化により身体に負荷がかかり心疾患や脳血管疾患などの循環器系の疾患に陥りやすい<sup>3)</sup>。一方、室内の環境調整は、成人の健常者を想定して行う場合が多い。質の高いユニバーサルな環境を実現させるには幅広い層を対象とする必要があり、年齢や性別による体温調節の違いを明らかにすることが重要となる。本研究では、子供の中でも特に身体的成長が著しい乳幼児と、老化による身体変化が生じる高齢者を対象に、体温調節反応に関する文献調査により整理した知見を報告する。

#### 2. 文献調査概要

表-1に既往の研究論文や関連文献を整理し、乳幼児と高齢者の体温調節反応の特性を示す。

#### 3. 文献調査の結果

##### 3.1 体温調節のメカニズム

体温調節は温度受容から効果器の作動まで多岐にわたる反応により構成されている。血管反応により身体深部から放熱器の役割を担う皮膚表面への熱移動が制御され<sup>4)</sup>、皮膚温は血管反応の結果を表している<sup>5)</sup>。発汗は暑熱環境下で重要となり、特に外部温が皮膚温より高い場合、唯一の放熱手段となる<sup>4)</sup>。寒冷環境下で体温低下を防ぐ手段として、産熱量増加(代謝、ふるえ)がある<sup>4)5)</sup>。これらの体温調節機能は重要な臓器が集中する身体深部の温度が一定に保たれるように働いており<sup>4)</sup>、深部体温が体温調節反応の結果を表しているといえる。深部体温の指標としては直腸温や鼓膜温などがある。

##### 3.2 乳幼児の場合

暑熱環境において直腸温が上昇する<sup>6)7)</sup>、低下する<sup>8)9)10)</sup>としたものがあり結果が一致していないが、双方とも乳幼児の方が成人より、その変動の幅が大

きいとする報告がある。これは深部体温を一定に保つという観点から、体温調節機能が良好に作動していない点が推察される。血管反応は成人より敏感もしくは、同等とする報告が多く、乳幼児は血管拡張する能力を十分に有していることが考えられる。乳幼児の発汗量は成人より多い<sup>10)</sup>と知られているが、多くの研究でこれを支持する結果が報告されている。しかし、季節による変動が小さく<sup>8)</sup>、暑熱負荷を変えても発汗量が変わらない<sup>6)</sup>点などから、体温調節の観点で発汗機能が十分に発達しておらず、血管拡張反応への依存が高いとの報告<sup>8)11)12)</sup>が多い。乳幼児は発汗過多により無効発汗が生じやすいこと<sup>6)</sup>が報告されており、発汗を水分損失と考えると、体液量に対して水分損失が大きくなるため、脱水症状に陥りやすい状態にある<sup>16)</sup>。

寒冷環境において、少年の体温保持能力は成人より勝るとも劣らないとする報告<sup>13)14)</sup>がある。一方で、少年の対寒反応が劣り、体温が低下しやすいとの報告<sup>15)16)</sup>がある。しかし、乳幼児に関しての報告は少ないため、今後は関連の情報や知見を収集していく必要がある。

乳幼児は体重の割に表面積が多いことから、少なくとも成人より暑熱、寒冷問わず体外の環境に影響を受けやすいと考えられる。深部体温を保つためには、それを補うために敏感に体温調節反応が生じる必要があり、乳幼児の身体に負荷のかからない温度範囲はおのずと小さくなる。よって、室内で生じる温度差においても成人より大きな身体負荷がかかることが容易に予想される。一方で、能動汗腺の数が乳幼児期の生活環境に左右される<sup>10)</sup>ことや、近年、35℃台の体温を示す児童が増えてきたことが、快適な人工環境に長時間さらされたことに由来する可能性<sup>17)</sup>が指摘されている。体の成長に照らし合わせて、長期的な視点で見ると、単に幼児にとって負荷の少ない環境が必ずしも良いとは言えない可能性もある。

表-1 乳幼児と高齢者の体温調節反応

体温調節反応	暑熱	寒冷	血管反応	暑熱	寒冷	発汗	産熱量
身体深部温	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 母親の直腸温は変化しなかったが乳幼児は暴露開始前より有意に上昇した<sup>9)</sup></li> <li>□ 乳幼児の方が直腸温の上昇が急で暴露終了時点で母親より有意に高くなった<sup>9)</sup></li> <li>□ 乳幼児の方が直腸温が急な上昇を示し、暴露開始後24分後からは母親と比べ有意に高くなった<sup>9)</sup></li> <li>□ 成人、幼児ともに直腸温が低下し、その低下の度合いは幼児で大きかった<sup>9)</sup></li> <li>□ 暑熱暴露下において直腸温低下<sup>78)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 寒冷暴露においての直腸温が母親は低下したが、幼児は上昇を示した<sup>9)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ ほとんどの研究で身体深部温の低下度の度合いが、高齢者で大きいことが示された<sup>2)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 暑熱環境での皮膚血流量は高齢者が少ないという報告が多数あり、成人と比べ血管拡張反応が小さい傾向がうかがえる<sup>23)21)</sup></li> <li>□ 血管拡張による皮膚温の上昇と血流量の増加が成人と比べ遅れる<sup>23)24)26)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 暑熱暴露における研究結果の不一致は暑熱負荷の条件の差や測定箇所(鼓膜温、食道温)の違いなどによると推察できる<sup>2)</sup></li> </ul>		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 母親と乳幼児に平均皮膚温の有意差がなく、成人と同等の血管拡張能力を有していると推察される<sup>9)</sup></li> <li>□ 対暑反応としての血管拡張による皮膚血流の変化が幼児の方が敏感に働いた<sup>13)</sup></li> <li>□ 暴露開始後、幼児の方が平均皮膚温の上昇が顕著であり、四肢部の皮膚温上昇も早期に見られた<sup>9)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 平均皮膚温上昇が顕著で開始15分で母親より有意に高くなり、暴露によるヒートショックの影響がうかがえる<sup>9)</sup></li> <li>□ 穏やかな寒冷暴露においての母親との平均皮膚温に有意な差は認められなかったが、心拍数が低下した<sup>9)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 特に四肢部の血流量の増加が遅く、増加度が少ない<sup>27)</sup></li> <li>□ 比較的緩やかな寒冷条件では高齢者の抹消部皮膚血流量の減少が少なく、皮膚温の低下も小さい<sup>2)</sup></li> </ul>				
発汗	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 寒冷環境においての血管収縮反応が母親より遅れ、対寒反応の不熟さが推察される<sup>13)</sup></li> <li>□ 体表面積当たりの総発汗量が母親の2倍となるが、温度によらず一定であることから発汗過多がうかがえる<sup>9)</sup></li> <li>□ 季節による発汗量の変化が少く、発汗の部位差が小さいことから季節順化能力の低さがうかがえる<sup>9)</sup></li> <li>□ 暑熱暴露において体表面積当たりの総発汗量が母親の2倍となり発汗調節が十分に行われている<sup>9)</sup></li> <li>□ 暑熱暴露においての体表面積当たりの総発汗量が成人の2倍であるが深部温の上昇を招いた<sup>78)</sup></li> <li>□ 発汗量が大きな値を示したのは、乳幼児の方が成人よりの汗腺密度が高いためと考えられる<sup>19)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 著しい寒冷条件では抹消部に成人との差はないが身体深部に近い部分の皮膚温低下が著しい傾向<sup>22)</sup></li> <li>□ Hellon<sup>22)</sup>とLindo<sup>23)</sup>など発汗の出現が成人より遅延する報告が比較的多いが、Sagawa<sup>24)</sup>など差異がないとするものもある</li> <li>□ 発汗率 (g/m<sup>2</sup>/hr) は高齢者で成人より減少する傾向がみられる<sup>22)</sup></li> <li>□ 発汗量の低下は四肢部に顕著にみられる<sup>23)24)</sup></li> <li>□ 発汗率の減少は能動汗腺の減少ではなく、汗腺当たりの汗量の低下によるとの報告が多い<sup>23)</sup></li> </ul>					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 20℃,24℃,28℃,32℃での暴露においてすべての条件で、代謝が母親より高かった<sup>13)</sup></li> <li>□ 乳幼児の基礎代謝量は成人より高い<sup>3)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 寒冷暴露における、産熱量増加は成人と比べて遅れ、増加が少ない傾向にあるが<sup>22)</sup>、逆に成人より早く増加が大きいという報告もある<sup>25)</sup></li> <li>□ 基礎代謝量が成人より低い<sup>20)</sup></li> </ul>					
産熱量	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 20℃,24℃,28℃,32℃での暴露においてすべての条件で、代謝が母親より高かった<sup>13)</sup></li> <li>□ 乳幼児の基礎代謝量は成人より高い<sup>3)</sup></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>□ 寒冷暴露における、産熱量増加は成人と比べて遅れ、増加が少ない傾向にあるが<sup>22)</sup>、逆に成人より早く増加が大きいという報告もある<sup>25)</sup></li> <li>□ 基礎代謝量が成人より低い<sup>20)</sup></li> </ul>					

3.3 高齢者の場合

高齢者の深部体温は暑熱、寒冷環境ともに成人より影響を受けやすい傾向がみられる。血管反応に関しては暑熱・寒冷環境ともに鈍る傾向にある<sup>18)</sup>。発汗に関しては発汗量が低下する傾向にあり、汗腺の機能低下により分泌量が低下することに由来する<sup>19)</sup>とされている。産熱量の増加に関してはデータが少なく、結果が一致していない。一般に、高齢者は温度受容能力、神経伝導速度、効果器の応答速度などの低下が知られている<sup>20)</sup>。温度受容から体温調節反応までの過程で時間を有し、血管拡張、縮小や発汗の出現、停止に遅延を確認している<sup>18)20)21)</sup>。これらの遅延は、暑熱環境から冷房された室内に移動した際に、過剰放熱による偶発的低体温症を誘発するなど、生命を脅かすほどの深部体温の変化をもたらす。血管収縮は血圧の増加を生じさせるが、高齢者はその増加量が大きいため<sup>2)</sup> 身体に大きな負荷がかかり、心筋梗塞などを引き起こす。一方で、老化には大きな個人差が認められ、私生活で使用されない機能は著しく低下すること<sup>2)</sup> が知られている。高齢者の老化の進行を抑制するためにも、多少なりとも体温調節機能への刺激が必要といえる。

4. まとめ

乳幼児と高齢者ともに深部体温が変動しやすい可能性が示唆され、深部体温を保つことができた場合

でも、その過程において成人より身体的な負荷がかかると考えられる。よって、室内環境を調整する際には、一層の配慮が必要であり、乳幼児の体温調節機能の発育を阻害せず、高齢者の老化の悪循環を抑制することを考慮する必要がある。

参考文献

1)小川徳雄:老若男女の温熱生理学-新生児期から小児期まで-人間と生活環境,3(1),1996年。2)川島美勝:高齢者の住宅熱環境,理工学社,1994年。3)日本建築学会,高齢者が気持ちよく暮らすには,技報堂出版,2005年。4)柳原敏,室内環境の快適性,アイエムコーポレーション,2005年。5)中山昭雄:温熱生活,理工学社,1981年。6)都築和代:暑熱及び温暖環境における子供と母親の体温調節反応の比較,日本建築学会論文誌,Vol.49 No.4,409-415,1998年。7)都築和代,柳原敏,大仲忠勝:暑熱暴露時の乳幼児の温熱反応,Japanese Society of Human-Environment System,研究発表会,1993年。8)日石隆,荒木勉:暑熱暴露下の体温調節における幼児と成人の比較,1998年。9)小曾武夫:小児の発汗機能,生理誌,4.370-37.1939年。10)Kuno, Y. Human Perspiration, CC Thomas Publisher, Springfield, 1956。11)有富由香,城越哲美,宇野勇治:室内温熱環境が母親とその子どもの生理反応に及ぼす影響,皮膚温と経路別熱量の比較,及び対流熱伝達の量出,日本建築学会論文誌,第74巻,第637号,315-321,2009年。12)井上芳光:老若男女の暑熱適応能,日本建築学会第38回シンポジウム,2008年。13)Wanger, J.A., Robinson, S. and Marino, R.P.: Age and temperature regulation of human in neutral and cold environments, J. Appl. Physiol. 37:562-565, 1974。14) Smolander, J. et al: Thermoregulation during rest and exercise in the cold in pre- and early pubescent boys and in young men, J. Appl. Physiol. 72:1589-1594, 1992。15)Araki, T., Tujita, J., Matsushita, K. and Hori, S.: Thermoregulatory responses of prepubertal boys to heat and cold in relation to physical training, J. Hman Ergol. 9:69-80, 1980。16)Inoue, Y., Araki, T. and Tsujita, J.: Thermoregulatory responses of prepubertal boys and young men in changing temperature linearly from 28 to 15°C, Eur. J Appl. Physiol. 72:204-208, 1996。17)朝山正巳:低体温症,体温調節の仕組み,文光堂,1995年。18)人工環境デザインハンドブック,2007年。19)Hellon, R.F. and Lind, A.R.: Observation on the activity of sweat glands with special reference to the influence of age, J. Physiol. 133:144, 1956。20)入来正躬:体温生理学テキスト-分かりやすい体温のお話-,文光堂,2003年。21)小川徳雄:老若男女の温熱生理学-世代を加齢の影響-人間と生活環境,4(1),1996年。22)都築和代:暑熱適応能の発達-居住環境許容性に関する研究-,日本建築学会論文誌,第74巻,第637号,315-321,2009年。23)中山昭雄:新生児と成人の比較,2005年。24)Sagawa, S., Shiraki, K., Yousef, M.K. and Miki, K.: Sweating and cardiovascular responses of aged men to heat exposure, J. Gerontol., M43(1)M1-M8, 1988。25) Kenney, W.L.: Control of heat-induced cutaneous vasodilation in relation to age, Eur. J. Appl. Physiol. 57:120-125, 1988。26)Inoue, Y., Nakao, M., Araki, T. and Murakami, H.: Regional differences in the sweating responses of older and younger men, J. Appl. Physiol., 71(6), 2453-2459, 1991。27)Krag, C.L. and Koutz, W.B.: Stability of body function in the aged. I. Effect of exposure of the body to cold, J. Gerontol., 5, 227-235, 1950。



B-4

熱環境からみた冬期の居住性能に関する36年間の推移

— 東北地方都市部における地域特性の分析 —

○増田早也花 (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)

Transition of Winter Thermal Performance and Occupants' Behavior  
in Detached Houses for 36 Years

Analysis of Regional Characteristics in Tohoku City Area

Masuda Sayaka (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：熱環境，戸建住宅，居住性能，アンケート調査

1. はじめに

近年，地球環境問題に対する関心の高まりとともに，住宅性能は向上し，居住環境も大きく変化していることが推察される。これまで1982年から10年毎に東北地方都市部の住宅を対象に，熱環境からみた冬期の居住性能に関するアンケート調査と液晶温度計を用いた室温調査が実施されてきた<sup>1)</sup>が，2012年の調査では震災の影響を受け，十分な知見を得ることができなかった。そこで，それ以前の居住性能に関する動向とともに，現状を明らかにするため，過去と同様の調査を2018年冬期に実施した。なお，温熱環境と，その温熱環境の形成に寄与する要素としてのシェルター性能，設備，住まい方，エネルギー消費量および居住者特性を「熱環境からみた居住性能」とする。

本研究では，東北地方の住宅に求められる環境性能の将来像を示すための基礎的資料として，居住性能の現状を36年間の推移とともに分析し，地域特性を明らかにすることを目的とする。

2. 冬期の居住性能に関する調査概要

2.1 調査方法

図-1に対象都市，対象住戸数，調査期間中の平均外気温<sup>2)</sup>を示す。調査期間は2018年2月2日～8日の一週間である。

調査はインターネット調査により実施し，アンケート調査と一部の住宅には室温の読み取りも依頼した。調査対象住宅は過去の調査条件に基づいて戸建住宅とし，①灯油暖房を使用する，②小学校高学年と同居する，という条件に見合う住宅を

優先的にインターネットユーザーの中から選定した。なお，インターネット調査では標本の妥当性が懸念されるが，各都市の標本の年間収入と統計値<sup>3)</sup>を照合し，適切なデータが得られていると判断している。

2.2 調査内容

アンケート調査内容を表-1に示す。調査開始時に液晶温度計を対象者に配布し，調査期間中の朝(6～8時)・夜(19～21時)の居間と寝室の温度を記録してもらうことで室温を把握した。

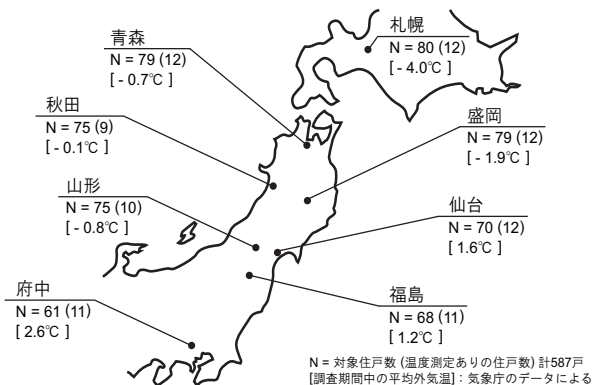


図-1 対象都市と対象住戸数，平均外気温

表-1 エネルギー消費量の結果

温熱環境	朝，夜における居間及び寝室の温度
設備	使用暖房器具，保有住宅設備，電球の種類
住まい方	暖房時間，暖房期間，着衣量，結露対策，空気汚染対策
シェルター性能	建設時期，床面積，断熱材の有無，窓・床の構成 日当たり，起床時の寒さ，結露状況，隙間風の感じ方
エネルギー消費量	毎月の電気消費量，冬期の灯油消費量
居住者特性	家族構成，年齢，年間収入
空気に関わる項目	乾燥の程度，空気の汚れの程度

### 3. 調査結果と過去の調査との比較

アンケート調査結果の一部を図-2に示す。アンケート調査の回収率は79.6%，有効回答数は587世帯である。

#### 3.1 温熱環境に関するアンケート調査結果

##### (1) 住宅規模

全体の床面積の平均値は131.3m<sup>2</sup>であり、16年前から変化がない。府中市は他の都市よりも60~100m<sup>2</sup>の割合が高いことがわかる。

##### (2) 断熱性能

窓ガラスの種類は、札幌市と東北地方北部の都市では二枚サッシの割合が高く、南部の都市にいくほど割合が低くなっている。特に仙台市、山形市、府中市では他の都市に比べて一枚ガラスの割合が高いが、16年前と比較すると、二枚ガラスの割合が非常に高くなっているため、全体的に断熱性能の高い住宅が増加していると考えられる。

##### (3) 居間の暖房器具と暖房時間

使用暖房器具は、16年前までは札幌市と東北地方で主暖房器具であったFF式石油ストーブと石油ファンヒータの使用率が低下し、電気エアコンが上昇している。特に、札幌市ではこれまでと同様にセントラル暖房の割合が高く、東北地方では蓄熱暖房器を使用する住宅も見られる。

暖房時間は、札幌市、青森市、盛岡市、秋田市で終日または起床一就寝が多く、仙台市、福島市、府中市では朝、夕食一就寝が多い。札幌市と東北地方では、終日暖房の割合が16年前よりも高くなっているため、全体的に暖房時間が増加していると考えられる。

##### (4) エネルギー消費量

図-3に過去3回の調査結果とともに各都市における1世帯当たりの灯油消費量と、2018年調査の各都市における各住宅の暖房エネルギー消費量を示す。なお、暖房エネルギー消費量は二次エネルギー消費量を算定した結果である。

東北地方各都市における一冬の灯油暖房消費量は2002年の調査までは年々増加傾向にある。特に、札幌市では暖房エネルギー消費量の削減が実現されているが、東北地方ではシェルター性能が十分でない上に、快適性を追求した結果、灯油消費量が増加していることが指摘されていた。今回は、東北地方においても減少幅が大きく、断熱性能の向上などが影響していると考えられる。

一方、暖房エネルギー消費量を住宅ごとに見ると、ばらつきが非常に大きく、一概に暖房エネルギー消費量が減少しているとはいえない。ばらつきの原因を一つの要因で説明することは困難であ

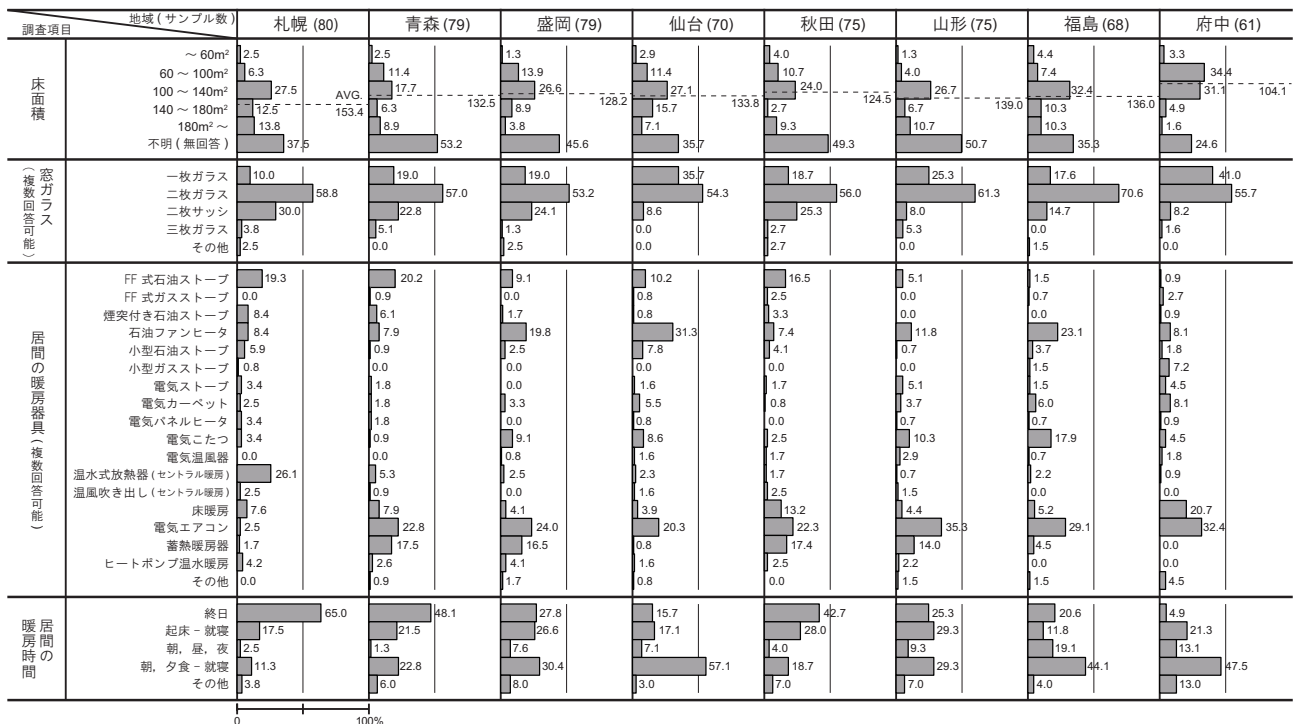


図-2 主なアンケート調査結果の度数分布

るが、特に蓄熱暖房器や電気暖房器の暖房エネルギー消費量が灯油暖房器よりも大きい傾向にあることから、暖房器具の種類が大きく関係していると考えられる。また、ここには示していないが、床面積や暖房時間も要因の一つであることを確認している。

### 3.2 各都市における室温の調査結果

図-4に各都市における朝の居間温度の平均値±標準偏差、最大・最小値を過去の調査結果とともに示す。

朝の居間温度の全体の平均値は17.1°Cで、36年前の調査では10.2°C、26年前は14.0°C、16年前は16.2°Cであることから、朝の居間温度は上昇傾向にあるものの、過去の調査結果ほど顕著ではなく、安定してきていることがわかる。また、標準偏差は小さくなりつつあるが、現在も住戸間のばらつきは見られ、ここには示していないが、暖房器具や暖房時間が影響していることを確認している。

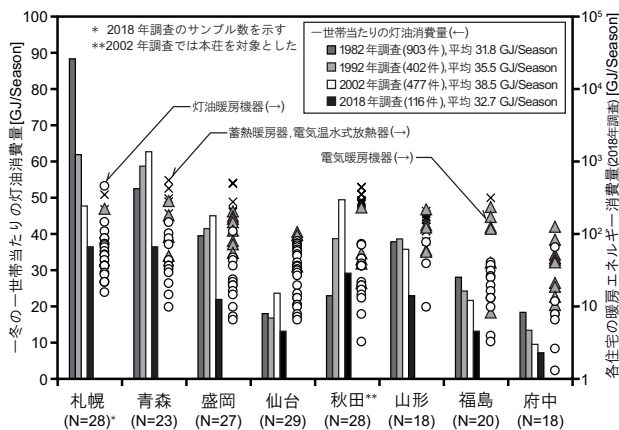


図-3 各都市におけるエネルギー消費量の推移

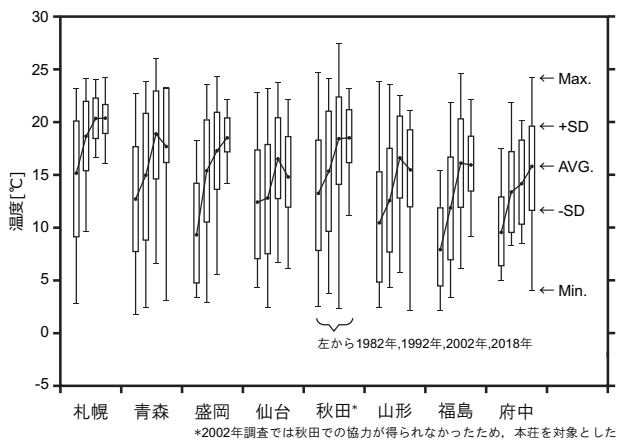


図-4 各都市における朝の居間室温の推移

## 4. 居住性能に及ぼす影響要因

### 4.1 マルチレベルモデルによる分析概要

暖房エネルギー消費量や室温に影響を及ぼす要因を明らかにするため、都市間と世帯間の効果を考慮した分析が可能であるマルチレベルモデルを適用して分析を行った。暖房エネルギー消費量と室温を目的変数とし、説明変数にはそれぞれに関連深いと考えられる変数を選択し、階層線形モデルを用いてモデルを構築した。

### 4.2 Nullモデルと最終モデルによる分析結果

暖房エネルギー消費量のNullモデルと最終モデルを表-2に示す。なお、Nullモデルとは階層線形モデルにおいて説明変数を投入しないモデルのことである。

Nullモデルより、階層性を表わすデザインエフェクトが基準の2.0を上回るため、本調査のデータには階層性があると判断でき、マルチレベルモデル適用の妥当性が示される。

最終モデルの変量効果より、切片と平均外気温の共分散が有意で、かつ負の値であることから、暖房エネルギー消費量の平均値が高い都市は、平均外気温が暖房エネルギー消費量を予測する程度が低いことがわかる。固定効果より、「蓄熱、電気温水暖房」、「空気の乾燥の程度」等の8項目が暖房エネルギー消費量に及ぼす世帯間の影響要因であり、「窓ガラス」は都市間の影響要因であることが明らかになった。全体として、ばらつきの要因は世帯レベルで影響していることが多いことがわかる。

## 5. 居住性能に関する地域特性の分析

### 5.1 多重コレスポンス分析による分析概要

東北地方の地域特性を明らかにするため、アンケート調査のうち「シェルター性能」、「設備特性」、「暖房形態」、「室内環境」、「居住者特性」に該当する代表的な25項目を因子とし、多重コレスポンス分析を行った。

### 5.2 分析結果による地域特性の考察

「シェルター性能」と、各々を代表する因子を用いた「居住性能」の分析結果を図-5, 6に示す。

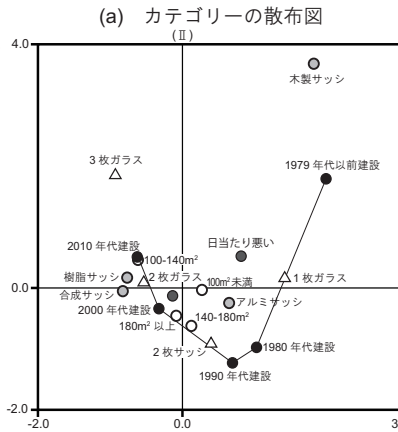
図-5より、中心に近い範囲が概ね類似しているため、地域性に関係なくシェルター性能は向上し、多くの住宅が最低限の水準を満たしているということが推察される。

図-6より、東北地方の各都市においても札幌市

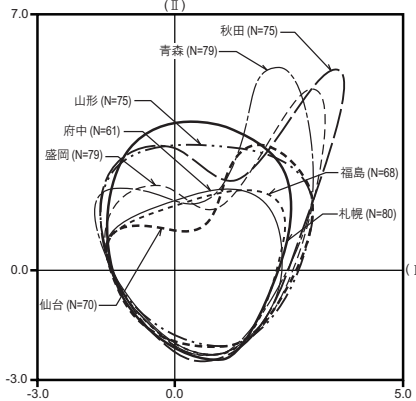
表-2 エネルギー消費量の結果

Nullモデル		推定値	標準誤差	有意水準	
固定効果	切片	90.60	15.11	***	
家量効果	残差の分散	11911.45	1292.12	***	
	切片の分散	1262.02	982.42		
逸脱度 (-2×対数尤度)		2176.99	パラメータ	3	
赤池情報基準	2180.99	度数	178		
Hurwich and Tsai 基準	2181.06	級内相関	0.096		
Bozdogan 基準	2189.35	デザイン	3.04		
ベイズ情報基準	2187.35	イフェクト			
最終モデル		推定値	標準誤差	有意水準	
固定効果	切片	109.033	8.662	***	
	世帯レベル	エアコン暖房	60.758	16.955	***
		HP温水暖房	54.077	25.944	**
		蓄熱・電気温水器暖房	172.671	21.287	***
		補助暖房の有無	-34.784	18.255	*
		居間暖房時間	-13.309	5.232	**
		深夜電力の有無	40.679	14.152	***
		起床時の寒さ	12.595	6.075	**
		空気の乾燥の程度	-23.367	8.261	***
	建物レベル	窓ガラス	229.773	54.704	*
家量効果	残差の分散	5156.612	574.849	***	
	切片の分散	.000000b	0.000		
	切片と平均外気温の共分散	-386.255	200.197	*	
	平均外気温の分散	205.419b	0.000		
逸脱度 (-2×対数尤度)		1922.256	パラメータ	14	
赤池情報基準	1930.256	度数	175		
Hurwich and Tsai 基準	1930.506				
Bozdogan 基準	1946.680				
ベイズ情報基準	1942.680				

b: この共分散パラメータは冗長である  
 \*\*\*: 1%水準, \*\*: 5%水準, \*: 10%水準

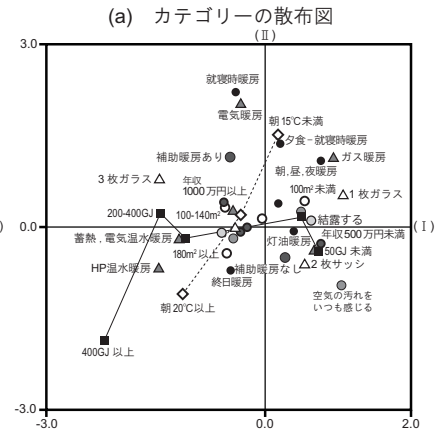


(a) カテゴリーの散布図 (II)

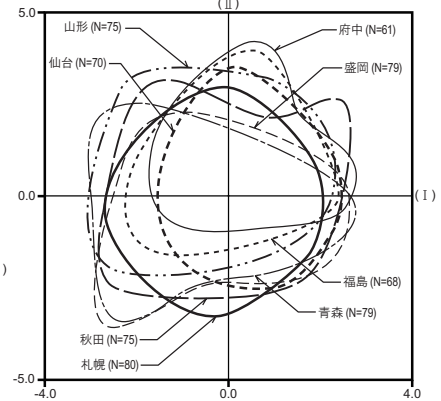


(b) 世帯の散布図から得られた各都市の範囲 (II)

図-5 シェルター性能の分析結果



(a) カテゴリーの散布図 (II)



(b) 世帯の散布図から得られた各都市の範囲 (II)

図-6 居住性能の分析結果

に近い性能を示す住宅があり、2002年の調査よりも地域性は曖昧になっている。東北地方の居住性能は都市内のばらつきが大きく、都市間の差は小さいが、概ね以下のグループに分類できる。i) 札幌市の居住性能と類似しているが、ばらつきの大きい青森市、盛岡市、秋田市、ii) ある程度上記 i) に近く水準の低い山形市、iii) 府中市に類似した仙台市、福島市。盛岡市と秋田市の居住性能が札幌市に近づいているなど、2002年の調査結果から地域特性は変化していることが確認できる。

6. まとめと今後の展望

東北地方都市部の住宅を対象に居住性能に関するアンケート調査を行い、過去の調査結果と比較するとともに、統計分析を行った。その結果、居住性能の現状や東北地方における地域特性など、全体像を把握することができた。

居住性能の都市間の差は小さくなったが、依然として世帯間のばらつきは大きい。今後は、水準の低い住宅の居住性能を高めるために、各地域に応じた合理的な対策を提示していく必要がある。

謝辞

本研究は、公益財団法人 LIXIL 住生活財団の調査研究助成（研究代表者：長谷川兼一、助成番号：17-32）の補助により実施したものである。本研究を行うにあたっては、関係各位にご理解と多大なる協力をいただいた。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・研究倫理審査委員会の承認（受付番号第 17-31 号）を得ている。

参考文献

- 1) 吉野博, 長谷川房雄, 沢田紘次, 石川善美, 赤林伸一, 菊田道宣: 熱環境からみた冬期の居住性能に関する地域特性の分析 東北地方都市部を対象として, 日本建築学会論文報告集, 第 345 号, pp.92-103, 1984.10.
- 2) 気象庁ホームページ 過去の気象データ検索 <https://www.data.jma.go.jp>
- 3) 政府統計の総合窓口 平成 24 年就業構造基本調査, 総務省, 2013.07.12 <https://www.e-stat.go.jp>

B-5

戸建住宅の部分断熱改修が熱環境性能に及ぼす効果に関する研究

— 山形県鶴岡市内の事例を対象として —

○羽染優 (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)

Evaluation of Indoor Thermal Environmental Performance  
Before and After Partially Thermal Insulation Retrofit in Detached Houses  
Case Study of two houses located in Tsuruoka City

Hasome Masaru (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：断熱改修, 熱環境, 事例調査

1. はじめに

住宅の省エネルギー性能向上に対する関心の高まりや、増加する空き家を有効活用するための対策として、住宅ストックの省エネルギー化が挙げられる。断熱改修は、住宅の省エネルギー対策のひとつであるが、改修方法にはいくつか種類がある。そのうち部分断熱改修は、工期の短期化、居住者負担の軽減という利点が挙げられる。少子高齢化・小家族化により使用部屋数や生活範囲が限定されるとすれば、部分改修へのニーズは高まると予測され、住宅の断熱化の促進に期待される。しかし、部分断熱改修後における、非断熱部との温度差の拡大が懸念され、現状では実施事例が少ないのが現状である。

そこで本研究では、山形県鶴岡市内の部分断熱改修事例を対象とした実測調査と数値計算により、環境性能に関する基礎的資料の構築を目指す。

2. 調査住宅概要と外皮性能評価

2.1 調査住宅の概要

表-1に調査住宅の概要を示す。対象住宅は、山形県鶴岡市にある在来軸組工法の戸建住宅であり、2018年に部分断熱改修工事が行われた。

(1) SU邸：図-1にSU邸の平面図、改修範囲、写真-1に外観を示す。冬期の水廻りの凍結を理由に、居間を含めた生活空間を対象として部分改修を行った。SU邸では、居住者が生活しながらの改修



写真-1 SU邸外観写真



写真-2 A邸外観写真

表-1 調査住宅の概要

住宅名称	SU邸(部分改修)		A邸(部分改修)	
	改修前	改修後	改修前	改修後
所在地	山形県鶴岡市		山形県鶴岡市日和田町	
構造	在来木造		在来木造	
住宅形式	戸建住宅		戸建住宅	
家族構成	夫婦+子供2人+祖母(5人家族)		夫婦+子(3人家族)	
概要項目	改修前		改修後	
竣工年	1965年	2018年	1993年	2018年
延床面積	229.53㎡	229.53㎡	153.2㎡	153.2㎡
断熱材	天井・屋根	GW10K50mm	HGW16K200mm(天井)	GW10K 50mm HGW16K 100mm(天井)
	壁	なし	HGW16K100mm	GW10K 50mm HGW16K100mm
	床・基礎	なし	スタイロB340mm(基礎)	なし スタイロ 40mm(床)
窓	サッシ部	アルミ	樹脂, アルミ	アルミ 樹脂, アルミ
	ガラス部	単板	Low-e複層, 単板	単板 Low-e複層, 単板
暖房	設備(部屋)	こたつ(居間) ファンヒーター(居間)	エアコン(居間) こたつ(居間)	FF式(居間) ファンヒーター(寝室) ファンヒーター(寝室)
	形態	部分暖房	部分暖房	部分暖房 部分暖房
給湯設備	設備	石油	エコフィル	エコキュート エコキュート
	換気	換気扇のみ(居間)	第三種	パイプファン(台所) 第三種
熱源	給湯	灯油	灯油	電気 電気
	暖房	灯油	灯油, 電気	灯油, 電気 電気, 灯油
U <sub>A</sub> 値 [W/m <sup>2</sup> K]	全体	1.93	1.23	2.11 1.39
	改修部のみ	1.46	0.77	1.66 0.85

※GW: グラスウール HGW: 高性能グラスウール

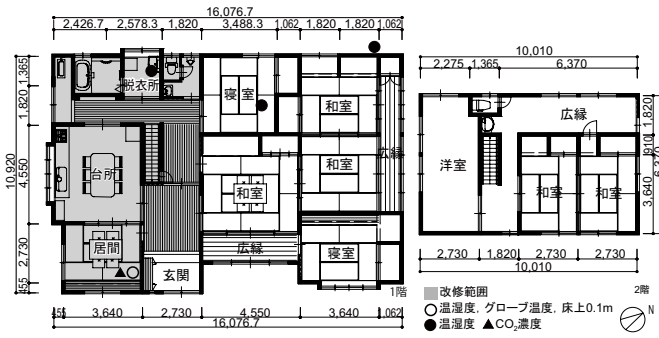


図-1 SU 邸改修前平面図および改修範囲

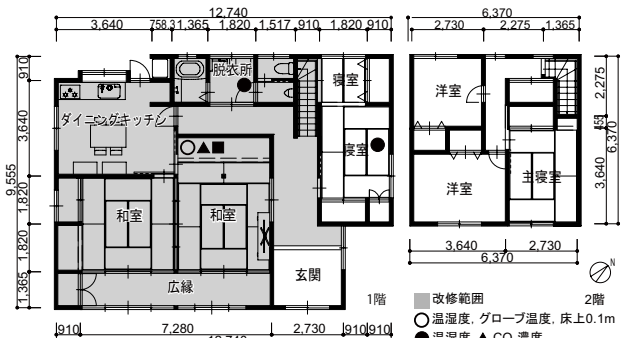


図-2 A 邸改修前平面図および改修範囲

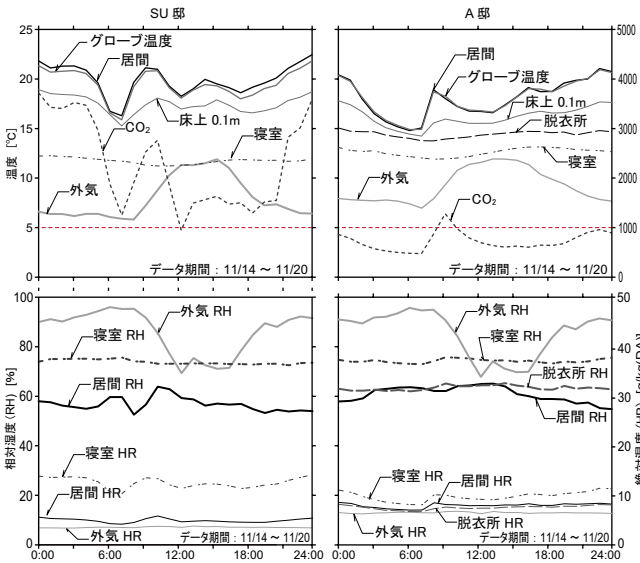


図-3 測定期間最寒週の時刻別平均温熱変動

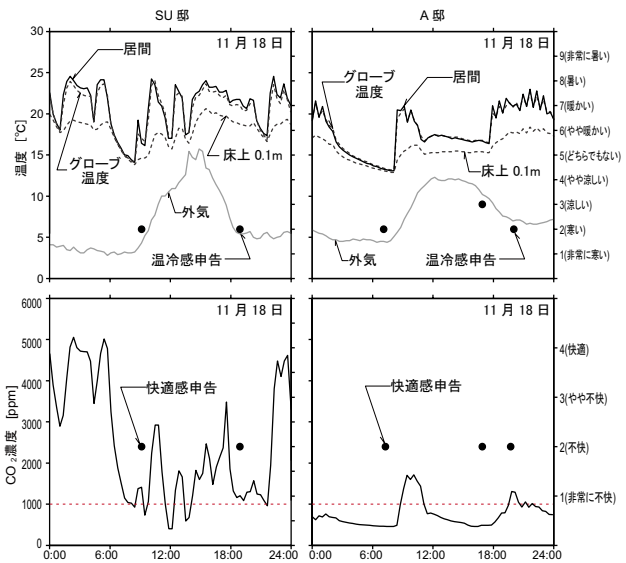


図-4 温度変動・温冷感に関する申告値 (代表日)

工事が実施されたことが特徴である。改修後は、既存の暖房設備を残しつつ、エアコンによる部分間歇暖房を行っている。換気設備には、第3種換気が設置された。

(2) A 邸 図-2 に A 邸の平面図、改修範囲、写真-2 に外観を示す。居間と水廻りの部分改修と共に、室内の床の高低差を解消するバリアフリー改修も行った。1階における改修範囲が広い為、居住者は、工事期間中に別の住まいで生活していた。改修前は、灯油 FF 式ヒータによる暖房が行われていたが、改修工事により撤去され、エアコンが設置された。

2.2 外皮平均熱貫流率 ( $U_A$  値)

設計図書<sup>1)</sup>に基づき、改修前、改修後(全体、改修部のみ)の  $U_A$  値を算定する。

改修前後を比較すると、SU 邸は  $1.93[W/(m^2K)]$  から  $1.23[W/(m^2K)]$ 、A 邸は  $2.11[W/(m^2K)]$  から  $1.39[W/(m^2K)]$  となり、基準値には満たないものの、外皮性能の向上が確認された。また、改修部のみ

では、SU 邸で  $1.46[W/(m^2K)]$  から  $0.77[W/(m^2K)]$ 、A 邸は  $1.66[W/(m^2K)]$  から  $0.85[W/(m^2K)]$  となり、基準値 ( $0.75[W/(m^2K)]$ ) に近づくことが確認された。

3. 改修前における室内温熱環境実測

3.1 実測調査概要

図-1、図-2 に示す地点に測定器を設置し、温湿度と  $CO_2$  濃度を 20 分間隔で測定している。また、居住者に居間の熱環境に対する温冷感に関する申告を依頼した。

3.2 時刻別温熱変動

図-3 に 9/30 ~ 11/20 の中で最も気温の低い 1 週間における時刻別平均の温湿度を示す。

図-3 より、SU 邸、A 邸共に、明け方にかけて居間温度が低下し、朝方に上昇していることから、暖房によって室温が保たれていると考えられる。

SU 邸は、朝晩に  $CO_2$  濃度が上昇しているため、開放型の石油ファンヒータが使用されていたと考えられる。

A邸は、灯油FF式ヒータを使用しているため、CO<sub>2</sub>濃度の急激な上昇が見られない。

居間は、居間温度とグローブ温度の差は小さいが、床上0.1mとの上下温度差は、最大3℃程度の差が確認できる。どちらの住宅も床下には断熱が施されておらず、今回の改修工事による床下断熱によって改善が見込まれる。

### 3.3 温度変動と温冷感に関する申告

図-4に代表日における温度変動と温冷感に関する申告値を示す。朝に、温冷感2(寒い)と快適感2(不快)と申告している。そこから室温の上昇が見られることから、居住者が寒さを緩和するため、暖房運転を行ったと推察される。夜間に、居間温度が20℃前後であるにもかかわらず、温冷感2(寒い)と快適感2(不快)と申告しているが、上下温度差が拡大したこと、外気温が低下していることが理由として挙げられる。

### 3.4 実測値による温熱環境グレード評価

改修前の温熱環境を総合的に評価するため、吉野のグレード評価法<sup>2)</sup>に従って、室内の温熱環境を評価する各項目について、1(劣)～5(優)の5段階で評価した。表-2に、グレード評価表と評価結果を示す。なお、冬期の実測の機会は何もなかったため、実測期間中において、外気温が最も低い11/14～11/20の期間で評価する。

全グレードは、SU邸で3.2、A邸で3.4となり、改修前の温熱環境は平均的なレベルであることが確認できた。

## 4. 温熱環境と暖房負荷に関する数値計算

### 4.1 計算概要

部分断熱改修が温熱環境と暖房負荷に及ぼす効果を検討するため、動的熱負荷計算ツールTRNSYS18<sup>3)</sup>を用いて、SU邸における各室温度と暖房負荷を算出する。

表-3に数値計算モデルの断熱計画を考慮した計算ケースを示す。改修前後のケースは、SU邸における事例調査に基づく。改善案は、生活の中心である居間の更なる断熱改修を想定し、断熱性能を高めている。

表-4に計算条件を示す。家族構成は、夫婦と子供2人(いずれも勤め人)、祖母の5人世帯とし、気象条件は拡張アメダス気象データ<sup>4)</sup>の山形県鶴岡市(標準年)を用いた。

表-5に在室スケジュールを示す。暖冷房条件として、暖冷房期間は生活スケジュール自動作成プログラムSCHEDULE Ver.2.0<sup>5)</sup>によって出力

表-2 改修前の実測調査による温熱環境グレード評価結果

グレード		1	2	3	4	5	SU邸	A邸	
居間温度	団らん時	床上1.1mの温度	12	15	18	21	24	3 (20℃)	3 (20℃)
		上下温度差 <sup>*1</sup>	10	8	6	3	0	4 (3.1℃)	4 (3.1℃)
		グローブ温度差 <sup>*2</sup>	-3	-2	-1	0	1	3 (-0.5℃)	4 (-0.1℃)
	明け方の最低温度 <sup>*3</sup>	2	6	10	14	18	3 (13.8℃)	3 (13.2℃)	
寝室の温度(団らん時) <sup>*4</sup>		4	8	12	16	20	3 (11.8℃)	3 (12.9℃)	
便所・廊下の温度(団らん時) <sup>*4</sup>		2	5	8	11	14	-	-	
山形県部の住宅 高断熱・高気密の住宅 平均							3.2	3.4	

\*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。

表-3 数値計算モデルの断熱計画

概要項目	改修前	改修後	改善案		
断熱材	天井	GW10K50mm	HGW16K200mm	HGW16K200mm	
	壁	外壁	なし	HGW16K100mm	HGW16K100mm
		内壁	なし	HGW16K50mm(断熱部)	HGW16K50mm(断熱部) HGW16K100mm(居間)
	床	なし	スタイロB3 40mm	スタイロB3 40mm	
窓	アルミ+単板	樹脂+Low-e複層 アルミ+単板+内樹脂サッシ	居間：樹脂+Low-e複層 その他：改修後と同様		

※GW：グラスウール HGW：高性能グラスウール

表-4 数値計算条件

項目	計算条件	
家族構成	5人 (夫婦+子供2人+祖母)	
住宅属性	木造住宅 (229.53 m <sup>2</sup> )	
気象条件	山形県鶴岡市(標準年) <sup>6)</sup>	
暖冷房	室	居間, 主寝室, 子供部屋
	条件	在室時暖冷房 暖房: 20℃ 冷房: 26℃
換気条件	室内: 0.5回/h 屋根裏等1回/h	

表-5 在室スケジュール

冬期平日	時間	暖房 20℃				冷房 26℃								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
主寝室	AM													
	PM													
居間	AM													
	PM													
子供室1	AM													
	PM													
子供室2	AM													
	PM													

された在室状況に合わせ、暖房20℃、冷房26℃に設定する。所有機器条件として、SCHEDULE Ver.2.0<sup>5)</sup>のデフォルトを用いる。

なお、数値計算を行うにあたり、実測値との照合を行い、数値計算モデルの精度検証を行っている。今回の数値計算モデルは、実測値と大きく乖

離していないことを確認している。

#### 4.2 計算結果

##### 4.2.1 年間暖房負荷

図-5に数値計算による年間暖房負荷を示す。改修後に総負荷が減少したが、この理由として、主な改修部である居間の暖房負荷が、13.2[GJ]から6.9[GJ]に減少したことが挙げられる。よって、断熱部において、暖房負荷の削減効果が大きいことが確認できた。改善案に関しては、改修後からの変化は大きくない。

##### 4.2.3 温熱環境グレード評価

表-6にグレード評価を示す。使用データには、1月のデータを用いた。居間に関する項目においては、改善が見られ、グローブ温度差と明け方の最低室温に関しては、3℃程度の上昇が確認されたことから、居間の断熱性能が向上したことで、温熱環境が改善したといえる。一方、非断熱部や非暖房部において、低いグレードとなった。特に、居間の改修程度を高めるにつれて、廊下などの非暖房部の温度が低下する様子が見られた。改修前は、断熱境界が曖昧であり、熱が移動しやすい状態であったものの、居間の断熱性能が高まったことで、非断熱空間への熱移動が抑えられたためであると考えられる。

部分断熱改修は全体改修とは異なり、居間と廊下などのような断熱部と非断熱部での熱環境の差が拡大することが確認された。このような環境の差を緩和させるためには、改修範囲を広げることや適切な暖房計画を施すことが有効であると考えられるが、居住者の生活範囲を考慮して優先すべき空間を見定めた環境計画が必要になる。

#### 5. まとめ

本研究では、山形県鶴岡市内の改修事例に基づき、部分断熱改修が熱環境性能に及ぼす効果や課題について考察した。

部分断熱改修により、断熱部における温熱環境の改善と、暖房負荷の減少が確認された。一方で、断熱部と非断熱部における熱環境の差の拡大も確認された。

今後は、改修後における実測調査を行い、温熱環境や省エネルギー性能、居住者の健康性について検討するとともに、数値計算モデルの精度を高め、部分断熱改修の可能性を探っていく。

#### 謝辞

本研究における実測調査を行うにあたっては、(有)親和創建、ならびに対象住宅のご家族の皆様にご

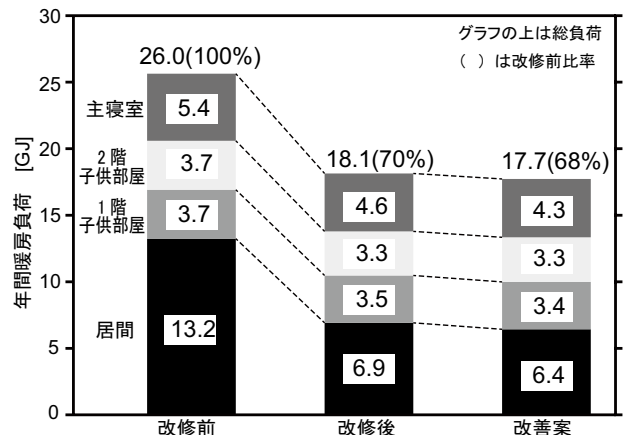


図-5 数値計算による年間暖房負荷

表-6 数値計算による温熱環境グレード評価

グレード		1	2	3	4	5	改修前	改修後	改善案	
居間温度	団らん時	床上1.1mの温度	12	15	18	21	24	3 (20℃)	3 (20℃)	3 (20℃)
		上下温度差 <sup>*1</sup>	10	8	6	3	0	-	-	-
		グローブ温度差 <sup>*2</sup>	-3	-2	-1	0	1	1 (-4.8℃)	2 (-2.0℃)	2 (-1.8℃)
	明け方の最低温度 <sup>*3</sup>	2	6	10	14	18	1 (1.5℃)	1 (4.3℃)	1 (5.0℃)	
寝室の温度(団らん時) <sup>*4</sup>		4	8	12	16	20	2 (9.0℃)	1 (7.2℃)	1 (7.2℃)	
便所・廊下の温度(団らん時) <sup>*4</sup>		2	5	8	11	14	1 (3.9℃)	1 (3.3℃)	1 (2.9℃)	
山形県郡部の住宅 高断熱・高気密の住宅 平均							1.6	1.6	1.6	

\*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。

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。

なお、本研究に対しては、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認(受付番号18-19号)を得ている。

#### 参考文献

- 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
- 長谷川房雄, 吉野博ほか：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集, 第371号, pp.18-26, 1987.1.
- Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin Madison.
- 日本建築学会：拡張アメダスデータ 1981-2000, 2005.8.
- 空気調和・衛生工学会・住宅エネルギーシミュレーション小委員会：生活スケジュール自動作成プログラム, SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル, 2003.4.



# B-6

## 戸建住宅における健康リスク低減のための居住リテラシーに関する調査研究

### － 統計手法を用いた室内環境形成要因の分析 －

○三澤彩乃（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）

Questionnaire survey of Health Literacy for indoor Environment in Detached Houses

Analysis of association between adverse health effects and indoor environmental factors

Misawa Ayano (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：居住リテラシー，アンケート調査，統計手法，戸建住宅

### 1. はじめに

戸建住宅の環境性能を高めるため，省エネルギー基準に適合させることが，今後ますます重視される。しかし，断熱性能や設備性能が高くと，技術の使用や住まい方に誤りがあれば，意図した環境性能を発揮することができず，逆に，環境汚染を招くことが想定される。住宅での健康リスク要因には，空気汚染によるシックハウス症状やヒートショックによる循環器系の疾患，寒冷環境への曝露による低体温症，過度な温度上昇に伴う熱中症など，いくつか挙げられる。住宅で適切に住まう知識や行動を居住リテラシー<sup>注1)</sup>と定義すると，健康リスクの原因の多くは，居住リテラシーの欠如が関連していると考えられる。従って，住宅内での健康リスクを低減させるために，居住リテラシーの涵養は不可欠である。

本研究では，居住環境に関する全国規模のアンケート調査により，居住リテラシーの健康リスク低減に資する知識を整理するとともに，統計手法を用いて居住リテラシーと室内環境，健康に関する因果構造を明らかにする。

### 2. 調査概要

#### 2.1 調査方法

インターネットを通じて，Web 調査を行った。対象対象は，寒冷地を中心に，北海道，宮城県，秋田県，東京都，福井県，長崎県の6都道県の戸建住宅に居住している世帯とした。事前にインターネットユーザより抽出した条件に見合う5,891世帯に調査への協力を依頼し，2,085世帯からの有効回答を得た（回収率は35.4%）。

### 2.2 調査項目

質問内容を表-1に示す。質問は，「回答者属性」「住宅属性」「設備」「住まい方」「知識・対策」に大別される。特に，「知識・対策」では，健康リスクに関連する居住リテラシーについての質問とした。なお，回答者の職業・年齢・性別・家族構成については，インターネット調査会社から情報を得ている。

表-1 アンケート調査項目

回答者属性	年齢, 性別, 職業
住宅属性	建築年, 工法, 床材, 窓
設備	換気扇・給気口設置場所, 暖房器具, 熱交換機能・24時間換気システム・浴室暖房設備の有無
住まい方	設備の使用・清掃状況, 設定温湿度, 結露・カビ・臭気の発生, 乾燥による身体的症状, 住宅内の体調の不調
知識・対策	カビ・湿気・ダニ・入浴事故・空気汚染・インフルエンザ・熱中症対策, ヒートショック・シックハウス・熱中症についての知識

### 3. 記述統計による単純集計結果

表-2に主な結果を示す。回答者の性別は，男性の割合が若干高い。年代については，40代と50代の割合が高く，全体の半数を占め，60代以上の回答者は全体の30%近くになっている。

住宅の建築年は，昭和61～平成7年，平成8年～平成15年，平成16年～平成25年がそれぞれ20%程度ある。断熱等級に関しては，居間の窓ガラスの枚数と窓枠の材質を組み合わせで判別<sup>1)</sup>した。断熱等級2が50%近く，断熱等級3が30%近くあるが，地域によるばらつきが大きい。居室の換気方式は，換気扇と給気口位置を組み合わせで判別したが，換気設備を有していない住宅もあり，不明・なしが多い。

24時間換気システムの使用頻度は，24時間換気システムを有する住宅のうち，70%以上が1年中常

に使用しているが、温暖な地域ではその割合がやや低い。冬期の暖房時間は、居間については60%近くが在室時のみ、30%近くが1日中暖房をしている。冬期の脱衣所・浴室の寒さは、40%程度がやや寒い、30%程度が寒い、20%がどちらでもない、10%が非常に寒いと感じている。

健康リスクへの対策は、カビ・湿気、インフルエンザ、熱中症対策については、70%～80%が実施しているが、入浴事故、ダニ対策では半数が、化学物質による空気汚染対策では、60%が対策していない。

表-2 単純集計

調査項目		北海道 N=528	本州 N=1472	長崎 N=92	
		度数 (%)	度数 (%)	度数 (%)	
性別	男性	283 (53.6)	854 (58.0)	48 (52.2)	
	女性	245 (46.4)	611 (41.5)	44 (47.8)	
年代	20-29歳	20 (3.8)	68 (4.6)	9 (9.8)	
	30-39歳	71 (13.4)	135 (9.2)	14 (15.2)	
	40-49歳	127 (24.1)	355 (24.1)	23 (25.0)	
	50-59歳	162 (30.7)	503 (34.2)	23 (25.0)	
	60-69歳	148 (28.0)	404 (27.4)	23 (25.0)	
住宅の築年	昭和50年以前	42 (8.0)	140 (9.5)	11 (12.0)	
	昭和51年～昭和60年	70 (13.3)	154 (10.5)	9 (9.8)	
	昭和61年～平成7年	140 (26.5)	301 (20.4)	24 (26.1)	
	平成8年～平成15年	105 (19.9)	336 (22.8)	13 (14.1)	
	平成16年～平成25年	90 (17.0)	346 (23.5)	17 (18.5)	
	平成26年以降	33 (6.3)	98 (6.7)	5 (5.4)	
	不明	48 (9.1)	90 (6.1)	13 (14.1)	
断熱等級	断熱等級1	89 (16.9)	159 (10.8)	0 (0.0)	
	断熱等級2	181 (34.3)	763 (51.8)	53 (57.6)	
	断熱等級3	185 (35.0)	385 (26.2)	31 (33.7)	
	断熱等級4	37 (7.0)	110 (7.5)	6 (6.5)	
	不明	36 (6.8)	48 (3.3)	2 (2.2)	
換気方式	1種個別	41 (7.8)	91 (6.2)	12 (13.0)	
	1種交換	48 (9.1)	117 (7.9)	12 (13.0)	
	3種ダクト式	140 (26.5)	261 (17.7)	8 (8.7)	
	3種ダクトなし	180 (34.1)	408 (27.7)	12 (13.0)	
	不明・なし	119 (22.5)	588 (39.9)	48 (52.2)	
設定温度に対する評価	寒い	14 (2.7)	44 (3.0)	5 (5.4)	
	やや寒い	144 (27.3)	433 (29.4)	25 (27.2)	
	ちょうど良い	358 (67.8)	948 (64.4)	59 (64.1)	
	やや暑い	12 (2.3)	38 (2.6)	3 (3.3)	
	暑い	0 (0.0)	2 (0.1)	0 (0.0)	
設定湿度に対する評価	乾いている	27 (5.1)	67 (4.6)	5 (5.4)	
	やや乾いている	172 (32.6)	471 (32.0)	29 (31.5)	
	ちょうど良い	317 (60.0)	898 (61.0)	55 (59.8)	
	やや湿っている	9 (1.7)	23 (1.6)	3 (3.3)	
	湿っている	3 (0.6)	6 (0.4)	0 (0.0)	
乾燥による身体等への影響	のどが渇く	143 (27.1)	429 (29.1)	29 (31.5)	
	くちびるが渇く	144 (27.3)	454 (30.8)	22 (23.9)	
	肌がかさつく	131 (24.8)	387 (26.3)	22 (23.9)	
	肌がかゆくなる	118 (22.3)	278 (18.9)	23 (25.0)	
	目が乾く(ドライアイ)	52 (9.8)	201 (13.7)	12 (13.0)	
	静電気がおこる	119 (22.5)	332 (22.6)	18 (19.6)	
	その他	1 (0.2)	3 (0.2)	0 (0.0)	
	特になし	197 (37.3)	516 (35.1)	28 (30.4)	
	24時間換気システム使用頻度	1年中常に使用	136 (25.8)	283 (19.2)	8 (8.7)
		寒い時期のみ使用	7 (1.3)	11 (0.8)	3 (3.3)
暑い時期のみ使用		17 (3.2)	24 (1.7)	3 (3.3)	
在宅時のみ使用		3 (0.6)	18 (1.3)	1 (1.1)	
使用していない		2 (0.4)	59 (4.1)	3 (3.3)	
その他	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)		
冬期暖房時間	居間は1日中暖房	313 (59.3)	266 (18.1)	13 (14.1)	
	居間は人がいる時のみ暖房	172 (32.6)	1010 (68.6)	63 (68.5)	
	寝室は1日中暖房	89 (16.9)	39 (2.6)	2 (2.2)	
	寝室は就寝時に暖房	65 (12.3)	330 (22.4)	13 (14.1)	
	寝室は起床時に暖房	59 (11.2)	206 (14.0)	10 (10.9)	
	ほとんど暖房していない	14 (2.7)	108 (7.3)	10 (10.9)	
	その他	7 (1.3)	14 (1.0)	1 (1.1)	
冬期の脱衣所・浴室の寒さ	非常に寒い	28 (5.3)	186 (12.6)	20 (21.7)	
	寒い	79 (15.0)	534 (36.3)	29 (31.5)	
	やや寒い	222 (42.0)	566 (38.5)	33 (35.9)	
	どちらでもない	195 (36.9)	175 (11.9)	10 (10.9)	
	やや暑い	3 (0.6)	2 (0.1)	0 (0.0)	
暑い	1 (0.2)	2 (0.1)	0 (0.0)		
カビ湿気対策	している	418 (79.2)	1179 (80.1)	73 (79.3)	
	していない	110 (20.8)	293 (19.9)	19 (20.7)	
ダニ対策	している	239 (45.3)	789 (53.6)	54 (58.7)	
	していない	289 (54.7)	683 (46.4)	38 (41.3)	
入浴事故対策	している	264 (50.0)	815 (55.4)	51 (55.4)	
	していない	264 (50.0)	657 (44.6)	41 (44.6)	
化学物質による空気汚染対策	している	185 (35.0)	576 (39.1)	33 (35.9)	
	していない	343 (65.0)	896 (60.9)	59 (64.1)	
インフルエンザ対策	している	379 (71.8)	1098 (74.6)	66 (71.7)	
	していない	149 (28.2)	374 (25.4)	26 (28.3)	
熱中症対策	している	370 (70.1)	1195 (81.2)	72 (78.3)	
	していない	158 (29.9)	277 (18.8)	20 (21.7)	

表-3 ロジスティック回帰分析の結果(結露)

要因	有意確率	オッズ比	95% 信頼区間	
			下限	上限
24時間換気システムや換気扇を常に稼働させている	いいえ はい	.00	1.00 .57	.43 .75
部屋の窓や壁などの結露水をふき取っている	いいえ はい	.00	1.00 9.25	5.65 15.15
天気の良い日は、窓を開け通風に心掛ける	いいえ はい	.12	1.00 1.19	.96 1.47
家具を壁から少し離して置いている	いいえ はい	.04	1.00 1.42	1.02 1.98
薬剤を用いてカビを取り除いている	いいえ はい	.00	1.00 2.15	1.37 3.38
シックハウス症候群は住宅が原因となって発生する	知らない 知っている	.03	1.00 1.25	1.02 1.52
断熱等級	断熱等級4	.01	1.00	1.11
	断熱等級3	.00	1.64	2.42
	断熱等級2	.00	2.04	2.98
	断熱等級1	.00	3.09	5.05
	p for trend	.00		

交絡要因: 地域, 換気方式 Hosmer と Lemeshow の検定: 0.92 判別適合率: 64.6%

表-4 ロジスティック回帰分析の結果(浴室の寒さ)

要因	有意確率	オッズ比	95% 信頼区間	
			下限	上限
入浴前にシャワーを出して浴室内を温める	いいえ はい	.00	1.00 3.85	2.29 6.50
長湯をしない	いいえ はい	.07	1.00 1.60	.96 2.66
入浴事故は冬場に多い	知らない 知っている	.00	1.00 1.66	1.21 2.29
予防のためには、かかり湯をしてから浴槽に入ると良い	知らない 知っている	.03	1.00 1.64	1.04 2.57
断熱等級	断熱等級4	.01	1.00	1.22
	断熱等級3	.00	2.09	3.57
	断熱等級2	.00	4.48	7.52
	断熱等級1	.00	7.37	14.21
	p for trend	.00		

交絡要因: 地域, 換気方式 Hosmer と Lemeshow の検定: 0.65 判別適合率: 79.1%

#### 4. ロジスティック回帰分析による室内環境への影響分析

##### 4.1 解析概要

結露と浴室の寒さに関連する要因を把握するため、交絡要因の影響を除いた上でロジスティック回帰分析を行った。従属変数に結露のあり・なし、浴室の寒さのあり・なし、独立変数をそれぞれに対する知識や対策として調整オッズ比を算出した。

##### 4.2 結露についての分析結果

分析結果を表-3に示す。結露に関しては、5つの項目で有意(p<0.05)である。「24時間換気システムや換気扇を常に稼働させている」住宅では、オッズ比が1.00より小さく結露の発生確率が低い。「部屋の窓や壁などの結露水をふき取っている」、「家具を壁から少し離して置いている」、「薬剤を用いてカビを取り除いている」住宅では、オッズ比が1.00よりも大きく結露が発生しやすい。これらは、結露が発生したために対策が行われている可能性が高い。また、「シックハウス症候群は住宅が原因となって発生する」ことを知っている場合、オッズ比が1.00よりも大きく結露が発生しやすいことが分かる。知識のある人の方が、結露の発生に敏感であるということが反映されていると考えられる。

### 4.3 室内の寒さについての分析結果

分析結果を表-4に示す。浴室の寒さに関しては、3つの項目で有意 ( $p < 0.05$ ) である。「入浴前にシャワーを出して浴室を温める」住宅では、オッズ比が1.00よりも大きく浴室が寒い傾向にある。結露等と同様に、対策が浴室の寒さに影響しているのではなく、浴室の寒さが対策に影響しており、浴室が寒いために対策が行われている可能性が示唆される。また、「入浴事故は冬場に多い」ことや、「ヒートショックの予防のためには、かかり湯をしてから浴槽に入ると良い」ことを知っている場合、オッズ比が1.00よりも大きく浴室が寒い傾向にある。知識のある人の方が、寒さに敏感であることが反映されていると考えられる。

## 5. 共分散構造分析による室内環境・健康の因果構造分析

### 5.1 解析概要

アンケート調査により得られたデータを用いて室内環境と健康に関する因果構造を共分散構造分析により分析した。共分散構造分析とは、直接観測できない潜在変数(図-1～図-3の4つの○囲みの因子)を用いて、構成概念間の関係を検討する統計手法である。

### 5.2 室内環境形成要因構造モデル

結露・カビ・臭気の発生についての室内環境の形成に関する因果構造モデルを図-1に示す。有意確率  $p$  は0.01以下、GFI(Good Fitness Index)は0.95以上となり、適合度は高い。図1より、「カビ・湿気対策」、「化学物質による空気汚染対策」の2つの対策から「室内環境」に対するパス係数は大きくないが、室内環境に影響を与えていることが示唆される。「シックハウス・アレルギーの知識」においては、「室内環境」に対するパス係数は0.08となり、知識が室内環境に与える効果は小さい。「室内環境」の決定係数が0.17となり、「カビ・湿気対策」、「化学物質による空気汚染対策」、「シックハウス・アレルギーの知識」で室内環境の17%を説明できている。

次に、住宅内の寒さについての室内環境の形成に関する因果構造モデルを図-2に示す。有意確率は0.01以下、GFIは0.95以上となった。図2より、「室内環境」から「浴室の寒さ」、「トイレの寒さ」に対するパス係数がともに0.8以上あり、2つの因子が室内環境に大きな影響を与えていると考えられる。「入浴事故対策」、「ヒートショックの知識」から「室内環境」に対するパス係数については、大きいとは言えないが、2つの因子が室内環境に少なからず影響を

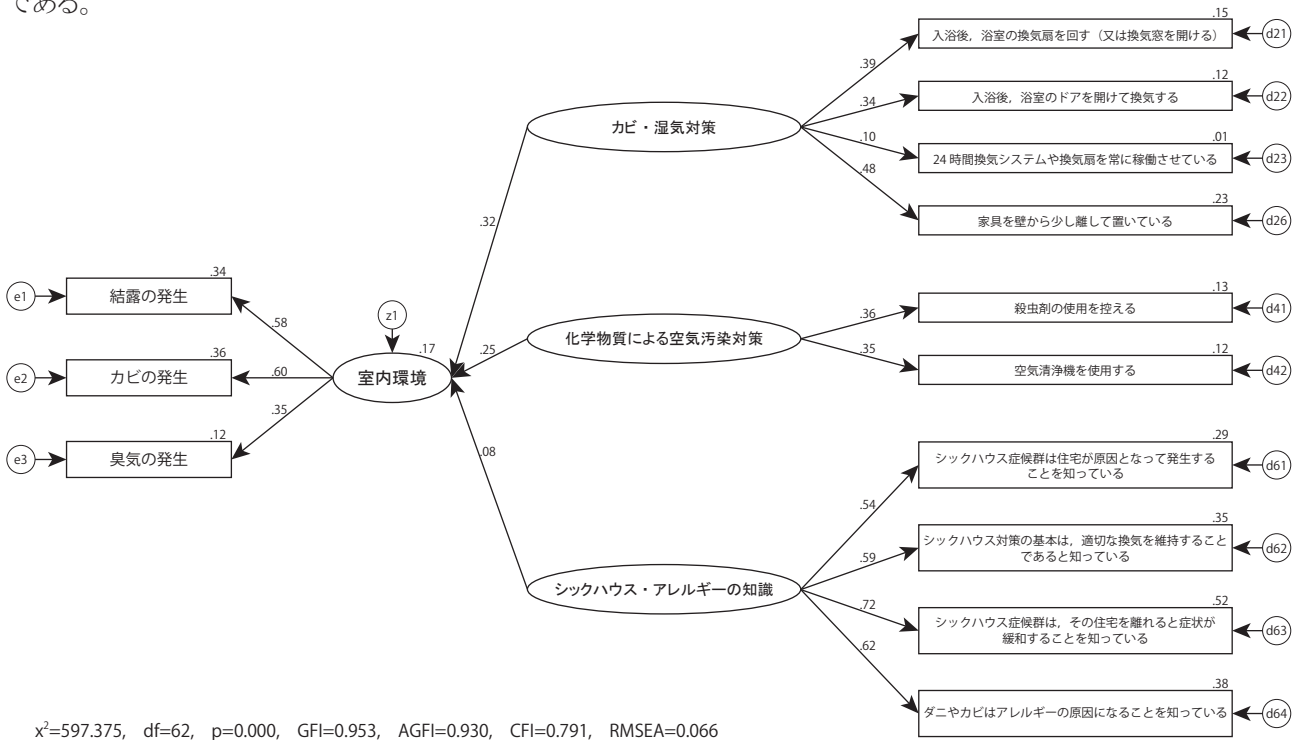


図-1 室内環境の形成に関する因果構造モデル (結露・カビ・臭気)

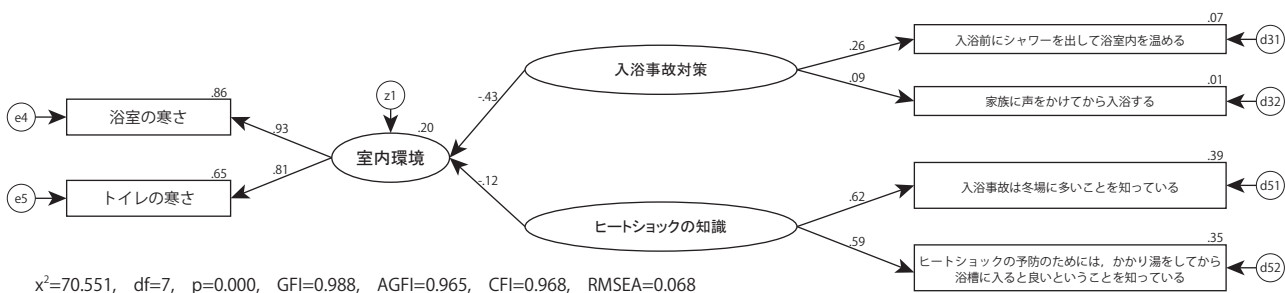


図-2 室内環境の形成に関する因果構造モデル（住宅内の寒さ）

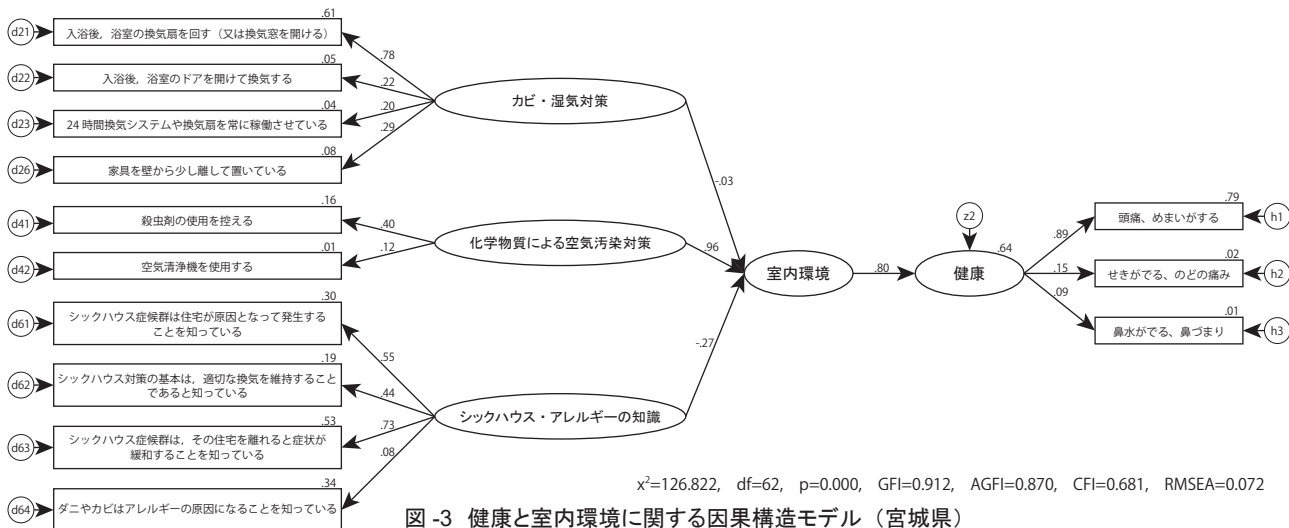


図-3 健康と室内環境に関する因果構造モデル（宮城県）

与えていることが読み取れる。また、「室内環境」の決定係数が 0.20 となり、入浴事故対策、ヒートショックの知識で室内環境の 20% を説明できている。

### 5.3 健康形成要因構造モデル

宮城県の住宅を例にとり、健康と室内環境に関する因果構造モデルを図-3 に示す。有意確率は 0.01 以下、GFI は 0.90 以上となった。図 3 より、「化学物質による空気汚染対策」から「室内環境」に対するパス係数は 0.98 となり、室内環境に対する影響が大きい。「室内環境」から「健康」に対するパス係数は 0.80 となり、室内環境が健康に与える影響が大きいと言える。また、「健康」の決定係数も 0.64 と大きく、室内環境によって健康の 64% が説明されることが示唆される。

## 6. まとめ

居住環境に関する全国規模のアンケート調査を実施し、居住リテラシーと室内環境、健康についての因果構造を明らかにするために、ロジスティック回帰分析や共分散構造分析を行った。その結果、居住者の健康リスクに対する対策や知識が少なからず室

内環境に影響していることが示唆された。

今後は、地域性なども考慮して居住リテラシーについての知見を蓄積していく予定である。

## 謝辞

本研究は、科学研究費補助金・基盤研究 (A) 「超高齢・省エネ時代の居住に係る健康リスクとリテラシー効果の推定 (研究代表者: 林基哉, 課題番号: 16H02380) (平成 28 年度～平成 31 年度) の補助により実施したものである。本調査を行うにあたっては、調査に参加いただいた方々をはじめ、関係各位に多大なる協力をいただいた。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 (受付番号第 17-32 号) を得ている。

## 参考文献

1) 伊香賀俊治, 江口里佳, 村上周三, 岩前篤, 星且二, 水石仁, 川久保俊, 奥村公美: 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, Vol.76, No.666, pp.735-740, 2011 年。

**注釈** 注1) 本来は言語の識字率や読解記述力を意味するものであるが、最近では、「何らか表現されたものを適切に理解・解釈・分析し、改めて記述・表現する」能力という意味に使われている。

B-7

住宅のダンプネスと室内真菌汚染に関する事例調査

－ 特徴的な真菌叢に着目して －

○阿部光祐 (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 of Home Dampness and Indoor Fungal Contamination  
From the viewpoint of Fungal Flora on the floor

Abe Kousuke(Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード: ダンプネス, 真菌叢, 室内環境, 実測

1. はじめに

近年, 住宅のダンプネス(湿度が高い状態)や真菌(カビ)と健康影響との関連を報告した研究は多い。例えば, Jaakkola ら<sup>1)</sup>は特定の集団を長期にわたって追跡調査するコホート研究を行い, 乳幼児がアレルギー性鼻炎を発症するリスクとダンプネスや真菌との関連性を評価し, それらに因果関係があることを報告している。しかしながら, ダンプネスと真菌や住宅の特徴との関係について実測調査している研究は極めて少ない。

そこで, 本研究では, 9 件の戸建・集合住宅を対象とした訪問調査を行い, ダンプネスの程度<sup>2)</sup>や室内真菌叢, 住宅特性などを明らかにし, これらの関連性について考察する。

2. 調査住宅の概要

調査対象住宅の概要を表-1 に示す。住宅は栃木県宇都宮市の 4 件と山形県鶴岡市の 2 件, 宮城県

仙台市の 3 件の計 9 件である(以下それぞれ U-1~4, T-1~2, S-1~3 とする)。U-1~4 と T-1~2 は在来木造の戸建住宅, S-1~3 はそれぞれ RC 造, SRC 造一部 S, 鉄骨造の集合住宅である。家族構成は 1~5 人であり, 築年数は全て 10 年以上である。壁表面はビニルクロスや紙クロス, 塗り壁, せっこうボードで, 床表面はフローリングやカーペット, たたみである。窓のサッシ部はアルミや樹脂, 木, プラスチック, ガラス部は複層や単層である。在室時間はいずれの住宅も日中不在である。暖房設備はファンヒーターやエアコン, こたつ, 対流式温水暖房, FF 式で, 全てが在室時のみの運転である。換気設備は第 1 種や第 3 種機械換気のほか, 設置されていない住宅がある。換気設備の運転は終日運転や必要時のみである。結露やカビの対処として, 結露・カビの拭き取りや薬剤でカビを取り除いている。

表-1 調査住宅概要

住宅名称	U-1	U-2	U-3	U-4	T-1	T-2	S-1	S-2	S-3
所在地	栃木県宇都宮市				山形県鶴岡市		宮城県仙台市		
構造	在来木造				在来木造		RC造		鉄骨造
住宅形式	戸建住宅				戸建住宅		集合住宅		
家族構成	3人(夫婦, 子)	4人(夫婦, 子2)	3人(夫婦, 子)	4人(夫婦, 子2)	3人(夫婦, 子)	5人(夫婦, 子2, 祖母)	3人(夫婦, 子)	1人	1人
築年数	20年以上	10年以上20年未満	20年以上	10年以上20年未満	20年以上	20年以上	10年以上20年未満	20年以上	20年以上
壁表面	居間 ビニルクロス	居室 紙クロス, ふすま 紙クロス	ビニルクロス	塗り壁	塗り壁	塗り壁	ビニルクロス	せっこうボード	ビニルクロス
床表面	居間 フローリング	カーペット	フローリング	フローリング	カーペット たたみ	たたみ	フローリング カーペット	カーペット	フローリング カーペット
窓	サッシ部 アルミ	複層	複層	複層	複層	アルミ	アルミ	内ブラ外アルミ	アルミ
在室状況	日中不在	日中不在	不明	日中不在	7~13時不在	日中祖母のみ	8~18時不在	8時半~19,20時不在	9時半~18時不在
暖房設備	居間 石油ファンヒーター	ガスファンヒーター	エアコン	こたつ	対流式温水暖房	FF式	ファンヒーター	エアコン	エアコン
運転状況	居間 在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ	在室時のみ
換気設備	なし	第1種換気	第3種換気	なし	なし	なし	第3種	使用なし	なし
結露・カビの対処	なし	結露拭取 換気	薬剤でカビ除去 換気	結露・カビ拭取	結露・カビ拭取 換気, 除湿	結露拭取	なし	薬剤でカビ除去	結露防止シート
ダンプネス程度	評点 14.5	7	0	6.25	20	19	0	0	7
	ランク 4	2	1	1	4	4	1	1	2

### 3. 調査概要

調査対象住宅の9件について訪問調査を行った。この調査により、温湿度やCO<sub>2</sub>濃度、室内真菌叢のデータを得た。訪問時にアンケートを実施し、ダンプネスの程度や住まい方を尋ね、温湿度とCO<sub>2</sub>濃度は写真-1、写真-2に示すデータロガーを調査対象住宅に設置し測定した。床ダスト中の真菌は掃除機の間ノズルに紙パックを取り付け、居間と寝室の床ダストを捕集した。捕集したダストを次世代シーケンサによりDNA解析し、同定された真菌種ごとにOTU(Operational Taxonomic Unit)を抽出した。

### 4. 調査結果

ダンプネスの評価法<sup>2)</sup>によりダンプネスの程度を1~4のランクにより評価した。ランク1(ダンプネスの汚染度が最も低い)の住宅はU-3、S-1、S-2で、ランク4(ダンプネスの汚染度が最も高い)の住宅はU-1、T-1、T-2であった。

住まい方について、ダンプネスの程度が高い住宅では、暖房設備にファンヒーターやFF式を使用しており、換気設備はなく、台所の換気扇を使用していた。ダンプネスの程度が低い住宅では、暖房設備にエアコンを使用しており、換気設備は第3種機械換気を使用していた。

図-1~図-4にダンプネスの程度の異なる住宅の温湿度やCO<sub>2</sub>濃度を示す。図-1より温度に関して、同地域であるU-1、U-3でダンプネスの程度が高いほど温度が高い傾向が見られる。

図-2より相対湿度に関して、ダンプネスの程度が高いT-1、T-2では他の住宅に比べ相対湿度が高い。また、窓ガラスはいずれも単層であるため、結露しやすい状態であると考えられる。温度と同様に、U-1、U-3でダンプネスの程度が高いほど相対湿度が高い傾向が見られる。

図-3より絶対湿度に関して、U-1、U-3ではダンプネスの程度が高いほど絶対湿度が高い傾向が見られる。

図-4よりCO<sub>2</sub>濃度に関して、ダンプネスの程度が高いU-1、T-2のCO<sub>2</sub>濃度が高い。これは暖房設備にファンヒーターを使用しているためだと考えられる。



写真-1 温湿度測定

写真-2 CO<sub>2</sub>濃度測定

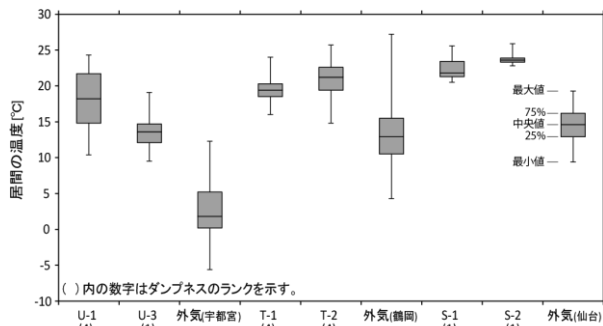


図-1 居間の温度分布

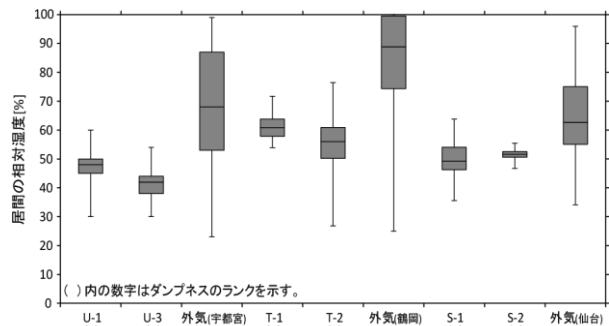


図-2 居間の相対湿度分布

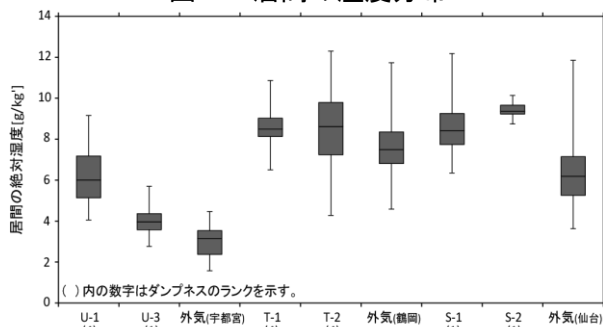


図-3 居間の絶対湿度分布

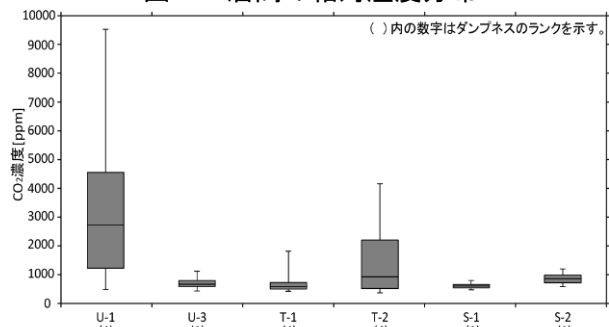


図-4 居間のCO<sub>2</sub>濃度分布

表-2 同定された真菌種の存在割合 (OTU)

36の真菌種との照合	U1寝室	U2寝室	U3寝室	U4寝室	T1寝室	T2寝室	S1寝室	S2寝室	S3寝室
<i>Aspergillus flavus</i>			0.09	0.02	0.00	0.00	0.00		0.00
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.02		0.01						
<i>Aspergillus niger</i>									
<i>Aspergillus ochraceus</i>					0.00	0.00	0.00		0.00
<i>Aspergillus penicillioides</i>	29.19	9.36	40.87	2.69	0.14	0.45	0.00	0.36	0.13
<i>Aureobasidium pullulans</i>	2.08	1.74	0.73	3.59	0.01	0.01	0.02	0.01	0.04
<i>Penicillium spinulosum</i>	0.13		0.04						
<i>Wallemia sebi</i>					0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
<i>Mucor group</i>					0.00	0.00			

36の真菌種との照合	U1寝室	U2寝室	U3寝室	U4寝室	T1寝室	T2寝室	S1寝室	S2寝室
<i>Aspergillus flavus</i>		0.01			0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Aspergillus fumigatus</i>	0.05							
<i>Aspergillus niger</i>							0.00	0.00
<i>Aspergillus ochraceus</i>					0.00	0.00		0.00
<i>Aspergillus penicillioides</i>	20.96	23.65	61.14	15.71	3.42	0.49	0.14	0.06
<i>Aureobasidium pullulans</i>	0.03	0.05	0.18	2.67	0.00	0.00	0.01	0.01
<i>Penicillium spinulosum</i>	0.24	0.00		0.07				
<i>Wallemia sebi</i>					0.00	0.00	0.00	0.00
<i>Mucor group</i>					0.00	0.00		

\*空欄は検出されていないことを示す

表-3 特徴的な真菌種の生育環境と有害性

真菌種	<i>Aspergillus</i> spp.	<i>Penicillium</i> spp.	<i>Mucor</i> spp.
生育環境	高温性(30~40℃) 耐乾性(85~95%RH)	中温性(20~30℃) 耐乾性(85~95%RH)	中温性(20~30℃) 好湿性(95%RH 以上)
有害性	フミトレモルゲン産生 アレルゲン 深在性真菌症	食品汚染	食品汚染

### 5. 特徴的な真菌叢に着目した考察

AliKamal ら<sup>3)</sup>は、36 の真菌種がダンプネスと関連深いと考え、環境相対カビ指数 (Environmental Relative Moldness Index, 以下 ERMI) を提示し、ERMI の有用性を 112 の住宅における床ダストを収集し、評価・検証した。本研究では、これら 36 の真菌種に着目し、同定された真菌種の存在割合を OTU を用いて示す。

表-2 に同定された真菌叢の OTU の割合を示す。ダンプネスの程度の高い U-1, T-1, T-2 と他の住宅の真菌叢を比較し、ダンプネスの程度との関係性を考察する。また、表-3 に示す特徴的な真菌種の生育環境と有害性の観点から、室内環境とを照合する。住宅の真菌叢を比較し、ダンプネスの程度との関係性を考察する。また、その真菌種の生育環境と室内環境とを照合する。

*Aspergillus fumigatus* , *Penicillium spinulosum* が居間・寝室ともに存在していたのが U-1 のみであり、*Mucor group* が居間・寝室

ともに存在していたのが T-1, 2 のみであった。ダンプネスの程度が高い住宅で見られた生育環境を見ると、*Aspergillus* spp. は高温性(30~40℃以上)・耐乾性(85~95%RH), *Penicillium* spp. は中温性(20~30℃)・耐乾性, *Mucor* spp. は中温性, 高温性・好湿性(95%RH 以上)である<sup>4)</sup>。

図-1 より温度に関して、U-1 の居間は 18℃前後、T-1, T-2 の居間は 20℃前後であった。また、図-2 より相対湿度に関して、U-1 の居間では 48%前後、T-1 の居間では 60%前後、T-2 の居間では 56%前後であった。いずれも真菌種の生育環境とは必ずしも一致していない。

空間を代表とする箇所の室内温湿度では、真菌種の生育環境とは必ずしも一致しているわけではない。これは、真菌を採取した床面と測定点の間に温湿度の差が生じているためと考えられる。室内の断熱性能が低いと温湿度の分布が大きくなるため、今回の結果はその影響を強く受けたものと考えられる。

## 6. まとめ

栃木県宇都宮市, 山形県鶴岡市, 宮城県仙台市の3地域の住宅に対し, 実測調査及びアンケート調査を行った。

アンケート調査の結果より, U-1, T-1, T-2のダンプネスの程度が高いということが分かった。

実測調査で得られた結果より, 居間の温湿度, CO<sub>2</sub>濃度に関して, 同地域内の住宅においてダンプネス程度との関連性が見られた。

また, 室内真菌叢に関しては, *Aspergillus fumigatus*, *Penicillium spinulosum*, *Mucor group*などの真菌種がダンプネスの程度の高い住宅でのみ存在した。

## 謝辞

本調査の一部は, 科研費・基盤研究B「住宅におけるDampnessの室内環境の解明と健康リスクマネジメント(課題番号: 17H03356)」の補助により実施した。実測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, 実測調査に対しては, 秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認(受付番号第17-34号)を得ている。

## 参考文献

- 1) Jouni J. K. Jaakkola, Bing-Fang Hwang, Maritta S. Jaakkola : Home Dampness and Molds as Determinants of Allergic Rhinitis in Childhood: A 6-Year, Population-based Cohort Study, American Journal of Epidemiology, Volume, 172, Issue 4, 15 August 2010, pp. 451-459.
- 2) 長谷川兼一, 鍵直樹, 坂口淳, 篠原直秀, 白石晴幸, 三田村輝章: 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) Ali Kamal, Janet Burke, Stephen Vesper, Stuart Batterman, Alan Vette, Christopher Godwin, Marina Chavez-Camarena, and Gary Norris : Applicability of the Environmental Relative Moldiness Index for Quantification of Residential Mold Contamination in an Air Pollution Health Effects Study : Hindawi Publishing Corporation Journal of Environmental and Public Health Volume 2014, Article ID 261357, 7 pages.
- 4) 株式会社テクノシステム かび検査マニュアルカラー図譜



# B-9

## 木造オフィスビルにおける環境計測とシミュレーションに関する研究

### その1 初冬における実測調査

○相澤 那樹 (セルコホーム株), 杉浦 洋一 (セルコホーム株), 許 雷 (東北工業大学)

#### Environmental Measurement and Simulation in a Wooden Office

#### Part 1 Measurement Results at the Beginning of Winter

Tomoki Aizawa(Selco Home Corp.), Yoichi Sugiura (Selco Home Corp.),  
Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：温度，CO<sub>2</sub>濃度，換気，暖房

#### はじめに

木造オフィスビルにおける温熱環境の調査、特に運用中の調査事例が少ないため、本研究ではセルコホーム株式会社の木造オフィスを対象として、室温、壁面温度などを計測し、事務室温熱環境を調査・分析する。また、室内のCO<sub>2</sub>濃度も計測し、室内環境を評価する。

### 1. 研究概要

#### 1.1 調査対象の概要

調査対象建築物は仙台市宮城野区に位置しており、木造（1時間準耐火構造）3階建ての事務所である。敷地面積は2846 m<sup>2</sup>、延べ床面積が988 m<sup>2</sup>の建物で、主に事務室、展示スペースとして利用されている。

実測は主に2階の会議室、3階の事務室を対象として実測を行った。本報では、事務室における温熱環境の実測を中心として説明する。

#### 1.2 実測概要

##### (1) 実測内容

事務室、廊下、外気等の温熱環境を把握するため、壁、天井、床面内側の温度、室内高さ方向3点（1.1m、1.8m、2.5m）の温度、中央のCO<sub>2</sub>濃度を計測した。外部条件として、屋上に外気温湿度、日射量を計測した。

室内にビルマルチ空調機（以下、暖房機器と略称する）と換気設備が設置されており、普通換気と全熱交換換気の切り替えができるため、暖房と換気off、暖房+普通換気と全熱交換換気の3つの運転モードで実測を行う。

##### (2) 計測ポイントの分布と計測機器

基本的に熱電対（温度）、日射計、温湿度計を用いて10分間隔で計測した。データロガーにてデ

ータを保存する。ArduinoボードとCO<sub>2</sub>センサー、CO<sub>2</sub>濃度計（ALNOR 8610）でCO<sub>2</sub>濃度及びを計測した。計測ポイントの分布を図1に示す。



図-1 計測ポイントの分布

#### (3) 実測期間

実測期間は2018年12月5日~12月11日である。6時~20時の実測データにより事務室の温熱環境を分析する。

### 2. 実測結果

#### 2.1 暖房と換気off時の温熱環境

12月5日（水）は休館日のため、暖房と換気を停止した。室内空気及び壁面の温度分布（空気温度は高さ方向3点の平均値である）を図2に示す。6:00から18:00の平均外気温度は11.4℃、最高気温は15℃である。日射量の最大値は450W/m<sup>2</sup>を超え、室温の最大値は25℃を超えている。

#### 2.2 暖房+普通換気時の温熱環境

12月8日（土）は営業日のため、暖房と普通換気を実施した。室内空気及び壁面の温度分布を図3に示す。昼間平均外気温度は3℃、最高気温は5.6℃である。昼間に晴れていたため日射量の最大値が500W/m<sup>2</sup>近くになっている。朝7時頃暖房が始まり、20時に停止した。暖房期間中、室温が25℃を超え、瞬時最大値が28℃を超えていた。暖房設定温度がやや高いことを確認した。

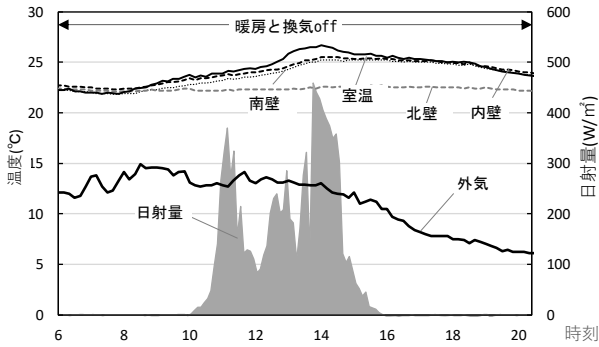


図-2 暖房と換気 off 時の温熱環境 (12/5)

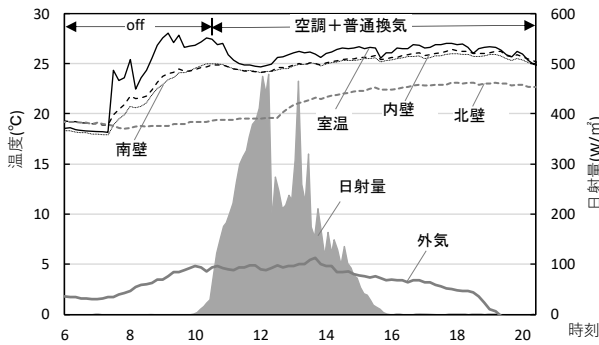


図-3 暖房+普通換気時の温熱環境 (12/8)

### 2.3 全熱交換換気時の温熱環境

前述のように、暖房時室温がやや高くなっているため、省エネルギーの観点から暖房運転時間を短めにして、全熱交換換気に切り替える。

12月7日(金)の室内空気及び壁面の温度分布を図4に示す。平均外気温度は8.7℃、最高気温は15.6℃(瞬時値)である。日射量の最大値は500W/m<sup>2</sup>を超えている。

朝8時頃暖房が始まり、暖房期間中最高室温が9時ごろ27℃を超えていた。10時に暖房を停止して、全熱交換器のみで運転した。20時まで、室温が24℃前後に維持していることを確認した。

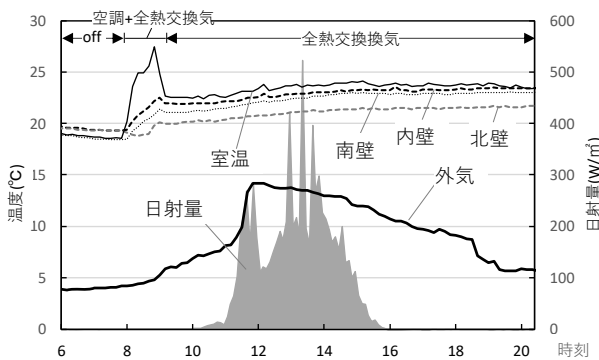


図-4 全熱交換換気時の温熱環境 (12/7)

### 2.4 全熱交換換気時のCO<sub>2</sub>濃度

12月7日(金)の事務室におけるCO<sub>2</sub>濃度の推移を図5に示す。9時前までは、CO<sub>2</sub>濃度は約420ppmであるが、在室者人数の上昇に伴い、CO<sub>2</sub>濃度が上昇し続けていた。12時頃、ピーク値の955ppm(CO<sub>2</sub>濃度計)になっていた。全熱交換換気を実施したため、室内のCO<sub>2</sub>濃度は1000ppm以下に維持できた。

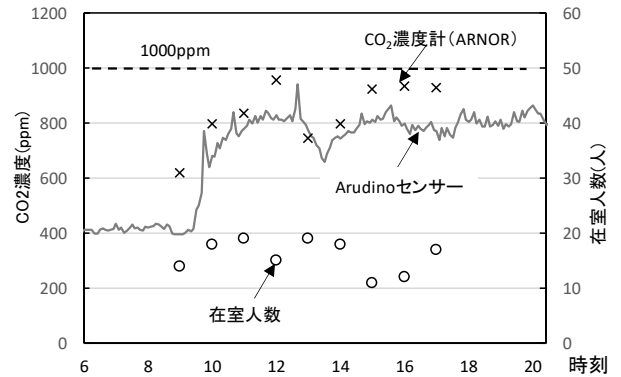


図-5 全熱交換換気時のCO<sub>2</sub>濃度分布 (12/7)

### 3. 結論

12月上旬では、外気温度が15℃以下になることが多いが、天候が良ければ、暖房をしなくても室温が20℃以上に維持できた。また、暖房と全熱交換換気で室内の温熱環境を確保できた。特に午前中には暖房を実施し、午後には全熱交換換気に切り替えることは省エネルギーに繋がると考えている。

さらに、在室者が20名以下であれば、室内のCO<sub>2</sub>濃度を1000ppm以下に維持できた。在室者の人数が増加した場合、換気量の確保が重要だと考えている。

### 謝辞

本実測調査は、東北工業大学大学院修士2年の横澤颯太君、大学4年生遠藤大輔君などの協力を得たものであり、ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) 遠藤大輔：木造オフィスビルにおける温熱環境の実測調査—初冬の実測結果について，東北工業大学建築学科卒業論文 2018年度

# B-10

## 木造オフィスビルにおける環境計測とシミュレーションに関する研究

### その2 初冬における暖房負荷の予測

○許 雷 (東北工業大学), 相澤 那樹 (セルコホーム㈱), 杉浦 洋一 (セルコホーム㈱)

Environmental Measurement and Simulation in a Wooden Office  
 Part2 Estimation of Heating Load at the Beginning of Winter  
 Lei Xu (Tohoku Institute of Technology), Tomoki Aizawa (Selco Home Corp.)  
 Yoichi Sugiura (Selco Home Corp.)

キーワード: 暖房負荷, 内部負荷, 換気負荷, 室温, 表面温度

#### はじめに

調査した建物では、ビルマルチ空調機が設置されており、空調負荷や電力消費量の詳細が表示されていない。また、建物では、合計電力しか計測しておらず、空調機器ごとの電力消費量は把握できない。空調機による建物の省エネルギー性などを評価するため、空調負荷の予測が必要である。本報では、初冬の実測データを用いて事務室の暖房負荷を予測する。

#### 1. 暖房負荷の計算方法

##### 1.1 室内空気のエネルギーバランス

実測では、壁面内側、天井、床面の温度などを計測しているため、室内空気のエネルギー収支を考慮し、ASHRAE<sup>1)</sup>が提案した式(1)より暖房負荷を計算する。

$$q_{conv} + q_{CE} + q_{IV} + q_{sys} = \rho C_p V \Delta t \quad (1)$$

ここに、

- $q_{conv}$ : 内表面からの対流熱量, W ;
- $q_{CE}$ : 内部負荷の対流分, W ;
- $q_{IV}$ : 換気とすき間風による顕熱負荷, W ;
- $q_{sys}$ : 暖房負荷, W ;
- $\rho C_p V \Delta t$ : 室内空気エネルギーの変化, W である。

##### 1.2 計算式の詳細及び設定

事務室における天井、床、壁など6つ内表面、そして南面窓、北面窓、西面窓の熱伝達を考え、式(2)により内表面からの対流熱量 $q_{conv}$ を計算する。

$$q_{conv} = \sum_{i=1}^6 \alpha_c A_i (t_i - t_a) + \sum_{i=1}^3 U_w A_{wi} (t_o - t_a) \quad (2)$$

ここに、

- $\alpha_c$ : 内表面からの対流熱伝達率, 本報では

5W/(m<sup>2</sup>・℃)とする。

$U_w$ : 窓の熱貫流率。Low-e 複層窓ガラスが設置されており、本報では $U_w$ を1.6W/(m<sup>2</sup>・℃)、日射透過率を0.4とする。

内部負荷( $q_{CE}$ )は主に在室者と照明・パソコンの発熱(顕熱)であり、内部負荷対流分の割合を表1に示す。コピー機の発熱量は無視した。また、実測中内側のブラインドが閉じたため、透過日射の内、50%を対流分として、内部負荷に加える。

表-1 内部負荷の設定

内部負荷種類	発熱量	対流分割 <sup>2)</sup>
人体	81 W/台	40%
照明	45W/台	50%
パソコン	100 W/台	70%

事務室には換気ファンを2台設置しており、換気とすき間風による顕熱負荷( $q_{IV}$ )は換気ファンの定格風量(150 m<sup>3</sup>/h)及び屋内外の温度差で計算する。すき間風の負荷は無視した。

時刻別室内空気温度の変化により、室内空気エネルギーの変化( $\rho C_p V \Delta t$ )を計算する。室容積は624m<sup>3</sup>である。

#### 2. 負荷計算用事務室のデータ

12月8日の実測データを例として、暖房負荷を計算する。実測期間中、7時から暖房運転が始まり、20時に停止した。

##### 2.1 各内表面温度・室温と日射量

データロガーで10分ごとに記録された温度、日射量(水平面)を時刻別に整理し、表2に示す。また、水平面全天日射量から各方位の日射量を計算する。

##### 2.2 内部負荷と換気負荷

調査データを踏まえ、時刻別在室者・照明機器・換気ファンの運転台数を設定する(表3)。

表-2 計測された各内表面・室温と日射量

時刻	日射量 W/m <sup>2</sup>	温度(°C)									
		外気	室温	天井面	床面	東壁	南壁	西壁	内壁	北壁	
6	0.0	0.8	18.5	19.0	19.6	19.3	18.3	18.8	19.3	19.2	
7	23.7	1.1	19.3	19.1	19.4	19.1	18.1	18.6	19.1	19.0	
8	175.2	5.5	23.8	22.5	21.0	21.3	20.4	19.5	21.3	18.7	
9	322.8	7.5	27.1	25.5	22.7	23.6	23.1	21.0	23.6	18.9	
10	396.8	8.8	27.1	25.5	23.9	24.5	24.6	21.9	24.5	19.2	
11	235.5	7.2	25.9	25.1	24.3	24.6	24.6	22.0	24.6	19.4	
12	291.7	7.9	25.0	24.7	24.1	24.3	24.2	21.9	24.3	19.6	
13	155.1	7.5	26.0	26.7	24.7	24.9	24.8	22.8	24.9	20.9	
14	117.6	6.3	26.1	26.9	24.9	25.2	25.1	23.4	25.2	21.8	
15	51.8	4.6	26.6	27.7	25.4	25.6	25.4	23.9	25.6	22.3	
16	7.5	3.1	26.2	27.5	25.5	25.6	25.5	24.0	25.6	22.5	
17	0.0	2.2	26.8	27.8	25.8	26.0	25.7	24.3	26.0	22.9	
18	0.0	1.5	26.8	27.9	26.0	26.2	25.9	24.5	26.2	23.1	
19	0.0	0.2	26.4	27.7	25.9	26.1	25.8	24.4	26.1	23.0	
20	0.0	-0.9	25.5	26.3	25.5	25.5	25.2	24.0	25.5	22.8	

表-3 在室者・照明機器・換気設備の計算条件

時刻	在室者 人数	照明器 具数	パソコン 台数	換気ファン 台数
7	3*	10*	3*	1*
8	5*	10*	5*	2*
9	15	38	15	2
10	15	38	15	2
11	20	38	20	2
12	20	38	20	2
13	20	38	20	2
14	15	38	15	2
15	15	38	15	2
16	15	38	15	2
17	15	38	15	2
18	10*	20*	10*	1*
19	10*	20*	10*	1*
20	5*	10*	5*	0*

注：\*は実測した温度などにより、推測した数字である。

### 3. 暖房負荷の予測

式(1)と上述した実測データから、暖房負荷を計算した。12月8日の暖房負荷を図1に示す。日中の外気温度は10°C以下である。7時から室温の上昇がみられており、暖房負荷は約13W/m<sup>2</sup>である。午前中は晴れ、10時に日射量が最大値397W/m<sup>2</sup>(水平面)となったが、室温が27.1°Cになっていたため、暖房負荷は最大値63W/m<sup>2</sup>弱になった。午後にも、室温が26°Cを超えており、かなり高い室温を維持していた。

また、曇天日12月6日の暖房負荷も計算した。11時に日射量が最大値は13W/m<sup>2</sup>であるが、日中外気温度は5°C以下になっていた。14時、15時の室温が26°Cを超えているため、暖房負荷の最大値は45W/m<sup>2</sup>弱となっていた。12月8日と同様に暖房負荷は室内温度の影響が強いことを確認した。

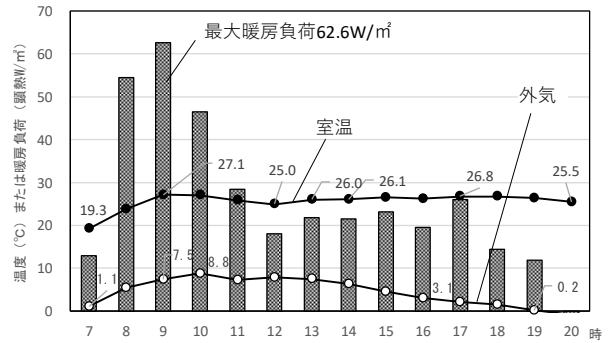


図-1 12月8日暖房負荷の予測

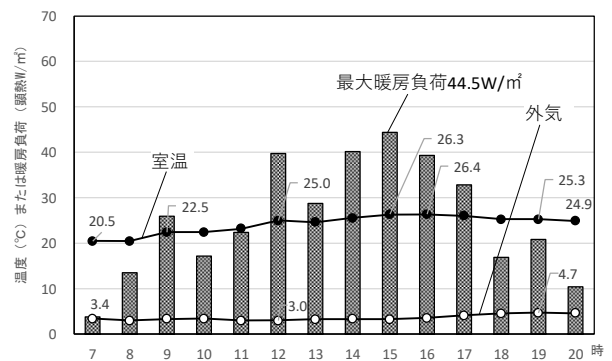


図-2 12月5日暖房負荷の予測

### 4. まとめ

12月上旬の実測データを用いて事務室の暖房負荷を予測した。外気温度が10°C以下になり、暖房負荷の最大値は約45~63W/m<sup>2</sup>である。室温が26°Cを超えると暖房負荷が大きくなる傾向にある。外部気象データの影響に比べ、室内温度の影響が大きく、室温の適切な管理が重要だと考えられる。また、本研究では、事務室にある机、椅子などのエネルギー変化は考慮しておらず、今後は計測項目の増加が必要である。

### 謝辞

本実測調査は、東北工業大学大学院修士2年の横澤颯太君、大学4年生遠藤大輔君などの協力を得たものであり、ここに記して謝意を表す。

### 参考文献

- 1) ASHREA: ASHRAE Handbook 2017 Fundamentals, pp.18.19
- 2) ASHREA: RTS Heating and Cooling Load 計算ツールの設定値

## B-11

### 戸建住宅及び集合住宅を対象とした省エネ・エコに関する意識調査

○渡部慎吾（東北学院大学），佐藤夏輝（東北学院大学），  
信太崇佑（東北学院大学），鈴木道哉（東北学院大学）

キーワード：省エネルギー，エコ，アンケート

#### はじめに

住宅の省エネ・エコ意識や行動に関する研究は首都圏などでは散見されるが、宮城県内ではあまり盛んに行われていない。そこで本研究では、仙台・多賀城エリアの住宅用太陽光発電を導入している家庭の省エネ・エコ意識の現状や家庭に導入している設備を調査し、あわせて住宅用太陽光発電非導入住宅、太陽光発電非導入集合住宅に対しても同様の調査をすることとした。また、その調査結果をもとに住宅用太陽光発電が消費電力量、省エネ意識またはエコ意識に影響をもたらすかを把握することとした。

#### 1. 調査概要

本調査はまず多賀城市内の戸建住宅、仙台市の集合住宅を対象に、太陽光発電設備の現状と住宅用設備の導入状況、また省エネ・エコに関するアンケート調査を行った。

アンケート結果をもとに、太陽光発電導入宅においては設備導入のメリット・デメリットや、設備導入がどれほど電力料金の削減につながっているかなどをグラフにまとめた。また、太陽光発電非導入宅との省エネ・エコ意識の差に違いがあるのか、その他質問項目との相関をグラフにし、まとめた。

戸建住宅と集合住宅間においても同様にまとめた。

加えてアンケート調査の結果をもとに太陽光発電設備導入のメリット・デメリットやその他の設備の実装状況、省エネ・エコに関する意識の違いなどの相関内容をまとめた。

#### 2. アンケート概要

##### 2.1 配布概要

多賀城市・仙台市の太陽光発電導入戸建住宅、非導入戸建住宅、非導入集合住宅に対してアンケートを配布した。戸建住宅は昨年の研究との比較をはかるため多賀城市内の住宅を対象とした。また、追加で子どもへのアンケートも行ったため、小中学校などの教育機関の周辺を意識した。集合住宅はファミリー層の賃貸・購買意欲の高まっている地域として仙台市の長町・小鶴新田駅周辺を配布対象とした。配布方法は直接訪問で、回収方法は返信用封筒を用いた郵送及び集合住宅においてはマンション内での一括回収とした。配布数は各 100 戸であり回収数は、導入戸建住宅 34 件・非導入戸建住宅 60 件・非導入集合住宅 51 件であった。

##### 2.2 質問項目

アンケートの主な質問項目を共通・導入戸建のみ・子供に分けて記す。

(1) 共通

家族構成/年齢/平均在宅時間/世帯年収/省エネ行動/省エネ意識(理由)/エコ行動/エコ意識(理由)/設備導入状況/消費電力/築年数/入居年数 等

(2) 導入戸建のみ(太陽光発電設備)

設備詳細/導入理由/導入時期/情報入手先/満足・不満足なこと/電気料金/売電電気量 等

(3) 子供

学年/省エネ行動/省エネについて/エコ行動/エコについて 等

2. アンケート結果

回収したアンケート結果のうち、導入戸建住宅居住者と非導入戸建住宅居住者及び非導入集合住宅居住者の世帯主年齢層、省エネ・エコ意識、省エネ・エコ行動を表と図によって示す。

(1) 世帯主年齢層

非導入戸建住宅よりも導入戸建住宅のほうが41～50歳の割合が多かった(図-1, 図-2)。太陽光発電は新築時に設置する家が多いため、収入が安定し新築を買える年齢である41～50歳の割合が多いと考えられる。集合住宅は40歳以下の割合が最少であった(図-3)。

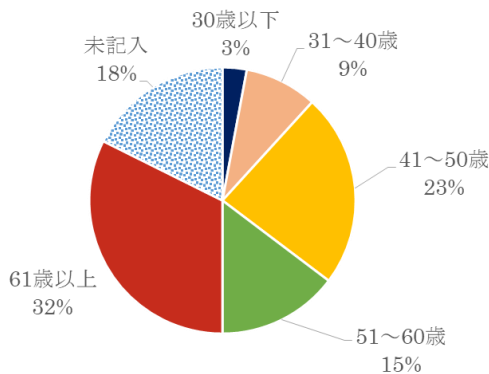


図-1 導入戸建の世帯主年齢層

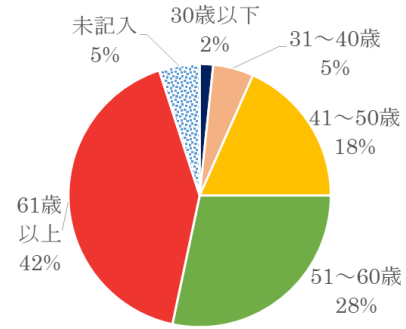


図-2 非導入戸建の世帯主年齢層

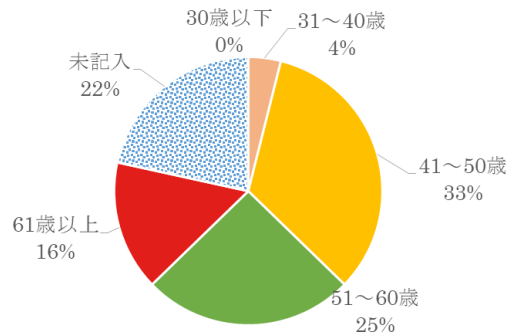


図-3 集合住宅の世帯主年齢層

(2) 省エネ意識

三区区分とも省エネ意識が高いと考えられるデータの分布であり、大きな差異は認められなかった(表-1)。省エネを意識する理由は、「節約するため」が最多であった。

表-1 省エネ意識

	とても意識している	意識している	あまり意識していない	意識していない
導入戸建	26%	65%	9%	0%
非導入戸建	23%	50%	22%	5%
非導入集合	14%	64%	14%	8%

(3) 省エネ行動

この設問は複数回答である。三区区分ともほとんど同じデータの分布であった。手間がかかる「エアコンのフィルターをこまめ

に掃除する」が軒並み低い実施率であった。導入戸建住宅のみ「LEDなど節電効果の高い照明機器を使用している」の割合が高かった(図-4)。

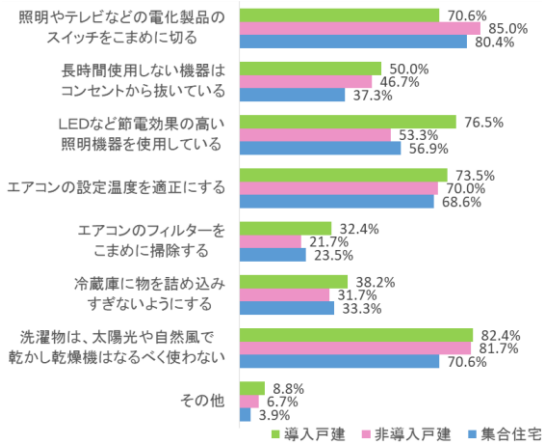


図-4 省エネ行動

(4) エコ意識

三区分ともエコ意識が高いと考えられるデータの分布であり、大きな差異はなかった(表-2)。エコを意識する理由は「環境に配慮するため」が最多であり、エコを意識しない理由は「効果に疑問がある」、「わざわざするのが面倒だ」という理由が多かった。

表-2 エコ意識

	とても意識している	意識している	あまり意識していない	意識していない
導入戸建	26%	56%	15%	3%
非導入戸建	17%	57%	19%	7%
非導入集合	18%	57%	19%	6%

(5) エコ行動

この回答は複数回答である。三区分とも割合が高い項目が多く、データの分布に大きな差異は認められなかった。実施に多額の費用が掛かる「車はハイブリットカーや電気自動車にしている」はいずれのデータにおいても割合が最低であった(図-5)。

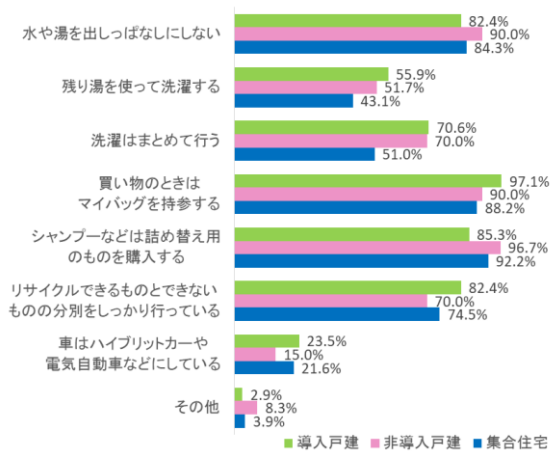


図-5 エコ行動

(6) 消費電力

三区分の一年間の平均使用電力を(図-6)に示す。一年を通して集合住宅の方が導入戸建・非導入戸建よりも消費電力が多いという結果であった。今回アンケートを配布した集合住宅のほぼ全ての世帯で、オール電化を導入していたことが関係していると考えられる。

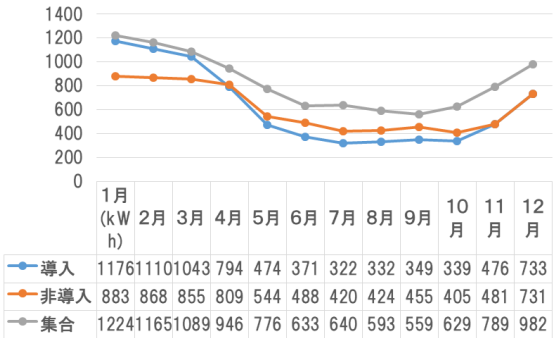


図-6 一年間の平均消費電力

3. 検定による有位性の検討と考察

アンケート結果から、三区分それぞれの質問項目ごとに関係性があるのか、検定を実施した。実施したのは(表-3)に示す項目についてである。

表-3 検定実施項目

導入者と非導入者の省エネ・エコ意識と行動の差異
導入者宅と集合住宅の省エネ・エコ意識と行動の差異
世帯年収と年齢別でみた省エネ・エコ意識と行動の差異
平均在宅時間でみた省エネ・エコ意識と行動の差異
利用設備と省エネ・エコに関する差異
太陽光発電の導入の満足と不満足との相関関係
子どもの省エネ・エコの意識での違いに関する検定

本研究で用いたのは $\chi^2$ 二乗検定と相関係数である。検定の結果、関係性があると判断できるものが複数得られた。以下にそれを示す。

- ・「省エネを意識してない」人が導入者宅では少なく、非導入者宅では多い。
- ・「省エネ・エコを意識してない」人は、省エネ・エコ行動数が導入者宅では少なく、非導入者宅では多いことが分かった。導入者宅では太陽光発電で発電を行うことで、省エネ・エコ意識が満足してしまい、太陽光発電以外の省エネ・エコ行動を意識的に行わないのかもしれない。
- ・導入者宅と非導入者宅では省エネ行動数が多い人は、エコ行動数も多い。
- ・「省エネを意識している」人が導入者宅では多く、集合住宅では少ない。
- ・非導入者宅で世帯年収が多い家庭はエコ行動数が多い。
- ・集合住宅で年齢が高くなると、「エコ意識・行動数」が多くなる。
- ・集合住宅で、「省エネ行動数」は平均在宅時間が長くなると多くなり、短くなると少なくなった。
- ・導入者宅と非導入者宅、集合住宅とをそれぞれ比較した検定の結果、「省エネ意識」が高いことが分かった。太陽光発電を導入することによって、他よりも意識が高くなっているのかもしれない。また、反対

に、「省エネ意識」が高い人が太陽光発電を導入しているとも考えられる。

## 5. 結論と反省点

### 5.1 結論

「省エネを意識していない人」が導入宅では少なく、非導入宅では多いことが判明した。また、導入宅・非導入宅では省エネ行動数が多い人はエコ行動数も多いということが検定によって判明した。

### 5.2 反省点

(1) アンケート回収率が昨年より低く、また、アンケートの未記入部分が多々みられた。

今年のアンケートは去年に比べて「家族構成」や「在宅時間」といった情報を聞いたことが関係しているのか、回収したアンケートに未記入部分があった為、検定のデータに使用できないものが多かった。このことから、答えやすい質問項目の選定が必要であったと考える。

(2) 子ども用アンケートの配布方法、内容の改善が必要。

本調査では省エネ・エコに関するアンケートを配布した住宅に対し、追加で子ども用アンケートの配布を行った。しかし、住宅に調査対象年齢の子どもが居住しているとは限らないため、回収率は低かった。そのため子どものアンケートを実施する際は学校に許可を取り、学校でまとめて配布するなどの改善が必要であると考えます。

また、今回は「親の省エネ・エコ意識が子どもに影響を与えるのか」を調査したが、「子どもの省エネ・エコ意識が親に影響を与えるのか」についても調査すべきであったと考える。



# B-13

## 避難自助検討のための洪水ハザードマップの在り方に関する基礎的研究

茄子川 柊 (東北工業大学), ○渡邊浩文 (東北工業大学)

Fundamental study on the way of flood hazard map for evacuation self-help study

Shuu Nasukawa (Tohoku Institute of Technology), Hironori Watanabe (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：洪水 ユニバーサルデザイン 防災

### 1. 研究背景と目的

近年、想定を超える災害が多発する中で行政による防災対策だけでは限界があることが認識され始めている。

本研究では、災害時に自ら避難計画を考える「自助」のための判断材料にしやすいハザードマップの提案を行うことを目的とする。

### 2. 研究概要

本研究では、まず洪水ハザードマップの作成状況の調査を行った。調査対象は宮城県の35市町村の内洪水ハザードマップを持つ27市町村とし、同時にハザードマップの内容も確認した。課題と現状を把握し、課題を解決した形のハザードマップを作成し、災害時住民が避難自助を検討しやすいものを提案する。

### 3. 洪水ハザードマップの調査と課題

宮城県の洪水ハザードマップを持つ27市町村ホームページへアクセスしハザードマップを収集した。表1に各市町村の色分けと閾値をまとめたものを示す。市町村名の右にある数字は閾値の範囲1~6に振り分けたものであり、色分けの下にある表と対応している。この結果から、市町村ごとで配色が統一されていないことが分かった。また、27市町村の内17市町村でマップ内の浸水区域や避難所など表記が行政区画で途絶えていることが分かった。これらの課題は、ハザードマップを見た人が浸水区域の認識を誤ることや隣接市町村との比較ができず避難行動に支障をきたすことが考えられる。

国交省発行「水害ハザードマップ作成の手引き」<sup>2)</sup>では、色覚障害者へ配慮をすることとなっている。そのため27市町村に対してPhotoshopの機能を用いて色覚障害者の75%にあたるD型(第二色盲)の人の見え方を再現した。その結果11市町村で色の判別が難しいことが分かった。例として図1を示す。

表1 各市町村の色分けと閾値

市町村	1	2	3	4	5	6
気仙沼	4	黄	オレンジ	赤	赤	
登米市	6	海英	肌色	海ピンク	ピンク	紫
深原市	4	黄緑	海水色	水色	青	紫
石巻市	6	海英	肌色	海ピンク	ピンク	紫
東松島市	4	黄	黄緑	水色	青	紫
大崎市	5	海英	肌色	海ピンク	ピンク	
涌谷町	5	海英	海肌色	肌色	ピンク	
美里町	4	黄	緑	水色	青	紫
鮎川町	4	黄	海灰色	海水色	水色	青
色原町	4	黄	黄緑	水色	青	
大衡村	2	黄	緑	水色	ピンク	
大村町	4	海水色	海灰色	海英	オレンジ	海オレンジ
大郷町	4	海英	オレンジ	水色	青	海紫
松島町	5	海英	海肌色	肌色	ピンク	
利府町	4	黄	海灰色	海水色	水色	
多賀城市	5	海英	肌色	海ピンク	ピンク	
仙台市	1	水色	青	水色	青	
釜淵市	4	黄	海緑	水色	青	
浜沼市	3	オレンジ	海ピンク	ピンク	紫	
黒川町	5	海英	肌色	ピンク	オレンジ	
村田町	4	海英	緑	海水色	青	
大河原町	4	黄	海灰色	海水色	水色	
柴田町	4	黄	黄緑	水色	青	
角田市	5	海英	海肌色	肌色	ピンク	
丸森町	4	黄	緑	水色	青	紫
白石市	4		黄緑	水色	青	
蔵王町	2		肌色	ピンク		
	1	0.5m未満	0.5~3.0m未満	3.0m以上		
	2	0.5m未満	1.0m未満	2.0m未満	5.0m未満	
	3	0.5m未満	0.5~1.0m未満	1.0~3.0m未満	3.0m以上	
	4	0.5m未満	0.5~1.0m未満	1.0~2.0m未満	2.0~5.0m未満	5.0m以上
	5	0.5m未満	0.5~3.0m未満	3.0~5.0m未満	5.0m以上	10m未満
	6	0.5m未満	0.5~3.0m未満	3.0~5.0m未満	5.0~10m未満	10~20m未満

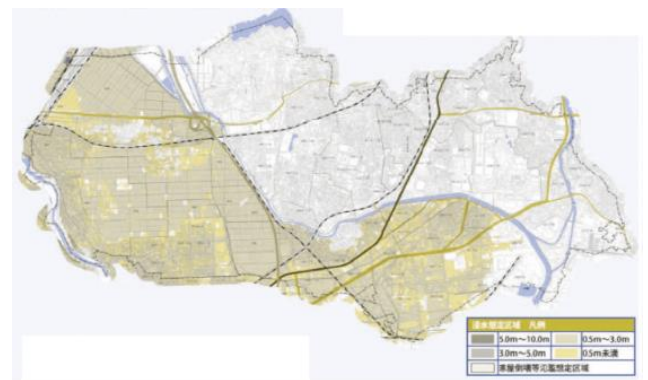


図1：多賀城市洪水ハザードマップ<sup>1)</sup>

### 4. 対策と提案

#### 4.1 対策

ハザードマップは誰が見ても浸水ランクを判別できなければならない。そのため配色についてはユニバ

ーサルデザインを軸とし判別がしやすい組み合わせとした。表示範囲に関しては、10000～15000分1の縮尺が推奨されているがこの縮尺では広域を表示することができないため作成したものは縮尺を25000分1とし広域を表示することで隣接市町村と比較できるようにした。また、道路などの細かい情報が見えにくならないよう配慮した。課題を踏まえて作成したマップを図2、作成したマップをD型（第二色盲）の見え方で再現したものを図3に示す。

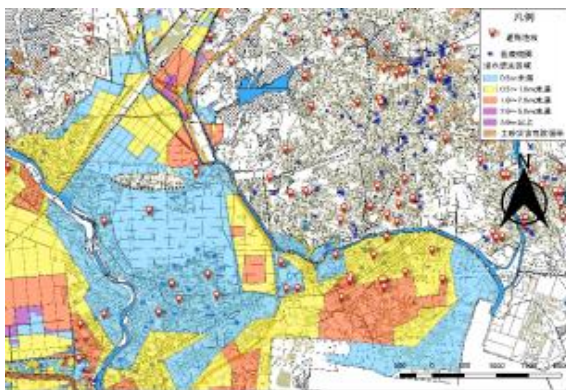


図2 作成したマップ（多賀城市周辺）

#### 4.2 スマートフォン用アプリケーションの提案

現状のハザードマップは紙媒体が主流であるが紛失や保管場所が分からなくなるなどの問題がある。これらの課題を解決するためにAvenzaMapsの活用を提案する。このアプリは事前にマップのダウンロードをする必要があるが事前に済ませておくことで保存・閲覧が可能であり紙媒体の課題を解決できる。また従来の防災アプリケーションと比較すると、オフラインで使用ができるため災害時であっても利用可能であり、避難時の助けになることが考えられる。AvenzaMapsの提供例を図5に示す。

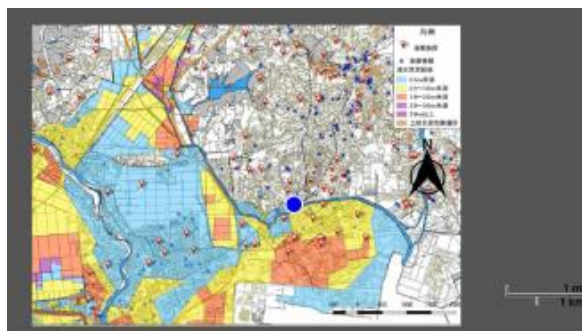


図5 AvenzaMaps の提供例

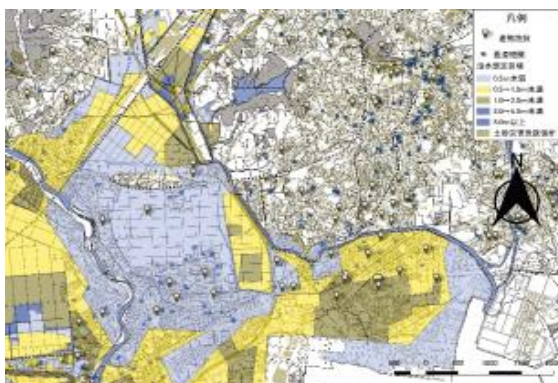


図3 D型シミュレートをかけたもの

同地域である図1と比較すると色及び表示範囲の問題が解決できているといえる。また色覚障害に対応している配色パターンの例を図4に示す。

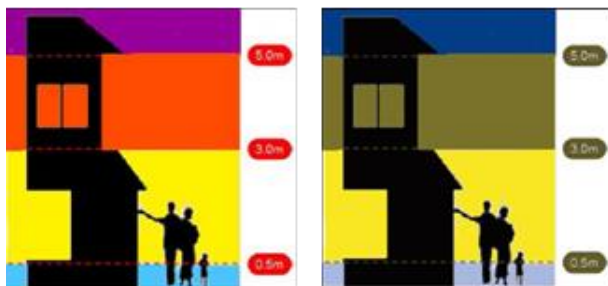


図4 有効な配色パターンの例とD型の再現

#### 5.まとめ

本研究では、宮城県の洪水ハザードマップにおける現状と課題の把握ができた。通勤通学など1時的に利用する人や色覚障害者の人たちにも対応できるマップを示せた。今後の課題として、閾値の値にも違いが見られたが今回対策を示すには至らなかったため今後検討する必要がある。洪水ハザードマップ以外でも同様の課題がある可能性があるため調査する必要がある。

#### 参考資料

- 1) 多賀城市 HP：「多賀城市防災マップ」  
[www.city.tagajo.miyagi.jp/toshike/kurashi/bosai/bosai/map.html](http://www.city.tagajo.miyagi.jp/toshike/kurashi/bosai/bosai/map.html)（閲覧2月14日）
- 2) 国土交通省：水害ハザードマップ作成の手引き（2016-4）pp.32（閲覧2月14日）
- 3) カラーユニバーサルデザイン推奨配色  
<http://jfly.iam.u-tokyo.ac.jp/colorset>（閲覧2月14日）
- 4) AvenzaMaps 公式サイト  
[https://avenzamaps.jp/?page\\_id](https://avenzamaps.jp/?page_id)（閲覧2月14日）

## B-14

### 福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その1）

#### 事業とキャンパスの概要、熱・電気エネルギー需要簡易ポテンシャル推定

○関根 卓哉, 池田 俊幸 (㈱アーク), 赤井 仁志, 佐藤 秀樹, 渡部 一徳 (福島大学)

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University, Part 1 : Overview of the Project and Campus, Simplified Prediction Potential Estimate of Heat and Electric Energy Demands

SEKINE Takuya, IKEDA Toshiyuki (Ark Co.,Ltd.),  
AKAI Hitoshi, SATO Hideki, WATABE Kazunori (Fukushima University)

キーワード：再生可能エネルギー熱, 事業概要, キャンパス概要, 熱需要, 電気需要

#### 1. 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。

このような中、福島県（エネルギー課）は、福島県スマートコミュニティ構築支援事業を公募した。平成29年度の第2次公募に福島大学が「福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討(太陽光と風力発電を含む)」で応募し採択された。福島大学は、地域の国立大学としての高等教育機関として再生可能エネルギーに関わる研究開発や人材育成の分野において相互協力を進めてきた経緯がある。又、福島大学では今後再生可能エネルギー導入での省エネ化や、省エネに向けた学内スマートコミュニティ構築を具体化するため国補助金を活用し学内施設の建設や改修を進めていきたいと考え、更に福島市が進める次世代エネルギーパーク計画との連携を行い、市民及び学生等へのスマートコミュニティの啓発を加速させようとしていた。以上を踏まえ福島大学構内における利用可能なエネルギー源のポテンシャルについて事前調査を行い、将来にむけて

の効率的な再生可能エネルギー導入を目指すための事業であった。

この事業で福島大学構内における施設の概要をまとめ、熱・電気エネルギー需要簡易ポテンシャル推定を行ったので報告する。(なお、本事業の報告書[公開版]は、福島市環境課のホームページに公開されている。)

#### 2. キャンパスの概要

図-1により大学構内の建物を配置的に示す。432,894 m<sup>2</sup>の中に、延べ床面積90,488 m<sup>2</sup>の建物、施設が有。中央機械室には受変電設備や温水熱源ボイラ等が有り、強電幹線、弱電配線暖房温水管、都市ガス配管、消火配管等が共同構を通り各施設へと供給される。建設当時、敷地内の多数の施設整備が段階的に進む事を踏まえ柔軟性のある中央式設備計画であったと考える。強電は棟毎の電気室に設けられた第二受変電設備により個別に管理されている。しかし経年により各棟毎に改修工事も行われ、中央式の温水暖房式から電気式やガスエンジン式のエアコンによる個別化も進んでいる状況があり。全体の必要な電気容量は増加傾向であった。

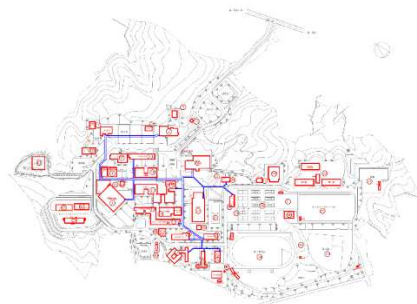


図-1 大学構内配置図

3. 熱・電気エネルギー需要簡易ポテンシャル推定

福島大学構内における将来にむけての効率的な再生可能エネルギー導入を目指すため、各施設における熱・電気エネルギーを数値化し、大学構内全体値として集計することにした。既存施設に設置されている空調機器能力値を熱エネルギー(空調)とし、同時にその空調機の消費電力値を電気エネルギー(空調に関わる消費電力)とした。数値化の方法としてまず、各施設群の中で用途の異なる代表的な棟を選出した。

その各棟毎、それぞれの既存空調設備図にて空調面積、空調機器冷暖房能力値、消費電力値を洗い出し、空調能力単位負荷 (kw/m<sup>2</sup>) 及び単位空調消費電力値 (kw/m<sup>2</sup>) を算出。更に延べ床面積に対する空調面積比も数値化し、それらを元に分類化を行った。(表-2、表-3) 選出(既存空調設備図にて洗い出し)をしていない棟の熱・電気エネルギー値の推定は、分類化により数値を当てはめて算出し(表-5、表-6)集計を行った。(表-1、表-4)

3.1 簡易ポテンシャル推定 熱エネルギー(空調)

建物における熱エネルギーを数値化し、簡易的にポテンシャル推定を行う。キャンパス内建物の内、数棟を選び出し、空調機能力と空調面積を洗い出し、空調能力単位負荷 kw/m<sup>2</sup>として数値化し、分類化する。

表-1 熱エネルギー(空調) 主要建物 集計値 (あ+い)

延べ床面積集計値:	92,515	m <sup>2</sup>
空調面積集計推定値:	55,495	m <sup>2</sup>
冷房能力集計推定値:	11,220	kw
暖房能力集計推定値:	13,862	kw

表-2 用途の異なる代表的な棟を選出し空調能力単位負荷 kw/m<sup>2</sup>として数値化・分類化

NO ※1	建物名称	築年	構造	階数	A※2 (m <sup>2</sup> )	B※3 (kw)	C※4 (m <sup>2</sup> )	B÷C※5 (kw/m <sup>2</sup> )	分類 C÷A	D※6 C÷A
2	本部管理棟	1975	R	4	2,440	C: 212.1 H: 225.2	1,658	0.13 0.14	A	0.68
8	総合情報処理センター	1985 ~2013	R	3	2,204	C: 421.9 H: 472.6	1,572	0.27 0.30	B	0.71
9	図書館	1981	R	3	7,218	C: 492 H: 507	3,033	0.16 0.17	C	0.42
	学術情報メディア棟	2014	R	4	3,420	C: 523 H: 587	2,904	0.18 0.20	D	0.85
	同上混合平均値					C: 1,015 H: 1,094	5,937	0.17 0.18	E	0.63
12	L講義棟	1996	R	1	2,580	C: 395 H: 429	1,072	0.37 0.40	F	0.42
33	学生寮(3棟)	1980	R	4~5	8,821	C: 1,400 H: 3,250	4,500	0.31 0.72	G	0.51
	小計	あ			26,683	C: 3,444 H: 5,471	14,739			

表-3 表-2以外の建物の分類と熱エネルギー推定

NO ※1	建物名称	築年	構造	階数	A※2 (m <sup>2</sup> )	分類 ※6	D ※7 (m <sup>2</sup> )	E ※8 (kw/m <sup>2</sup> )	F※9 (kw/m <sup>2</sup> )		E×F※9 (kw)	
									冷房	暖房	冷房	暖房
5	経済経営学類棟	1981	SR	8	6,710	E	0.63	4,227	0.17	0.18	719	761
6	行政政策学類棟	1988	R	8	5,690	E	0.63	3,585	0.17	0.18	609	645
10	S講義棟	1978	R	3	1,755	E	0.63	1,106	0.17	0.18	188	199
	S講義棟	1980	R	4	2,605	E	0.63	1,641	0.17	0.18	279	295
11	M講義棟	1980	R	3	1,796	F	0.42	754	0.37	0.40	279	302
13	人間発達文化学類棟	1978	SR	7	5,979	E	0.63	3,767	0.17	0.18	640	678
14	理工学類研究実験棟	2006	S	7	3,862	B	0.71	2,742	0.27	0.30	740	823
	総合研究棟(理工系)	2010	S	7	2,995	B	0.71	2,126	0.27	0.30	574	638
15	共生システム理工学類棟	1978	SR	7	5,855	E	0.63	3,689	0.17	0.18	627	664
16	総合教育研究センター棟	1983	R	4	1,995	E	0.63	1,257	0.17	0.18	214	226
17	美術棟	1978	R	2	1,267	A	0.68	862	0.13	0.14	112	121
18	音楽棟	1978	R	3	1,190	A	0.68	809	0.13	0.14	105	113
19	理工共通棟	1978	R	1	404	E	0.63	255	0.17	0.18	43	46
20	保健体育棟	1978	R	2	924	E	0.63	582	0.17	0.18	99	105
22	第1体育館	1979	RS	2	2,652		0.00	0	0.00	0.00	0	0
23	学生会館	1996	R	1	3,184	E	0.63	2,006	0.17	0.18	341	361
26	文化系ホール棟	1981	R	3	885	A	0.68	602	0.13	0.14	78	84
28	体育系ホール棟	1979	R	2	710	A	0.68	483	0.13	0.14	63	68
32	第2体育館	1991	RS	1	1,126		0.00	0	0.00	0.00	0	0
33	寄宿舎(管理棟)	1980	R	1	260	E	0.63	164	0.17	0.18	28	29
41	共生システム理工学類記念棟	2011	R	1	334	E	0.63	210	0.17	0.18	36	38
42	未来支援センター(アビエント)棟	2012	S	2	121	E	0.63	76	0.17	0.18	13	14
43	未来支援センター棟	2013	R	5	2,526	E	0.63	1,591	0.17	0.18	271	286
44	環境放射線研究所研究棟	2016	SR	6	3,994	B	0.71	2,836	0.27	0.30	766	851
45	環境放射線研究所試料保存棟	2016	S	1	583	E	0.63	367	0.17	0.18	62	66
58	環境放射線研究所分析棟	2014	S	2	1,360	E	0.63	857	0.17	0.18	146	154
52	学生活動センター	2007	S	2	229	E	0.63	144	0.17	0.18	25	26
3	保健管理センター	1982	R	2	441	E	0.63	278	0.17	0.18	47	50
	食農学類棟(仮称)	2019	R	4	4,400	D	0.85	3,740	0.18	0.20	673	748
	小計	い			65,832			40,756			7,777	8,391

- ※1. 「No」は建物番号(キャンパスマップに準拠)
- ※2. 「A」は延床面積
- ※3. 「B」は空調機能力
- ※4. 「C」は空調面積
- ※5. 「B÷C」は能力単位負荷
- ※6. 「D」は空調面積の延べ床面積による割合
- ※7. 「E」は想定空調面積
- ※8. 「F」は想定単位負荷
- ※9. 「E×F」は推定負荷

3.2 簡易ポテンシャル推定 電気エネルギー(空調に関わる消費電力)

キャンパス内の建物における空調の消費電力エネルギーを数値化し、現況を把握する。キャンパス内建物の内、数棟を選び出し、空調機消費電力と空調面積を洗い出し、空調単位消費電力 kw/m<sup>2</sup>として数値化し、分類化する。

表-4 電気エネルギー(空調に関わる消費電力) キャンパス内 主要建物 集計値 (あ+い)

延べ床面積集計値:	92,515	m <sup>2</sup>
空調面積集計推定値:	54,527	m <sup>2</sup>
空調消費電力集計推定値:	4,087	kw

表-5 用途の異なる代表的な棟を選出し  
空調単位消費電力  $k\ w/m^2$  として数値化・分類化

NO ※1	建物名称	築年	構造	階数	A※2 ( $m^2$ )	B(kw) ※3	C※4 ( $m^2$ )	B÷C ※5 ( $kw/m^2$ )	D※6 C÷A	分類
2	本部管理棟	1975	R	4	2,440	75.4	1,658	0.05	0.68	A
8	総合情報処理センター	1985 ~2013	R	3	2,204	152.0	1,572	0.10	0.71	B
9	図書館	1981	R	3	7,218	165.7	3,033	0.05	0.42	C
	学術情報庁'イ7棟	2014	R	4	3,420	54.0	2,904	0.02	0.85	D
	同上混合平均値					220	5,937	0.04	0.63	E
12	L講義棟	1996	R	1	2,580	93.5	1,072	0.09	0.42	F
33	学生寮(3棟)	1980	R	4~5	8,821	1,483	4,500	0.33	0.51	G
	小計 あ				26,683	2,024	14,739			

表-6 表-5以外の建物の分類と電気エネルギー推定

NO ※1	建物名称	築年	構造	階数	A※2 ( $m^2$ )	分類	D ※6	E ※7 ( $m^2$ )	F ※8 ( $kw/m^2$ )	E×F ※9 ( $kw$ )
5	経済経営学類棟	1981	SR	8	6,710	E	0.63	4,227	0.04	169
6	行政政策学類棟	1988	R	8	5,690	E	0.63	3,585	0.04	143
10	S講義棟	1978	R	3	1,755	E	0.63	1,106	0.04	44
	S講義棟	1980	R	4	2,605	E	0.63	1,641	0.04	66
11	M講義棟	1980	R	3	1,796	F	0.42	754	0.09	68
13	人間発達文化学類棟	1978	SR	7	5,979	E	0.63	3,767	0.04	151
14	理工学類研究実験棟	2006	S	7	3,862	B	0.71	2,742	0.10	274
	総合研究棟(理工系)	2010	S	7	2,995	B	0.71	2,126	0.10	213
15	共生システム理工学類棟	1978	SR	7	5,855	E	0.63	3,689	0.04	148
16	総合教育研究センター棟	1983	R	4	1,995	E	0.63	1,257	0.04	50
17	美術棟	1978	R	2	1,267	A	0.68	862	0.05	43
18	音楽棟	1978	R	3	1,190	A	0.68	809	0.05	40
19	理工共通棟	1978	R	1	404	E	0.63	255	0.04	10
20	保健体育棟	1978	R	2	924	E	0.63	582	0.04	23
22	第1体育館	1979	RS	2	2,652		0.00	0	0.00	0
23	大学会館	1996	R	1	3,184	E	0.63	2,006	0.04	80
26	文化系ナカ棟	1981	R	3	885	A	0.68	602	0.05	30
28	体育系ナカ棟	1979	R	2	710	A	0.68	483	0.05	24
32	第2体育館	1991	RS	1	1,126		0.00	0	0.00	0
33	寄宿舎(管理棟)	1980	R	1	260	E	0.63	164	0.04	7
41	共生システム理工学類記念棟	2011	R	1	334	E	0.63	210	0.04	8
42	未来支援センタープレヴ'エント棟	2012	S	2	121	E	0.63	76	0.04	3
43	未来支援センター棟	2013	R	5	2,526	E	0.63	1,591	0.04	64
44	環境放射能研究所研究棟	2016	SR	6	3,994	B	0.71	2,836	0.10	284
45	環境放射能研究所試料保存棟	2016	S	1	583	E	0.63	367	0.04	15
58	環境放射能研究所分析棟	2014	S	2	1,360	E	0.63	857	0.04	34
52	学生活動センター	2007	S	2	229	E	0.63	144	0.04	6
3	保健管理センター	1982	R	2	441	E	0.63	278	0.04	11
	食農学類棟(仮称)	2019	R	4	4,400	D	0.63	2,772	0.02	55
	小計 い				65,832			39,788		2,064

- ※1. 「No」は建物番号(キャンパスマップに準拠)
- ※2. 「A」は延床面積
- ※3. 「B」は空調機消費電力
- ※4. 「C」は空調面積
- ※5. 「B÷C」は単位消費電力
- ※6. 「D」は空調面積の延床面積による割合
- ※7. 「E」は想定空調面積
- ※8. 「F」は単位空調消費電力
- ※9. 「E×F」は推定空調消費電力

2019.3.13 (東北大学 川内北キャンパス)

### 3.3 熱エネルギー(給湯)

キャンパス内の建物における熱エネルギーを数値化し、簡易的にポテンシャル推定を行う。

#### 【給湯ポテンシャル推定方法】

大学構内であるので、給湯設備として最も多くのエネルギーを消費しているのが、唯一の居住施設である学生寮である。

学生寮の給湯に関する現状を把握し、数値化する。学生寮の概要を、表-7に示す。

表-7 学生寮概要

棟名称	構造	階数	延床面積	建築年	備考
如月寮	RC	5	2,446.4 $m^2$	1980	男子寮(調査対象)200室
信夫寮	RC	4	2,697.3 $m^2$	1980	男子寮(調査対象)150室
葵寮	RC	4	2,654.1 $m^2$	1980	女子寮(調査対象)150室
管理棟	RC	1	260.00 $m^2$	1980	電気室有(調査対象外)

#### ・給湯設備概要

平成 22 年学生寮改修機械設備工事にて給湯設備を更新し、下記のような現況である。各フロアごとにシャワーユニット×2ヶ所とユニットバス×1ヶ所にのみ給湯されている。(各フロアごと 20号×2台をヘッダーで直列)都市ガスを使用した瞬間型給湯器により、使用人員数、使用時間帯の定まらない、不特定な使われ方に対応している。20号連結で能力が 40号→76,000kcal/h として、 $\Delta t: 40^{\circ}C(45^{\circ}C-5^{\circ}C)$  とすると 32L/min の出湯能力がある。32L/min÷3か所≒11 L/min という事で、シャワーユニット×2+ユニットバス×1の計3か所へ同時に給湯出来る能力であることが判る。(シャワー等の水栓1栓当たりの必要流量は、12 L/min程度と言われている。余裕のある数値であり、11 L/minは問題のない値と考える)各フロアごとに共用キッチン×2か所へそれぞれ5号湯沸器が設置されている。

現況の給湯設備概要を踏まえたうえで、再生エネルギー化検証の対象を決定する。

→ 今回の再生エネルギー化への検証は、(キッチンを除いた)シャワー及びユニットバスへの給湯を対象に進める。

寮入居者の入浴時に必要な給湯量の算出

ユニットバス(1216型)浴槽容量が、≒160 L (12L/minで13分程度)。仮にシャワー使用時間も13分とすると1人当たり≒160 L/人・日となり、×500人=80,000 L/日(3棟合計の45℃必要給湯量)

となる。45℃の混合水の内、58%が5℃の水、42%が60℃のお湯となる。

→ $80,000 \text{ L/日} \times 0.42 = 33,600 \text{ L/日}$  (60℃) となる。

従って冬季(水温 5℃)のピークで 33,600 L/日(60℃)を3棟合計の入浴に必要な給湯量と仮定する。

#### 4. まとめ

大学構内全体での、将来効率的な再生エネルギー導入計画するための事業検討(事前調査)として様々な作業が必要とする中、初めの一歩的な意味合いを感じつつ、キャンパス概要把握と熱・電気エネルギーの需要簡易ポテンシャル推定作業を行なった。簡易推定ではあったが、大学内の「施設課」によって、幾多の既存施設毎にその規模や用途、設備改修履歴に至るまで資料提示を受け、不足情報についても聞き取り確認を行い、表-1~6は高い精度の物を目指し作成した。算出した能力単位負荷は、今後必要な再生エネルギー量を推定するためのものとして、又、単位消費電力値は再生エネルギー化計画(空調方式を変更等)する際に、必要な電気エネルギーとの比較により既存電気施設の増強対策有無の判断資料として活用していく。その他として、建物用途→空調面積の延べ床面積に対する割合値や、空調方式→能力単位負荷→単位消費電力値については今後の作業において有効に活用できると考えている。空調用途だけでなく、効率的な給湯への利用についても、今回算出した値は今後更に必要な情報(実際の使用湯量等)を収集し、具体的なエネルギー量算定や手法検討作業に活用していく。

# B-15

## 福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その2）

### 電力特性、太陽光発電と風力発電の導入計画

○阿部 良道, 佐藤 正佳, 松本 利文, 先崎 希 (㈱ユアテック), 五十嵐 勝裕 (東北電力㈱), 赤井 仁志, 佐藤 義久, 斉藤 公彦, 佐藤 秀樹, 渡部 一徳 (福島大学)

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University, Part 2 : Electricity Load Fluctuation Characteristics, Implementation Planning to Photovoltaics and Wind-generated Electricity

ABE Yoshimichi, SATO Masayoshi, MATSUMOTO Toshihumi, SENZAKI Nozomi (Yurtec Corporation), IGARASHI Katsuhiko (Tohoku-Electric Power Co., Inc.), AKAI Hitoshi, SATO Yoshihisa, SAITO Kimihiko, SATO Hideki, WATABE Kazunori (Fukushima University)

キーワード：再生可能エネルギー熱, 電力負荷, 太陽光発電, 風力発電

#### はじめに

福島県では、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の活用を目標に掲げている。これを受けて、大学構内で利用可能なエネルギー源のポテンシャル事前調査を実施した。

#### 1. 電力需要特性と評価

電力需要は、夏と冬に使用量が増えるが、特に1月が使用のピークとなることがわかった。これは、暖冷房による電気使用の増が要因だと思われる。曜日ごとの1年平均値によるロードカーブ(0時から24時までの30分ごとの使用電力量グラフ：図-1)を確認した。日中に使用量が増え、夜間に使用量が減るのは平日も休日も同様。平日、曜日にかかわらずほぼ同じようなカーブを描いており特徴的な使い方はみられなかった。

月ごとのロードカーブ(図-2)を確認したところ、類型が四半期ごとに分類できることがわかった。第1四半期は、使用量が多く朝方から夜にかけて右肩下がりとなる。第2四半期は、ほぼ同じような使用量であり且つ19時前後に使用のピークが発生する。第3四半期は、月による使用量の大小の差が大きく且つ14時前後に使用のピークが発生した。第4四半期は、月を追うごとに使用量が増え、且つ17時前後に使用のピークが発生する。

#### 2. 太陽光設備モジュールの選定

太陽電池モジュールのセルの種類には、現在商

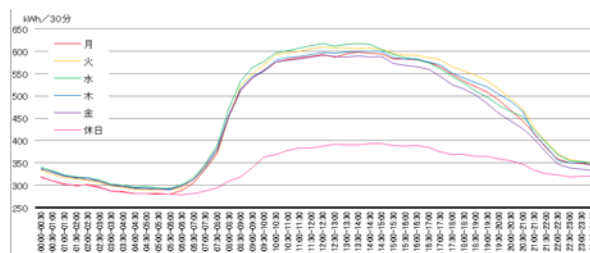


図-1 曜日毎のロードカーブ

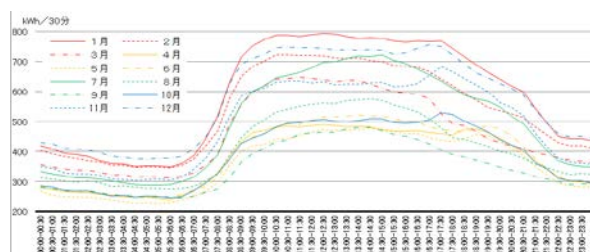


図-2 平日の月平均ロードカーブ

品化されている中で主に単結晶系、多結晶系、化合物系の3種類がある。種類ごとに代表的なメーカーで比較した。

単結晶系パネルは、最もモジュール変換効率が高く、他パネルと比較し同じ敷地面積で発電容量を多く設置することが可能となる。モジュール価格は比較的高価で、中小規模発電かつ設置場所が狭い条件に適している。

多結晶系パネルは、モジュール変換効率が比較的高く、モジュール単価も安価で、大中規模発電用として適している。最近では単結晶に近い効率の製品も開発されコストパフォーマンスに優れている。

化合物系パネルは、モジュール変換効率は低い  
が、結晶系パネルと比較して影による発電出力への  
影響が少ない特徴がある。東北地方では積雪に  
よる発電電力量への影響を最小限にすることが期  
待できる。設置面積に余裕があり年間発電電力量  
を確保したいニーズに適している。

今回は、モジュール変換効率も高く比較的安価  
な多結晶モジュールを選定し計画することとした。

### 3. 太陽光パネル設置計画の検討

太陽電池モジュールは、傾斜角 30°、真南方向  
で最大発電電力量を得ることができる。福島大学  
の場合、各棟は南西方向にて建設（図-3 参照）さ  
れているため、設備稼働率を重視する場合、真南  
方向でパネル設置をすることとなり、太陽電池モ  
ジュールの設置枚数が少なくなる。

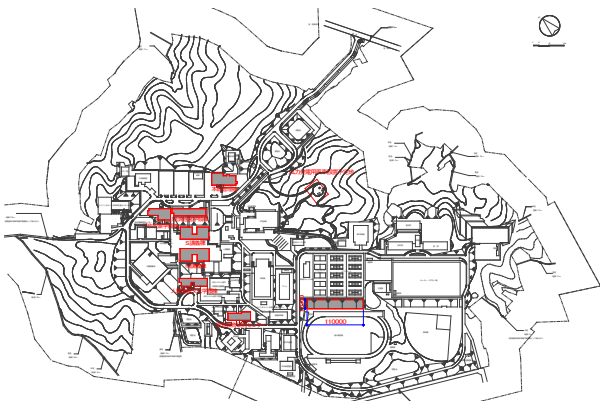


図-3 福島大学外構図面

真南と南西方位角の差異による発電電力量の差  
は約 5%程度であることから、太陽電池モジュ  
ールの配置は基本建物と同じ南西方向で検討する  
こととした。傾斜角度については、30°で最大発電  
量となるが、最近では傾斜角度を低く設計してい  
るケースが多い。その理由は、傾斜角度が高いと  
太陽電池アレイ間の影の影響を考慮し、距離を確  
保する必要があるため、設置モジュール枚数が少  
なくなる。更に傾斜角度が高いほど耐風荷重を考  
慮し架台の強度が必要となり、相対的に設置コス  
トが高価となる。以上より、今回は発電電力ポテ  
ンシャル量を重視し、傾斜角 15°で設計した。同  
角度による 30°との発電電力量の差は約 5%と  
なる。

### 4. 太陽光発電設備検討結果

前設計条件を踏まえて福島大学構内に設置可能

太陽光設備の総容量を検討した結果、設備容量は  
合計 634.84kW となった。（表-1 参照）

表-1 建物別太陽光・風力発電容量検討結果

建物名称	種別	発電容量
事務局棟	太陽光	37.76kW
経済経営学類棟	太陽光	21.24kW
行政政策学類棟	太陽光	47.20kW
S 講義棟	太陽光	80.24kW
M 講義棟	太陽光	80.24kW
人間発達文化学類棟	太陽光	56.64kW
教育研究センター	太陽光	51.92kW
陸上競技場（東側法面）	太陽光	259.60kW
信陵公園東側	風力	58.50kW
合計		693.34kW

### 5. 大規模災害時・停電時の自立電源システム

自立電源システムとして、電力系統が停電した  
場合には自動で再生可能エネルギーおよび蓄電池  
から重要負荷へ電源供給可能なシステムが求めら  
れる。

災害発生時の避難場所は大学中心部にある体育館  
である。その近傍で今回のポテンシャル診断より  
太陽光発電システム導入可能な施設は教育研究セ  
ンターとなり、自立電源システムは同施設へ導入  
することが望ましい（図-4）。また蓄電池の選定は  
災害発生時の使用機器消費電力を計算した結果、  
22.1kWh 以上が必要となる。電力系統が停電した  
場合には自動で再生可能エネルギーおよび蓄電池  
から重要負荷へ電源供給可能なシステムとした。

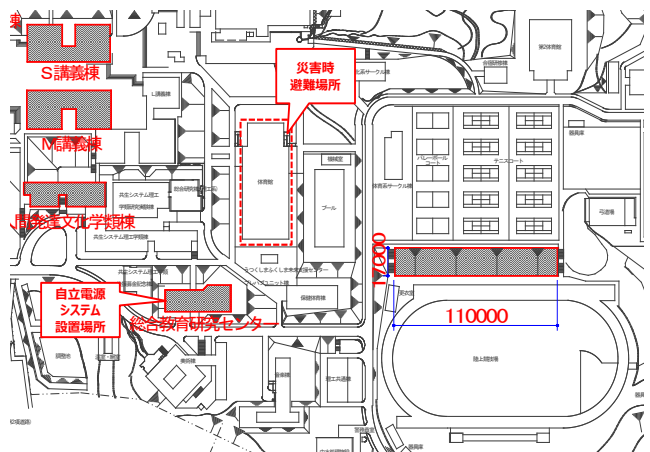


図-4 自立電源システム設置場所



# B-16

## 福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その3）

### 地中熱・地下水熱利用簡易ポテンシャルマップ

○小林 強, 加藤 邦康, 須藤 明德, 宮田 弘幸 (株福島地下開発), 藤沼 伸幸, 阿部 健一郎,

谷藤 允彦 (新協地水株), 赤井 仁志, 佐藤 秀樹, 渡部 一徳 (福島大学)

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University,  
Part 3 : Making of Simple Potential Map used for Geothermal Heat Utilization System and  
Underground Water Heat Utilization System

KOBAYASHI Tsuyoshi, KATO Kuniyasu, SUDO Akinori, MIYATA Hiroyuki (Fukushima GEO Development CO.,Ltd), FUJINUMA Nobuyuki, ABE Kenichiro, TANIFUJI Yoshihiko (SINKYO-TISUI CO.,LTD.), AKAI Hitoshi, SATO Hideki, WATABE Kazunori (Fukushima University)

キーワード：再生可能エネルギー熱, 地中熱, 地下水熱, 簡易ポテンシャルマップ

#### 1. キャンパス内のポテンシャルマップ作成の目的

ポテンシャルマップは理論的に推計される熱交換量を平面的に図化したもので、地中熱・地下水熱利用を効率良く進める重要な指標となる。

今回、冷暖房・給湯・融雪などの運用条件を設定した状態で必要な採放熱量の算出ができるよう、キャンパス内のポテンシャルマップを作成した。

#### 2. ポテンシャルマップの作成手法

ポテンシャルマップの作成では地質情報のほか、地下水位や地下水流速、帯水層の厚さなど地下水に関する情報も重要である。本事例では地下水に関する情報は得られなかったが、

- ①敷地内の既存地質ボーリングデータ（約 70 箇所）による敷地全体の地層区分および地層分布の推定
- ②食農学類建築に伴う地質調査孔で実施した簡易型熱応答試験（TCP）の結果および土壌・岩盤の有効熱伝導率の一般値

から得られた情報より、地中部の熱伝導率分布図を作成し『地中熱簡易ポテンシャルマップ』とした。

#### 3. 地質区分と地層分布の検討

既存ボーリング資料を整理し、キャンパス内を構成する地層を表-1 に示す 5 種類に区分した。

クローズドループの地中熱利用では深度 50~100 m のボアホール型地中熱交換器の設置が必要であるが、今回参考にしたボーリング資料の深度は最大 30 数mであり、深度 100mまでの地層分布状況を推定す

る必要があった。

特に、最も厚かつ広域に分布するのは有効熱伝導率が高い花崗岩であることから、花崗岩上面の深度を決定し、それ以浅に堆積する地層の構成・層厚の推定を実施した。

表-1 キャンパス内を構成する地層の区分

地層区分	層相・特徴
表土, 盛土, 沖積層	沖積層は薄層のため表土に含める
ローム	黄褐~褐、火山灰質粘性土
岩屑なだれ堆積物	凝灰質角礫岩、礫混じり凝灰岩
清水町層	凝灰質砂岩、礫岩
花崗岩類	まさ土、強風化花崗岩の部分あり

花崗岩深度は、花崗岩が記載された柱状図の出現高度より出現高度分布図を作成。花崗岩まで到達していない地点での予想到達深度を加味する事で花崗岩出現高度分布図としてまとめた。また、花崗岩より上位の地層は地形横断面図にボーリングデータを重ねた地質断面図を作成し地層の分布状況を推定した（図-1）。

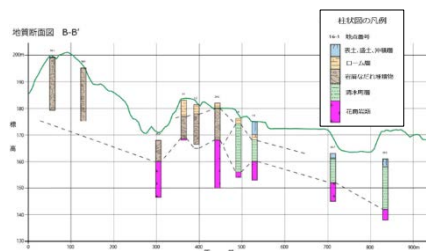


図-1 地質断面図の例

花崗岩出現高度分布図および地質断面図よりキャンパス内の標高が高い場所では、花崗岩の出現高度も高くなることや、岩屑なだれ堆積物はキャンパス内の丘陵地、特に西部で層厚 20m以上と厚く堆積することなどを推定し、地表から深度 50m、深度 100mまでのそれぞれの地層区分の厚さを推定した。

4. 地中熱ポテンシャルマップと簡易熱型応答試験 (TCP)

各地層区分の土壌・岩盤の有効熱伝導率を決め、採用する有効熱伝導率より各ボーリング地点におけるみかけ熱伝導率とし、各地点の値から等高線を描いた平均みかけ熱伝導率分布図を『地中熱簡易ポテンシャルマップ』とした。

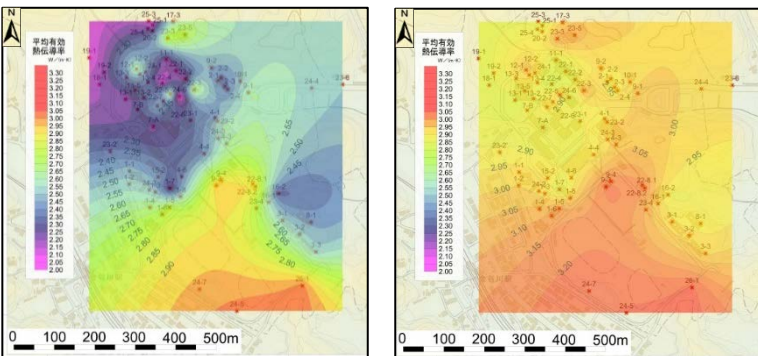
有効熱伝導率は表-2 に示す一般値と地質調査孔を用いて実施した簡易型熱応答試験 (TCP) の測定結果を比較、地層を構成する土質や花崗岩の風化の状態を考慮して数値を決定した。

表-2 土壌・岩盤の有効熱伝導率と熱容量<sup>1)</sup>

土質・岩質	有効熱伝導率 (W/m·K)		熱容量 (MJ/m <sup>3</sup> ·K)	
	飽和	不飽和	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19	3.03	2.15
砂礫	2.00			
シルト	1.44			
粘土	1.27	0.92	3.13	2.14
火山灰	1.18	0.90	3.05	2.01
泥炭	1.22	0.88	3.20	2.07
ローム層	1.00	0.72		
岩 (重量)	3.10			
岩 (軽量)	1.40			
花崗岩	3.50			

簡易型熱応答試験 (TCP) は地質調査孔を用いて原位置で、地下水移流効果による各深度分布方向における、みかけ熱伝導率を測定することができ、通常の熱応答試験 (TRT) よりも簡便である事により、本事例で実施した『地中熱簡易ポテンシャルマップ』の作成方法では有効な手段となる。

表-3 に採用したみかけ熱伝導率を、図-2 に作成した区間別みかけ熱伝導率分布図を示す。



地層区分	採用有効熱伝導率 (W/m·K)		備考
	飽和	不飽和	
表土、盛土、沖積層	1.53	1.19	表-2 砂の値
ローム	1.00	0.72	
岩屑なだれ堆積物	1.22	1.19	TCPによる測定値
清水町層	1.40	1.40	表-2 軽い岩石の値
花崗岩類	1.53	1.19	N値<50 表-2 砂の値
	3.50		N値≥50 表-2 花崗岩の値

表-3 採用するみかけ熱伝導率

5. 地中熱ポテンシャルマップによる評価

収集したデータの精度にも問題はありますが、地中熱簡易ポテンシャルマップによる地中熱利用の概略検討は、下記のとおり。

①キャンパス内では有効熱伝導率の高い花崗岩が比較的浅部に分布するため、深度 100mまでの平均みかけ熱伝導率は大部分で 2.5W/m·K 以上を示し、グランド付近では 3.0W/m·K 以上となる。深度 50mでは岩屑なだれ堆積物や清水町層がやや厚い部分があるため、2.0W/m·K~2.5W/m·K の部分が広がる。

②本ポテンシャルマップは地下水流動の影響を考慮しておらず安全側の評価であるが、地形や地層の分布状況からキャンパス内での地下水流動による熱伝導率の押し上げ効果はそれほど大きくない。

③花崗岩の出現深度や風化の程度は施工コストにも影響するため、候補地の検討後、実施設計に先立ち熱応答試験 (TRT) や簡易型熱応答試験 (TCP) を実施し、熱伝導率の測定と花崗岩の出現深度および岩質の硬軟の把握を実施して、必要とされる熱交換器の本数と深度を決定する必要があると評価した。

参考文献

- 1) 北海道大学地中熱利用システム工学講座：地中熱ヒートポンプシステム，オーム社，P92，(2007-9)

図-2 平均有効熱伝導率分布図  
左) 深度 0~50mの区間別みかけ熱伝導率  
右) 深度 0~100mの区間別みかけ熱伝導率

B-17

福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その 4）

フリーヒーティングによる融雪と地中熱利用空調システム計画①

○小野 勇人, 田中 雅人, 中元 秀則（ミサワ環境技術株）,

高杉 真司, 館野 正之（ジオシステム株）, 赤井 仁志, 佐藤 秀樹, 渡部 一徳（福島大学）

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University, Part 4 : Plan Examination on Snow Melting Utilizing Free Heating by Geothermal Heat and Air-Conditioning System Utilizing GSHP #1

ONO Hayato, TANAKA Masato, NAKAMOTO Hidenori (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.), TAKASUGI Shinji, TATENO Masayuki (Geosystem CO., Ltd.), AKAI Hitoshi, SATO Hideki, WATABE Kazunori (Fukushima University)

キーワード：再生可能エネルギー熱, フリーヒーティング, 融雪, 地中熱利用ヒートポンプ, 空気調和設備

1. はじめに

福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業計画のうち、その 1 からその 3 において需要ポテンシャル推定(その 1), 太陽光発電と風力発電の導入計画(その 2)および地中熱ポテンシャルマップの作成(その 3)について報告した。本報では、排水処理熱を熱源としたフリーヒーティングによる路面融雪システムおよび地中熱を熱源とした地中熱ヒートポンプシステムの検討結果を報告する。

2. 融雪システム

2. 1 設備概要

共生システム理工学棟前の歩道は勾配のある坂道であり、冬期の積雪や凍結が原因で転倒する歩行者もあり危険な状態である。この区間を対象として、幅員 1.5m の融雪システム導入を検討した。融雪範囲を図 1 に示す。

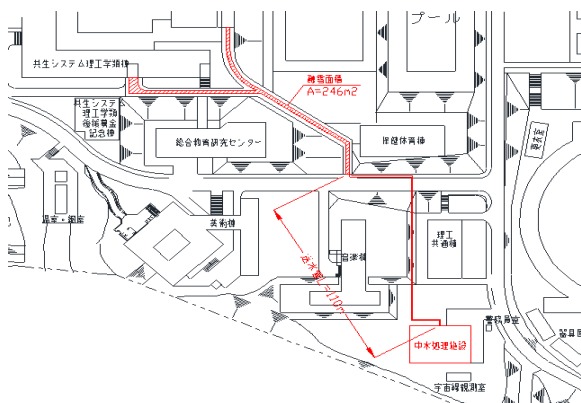


図 1 融雪範囲と中水処理施設

融雪の熱源は、融雪範囲から直線距離で約 80m 離れた中水処理施設の排水熱を利用することを検討した。

計画地の気象条件も考慮して検討した結果、設計条件を以下のように設定した。

- ・融雪面積 246 m<sup>2</sup>
- ・降雪強度 1.2 cm/h
- ・外気温度 -3.0℃
- ・必要熱量 141 W/m<sup>2</sup>
- ・循環流量 170 L/min
- ・全所要熱量 35 kW

2. 2 熱源計画

融雪の熱源は、中水処理施設の処理水の熱を用いる。処理水の水槽に熱交換器を設置し、融雪路面に埋設された放熱管と接続して不凍液を循環させる。

処理水は下水を滅菌・ろ過したものであり、固形分をほとんど含まないものの、熱交換器表面にスケールやバイオフィームが生じる可能性がある。また、冬期は処理水温度が低いため、熱交換性能が高い熱交換器が必要となる。そこで、ポリエチレン製細管で構成されたシート状熱交換器(商品名: G-カーペット)の採用を検討した。ポリエチレン製であるため耐食性が高く、付着した汚れの洗浄が容易である。また、表面積が大きいため一般的なポリエチレン管使用熱交換器よりも熱交換能力が高い。

シート状熱交換器を実際に使用するにあたって、処理水槽(5.3m×1.9m×深さ 3.2m)の点検口開口部

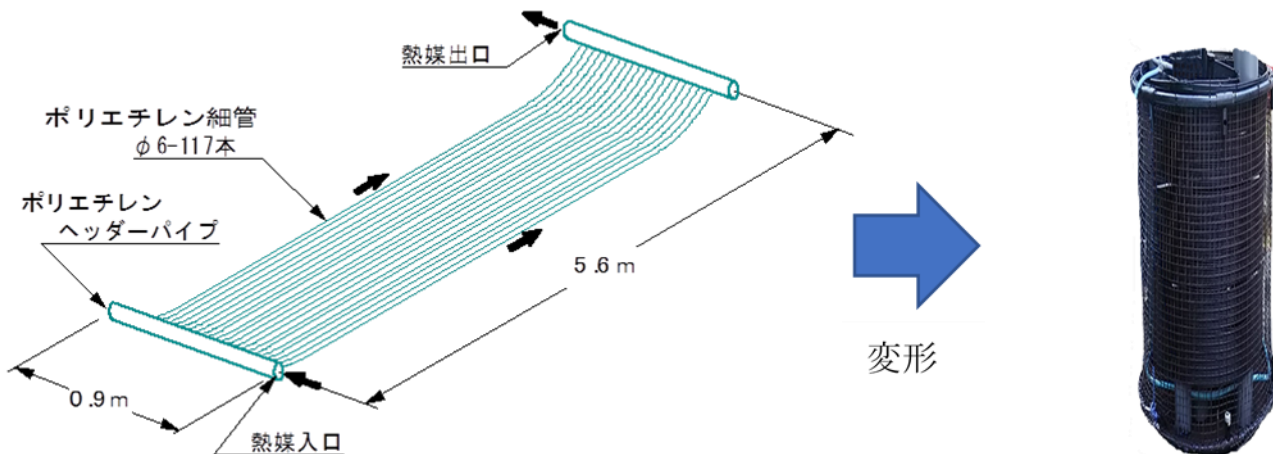


図2 シート状熱交換器の概要

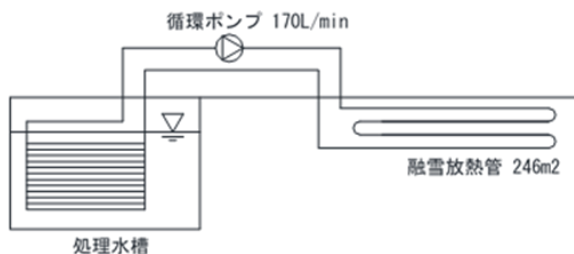


図3 融雪システム概要

が小さいため、ロールケーキのように渦巻状に巻き、直径を50cm程度に小さくしたバスケット型熱交換器として使用する。下記の処理水の流量や温度の測定記録を基に、熱交換器の個数を検討した。

- ・処理水流量：110 m<sup>3</sup>/day
- ・処理水温度：12℃
- ・循環水温度：熱交入口3℃，熱交出口5.9℃
- ・採熱量：6.1 kW

以上より、全所要熱量35kWに対して6個の熱交換器を計画する。

### 3. 空調システム

共生システム理工学類後援募金記念棟に設置された既設の空冷ビルマル熱源機を地中熱利用の水冷ビルマル熱源機に更新することを想定し、システムの概要を検討した。既設の熱源機仕様は表1の通りである。

検討の結果、新しい水冷ビルマル熱源機として、表2に示す仕様を選定した。

熱源機の熱源として必要となる地中熱交換器は、平均的な採放熱量<sup>1)</sup>である60W/mを元に計算すると、冷房時地中放熱量191.6kWより深度

100m×32本となる。地中熱交換器の設置に必要な用地は、16本×2列に配置するとして、75m×5m程度と想定される。想定されるシステム模式図を図4に示す。

#### 参考・文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課：官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案)，p.12(2013.10)

表1 既設の空冷ビルマル熱源機仕様

		No.1	No.2
台数	台	1	1
定格能力	冷房 kW	40.0	56.0
	暖房 kW	45.0	63.0
暖房低温能力 kW		37.9	51.3

表2 更新後の水冷ビルマル熱源機仕様

		No.1	No.2
台数	台	1	2
定格性能	冷房 kW	40.0	28.0
	暖房 kW	44.5	30.8

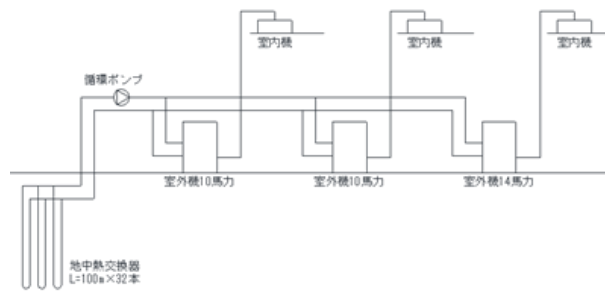


図4 地中熱利用空調システムの概要

## B-18

### 福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その5）

#### 地中熱利用空調システム と地下水利用ヒートポンプハイブリッド給湯システム計画

渡部 一徳, 佐藤 秀樹, 赤井 仁志 (福島大学),  
谷藤浩二, 宮平英樹 (ゼネラルヒートポンプ工業株)

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University, Part 5 : Plan Examination on Air-Conditioning System Utilizing GSHP #2 and Hot Water System using Underground Water Heat Pump as Base Load Power

WATABE Kazunori, SATO Hideki, AKAI Hitoshi (Fukushima University),  
TANIFUJI Koji, MIYAHIRA Hideki (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.),

キーワード：地中熱利用ヒートポンプ, 空気調和設備, 地下水熱利用ヒートポンプ, 給湯設備

#### 1. はじめに

福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討として、第4報ではフリーヒーティングによる融雪と地中熱利用空調システム計画について報告を行ったが、本報では事務所棟などへの地中熱を利用したヒートポンプによる空調の計画、および学生寮での地下水を熱源としたヒートポンプ給湯システムの計画について報告を行う。

#### 2. 事務局棟・地中熱利用空調システム

福島大学の事務局棟はRC造4階建て、床面積2,440㎡であり、そのうちの空調対象面積1,658㎡について地中熱源ヒートポンプを導入することを想定した。空調対象は既存でパッケージエアコンまたはルームエアコンが設置されているエリアとした。

本検討においては、空調負荷は既設設備の能力に合わせて冷房212.1kW、暖房225.2kWとした。単位面積当たりの空調負荷は冷房0.13kW/㎡、暖房0.14kW/㎡となる。空調方式としては現状の個別分散空調に倣うが、各階ごとに冷媒系統をまとめ、1階から4階それぞれにビル用マルチ空調システムを4系統導入すると想定して機器の選定を行った。選定した機器を表-1に示す。

選定した地中熱源ビル用マルチを導入する場合の暖房時必要採熱量および冷房時必要放熱量を機器仕様より算出すると、それぞれ272.8kW、189.6kWとなる。必要な地中熱交換器の長さを算出するためには単位長さ当たりの熱交換量の推定が必要となるが、ここでは国土交通省の「官庁施設における地中熱利用システム導入ガイドライン(案)」(平成25年10月)の第4章4項1節にお

ける実績値による場合の標準値60W/mを使用する。

表-1 事務局棟空調向け選定機器仕様

機種	地中熱源ビル用マルチ室外機(20馬力相当)×4台(1階から4階)
冷房能力	224kW(56kW×4) 室内空気吸込温度:27 WB、冷却水:30 →35
暖房能力	252kW(63kW×4) 室内空気吸込温度:20 DB、冷却水:5 →0
消費電力(冷房)	48.8kW(12.2kW×4)
消費電力(暖房)	62.4kW(15.6kW×4)

暖房時より冷房時の必要熱量の方が大きいため、冷房時放熱量より地中熱交換器総延長を算出すると4,547mとなり、地中熱交換器1本当たりの長さを100mとすると、地中熱交換井の必要本数は46本以上となる。

本部管理等に地中熱源ヒートポンプを導入する場合の熱源系統図を図-1に示す。地中熱交換井は6~7井で1系統とし計7系統を地中熱ヘッダーで接続している。地中熱ヘッダーからは、熱源循環ポンプにてそれぞれ各階用の地中熱対応ビル用マルチ室外機が4式接続されており、室外機からは冷媒で各階の各室内機に接続される。

地中熱交換器を5m置きに配置するとすれば地中熱交換に必要な面積は、1,150㎡(25㎡×46本)となる。本検討では4階を1階ごとに4系統に分けていることから、1階ごとの導入検討も可能であり、駐車場など地中熱交換器設置に利用できる面積から導入する階数を検討することが出来る。例えば、駐車場600㎡程度利用可能であれば5m置きに23本配置可能なため、1階および2階への導入の検討ができる。

事務局棟の他にも図書館、講義棟などの地中熱ヒ-

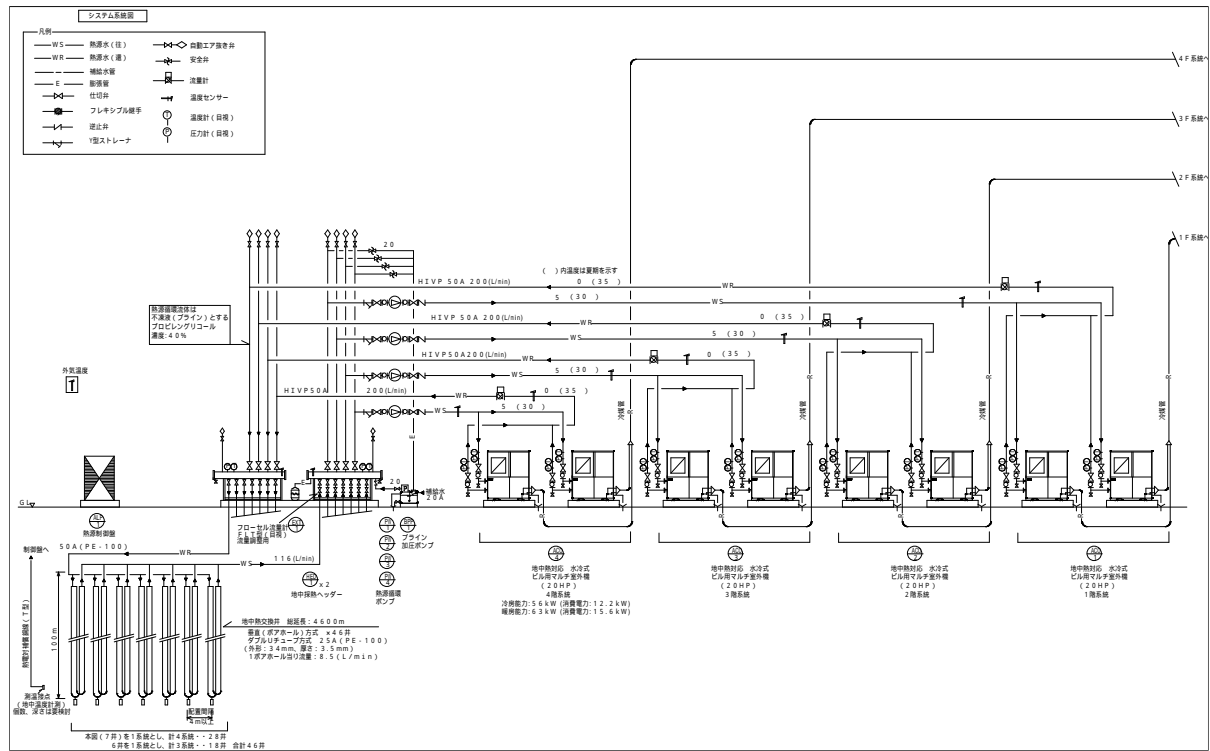


図-1 地中熱源ヒートポンプ熱源系統図

トポンプを利用した空調システムの導入検討を行った。

3. 学生寮・地下水利用ヒートポンプ給湯システム

キャンパス内でまとまった量の給湯需要があるのは唯一の居住施設である学生寮である。学生寮は寮1(5階、200室)、寮2(4階、150室)、寮3(4階、150室)および管理棟から成る。給湯設備は各階ごとにシャワーユニットが2か所、ユニットバスが1か所で設置されており、都市ガスを使用した瞬間型給湯器により供給されている。ここではこの給湯分を地下水熱源ヒートポンプ給湯機にて賄う場合の検討を行った。シャワー使用分と浴槽使用分の給湯量を160L/人・日と仮定すると、最大500人利用で80,000L/日の給湯量(45換算)が必要となる。上記給湯量を60換算すると1日60,000Lの給湯量となり、補給水5、給湯温度60とすると1日の給湯熱負荷量は3,837kWhである。

ヒートポンプにより運転時間15時間で給湯を行うとすると、必要給湯熱負荷は256kWとなる。想定した給湯熱負荷を満たすよう選定した機器は以下となる。

表-2 寮の給湯向け選定機器仕様

機種	地下水熱源水冷式ヒートポンプ給湯機	
給湯能力	288.4kW	給湯:5 60、熱源水:10 5
消費電力	72.1kW	

地下水からの採熱量を給湯熱負荷から算出すると192kWとなり、地下水から取得する温度差を  $t=5$  として必要地下水量を算出すると550L/minとなる。地下水はヒートポンプから要求される水質基準を満たさなければヒートポンプに直接入れることはできないため、ヒートポンプと井水槽の間にはプレート式熱交換器を設ける。地下水の揚水量をなるべく抑えるため井水槽を設置する。井水槽からプレート式熱交換器に送られ熱交換を終えた後の還りの地下水は、還り温度により井水槽に戻るか、または還元井戸に還る。ヒートポンプにより製造されたお湯は、夜間や低負荷時に貯湯槽に蓄熱され、給湯利用により水位や温度が低下すれば追掛運転が行われる。

ハイブリッド給湯システムはヒートポンプ給湯とボイラの併用で、ヒートポンプでベース運転を行うものである。ピークと低負荷時の差が大きい場合、ピークに合わせてヒートポンプシステムを設計するとヒートポンプ容量が増え、電力のデマンドも大きくなる欠点があるが、ハイブリッドシステムとすることで、ヒートポンプの容量や電力デマンドを抑えることができる。寮での給湯の利用パターンを把握し、利用状況によってはハイブリッド給湯システムを検討することも必要となる。また、太陽熱集熱器との組み合わせも検討材料となる。

# B-19

## 福島大学での再生可能エネルギー熱利用を中心とした事業検討（その6）

### 地中熱利用による学内熱源水ネットワーク計画、福島市としての展開と総括

○加藤 龍宏, 勝又 雅浩 (㈱ユアテック), 新倉 万結 (㈱ユアテック, 当時: 福島大学学生), 赤井 仁志, 佐藤 秀樹, 渡部 一徳 (福島大学), 吉田 典生, 高橋 克典 (福島市), 池田 俊幸, 関根 卓哉 (㈱アーク)

Project Study for Utilization System of Mainly by Renewable Energy Heat in Fukushima University, Part 6 : Plan Examination on Heat Source Water Network Utilizing Geothermal Heat Utilization System at Campus and Project Development to Act as Fukushima City, General Overview

KATO Tatsuhiko, KATSUMATA Masahiro, SHINKURA Mayu (Yurtec Corporation), AKAI Hitoshi, SATO Hideki, WATABE Kazunori (Fukushima University), YOSHIDA Norio, TAKAHASHI Katsunori (Fukushima City), IKEDA Toshiyuki, SEKINE Takuya (Ark Co.,Ltd.),

キーワード：再生可能エネルギー熱, 地中熱利用, 熱源水ネットワーク, 福島市, 展望, 総括

#### 1. 地中熱利用による学内熱源水ネットワーク計画

その 2「電力特性、太陽光発電と風力発電の導入計画」の通り、昼夜の時間帯間の電力需要の隔たりが大きい。その 3「地中熱・地下水熱利用簡易ポテンシャルマップ」の通りポテンシャルの高い地中熱の土壤条件、その 1「事業とキャンパスの概要、熱・電気エネルギー需要簡易ポテンシャル推定」の通り主要箇所には張り巡らされた共同溝という長所を活かして、短所の昼夜時間帯間の電力需要格差を解消するシステムの導入を考える必要がある。

この特性を踏まえて、空気熱源利用ヒートポンプも活用しながら地中熱利用ヒートポンプを主に、季節により設定温度変化をさせて 10(15)~35℃程度の 2 次側熱源水を 1,500 m<sup>3</sup>~3,000 m<sup>3</sup>の蓄熱槽に、夜間に 2 次側熱源水として蓄える(参考システム: 図-1)。太陽光発電を導入した際、蓄熱槽は昼間電力の緩衝にもなり得る。

管路が長いことから、ポンプの搬送動力が掛かる。搬送動力を低減するために、1 次側・2 次側共、末端に二方弁を取り付けて、必要流量に応じてポンプを回転数制御する。また、配管の摩擦

損失を低減できる新日本空調(株)製の DR 剤(配管摩擦抵抗低減剤)を注入する。さらに、熱源水配管の管径の選定の際、動水勾配を小さくする。関係選定で 100~250Pa/m を動水勾配の上限値とする。この他、搬送動力を削減のために、配管内部にサビを作らない。腐食予防の観点、エアによる比熱の低下等を防ぐために、KHK シルマーを設置する。また、2 次側熱源水管の開放回路と密閉回路を比較した場合、圧倒的に密閉回路が腐食防止に有利である。さらに、管路の長い配管内の水質保全では密閉回路

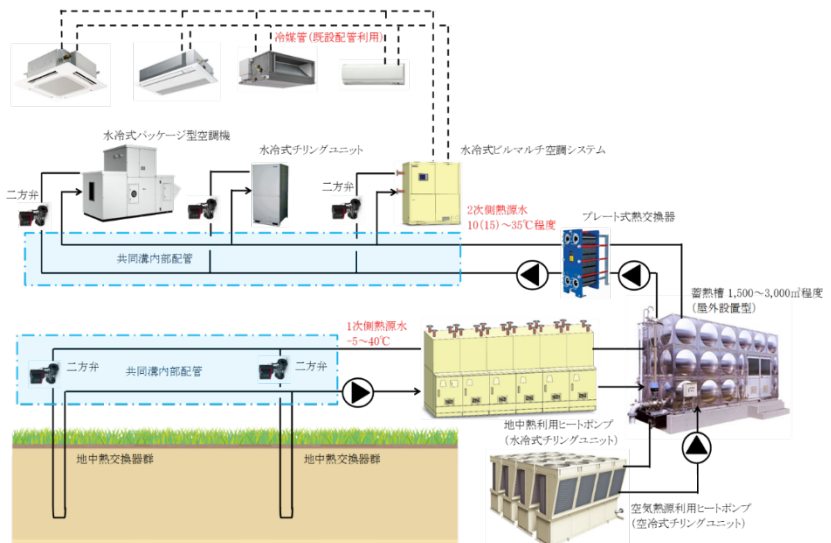


図-1 蓄熱槽を設けた地中熱利用暖冷房システム (集中熱源 / 2 次側熱源水密閉回路) の概略図

が優れている。施工の容易さや耐久性から、ステンレス鋼管の薄肉管(SU管)の加工管(プレハブ管)が適している。

熱利用側は、つぎの通りとする。2次側熱源水を共同溝の中を張り巡らせて、各施設で水冷式ヒートポンプで暖冷房を行う。ビルマルチ空調機を導入している施設では、屋外ユニットを変更する。ビルマルチ空調機の屋内ユニットと屋外ユニット間の冷媒配管が、そのまま利用できるリニューアル用のビルマルチ空調機も商品化されているので検討したい。また、PMACに代表される小型水冷式ヒートポンプユニットの利用も検討する。

エアハンドリングユニット型空調機を用いている施設では、水冷式ヒートポンプチリングユニットとエアハンドリングユニット型空調機の組合せか、水冷式ヒートポンプパッケージ型空調機等に更新する。水冷式ビルマルチ空調機や水冷式ヒートポンプパッケージ型空調機、小型水冷式ヒートポンプユニット等は、形式や制御によって、例えば年間冷房システムの排熱を、他のシステムの暖房熱源に利用可能である。中間季や冬季でも、例えば、天候によって午前中、東側の部屋は冷房運転をして西側の部屋は暖房運転をするようなことがある。2次側熱源水を学内に配管することにより、熱源ネットワークが構築され、熱の有効利用できる。現在の高温水配管を、2次側熱源水配管に配管替えすることから、暖房季以外の季節に施工可能である。

共同溝から近い施設に、現在の空調・暖冷房システムに応じて、上記のシステムを導入する。全ての施設を本システムのような画一的なものにせず、多様性のあるシステムを導入することが、今後の福島県での再生可能エネルギー熱利用の普及・促進にはたいせつな役割を持つ。

## 2. 福島市としての展開

本事業を受け、成果を市のホームページを活用した情報発信を行っている。これにより、市内事業者等へ再生可能エネルギー熱利用システムの導入に向けたノウハウを提供することで、事業者の再生可能エネルギー導入や研究・技術開発の促進を図る。

福島市は、再生可能エネルギー推進に向けた全市の機運の醸成を図るため、「福島市次世代エネルギーパーク計画」を活用した学習機会の拡充や普及啓発等を行っている。計画に位置づけている施設

は、太陽光発電、小水力発電、地熱バイナリー発電、バイオマス発電と発電に関するものが主である。本事業の調査内容をもとに設備導入することで、熱分野のエネルギーの学習機会を提供できる施設として、市民等の学習機会拡充に資するべく、計画関連施設への追加を検討していく。

## 3. 総括

2040年までに再生可能エネルギー100%を目指す福島県の地元国立大学としては、電気を熱源とした暖冷房や給湯システムに移行する必要がある。本事業で顕らかになった福島大学金谷川キャンパスに適した再生可能エネルギー熱利用は、つぎの通りである。

- ① 土壌の有効熱伝導率が高いことから、地中熱利用ヒートポンプが適している。
- ② 学内の主要部分に共同溝が布設されており、学内で熱源ネットワークを構築することが可能である。
- ③ 昼夜間の電力需要の格差が大きく、契約電力に関わる基本料金部分を低減できる蓄熱式空調システムや貯湯式給湯システムの導入により、電気料金の大きな低減効果が期待できる。
- ④ 上記のことから、共同溝に近い施設を対象に、図-1に示したようなシステム構成が効果的である。
- ⑤ 2040年までに再生可能エネルギー100%を目指している福島県の中で、地元の国立大学が担う重要な役割から、画一的なシステムだけを導入するのではなく、多様性を持つことも検討する。
- ⑥ その4「フリーヒーティングによる融雪と地中熱利用空調システム計画①」のフリーヒーティングによるロードヒーティングでは、排水処理設備から受けられる熱量とロードヒーティングに必要な熱量が拮抗していた。代替案として、地下水を汲み上げ、ロードヒーティングの熱利用をするとともに、中水(雑用水)としての水利用も有効である可能性が高い。導入費用、排水処理設備の保守管理料金の減額、下水道料金の増額等を総合的に判断する必要がある。
- ⑦ 本事業では、触れなかった木質チップやRDF等を燃料とした小型バイオマス蒸気ボイラによる発電と熱利用のコージェネレーションシステムも漸増している。福島県郡山市に本社を置く(株)エンバイロテックが技術を有しており、今後、活用を検討する。



## B-20

### 再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保（その1）

○赤井 仁志(福島大学), 長谷川 巖(㈱日建設計), 土井 章弘(㈱竹中工務店),  
中島 一義(㈱総合設備コンサルタント), 濱田 靖弘(北海道大学), 仲川 ゆり(JR 東日本ビルテック㈱),  
松鶴 さとみ(鹿児島大学), 矢崎 稜馬, 土山 紘平(北海道大学)

#### Discussion about Ensure Safety and Sanitation of Potable Water for Renewable Energy Heat Utilization, Part 1

Akai Hitoshi (Fukushima University), HASEGAWA Iwao (Nikken Sekkei Ltd), DOI Akihiro (Takenaka Corporation), NAKAJIMA Kazuyoshi (Sogo Setsubi Consulting Co.,Ltd.), Hamada Yasuhiro (Hokkaido University), NAKAGAWA Yuri (JR East Facility Management Co.,Ltd.), MATSUU Satomi (Kagoshima University), YAZAKI Ryoma, TSUCHIYAMA Kouhei (Hokkaido University)

キーワード：SHASE-S206, 給排水衛生設備規準・同解説, クロスコネクション, 再使用の禁止

#### はじめに

近年、建築設備分野での再生可能エネルギーの利活用が急速に進んでいる。かつて給湯や浴槽昇温等の加熱に用いることの少なかったヒートポンプの利用や、排熱・余熱・太陽熱等によるフリーヒーティングを組み合わせた加熱システムの導入が増えている。

太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー電気による発電の普及拡大により、建築設備分野でも熱源を電気にシフトする傾向が見られる。とくに、変動する電力供給を効率的に活用するスマートコミュニティやデマンドレスポンス等の技術と、ヒートポンプ運転・貯湯予測制御の融合技術により、年間を通して熱負荷のある宿泊施設や医療施設、社会福祉施設やスポーツ施設等の給湯、浴槽、温水プール、ガス気化等の熱源としての利用が注目されている。

一方で、建築設備分野での排熱・余熱・太陽熱・ヒートポンプ等を組み合わせた多熱源の利用も進み、クロスコネクションや給湯の「再使用の禁止」に抵触するシステム導入の懸念が払拭できない。クロスコネクションや上水(給水・給湯)の「再使用の禁止」は、空気調和・衛生工学会 給排水衛生設備委員会の中で、課題として挙げられた。給排水衛生設備分野に高度な専門的応用技術や知識を持たない実務者や研究者にも分かる事例の提示や基礎的な技術等を解説する必要性が提案された。

2017(平成29)年3月に終了した同学会 給湯設備の計画・設計法小委員会では、ちょうど SHASE-S206 改訂委員会が進行中だったことや、何人かの委員が両委員会の委員を兼務していることもあり、委員会活動の中で討議した。このことを踏まえて、空気調和・衛生工学会大会等で、事例や基礎的事項等を報告して、普及・啓発の効果の期待を込めて、討論を

通して意見を募り、最終的に方向性を見いだそうと考えた。

#### 1. 上水の汚染防止の書籍への記載

##### 1.1 空気調和・衛生工学会編の刊行物

空気調和・衛生工学会編で、給排水衛生設備分野で最も流布している『給排水・衛生設備 計画設計の実務の知識』(改訂4版)<sup>1)</sup>では、「飲料水の汚染防止」として、つぎの3つを挙げている。

- 1) クロスコネクションおよび逆サイホン作用による一度吐水した水や飲料水以外の水の飲料水配管への逆流
  - 2) 受水槽などの開放水槽への異物の混入
  - 3) 機器材料の接水面から飲料水へ有害物質が溶出
- 空気調和・衛生工学会編『空気調和・衛生工学便覧』(第14版)<sup>2)</sup>でも、『給排水・衛生設備 計画設計の実務の知識』(改訂4版)と同様の記載がある。

空気調和・衛生工学会編『空調・給排水の大百科』の「配管系における水の汚染」<sup>3)</sup>では、つぎの3項目を挙げて、解説している。

- 1) 配管材の腐食による水の汚染
- 2) クロスコネクションによる水の汚染
- 3) 逆流による水の汚染

以上の空気調和・衛生工学会編3冊の刊行物に加え、『空気調和・衛生用語辞典』(第2版)<sup>4)</sup>や『空気調和・衛生用語集』<sup>5)</sup>のいずれにも当該箇所に上水(給水・給湯)の「再使用の禁止」の記述は見当たらない。これらの刊行物では、給湯設備や循環ろ過設備、水泳プール設備や浴場施設の章でも、「再使用の禁止」を確認できない。

ここに羅列した刊行物で、最も新しい『給排水・衛

生設備 計画設計の実務の知識』(改訂 4 版)を例に挙げると、空気調和・衛生工学会の委員会活動成果が刊行物に反映されないことにも課題がある。

## 1.2 空気調和・衛生工学会規格『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』

『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』<sup>7)</sup>は、副題にあるように日本の Plumbing Code であり、給排水衛生設備分野のバイブルでもある。この書籍の「序」に「・・・制定されて以来、我が国の給排水衛生設備における規範として、また適切な給排水衛生設備における指標として位置づけられており、法的な拘束力はないものの、給排水衛生設備技術の原典としていろいろな方面で引用され、拠りどころとなっている」と記述されている通りである。

汚染防止は、本文冒頭の「基本原則」の章に、つぎの 3 項目が解説と共に記載がある。

- 12) 給水・給湯設備に用いる材料は、有害物が侵し出ししないものを使用する。
- 13) 上水の給水・給湯系統は、クロスコネクションをしてはならない。
- 14) 上水の給水・給湯系統は、逆圧及び逆サイホン作用の危険を生じないようにする。また、逆サイホン作用を生じるおそれがある器具・装置には、適切な逆流装置を設ける。

「基本原則」に続いて、「用語の分類と定義」の章があるが、「逆圧」、「逆サイホン」、「逆流」、「クロスコネクション」の項はあるが、「再使用の禁止」の項はない。

「再使用の禁止」は、「上水給水設備」の章と「給湯設備」の章に解説とともに記載されているが、それぞれ解説を含めて 4 行と 3 行だけである。314 ページもの規準・解説書で、たった 7 行で書かれているのみなのである。関連して、2009 年版で給水設備から分離した「雑用水給水設備」の章に、「再使用の措置」として、解説も含めて 4 行の記載がある。空気調和・衛生工学会規格『給排水衛生設備規準・同解説』の、これまでの「再使用の禁止」の取り扱いと変遷は、表-1 の通りである。

## 1.3 建築研究所 日本建築行政会議編『給排水設備技術基準・同解説』

『給排水設備技術基準・同解説』<sup>8)</sup>は、「まえがき」にあるように、建築基準法や関連する告示の他、水道法や建築物衛生法等の法令にも触れて解説をして

いる。

建築基準法施行令第 129 条の 2 の 5 の第 2 項(飲料水の配管設備)の項に、クロスコネクションや逆流防止、配管設備から溶出する物質による汚染、凍結による破損等を解説している。建築基準法や関連法令に「再使用の禁止」がないことから、触れられていない。

## 1.4 考察

『空気調和・衛生工学』に掲載になった小川正晃著「知られざる規準 SHASE-S 206」<sup>9)</sup>には、クロスコネクションや逆サイホン等の実例とともに、「給湯は熱源水として利用できない」として、「再使用の禁止」に抵触した事例が紹介されている。玉稿の中に、「“再使用の禁止”の規定に関する認識がないと思われる」と記載がある。

空気調和・衛生工学会編以外の一般刊行物の『100 万人の給排水』<sup>10) 11)</sup>でも、「再使用の禁止」の記述は見当たらない。

現状の空気調和・衛生工学会編やその他の一般刊行物への不記載の状況や『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』での取り扱いから考えると、一般の実務者や研究者が「再使用の禁止」認識するのは難しいと考えざるを得ない。

そもそも、「再使用の禁止」の定義が曖昧という意見もある。『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』の「用語の分類と定義」で定義づけする必要があると考えられる。また、空気調和・衛生工学会編の『空気調和・衛生用語辞典』を改訂する際にも項目として取り上げる必要がある。

## 2. 給湯設備の計画・設計法小委員会の報告書への記載

空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会の報告書に、「給湯配管方式に対する留意点」<sup>12)</sup>の章を設け、「給湯の「再使用の禁止」」を記載した。

『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』の給湯設備の章にある「再使用の禁止」の記載は、上水給水設備の解説をそのまま引用しているので分かりづらくなっていると指摘した。現在使用されている給湯器で、熱交換コイルを介し加熱して、その後暖房系統で使用している。貯湯槽の熱を熱交換機により床暖房に使用しているケースを図示した(図-1)。

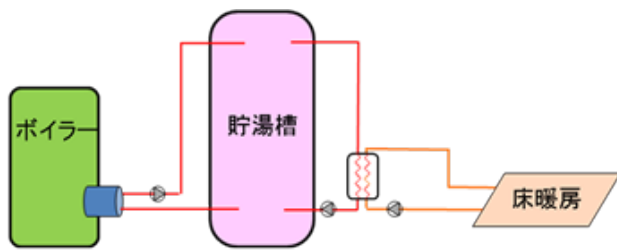


図-1 貯湯式給湯器の床暖房への熱使用事例 <sup>12)</sup>

この他、再利用している事例として、つぎを箇条書きに記した。

- 1) 給湯を他の昇温に利用すると、その系統は給湯系統ではなく、昇温系統となる。
- 2) 給湯系統と昇温系統のクロスコネクションとなるため不可となる。
- 3) 逆に給湯を温水等でプレヒート等する場合は問題ないことになるが、熱交換器等にピンホール等が出た場合には問題となる。

同じシステムであっても、目的が異なると、「再使用の禁止」に抵触する場合と、必ずしも抵触すると言い切れない場合があり、報告書につぎのように記載した。

図-2 で、熱交換器 1 次側に 70℃の温泉水があり、これを冷却して 43℃で浴槽に供給して、熱交換器 2 次側では 5℃の給水を温泉水で予熱して 20℃でボイラに供給する。これを、熱交換器 1 次側の視点から見ると、給水・給湯水を冷却するのに使用したことにより、再使用の禁止に抵触するために不可となる。一方で、熱交換器 2 次側からの視点だと、給水を温泉水で予熱したので、問題となる可能性もある。

『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』の改訂案では、再使用のケースの事例と、再使用の禁止の理由を簡潔に述べて、原則を示すことが適当であるとした。具体的な事例は、「再使用の禁止」の原則と照らして、個々に詳細に判定すべきであり、管理方法も含め、合否ラインを明確にはできない」という意見により、解説文には追加せず、検討の経緯のみ

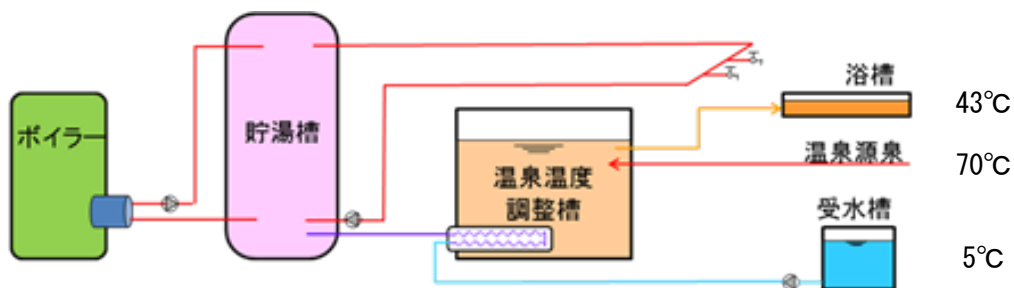


図-2 温泉源泉の温度調整のために使用した予熱された給水を給湯原水として使用する事例 <sup>12)</sup>

別ページに残すことにした。

### 3. 今後

空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会での論議を踏まえ、次報以降、「再使用の禁止」に抵触するケースを提示して、課題と解決策を報告したいと考えている。また、「再使用の禁止」をクロスコネクションに当てはめることも論議したので、この解説も順次、行っていきたい。

### 参考文献

- 1) 村田博道(著)・空気調和・衛生工学会(編):飲料水の汚染防止、給排水・衛生設備 計画設計の実務の知識、改訂 4 版、pp.24~31、(2017)
- 2) 空気調和・衛生工学会(編):給水用水質と汚染防止対策、空気調和・衛生工学便覧、第 14 版、第 4 巻、pp.77~88、(2010)
- 3) 小川正晃(著)・空気調和・衛生工学会(編):配管系における水の汚染、空調・給排水の大百科、pp.368~369、オーム社、(1999)
- 4) 田中正敏(著)・空気調和・衛生工学会(編):飲料水・雑用水・生活排水の水質、空調・給排水の大百科、pp.128~129、オーム社、(1999)
- 5) 空気調和・衛生工学会(編):空気調和・衛生用語辞典、第 2 版、p.200、p.331、オーム社、(2006)
- 6) 空気調和・衛生工学会(編):空気調和・衛生用語集、p.76、p.128、オーム社、(1994)
- 7) 空気調和・衛生工学会(編):空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説、序、pp.3~4、pp.18~24、pp.62~63、p.77、p.83、pp.299~314、丸善、(2009)
- 8) 建築研究所 日本建築行政会議(編):給排水設備技術基準・同解説 2006 年版、まえがき、pp.33~36、p.109、日本建築センター、(2006)
- 9) 小川正晃:知られざる規準 SHASE-S 206、空気調和・

- 衛生工学、pp.29～33、(2016-10)
- 10) 小坂信二(著)・小川正晃(編):飲料水の条件、100 万人の給排水、pp.18～22、オーム社、(2015)
- 11) 水上邦夫(著)・小川正晃(編著):給水設備の条件、100 万人の給排水、pp.32～38、オーム社、(2015)
- 12) 土井章弘:給湯の「再使用の禁止」、給湯設備の計画・設計法、空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会報告書、pp.5～7、(2016-10)

表-1 過去の SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説での「再使用の禁止」の掲載内容 <sup>12)</sup>

版	章タイトル	本文	解説文
1967 年版	給水・給湯	5.3 使用ずみの水 装置の冷却・加熱、または同様の目的に使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	記載なし
1976 年版	給水・給湯	3.2 再使用の禁止 装置の冷却・加熱、または同様の目的に使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	記載なし
1982 年版	給水及び給湯	3.1.2 再使用の禁止 装置の冷却・加熱・洗浄、その他一定の目的に使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	記載なし
1991 年版	給水および給湯	3.1.2 再使用の禁止 装置の冷却・加熱・洗浄、その他一定の目的に使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	装置の冷却・加熱などのコイルを通過した水は、コイルの材質の溶出やコイルに穴が開いた場合、汚染のおそれがある。このように一定目的に使用された水は、すでに上水としての必要条件を満たしていない可能性が強いため、主に飲用に用いられる上水の給水系統への再使用を禁じたものである。
2000 年版	給水設備	4.1.2 再使用の禁止 装置の冷却・加熱・洗浄・その他の一定の目的のために使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	装置の冷却・加熱などのコイルを通過した水は、コイルの材質の溶出やコイルに穴が開いた場合に、汚染のおそれがある。したがって、一定目的に使用された水は、すでに上水としての必要条件を満たしていないおそれが強いため、主に飲用に用いられる上水の給水系統への再使用を禁じたものである。
	給湯設備	5.1.2 再使用の禁止 装置の加熱、洗浄、その他の一定の目的に使用された湯は、上水の給水・給湯系統に再使用してはならない。	4.1.2 に準ずる。
2009 年版	上水給水設備	6.1.2 再使用の禁止 装置の冷却、加熱、洗浄及びその他の一定の目的のために使用された水は、上水の給水系統に再使用してはならない。	装置の冷却、加熱、洗浄及びその他の一定目的に使用された水は、既に上水としての必要条件を満たしていないおそれが強いため、上水の給水系統への再使用を禁じたものである。
	雑用水給水設備	7.1.2 再使用の措置 装置の冷却・加熱・洗浄、その他一定の目的のために使用された上水又は雑用水は、雑用水系統に再使用するにあたり、水質及び水温を適切に維持する。	一定目的に使用された上水又は雑用水は、当初の雑用水としての必要条件を満たしていないおそれがあるため、雑用水系統への再使用に当たっては、水処理装置などを設けて、雑用水の水質基準に適合するように管理する。
	給湯設備	8.1.2 再使用の禁止 装置の加熱、洗浄、その他の一定の目的に使用された湯は、上水の給水・給湯系統に再使用してはならない。	6.1.2 による

空気調和・衛生工学東北支部地区講演会  
空気調和・衛生工学会東北支部  
第8回学術・技術報告会特別セッション  
『再生可能エネルギー先駆けの地・福島の現状と展望』

共 催 電気設備学会東北支部、建築設備技術者協会東北支部、日本技術士会東北本部  
後 援 東北大学大学院工学研究科、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  
会連合会北海道・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、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31年3月13日(水) 15時30分～16時30分  
会 場 東北大学川内北キャンパス講義棟 (B棟 B102、B103、談話室)  
〒980-8576 仙台市青葉区川内 41  
定 員 100名(先着順)  
参加費 無料

【プログラム】(予定)

講演 (15:30~16:30)

司会 : 赤井 仁志 (福島大学、事業・調査委員会委員長)

開会

講演 「再生可能エネルギー先駆けの地を目指して

・・・ふくしまで進む産学官連携による再エネ関連産業の集積」

講師 : 服部 靖弘氏 (福島県産業振興センター エネルギー・エージェンシーふくしま)

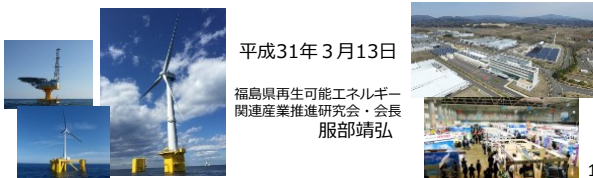
閉会



空衛学会東北支部

## 再生可能エネルギー先駆けの地を目指して

～ふくしまで進む産学官連携による再エネ関連産業の集積～



1



空衛学会東北支部

## 目次

1. 福島県の目標
2. 再生可能エネルギーの導入推進に向けた取組
3. 地域イノベーション戦略支援プログラムについて
4. 再生可能エネルギー関連産業の育成・集積に向けた取組
5. 現在注力している取り組み

終わりに

2

空衛学会東北支部

空衛学会東北支部

## 自己紹介

- ・ (株)東芝の重電部門で原子力、火力、水力等の業務に従事
- ・ 北芝電機(株)社長(2008～2012) ここで震災を経験
- ・ 2012年7月;福島県再生可能エネルギー関連産業推進研究会 会長
- ・ 2012年8月;ふくしま地域イノベーション戦略支援プログラム プロジェクトディレクター
- ・ 2017年4月;エネルギーエージェンシー・ふくしま 代表

震災後に「再生可能エネルギー先駆けの地」を目指す福島県で、再エネ関連産業集積に向けた産業界のネットワーク作りや産学連携活動の旗振り役を務めてきた。

3

## 1. 福島県の目標

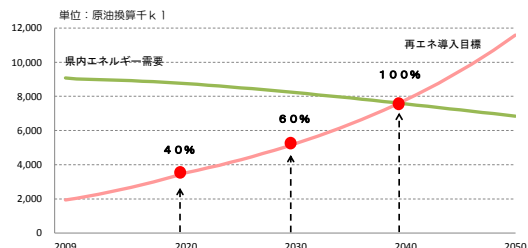
4

空衛学会東北支部

## 福島県の再生可能エネルギー導入目標

「福島県再生可能エネルギー推進ビジョン」(平成24年3月改訂版)

2040年頃を目途に、**県内のエネルギー需要量の100%以上に相当する量のエネルギーを再生可能エネルギーで生み出す**



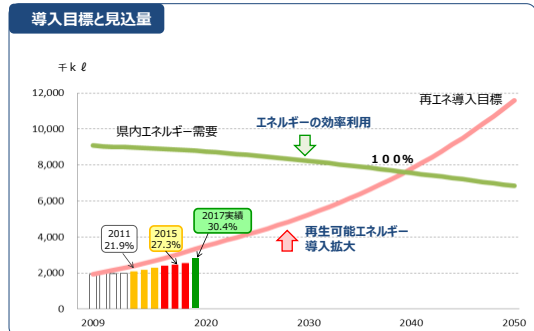
同時に、国内外の企業や世界最先端の研究機関が立地する**一大産業集積地を実現する**

5

空衛学会東北支部



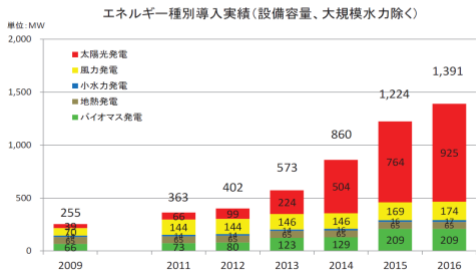
## 再生可能エネルギー導入実績 (～2017)



6

再生可能エネルギーの導入状況

● 設備容量(大規模水力除く)では、2011年度の約363メガワットから5年間で約1,000メガワット増加、2016年度末の導入実績は約1,400メガワットとなっている。



7



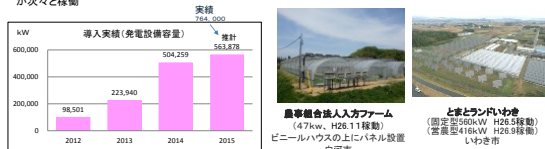
2. 再生可能エネルギーの導入推進に向けた取り組み

アクションプラン第1期(2012~2015)

8

太陽光発電の導入推進

- 固定価格買取制度を背景に、県内各地で導入が飛躍的に増加
- 県民に身近な住宅用太陽光発電も、県独自に全国トップクラスの補助水準の支援制度を設け、件数増加
- 避難地域でも地元自治体と民間企業が連携し、遊休地等を活用した事業や売電収入を地域振興に活用する事業が次々と稼働



**避難地域の復興事業として導入が進む**

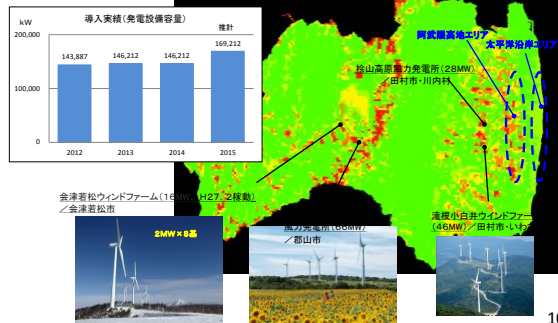
**<事例> 大蔵町ふるさと復興メガソーラー**

- ・設備容量 1,800kW
- ・H27.12稼働
- ・大蔵町大川原地区
- ・売電収入の一部を活用し、町の復興事業を支援

9

風力発電(陸上)の導入推進

- 県内では、風が強い山間部を中心に風力発電の導入が進む
- さらなる導入拡大に向け、阿賀野川流域エリアや大蔵町エリアにおいて、県主導のコンソーシアムによる風況調査や適地選定に着手



10

風力発電(洋上)の実証研究

浮体式洋上風力発電実証研究事業

- 「再生可能エネルギーの先駆けの地」とするシンボルとして、世界をリードする浮体式洋上風力発電技術の実用化を目指し、10企業と東京大学からなるコンソーシアムが、経済産業省からの委託事業として浮体式洋上風力発電実証研究事業を実施
- 2013年11月 2MW(=2,000kW、高さ約110m)1基、洋上発電所運転開始
- 2015年12月 7MW(高さ約200m)運転開始、2016年3基目(5MW)を設置

**【実証研究の全体像】**

**第2期事業**

- ・7MW風車「ふくしま新風」
- ・5MW風車「ふくしま浜風」

全高約200mの世界最大級風車  
県内企業の開発したフロートが採用  
→2015年12月運転開始

2MW風車「ふくしま未来」 洋上発電所「ふくしま絆」

11

小水力発電の導入推進

- 県内には多くの水力発電所を有するが、新たに大規模水力発電を開発する余地はない
- 河川や農業用水路などを活用した小水力発電の導入を推進。上水道や砂防ダムを有効利用した事業を開始



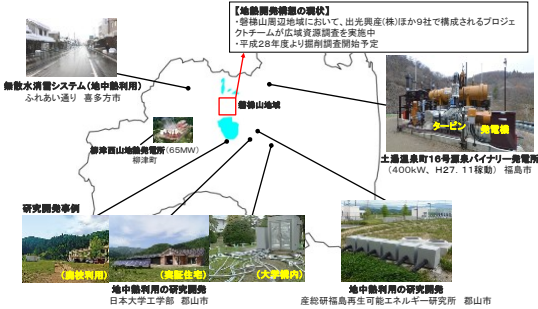
12



地熱・地中熱の利用推進

空衛学会東北支部

- 土湯温泉(福島市)において東北初の商業用の地熱バイナリー発電(400kW)が運転開始
- 地中熱利用についても、県内各地で導入が進むほか、研究開発(実証)が実施されている
- 地熱発電は安定した電力供給が可能であるため、温泉資源や自然環境の保護との両立を図りながら、その導入を推進する



13



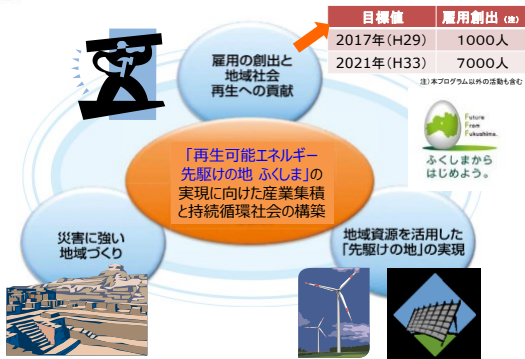
空衛学会東北支部

3. 文科省事業・地域イノベーション戦略支援プログラム(2012~2016)について

14

産学連携プログラムの立ち上げ(ゼロからのスタート)

空衛学会東北支部

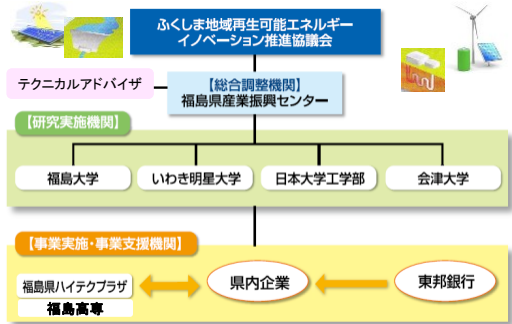


Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

15

地域イノベーション戦略支援プログラムの推進体制

空衛学会東北支部



Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

16

本プログラムの取組みテーマ

空衛学会東北支部

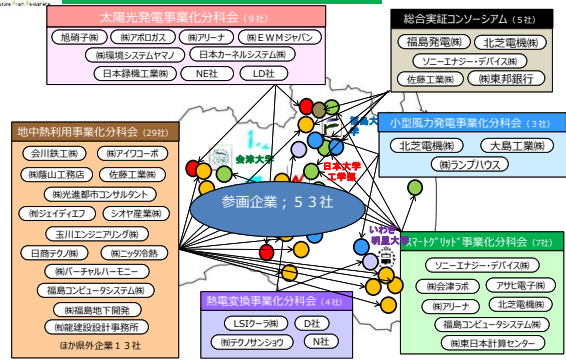


Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

17

研究成果の技術移転による本事業への参画企業

空衛学会東北支部



Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

18

### ①太陽光発電関連システムの事業化

最終研究成果発表会

劣化診断コンサルシムメンバー

劣化診断システム

融着機能付き太陽光発電システム

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

### ②小型風力発電システムの事業化

空調和学東北支部

コンサルシムメンバー

北芝電機株式会社

つちのぼろーダーク5kW実証機

プレドNACA4421の製作

小型風車用発電機の開発・実証

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

### ③地中熱利用システムの事業化

空調和学東北支部

研究組合・コンサルシム

既存ノ有休井戸利用

浅部地中熱1/2システム

地中熱リファレンスマップ

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

### ④熱電変換システムの事業化

空調和学東北支部

熱電変換発電システムの事業化

高温用発電システム

低温用発電システム

火災センサー

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

### ⑤スマートグリッドシステム関連の事業化

空調和学東北支部

コンサルシムメンバー

ふくしま電力実用化(施設)情報の見える化(エネルギーマネージメントシステム)

スマートグリッド情報基盤(SG情報基盤)を用いて、県内企業、自治体、教育機関の再生可能エネルギーへの取り組みを可視化し、各関係者による再生可能エネルギーの導入、エネルギー利用の効率化の促進

事業化の取組の経緯

県内企業、教育機関への各種エネルギー管理実務講座を茨城大学SG情報基盤を利用したシステムで提供することによるイノベーション促進

県立福島工業高等専門学校への導入と同時に、福島県内の教育機関へ順次展開し、若年層のエネルギー利用に関する意識向上を促進

企業における各設備の電力消費の監視と使用状況の把握による電力利用の効率化の促進と取組

システム構築

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved

### ⑥人材育成活動の成果

空調和学東北支部

1 ◆研究者・技術者養成として大学院生の支援(3名)および大学院授業の公開実施(高度技術者養成講座) 招聘研究員と共同した研究者養成(57名)

産総研との包括協定/教育協定(最先端研究者による授業)

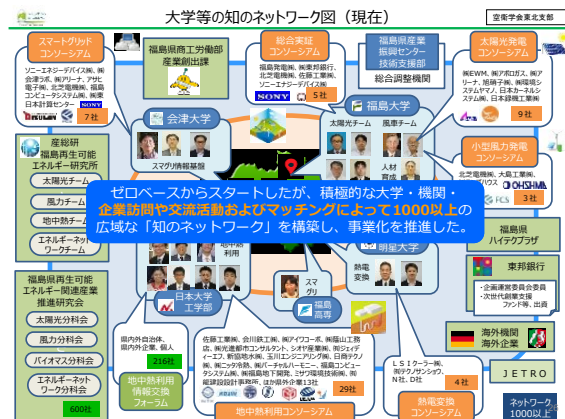
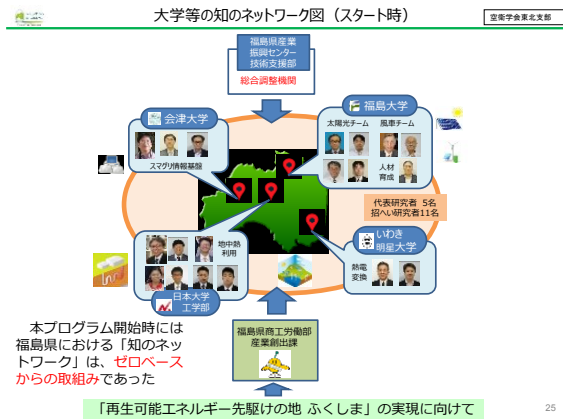
2 ◆再エネ事業プランナー養成(目標120名を養成→181名) 中小エネルギー産業、再エネ関連企業・再エネ事業支援者

実務者が中心で、実践的で、すぐ役に立つ内容

3 ◆再エネによる復興支援の人材育成(FS実習を被災地で開講) 葛尾村、南相馬市等での実践は再エネ事業を始めるための大きな力になった

自治体の再エネ啓発活動・自治体主体の復興計画

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved



#### 4. 再生可能エネルギー関連産業の育成・集積に向けた取組

エネルギー・エージェンシーふくしまの創設 (2017年4月)

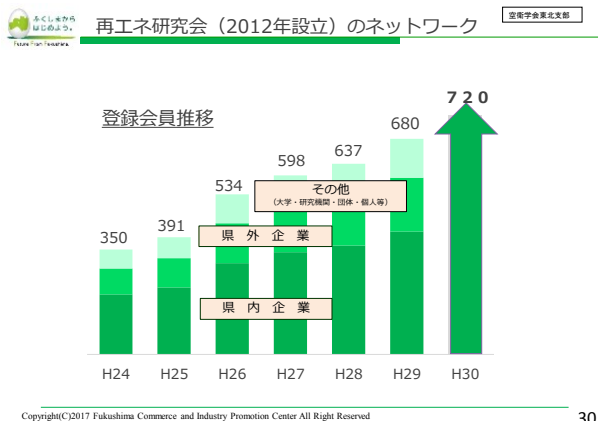
- 新たな産業の集積を図るためには、コーディネート活動を通じた企業同士のコラボレーションを活発にし、様々な企業による事業化プロジェクトが連続的に創出される環境を作り出すことが重要。
- 事業化プロジェクトの組成のためには、より個別性、専門性が高いコーディネート活動を集中的・機動的・継続的に行うことが必要。
- このような活動は、公平性や継続性の観点から、限では十分な対応が困難であることから、**再エネ分野に特化したコーディネート活動を専門的・重点的に行う中核的組織を新たに立ち上げ**、新規プロジェクトの組成、企業ネットワークの構築、販路開拓、海外展開等の支援を一元的・総合的に実施することで、再生可能エネルギー産業の集積を図る。

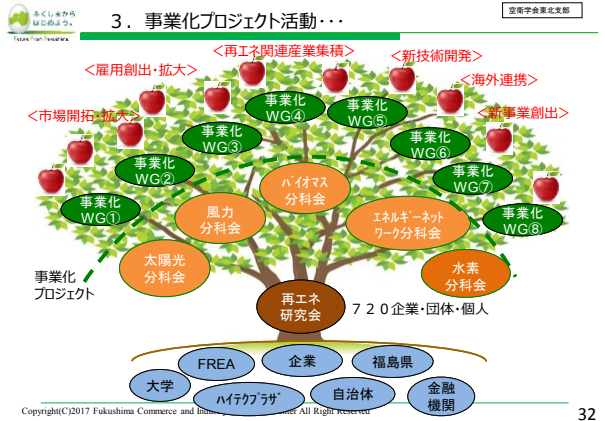
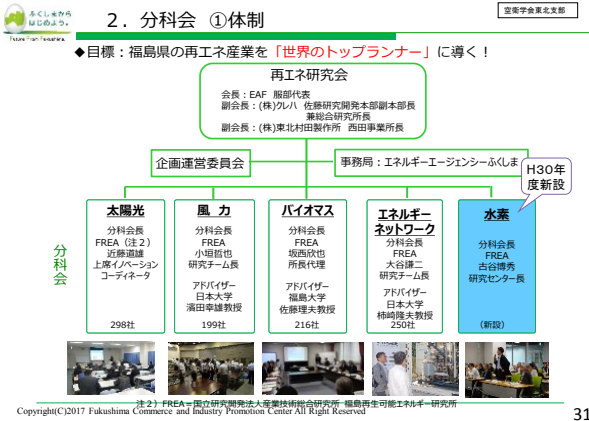
業務内容	体制のイメージ
<p>再生可能エネルギー産業集積のための中核的機関として、以下の業務を行う</p> <p>① <b>企業間のネットワーク</b> 約63社が参加する研究会を通じ、企業間のネットワークを構築し、セミナー開催等による情報共有、新技術導入促進を図る。</p> <p>② <b>事業化プロジェクトの創出</b> これまでの研究成果や大学・企業等のネットワークを有効活用、県中核的機関「ふくしま」により、県内企業が参加する事業化プロジェクトの創出を図る。</p> <p>③ <b>販路開拓支援</b> 「FREIふくしま」の開催や、展示会への出展支援等を通じ、県内企業による再生可能エネルギー分野における販路開拓・拡大を図る。</p> <p>④ <b>海外連携の推進</b> N・R・W州をはじめとした海外企業とのコーディネートを通じ、県内企業の海外進出、外国企業の県内進出の促進を図る。</p>	

1. 再エネ研究会 (2012年設立) の取り組み

◆福島県の再生可能エネルギー産業を「ふくしまから日本全国へ、さらに世界へ」と拡大

- ネットワーク形成**
  - ※会員募集中
  - ◆分科会：セミナー、先進地視察、マッチング、情報交換、情報共有
- 事業化プロジェクト**
  - ◆福島県発の新たなビジネスモデルを創出
- 技術開発**
  - ◆支援・補助事業による技術開発推進
- 販路開拓**
  - ◆『REIFふくしま』等展示会開催
- 海外連携**
  - ◆ドイツNRW州、デンマーク等との連携



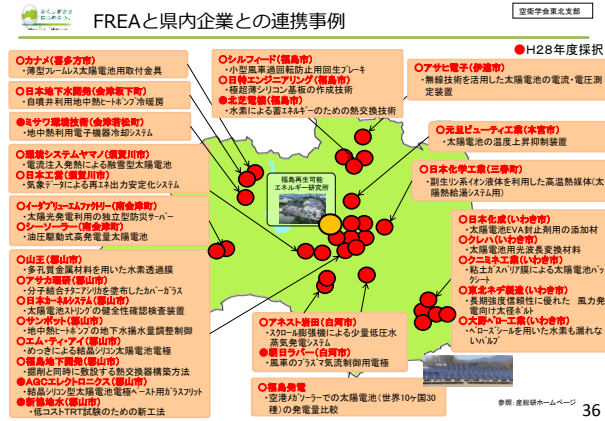
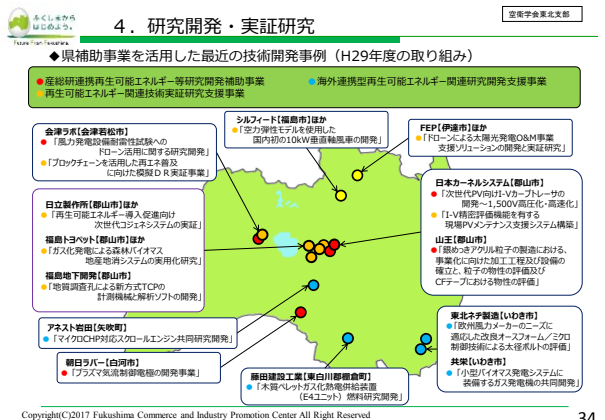


### 3. 事業化プロジェクト ② 現在活動中のプロジェクト (事業化ワーキンググループ)

◆H29年度に5WG立上げ活動 ⇒ EAFが各WGの事業化取り組みを支援中

ワーキンググループ名	代表幹事企業	参加企業	取り組み目標
ふくしま発 地中熱省エネ事業化WG	福島地下開発(株)	7社	熱応答試験のコストダウンにより地中熱利用普及拡大
ふくしま エネルギーマネジメント コンソーシアム	(株)津ラボ	5社	スマートタップによるエネルギーマネジメントシステム実証と普及拡大
ふくしま発 食品残渣メタン発酵事業化WG	共栄(株)	10社	食品残渣によるメタン発酵の最適化とシステムコストの低減と普及
福島県・独NRW物産バイオマスガス化WG	藤田建設工業(株)	6社	ペレットコスト低減と熱供給給式木質ガス化設備の導入拡大
FUKUSHIMA産 太陽光・蓄電設備事業化WG	アンフィ二(株)	5社	高出力・高耐久性太陽電池開発とエコネット対応蓄電システムの商品化

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved



### 5. 販路開拓 (REIFふくしま2019)

空席学会東北支部

第7回 福島再生可能エネルギー産業フェア (REIFふくしま2019)

再エネ関連産業に特化した展示会として 東北最大級のB to B

**福島新エネ社会構想 未来を創る新たなエネルギーの先進地へ**

再生可能エネルギー導入拡大 | 水素社会実現のためのモデル構築 | スマートコミュニティの構築

開催日：平成31年10月30日、31日  
募集出展者数：200企業・団体 (300小間)  
目標来場者数：7,000人以上



Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved 37

### 6. 海外連携

空席学会東北支部

◆「ふくしまから世界へ」「世界からふくしまへ」の実現に向けて支援!

これまでの成果

- 地域間交流 (RIT事業)
  - 福島県とドイツ、NRW州は「再エネ分野」でビジネス交流を進めてきました。成約実績：8件
  - 研究会会員企業様から「成果」が生まれています
    - 橋田建設工業; 木質バイオマス
    - 会津ラボ; スマートコセント
    - アネスト岩田; バイナリ発電
    - 大和光製作所; 乾燥設備

交流地域は、ドイツ全域・デンマーク・スウェーデン...等さらに拡大します

今年度も継続・さらには進化!

- 展示会を活用した海外企業とのマッチング
  - REIFふくしま: 8月中旬HPに情報公開予定
  - E-world: 社公番号を詳細はHPをチェック!
- ドイツ企業・支援機関とのワークショップ
  - 再エネの最新動向を見て、聞いて、触れるチャンス! 11月9日郡山市で開催予定
  - Step by Stepで皆さまをサポートします
    - Step 1: 情報提供、セミナー、企業間での意見交換
    - Step 2: 展示会でのマッチング、海外展示会への出展支援
    - 商談のフォローアップ、補助会活用のご提案

Copyright(C)2017 Fukushima Commerce and Industry Promotion Center All Right Reserved 38

### 5. 現在注力している分野

空席学会東北支部

福島新エネ社会構想 H28.3. 27 構想実現会議資料

これまでの取組

- 福島県を再生可能エネルギー先駆けの地とすべく、再生可能エネルギー設備導入や、再生可能エネルギー研究所創設を支援
- 福島浜通り地域の産業基盤の創出を目指す原動力としてイノベーション・エコシステム構想を推進 (再エネを重要な柱に位置づけ)

新エネ社会構想

- イノベーション・エコシステム構想の新エネ分野を加速化
- その成果を活用しつつ、福島県を未来の新エネ社会を先取りするモデル創出拠点とするための取組を推進

未来の新エネ社会のモデル創出

再生可能エネルギーの導入拡大

- 産総研福島再生エネ研究所 (福島の先駆け)
- 日本唯一の新エネ特化型研究所の創設 (福島の先駆け)
- 福島浮体式洋上風力
- 福島沖にて世界最大級の7000KW級
- 他の地域には無い支援
- 送電設備の整備や変電所の増強
- 重要送電線の増強支援
- 風力適地の阿武隈、双葉エリアから東京電力への送電
- 線路設備を電力会社が参加した新しい仕組みで支援

水素社会実現のモデル構築

- 水素をつくる
  - 風力等による大規模水素製造 (世界最大となる1万kW級の実現)
  - 貯蔵の 進歩
  - 次世代の水素輸送・貯蔵技術のフィールド実証
  - 海外再エネを水素に転換して福島へ輸入 (F5等実施)
- 使途
  - 水素溶融発電 (IGCC等の活用による)
  - 再エネ水素ステーションの整備

スマートコミュニティの創出

- 新地町、楢葉町における実証
- CO2フリー水素タウンのモデル創出
- 全県大への展開 (F5調査の実施)

再生可能エネルギーの地へ | 新エネ産業集積 | 未来の新エネ社会モデルの世界への発信

39

39

### 阿武隈・沿岸部における風力発電構想

空席学会東北支部

背景

- 豊富な風力資源を活用して風力発電の導入拡大と県内への関連産業集積を促し、復興を牽引
- 風況や送電施設の状態から、当面は、阿武隈山地と沿岸部(陸上)をターゲットに県主導で事業を推進
- 工事用道路や送電線(鉄塔、埋設)などの無計画な設置や非効率な山林開発を抑制
- 環境・景観対策の徹底や、事業を通じた地域貢献策等の実施

阿武隈・沿岸部風力発電構想

- 県補助事業により広域的な風況調査を実施し、風況データを県有化
- 県が参画して阿武隈・沿岸部の広域的な環境アセスメント(配慮書)を実施
  - 複数事業者による重複調査を回避
  - データを県有化・公開することで事業者の参入促進
- 県が事業者を公募、補助金の交付
  - 一環境面や地域貢献の観点で優れた提案をする事業者を厳選
  - 一般事業者公募・本事業者公募の2段階公募を実施
- 周辺地域の再エネが接続可能な共同送電線を設置
  - 一さらなる再エネ導入を促進



※ ☆は現在実施中の風況調査地点

41

### 水素社会実現のためのモデル構築

空席学会東北支部

福島県における将来の水素社会実現のために様々なプロジェクトが実施されている。

- 再エネ由来の大規模水素製造に関する実証研究
  - 本県内において、再エネを活用した大規模水素製造に関する技術実証が開始。
    - ※NEDOが公募した委託研究に2017年採択 (実証主体：東芝エネルギーシステムズ、岩谷産業、東北電力)
  - 太陽光発電による再エネを使い、最大1万kW級の水素製造装置による水素を製造。
  - 2020年までに製造を開始し、「福島県産水素」を東京オリンピック・パラリンピックで活用。
- 水素の技術開発等に関する連携
  - 有機LiDドライド等の水素技術研究について産総研と連携した支援を実施
    - 東京都、都環境公社、産総研との四者協定に基づく各種研究開発・技術協力・人事交流
    - 各自治体、東京都、民間企業と連携した、東京オリパラにおける本県産水素活用検討
- 水素の利用拡大 (ステーション・FCV)
  - 商用の水素ステーションを県内に整備しようとする民間企業等に対して支援を実施
    - 燃料電池自動車 (FCV) を導入する民間企業等に対する支援を実施



42

## スマートコミュニティの推進



### 1 浜通りにおけるスマートコミュニティ構築

- ▶ 浜通りの5市町村（新地町、相馬市、浪江町、楡葉町、葛尾村）におけるスマートコミュニティ構築に向けて、マスタープランの策定を実施
- ▶ 平成28年度末以降、有識者からなる協議会の承認を受けたマスタープランに基づき、構築事業に順次着手

- 新地町** LNGタウン構想に連動したスマコミ構築 ※
- 相馬市** 産業部門と連携した水素活用型のスマコミ構築 ※
- 浪江町** 交流拠点である道の駅を中心としたスマコミ構築 ※
- 楡葉町** コンパクトタウンと連動したスマコミ構築 ※
- 葛尾村** 公共施設を中心としたスマコミ構築



※ マスタープラン策定済

### 2 スマートコミュニティの県内展開に向けて

- ▶ 復興の進捗に応じ、上記5市町村以外の浜通りにおける構築事業の実施を検討
- ▶ 中通り、会津も含めたスマートコミュニティの県内展開に向けて、地域におけるエネルギー需給に関するポテンシャル調査の実施を支援

【H29年度策事業】スマートコミュニティ支援事業  
フレキシブル支援 定額(上限500万円)

43

## 終わりに

- ◆ 2012年に取り組みを始めた当時、福島県には再エネ分野のネットワークは殆ど存在しなかった。
- ◆ その後の活動により、地域内は勿論のこと県外、更には海外までカバーする**知のネットワークが構築**された。  
特徴は大企業が殆どいない中小企業・大学・研究機関・県市町村による産官学のオープンネットワークであり、**産業育成、プロジェクト推進上の苦労**は多い。
- ◆ 2040年再エネビジョンの実現に向けて**挑戦的活動**が続きます。ふくしまの活動をご支援ください。



## 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	
14,538 名	28 名	35 名	354 名	14,955 名	482(社)	15,437 名

### 【創立】

1917 年（大正 6 年）7 月 28 日、“暖房冷蔵協会”として創立（会員数約 150 名）

### 【本部】

〒162-0825 東京都新宿区神楽坂 4-8 神楽坂プラザビル 4F

### 【会長】

田辺 新一（早稲田大学・教授）

### 【ホームページ】

<http://www.shasej.org/>

平成 30 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 【2017年（第45期）・2018年（第46期）】

役 職	氏 名	所 属
支部長	須藤 諭	東北文化学園大学
副支部長	渡辺 浩文	東北工業大学
	船木 寮一	三建設備工業(株)東北支店
事業幹事	田原 誠	(株)竹中工務店 東北支店
	赤井 仁志	福島大学
	石島 和明	大成建設(株)
	小林 光	東北大学大学院工学研究科
総務幹事	金田 清満	新菱冷熱工業(株)東北支社
	及川 義信	新日本空調(株)東北支店
	荒川 博之	高砂熱学工業(株)東北支店
会計幹事	庄司 恒久	空気調和・衛生工学会東北支部
	小林 照和	(株)興盛工業所
	牧野 泰弘	ダイダン(株)東北支店
事業委員	内海 康雄	舞鶴高等専門学校
	岡田 誠之	東北文化学園大学
	神鳥 博俊	東北地方整備局
	許 雷	東北工業大学
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	菅原 正則	宮城教育大学
	鈴木 道哉	東北学院大学
	須知 秀行	(株)朝日工業社 東北支店
	田中 和則	(株)ユアテック
	谷 博之	(株)大気社 東北支店
	月野 智弘	(株)ピーエーシー仙台支所
	早瀬 訓	東北電力(株)
	山田 英明	東洋熱工業(株)東北支店
	渡邊 東一	三機工業(株)東北支店



■ 賛助会員

社 名	郵便番号	住 所
北関東空調工業(株)	970-8026	いわき市平字柳町 3
(株)興盛工業所	983-0035	仙台市宮城野区日の出町 1-1-35
新日本空調(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 3-7-1 電力ビル
新菱冷熱工業(株)東北支社	980-0803	仙台市青葉区国分町 3-6-1 仙台パークビル
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
(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 サハイツ泉 103
(公財)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
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

平成 31 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7回

平成30年3月9日(金) 東北文化学園大学

講演 No.	講演題目	発表者	所属
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
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
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
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	東北大学

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 守頭	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8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 8<sup>th</sup> Conference

---

2019年（平成31年）3月13日 発行

編集・発行所 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

**事務局**

〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町 3-5-22

宮城県管工事会館 3階

TEL : 022-224-7091 FAX : 022-797-2486

**事務代行機関**

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町 3-8 春日町ファインビル 4階

住まいと環境 東北フォーラム内

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

定 価 3,000円（税込）

表紙デザイン 松本若菜 赤井仁志

---