
第 10 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 10th Conference

2021 年 3 月 10 日(水)

ZOOM ミーティング

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 10 回学術・技術報告会

口頭発表講演者および技術 P R 募集

空気調和・衛生工学会東北支部では第 10 回学術・技術報告会を下記の要領にてオンラインで実施致します。

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口頭発表および技術 P R を募集致します。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、どなたでも聴講できますので、ぜひお問い合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 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、日本冷凍空調学会東北地区事業推進委員会、山形県設備技術協議会
- 日 時 2021 年 3 月 10 日 (水) 8:50~17:30 (予定)
- 開催方式 オンライン (zoom ミーティング) で開催します。
参加のための URL は、口頭発表・技術 PR・聴講の申し込みをされた方に、個別にお知らせします。

【口頭発表・技術 P R のエントリー】

- エントリー締切 2021 年 1 月 8 日 (金)
※エントリーを受付けた後、後日論文集掲載用原稿 (論文・P R 資料) を提出して頂きます。
※エントリー用紙は必ず今年度 (第 10 回) 版をご使用下さい。
- 応募資格 発表者 (連名者) / 説明者 (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 下記 URL のフォームからお申込み下さい。(専用 HP にリンクがあります)
口頭発表エントリーフォーム <https://forms.gle/EqNSzpu2F2bay4F6>
技術 PR エントリーフォーム <https://forms.gle/9pA7xWKck33ABNjW7>
フォーム画面がご利用になれない場合は、エントリー用紙を専用 HP 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 10 回東北支部学術・技術報告会申込み”と明記してお申込み下さい。
- 参加費用 ・**口頭発表登録料** : 一題につき 3,000 円(税込)を、論文集掲載用原稿の提出 (2 月 10 日 (水)) までに指定の口座へお振込み下さい (振込み方法は、専用 HP に掲載します)。入金が確認できない場合、原稿は論文集へ掲載しません。連名者は無料です。
・**技術 P R 登録料** : 1 件当たり 10,000 円(予定料金・税込) を期日までに指定の口座へお振込み下さい。2 月 5 日(金)頃までに説明者(責任者)宛に請求書を送付致します。
- 論文集 無償の PDF 版を専用 HP よりダウンロード可能です(掲載開始時期 3 月 2 日頃予定)。また、紙媒体(白黒印刷、1 冊 4,000 円 税込)を予約販売します。口頭発表および技術 PR にエントリーいただいた方は原稿提出時のフォームにて予約可能です。その他希望者は、学術・技術報告会専用 HP から論文集予約フォームにてお申込み下さい。フォーム画面がご利用になれない場合は、組織委員会へメール tohoku.shase@gmail.com にてお申込み下さい。申込締切は 2 月 11 日 (木) です。

【聴講の申込み】

- 申込締切 2021 年 3 月 5 日 (金)
- 申込方法 下記 URL のフォームからお申込み下さい。(専用 HP にリンクがあります)
聴講申込フォーム <https://forms.gle/aVjLVFLuitFoBszF8>

- 資格 どなたでも聴講できます。
- 参加費用 無料
- 参加方式 オンライン（zoom ミーティング）※受付完了された方に開催日 5 日くらい前までに URL をお送りします。

【論文集掲載用原稿（論文・PR資料）の提出】

- 提出方法 論文集掲載用原稿は所定のテンプレートを用いて作成し、偶数頁(最大 6 ページ)、ファイルサイズは 2 ページあたり上限約 1MBとします。期日までに所定のファイル名をつけた PDF ファイルを、下記 URL のフォームから提出して下さい。（専用 HP にリンクがあります）。口頭発表者は登録料の払い込受領書のコピーも添付下さい。
論文・登録料受領書提出フォーム <https://forms.gle/mBziHBQbrXTdCTfMA>
技術 PR 原稿提出フォーム <https://forms.gle/jGbgJC4yDVkNSfWn7>
フォームがご利用になれない場合は、所定の書類を委員会までメールで送付して下さい。
- 提出締切 2021 年 2 月 10 日（水）17：00
- 講演方法
 - ・**口頭発表**：一題につき発表 9 分、討論 3 分程度を予定。
 - ・**技術 PR**：説明時間は未定。技術 PR の説明は、コアタイムにおいて参加者全員に向けて行って頂きます。
 - ・**口頭発表・技術 PR 共通**：各自、あらかじめ zoom による音声確認はじめ論文の画面共有等発表できるようにご準備下さい。開催日が近づきましたら、接続確認の機会や、発表方法についてご相談頂く機会を設ける予定です。その他の詳細は、「伝達事項」として専用 HP に掲載致します。
- 採 否 東北支部学術・技術報告会組織委員会に一任願います。

- プログラムが決まりましたら、専用 HP および 3 月会告へ掲載します。

- 連絡先 空気調和・衛生工学会 東北支部第 10 回学術・技術報告会組織委員会

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

伝達事項、各種フォーム、用紙のダウンロードは専用ページをご利用下さい。

〒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 10 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 10th Conference

目 次

学術・技術報告〔口頭発表〕	1
学術・技術報告〔技術 PR〕	101
空気調和・衛生工学会の概要	111
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	112
第 1～8 回 優秀発表奨励賞受賞者	114

第 10 回 学術・技術報告会 組織委員会

委 員 長	菅原 正則	宮城教育大学
委 員	許 雷	東北工業大学
	田原 誠	(株)竹中工務店東北支店
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	鈴木 道哉	東北学院大学
	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
	小林 仁	仙台高等専門学校
事 務 局	庄司 恒久	空気調和・衛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10回学術・技術報告会 スケジュール

	口頭発表A会場	口頭発表B会場	メモ欄
開会式	9:30～9:35 挨拶:渡邊支部長 司会:菅原 正則		
学術・技術報告 (口頭発表)	9:45～11:00 【性能検証・実態調査】 A1～A5 司会:小林 仁	9:45～11:00 【再生可能エネルギー①】 B1～B5 司会:田原 誠	
	11:15～12:00 【環境・シミュレーション】 A6～A8 司会:小林 仁	11:15～12:15 【再生可能エネルギー②】 B6～B9 司会:田原 誠	
技術PR (口頭発表)	12:30～13:30 G1～G4 司会:後藤 正徳		
学術・技術報告 (口頭発表)	14:00～15:00 【温熱空気環境①】 A9～A12 司会:須知 秀行	14:00～15:15 【給湯・排水】 B10～B14 司会:許 雷	
	15:15～16:15 【温熱空気環境②】 A13～A16 司会:須知 秀行	15:30～16:15 【空調システム】 B15～B17 司会:許 雷	
閉会式	16:30～16:35 閉会の辞:田原副支部長 司会:菅原 正則		

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第10回 学術・技術報告会

プログラム

令和3年3月10日(水)

オンライン(Zoomミーティング)

1. 開会式

【開会式】 9:30~9:35 口頭発表A会場・B会場	司会: 菅原 正則 宮城教育大学
---------------------------------------	------------------

挨拶 空気調和・衛生工学会 東北支部 支部長 渡邊 浩文 東北工業大学

2. 学術・技術報告〔口頭発表〕

【性能検証・実態調査】		司会: 小林 仁 仙台高等専門学校	掲載 ページ
9:45~11:00 口頭発表A会場			
A-1	住環境要因が循環器疾患の発症に及ぼす影響に関する考察 -秋田県における実態を基に-	○ 池田 修平 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学	1
A-2	秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオ提案に向けた検討 -最新データを用いた家族類型別世帯数の将来推計-	○ 工藤 徹 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学	5
A-3	竣工設備データベース「ELPAC」を用いた事務所建築の空調設備とエネルギー消費量の動向に関する考察	○ 小原 豪太 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学	9
A-4	秋田県産木材を用いた小規模事務所建築のLCAに関する研究	○ 全 堯 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学	13
A-5	雨水利用施設の二酸化炭素排出量に関する研究	○ 福井 啓太 福井水環境研究所 岡田 誠之 東北文化学園大学	17

【環境・シミュレーション】		司会: 小林 仁 仙台高等専門学校	掲載 ページ
11:15~12:00 口頭発表A会場			
A-6	室内模型を用いた「居心地の良い室内環境」を考える学習プログラムの提案	○ 堀早 紀子 宮城教育大学 菅原 正則 宮城教育大学	21
A-7	スマートハウスの効果を体験する建物模型教材の開発とオンラインワークショップの実践	○ 菅原 正則 宮城教育大学 野角 光治 仙台高等専門学校	25
A-8	FDSを用いた京都アニメーション火災避難解析に関する研究	○ 竹内 友佐 東北工業大学 許 雷 東北工業大学	29

【温熱空気環境①】		司会: 須知 秀行 朝日工業社	掲載 ページ
14:00~15:00 口頭発表A会場			
A-9	(欠番)		
A-10	サステナブル住宅における環境性能の動向調査-IBEC受賞作品の時代背景との比較-	○ 前田 亘輝 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学	33
A-11	CFD解析を用いたF病院の病室における温熱・空気環境の検討	○ 中島 由佳 千葉工業大学 高瀬 翔梧 千葉工業大学 會澤 綾人 千葉工業大学 若山 尚之 千葉工業大学	37
A-12	中学校教室における空気・衛生環境の実態	○ 遠藤 里央 宮城教育大学 菅原 正則 宮城教育大学 小林 光 東北大学 江刺 美和 宮城教育大学附属中学校	41

【温熱空気環境②】		司会: 須知 秀行	朝日工業社	掲載 ページ
15:15~16:15 口頭発表A会場				
A-13	天井吹出口毎に風量制御する空気式放射空調システムの開発	○ 鈴木 恵 鈴木 慎介 新村 浩一 福森 幹太	三機工業(株) 三機工業(株) 三機工業(株) 三機工業(株)	45
A-14	換気システム効率化のための室内CO2濃度と温度分布の把握 (第1報) 大学事務室の事例	○ 阿部 吉文 紺野 芳之 佐藤 良樹 赤井 仁志	福島機工(株) 福島機工(株) 福島機工(株) 福島大学	49
A-15	換気システム効率化のための室内CO2濃度と温度分布の把握 (第2報) コロナ禍で窓の開け幅調整等の違いによる大学講義室 の事例(1)	○ 阿部 吉文 紺野 芳之 佐藤 良樹 赤井 仁志	福島機工(株) 福島機工(株) 福島機工(株) 福島大学	51
A-16	換気システム効率化のための室内CO2濃度と温度分布の把握 (第3報) コロナ禍で窓の開け幅調整等の違いによる大学講義室 の事例(2)	○ 赤井 仁志 阿部 吉文 紺野 芳之 佐藤 良樹	福島大学 福島機工(株) 福島機工(株) 福島機工(株)	53

【再生可能エネルギー①】		司会: 田原 誠	竹中工務店	掲載 ページ
9:45~11:00 口頭発表B会場				
B-1	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調 査と計画 (第1報) 飯舘村での事業実施の背景と再エネの現状、復興への 寄与	○ 菊野 里絵 小松崎 弘道 石田 みゆき 杉岡 誠 庄司 伸也 赤井 仁志 深山 陽子 大黒 太郎 齊藤 裕	(一財)ふくしま未来研究会 (一財)ふくしま未来研究会 (株)地域創造研究所 飯舘村 飯舘村 福島大学 福島大学 福島大学 福島大学	55
B-2	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調 査と計画 (第2報) 脱炭素・脱化石燃料を目指した地中熱・蓄熱・VPP導入 と計画の概要	○ 赤井 仁志 深山 陽子 大黒 太郎 齊藤 裕 菊野 里絵 小松崎 弘道 石田 みゆき 杉岡 誠 庄司 伸也 田中 雅人 進堂 晃央 中元 秀則 谷藤 浩二	福島大学 福島大学 福島大学 福島大学 (一財)ふくしま未来研究会 (一財)ふくしま未来研究会 (株)地域創造研究所 飯舘村 飯舘村 ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) ゼネラルヒートポンプ工業(株)	57
B-3	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調 査と計画 (第3報) 農業分野での冷却・除湿等の優位性と蓄熱・VPPの活 用の検討	○ 赤井 仁志 深山 陽子 大黒 太郎 齊藤 裕 早瀬 訓 山谷 佳枝 恩田 徳雄 塚崎 孝 瀬川 和幸 渡辺 武彦 佐藤 秀一 谷藤 浩二 菊野 里絵 杉岡 誠 庄司 伸也 田中 雅人	福島大学 福島大学 福島大学 福島大学 東北電力(株) 東北電力(株) 東北電力(株) 東北電力(株) 東北電力(株) (株)ユアテック (株)ユアテック ゼネラルヒートポンプ工業(株) (一財)ふくしま未来研究会 飯舘村 飯舘村 ミサワ環境技術(株)	59
B-4	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調 査と計画 (第4報) 地中熱利用のための地盤特性と地中熱交換器埋設工 法計画	○ 進堂 晃央 田中 雅人 中元 秀則 赤井 仁志 深山 陽子 大黒 太郎 齊藤 裕 菊野 里絵 杉岡 誠 庄司 伸也 谷藤 浩二	ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) ミサワ環境技術(株) 福島大学 福島大学 福島大学 福島大学 (一財)ふくしま未来研究会 飯舘村 飯舘村 ゼネラルヒートポンプ工業(株)	61

B-5	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画 (第5報)遠隔監視・制御の有効性と冷暖同時取出地中熱ヒートポンプの概要	○ 小倉 怜子 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 赤井 仁志 福島大学 深山 陽子 福島大学 大黒 太郎 福島大学 齊藤 裕 福島大学 菊野 里絵 (一財)ふくしま未来研究会 杉岡 誠 飯舘村 庄司 伸也 飯舘村 田中 雅人 ミサワ環境技術(株) 進堂 晃央 ミサワ環境技術(株) 山谷 佳枝 東北電力(株) 早瀬 訓 東北電力(株) 渡辺 武彦 (株)ユアテック 佐藤 秀一 (株)ユアテック	63
-----	---	--	----

【再生可能エネルギー②】		司会: 田原 誠	竹中工務店	掲載ページ
11:15~12:15 口頭発表B会場				
B-6	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画 (第6報)冷暖同時取出地中熱システム計画と有効性	○ 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 赤井 仁志 福島大学 深山 陽子 福島大学 大黒 太郎 福島大学 齊藤 裕 福島大学 早瀬 訓 東北電力(株) 山谷 佳枝 東北電力(株) 恩田 徳雄 東北電力(株) 塚崎 孝 東北電力(株) 瀬川 和幸 東北電力(株) 渡辺 武彦 (株)ユアテック 佐藤 秀一 (株)ユアテック 菊野 里絵 (一財)ふくしま未来研究会 杉岡 誠 飯舘村 庄司 伸也 飯舘村 田中 雅人 ミサワ環境技術(株)	65	
B-7	地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画 (第7報)本事業に基づく今後の展開と将来に向けて	○ 庄司 伸也 飯舘村 杉岡 誠 飯舘村 赤井 仁志 福島大学 深山 陽子 福島大学 大黒 太郎 福島大学 齊藤 裕 福島大学 菊野 里絵 (一財)ふくしま未来研究会 小松崎 弘道 (一財)ふくしま未来研究会 石田 みゆき (株)地域創造研究所 田中 雅人 ミサワ環境技術(株) 進堂 晃央 ミサワ環境技術(株) 中元 秀則 ミサワ環境技術(株) 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株)	67	
B-8	VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用 (その3)日帰り入浴施設の概要、システムと時間帯別のヒートポンプ性能	○ 堀岡 建吾 (株)四電技術コンサルタント 安岡 稔弘 (株)四電技術コンサルタント 小野坂 充央 (株)四電技術コンサルタント 三島 潤也 (株)四電技術コンサルタント 天野 雄一朗 四国電力(株) 藤井 良平 四国電力(株) 松田 健太郎 四国電力(株) 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 土山 紘平 北海道大学 猪俣 海斗 北海道大学	69	
B-9	VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用 (その4)実測データを用いたシミュレーション、年間給湯負荷	○ 猪俣 海斗 北海道大学 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 土山 紘平 北海道大学 天野 雄一朗 四国電力(株) 藤井 良平 四国電力(株) 松田 健太郎 四国電力(株) 安岡 稔弘 (株)四電技術コンサルタント 小野坂 充央 (株)四電技術コンサルタント 堀岡 建吾 (株)四電技術コンサルタント 三島 潤也 (株)四電技術コンサルタント	73	

【給湯・排水】		司会：許 雷	東北工業大学	掲載 ページ
14:00～15:15 口頭発表B会場				
B-10	ヒートレサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究 (その3) 予備実験およびコントローラによるヒータの温度制御実験結果の解析	○ 上林 由果 岩井 良真 赤井 仁志 濱田 靖弘 土山 紘平 猪俣 海斗 岡本 茂 小畑 拓未 磯部 茂樹	関西電力(株) 関西電力(株) 福島大学 / 北海道大学 北海道大学 北海道大学 北海道大学 (株)東畑建築事務所 (株)東畑建築事務所 エスヴェントジャパン(株)	77
B-11	ヒートレサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究 (その4) ヒータの自己制御による実験結果の解析およびシステム総合評価	○ 土山 紘平 赤井 仁志 濱田 靖弘 猪俣 海斗 上林 由果 岩井 良真 岡本 茂 小畑 拓未 磯部 茂樹	北海道大学 福島大学 / 北海道大学 北海道大学 北海道大学 関西電力(株) 関西電力(株) (株)東畑建築事務所 (株)東畑建築事務所 エスヴェントジャパン(株)	81
B-12	(欠番)			
B-13	集合住宅の排水負荷計算に用いる衛生器具の器具排水特性と排水実態に関する調査	○ 篠塚 利彦 大塚 雅之 山崎 信吾 中野 英治	関東学院大学 関東学院大学 (独)都市再生機構 (独)都市再生機構	85
B-14	中層ALC集合住宅へ適用する専用排水立て管システムの排水性能評価に関する研究	○ 阿部 斗哉 大塚 雅之 石井 方奈子 篠塚 利彦 松村 弘慈	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学 旭化成ライフライン(株)	89

muraio

【空調システム】		司会：許 雷	東北工業大学	掲載 ページ
15:30～16:15 口頭発表B会場				
B-15	導電性高分子ポリマーを用いた交流による通電再生型デシカント空調システムに関する研究	○ 伊藤 健允 小林 光 白須 公二郎 金井 文彦 川勝 英樹 小林 大	東北大学 東北大学 東北大学 (株)クレバ 東京大学 東京大学	93
B-16	地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究 (その5) 実大試験家屋を対象とした異なる採熱方式の暖冷房実験	○ 竹内 仁哉 長谷 川兼一 松本 真一 小田島 賢成	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	95
B-17	アクアマリンふくしま(AMF)のエントランスホール空調に関する調査及び検証	○ 飯田 卓也 田村 真生 宮下 雅俊 若山 尚之	千葉工業大学 千葉工業大学 千葉工業大学 千葉工業大学	99

3. 技術PR

【技術PR】		司会：後藤正徳	第一工業	掲載 ページ
12:30～13:30 口頭発表A会場				
G-1	室圧の変更が可能な多用途簡易クリーンブース「DiverCell」	磯 佑輔	新日本空調(株)	101
G-2	コロナ禍を契機とした、三菱電機の快適空間提案	赤間 健志	三菱電機住環境システムズ(株)	103
G-3	工場用ゾーン空調機の特徴について	佐竹 正弘	木村工機(株)	105
G-4	建築現場における樹脂配管のご提案	浅野 啓志	積水化学工業(株)	109

4. 閉会式

【閉会式】		司会：菅原 正則	宮城教育大学
16:30～16:45 口頭発表A会場・B会場			
閉会の辞		空気調和・衛生工学会 東北支部 副支部長 田原 誠	竹中工務店

A-1

住環境要因が循環器疾患の発症に及ぼす影響に関する考察

－秋田県における実態を基に－

○池田修平（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Home Indoor Environment and Adverse Health Effects of Cardiovascular Disease －Analysis Using Statistical Data of Akita Prefecture－

Ikeda Shuhei (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Sin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：住環境，循環器疾患，文献調査，統計分析

1. はじめに

我が国の死因において，心疾患及び脳血管疾患による粗死亡率(以下，死亡率)は常に高い。地域別では東北地方等の寒冷地，季節別では冬季において高い傾向にあることから，寒さが発症に影響を及ぼしていることが推察される。しかし，北海道は寒冷であるが，これらの死亡率は平均並みである。この要因の一つとして，北海道の住宅は全室暖房が主流であり温熱環境が整えられていることが考えられる。また，図1に示すように，WHO¹⁾により冬季における死亡率は，室内が温暖な住宅に住む人々の方が低いことが報告されていることから，外気温と比較して家庭内の温度は居住者の健康状態に及ぼす影響が大きいことが推察される。

現在，我が国の循環器疾患の発症を抑制するための取り組みは，居住者の生活習慣の改善に重点が置かれており，住環境に対して十分に実施されていない。

そこで，本研究では健康に暮らすための住環境に関する取り組みの提案に向けて，住環境要因が循環器疾患の発症に及ぼす影響を明らかにすることを目的として，既往文献による知見の整理とe-Stat等のデータを活用した統計分析を実施した。

2. 住環境要因と循環器疾患

2.1 文献調査

菊地²⁾によると，時代ごとに脳血管疾患の発症要因は変化している。1950年以前は，塩分過多な食生活であった農村において死亡率が高く，新鮮な魚等から良質なタンパク質を摂取できる漁村等で低い傾向にあったことから，食習慣が大きく影

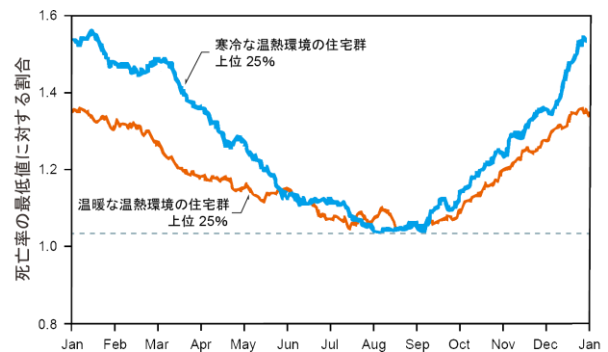


図-1 住宅の温熱環境の差による死亡率の年変動¹⁾

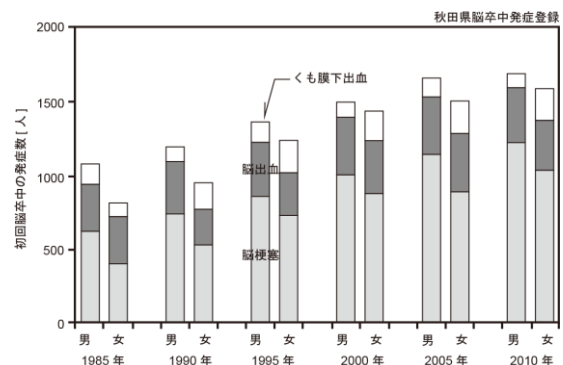


図-2 秋田県における初回脳卒中の発症数²⁾

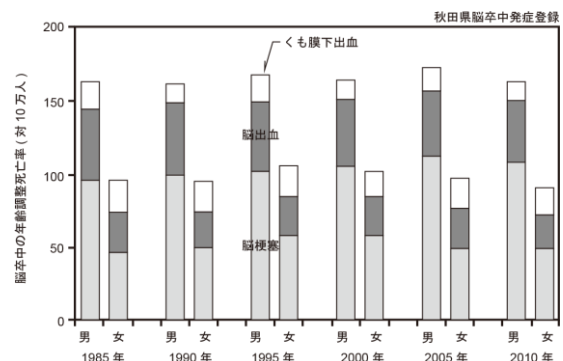


図-3 秋田県における脳卒中の年齢調整死亡率²⁾

響していたと考えられる。また、1965年以前では脳血管疾患に対する医療体制が不十分であり、発症すると自宅で寝かされたままとなり、そのまま亡くなる場合が8割以上であった。一方、現在においては、医療体制が充実し、食習慣に関しても食材が各地から取り寄せやすくなったことで、脳血管疾患の発症に対する影響が緩和されている。しかし、図-2に示すように、依然として発症数は多く、秋田県では増加傾向にある。対して、図-3に示すように、年齢調整死亡率は1985年ごろから変化していないことから、現在においても死亡率が高い要因は高齢化であると考えられる。

高齢者の健康状態は曝露環境に影響を受けやすいことが知られている。そのため、今後は生活環境に潜む危険因子を明らかにし、それらを排除する取り組みが重要となる。

2.2 統計分析

循環器疾患の死亡率³⁾と気象・住宅統計データ⁴⁾⁵⁾の関係性を考察した。前述したように、循環器疾患の死亡率は、高齢者の割合が高い都道府県ほど高い傾向にあるため、本研究では、都道府県間の年齢構成の違いを考慮した年齢調整死亡率を用いた。

2.2.1 暖房デGREEデー(D₁₈₋₁₈)

図-4に示すように、脳血管疾患において、有意な正の相関が確認された。このことから、寒冷地ほど脳血管疾患の年齢調整死亡率が高い傾向にあることがわかる。さらに、暖房デGREEデーが他県より低い沖縄県と高い北海道を除くと、より強い相関がみられた。しかし、北海道に関しては、最も暖房デGREEデーが高いにも関わらず、年齢調整死亡率は全国平均並みである。このことから、前述したように地域における寒さより住宅内の温熱環境の方が脳血管疾患に与える影響が大きいことが推察される。一方、心疾患において、有意な相関は確認できなかった。

2.2.2 最寄りの医療機関までの距離

図-5に示すように、脳血管疾患において有意な正の相関が確認された。脳血管疾患は発症後の素早い治療が生存に不可欠である。そのため、横軸の割合が低い地域ほど医療体制が充実していることになる。

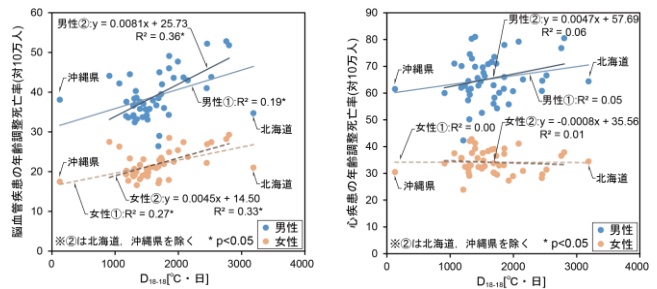


図-4 循環器疾患の年齢調整死亡率と D₁₈₋₁₈
(左：脳血管疾患，右：心疾患)

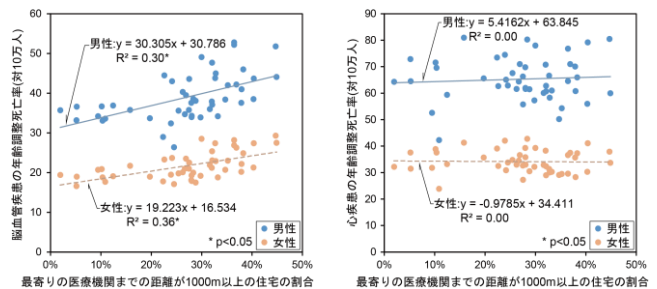


図-5 循環器疾患の年齢調整死亡率と医療機関までの距離(左：脳血管疾患，右：心疾患)

2.2.3 その他の住環境要因

図には示していないが、今回の分析対象とした、二重以上のサッシまたは複層ガラスの割合や窓・壁等の断熱・結露防止工事の実施率、木造住宅の割合、住宅の建築時期に関しては、循環器疾患との有意な相関関係は確認されなかった。

循環器疾患の発症には、今回の検討対象要因だけでなく、居住者自身の健康状態、喫煙状況等の様々な要因が考えられており、これらがそれぞれの程度影響を及ぼしているのか、さらに、それらの因果関係を明らかにすることが必要である。

3. 秋田県における循環器疾患の実態

3.1 死因

心疾患及び脳血管疾患の死亡率は、毎年悪性新生物に次いで高く、県民の健康寿命の延伸に向けてこれらの疾患に対する取り組みが不可欠である。

3.2 循環器疾患の地域性

秋田県内における循環器疾患の地域性を検討するために、e-Stat⁶⁾⁷⁾や秋田県衛生統計年鑑⁸⁾⁹⁾等のデータを用いて、H28年からH30年における各市町村の循環器疾患に関する標準化死亡比(以下、SMR)を算出した。結果を図-6に示す。SMRを疾患ごとに見ると、どの地域においても心疾患と比

較して脳血管疾患の値の方が高く、多くの地域で平均(SMR=100)を上回っている。

図-7に示すように、住宅の建築時期との関係を見ると、建築時期が2000年以前の住宅の割合が高い地域ほどSMRが高い傾向にあることが確認できる。また、図-8に示すように、この割合が高い地域ほど、一部の窓が二重以上のサッシまたは複層ガラスであるまたはこのような窓がない住宅の割合が高いことが確認できるため、間接的ではあるが断熱性能の影響が推察される。

3.3 循環器疾患の季節性

循環器疾患、不慮の溺死及び溺水、悪性新生物について、H25年からH30年における月間の死亡数比を算出した¹⁰⁾。図-9に示すように、男女ともに循環器疾患と不慮の溺死及び溺水の死亡数は、冬季に上昇する傾向にあることが確認された。特に、女性の不慮の溺死及び溺水においてその傾向が顕著に表れていることがわかる。

4. 秋田県における循環器疾患に対する取り組み

4.1 第2期健康秋田21計画¹¹⁾

第2期健康秋田21計画は第1期の成果や少子高齢化の進展を受けて、発症予防だけでなく、重症化予防にも目を向け、県民の健康寿命の延伸と生活の質の向上を主な目的とし、H25年度から実施されている。この計画の中で、循環器疾患に対しては、危険因子を高血圧、脂質異常症、喫煙、糖尿病として、主に住民の健康状態や生活習慣の改善に向けた取り組みに重点が置かれている。

4.2 大仙市健幸まちづくりプロジェクト¹²⁾

大仙市とタニタグループが連携して、歩くことを基本に、まち全体で住民の健康づくりを応援する取り組みであり、R2年10月から参加者の募集が開始されている。参加者全員に活動量計を配布し、それにより測定されたデータを基に、個人の健康状態に合わせた支援が実施される。また、それらのデータはPC等で確認できるため、健康づくりに対する啓発効果も期待される。

4.3 入浴事故防止に関する取り組み¹³⁾

秋田県は全国と比較して入浴事故による死亡率が高く、近年では毎年100人以上が亡くなっている。現在、秋田県内で入浴事故防止に向けた重点

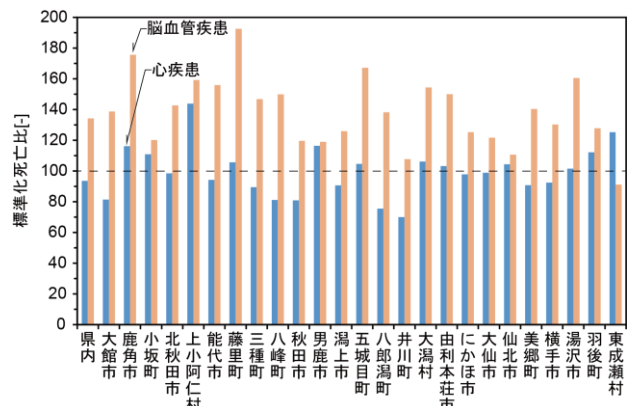


図-6 H28-30における循環器疾患の標準化死亡比

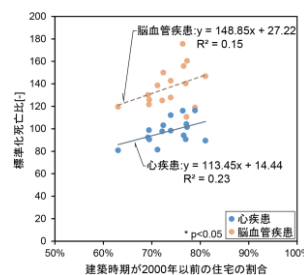


図-7 建築時期とSMR

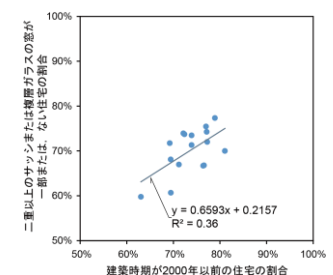


図-8 建築時期と二重窓

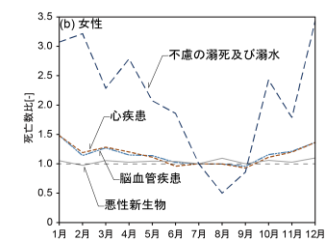
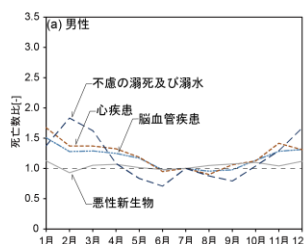


図-9 死因別の各月における死亡数比

施策が実施されている地域は、湯沢市を含む雄勝地域のみである。これらはH22年から実施されており、事業内容としては、入浴事故発生状況の調査、地域住民の入浴習慣の改善に向けた啓発活動が中心である。

5. おわりに

本研究では、住環境要因が循環器疾患に及ぼす影響について考察した。結果として、都道府県別では寒冷な地域、高齢者の割合が高い地域で脳血管疾患の年齢調整死亡率が高い傾向にあることが確認された。秋田県では、脳血管疾患のSMRが100を上回っている地域が多く、住宅の建築時期との関係が推察される。秋田県内の循環器疾患の発症予防に関する取り組みは、第2期健康秋田21計画を軸として、主に住民の健康状態や生活習慣の改

善に対する取り組みに重点が置かれていた。一方で、住環境要因が循環器疾患の発症に影響を及ぼすことが示唆されていることから、今後はそれらの関係性について更に調査を進める。

参 考 文 献

- 1) WHO Regional Office for Europe :
Environmental burden of disease associated with inadequate housing, 2011.
- 2) 菊地頭次:秋田県の農村における脳卒中の変遷, 日本農村医学会雑誌, 第 64 号, pp.939-952, 2016.3.
- 3) 政府統計の総合窓口:人口動態統計特殊報告, 厚生労働省, <https://www.e-stat.go.jp>
- 4) 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>
- 5) 政府統計の総合窓口:平成 30 年住宅・土地統計調査, 総務省, <https://www.e-stat.go.jp>
- 6) 政府統計の総合窓口:平成 28-30 年 人口動態調査/人口動態統計 確定数 死亡, 厚生労働省, <https://www.e-stat.go.jp>
- 7) 政府統計の総合窓口:平成 28-30 年 人口推計, 厚生労働省, <https://www.e-stat.go.jp>
- 8) 秋田県公式ホームページ:平成 28-30 年秋田県衛生統計年鑑, <https://www.pref.akita.lg.jp>
- 9) 秋田県公式ホームページ:平成 28-30 年秋田県年齢別人口流動調査, <https://www.pref.akita.lg.jp>
- 10) 秋田県公式ホームページ:平成 25-27 年秋田県衛生統計年鑑, <https://www.pref.akita.lg.jp>
- 11) 秋田県公式ホームページ:第2健康秋田21計画について, <https://www.pref.akita.lg.jp>
- 12) 大仙市公式ホームページ, 健幸まちづくり推進室, <https://www.city.daisen.lg.jp>
- 13) 秋田県公式ホームページ:雄勝地域振興局, <https://www.pref.akita.lg.jp>

A-2

秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオ提案に向けた検討

ー 最新データを用いた家族類型別世帯数の将来推計 ー

○工藤徹 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

松本真一 (秋田県立大学), 竹内仁哉 (秋田県立大学)

Study of Scenarios on Residential Sector Towards Low Carbon Society in Akita Prefecture

- Household and Family Projections based on the Latest Information -

Kudo Toru (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード：秋田県, 家族類型別世帯数, 将来推計

1. はじめに

近年, 地球温暖化やエネルギー資源の枯渇が問題となっている。2016年に発効されたパリ協定を受けて, 日本では「地球温暖化対策計画」¹⁾が策定された。民生家庭部門においては, 温室効果ガスを2030年時2013年度比39.3%削減することが目標となっている。また, 2019年には, 「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」²⁾が閣議決定され, 「2050年までに, カーボンニュートラルで, かつレジリエントで快適な地域とくらしを実現することを目指す」としており, 脱炭素社会の実現に向けた取り組みが進められている。

秋田県では, こうした動向を踏まえ, 2017年に「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画」³⁾を策定し, 各種対策の実効性を高め, 確実に二酸化炭素排出量を削減することが期待される。推進計画では, 温室効果ガス排出量の削減目標が掲げられており, 民生家庭部門においては, 2030年時2013年度比26%削減となっている。

長谷川ら⁴⁾は, 予てから伊香賀らの推計モデル⁵⁾を参考にして住宅のエネルギー消費量の予測のためにマクロモデルを構築し, 秋田県での将来推計⁶⁾⁷⁾⁸⁾を試みている。低炭素社会実現に向けたシナリオの検討に当たっては, ライフスタイルや家族構成, 気象の変化に対応できる確度の高い将来推計が有効である。将来推計するに当たり, マクロモデルでは, 将来推計パラメータとなる家族類型別世帯数と断熱水準別住宅シェアの別途推計が必要となり, 統計データに基づき, 過去の傾向から外挿することで推

計している。推計に用いる統計値は定期的に更新されているため, 既往の推計結果の精度を確認するとともに, モデルの精度向上のためには, 最新データを用い, 推計し直すことが必要である。そこで本研究では, モデルの精度向上のため, 最新データを用いて家族類型別世帯数の推計を行った。

2. マクロモデルの概要

2.1 マクロモデルの構成

図-1に秋田県全体のエネルギー消費量及び二酸化炭素排出量の計算フローを示す。暖冷房, 給湯, その他の用途別に, 3住戸形態(戸建住宅・集合RC造・集合木造), 7家族類型別世帯あたりのエネルギー消費原単位を算出し, 世帯数を乗じることで当該年のエネルギー消費量を算出する。なおこのモデルは, 家族類型ごとの一般的なエネルギー消費量を推計し, 各年代別の世帯数を乗じるマクロな視点で構築されている。

二酸化炭素排出量の推計では, 熱源ごとにエネルギー源を分類し, 二酸化炭素排出係数をエネルギー消費量に乗じることで算出している。

2.2 暖冷房用マクロモデル

拡張デグリーデー法^{註1)}を用いて家族類型別, 住戸形態別, 断熱水準別(無断熱, 1980年基準, 1992年基準, 1999年基準)に暖冷房負荷を求める。

2.3 給湯用マクロモデル

生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0⁹⁾を用いて行為別に使用頻度, 水量を算出する。給湯設定温度と市町村毎の

気温との差から給湯負荷を求める。

2.4 その他用マクロモデル

照明・厨房・娯楽情報・家事衛生・その他に分類する。家族類型別に機器の使用時間、消費電力を生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE Ver.2.0 を用いて求める。

2.5 家族類型別世帯数

家族類型の分類は、国立社会保障・人口問題研究所の世帯数推計データに準拠した分類に加え、今後の高齢化の影響を予測する目的から、高齢世帯と高齢世帯以外の違いが検討できる分類として、①高齢単独世帯・②その他単独世帯・③高齢夫婦世帯・④その他夫婦世帯・⑤夫婦と子から成る世帯・⑥ひとり親と子から成る世帯・⑦その他の一般世帯の7家族類型に分類した。

2.6 断熱水準別住宅シェア

住戸形態別住宅ストックにおける断熱水準別の住宅数を年代別に推計する。断熱水準は無断熱、1980年基準、1992年基準、1999年基準とし、断熱水準別の住宅数は外岡らの手法¹⁰⁾をもとに推計している。各年における新設住宅に占める断熱水準別のシェアから戸数を想定し、1990年時点の断熱水準別の住宅ストック戸数をベースに、断熱水準別の新設戸数を積み上げることで、各年における住宅ストックに占める断熱水準別の住宅数を推計する。

3. 家族類型別世帯数の将来推計

3.1 推計手法

図-2に家族類型別世帯数の計算フローを示す。2015年までを国勢調査の統計値¹¹⁾、2040年までを国立社会保障・人口問題研究所の推計値¹²⁾を用いた。2050年までは2020年から2040年の人口問題研究所による推計値を対数近似し、推計する年代を代入して独自推計した。推計は以下に行った。①2020～2040年の平均世帯人員の推移を対数近似して2050年までの平均世帯人員を算出する。②2020～2040年の秋田県の人口比率の推移を対数近似して2050年までの人口比率を算出し、全国の総人口に乗じて秋田県の総人口を算出する。③秋田県の総人口を平均世帯人員で除すことで一般世帯総数を算出する。④2020～2040年の家族類型別世帯数の割合を対数近似して割合を算出し、2050年までの各年の一般世帯総数に乗じて家族類型別世帯数を算出する。

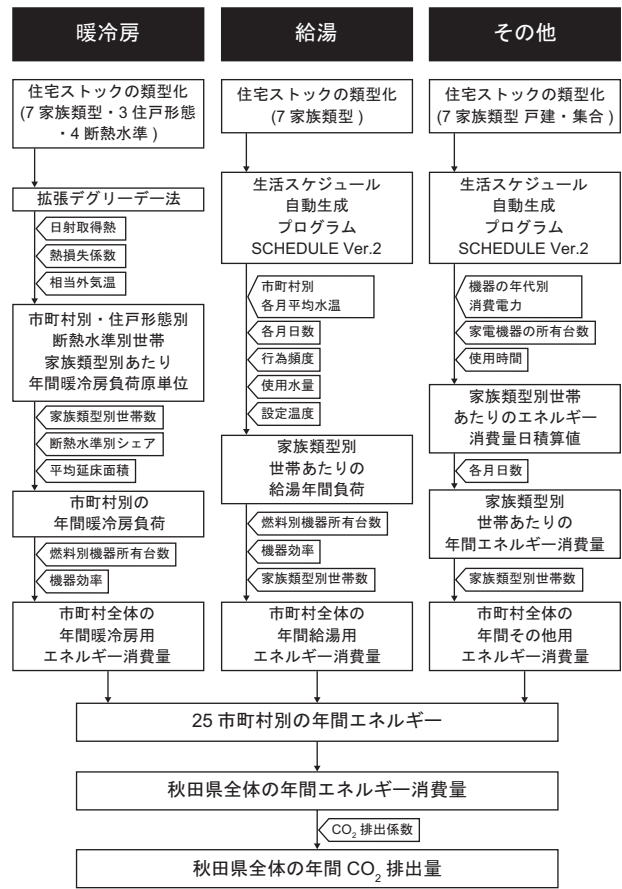


図-1 マクロモデルの計算フロー

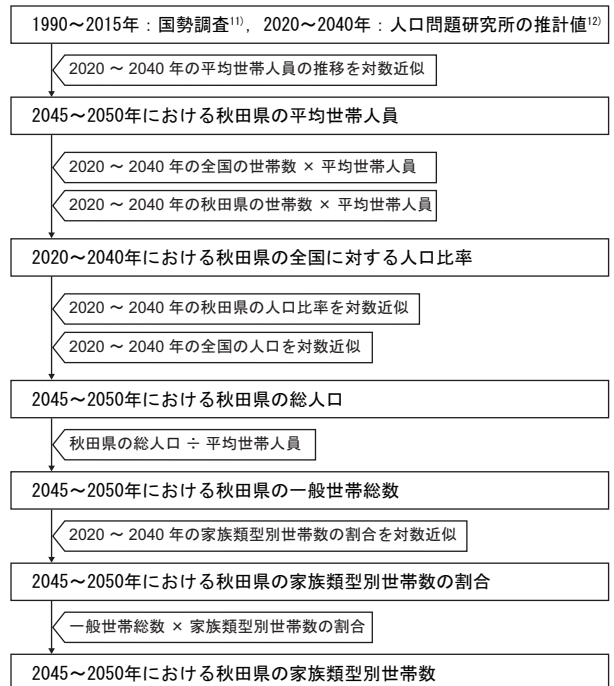


図-2 家族類型別世帯数の計算フロー

3.2 推計結果

図-3に既往研究⁴⁾における家族類型別世帯数の推計結果、図-4に本研究における推計結果を示す。世帯数は2005年に最も多く391,276世帯となり、その後徐々に減少していく。2050年の世帯数で比較すると、既往研究においては、237,509世帯になる結果に対し、本研究においては268,131世帯になる結果となった。

家族類型別にみると、高齢単独世帯は、2040年の61,600世帯となるまで増加を続け、家族類型別に最多となる一方、その他単独世帯は2015年以降減少していく。その他夫婦世帯は1995年以降、高齢夫婦世帯は2025年以降減少していく。夫婦と子世帯、その他世帯は1990年以降減少し続け、ひとり親と子世帯は2020年までは増加し、以降減少していく結果となった。

3.3 既往研究との比較

図-5に家族類型別世帯数割合の推移を既往研究と比較して示す。既往研究との差は、2020年には高齢単独世帯にて最大1.3ポイント高くなったが、2050年には高齢夫婦世帯にて最大5.1ポイント高くなった。また、高齢夫婦世帯について、2020年においては0.05ポイントの差が2050年には5.1ポイント高くなり、その割合が大きく変動する結果となった。

4. 考察

本研究では、既往研究の推計結果の精度を確認するとともに、モデルの精度向上のため、最新データによる家族類型別世帯数と世帯数割合の推計を行った。

家族類型別世帯数の推計では、既往研究と同様の傾向を示すものの、世帯数の減少は緩やかとなる結果となった。また、夫婦と子世帯、その他世帯が減少しているが、高齢単独世帯、高齢夫婦世帯では顕著な減少傾向はみられない結果となった。これは秋田県の少子高齢化問題を表しているといえる。

世帯数割合の推計では、既往研究と比較すると2050年における家族類型別世帯数割合の差が大きくなる結果となった。特に高齢単独世帯、高齢夫婦世帯の割合が大きくなり、秋田県の高齢化がさらに進行することが予想される。また、単独世帯、夫婦世帯などの小規模家族の割合が大きくなっていることから、人口減少に伴い、小家族化が進むことが考えられる。

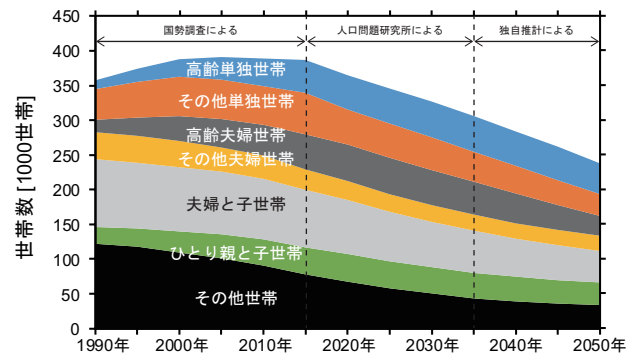


図-3 既往研究における家族類型別世帯数の推移⁴⁾

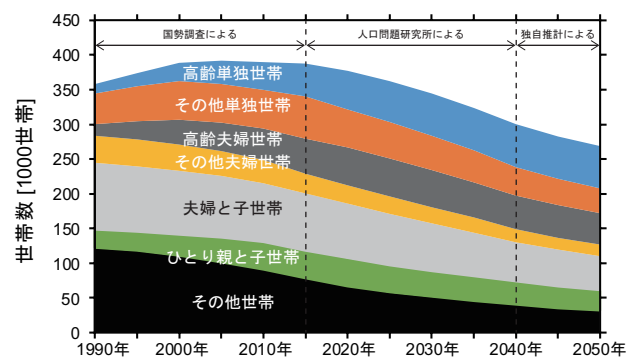


図-4 本研究における家族類型別世帯数の推移

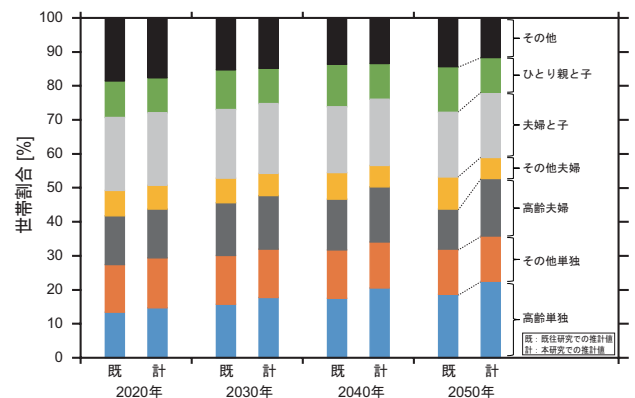


図-5 家族類型別世帯数割合の推移

5. 本論文のまとめ

今後は、断熱水準別住宅シェアを推計し、秋田県全体のエネルギー消費量、二酸化炭素排出量を算出した上で、秋田県の低炭素化シナリオの提案をする予定である。今後さらなる少子高齢化、小家族化が進行することが予想されるため、住宅性能の向上のみならず、住宅規模の縮小やコンパクトシティ等、人々の行動変容に着目したシナリオの検討も必要である。

注釈

注 1) 建物の暖冷房負荷を簡易に予測する手法として、住宅の熱損失係数に暖冷房デGREEデーを乗じることにより、暖冷房期間の総熱損失量を求める方法がある。しかしながら、この方法では外気温のみしか考慮していないため、実用的な暖冷房の予測をするには限界がある。そこで、本マクロモデルでは、方位別日射量や内部発熱などの影響も考慮した拡張デGREEデー法を適用している。

参考文献

- 1) 環境省：地球温暖化対策計画，2016年5月．
- 2) 環境省：パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略，2019年6月．
- 3) 秋田県生活環境部温暖化対策課：第2次秋田県地球温暖化対策推進計画，2017年3月．
- 4) 長谷川兼一，松本真一，細淵勇人：秋田県を対象とした住宅内エネルギー消費量の将来推計，日本建築学会技術報告集，第25巻，第59号，pp.267-270，2019年2月．
- 5) 伊香賀俊治，三浦秀一，外岡豊，下田吉之，小池万里，深澤大樹，水石仁：住宅のエネルギー消費量とCO₂排出量の都道府県別マクロシミュレーション手法の開発，日本建築学会技術報告集，第22号，pp.263-268，2005年12月．
- 6) 齋藤綾加，長谷川兼一，松本真一，細淵勇人：秋田県を対象とした民生家庭部門のエネルギー消費量の将来予測 その2 マクロモデルの構築とエネルギー消費量の将来推計，日本建築学会東北支部研究報告集，計画系，第75号，pp.197-200，2012年6月．
- 7) 高橋徹：秋田県における住宅内エネルギー消費量の将来推計 拡張デGREEデー法による予測暖冷房負荷の適用，秋田県立大学システム科学技術学部，卒業論文，2013年3月．
- 8) 齊藤正浩：秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオの提案 家庭内エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の将来推計，秋田県立大学システム科学技術学部，卒業論文，2017年3月．
- 9) 空調調和・衛生工学会 住宅用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生成プログラム，SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル，2003年3月．
- 10) 深澤大樹，外岡豊，伊香賀俊治，三浦秀一，小池万里：住宅内のエネルギー消費量の都道府県別将来推計に関する研究（その4）都道府県別住宅断熱水準，日本建築学会大会学術講演会梗概集，pp.401-402，2004年8月．
- 11) 総務省：平成27年度 国勢調査，<https://www.stat.go.jp/data/kokusei/2015/index.html>(2020年12月閲覧)
- 12) 国立社会保障・人口問題研究所：日本の地域別将来推計人口，<http://www.ipss.go.jp/pp-pjsetai/j/hpjp2019/t-page.asp>(2020年12月閲覧)

A-3

竣工設備データベース「ELPAC」を用いた 事務所建築の空調設備とエネルギー消費量の動向に関する考察

○小原豪太（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学）

松本真一（秋田県立大学），竹内仁哉（秋田県立大学）

Analysis on Type of HVAC System and its Energy Consumption in Office Buildings based on "ELPAC" Database

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

キーワード：事務所建築，空調設備，エネルギー消費量

1. はじめに

人は、1日の9割の時間を建築物の中で過ごすといわれている¹⁾。そのため、不適切な室内環境に滞在することによる健康への悪影響を防除するために、建築物の維持・管理が重要となる。我が国では、1970年に「建築物衛生法」が施行されて以降、建築物における衛生的な環境の確保が優先事項とされている。2003年4月には建築物衛生法関連政省令が一部改正され、滞在者の暴露環境要因の一つである空気環境において、より一層の管理が求められるようになった。ここでの改正により、空調設備において「中央管理方式」を導入している特定建築物のみならず、「個別空調方式」も維持・管理の対象となった。また、建築物の運用時のエネルギー消費量の削減を目的として、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律」（以下、省エネ法）が制定されている。これらの法律や関連する政令・告示を基に、建築設備の性能向上やエネルギー消費量の削減が日々図られている。

本研究では、事務所建築物を対象に、空調方式に着目した延床面積や空調設備、エネルギー消費量等の動向を把握することを目的としている。

2. 事務所建築の現状に関する既往研究

林ら^{2)~4)}は、2018年8月下旬～9月下旬、2019年1月下旬～2月中旬の期間、全国の事務所建築物42件を対象に温度、相対湿度、室内CO₂濃度等の室内空気環境の測定を実施した。温度に関しては、ほとんどの建築物で適切な

管理が行われていた。相対湿度において、建物規模を問わずに冬期に低湿度環境になる、室内CO₂濃度においては、「個別空調方式」の空調設備を導入している建築物の室内CO₂濃度が高くなるという課題が指摘された。その背景には、導入されている加湿設備の多くが「気化式」であることや後付けの加湿器のみを用いている建築物があること、「個別空調方式」の空調設備では換気システムも個別に管理されているため、適切な管理がされない結果、換気量が減少していること等が考えられる。

3. 分析データ

3.1 概要

一般社団法人 建築設備技術者協会が提供している、建築設備情報年鑑・竣工設備データベース「ELPAC」を用いる。これは、47都道府県の建築物の管理者等を対象にアンケート用紙を配布して行った独自調査データである。分析にあたり、非住宅建築物の省エネルギー基準の変遷に基づき、3つのグループに分類する。1979年の省エネ法制定後、1999年には外皮性能の評価値としてPAL、建築設備の省エネルギー性能の評価値としてCECが用いられ、2013年には新たな外皮性能の評価値であるPAL*、建築設備の評価値には一次エネルギー消費量が用いられるようになった。これより、竣工年度で1984~1998年度、1999~2012年度、2013~2018年度に分類した。

本研究で用いるデータは、空調設備の冷熱源・温熱源それぞれの主熱源方式が記載され、空調

方式の分類が可能な 968 件である。内訳は、地域区分では関東・中部，工事種類では新築，建物種別では貸しビル，自社ビルの件数が多い。

3.2 空調方式の分類

表-1 に空調方式の分類を示す。各建築物の空調設備の冷熱源，温熱源の主熱源方式のデータに着目し，厚生労働省が発表している「建築物における維持管理マニュアル」等を参考に，導入されている空調設備を「個別空調方式」「中央管理方式」「個別空調方式+中央管理方式」の3種類に分類した。「個別空調方式」は，中央熱源を持たずに熱源と空気調和機とが一体となっているか，室内ユニットと熱源ユニットが冷媒配管で接続されているかのいずれかの場合で，各々の機器単体での運転制御が可能な方式とされている。「中央管理方式」は，各居室に供給する空気を中央管理室等で一元的に制御可能な方式である。「個別空調方式+中央管理方式」は，「個別空調方式」と「中央管理方式」を導入している場合の空調方式を指す。

4. 延床面積・空調機械室合計面積の動向

図-1 に延床面積・空調機械室合計面積の動向を示す。「個別空調方式」を導入している建築物の多くが，特定建築物の要件である延床面積 3,000m² を超過しており，竣工年度が新しくなるにつれ，より大きな延床面積の建築物でも導入される傾向にある。空調機械室合計面積に関しては，年度が新しくなるにつれて減少傾向にある。「中央管理方式」「個別空調方式+中央管理方式」を導入している建築物は，大きな延床面積の建築物を中心に導入され，空調機械室合計面積も年々大きくなる傾向が把握できる。

5. 空調設備の動向

5.1 空調方式

1984~1998 年度の建築物では，「中央管理方式」を導入する割合が高いが，竣工年度が新しくなるにつれてその割合は減少する。「個別空調方式」「個別空調方式+中央管理方式」を導入している建築物の割合は，年度が新しくなるにつれて増加している。

5.2 加湿方式

図-2 にペリメータゾーン・インテリアゾーンの加

表-1 空調方式の分類

熱源	空調方式	地域熱供給	電動式	ガス・油燃焼式
冷熱源	中央管理方式	冷水	冷専チラー(水冷・空冷)	吸収式冷凍機(温水・蒸気・排熱利用)
	個別空調方式		冷専パッケージ(水冷・空冷)	
温熱源	中央管理方式	温水 蒸気	電気ボイラー	ボイラー(温水・蒸気)
	個別空調方式		電気ヒーター	ファンヒーター
冷温熱源	中央管理方式		ヒートポンプチラー(水冷・空冷)	冷温水発生機(直燃吸収式・排熱投入型)
	個別空調方式		空冷ヒートポンプマルチパッケージ 小型水冷パッケージ	ガスエンジン駆動 ディーゼルエンジン駆動 ヒートポンプパッケージ

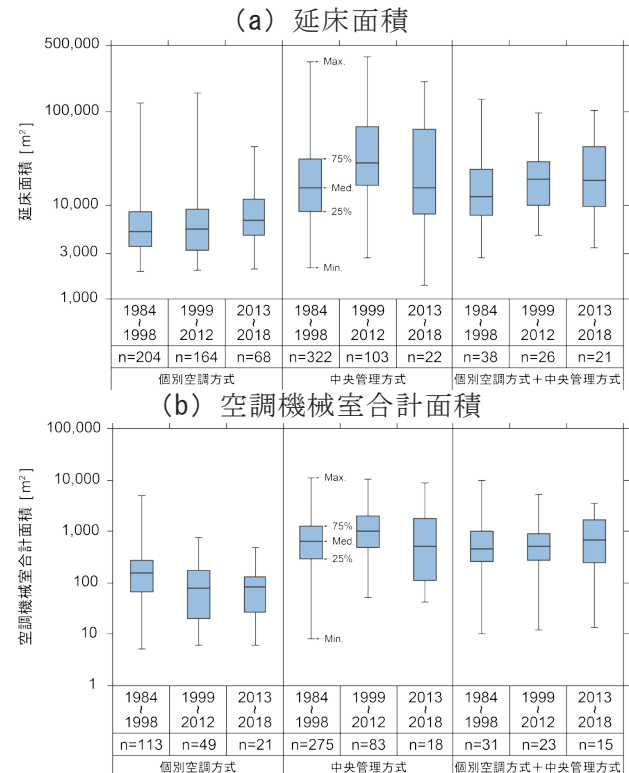


図-1 延床面積・空調機械室合計面積の動向

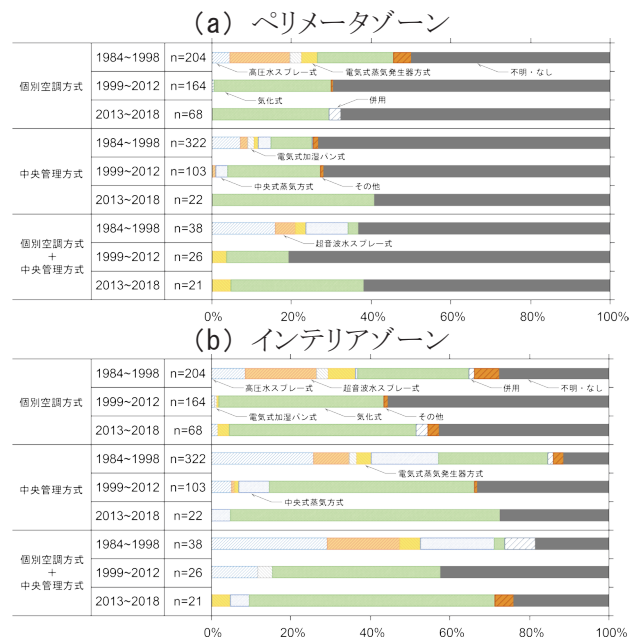


図-2 加湿方式の動向

湿方式の動向を示す。すべての空調方式、竣工年度においても「気化式」が大半を占めている。「不明・なし」とする割合は、ペリメータゾーンにおいて半分以上、インテリアゾーンでは11.5~55.5%の割合を占めている。これら全てを「なし」とみなした場合、冬期の低湿度環境の要因となっている可能性が考えられる。

5.3 外気供給関連

図-3にペリメータゾーンの外気供給方式、図-4にペリメータゾーン・インテリアゾーンの外気処理フィルターの動向を示す。外気供給方式において、「個別空調方式」で「個別（全熱交換器付き）」、「中央管理方式」では「空調機混合処理（各階毎）」、「個別空調方式+中央管理方式」では「外調機（各階毎）」の割合が高い。外気処理フィルターにおいては、「個別空調方式」で「粗塵のみ」,「中央管理方式」では「中性能（比色法50~80%)」,「個別空調方式+中央管理方式」では「粗塵のみ」の割合が高くなった。「中央管理方式」のデータに着目すると,「中性能（比色法50~80%)」の割合はペリメータゾーンよりもインテリアゾーンの方が年度を問わず高く,「粗塵の

み」の割合は低くなる傾向が把握できる。

図-5に竣工年度別に、ペリメータゾーンの延床面積と外気供給割合の関係を示す。多くは外気供給割合が10~40%となり、100%に近い建築物もあった。外気供給割合が100%に近いデータを除くと,「中央管理方式」において40%を超過するデータが複数見られる。一方で,「個別空調方式」においては40%以下のデータがほとんどであった。また,延床面積との明確な関係は確認できず,竣工年度ごとの外気供給割合の特徴も見られなかった。

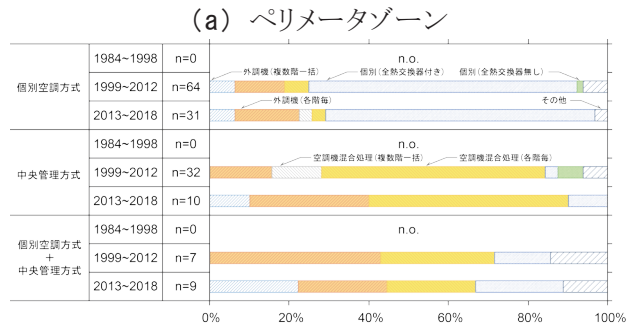


図-3 外気供給方式の動向

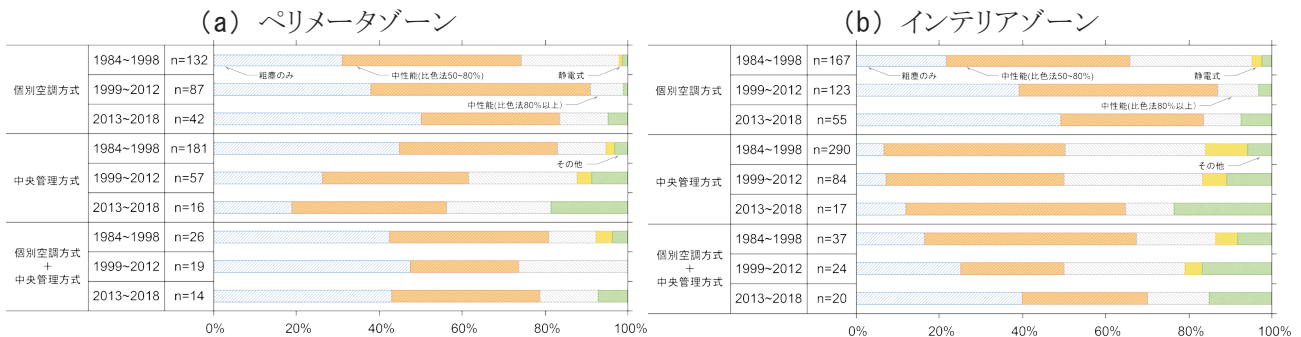


図-4 外気処理フィルターの動向

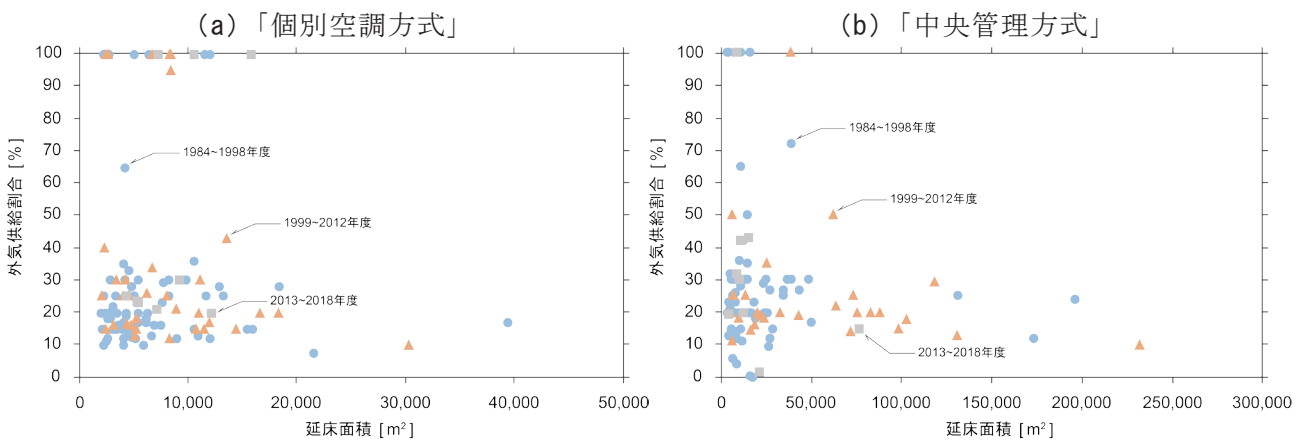


図-5 外気供給割合の動向 (ペリメータゾーン)

6. エネルギー消費量の動向

図6に竣工年度別に、延床面積と年間一次エネルギー消費原単位の関係を示す。「個別空調方式」では、1984~1998年度と1999~2012年度に弱い正の相関、2013~2018年度には強い正の相関があった。「中央管理方式」において、正の相関が年々強まっており、延床面積が大きくなると原単位も大きくなる関係が把握できた。さらに、「個別空調方式」よりも大きな原単位を示すデータが確認された。「個別空調方式+中央管理方式」においては、1984~1998年度のみで正の相関が見られた。

また、すべての空調方式において、同規模の建築物でも原単位が異なるデータがあり、竣工年度が新しい建築物の方が原単位が小さくなる傾向が把握できる。

7. まとめ

各空調方式ごとの延床面積や空調設備、エネルギー消費量等の動向の把握を行い、以下を把握することができた。

- ①「個別空調方式」の空調設備を導入する建築物が竣工年度が新しくなるにつれて増加している。
- ②加湿方式は「気化式」が大半である。「不明・なし」の割合が高く、設計者の加湿に対する意識が低い可能性がある。
- ③エネルギー消費量に関して、「中央管理方式」が「個別空調方式」「個別空調方式+中央管理方式」よりも多くのエネルギーを消費している。

今後、増加している「個別空調方式」に着目した、室内空気環境やエネルギー消費量等に関するさらなる分析に取り組む必要がある。

参考文献

- 1) 塩津弥佳, 吉澤晋, 池田耕一, 野崎淳夫: 生活時間調査による屋内滞在時間量と活動量 室内空気汚染物質に対する曝露量評価に関する基礎的研究 その1, 日本建築学会計画系論文集第63巻第511号, 45-52, 1998年.
- 2) 開原典子, 金勲, 林基哉, 小林健一, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 中野淳太, 李時桓: 事務所建築の室内空気環境に関する調査 その2 室内温湿度の実態, 令和元年度空気調和・衛生工学会大会, 2019年.

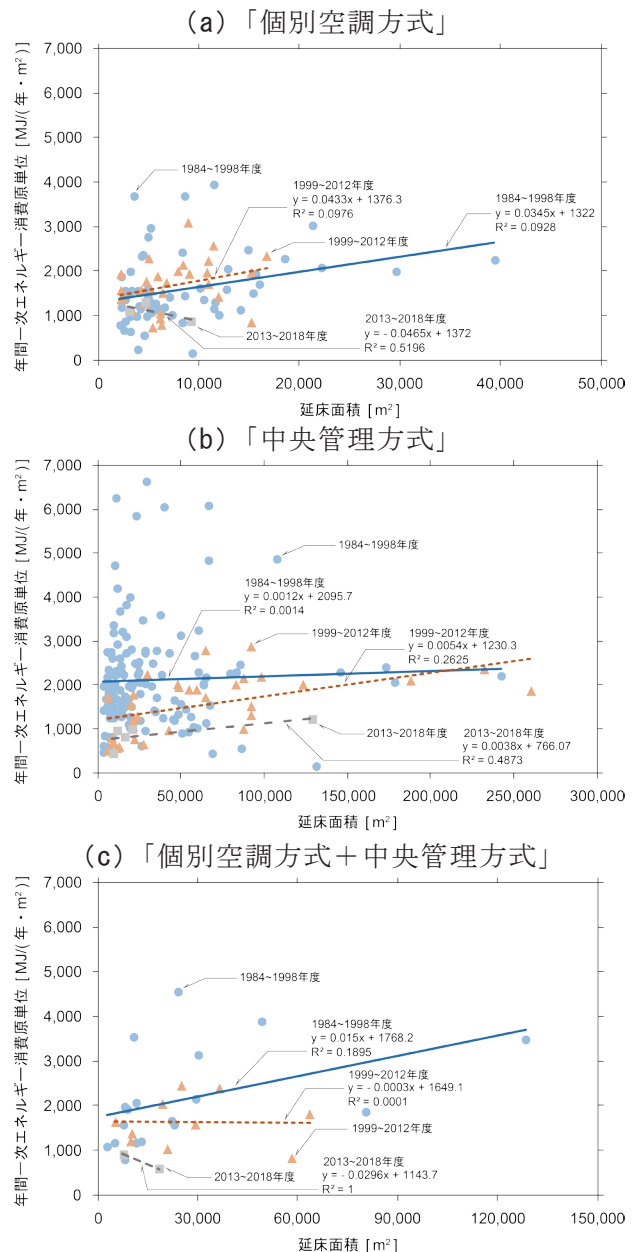


図-6 年間一次エネルギー消費原単位の動向

- 3) 金勲, 林基哉, 小林健一, 開原典子, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一, 長谷川兼一, 中野淳太, 李時桓: 事務所建築の室内空気環境に関する調査 その3 冷暖房期における二酸化炭素濃度の実態, 令和元年度空気調和・衛生工学会大会, 2019年.
- 4) 柳宇, 鍵直樹, 金勲, 林基哉, 小林健一, 開原典子, 東賢一, 長谷川兼一, 中野淳太, 李時桓: 事務所建築の室内空気環境に関する調査 その4 中小規模ビルと特定建築物間の室内空気環境の比較, 令和元年度空気調和・衛生工学会大会, 2019年.

A-4

秋田県産木材を用いた小規模事務所建築LCAに関する研究

○全堯 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学),

竹内仁哉 (秋田県立大学)

Case study of life cycle assessment in a small wooden office building in Akita prefecture
Yao Tong (Akita Prefectural University), Kenichi Hasegawa (Akita Prefectural University),
Shin-ichi Matsumoto (Akita Prefectural University), Jinya Takeuchi (Akita Prefectural
University)

キーワード：秋田県産木材, 小規模事務所, LCA

1. はじめに

近年、地球温暖化による環境問題が顕在化しており、それらは全世界に及んでいる。そのため、低炭素や環境負荷の削減対策が求められており、炭素固定化効果がある木造建築が注目されている。また、製品の原材料から、製造、運送、使用又は廃棄に至る各段階において、環境影響に対する評価するライフサイクルアセスメント (LCA : Life Cycle Assessment) も普及している。

既に、LCA の概念と LCA 評価過程は国際標準 ISO14040 規格になっており¹⁾、木材や木造建築物を対象とした LCA 研究は多く見られる^{2)~4)}。しかし、木造建築を対象とする研究では、二つの課題が残っている。一つは、使用木材により産地や製造過程や運送距離などが異なるため、生じる環境負荷量も異なること。もう一つは、木造住宅を対象とした木造建築の LCA に関する研究が多く見られるが、事務所建築の LCA 研究が少ないことである⁵⁾。

そこで、本研究では、秋田県で施工されている小規模事務所建築を対象として事例調査を行い、それに用いられている木材の環境負荷原単位を把握する。それを踏まえて、建設段階における環境負荷量を計算し、評価する。

2. 調査対象建物の概要

本研究の対象は秋田県美郷町で建設されている延床面積が 118.87 m²、地上 1 階の木造縦ログ事務所 M アトリエである。図-1 に平面図を示す。一般の木造建築と異なり、M アトリエでは、大量の秋田県産木材が使用されている。外壁には、木質断熱複層パネルが用いられている。

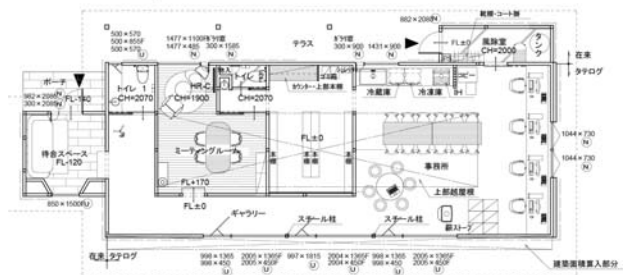


図-1 M アトリエの平面図

3. LCA のための条件設定

M アトリエは竣工途中であるため、LCA を行う際に、予定使用量データと実際の施工段階において収集したデータを合わせて計算する。

3.1 資材設定

設計者から得られる予定資材使用量と調査結果に基づいて、全建築物の資材を使用位置に分類し、AIJ-LCA 計算ツール⁶⁾に入力した。

3.2 資材のリサイクル率の設定

資材のリサイクル率を表 1 のように設定した。既往文献^{6)~7)}を参考に、普通ボルトランドセメント 16%、伸銅品 11%、アルミニウム 50%、亜鉛 7%を設定した。また、土間発泡ガラス業者からの情報により、リサイクル率を 96%に設定した。

3.3 端材率の設定

調査結果により、建築の建設段階で発生する木材廃棄物量は 11.5 m³であった。さらに、予定木材使用量 73.67 m³を用いて端材率が算出できるが、その結果は実際に使用される状況と異なる。それは廃材体積を算出する際、木材の廃材を全て収集すると仮定したためである。その結果、木材廃材の実体積は 11.5 m³より小さい。よって、端材率を

確認する際には、体積量を重量に換算して端材率を算出する必要がある。

文献⁸⁾によると、木材廃棄物の比重を表2のように設定している。

表-1 資材のリサイクル率設定表

番号	資材	資材のリサイクル率
1	普通ボルトランドセメント	16%
2	鉄筋	97.5%
3	鉄骨	10%
4	土間発泡ガラス	96%
5	伸銅品	11%
6	アルミニウム	50%
7	亜鉛	7%

表-2 木くず比重統計表⁸⁾

データの出典	木くず	備考
日本住宅リフォームセンター	0.160	実測調査によるかさ比重
住解協	0.205	
日本建築業協会	0.21	
厚生省	0.7	数値の根拠が不明
東京都	0.4	
大阪4行政	0.5	
廃棄物ガイドライン	0.4-0.7	

本研究において、信頼性が高い三つの材積比重の平均値 192 kg/m³を用いて計算する。以下の式を通して、端材率を算出する。

$$p = \frac{V_{\text{予定量}} \times \rho_{\text{杉板}} - V_{\text{廃材量}} \times \rho_{\text{かさ比重}}}{V_{\text{予定量}} \times \rho_{\text{杉板}}}$$

ただし、pは実際端材率（無単位）、V_{予定量}は木材の予定使用量（m³）、ρ_{杉板}は杉材の容積密度（kg/m³）、V_{廃材量}は生じた廃材発生量（m³）、ρ_{かさ比重}は文献による木材廃材の比重（kg/m³）である。

なお、木材予定使用量を 73.67 m³、廃材量を 11.5 m³、製材の比重を 514.2 kg/m³⁹⁾、最後の木材の端材率を 9.0%とする。

3.4 木材原単位の修正

使用する LCA 計算ツールのデータベース⁸⁾に

おいて、製材の二酸化炭素排出量原単位は海外流通段階と生産段階が含まれている。そこで、製材の生産段階の原単位を 2.958kg-CO₂/千円、流通段階の原単位を 0.547kg-CO₂/千円と見積った。それらを合わせて、製材の二酸化炭素排出量原単位を 3.505 kg-CO₂/千円とした。

一方、Mアトリエで用いられる製材は全て県内で生産又は流通する木材である。そのため、秋田県産木材の原単位を別途算出し、修正する必要がある。計算方法は下式に示す。

$$\Delta E = (E_{\text{DB}} - E_{\text{県木材}}) / a_E \times M_{\text{予定量}}$$

$$E_{\text{県木材}} = E_{\text{流通}} + E_{\text{生産}}$$

ただし、ΔEは木材の修正量（kg-CO₂）、E_{DB}はLCA 指針における製材の環境負荷原単位（kg-CO₂/千円）、M_{予定量}は木材予定使用量（kg）、E_{県木材}は秋田県産木材の環境負荷原単位（kg-CO₂/千円）、E_{流通}は流通段階の負荷原単位（kg-CO₂/千円）、E_{生産}は県内生産段階の負荷原単位（kg-CO₂/千円）、a_Eは製材の購入単価（千円/kg）である。

なお、既往文献¹⁰⁾によると、使用製材の環境負荷原単位を 39.9 kg-CO₂/m³としている。そして、製材の購入単価 0.0812 千円/kg と容積密度 514.2 kg/m³を用いて計算すると、県内生産段階の消費支出原単位が 0.9556 kg-CO₂/千円になる。それと資本形成原単位と加えると、県内生産段階の原単位は 1.20 kg-CO₂/千円となる。

また、流通段階の原単位を LCA 計算ツールのデータベースにおける国内流通部分を利用して計算すると、県産木材の原単位は 1.68 kg-CO₂/千円になる。ここでは、木材の予定使用量を 73.67 m³とし、最後の排出修正量を 5615.89 kg-CO₂とする。

4. 計算結果

前述の設定条件を LCA 計算ツールに入力し、建設段階における環境負荷量を算出した。資材量は LCR 指標の LC 資源投入量と LC バージン資源投入量を用いて検討する。廃材量は LCW 指標の LC 廃材発生量と LC 廃棄物発生量を利用して評価する。最後に、LCCO₂の計算結果と修正結果を検討する。

4.1 LC 資源投入量

計算結果によると、全建築物に投入する資源投入量が 1389.78 kg/m^2 となった。その割合は図-4 のようになる。基礎部分の資源投入量が最も多く、 538.87 kg/m^2 である。躯体部分、内装部分には大量な木材を用いているため、資源投入量が高いことがわかる。また、内装部分には高い修繕率と改修率を設定しているため、全周期の資源投入量も多い。

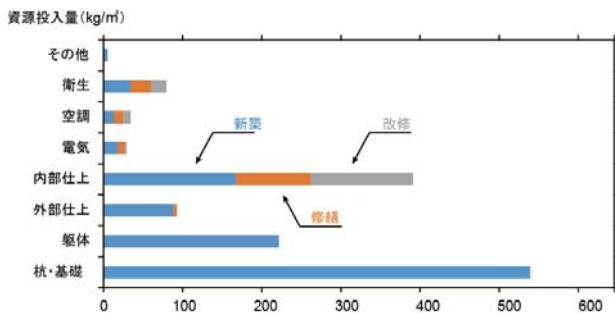


図-4 LC 資源投入量

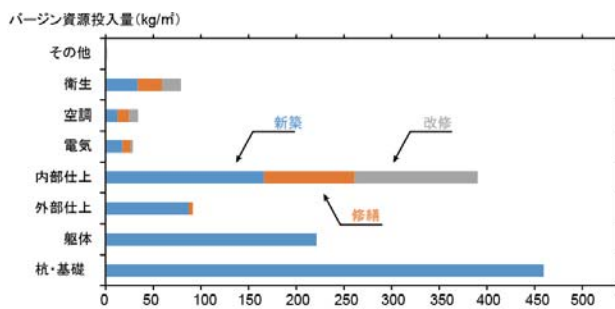


図-5 LC バージン資材投入量

4.2 LC バージン資源投入量

LC バージン資源投入量の計算結果を図-5 に示す。投入資材自身のリサイクル率を考慮すると、建築物全周期のバージン資源投入量が 1304.70 kg/m^2 となる。基礎部分で大幅に使用されている鉄筋とセメントのリサイクル率が高いため、基礎部分のバージン資源投入量は 459.44 kg/m^2 となる。前述の資材投入量を比べて、15%のリサイクル材が使用される。

4.3 LC 廃材発生量

廃材量に着目すれば、M アトリエの全周期廃材発生量は 1694.20 kg/m^2 である。図-6 に示すように、廃材発生量の中で、特に残土部分と内装部分の割合が高い。残土部分を除くと、建築部分の発生量は 537.40 kg/m^2 、全体の 79.2% を占める。ま

た、内装部分の修繕率が他の部分より高く設定されているため、内装部分の廃材発生量も他の部分より多く、建築部分の 43.4% を占める。

4.4 LC 廃棄物発生量

LC 廃棄物発生量の計算結果を図-7 に示す。廃棄物において、残土部分のリサイクル率を 100% と設定しているため、その部分の廃棄物発生量がゼロになった。そして、基礎部分の廃棄物発生量は小さく、 18.31 kg/m^2 である。前述の廃材発生量と合わせると、基礎部分の廃棄物発生量が 87.6% 削減した。その理由としては基礎部分の廃コンクリートのリサイクル率を 98%、鉄筋と鉄骨のリサイクル率を 91% と設定していることが考えられる。躯体部分と外装部分はリサイクル率 61% の木材が用いられるため、廃棄物発生量が 54.6% 削減した。

4.5 LCCO₂ 排出量

LCCO₂ の計算結果を図-8 のように示す。運用階段を除いて、M アトリエの投入資源に関する部分で生じる二酸化炭素発生量が $34.928 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{年}$ である。資材と設備の生産部分が 51.4% を占める。それ以外に、改修工事の二酸化炭素排出量が最も多く、24.2% を占める。

先節の計算により、県産木材の利用で生じる二酸化炭素排出量の修正値が $5615.89 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2$ となる。さらに、評価期間を 35 年とすると、年間面積当たりの修正量が $1.35 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{年}$ になる。また、各部位の木材使用割合に基づいて、部分ごとの二酸化炭素排出量修正量を算出した。その結果、躯体部分の二酸化炭素排出量が 17.3% 削減し、 $5.65 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{年}$ になり、仕上げ部分の排出量が 2.6% 減少し、 $6.41 \text{ kg} \cdot \text{CO}_2 / \text{m}^2 \cdot \text{年}$ になった。全体では、県産木材の使用により、3.9% の二酸化炭素排出量が削減された。

5. まとめ

現時点建設されている小規模事務所を LCR、LCW と LCCO₂ 評価を行い、以下のことが判った。

- 1) 全建築物の投入資源投入量が 1389.78 kg/m^2 である。それに対して、全周期バージン資源投入量が 1304.70 kg/m^2 である。建築物に投入する資源の中で、基礎部分が大部分を占める。さらに、建物の運用中に内装を維持するための資源投入量も多い。

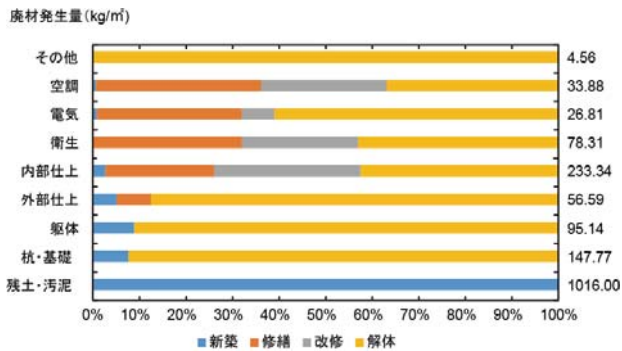


図-6 LC 廃材発生量

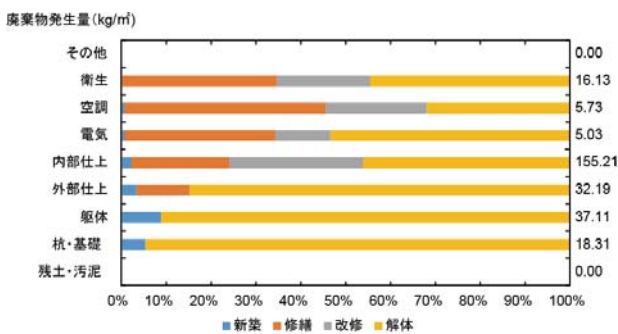


図-7 LC 廃棄物発生量

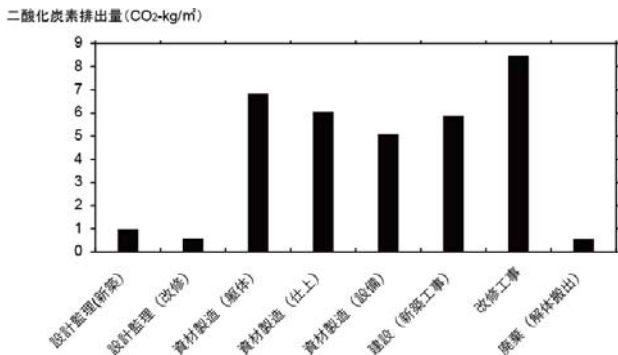


図-8 LC 二酸化炭素排出量

- 建築物で生じる全周期廃材量が 1694.20 kg/m²である。しかし、廃棄物のリサイクル活動により、最終の全周期廃棄物発生量が 269.71 kg/m²である。もし、残土を除くと、全建築物廃棄物のリサイクル率が 60.2%に達した。
- 建築物に投入する資材により生じる二酸化炭素排出量が 34.928 kg・CO₂/年m²である。また、県産木材の使用により、木材の二酸化炭素排出量原単位が減少し、全建築物の二酸化炭素排出量も削減された。特に木材使用量が高い躯体部分は 17.3%の二酸化炭素が削減

されている。

参考文献

- ISO 14040:2006 Environmental management—Life cycle assessment—principles and framework.
- 大和田拓馬, 長崎真由, 小出理博, 等. 国産丸太の LCA による環境影響評価[C]//日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会. 日本 LCA 学会, 2011: 45-45.
- 古俣寛隆, 加藤幸浩, 高山光子, 等. 製材, 集成材および合板製造における温室効果ガス排出量の算出とその方法に関する諸課題[J]. 2010.
- 大和田拓馬, 長崎真由, 小出理博, 等. 国産丸太の LCA による環境影響評価[C]//日本 LCA 学会研究発表会講演要旨集 第 7 回日本 LCA 学会研究発表会. 日本 LCA 学会, 2011: 45-45.
- 早川慶朗. 公共建築の計画・設計時における木材調達に関する実施事例 中・大規模建築物における計画・設計段階での木材流通情報を活用した木材調達支援に関する研究 その 1[J]. 日本建築学会環境系論文集, 2015, 80(709): 297-304.
- 時松宏治, 黒沢厚志, 小杉隆信, 等. 循環型社会に向けた銅資源リサイクル推進の必要性に関する研究[J]. 環境科学会誌, 2005, 18(2): 93-102.
- 佐藤正章, 荒井良延, 伊香賀俊治, 等. 集合住宅のライフサイクルにおける資源有効利用・建設廃棄物削減に関する研究[J]. 日本建築学会環境系論文集, 2006, 71(606): 67-73.
- 日本建築学会. 建物の LCA 指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール—改訂版[J]. 2013.
- 上田智輝, 高村秀紀, 浅野良晴, 等. 4・20 木造住宅に使用される越後スギのライフサイクルアセスメント調査: その 2 4 事例を対象とした製材 1m³ 製造時の材積量と炭素固定量の変動及び燃料消費量の把握 (環境系)[J]. 日本建築学会北陸支部研究報告集, 2013 (56): 183-186.
- 菅野このみ. 長期耐用型木造住宅の LCA のための集成材製造工程エネルギー消費に関する事例調査, 2012

A-5

雨水利用施設の二酸化炭素排出量に関する研究

○福井啓太（福井水環境研究所），岡田誠之（東北文化学園大学）

Study on Carbon Dioxide Emissions of Rainwater Utilization Facilities

Fukui Keita (Fukui Water Environment Laboratory),
Okada Seishi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

キーワード：雨水利用施設，二酸化炭素排出量，温室効果ガス

はじめに

1965年頃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2018年度末時点で3593か所¹⁾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²⁾や雨水活用建築ガイドライン³⁾があり，これらの基準やガイドラインに基づいた設計事例が多く，実態の調査例としては設計⁴⁾や維持管理⁵⁾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，上記の一つ若しくは複数の理由で，雨水利用施設を設置している。この雨水利用施設において，二酸化炭素排出量に関する評価があると考えられるので，これらについて既往の調査結果を通して記述する。

1. 調査概要

1.1 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，雨水施設に差異があり，設計諸元と水量の実績

データが揃っている雨水利用施設を選定した。その施設の内容は雨水利用施設の環境負荷が評価しやすい条件として，ろ過装置有・無の条件を「各2施設」，ろ過装置を設置していなくて移送ポンプ2台を設けている「1施設」の計5施設とした。これらの諸元を表-1に示す。延べ面積当たりの人員は0.014~0.044(人/m²)である。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算定して示した。

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(施設-1, 2(図-1))
- 2) ろ過装置を設置していない条件で，移送ポンプで移送して「移送ポンプと消毒」との組み合わせ(施設-3, 4(図-2))

表-1 対象建築物の概要と雑用水の諸元

施設	建物概要 (構造-地上階数-地下階数)	延べ床面積当たり の人員 (人/m ²)	上水代替率 (%)
1	RC-2	0.044	32.2
2	SRC-12-B1	0.014	72.7
3	RC-5-B1	0.022	48.0
4	SRC-7-B1	0.029	65.9
5	S-9-B1	0.030	16.9

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

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（施設-5（図-3））

なお、算出の範囲は移送ポンプから消毒までの工程を対象とし、トイレ等への供給ポンプは対象外とした。

1.2 CO₂ 排出量算出値

対象とする雨水利用施設から CO₂ の排出に起因する設備・装置は、移送ポンプに利用する電力消費量と消毒が関係するので、採用する原単位を下記に記す。

1) 電力消費量に係る二酸化炭素排出係数

2019年5月16日の環境省・経産省が公表している「0.496kg-CO₂/kWh⁶⁾」を用いる。

2) 消毒に用いる次亜塩素酸ナトリウムに係る CO₂ 排出量

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」⁷⁾に示している「0.32kg-CO₂/kg」を用いる。

3) 水道水の補給水に係る CO₂ 排出量原単位

(社)日本水道工業団体連合会の報告⁸⁾に示している「0.18kg-CO₂/m³」を用いる。

4) 下水道へ放流する場合の CO₂ 排出量原単位

国土交通省水管理・国土保全局の報告⁹⁾に示している「0.47kg-CO₂/m³」を用いる。

1.3 算出方法

算出は次の3種類に分けた。

- ①雨水利用（雨水集水量+上水補給水+下水道利用から算出した CO₂ 排出量）
- ②雑用水をすべて雨水で賄う（雨水集水量（100%）+下水道利用から CO₂ 排出量）。
- ③雨水利用しない（水道水+下水道利用から算出した CO₂ 排出量）。

2. 各条件における CO₂ 排出量

2.1 雨水集水量のみから算出した CO₂ 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 CO₂ 排出量を表-3 に示す。ここでは補給水量に係る CO₂ 排出量は含まれていない。CO₂ 排出量原単位は 0.059 ~ 0.129kg-CO₂/m³の範囲である。「施設 1」の CO₂ 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め、稼働時間が長いことが

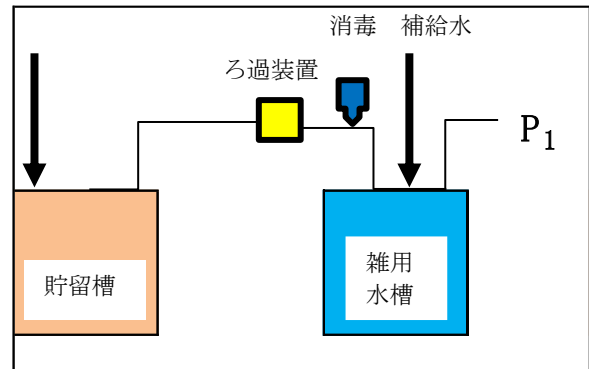


図-1 ろ過装置を設置しているフロー図

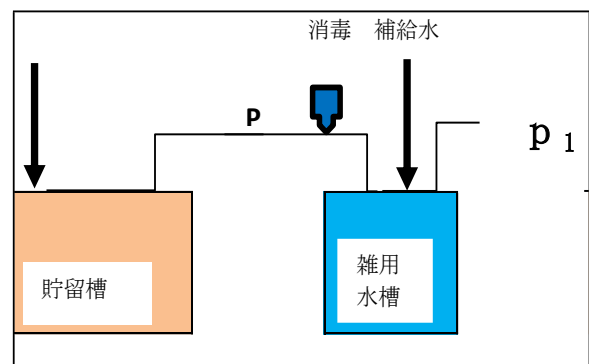


図-2 ろ過装置を設置していないフロー図

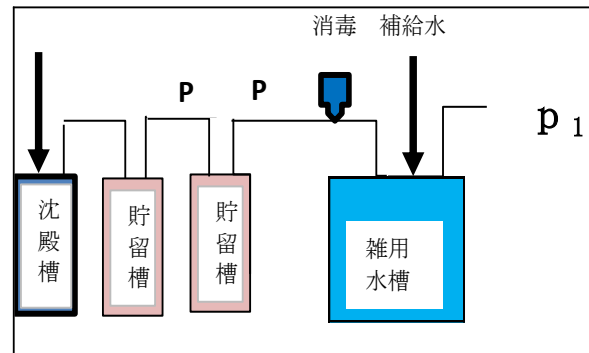


図-3 ろ過装置を設置していない貯留槽2槽のフロー図

影響していると考えられる。

また、塩素注入ポンプの CO₂ 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、また、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 CO₂ 排出量が多くなっている。

CO₂ 排出量を「移送ポンプ」、「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。この移送ポンプの CO₂ 排出量の占める割合はろ過ポンプが移送ポンプを兼用していることになり「施設 1」では 94.2%、「施設 2」では

表-3 雨水集水量のみから算出した CO2 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	塩素ポンプ	塩素剤	水量当たりの CO ₂ 排出量
	[m ³ /年]	[kg-CO ₂ /年]						[kg-CO ₂ /m ³]
1	1243			151.1	2.14	6.01	1.19	0.129
2	3199			176.29	9.45	1.58	3.07	0.059
3	387	28.27				0.7	0.36	0.075
4	1346	83.44				2.21	1.29	0.064
5	2049	57.41	115.48			1.53	1.96	0.086

文献 10) の掲載と電力に関わる排出係数が異なっている。

表-4 雨水利用する場合と雨水利用しない場合の CO₂ 排出量の比較

施設	雨水集水量	雑用水量	雨水利用有						雨水利用無			
			雑用水の一部を雨水で賄う			雑用水を雨水ですべて賄う			雨水利用無			
			雨水集水量のみから算出した CO ₂ 排出量 (D1)	水道水補給水量から算出した CO ₂ 排出量 (D2)	下水道使用から算出した CO ₂ 排出量	合計 (A)	雨水で雑用水を賄う (E)	下水道使用から算出した CO ₂ 排出量	合計 (B)	雑用水を水道水で供給した場合の CO ₂ 排出量 (F)	下水道使用から算出した CO ₂ 排出量	合計 (C)
[m ³ /年]	[m ³ /年]	[kg-CO ₂ /年]										
1	1243	3853	93	469	1810	2372	497	1810	2307	693	1810	2503
2	3199	4400	239	216	2068	2523	259	2068	2327	792	2068	2860
3	387	805	25	75	378	478	60	378	438	144	378	522
4	1346	2040	100	124	958	1182	130	958	1088	367	958	1325
5	2049	12059	153	1801	5667	7621	1037	5667	6704	2170	5667	7837
雨水・水道補給水の供給側の比較			20.9%減 [1-(D1+D2/F)]				52.4%減 [1-(E/F)]					
雨水・水道補給水・下水道の比較			5.7%減 [1-(A/C)]				14.5%減 [1-(B/C)]					

文献 10) の掲載と電力に関わる排出係数が異なっている。

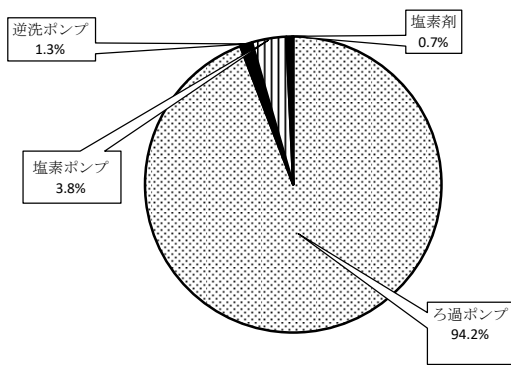


図-4 ろ過装置有の施設内の CO₂ 排出量 (施設 1 の例)

92.5%, 移送ポンプが有で「施設 3」では 97.4%, 「施設 4」では 96.3%, 移送ポンプが 2 台ある「施設 5」では 98.0%である。移送ポンプが全体の CO₂ 排出量の 92.5~98.0%を占めている。

したがって、できるだけ移送にポンプを使用せず、水槽間の移送は水位差を利用して移送させることが CO₂ 排出量を削減することになる。

2.2 雨水利用施設における便所洗浄水の供給条件による CO₂ 排出量

雨水利用有無の場合、便所洗浄水の供給条件、上水補給水の程度、下水道利用を含めて CO₂ 排出量を算出して示す。便所洗浄水(雑用水)供給条件における CO₂ 排出量の比較を表-4 に示す。

(1) 全条件の内訳

1) 雨水利用有 (雑用水の一部を雨水で賄う場合) の内訳

集水雨水を移送及び消毒し、雑用水の不足量は水道を補給し雑用水の使用後は下水道へ放流する。この条件の CO₂ 排出量は、雨水集水量のみから算出した CO₂ 排出量は 4.3%, 水道水補給水量から算出した CO₂ 排出量は 18.9%, 下水道使用から算出した CO₂ 排出量は 76.8%の割合であった。

2)雨水利用有（雑用水の一部を雨水で賄う）と雨水利用無の場合の比較

雨水利用無の場合の CO₂ 排出量の合計と雨水利用有の場合（雑用水の一部を賄う）の合計を比べてみると、CO₂ 排出量が 5.7%少なくなっている。

3)雨水利用有（雑用水をすべて雨水で賄う）場合と雨水利用無の場合との比較

雨水利用無の場合の CO₂ 排出量の合計と雨水利用有の場合（雨水で雑用水をすべて賄う）の合計を比べてみると、CO₂ 排出量が 14.5%少なくなっている。

(2)雑用水の供給側のみを対象とした比較（下水道を除く）

雑用水に水道水を用いる場合の CO₂ 排出量と雑用水を雨水ですべてを賄う場合の CO₂ 排出量を比べると 52.4%少なくなり、また、雑用水の一部を雨水で賄う場合の CO₂ 排出量を比べると 20.9%少なくなっている。

すなわち、比較の対象によって CO₂ 排出量の評価が変わるので注意を要する。また、下水道処理区域内では雑用水利用後の排水を下水道へ放流するため、下水道の使用に係る CO₂ 排出量が多くを占めることが明らかになった。したがって、積極的に節水機器の導入等によって下水道への放流量を減らすことを示唆していると思われる。

3.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、さらには移送ポンプを 2 か所設置している施設を選定して、CO₂ 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) 雨水利用施設の環境負荷を CO₂ 排出量及び CO₂ 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 CO₂ 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。

おわりに

温室効果ガスから雨水利用施設を評価すると現状のシステムでは十分に削減に寄与できていないため、節水対策や雨水の移流のための電力消費量にさらに工夫が必要であると痛感している。

参考文献

- 1) 内閣官房水循環政策本部事務局:令和 2 年版水循環白書, (2020-7), p19
- 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 (2016-9)
- 3) 日本建築学会:雨水活用建築ガイドライン, AIJES-W0002-2019, (2019-3)
- 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, (2017-7), pp.9~15
- 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), pp.15~21
- 6) 資源エネルギー庁:温対法に基づく事業者別排出係数の算出及び公表について-電気事業者別排出係数-, (2019-5)
- 7) 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 (2016-3) p.38
- 8) (社)日本水道工業団体連合会:「首都圏における低炭素化を目標と水循環システム実証モデル事業」報告書, (2010-3) 4 章 pp.4~7,
- 9) 国土交通省・水管理 国土保全局:下水処理場における地域バイオマスの利活用, (2018-2)
- 10) 福井啓太, 前田信治, 金津文夫, 岡田誠之:雨水利用施設の環境負荷の実態に関する研究 空気調和・衛生工学会論文集 No268, (2019-7), pp.27~37

A-6

室内模型を用いた「居心地の良い室内環境」を考える学習プログラムの提案

○堀 早紀子 (宮城教育大学), 菅原 正則 (宮城教育大学)

Proposal of a Learning Program for a "Comfortable Indoor Environment"
using an Interior Model

Hori Sakiko (Miyagi University of Education),
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education)

キーワード：室内模型, インテリア, 印象評価, 教科横断型, 教材

はじめに

私たちの生活は「衣食住」で成り立っており、快適に生活するためには、衣・食・住に関心を持ち、理解することが必要である。そして、私たちが「衣食住」について一定水準の知識を獲得できる場が、家庭科の授業である。

しかし現在、家庭科の授業時数は小学校・中学校を通して非常に少ない。中でも特に、住居領域に充てられる授業時数・学習内容は少ない。家庭科教科書の住居領域の記載内容を分析した研究によると、教科書全体に占める住居領域の割合は、小学校 17.2%、中学校 9.5%であった¹⁾。衣食住の3領域で比較すると、すべての学校段階において住居領域が最も少ないという結果である。

そこで本研究では、作品制作を通して室内環境を考えるような学習プログラムを提案し、児童がより高い関心と自由な発想をもって住生活について学ぶことのできる授業開発を目指す。

この提案を行う上で参考にしたプロジェクトがある。それは、アーティストのララトゥマックによって考案され、メルボルンアートセンターに委託された「イマジナリー・アーキテクチャー」という作品の展覧会である²⁾。それは箱の中に1つの風景を表現する作品であり、箱の上部に作られた開口部から懐中電灯の光を与え、もう1つの開口部から照らされた内部の風景を片目で覗くものである。この展覧会の訪問者はそれぞれ空き箱を持参し、提供された画材や材料を使用しながら箱の中に自由に風景を作った。この展覧会を紹介した記事³⁾によれば、完成した作品のほとんどは児童が作ったものであり、箱の中に家全体を設置した子もいれば、恐竜の生息地、遊び場、墓地など屋外のシーンを作成した子もいたという。

1. 室内模型の制作についての検討

1.1 大学生を対象とした室内模型制作

室内模型制作のプログラムを提案するにあたり、制作に必要な材料・道具、制作の手順を確認するために、大学生を対象とした室内模型制作を、ことなる2つの授業の中で実施した(制作I, II)。1人あたりに必要な材料の量や、制作をより円滑に進めるために付けるべき条件をなど、具体的な資料を得ることができた。

1.2 小学生を対象とした制作の実施方法についての検討

(1) 室内模型制作の実施

① 対象

日本建築学会主催で2020年12月26日に実施した「親子の都市と建築講座 2020 ずっと居つづけた自分だけのへや—イマジナリー・アーキテクチャー—」への参加申し込みがあった、小学生5人(2年生3人, 4年生1人, 6年生1人)とその保護者の方々。

② 実施方法

新型コロナウイルス(SARS-CoV2)の感染拡大に伴い対面での実施が困難な状況にあるため、Zoomを利用してオンラインで実施した。手元を映すカメラを設置し、説明する側の作業の様子が参加者に見えるようにした上で、参加者と同時に作業しながら説明を進めた。制作は2時間半で行った。

③ 用意した材料・道具

オンラインでの実施であるため、制作に必要な材料・道具の中で、家庭に常備されていると考えられるもの以外の材料をキットにして、参加者へ事前に郵送した。

【郵送したキット】

- ・段ボール箱…この中に室内模型を作る
- ・画用紙(白)…壁・床を描く
- ・LED ランタン…中を覗くときの照明

- ・色付き樹脂粘土 4 色（混ぜて色を作ることができる）…人物，家具などを表す
- ・発泡スチロール（10cm×10cm のサイズを 3 枚ずつ）…主に家具を表す
- ・工作用ボンド

【家庭で用意する材料・道具（一部でも可）】

- ・ハサミ・カッターなど，切る道具
- ・のり，両面テープ，マスキングテープ，ガムテープなど，貼る道具
- ・クレヨン，クレパス，色ペン，マジックペンなど，描く道具

④ 実施内容

まず、「イマジナリー・アーキテクチャー」の説明を行い，作品例を写真で紹介した。そして，「ずっと居つづけたい自分だけの部屋」という作品のテーマを示した後，必要な材料・道具や郵送したキットの内容を確認し，次のような 6 つの工程で，随時説明しながら進めた。

- [1]人型の模型を作る。
- [2]家具などを作る。
- [3]画用紙に壁と床を描く。
- [4]壁を張り付け，段ボール箱を組み立てる。
- [5]床を張り付け，段ボール箱の切れ目を接着する。
- [6]人型の模型，家具などを配置する。

その制作完了後，参加者同士で Zoom 越しに作品を鑑賞した（図-1）。

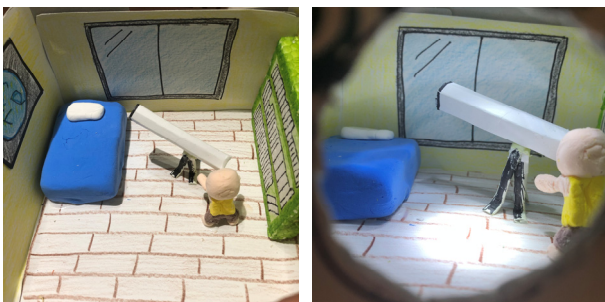


図-1 筆者が制作した作品例

(2) 方法の検討

① 材料・道具について

制作に必要な材料・道具について，郵送したキットの内容は十分であったと考える。特に，樹脂粘土と発泡スチロールが，作品の自由度を高める要素になっていた。特に樹脂粘土は，4 色の粘土を様々な組み合わせで混ぜて自由に色を作り，自由に変形できる。樹脂粘土で作った部品には制作者それぞれの個性

が出ていた。また，発泡スチロールは，切断しやすく張り付けやすいため，テーブルやベッドなどの安定感の欲しい家具を作る際に多く使われていた。

② 指導方法について

ワークショップを振り返り，今回提案するプログラムにも取り入れたい指導方法と，改善点について考える。

まず，取り入れたい指導方法は，①制作の初めの段階で人型の模型を作ること，②同時に作業しながら説明を行うこと，③制作者が自分なりのイメージを持てるテーマ設定を行うことの 3 つである。まず，①人型の模型を先に作ることで，室内全体の縮尺を考えながら制作できるため家具のバランス良くなったり，人型の模型の大きさに合った小物を作りやすくなったりする。また，②同時に作業する様子を見せながら説明を行うことで今取り組むべき作業が理解しやすく，不安なく作業を進めることができる。しかし，大人数での制作の場合，作業を進めながら指導を行うことは困難であるため，工夫が必要である。さらに，③制作者が自分なりのイメージを持てるテーマ設定を行うことで，個性的な作品が生まれやすい。ワークショップでは，「ずっと居続けたい自分だけの部屋を作ろう」というテーマを設定し，好きな絵をずっと描いていられる部屋や快適な睡眠をとれる部屋など，各々のイメージが表現された作品が多く生まれた。

次に，改善点は，壁・床のデザインのバリエーションが少なかったことである。壁紙は，ほとんどの参加者がカラフルなデザインにしていたが，そこに窓を付けていた参加者は 5 人中 2 人，床は畳とフローリングの 2 種類しかなかった。そこで，壁・床の様々なデザインや，和風の部屋と洋風の部屋の特徴などを，図や写真を使って紹介すれば，「居心地の良い室内環境」を考える上で，より自分の趣味に合った部屋を目指すことができると考えられる。

2. 「居心地の良い室内環境」についての検討

2.1 室内模型に関する印象評価アンケートの実施方法

「居心地の良い室内環境」を考えるプログラムを提案するにあたり，室内模型を覗いた時の心理反応について調べるため，佐藤らの先行研究⁴⁾を参考に 25 個の形容詞対について 5 段階で印象評

価アンケートを実施した。印象評価の対象は 1.1 節の制作 I, II で制作された 14 個の室内模型であり、それぞれの模型に関して、同じ授業で模型を制作した学生と、筆者らがアンケートに答えた。

2.2 制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

印象評価アンケートの 5 段階の評価をそれぞれ 1~5 点とし、その値を基に主成分分析を行った。そしてその結果から、互いに相関のある形容詞対を取り出し、模型の特徴を表す軸として第 1 主成分、第 2 主成分、第 3 主成分を抽出した。なお、今回は、主成分の累計寄与率が 50%以上であれば有意な値であるとする。

(1) 制作 I で制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

制作 I で制作された 44 個の模型に関するアンケートを集計した結果、第 1 主成分から第 3 主成分までの累計寄与率が 54.5%であった。

第 1 主成分を構成する形容詞対(カッコ内は相関係数)は、「落ち着く—落ち着けない(0.32)」「気持ちが良い—気持ちが悪くない(0.32)」「居心地が良い—居心地が悪い(0.31)」「長時間居られる—長時間居たくない(0.31)」「きれい—汚い(0.31)」であった。以上の形容詞対から、第 1 主成分は「快適感」を表す軸であると考えた。同様に、第 2 主成分を「解放感」、第 3 主成分を「安心感」を表す軸と解釈した。

(2) 制作 II で制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

制作 II で制作された 10 個の模型に関するアンケートを集計した結果、第 1 主成分から第 3 主成分までの累計寄与率が 52.2%であった。

第 1 主成分を構成する形容詞対は、「安心—不安(0.31)」「落ち着く—落ち着けない(0.30)」「居心地が良い—居心地が悪い(0.29)」「気持ちが良い—気持ちが悪くない(0.29)」「快適な—不快な(0.29)」であった。以上の形容詞対から、第 1 主成分を「快適感」を表す軸と考えた。同様に、第 2 主成分を「気分の乗り具合」、第 3 主成分を「解放感」を表す軸と解釈した。

2.3 インテリアが印象評価に及ぼす影響

第 1 主成分から第 3 主成分により表された散布図上で、各模型の座標を囲むことで、それぞれの印象評価を検討する。そして、印象評価の結果と、模型の壁・床のデザインや家具の位置の特徴と照

らし合わせることで、インテリアが印象評価に及ぼす影響について検討する。

(1) 制作 I で制作された模型について

図-2 は、第 1 主成分である「快適感」を「快—不快」として横軸に、第 2 主成分である「解放感」を「解放感がある—解放感がない」として縦軸にし、アンケート結果を表した散布図である。

これによれば、①と③の模型は比較的解放感がある空間であり、一方で②と④の模型は比較的解放感がない空間であることが読み取れる。模型の特徴を挙げると、①と③には部屋の正面に開放的な窓があり、さらに人が活動するスペースが部屋の中央から全体に広がっている。一方で②と④では、家具の配置にまとまりがなかったり、物が床に散らかっていたりしている。このことから、開放的な窓、自由度の高い活動スペースを部屋に取り入れることや、部屋全体のまとまりを考えることが、「解放感」を感じるような室内環境を作ることに関係しているということが推測できる。

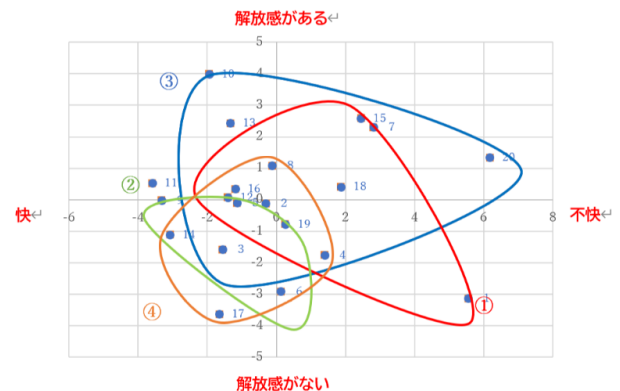


図-2 制作 I で制作された模型の第 1, 第 2 主成分得点による布置

(2) 制作 II で制作された模型について

(1)と同様に、第 1 主成分である「快適感」を「快—不快」として横軸に、第 2 主成分である「気分の乗り具合」を「気分が乗る—気分が乗らない」として縦軸にし、アンケート結果の分布を検討した。

その結果、比較的気分が乗りやすい空間であるという印象だった模型は、壁がレンガや花柄などの落ち着きのあるデザインが特徴的であった。一方で、気分が乗りにくい空間であるという印象だった模型は、壁・床や家具がほとんど無地である。このことから、派手過ぎず地味すぎない、落ち着きのあるデザインの壁・床や家具を部屋に取り入

れることが、人の気分が乗りやすくなる室内環境を作ることに関係していると考えられる。

3. 学習プログラムの提案

3.1 図画工作との教科横断型授業

(1) 教科横断型授業としての提案の背景

本研究で提案する学習プログラムは、作品制作を伴う教材であることや、授業時数が不足している分野の教材であることから、図画工作との教科横断型授業として提案する。また、このような教科横断型授業は「教科担任制」である中学校よりも「学級担任制」である小学校において取り組みやすいものであると考えるため、小学生を対象とした学習プログラムの提案を行うこととする。

(2) 学習指導要領における各教科の目標と内容

図画工作との教科横断型授業を提案するにあたり、平成 29 年告示の小学校学習指導要領に示されている、家庭科と図画工作の目標を確認する。

まず、家庭科の目標には、「衣食住などに関する実践的・体験的な活動を通して」「生活をよりよくしようと工夫する資質・能力」を育成する、とある。家庭科は人間の家庭生活を主な学習対象としているため、衣食住に関する具体的な学習を展開することを目指す。次に、図画工作の目標には、「造形的な見方・考え方を働かせ」「生活や社会の中の形や色などと豊かに関わる資質・能力」を育成する、とある。図画工作では、児童が自身の想像力を膨らませながら、形や色などの造形的な視点で対象を捉え、各々のイメージを持って制作できるような授業づくりを目指す。

3.2 指導計画上の取り扱い

本研究で提案する学習プログラムについて、家庭科と図画工作における指導計画上の取り扱いを検討する。なお、令和元年度使用の仙台市立小学校教科書採択一覧より、どちらの教科についても開隆堂の教科書を使用した授業を想定する⁵⁾。家庭科は、第 5 学年の「暖かく、快適に過ごす住まい方」という 3 時間分の単元の中の「快適さアップを工夫しよう」という 1 時間分の小単元、図画工作は、第 5 学年の「そっと見てね、ひみつの景色」という 6 時間分の単元全体において、今回提案する学習プログラムを取り扱うものとする。

3.3 学習プログラムの構成について

これまで述べたように、家庭科としては 1 時間分、

図画工作としては 6 時間分、計 7 時間分の授業時数を取り扱う学習プログラムとして考える。また、室内模型制作に必要な材料・道具、制作の手順、指導方法については、2 章で検討した内容を参考にする。

まとめ

本研究では、室内模型の制作方法、それを用いた学習プログラムの実施方法を検討した。このプログラムには、箱の中に部屋を作る楽しさや最後に穴から覗き込むワクワク感があり、児童が興味・関心を持って取り組める教材だと実感することができた。図画工作との教科横断型の授業として提案する上で、条件を設定しすぎず児童の表現の自由度を保つ工夫が必要である。その際、この学習プログラムを実施する学級の担任教諭が、単元に持たせる意図や学級の実態に合わせて、使用する素材や作品のテーマといった条件を設定しても構わない。

謝辞

本研究の遂行にあたり、室内模型制作に参加して下さった皆様にご協力頂きました。深く感謝申し上げます。なお本研究は、JSPS 科研費 17H06216 の助成を受けました。

参考文献

- 1) 速水多佳子, 瀬渡章子: 小学校・中学校・高等学校の家庭科住居領域における学習内容に関する分析, 日本家政学会誌(2019), Vol.70, No.6, pp. 371-387
- 2) Lara Tumak & Collaborators : Imaginary Architecture : <https://www.laratumak.com/> (2020.5.14 参照)
- 3) Naomi Stead: Dream homes: Architecture and popular imagination: THE CONVERSATION: <https://theconversation.com/dream-homes-architecture-and-popular-imagination-72966> (2020.5.14 参照)
- 4) 佐藤圭太, 望月菜穂子, 鶴巻均, 平手小太郎: 大空間の印象評価に関する研究 その1 実空間における評価実験, 日本建築学会学術講演梗概集(2001-7), D-1, pp. 817-818
- 5) 仙台市: 令和 2 年度使用の仙台市立小学校教科書採択一覧: <http://www.city.sendai.jp/kyoikukate/kurashi/manabu/kyoiku/inkai/kanren/shogakko.html> (2020.9.18 参照)

A-7

スマートハウスの効果を体験する建物模型教材の開発とオンラインワークショップの実践

○菅原 正則 (宮城教育大学), 野角光治 (仙台高等専門学校)

Invention of a Smart House Model Kit for Empirical Learning and Practice of Online-Workshop

Sugawara Masanori (Miyagi University of Education),
Nogaku Mitsuharu (National Institute of Technology, Sendai College)

キーワード：エネルギー教育、電子キット、模型実験

はじめに

スマートハウスの始まりは、アメリカの the National Association of Home Builders による 1980 年代の実証プロジェクト¹⁾ であると言える。当時から、住宅内の電力・通信網を統合して、照明や空調、防犯、防災などの設備を、居住者の状態に合わせてコンピュータ制御することを目指していた。今日わが国では、2030 年までに新築住宅の平均で ZEH の実現を目指しており、その重要な要素技術が HEMS を中心に構成されるスマートハウスである。

しかし HEMS の導入は施主への新たな費用負担であり、一般ユーザーが納得しない限り、普及は難しいと予想される。そこで筆者は、スマートハウスの仕組みを簡易で安価な電子回路で構成した建物模型教材キット「スマハキット」(図-1)を開発し、子ども向けのイベントを開催してきた²⁾。さらに昨今ではオンライン会議システムが一般に普及したので、「スマハキット」をリモート化し、それを用いたオンラインワークショップを実施したので報告する。

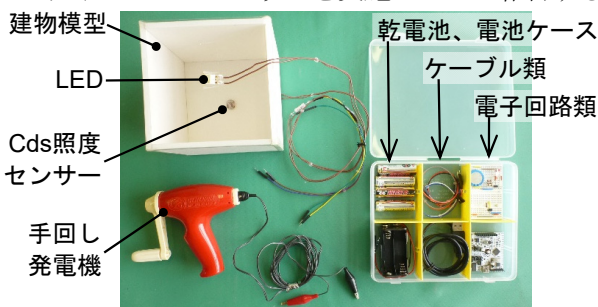


図-1 スマハキット (組立て前)

1. スマハキットの概要

1.1 部品構成

(1) 建物模型

1 辺 12cm の立方体で、壁と床は 5 mm 厚のストレッチボード、天井は 0.3mm 厚の透明塩ビ板で

ある。天井面中央に LED (消費電力 3 W) を取り付け、環境光と電灯光により内部の明るさが決まる。床面中央に設置した CdS センサー (明抵抗 10lx のとき) 5~10kΩ、暗抵抗 1 MΩ) により、内部照度 (0~100 の相対値) を評価する。

(2) 電子回路類

センサーボード^{註1)}、リレー³⁾、蓄電回路からなる。センサーボードにはボタンスイッチとスライダー、入出力端子が搭載されており、USB 接続した WindowsPC 上の Scratch (プログラミング言語) によりこれらが制御可能で、プログラムの操作によって出力端子からリレーを通じて LED の出力調整を行い、また入力端子より CdS センサーの抵抗値を測定する。リレーにはさらに電源が接続されるが、図-2 に示す接続方式 A、B では乾電池、それ以外では手回し発電機を接続し、特に D、E ではリレーと発電機の間蓄電回路を内挿する。PC から LED への電源供給は無い。

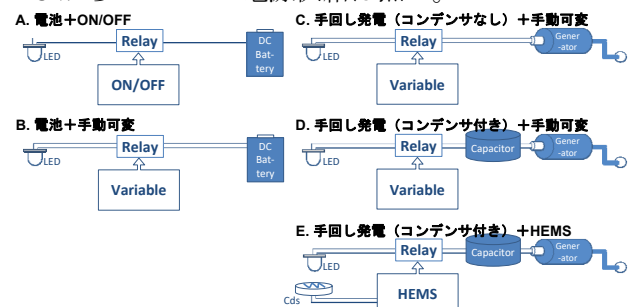


図-2 スマハキットの接続方式

1.2 操作ソフトウェア

センサーボードを動作するための操作ソフトウェア (図-3) は、Scratch により仕様に合わせて自作した。モード変更パネル部では、スマハキットの接続方式に合わせ、マウスのクリックにより次の機能を持つ各モードに切り替えることができる。

① ON/OFF モード：センサーボード上のボタンス

イチでLEDを点滅できる。

- ② 手動可変モード：センサーボード上のスライダーでLEDの出力を0～100%に調整できる。
- ③ HEMSモード：センサーボード上のスライダーで、内部照度を設定すると、それに合わせたLED出力になるよう自動調整される。

モニターパネル部では、平均値（内部照度の1分平均）、スライダーセンサーの値、brightness（内部照度の現在値）、Light Power（LEDの出力）が確認できる。また、「1分チャレンジ」（次の段落参照）の際に、照度の安定を表す顔マーク、1分チャレンジの残り時間を表す棒グラフが表示される。

過去1分間の照度グラフを表すパネル部には、0.5秒間隔で計測された内部照度（brightnessの値）が右端の位置で打点され、ペンレコーダーのように左に向かってグラフが流れるようになっている。この操作ソフトウェア始動後は、連続的に計測される状態になるが、右上の切り替えボタンをクリックすると、表示が連続から1分間計測に変わって「1分チャレンジ」が始まり、1分後には操作ソフトウェアが停止する。これは、内部照度の平均値を安定的に目標の値にできているかどうかを評価するための機能である。スマハキットの接続方式ごとに1分チャレンジを実施すると、火力発電等の安定した電力（スマハキットにおける、乾電池）に比べて、風力や太陽光による創エネ電力（同、手回し発電機）は時間変化があるため、蓄エネ（同、蓄電回路）や省エネ（同、HEMSモード）が有効であることを体感できる。

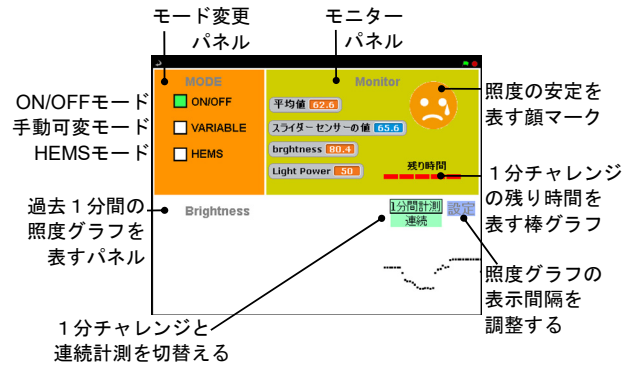


図-3 操作ソフトウェアの画面構成

2. スマハキットを用いた子ども向けイベントの開催（2018年）

2.1 実施概要

スマハキット開発後、表-1に示す2つのイベントを筆者らの企画により開催した。どちらも、はじめの30分程度でスマートハウスの基礎的内容を講義し、その後「電子キットでスマートハウスの実力を体感しよう」と題して、スマハキットの組立てと操作をして頂いた。参加者はまず、接続方式Aの状態LEDの点灯時と消灯時に内部照度を確認し、これ以降に行われる1分チャレンジでの照度目標を各自で設定する。照度目標が参加者により異なるのは、スマハキットの個体差や、座席ごとの環境光の差を除外するためである。

その後、接続方式B～Eにおいて内部照度を目標値にする練習とともに1分チャレンジを行い、それらの結果を比較することにより、蓄電回路やHEMS

表-1 子ども向けイベントの概要と参加者の感想

	親と子の都市と建築講座2018 どうやって、おうちを「スマート」にするの？	秋休み！親子セミナー スマートハウスのしくみ体験会
主催	日本建築学会東北支部 環境工学会	住まいと環境 東北フォーラム
日時	2018年 8月 5日(日) 10:00～12:30	2018年 10月 7日(日) 10:00～12:30
場所	せんだい環境学習館 たまきさんサロン	せんだい環境学習館 たまきさんサロン
参加者	親子5組(小学生7名[男4、女3]、保護者5名)	親子6組(小学生6名[男5、女1]、保護者9名)
感想アンケート (原文のまま記載)	講座の内容はいかがでしたか？感じたものに○をつけて下さい。	大変満足 5(組) 満足 1 やや不満 0 不満 0
	よかった点、わるかった点をおしえて下さい。	・スマートの使い方がわかった。手作り感が良かったです。 ・全部よかった。 ・親子で参加ができ、良かったです。 ・運悪くボロボロばかりで…。楽しかったです。お手数おかけしました。 ・手回しでの発電を、子ども楽しんで行うことができました。電気を手動でためるのはなかなか難しいと思いました。配線で少し手間だったところがありました。
	今後、今回のテーマのような講座があれば参加してみたいと思いますか？	・実際に手を動かして、自然エネルギーの変わりやすさや、それを手で調整する大変さ、HEMSの役割などを体感できたのがとてもよかった、と思います。 ・HEMSの効果を楽しみながら体感できました。 ・くみだてるのが楽しかった。 ・わからないとすぐおしえてくれる 話がゆっくりに ・プレゼントがもらえなくてごめんでした。でも、良かったです。
	他にどのようなテーマの講座があれば参加したいと思いますか？	・ロボット作る講座 ・AIについて知ってみよう！
	そのほかに、ご意見・ご感想をおしえて下さい。	・とても勉強になりました。

モードの役割を理解して頂いた。なお、最後に再度接続方式 C にして 1 分チャレンジコンペを行い、成績上位の 3 名に粗品を贈呈した。1 分チャレンジの結果 (表-2) であるが、記録の残っている「秋休み！親子セミナー」について、接続方式ごとの内部照度と目標値との差 (6 組平均値) を見ると、最も条件の厳しい C が最大で、D、E にかけて順に減少し、照度の安定度も改善していた。

表-2 1分チャレンジの結果

接続方式	目標値との差 (平均)	照度の安定度 (良⇔悪) の結果			
		😊	😄	😐	😞
B	1.38	0	6	0	0 (組)
C	1.48	0	2	4	0
D	0.62	2	4	0	0
E	0.15	4	2	0	0
Cコンペ	2.18	0	3	2	1

2.2 事後アンケート

参加者による無記名の感想アンケート (表-1) を見ると、内容について「大変満足」「満足」の回答が多かった。しかし評価や意見の中には、肯定的なもの以外にも、手間どった点や運営の不備への指摘もあった。同様なテーマの講座があれば「参加する」と全員が回答し、さらに「電子工作」「プログラミング」「町づくり」「ロボット」「AI」など先端技術への関心の高さも感じられた。HEMS や省エネへの理解を伺わせる感想もあった。

3. 「スマハキット」のリモート化

3.1 開発の背景

2 章に示した 2018 年の子ども向けのイベントに続いて、2019 年 12 月にも「親と子の都市と建築講座 2019」⁴⁾ を開催したが、いずれも会場は仙台であった。そこで、2020 年には仙台以外での開催を目指して、秋田県立大学主催による夏休み科学教室への出展準備を進めていた。しかし 5 月になると、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 予防の観点から、すべての講座が Zoom を通してオンライン開催されることが主催者側で決定された。

このことに対応するため、当初はスマハキットを貸し出して実施する案もあったが、物品を介した感染対策に不明な点が多く、また動作トラブル対応への不安があった。そこで、Zoom の「リモート制御」機能に着目し、これを通して筆者らの下にある「スマハキット」を操作できるように仕様を変更することにした。

3.2 変更点

「スマハキット」をリモート化するための変更

点は、大きく次の 2 点である。

(1) 操作方法

従来、LED の ON/OFF や出力調整などをするために操作していた、センサーボード上のボタンやスライダの機能を、操作ソフトウェアの画面上に設けた (図-4)。

(2) 創エネ電力発生の方法

接続方式 C~E では、風力や太陽光による創エネ電力を模したものとして、従来は手回し発電機を用いてきた。それを参加者自ら手回しすることで、安定的に十分な発電をすることの難しさを体感できる点が、重要な要素である。

そこで今回は、「音声発電」を考案した。Zoom を通して参加者が発生した音を PC のスピーカーで鳴らし、センサーボード上のマイクで検知された音量を発電量とみなす仕組みである。発電量は操作ソフトウェア上にも表示 (図-4) されるため、参加者自身でモニターできる。

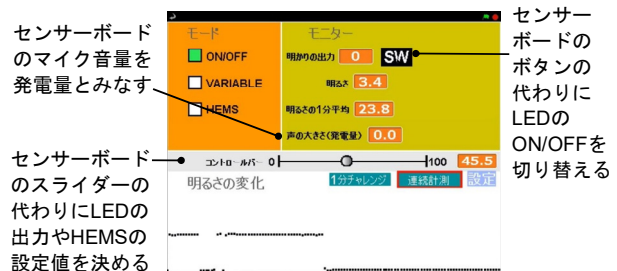


図-4 操作ソフトウェアの変更点

4. 親と子の都市と建築講座 2020 (リモート「スマハキット」でスマートハウスの実力を体感しよう)によるオンラインワークショップの開催

4.1 実施体制

秋田県立大学 第 13 回夏休み科学教室「おうちで創造学習」へ出展する形態で、2020 年 8 月 2 日 (日) 10:00~12:00 (午前の部) および 13:00~15:00 (午後の部) に実施した。初のオンライン開催ということもあり、主催者側が、前日までに参加者 (午前の部: 小中学生 6 名、午後の部: 小学生 5 名) との通信テストを行った。

当日は、仙台市、由利本荘市、秋田市にいる講師 3 名と秋田県内からの参加者を Zoom でつなぎ、リモートスマハキット 3 セットは仙台市の講師である筆者の下に設置した (図-5、6)。各リモートスマハキットには筆者または学生のサポートが付き、電子回路のつなぎ替えやトラブル対応をした。

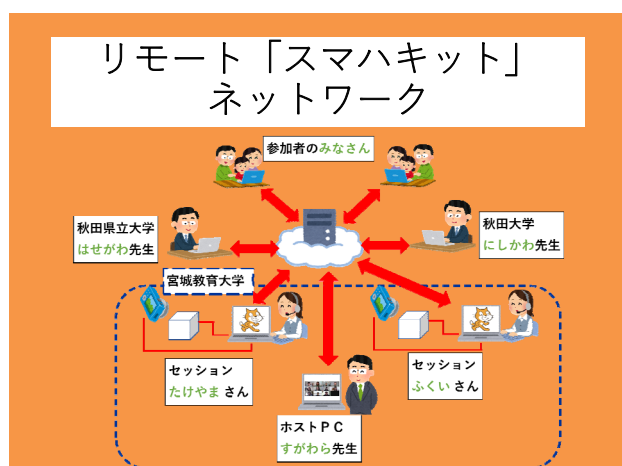


図-5 実施体制を参加者に説明した図



図-6 リモートスマハキットの設置状況:三脚に取り付けたWebカメラから、建物模型のLEDが光る様子を確認できる。

4.2 実施内容 (午前、午後共通)

はじめの趣旨説明の後、①スマートハウスと「スマハキット」の説明 (15分)、②リモート「スマハキット」の使い方説明 (20分) をして、5分休憩に入った。次に、③スマートハウスの実力を実感しよう (45~60分) では、Zoomの「ブレイクアウトセッション」機能を用いて、3つのセッションに講師 (共同ホスト) と参加者が分かかれ、それぞれ参加者のペースに合わせて説明や操作をしながら進行了。 「ブレイクアウトセッション」を終了して再び集まった後、④自然エネルギーで安定発電コンテスト (25~30分) において接続方式Cの1分チャレンジを行い、成績上位者に賞品を贈呈した。

4.3 事後アンケートと今後の課題

2章と同じ内容の事後アンケート (詳細は表-1参照) を実施したところ、参加者9家族のうち6家族から回答が得られ、講座の内容に対する感

想は「大変満足」2、「満足」4であった。自由記述の感想には、オンラインワークショップを概ね楽しんで頂けたことや、Zoomによる体験活動の試みへの評価があったものの、内容が難しかった点や、ネットワークトラブルへの指摘も散見された。特に、音声発電において、音の種類によってはZoomのノイズカット機能が働いてしまい、参加者の発生音がリモートスマハキット側で鳴らなくなるトラブルがあった。また、蓄電回路を組み込んだときの発電量が不十分で、狙った結果が得られなかった。このような、講師同士のリハーサルでは起きなかったトラブルもあり、課題が残る。

まとめ

スマートハウス普及のために、その効果を体験する建物模型教材「スマハキット」を開発し、子ども向けイベントを実施してきた。また、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) の広がりをきっかけとして「スマハキット」のリモート化とオンラインワークショップを実施した結果について報告した。生活機器や空間のスマート化へ関心が高く、プログラミング教育の導入期である現在、本教材を通して、建物性能向上への理解や適切な「住みこなし」が普及することを期待する。

謝辞

本研究遂行にあたり、秋田県立大学 長谷川兼一先生、秋田大学 西川竜二先生には多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。なお本研究は、JSPS 科研費 18K02185 (研究代表者 菅原正則) の助成を受けました。

注釈

1) ちっちゃいものくらぶ製NanoBoard AGを使用。

参考文献

- 1) Ralph Lee Smith, Smart House: The Coming Revolution in Housing, Gp Courseware (1987-4)
- 2) 菅原正則: スマートハウスにおける創エネ・蓄エネ・省エネの効果を体験する建物模型教材の開発, 日本建築学会大会 (北陸) 学術講演梗概集, D-2環境工学II (2019-9), pp. 215-216
- 3) ラズパイマガジン, 2015年秋号, 日経BP (2015-8)
- 4) 菅原正則: もしも、おうちが「スマート」になったら。: 建築雑誌 (日本建築学会誌), Vol. 135, No. 1738 (2020-6)、活動レポート, pp. 056-057

A-8

FDS を用いた京都アニメーション火災避難解析に関する研究

○竹内 友佐 (東北工業大学), 許 雷 (東北工業大学)

Simulation on evacuation in the fire of Kyoto animation by using FDS
Yusuke Takeuchi (Tohoku Institute of Technology), Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：温度，煙層高度，FED 濃度，避難行動

はじめに

日本では広島メイドカフェ火災、ホテルニュージャパン火災、千日デパート火災など多くの火災が起きている。また、宮城県では出火原因の第1位がたばこで64件、第2位が放火で53件となっている。火災での死因は、平成29年版消防白書によると、第1位が火傷、第2位が一酸化炭素中毒と窒息で、どちらも全体の3割の死因となっていた。有毒ガスの影響があったものとして京都アニメーション放火火災を取り上げる。京都アニメーション放火火災の従来の研究では、煙の広がりや避難に与える影響を考慮したものはあったが、有毒ガスの発生量に着目した研究は少なかった。

本研究では、京都アニメーション火災において有毒ガスの影響があったのではないかと仮定する。そして、火災シミュレーションソフトのFDSが有毒ガスの濃度(FED)を評価できるため、有毒ガスの発生量に着目し、京都アニメーション火災の解析を行う。FDSとは、国立標準技術研究所(NIST)より開発・提供されている火災シミュレーションソフトである。数値流体力学(CFD)に基づいたアプローチを使用することで、発生する煙、温度、一酸化炭素などの挙動を予測することができる。また、FDSでの計算結果を、Smokeviewerを用いて可視化する。

1. 京都アニメーション火災の概要

2019年7月に発生した京都アニメーション第一スタジオ火災の概要¹⁾を以下に示す。

- 発生日:2019年7月18日
- 被害者:死者35名・負傷者34名
- 焼失面積:691m²
- 出火原因:螺旋階段付近にガソリンが撒かれ、ライターを用いたことによる放火

図-1に示すように、建物の内部には1階から3階に続く吹き抜けの螺旋階段と1階から屋上

に続く内階段が設置されており、東側に従業員の

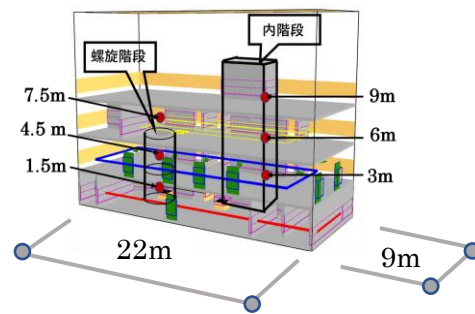


図-1. 建物の概要

作業スペースや会議室、音声収録室などが、西側にエレベータやトイレなどが配置されていた。出火の原因はガソリンをまいて放火した疑いがあるとされている。螺旋階段の西側が最も焼けており、溶けたプラスチック製のバケツやライター、着火剤²⁾とみられるものの残骸がその付近で見つかっていることから、螺旋階段の西側が放火現場と推測される。外壁の焼損状況から、東側では、熱によってすべての窓ガラスが脱落していた。北側、南側、西側の開口部では熱気流が噴出していたとみられる¹⁾。

2. シミュレーションモデルの作成

2.1 火源の設定

火源の設定は、FDSでは延焼を考慮することが難しい。本研究では避難への影響等を考慮した

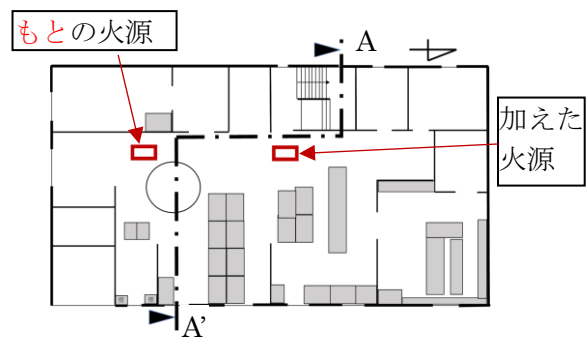


図-2. 火源の位置

結果、図-2 に示すように螺旋階段付近にあるもともとの火源に加え、1階の内階段付近にそれぞれ1つずつ火源を設ける。どちらの火源も同時に燃焼するように設定している。火源の発熱速度は西野の仮定値⁴⁾をもとに、出火から10秒で最大発熱速度の20,000kWに達するように設定する。

2.2 予測要素

予測する項目は以下の3つである。

- ・温度
- ・煙層高度
- ・FED濃度

FED (Fractional Effective Dose index)とは一般に二酸化炭素、一酸化炭素そして酸素で構成される有毒ガスの指標で、単位は無次元となっている⁵⁾⁶⁾。また、FEDはISO13571にも用いられている。FEDが1を超えてしまうと、有毒ガス濃度が増加していき、30分間の滞在で、約半数の人が死に至る。そのため、FEDは1より小さくしなければならない⁷⁾。

2.3 予測値の分布

図-2のA-A'断面線をもとに、図-3に内階段踊り場、螺旋階段の予測地を示す。(数字はGLからの高さを示す。)は温度の断面分布図の位置及び煙層高さの断面図の位置 P₁~P₃, Q₁~Q₃を示している。

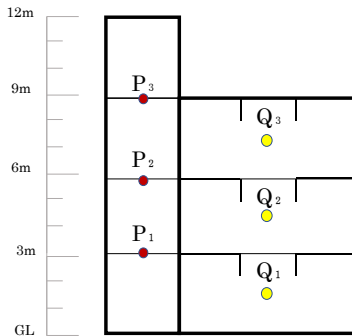


図-3. 断面図

2.4 計算条件

計算条件は、時間が50秒で、階高は3m、外壁はコンクリート、内装材は石膏ボードとしている。内階段の屋上への出口には開口を設定しないこととした。また、今回はCO_YIELD(燃料のうち一酸化炭素になる割合)の値を変化させて(0.1~0.5)、FED濃度の評価を行う。

また、今回使用したFDSコードの設定を下記に示す。

```
&REAC FUEL='gasoline'
SOOT_YIELD=0.1
CO_YIELD=0.1/①
&DEVC XYZ=5,6.5,1.5,
QUANTITY='VOLUME FRACTION',
SPEC_ID='CARBON DIOXIDE'/②
```

① REAC FUEL='gasoline'は燃料の名前。SOOT_YIELD、CO_YIELDは燃料から発生するススと一酸化炭素の割合で無次元単位である。本研究では、CO_YIELDの値を0.1~0.5に変化させている。

② DEVCXYZ=5,6.5,1.5,は測定地点の座標を示す。QUANTITYで体積比率や温度をcsv.fileに出力できる。SPEC_IDを設定するとその物質のQUANTITYに対応する情報が得られる。また、DEVCをSLCFに変更すると断面を切り取り、分布を表示できる。

また、温度も出ているため、本報では、参考文献4に近い結果のみを示す。CO_YIELDを変更していき参考文献4の温度と煙層高度に近かったものをシミュレーション結果に示す。今回は、CO_YIELD=0.5の結果を用いる。

3. シミュレーション結果と分析

3.1 温度の予測

図-4に出火から15秒後の温度分布を示す。1階火源付近では最大で800°C近くになり、1階と2階を繋ぐ内階段、1階では300°C近くになっていた。

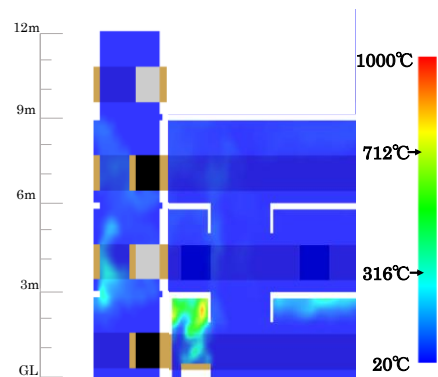


図-4. 出火から15秒後の温度分布

図-5に出火から30秒後の温度分布を示す。出火から30秒で1000°Cに達している。屋上でも700°C近くになっていた。

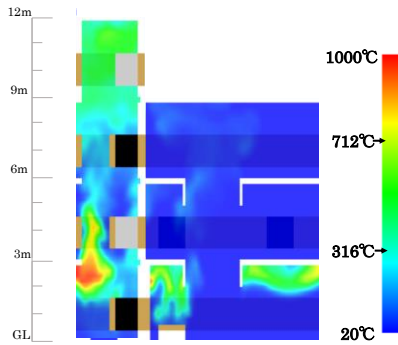


図-5. 出火から 30 秒後の温度分布

3.2 煙層高度の予測

図-6 に出火から 15 秒後の煙層の高さ、図-7 に出火から 30 秒後の煙層の高さ(目分量)を示す。灰色になっているのは煙層で、内階段が先に煙で埋まり、3 階では徐々に煙が充満していった様子が分かる。FED の数値も矢印で示してある。内階段が先に煙で埋まっていたが、温度もそれに伴い上

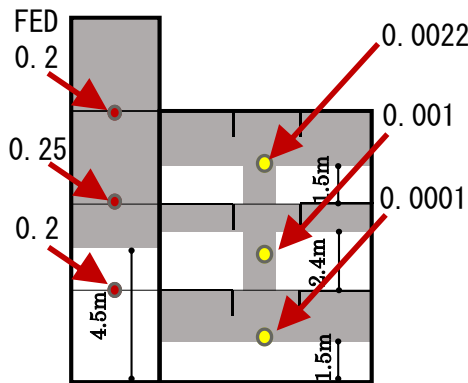


図-6. 出火から 15 秒後の煙層の高さ

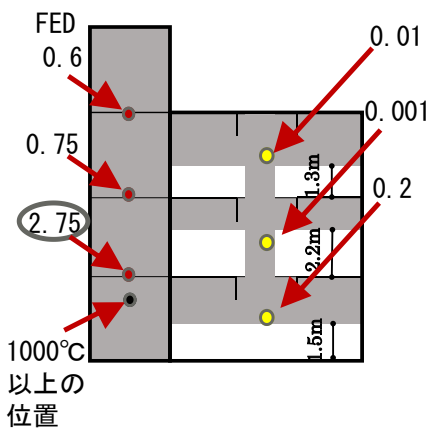


図-7. 出火から 30 秒後の煙層の高さ

昇していた。図-7 の FED については 1000°C 超えていたところで 2.75 となっており、(図-5 参照)危険な状態になっている。

3.3 FED の予測

図-8 に内階段踊り場の FED 値のグラフを示す。50 秒の時には、下層になるほど FED 値が大きくなっていた。30 秒の時 FED が急上昇する現象が見られた。(2.63 上昇)FED は 1 より小さくしなければならぬので危険な状態である。

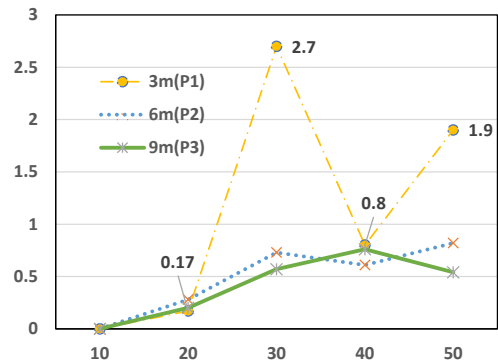


図-8.内階段踊り場の FED 値

図-9 に螺旋階段の FED 値のグラフを示す。上層になるほど FED が上昇していた。螺旋階段でも FED が急上昇していたが、上昇値は 0.019 であるため、内階段と比べると大きな変化はなかった。

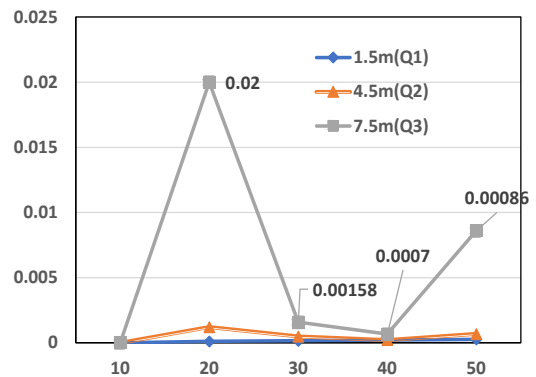


図-9.螺旋階段の FED 値

3.4 避難動向の確認

- 出火時 1 階にいた 12 人(死者 5 人)
- 実際の避難行動
 - ・ 1 階の玄関から避難(5 人)
 - ・ 1 階の東側窓から避難(1 人)
 - ・ 1 階の女子トイレに逃げ込み、窓から避難(3 人)

- 人)
- ・ 2 階に上がり、2 階北側窓から飛び降りて避難(1 人)
 - ・ 避難できず(2 人)
- シミュレーションでの避難行動
- ・ 全員が避難していた。
- 出火時 2 階にいた 31 人(死者 11 人)
- 実際の避難行動
- ・ 2 階ベランダから飛び降りて避難(20 人)
 - ・ 避難できず(11 人)
- シミュレーションでの避難行動
- ・ 全員が避難できていた。
- 出火時 3 階にいた 27 人(死者 20 人)
- 実際の避難行動
- ・ 2 階に降り、2 階ベランダから飛び降りて避難(5 人)
 - ・ 2 階に降り、2 階北側窓から飛び降りて避難(1 人)
 - ・ 3 階の屋内階段から出て避難(1 人)
 - ・ 避難できず(20 人)
- シミュレーションでの避難行動
- ・ 15 人が内階段付近で渋滞し避難できていなかった。
- 全体としては、15 人が避難できておらず、20 人の誤差が生じていた(負傷者については不明)。

4. 結論

内階段踊り場の FED は階高が上がるほど小さくなっていった。しかし、螺旋階段の FED は逆に階高が上がるほど大きくなっていった。一階の FED は 30 秒で 2.75 と最も大きくなっていったが、避難できなかった人はいなかった。これは、実際の火災とほとんど変わらなかった。2 階と 3 階については、避難できなかった人もいれば、避難できた人もおり、まばらな結果になった。また、三階から 4 階、三階から 2 階の避難については人の渋滞が起きてしまい、正確な情報を得ることができなかった。今後の課題として FDS の避難動向の確認などを行っていききたい。

総合的に FED 値を見ると、内階段(踊り場含む)の方が螺旋階段のものとはるかに大きくなっていった。また、Excel ファイルの FED 値と手動計算 FED 値の差異はほとんど見られなかったため、計算自体は整合性が取れていた。今回は一酸

化炭素の濃度のみを変化させていたが、今後は燃焼速度を変化させ、燃料の設定をガソリンに近づけていこうと思う。火源の位置を螺旋階段付近と内階段付近で調整したが、今後は延焼のように燃え広がるような火源の設定を行い、それに伴う有毒ガスの発生、温度の観測を行っていききたい。

参考文献

- 1) 消防局：「京都アニメーション火災」における避難行動の分析結果について、<http://www2.city.kyoto.lg.jp/shikai/img/iinkai/soumushoubou/R01/data/011223soumusyoubou1.pdf>(参照日 2020 年 12 月 7 日)
- 2) 産経新聞：京アニ火災 ガソリン「3 階一瞬で炎舞い上がる」専門家被害拡大要因か、<https://www.sankei.com/west/news/190718/wst1907180044-n1.html>(参照日 2021 年 1 月 20 日)
- 3) 朝日新聞：1 階に侵入直後、バケツでガソリンまいたか京アニ放火、<https://www.asahi.com/articles/ASM7N55L7M7NPTIL02G.html>(参照日 2020 年 12 月 22 日)
- 4) 西野智研：2019 年 7 月 18 日に京都アニメーション第 1 スタジオで発生した放火火災の分析、http://www.dpri.kyoto-u.ac.jp/contents/wp-content/uploads/2019/08/Analysis-of-Kyoto-Animation-Arson-Fire_20190802-1.pdf(参照日 2020 年 12 月 1 日)
- 5) Kevin McGrattan, et al : NIST Special Publication 1019 Sixth Edition Fire Dynamics Simulator User's Guide, pp.301
- 6) Timo Korhonen and Simo Hostikka: Fire Dynamics Simulator with Evacuation : FDS+Evac Technical Reference and User's Guide, pp.27-28
- 7) Jordi Fonollosa, Ana Solórzano and Santiago Marco: Chemical Sensors and Associated Algorithms for Fire Detection: A Review, Sensors2018,18(2),553;<https://doi.org/10.3390/s18020553>(参照日 2020 年 12 月 1 日)

A-10

サステナブル住宅における環境性能の動向調査 — IBEC 受賞作品の時代背景との比較 —

○前田亘輝（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学）

松本真一（秋田県立大学），竹内仁哉（秋田県立大学）

Transition of Environmental Performance in Sustainable Housing of IBEC Award

Maeda koki (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード：サステナブル, 住環境, 年表

1. はじめに

地球温暖化等の環境問題への対応は、世界的に大きな課題である。日本では温室効果ガスの排出削減目標として、2013年度比で2030年までに26%、2050年までに80%の削減が掲げられた¹⁾。日本全体のエネルギー消費量の約3割を占める住宅・建築物においては、居住空間の豊かさを維持しながらも、省エネルギー・省資源を実現することが不可欠である。また、環境共生や資源循環等も含め、持続可能な(サステナブル)社会の構築が重要である。特に、省エネルギー性能^{注1)}をはじめとする、環境性能^{注2)}の高い住宅を設計するために、これまでにどのような取り組みが行われてきたか、その変遷を社会背景や建築技術の普及と照らし合わせて俯瞰することは意義あることである。

本研究では、IBEC^{注3)}主催のサステナブル住宅賞受賞作品²⁾を対象に、時代背景とともに建築の流れを可視化し比較することで、サステナブル住宅^{注4)}の環境性能の動向を整理する。

2. サステナブル住宅賞

サステナブル住宅賞²⁾は、1992年に省エネルギー住宅賞として始まり、環境・省エネルギー住宅賞を経て現在に至る。本賞は環境の価値を重視し、居住環境の豊かさを維持しつつ、環境負荷低減により、サステナブル社会の実現に貢献する優れた住宅を顕彰することを特徴とする。

3. サステナブル住宅事例の年表の作成

住宅の環境性能の動向を把握するために、表1に示すサステナブル住宅賞受賞作品と時代背景の年表を作成した。年表の左側を作品の特徴、右側を時代背景とすることで、作品と時代背景の動向を俯瞰し、住宅の環境性能の変遷を確認する。

4. 住宅の環境性能の動向

4.1 省エネルギー基準

1970年代に起きたオイルショックを契機として、資源の有効活用を目的とした省エネ法が制定・施行された。これを受け、住宅の省エネルギー基準が定められた³⁾。表2に省エネルギー基準における外皮の熱性能基準を示す。2013年度の改正では、外皮における基準が熱損失係数(Q値)から外皮平均熱貫流率(U_A値)へと変更され、地域区分が細分化された。また、一次エネルギー消費量の基準が導入された⁴⁾。現在、大・中規模住宅における省エネルギー基準の適合は届出義務となり、小規模住宅は説明義務に留まっているものの、作品の環境性能は向上してきている。

4.2 省エネルギー・創エネルギーに関する変遷

過去に遡ると、住宅はかつて、冷暖房の省エネルギーを達成するために高断熱・高气密化が迫られてきた。その後、第4次エネルギー基本計画⁵⁾により、室内環境の質を維持しながらも、太陽光発電等の再生可能エネルギーによる創エネルギーを導

入することで年間の1次エネルギー消費量の収支をゼロとする ZEH^{注5)}の実現が目指された。ここでは冷暖房のみならず、換気や照明等も含めた生活に関わる総てのエネルギーが対象となり、設備の高効率化が必然となった。近年は、創エネルギーによって建設から廃棄までの過程に排出する LCCO₂^{注6)}をマイナスにする LCCM 住宅^{注7)}が推奨されるようになった⁴⁾。

4.3 建築環境総合性能評価システム(CASBEE^{注8)})の導入

CASBEE は建築物の環境性能を、建築物の環境品質「Q」と環境負荷「L」の両面から総合評価して、環境効率(BEE)を評価する設計ツールである。2007年には戸建住宅を評価する「CASBEE-戸建」⁶⁾が開発され、以降、建築物の環境性能が簡潔・明確に示されるようになった。CASBEEの普及は設計者の環境配慮の意識向上にも繋がっている。

4.4 環境シミュレーションの普及

2010年3月に国土交通省が官庁営繕事業の一つとして、BIM導入プロジェクトを立ち上げたことにより、建築業界全体でBIMが急速に普及した⁷⁾。それに伴い、エネルギー消費や採光、通風などに対応した環境シミュレーションの需要も徐々に広がりを見せた。最近では、計画段階における開口部等の配置や形状を検討する事例が増えている。

4.5 建材における配慮

建材における配慮は、「環境」「健康」「リサイクル」の3つに分類される。「環境」では土壁や漆喰などによる蓄熱や調湿効果、「健康」ではVOC(揮発性有機化合物)やホルムアルデヒドに対し、身体的影響の少ない建材利用によるシックハウス対策、「リサイクル」では解体時に出た廃材利用等によって資源循環を試みる事例が該当する。法律や規制導入により建材の環境配慮への意識は

向上しており、資源循環や健康面において重要な役割を果たす。

5. おわりに

本研究では、作成した年表により、時代背景とともにサステナブル住宅の環境性能の動向を考察した。住宅の環境性能は様々な評価システムや制度、法律・基準の改正により年々向上しており、自然エネルギーの利用も必要不可欠であることが確認できた。特に、サステナブル住宅の実現に向けて、省エネルギー性能・健康面・快適性をはじめ、省資源や資源循環など多岐にわたって配慮していくことが重要である。

注 釈

- 注 1) エネルギーの高効率利用等により、少ないエネルギーで質の高い室内環境を実現する能力。
- 注 2) 省エネルギー性能や健康面・快適性などの室内環境、資源の利用への配慮等により、建物の環境品質を高め、環境負荷を低減させることができる能力。
- 注 3) Institute for Building Environment and Energy Conservation の略。
- 注 4) 設計・施工・運用の各段階において、ライフサイクルを通じての省エネルギー・省資源・資源循環・有害物質発生の抑制を図り、気候風土を生かした周辺環境との調和、長年にわたる人間生活の維持・向上を目指す住宅。
- 注 5) Net Zero Energy House の略。
- 注 6) Life Cycle CO₂の略。
- 注 7) Life Cycle Carbon Minus 住宅の略。
- 注 8) Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency の略。

参 考 文 献

- 1) 地球温暖化対策計画, 環境省 Web サイト
<http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/honbun.pdf>
- 2) 環境・省エネルギー住宅賞, IBEC 機関誌, No. 112 . 124 . 136
サステナブル住宅賞, IBEC 機関誌, No. 153 . 160 . 173 . 184 . 196 . 208 . 220 . 229
2005 サステナブル建築世界会議東京大会, IBEC 機関誌 , No. 149
- 3) エネルギーの使用の合理化等に関する法律. 省エネ法の概要, 経済産業省資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/pdf/20181227_001_gaiyo.pdf
- 4) 南雄三:もとめる断熱レベルとめざす省エネルギーレベル, 2016.9.
- 5) 第4次エネルギー基本計画, 経済産業省資源エネルギー庁,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf
- 6) 建築環境総合評価システム CASEBEE-戸建(新築)評価マニュアル(2014年版), 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構 (IBEC), 2014.5.
- 7) 日本の近代・現代を支えた建築-建築技術100選-, 一般財団法人日本建築センター, 公益財団法人建築技術教育普及センター, 2019.6月

A-11

CFD 解析を用いた F 病院の病室における温熱・空気環境の検討

○中島由佳 (千葉工業大学), 高瀬翔梧 (千葉工業大学), 會澤綾人 (千葉工業大学),

若山尚之 (千葉工業大学)

Study on indoor environment of thermal climate and air quality of F hospital using CFD analysis

Nakajima Yuka (Chiba Institute of Technology), Takase Shogo (Chiba Institute of Technology), Aizawa Ayato (Chiba Institute of Technology), Wakayama Hisashi (Chiba Institute of Technology)

キーワード：CFD 解析, 温熱環境, 空気質

1. 序論

福祉・医療施設では室内の温熱・空気環境が如実に利用者に影響を及ぼす。本研究の計画当初は福祉・医療施設において温熱・空気環境に関する実測検証を行い、その結果から建物利用者に及ぼす影響について考察をする方針であった。しかし、新型コロナウイルスの世界的な大流行、更に、実測対象建築として想定していた福祉施設は建物内に立ち入った実測はもとより見学すらも不可能な状況であった。そこで、センサー等を用いた現地での実測ではなく CFD 解析を用いて医療施設の病室を再現し、そのシミュレーション結果から室内環境を考察する研究に切り替えた。

本研究では F 病院の病室を研究対象とし CFD 解析を行い、病室内の温熱・空気環境について現状把握を図る。また、その解析結果から問題点の提示、改善案の提案を行う。

2. F 病院の施設概要

F 病院は 2008 年に開設された回復期リハビリテーションを实践する専門病院である。建築概要を表-1 に示す。1 階には外来診察室やリハビリスペース、事務室等があり、2~4 階は病室が合計で 76 室ある。

表-1 建築概要

建築面積	18574.92 m ²
延床面積	13946.93 m ²
容積率	75.53%
建ぺい率	32.54%
病床数	200 床

3. CFD 解析の概要

3.1 解析病室モデルの詳細

本研究では解析対象として 2 階の北東向きの 1 床室、4 床室を想定している。

4 床室の床面積は 52[m²]、空調機は 2 方向吹き出しの天井カセット型 FCU を使用しており、給排気は給気が外調機からのダブルの BL、排気には 2 つの吸込口が配置されている。また、それらの面積、面風速、風量、吹き出し温度設定は表-2 の通りで平面図は図-1 に示す。

1 床室の床面積は 21[m²]、空調機は 1 方向吹き出しの天井カセット型 FCU を使用しており、給排気は給気が外調機からのシングル BL、排気には吸込口が 1 つ設置されている。また、それらの面積、面風速、風量、吹き出し温度設定は表-3 の通りで平面図は図-2 に示す。

1 床室は、改善案モデルを作成し、空調機の 1 方向吹き出しの天井カセット型 FCU は同条件とし、給排気は給気が外調機からの角アネモ、排気には吸込口が 2 つ設置と想定した。また、それらの面積、面風速、風量、吹き出し温度設定は表-4 の通りで平面図は図-3 に示す。

表-2 4 床室の空調機、給排気設備詳細

	面積 [m ²]	面風速 [m/s]	風量 [m ³ /hr]	吹き出し温度 [°C]
FCU	0.97	0.14	483	19.4
BL(D)	0.11	0.50	200	19.4
吸込口(HS)	0.04	1.39	200	-

表-3 1床室の空調機、給排気設備詳細

	面積 [㎡]	面風速 [m/s]	風量 [㎡/hr]	吹き出し温度 [℃]
FCU	0.80	0.08	243	19.4
BL(S)	0.06	0.50	100	19.4
吸込口(HS)	0.04	0.69	100	-

表-4 1床室改善の空調機、給排気設備詳細

	面積 [㎡]	面風速 [m/s]	風量 [㎡/hr]	吹き出し温度 [℃]
FCU	0.80	0.08	243	19.4
角アネモ	0.08	0.33	100	19.4
吸込口(HS)	0.04	0.35	50	-
吸込口(HS)	0.04	0.35	50	-

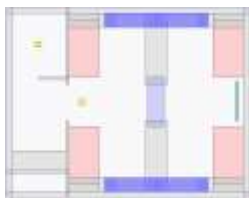


図-1 4床室平面図



図-2 1床室現状平面図

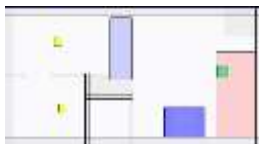
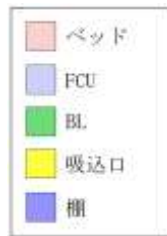


図-3 1床室改善平面図



注)
上向きを
北とする

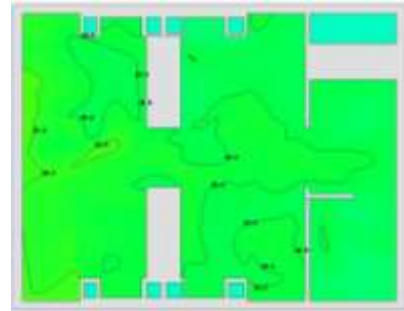


図-5 4床室温度分布平面図

現在の4床室を再現した条件下での解析では、居住域における室温はおよそ28[℃]という結果になった。冷房設定温度の26[℃]に比べると若干高いように見えるが、PMVでは-0.4であり、快適域であると確認できた。

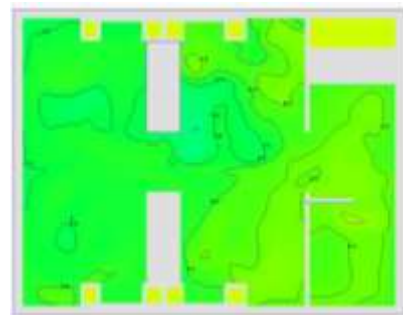


図-6 4床室空気余命分布平面図

3.2 解析条件

今回の解析では夏期を想定し、外気温は34.8℃とした。また、東側外壁の熱貫流率は0.82[W/㎡K]として解析した。なお、東側以外の壁面、床、天井からの伝熱負荷は、隣室との温度差がほぼないことから考慮していない。また、PMV解析での設定値は入院患者を基準とし、met値は0.8、clo値は0.3とした。

4. CFD解析結果

4.1 4床室解析結果

4床室の解析結果はz軸0.6m地点での平面図を提示する。

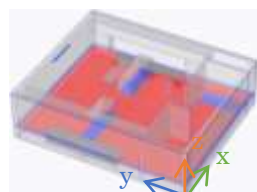


図-4 z軸平面位置

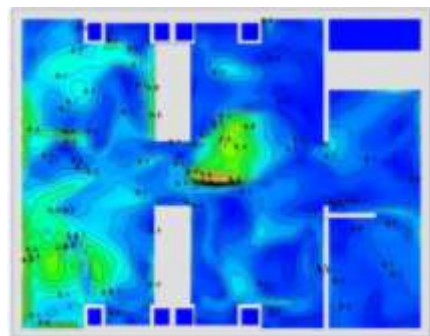


図-7 4床室風速分布平面図

また、空気齢や空気余命は全体的に0.2~0.3であり、場所による大きなばらつきはなく、空気中のちりやほこりは10分程度で排出されることが分かった。風速は最大で0.6[m/sec]の気流が確認されたが、ベッド周辺は0~0.2[m/sec]であり、入院患者に不快感を与えるような気流は居住域内では発生していない。

以上の解析結果から、現状の4床室において大きな問題は見られないため改善の必要性は高くないと判断した。

4.2 1床室 解析結果

1床室解析結果はx軸1.4m地点での断面図とz軸0.6m地点での平面図を提示する。

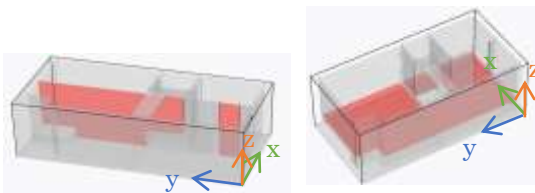


図-8 x軸断面位置 図-9 z軸平面位置

現在の1床室を再現した条件下での解析では、BLとベッドの位置関係に問題があることが確認できた。

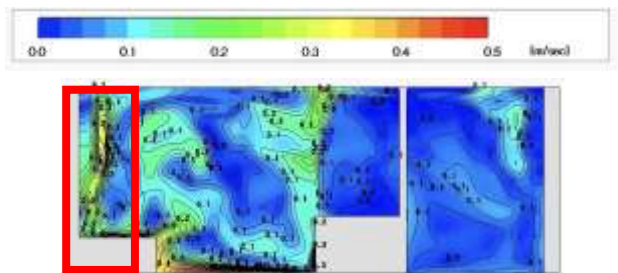


図-10 1床室風速分布断面図

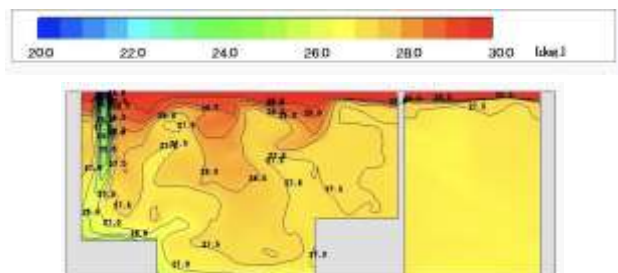


図-11 1床室温度分布断面図

窓際に設置されたBLからは約0.3[m/sec]の風が吹いており、その風は真下にあるベッドに直接当たっている。それが原因で、温度分布図を見る

とベッド周りだけ局所的に温度が下がっていることが分かる。

空気齢と空気余命に関しては、ベッド周辺は0.2~0.3であり、大きな問題は見られなかったが、トイレや廊下などの非居住域でわずかな空気の滞留が見られた。

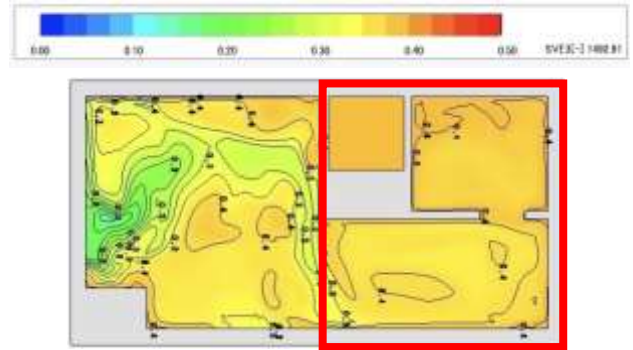


図-12 1床室空気余命分布平面図

以上の結果から、1床室はベッドにBLからの風が直接当たることによってベッド周辺の温度が局所的に下がっていることと、非居住域にわずかな空気の滞留が見られたことから改善の余地があると考えた。

4.3 1床室改善案 解析結果

現状を再現した解析での結果をふまえて、改善案を提示する。まず、BLからベッドに直接吹き付ける風を改善するため、外調機からの吹出口をBLから角アネモに変更した。また、非居住域での空気の滞留を改善するため、吸込口を2つに増設した。

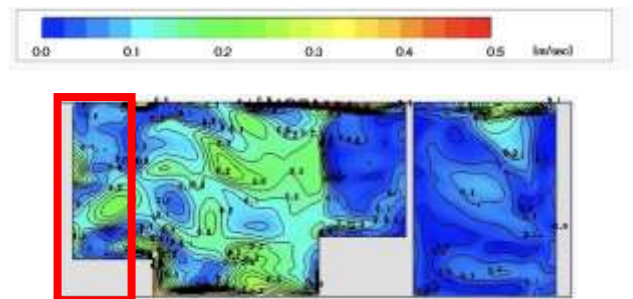


図-13 1床室改善案風速分布断面図

風速分布断面図を現状のものと見比べると、角アネモから吹き出した風は拡散され、直接ベッドにあたる風は少なくなったように見える。温度分布図でもベッド周辺の温度が部屋全体の温度とほぼ変わらないことから、ベッド周りの環境が改善

されたと考えられる。

また、吸込み口を2つに増設したことで、非居住域の空気余命が現状の再現では0.4だったが改善案では0.2~0.3と改善されたことが確認できた。しかし、BLを角アネモに変更したことによってベッド周辺の空気余命の数値が若干高くなってしまった。

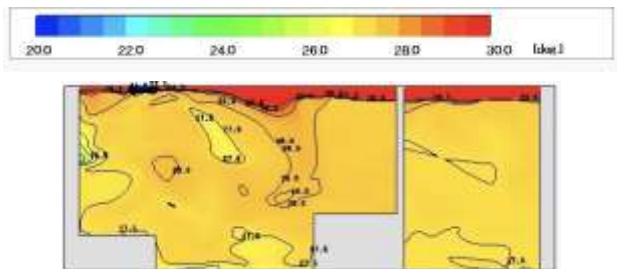


図-14 1床室温度分布断面図

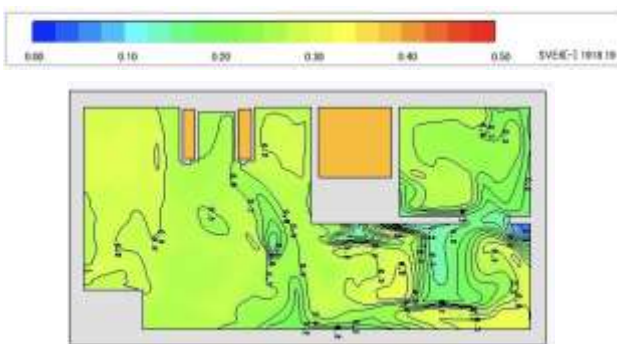


図-15 1床室改善案空気余命分布平面図

5. 考察

5.1 4床室考察

4床室の現状を再現した条件下での解析において温熱環境面では、温度が28~29[°C]と冷房の設定温度に対し高い数値を示したが、ベッド周辺ではPMVが約-0.4であり、快適域であると言えた。空気環境面では、空気齢及び空気余命を確認し、空気齢からは居住域内に約10分で新鮮空気が行き渡ることが分かり、空気余命からは居住域内の汚れた空気はおよそ10分で排出されることが分かった。また、4つのベッド周辺の空気齢、空気余命を見比べると、新鮮空気の到達時間や汚染空気の排出時間に大きな差は確認されなかった。

以上のことから、4床室における現状を再現した条件下での解析において温熱環境、空気環境共に大きな問題は見られず、4床室の改善の必要性は高くないと判断した。

5.2 1床室考察

1床室の現状を再現した条件下での解析では、BLとベッドの位置関係によりBLから吹き出した風が直接ベッドにあたってしまい、それによってベッド周辺の温度が局所的に低下してしまうことが最も大きな問題だと考えた。そこでBLを角アネモに変更し、空気を拡散させ風速を低減させる改善を行った。また、非居住域におけるわずかな空気の滞留を解消するため、吸込口を2つに増設した。

改善案の解析ではベッドに直接あたる風を減らすことができ、ベッド周辺の局所的な温度の低さも改善することができた。また、吸込口を増設したことで、非居住域のわずかな空気の滞留も解消されたように見える。ベッド周辺の換気効率が若干低下してしまっただが、入院患者の健康に大きな影響を及ぼすほどではないと判断した。以上のことから、この改善案は有用であると考えられる。

6. 結論

本研究では、研究対象であるF病院の1床室、4床室の現状の再現をしたモデル室を作成し、CFD解析を行い病室の温熱・空気環境の現状把握を図った。現状再現の解析結果から4床室・1床室の改善の必要性を判断し、1床室については問題点を明らかにした上で、改善案の提案及び有用性を示した。

1床室・4床室の空間モデルを再現し、CFD解析を行ったところ、4床室では、温熱環境の面において温度分布の結果から設定温度に対して高い数値を示したが、PMVによる入院患者の温冷感評価の結果としては快適域であることが確認できた。また、空気環境の面では空気齢・空気余命共に居住域内の数値に大きな差はなく、新鮮空気の到達時間及び換気時間に大きな問題は想定されなかった。1床室では、ベッドに対して直接当たる気流が問題点と判断し、BLを角アネモに変更する、吸込口を2箇所を増やすといった改善案を想定した。改善案では角アネモに変更したことによる気流の拡散性の向上によりその問題点を改善し、吸込口の増設によって排気性能の向上が見られた。

以上のことから、4床室では温熱・空気環境に大きな問題は想定されなかったため改善の必要は高くないと判断し、1床室では気流が問題となっていたが改善案の解析結果から有用性が確認できた。

A-12

中学校教室における空気・衛生環境の実態

○遠藤里央（宮城教育大学），菅原 正則（宮城教育大学），

小林光（東北大学），江刺美和（宮城教育大学附属中学校）

Actual Conditions of Air and Sanitary Environment in Junior High School Classrooms

Endo Rio (Miyagi University of Education),

Sugawara Masanori (Miyagi University of Education), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),

Esashi Miwa (Affiliated Junior High School, Miyagi University of Education)

キーワード：中学校教室，教室内環境，CO₂濃度，湿度，気温，環境マイクロバイオーーム

はじめに

学校教室内では、生徒が密集しやすく、行き来を繰り返すことにより空気・衛生環境が多様に変化するため、それらがかぜ等の罹患に影響すると考えられる。岩下¹⁾による小学校を対象とした調査では、インフルエンザ欠席発生率との相関関係が、欠席前日の室内相対湿度や2日前の室温などとの間で認められた。本報では、新型コロナウイルス（SARS-CoV2）感染拡大以前の時期に調査した結果に基づいて、中学校教室における空気・衛生環境の実態と、かぜなど健康不調との関係を検討したので報告する。

1. 調査概要

1.1 調査対象

仙台市市街域にある中学校（1学年あたり4クラス、1学年157～158名在籍）の3学年教室内である。校舎はRC造3階建て、計測場所は教室棟（図-1）1階にある。窓はすべて南面しているが、教室c1およびc4はセットバックし、窓の方向とホールに面する出入口の方向との関係が隣り合っているのに対し、教室c2およびc3では向かい合うため、後者が日照・通風条件において有利である。

1.2 調査項目

①2019年1月30日～翌年4月23日のおよそ1年3ヶ月に渡り10分間隔で連続計測された気温、相対湿度、CO₂濃度。

②教室c1およびc2（冬季のみ2学年教室を含む）で2019年1月30日、3月6日、8月29日、10月8日の計4日間においてサンプリングされた環境マイクロバイオーーム（表-1）。サンプリング作業および解析についての詳細は、文献

2)を参照のこと。

③2019年度日課表（すべての授業日について、授業や行事の予定、および修正結果を記したもの）。

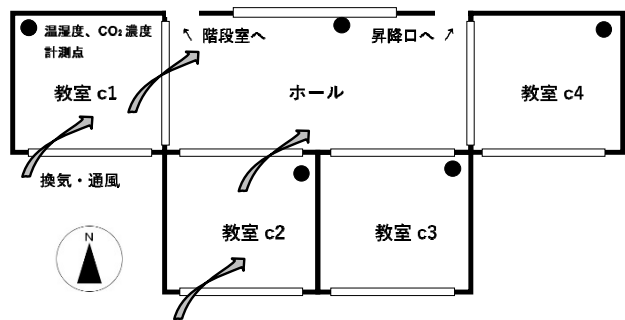


図-1 調査対象教室の平面構成

表-1 環境マイクロバイオーームのサンプリング位置

サンプル記号	サンプリング位置	面積
1_1	3年c1教室机上面	100cm ²
1_2	〃	100cm ²
1_3	〃	100cm ²
1_D	3年c1教室入口引戸の引手(前後)	185cm ² × 2
1_Air	3年c1教室空気	—
1_PAC(夏季のみ)	3年c1教室天井エアコン吹出しフィン	100cm ²
2_1	3年c2教室机上面	100cm ²
2_2	〃	100cm ²
2_3	〃	100cm ²
2_D	3年c2教室入口引戸の引手(前後)	185cm ² × 2
2_Air	3年c2教室空気	—
2_PAC(夏季のみ)	3年c2教室天井エアコン吹出しフィン	100cm ²
G2_1(冬季のみ)	2年c1教室机上面	100cm ²
G2_2(〃)	〃	100cm ²
G2_3(〃)	〃	100cm ²
G2_D(3/6のみ)	2年c1教室入口引戸の引手(前後)	100cm ²

2. 冷暖房期間と期間外の教室環境の違い

2.1 検討期間

気温、湿度、CO₂濃度の計測データについて、

4クラス中3クラス以上で正確に計測されていた期間（2019年5月9日～翌年2月28日）を取り出し、気温変化に基づいて、次の3つの検討期間に分けて教室環境を比較する。

①冷暖房期間外：

（春）2019年5月9日～6月27日

（秋）2019年10月2日～11月15日

②冷房期間：2019年7月1日～9月30日

③暖房期間：2019年11月18日～翌年2月28日

2.2 検討手順

①3学年の日課表を基に、教室の出入りの状況を把握する。

②授業時間ごとの平均値を、生徒が教室にいると

き（生徒有）といないとき（生徒無）に分ける。

③各教室で計測された気温、相対湿度、CO₂濃度について、授業時間（45分～50分）ごとの平均値を得る。

④③の値について、冷暖房期間と期間外の違いや、学校環境衛生基準への適合度合いを検討する。

2.3 教室環境の特徴

教室内の気温は全て学校環境衛生基準（17～28℃）を満たしていたので、ここでは相対湿度とCO₂濃度の、生徒の有無別の日平均について、教室c1、c2の検討期間ごとに示す（図-2～7）。なお、図中の破線は学校環境衛生基準のCO₂濃度基準値（1500ppm）を示している。図中の空白部分

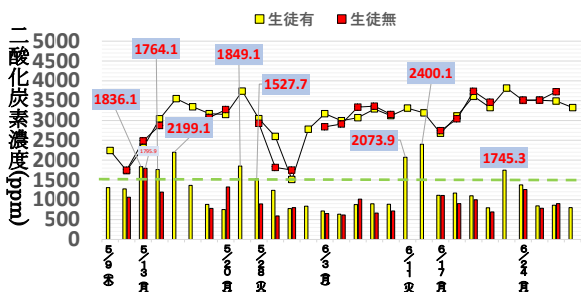


図-2 教室c1の冷暖房期間外（春）の教室環境

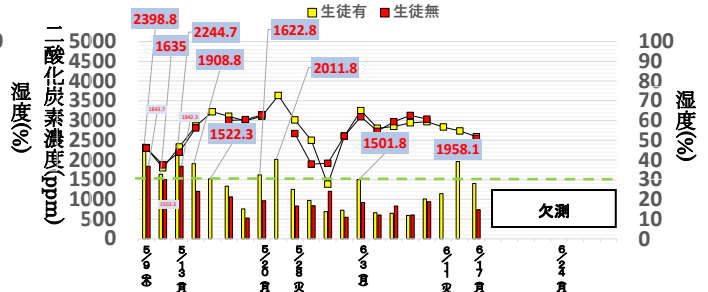


図-5 教室c2の冷暖房期間外（春）の教室環境

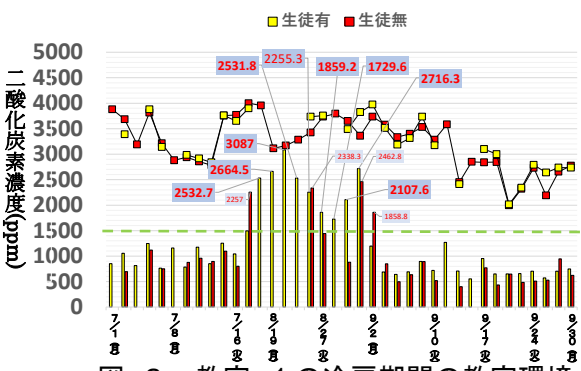


図-3 教室c1の冷房期間の教室環境

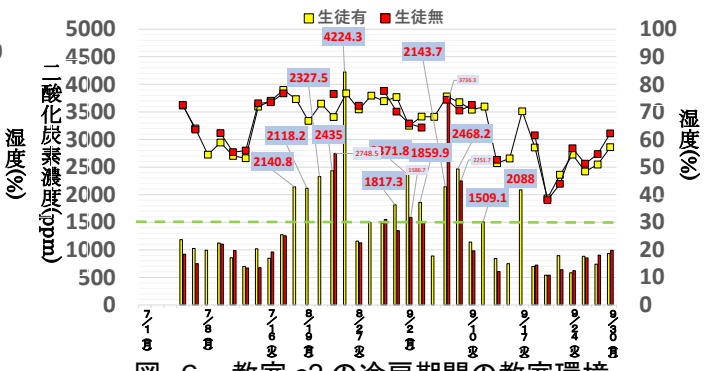


図-6 教室c2の冷房期間の教室環境

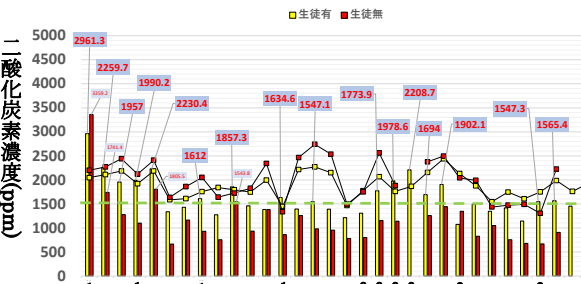


図-4 教室c1の暖房期間（2020年）の教室環境

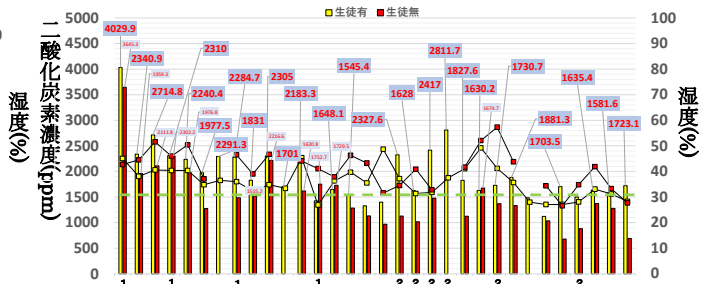


図-7 教室c2の暖房期間（2020年）の教室環境

は、一日中教室内で授業が行われたことにより、生徒が教室にいない時間帯が生じなかった、もしくは欠測である。

CO₂濃度の全体の傾向として、生徒が教室にいる時間帯で高い値を示している日は、生徒が教室にいない時間帯でも高い値を示すことが多かった。そして、生徒が教室にいないにも関わらず1500ppmを越える場合も少なからず見られた。しかし期間全体のCO₂濃度の平均値(表-2)を見ると、生徒無に比べて生徒有の場合は210~550ppm高い。また、期間全体の相対湿度平均値は、学校環境衛生基準の範囲内であった。

2.4 考察

(1) 冷暖房期間外

教室c2で、生徒がいるときのCO₂濃度の平均値が学校環境衛生基準の1500ppmを越える値を示している。他教室と比較すると、5月中にCO₂濃度の日平均値が1500ppmを越えた日数は、2倍以上であった。

(2) 冷房期間

表-2では暖冷房期間外に比べてCO₂濃度差の傾向は見られなかった。冷房期間であっても、防暑のために冷房だけでなく窓を開けていたと考えられる。しかし、図-3および図-6を見ると、夏季休業前後に当たる7月下旬および9月上旬には、CO₂濃度の日平均値が1500ppmを超えていた。冷房使用による換気量減少に伴うものと考えられる。

(3) 暖房期間

生徒が教室にいたときは全クラスでCO₂濃度の平均値が1500ppmを越えた。冬季は窓を開けることによる温度調節が難しくなるため、窓を閉め切ることが多くなってしまいが、授業と授業の間に換気を行った場合とそうでない場合で、

表-2 期間ごとのCO₂濃度と相対湿度の平均値

教室	生徒	CO ₂ 濃度 (ppm)			相対湿度 (%)		
		期間外	冷房期間	暖房期間	期間外	冷房期間	暖房期間
c1	有	1402	1237	1608	60	64	39
	無	1179	971	1040	58	64	40
c2	有	1642	1416	1876	56	65	37
	無	1202	1200	1425	54	64	42
c3	有	1267	1284	1933	58	66	48
	無	1034	1028	1495	57	67	42
c4	有	1219	1362	2035	55	64	45
	無	911	1111	1480	56	63	45

CO₂濃度の日平均値には差が表れた。また、暖房期間内は他期間に比べ、湿度の日平均値が10~25%低かった。しかし学校環境衛生基準の下限である30%を下回ることは少なかった。

(4) その他

考査がある日は、検討期間によらずCO₂濃度が4000ppmを越える時間帯が多く見られた。さらに考査終了後、生徒が教室を退出した後もCO₂濃度が高い値を示していた。

3. 教室環境による罹患率

対象中学校の2019年11月~翌年2月におけるかぜ調査を基に、教室環境との関係性を分析した。対象中学校では例年、冬季にかぜ調査を行っており、かぜにより欠席した生徒、インフルエンザによる出席停止の生徒、体調不良ではあるが出席している生徒が、毎日記録されている。各クラスの月平均を表-3に示す。

まず、教室c1は、他教室より比較的CO₂濃度、湿度、気温が学校環境衛生基準内の値を示すことが多いためか、罹患率は全体的に比較的低い値を示している。しかし、2月の罹患率は他教室よりも高い値を示している。この原因は、暖房期間の教室c1の湿度が他教室よりも低いことであると考えられる。

さらに、教室c2の11月では罹患率が5.3%と大きな値を示している。それは毎日1人以上、体調不良の生徒が出ていたことによる。気温や湿度は他教室と大きな違いは見られなかったが、CO₂濃度が他教室より比較的高い値を示しており、11月1、25、27、29日の4日間以外は全てCO₂濃度の平均値が1500ppmを越えていた。

表-3 かぜ調査に基づく各クラスの月平均罹患率

(%)	教室c1	教室c2	教室c3	教室c4
11月	2.2	5.3	1.1	2.0
12月	1.2	1.6	1.7	2.1
1月	0.8	2.3	2.0	1.5
2月	2.2	0.7	1.2	1.7
平均	1.6	2.5	1.5	1.8

4. 教室環境と環境マイクロバイオームの関係

対象中学校の調査結果を図-8に示す。まず夏季期間はPseudomonas^{注1)}とStaphylococcus^{注2)}が

占める割合が高かった。理由は、気温、湿度、CO₂濃度の計測データから気温や湿度が高いことと考えられる。逆に、気温、湿度、CO₂濃度が低い期間は、様々なマイクロバイームが満遍なく分布されるのではないかと考えられる。

調査結果から、教室 c2 で *Acinetobacter*^{注3)} や *Enhydrobacter*^{注4)} が多く見られたことが分かるが、環境的要因はみつからなかった。環境マイクロバイームは、居住者の直接・間接の接触による影響を受ける³⁾ が、それ以外の影響要因が不明な部分も多く、環境の実態を読み取るためには裏付けデータの取得が欠かせない。

謝辞

本研究の遂行にあたり、中学校の先生方には多大なご協力を頂きました。ここに記し深く感謝申し上げます。なお本研究は、JSPS 科研費 17H06216 および令和元年度宮城県公衆衛生研究振興基金の助成を受けました。

注釈（主に日本細菌学会ウェブサイトおよび Wikipedia を参照）

- 1) 生息域は、土壌、淡水、海水、植物や動物(ヒト、家畜、魚介類を含む)の組織、天然の霜、雲などと幅広い。石油、農薬(殺菌剤)、重金属などで汚染された環境においても生育する株もある。
- 2) ヒトや動物の皮膚、消化管(腸)常在菌(腸内細菌)であるブドウ球菌の一つ。黄色ブドウ球菌は人体の皮膚表面、毛孔に存在する。特に鼻腔内に存在する常在菌。
- 3) 土壌など湿潤環境を好み、自然環境中に広く分布する。健康な人の皮膚にも存在することがあり、動物の排泄物からも分離されることがある。
- 4) 哺乳類や人間に無害であり、共生細菌または水生・土壌細菌である。

参考文献

- 1) 岩下剛: 温湿度を用いた冬季の小学校におけるインフルエンザ発生に関する時系列分析 学校におけるインフルエンザ発生と室内空気環境の関係に関する研究:、日本建築学会環境系論文集(2017-3)、pp. 257-264
- 2) 小林光、菅原正則: 建築環境における呼吸器系病原体モニタリング法の確立に関する研究 その3 小学校におけるマイクロバイームの実態に関する調査研究: 日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集、D-2(2018-9)、pp. 867-870
- 3) Meadow JM, Altrichter AE, et al.: Bacterial communities on classroom surfaces vary with human contact: *Microbiome* 2: 7(2014-3)

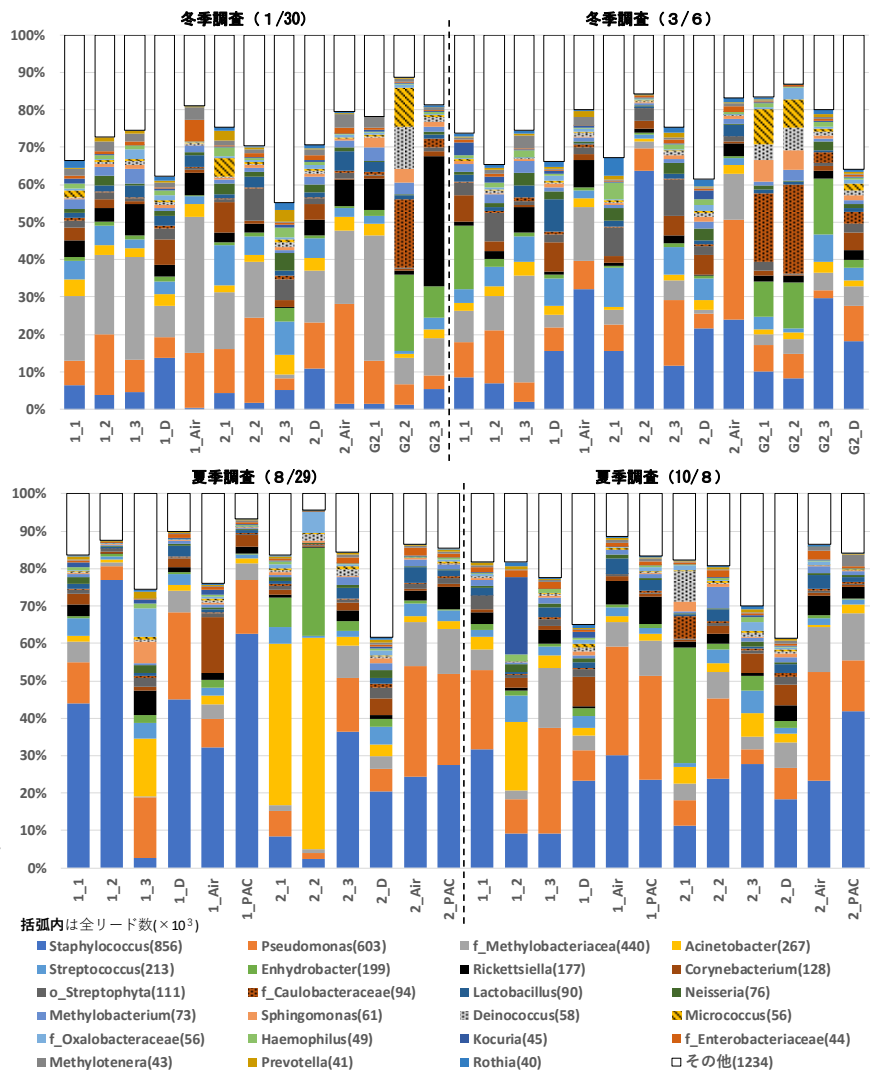


図-8 全サンプルにおける主な OTU の組成比

A-13

天井吹出口毎に風量制御する空気式放射空調システムの開発

○鈴木 恵 (三機工業), 鈴木慎介 (三機工業), 新村浩一 (三機工業), 福森幹太 (三機工業)

Development of Pneumatic Radiant Air Conditioning System

with Air Volume Control for Each Ceiling Outlet

Suzuki Megumi*1, Suzuki Shinsuke*1, Shinmura Kouichi*1, Fukumori Kanta*1

*1 Sanki Engineering Co., Ltd.

キーワード：放射空調、温熱環境

はじめに

近年、快適でストレスなく健康に働ける執務室(ウェルネスオフィス)が注目されており、執務者の知的生産性を高める考え方が不動産業界を中心に広がりつつある。また、快適性と省エネ性を兼ね備えた空調システムとして「放射空調システム」がある。

筆者らは、事務所ビルで一般的な変風量単一ダクトシステムを天井チャンバ化し、空調制御区画を吹出口単位(10m²程度)まで小さくし、吹出口風量を在室者がPC 端末等から任意に調整できるシステムを検討している。既報¹⁾では、夏期および冬期のシステム評価試験の結果、在籍者が任意にFDU(ファン付吹出口)を操作することにより室内温熱環境が適切に調整されていたことを報告した。本報では、このシステムに放射空調を融合させた新システムの室内温熱環境実測結果およびアンケート調査結果を報告する。

1. 個別風量制御+放射空調システム概要

本システムは、天井給気チャンバ方式でダクトレス化し、FDUによる対流空調と、天井材を熱伝導性に優れたスチールパネル(放射率 0.9、白色、パンチング無し、0.5 mm 厚)とした放射空調を組み合わせたシステムである。図-1 にシステム概要図を示す。

2. 実測概要

神奈川県大和市にある建物のオフィスエリアにて温熱環境の実測を行った。オフィス概要を表-1 に、室内レイアウトを図-2 に示す。

図-3 に示すように、オフィス東側半分の天井材をスチールパネルに入替え、測定位置をA~F点として残り半分の岩綿吸音板エリアと比較した。測定項目は図中に示した。

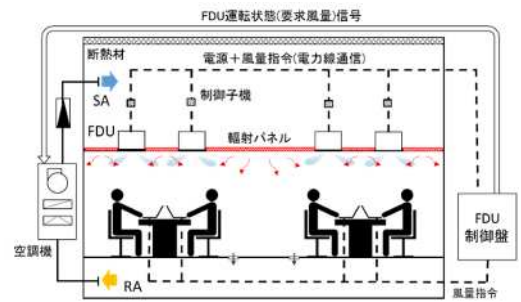


図-1 システム概要図

表-1 室概要

所在地	神奈川県大和市
対象面積	491 m ²
構造	RC造
用途	事務室
空調風量	9600 m ³ /h
FDU台数	48台
FDU風量	停止: 0 m ³ /h
	弱: 100 m ³ /h
	強: 200 m ³ /h
在籍者数	51人

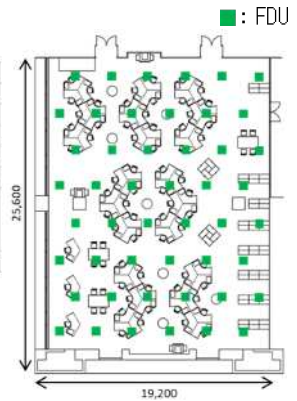


図-2 評価エリア平面図

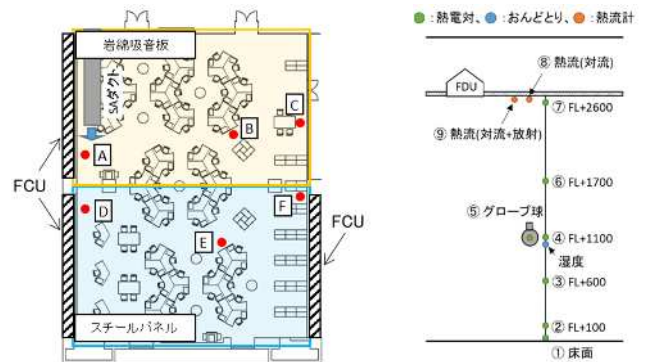


図-3 測定位置および測定項目

表-2 に温度設定条件と測定期間を示す。本報では、夏期 26℃設定と冬期 23℃設定について結果を報告する。測定期間中は、7:00～8:50 まで FDU を全台数強運転とし、8:50～20:00 は全台数弱運転という自動運用とし、在室者による FDU 変更操作はいつでも可能とした。窓際の FCU は 7:00～20:00 まで表記の設定温度で稼働させた。

なお、この測定期間中に各 1 回アンケート調査を実施した。

表-2 温度設定と測定期間

季節	運気温度設定	期間	空調時間	本報
夏期	25℃	8月19日～8月30日	7:00～20:00	○
	26℃	9月2日～9月13日		
冬期	22℃	1月14日～1月24日		○
	23℃	1月27日～2月7日		

3. 測定結果

3.1 夏期(26℃設定、9月9日)

図-4 に各測定点の温度推移(FL+600)を示す。どの点においても、9:00 頃に温度が上昇しているのは、FDU が強運転から弱運転に切替わったためである。ペリメータ部(A 点、D 点)では天井材による差異は見られなかったが、インテリア部ではスチールパネルエリア(E 点、F 点)のほうが岩綿吸音板エリア(B 点、C 点)より 0.7℃程度低い値で推移していた。

図-5 に時刻別の上下温度分布を示す。白抜きのプロットは、各測定点上部の天井材表面温度を示している。どの測定点においても FL+100 から FL+1700 までの上下温度差は 3℃以内に収まっており、岩綿吸音板エリア(B 点、C 点)よりスチールパネルエリア(E 点、F 点)のほうがいずれの高さにおいても温度が低い。また、天井材表面温度と直下の空気温度差に着目すると、B 点、C 点はほぼ同じであるのに対し、E 点、F 点は 0.5～0.9℃程度表面温度が低く、放射の効果がみられる。なお、A 点、D 点の表面温度が低い要因は、天井内給気ダクトの吐出位置に近く、天井内が冷えているためと推測される。

図-6 に天井材表面に貼付した熱流計にて計測した冷放射熱流の推移(平日の 2 週間平均)を示す。図より、ペリメータ部(A 点、D 点)およびインテリア部(B 点、C 点、E 点、F 点)ともにスチールパネルエリア(D 点、E 点、F 点)のほうが冷放射が大きいことがわかる。

図-7 に各測定点での 9:00～18:00 における天井

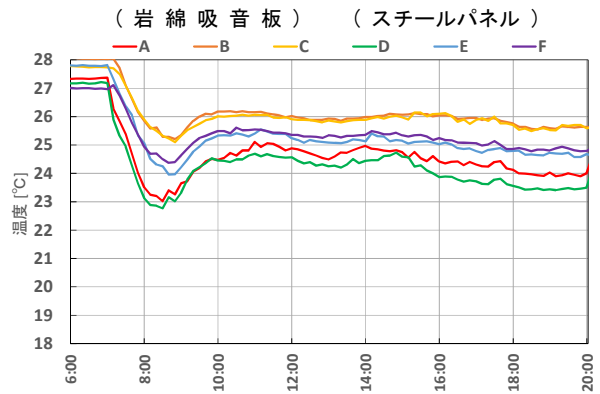


図-4 室内温度推移

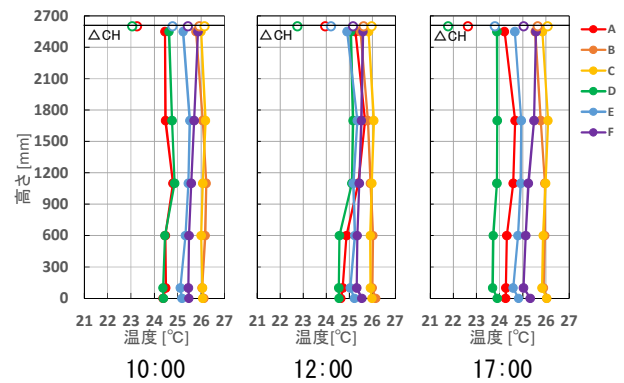


図-5 上下温度分布

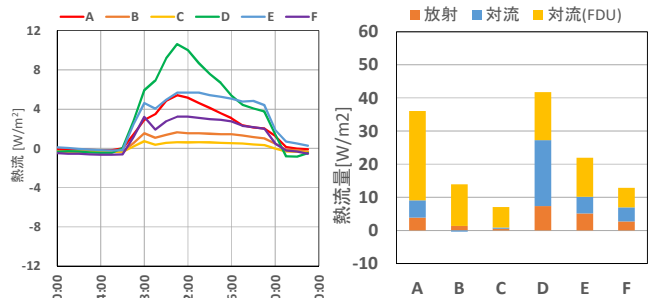


図-6 冷放射熱流推移

図-7 各熱流の内訳

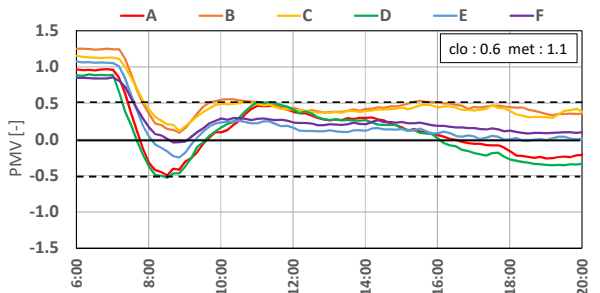


図-8 PMV 推移

からの放射熱伝達量および対流熱伝達量、FDU による対流熱伝達量の内訳(平日の 2 週間平均)を示す。どの測定点においても対流および FDU 由来

対流のほうが熱伝達量が大きい。放射の割合に着目すると、インテリア部である B 点では 10%、E 点では 23%であり、スチールパネルエリアのほうが放射割合が高いことが確認できる。

図-8 に PMV の推移を示す。全ての測定点が ISO 推奨値の $PMV \pm 0.5$ 以内で推移していた。また、スチールパネルエリアのほうが 0 に近い値で推移しており、より快適環境に近いとみられる。

3.2 冬期 (23°C設定、2月4日)

図-9 に各測定点の温度推移 (FL+600) を示す。各測定点における差異は見られず、設定温度に対して $0.0 \sim +1.0^\circ\text{C}$ で推移していた。

図-10 に時刻別の上下温度分布を示す。白抜きのプロットは、各測定点上部の天井材表面温度を示している。夏期と同様に、どの測定点においても FL+100 から FL+1700 までの上下温度差は 3°C 以内に収まっており、天井材表面温度に着目すると、B 点、C 点より E 点、F 点のほうが表面温度が低い。なお、E 点の FL+100 が高い要因は、付近に設置している機器からの排熱である。

図-11 に冷放射熱流の推移 (平日の 2 週間平均) を示す。ペリメータ部 (A 点、D 点) では、朝方と 14:00 以降の暖房運転時は温放射となり、インテリア部 (B 点、C 点、E 点、F 点) では、朝方は温放射、9:00 以降は冷放射となる傾向であった。インテリア部にて 14:00 以降の暖房運転時に温放射にならなかった要因は、天井内空気が冷房運転時と近い温度まで低下したためと考えられる。

図-12 に各測定点での 9:00 ~ 18:00 における放射熱伝達量および対流熱伝達量、FDU による対流熱伝達量の内訳 (平日の 2 週間平均) を示す。夏期と同様に、どの測定点においても対流および FDU 由来対流のほうが熱伝達量大きい。放射の割合に着目すると、インテリア部である B 点では 13%、E 点では 21%であり、夏期と同様にスチールパネルエリアのほうが放射割合が高いことが確認できる。

図-13 に PMV の推移を示す。夏期と同様に、全ての測定点が ISO 推奨値の $PMV \pm 0.5$ 以内で推移しており、スチールパネルエリアのほうが相対的に涼しい環境であった。なお、ペリメータ部 (A 点、D 点) において 9:00 ~ 11:00 の PMV 値が上昇した要因は日射であった。

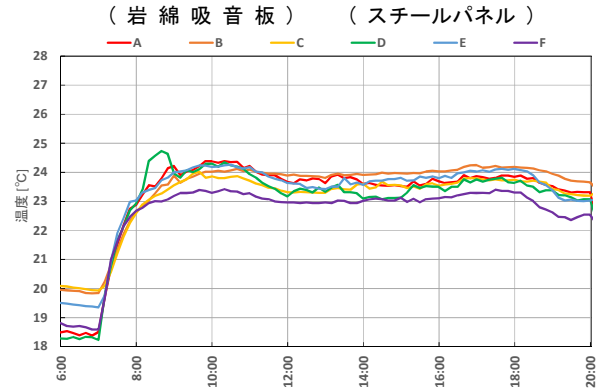


図-9 室内温度推移

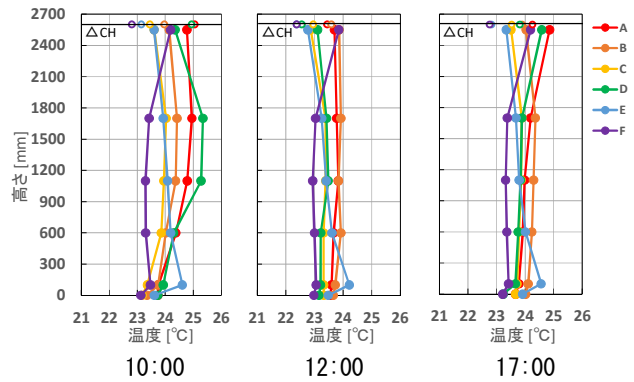


図-10 上下温度分布

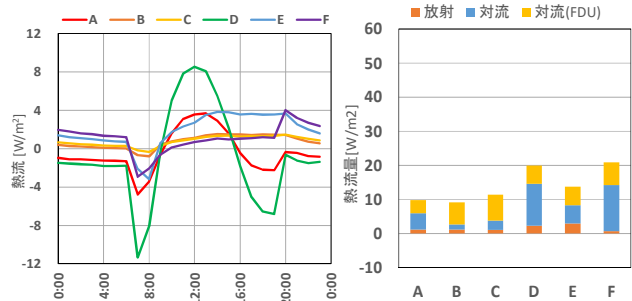


図-11 冷放射熱流推移

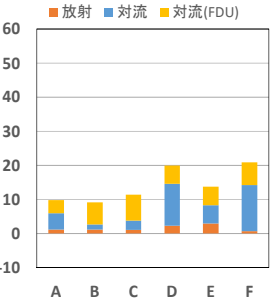


図-12 各熱流の内訳

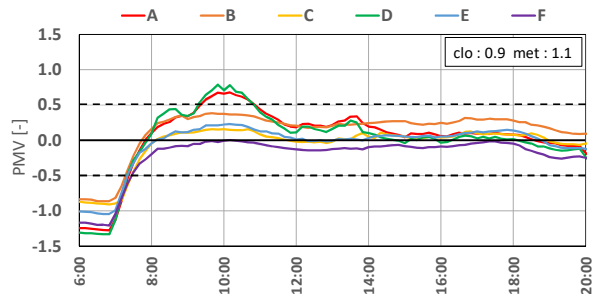


図-13 PMV 推移

4. アンケート結果

図-14、図-15 に夏期 (26°C 設定) および冬期 (23°C 設定) のアンケート結果を示す。

夏期において、岩綿吸音板エリアでは、初期(入社時)の温冷感と比較すると日中温冷感の「暑い」の割合が半減しつつも「どちらでもない」「涼しい」の割合は変化しなかった。室内湿度については64%の人が「(非常に)高い」と回答し、蒸し暑さを感じたため半数近くの人が「(非常に)不快」と回答したと推測される。室内の温熱環境を許容できない割合は54%となり、「(非常に)不快」と感じた割合と同程度であった。但し、本報では図示していないが、設定温度を25℃にすると、この割合は大幅に改善した。

一方、スチールパネルエリアでは、「暖かい」の割合が減少し、「どちらでもない」「涼しい」の割合が増加した。室内湿度については「普通」の回答が70%弱であり、快適性については23%が不快に感じていた。許容できない割合は27%となり、不快と感じた割合と同程度であった。不快率が岩綿吸音板エリアよりスチールパネルエリアのほうが半減した要因は、スチールパネルによる冷放射効果から快適性が損なわれなかったと推測される。

冬期において、岩綿吸音板エリアでは、初期(入社時)の温冷感と比較すると日中温冷感の「暑い」「涼しい」「寒い」の割合が増加した。室内湿度については、測定結果では相対湿度40%RH以上であったが、35%の人が「低い」と回答した。快適性については25%が不快に感じていた。不快と感じていた人のうち、暑くて不快とした人が25%、寒くて不快とした人が75%であった。室内の温熱環境を許容できない割合は20%となり、不快と感じた割合と同程度であった。

一方、スチールパネルエリアでは、「暑い」「寒い」の割合が減少し、「暖かい」「どちらでもない」の割合が増加した。室内湿度については、測定結果では岩綿吸音板エリアと同様に相対湿度40%RH以上であったが、26%の人が「低い」と回答した。快適性については5%が不快に感じており、岩綿吸音板エリアより1/5となった。不快と感じていた人のうち、湿度が低くて不快とした人が100%であった。室内の温熱環境を許容できない割合は5%となり、不快と感じた割合と同程度であった。

5. まとめ

夏期では従来の岩綿吸音板とスチールパネルでの温熱環境に大きな差があり、スチールパネルによる冷放射を確認した。アンケート結果より、スチールパネルエリアのほうが不快者率が低く、在室者にとって良好な快適環境を形成していることが確認できた。

冬期では、天井材による温熱環境の大きな違いは無く、相対的にスチールパネルエリアのほうが涼しい環境であった。日中は若干の冷放射状態となるが、大きな悪影響は無かった。

今回検討した放射空調は、非放射空調よりPMV値が0に近く、不快率が低いことから、優位性があると言える。

参考文献

- 1) 鈴木、福森 他:天井吹出口毎に風量制御する空調システムの開発(第2報~第3報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp113~120、2019

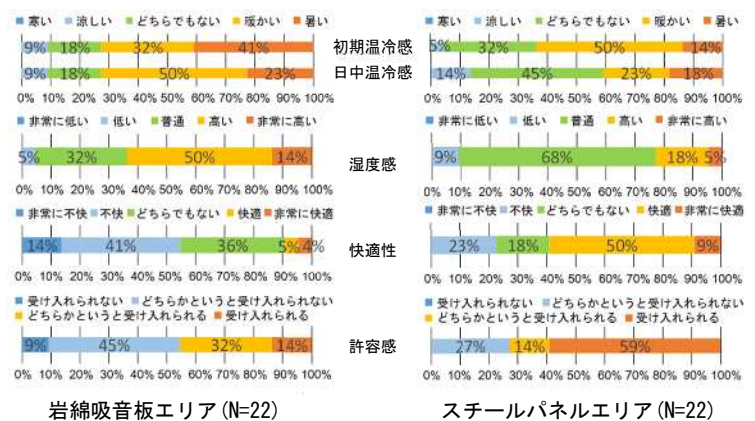


図-14 アンケート結果(夏期、26℃設定)

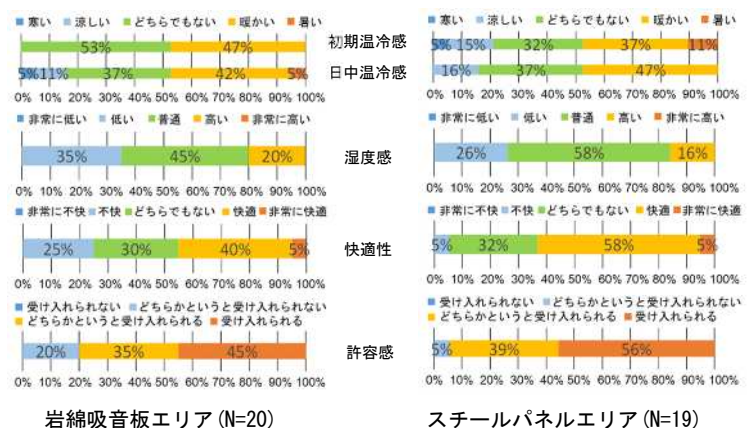


図-15 アンケート結果(冬期、23℃設定)

A-14

換気システム効率化のための室内 CO₂ 濃度と温度分布の把握

(第1報) 大学事務室の事例

○阿部 吉文, 紺野 芳之, 佐藤 良樹 (福島機工(株)), 赤井 仁志 (福島大学)

Actual Measurement Survey of Indoor CO₂ Concentration and Temperature Distribution
Aiming at Ventilation System Efficiency,

Part 1, Actual Measurement Example of University office

Yoshihumi Abe, Yoshiyuki Konno, Yoshiki Sato (Fukushima Kiko Co.,Ltd.),
Hitoshi Akai (Fukushima University),

キーワード : CO₂ 濃度分布, 温湿度分布, 執務室

はじめに

現在、新型コロナウイルスの感染が流行し、その感染対策の1つとして換気に対する関心が高まっている。しかし、通常行われる換気は、感染対策として行うものではないため、感染症対策としてはどのようにどのくらい換気をすればよいか分からないことが多い。そこで、事務室や教室のような室内における CO₂ の発生源は燃焼等を除き人の呼気であることから、コロナ禍における換気の実態を、室内の CO₂ 濃度分布を測定することにより検証した。本研究は、福島市産学連携による共同研究・委託研究支援事業補助金で採択を受けた「室内 CO₂ 濃度分布測定による換気システム設計手法の確立」の一環である

1. 実測概要

1.1 実測期間・場所

実験は2020年9月4日から7日にかけて行った。場所は、福島大学経済学類棟3階事務室で実施した。

1.2 測定装置・測定方法

(1) CO₂ センサー

CO₂ センサー設置の様子は図-1 のとおりである。CO₂ センサーは図-2 のように P1~P4 と屋外に P5・P6 の計6地点に設置し、屋外の P5 は外部建物工作物に取付し、その他は測定用に立てたポールに取付を行った。ポールへのセンサー設置高さは P1・P2・P3 は床上 75 mm、500 mm、750 mm、1,000 mm、1,500 mm、2,000 mm、2,450 mm の計4個を取付し、P4・P6 は床上 500 mm、1,000 mm、1,950 mm の計3個を取付し、P5 は床上 1,500 mm に1個取付し、6地点の合計で28個のセンサーを設置し、平面方向と鉛直方向の CO₂ 濃度分布を測定し

た。なお、測定間隔は、1分である。

(2) 換気状況

測定を行った事務室は 6.2m×21m の長方形で、床面積は約 130 m²、天井高さは 2,580 mm であった。外壁にある窓と下部に小さなガラリの付いた廊下側の扉は閉められており、換気は室内に設置されたカセット型全熱交換器(風量 393 m³/h)×3台で行っていた。



図-1 CO₂ センサー設置の様子

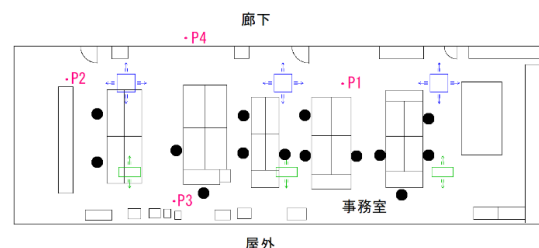


図-2 測定器設置場所

2. 実測結果

各測定地点における測定値の経時変化は図-3~図-7の通りである。

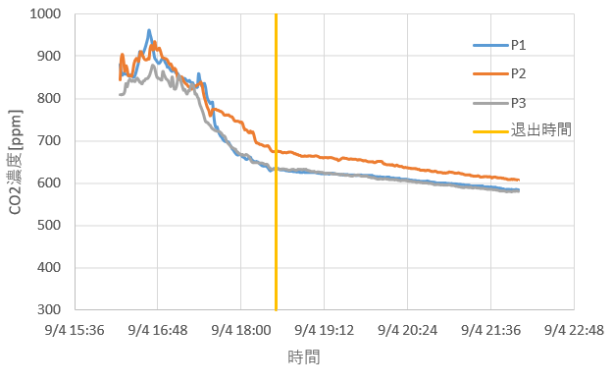


図-3 退出時付近の CO₂ 経時変化 (床上 1,500 mm)

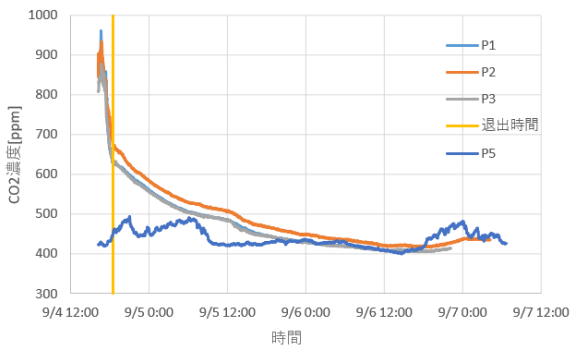


図-4 CO₂ 長時間経時変化(床上 1,500 mm)

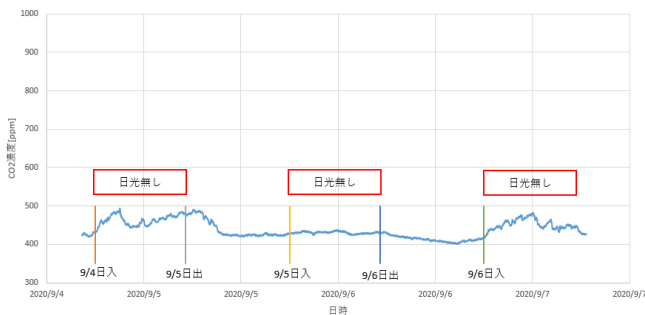


図-5 P5(屋外)での CO₂ 経時変化

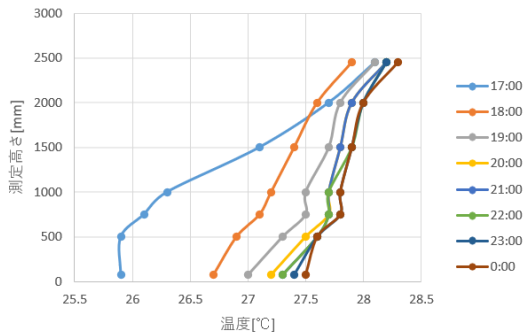


図-6 P3 地点での鉛直方向温度の経時変化

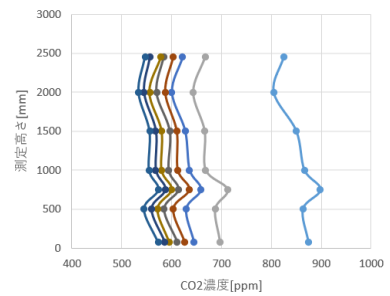


図-7 P3 地点での鉛直方向 CO₂ 濃度経時変化

3. 考察

全熱交換器 3 台の合計換気量 1,179 m³/h をコロナ禍で推奨される一人当たりの必要換気量 30 m³/h で割り、換気設備能力からの望ましい在室人数上限を出すと約 39 人となり、実際の在室人数は 14 名だったため、十分換気がされていると考えられる場合の CO₂ 濃度分布の変化について測定を行うことができた。

測定は金曜の夕方から始まったので、図-3・図-4 のように在室者が居なくなってからの CO₂ 減衰の様子が確認できた。図-3 を見ると、通常時で CO₂ 濃度が 1,000ppm を超えていないこと、在室人数が少なくなるにつれて急激に CO₂ 濃度が減少していること、そして退出後に隙間風によって CO₂ 濃度が減少していく様子が分った。

図-5 のように屋外 CO₂ 濃度は 400~500ppm であり、図-4 を見ると換気扇が止まった室内の CO₂ 濃度が屋外の CO₂ 濃度に近づいていくことが分かる。十分換気がされていたためか、図-7 鉛直方向の CO₂ 濃度分布に差は見られず、鉛直方向の CO₂ 濃度分布に差がないまま濃度が下がっていく様子が分かった。図-6 から、使用時は冷房で足元の温度が低く、エアコンが止まってからは鉛直方向の温度差は小さくなることが分かる。

謝辞

調査で福島大学施設課の田牧貴教課長と渡部一徳係長にご協力いただいた。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 劉述照、吉野博、持田灯：天井空調暖房が設置された教室内の温度・CO₂ 濃度分布の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.367-368, 2010.9

A-15

換気システム効率化のための室内 CO₂ 濃度と温度分布の把握

(第2報) コロナ禍で窓の開け幅調整等の違いによる大学講義室の事例 (1)

○阿部 吉文, 紺野 芳之, 佐藤 良樹 (福島機工(株)), 赤井 仁志 (福島大学)

Actual Measurement Survey of Indoor CO₂ Concentration and Temperature Distribution
Aiming at Ventilation System Efficiency,

Part 2, Actual Measurement Example of University Lecture Room due to Differences in Width
Adjustment of Opening Windows due to Corona Virus #1

Yoshihumi Abe, Yoshiyuki Konno, Yoshiki Sato (Fukushima Kiko Co.,Ltd.),
Hitoshi Akai (Fukushima University),

キーワード：新型コロナウイルス感染症, CO₂ 濃度分布, 温湿度分布, 講義室

はじめに

本研究は、福島市産学連携による共同研究・委託研究支援事業補助金で採択を受けた「室内 CO₂ 濃度分布測定による換気システム設計手法の確立」の一環である。

1. 実測概要

1.1 実測期間・場所

実測は、2020年12月4日と同月18日の2日間の2時限目(10:15~11:35)の講義時間帯を対象にした。場所は、福島大学M棟2階、M-23講義室、M-24講義室の2部屋である。

1.2 測定装置・測定方法

(1) CO₂ センサ

CO₂ センサ設置の様子は図-1の通りで、ポールに取付た。P1~P10の計10地点のセンサ設置高さはP4・P5・P9・P10は床上1,500mmに1個、その他の点では床上500mm、1,000mm、1,500mm、2,000mmの計4個を鉛直に取付け、10地点の合計で28個のセンサを設置し、平面方向と鉛直方向のCO₂濃度分布を測定した。

図-2にCO₂センサの配置を示す。センサは1秒間隔で測定した。

(2) 換気状況

測定を行ったM-23、M-24講義室は左右対称の形状をしており、外壁に外倒し窓の集合が2か所あり、廊下に出る扉が2か所ある。カセット型全熱交換器(風量590m³/h)が2台と空調用アネモ型吹出し口が10個設置されている。コロナ禍のため、窓の集合2か所と廊下側の2つの扉は開けられ、全熱交換器は運転している状態であった。外

壁の外倒し窓の集合は、窓1枚の大きさは縦680mm、横840mmで1か所に縦3枚横5枚が組み合わさっており、上段は上開き、中段と下段は下開きの形状をしている。

表-1に、集合窓の窓の開け幅を示す。開き具合は開いた窓の先端と窓枠との水平距離である。このように、集合窓の開ける高さ、開け幅を変化させて比較することとした。



図-1 CO₂センサ設置の様子

表-1 集合窓の開け幅 [単位: mm]

集合窓位置	12月4日			12月18日		
	上段	中段	下段	上段	中段	下段
M-23 東側	250	0	0	50	0	0
M-23 南側	250	0	0	50	0	0
M-24 北側	0	0	250	0	0	50
M-24 西側	250	0	0	50	0	0



図-2 測定器の設置場所

2. 実測結果

測定した12月の2日は、ともに快晴で屋外は無風状態に近かった。測定対象の時間帯(10:15~11:35)の屋外平均温湿度とCO₂濃度は、12月4日が7.5℃、46.7%RH、400ppm、12月18日が8.1℃、51.8%RH、431ppmであった。図-3~図-4にP2、図-5~図-6にP7でのCO₂と温度の経時変化を示す。

3. 考察

講義室の収容可能人数163人に対し、12月4日の在室人数は61人(37.4%)、12月18日は46人(28.2%)であった。18日の方が人の密度が低いにも関わらず、同室での測定結果図-3と図-4を比較すると人の密度が低い18日の方が全体的にCO₂濃度は高い。実際の使用状況を測定している

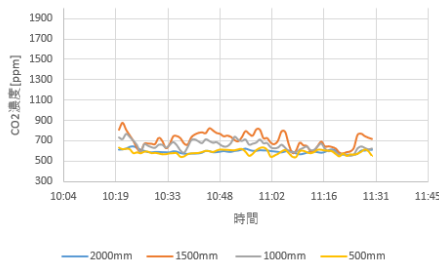


図-3 P2でのCO₂経時変化(12月4日)

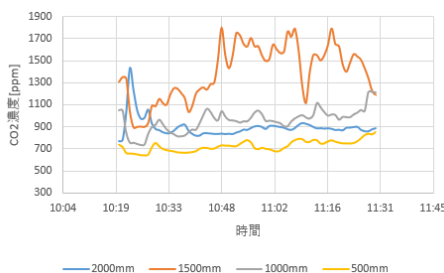


図-4 P2でのCO₂経時変化(12月18日)

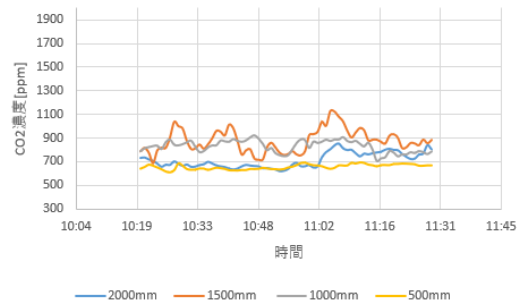


図-5 P7でのCO₂経時変化(12月4日)

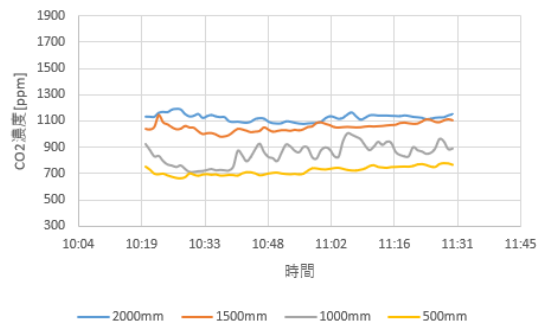


図-6 P7でのCO₂経時変化(12月18日)

ため、4日と18日で在室人数が異なるが、人為的に付けた違いとして4日と18日では窓の開く幅を250mmから50mmに狭めている。図-4を見ると床上1,500mmでのCO₂濃度が特に高くなっている。着座で人の口元は床上1,100mm位にあり、人の口元よりも少し高いところのCO₂濃度が高い結果となった。¹⁾

18日のM-23講義室は空調機が停止しており、同日別室での図-4と図-6を比較すると図-4では床上1,500mmでのCO₂濃度が特に高く、空調機が停止していた図-6では2,000mmと1,500mm共に高い値となり、空調機の運転が鉛直方向のCO₂濃度分布に影響を及ぼすことがわかった。

謝辞

調査で福島大学施設課の田牧貴教課長と渡部一徳係長に協力いただいた。感謝申し上げます。

参考文献

1)劉述照、吉野博、持田灯：天井空調暖房が設置された教室内の温度・CO₂濃度分布の測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、環境工学Ⅱ、pp.367-368,2010.9

A-16

換気システム効率化のための室内 CO₂ 濃度と温度分布の把握

(第3報) コロナ禍で窓の開け幅調整等の違いによる大学講義室の事例 (2)

○赤井 仁志 (福島大学), 阿部 吉文, 紺野 芳之, 佐藤 良樹 (福島機工株)

Actual Measurement Survey of Indoor CO₂ Concentration and Temperature Distribution
Aiming at Ventilation System Efficiency,

Part 3, Actual Measurement Example of University Lecture Room due to Differences in Width
Adjustment of Opening Windows due to Corona Virus #2

Hitoshi Akai (Fukushima University),
Yoshihumi Abe, Yoshiyuki Konno, Yoshiki Sato (Fukushima Kiko Co.,Ltd.)

キーワード：新型コロナウイルス感染症, CO₂ 濃度分布, 温湿度分布, 講義室

1. 実測結果

1.1 経時変化

12月4日と18日とも晴れており、屋外は無風であった。4日と18日のP2とP7における温度の経時変化は図-1～図-4となった。

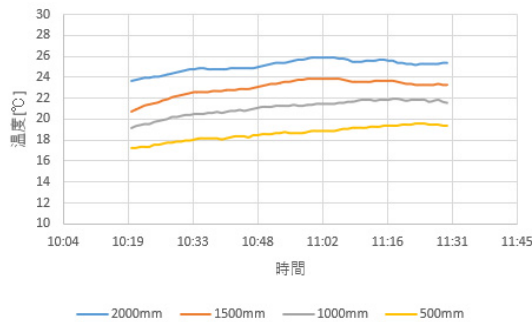


図-1 P2での温度経時変化(12月4日)

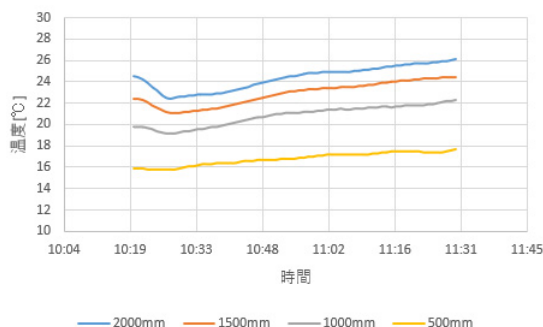


図-2 P2での温度経時変化(12月18日)

1.2 各地点の測定値の平均

12月4日と18日のP1～P4、P6～P9のCO₂濃度と温度の測定値の平均値は表-1、表2となった。測定高さ1,500mmの講義室M-23、M-24とP5(廊下)、P10(屋外)での湿度の平均値は表-3である。

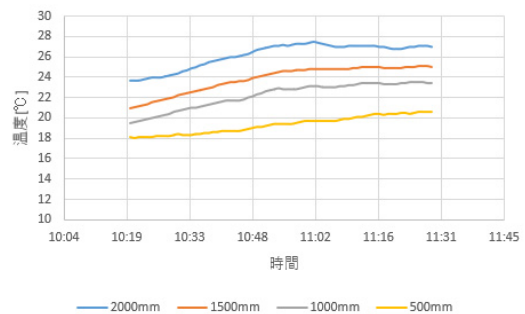


図-3 P7での温度経時変化(12月4日)

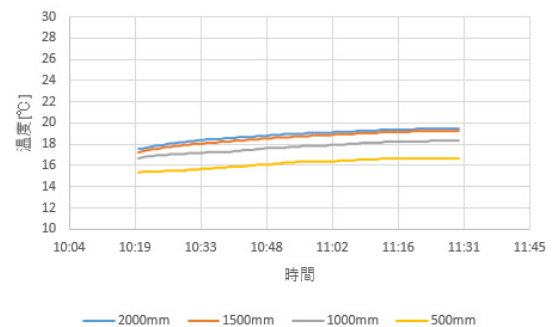


図-4 P7での温度経時変化(12月18日)

2. 考察

図-1～図-4では、足元の温度が一番低く、測定高さが高くなるにつれて温度も高い。CO₂の経時変化に比べ時間当たりの変化は穏やかで、足元側から天井側に向けて等高線のように温度が高くなる傾向が見られる。

表-2を見ると12月18日講義室M-23での測定高さ2,000mmの平均温度は18.3℃で、図-1～図-3と図-4を比べると明らかに低く、12月18日の講義室M-23の空調機は停止していたと予想す

表-1 M-23, M-24 での CO₂濃度の平均値 [ppm] (上段: 12月4日, 下段: 12月18日)

測定高さ [mm]	M-23					M-24				
	P6	P7	P8	P9	平均	P1	P2	P3	P4	平均
2,000	662	707	667	—	679	586	589	614	—	596
	1,015	1,095	1,072	—	1,061	921	893	887	—	900
1,500	837	862	891	829	891	606	712	824	628	693
	957	1,026	883	1,035	1,012	1,254	1,388	1,417	1,537	1,399
1,000	650	822	891	—	788	541	654	711	—	635
	771	827	883	—	827	829	965	1,014	—	936
500	640	655	711	—	669	515	583	611	—	570
	694	699	721	—	705	686	719	753	—	719
平均	697	762	826	829	—	562	635	690	628	—
	859	912	926	1,035	—	923	991	1,018	1,537	—

表-2 M-23, M-24 での気温の平均値 [°C] (上段: 12月4日, 下段: 12月18日)

測定高さ [mm]	M-23					M-24				
	P6	P7	P8	P9	平均	P1	P2	P3	P4	平均
2,000	26.4	26.0	26.4	—	26.3	24.6	25.0	24.8	—	24.8
	18.4	18.4	18.2	—	18.3	24.7	24.4	24.4	—	24.5
1,500	23.6	23.6	23.5	23.4	23.5	22.6	22.9	22.6	22.8	22.7
	18.2	18.0	18.1	17.8	18.0	22.9	22.9	22.8	22.5	22.8
1,000	22.2	22.0	21.8	—	22.0	20.8	20.9	20.2	—	20.6
	17.5	17.3	17.4	—	17.4	20.9	20.9	21.0	—	20.9
500	20.3	19.2	19.3	—	19.6	19.2	18.5	17.3	—	18.3
	16.3	15.7	15.9	—	16.0	18.0	16.6	17.5	—	17.4
平均	23.1	22.7	22.8	23.4	—	21.8	21.8	21.2	22.8	—
	17.6	17.4	17.4	17.8	—	21.6	21.2	21.4	22.5	—

表-3 相対湿度の平均値 [%RH]

測定高さ [1,500mm]	12月4日	12月18日
講義室 M-23	24	33
講義室 M-24	23	31
P-5(廊下)	33	42
P-10(屋外)	47	50

る。

表-1 の通り、全体的に 12月4日よりも窓の開きが小さい 18日の方が、CO₂濃度が高い。

18日の CO₂濃度は、空調機が止まっていた講義室 M-23 では測定高さ 2,000 mmと 1,500 mmでの CO₂濃度が同程度で共に高い。空調機が動いていた講義室 M-24 では測定高さ 1,500 mmでの濃度が特に高い。4日と比べた CO₂濃度上昇は、講義室

M-23 では測定高さ 2,000 mmでの濃度上昇が一番高く、講義室 M-24 では測定高さ 1,500 mmでの濃度上昇が一番高い。

18日の講義室 M-23 の P7 と講義室 M-24 の P2 での CO₂濃度を比較では、P7 の測定高さ 1,500 mmで 1,026ppm に対し、P2 では 1,388ppm と 362ppm の差があるにもかかわらず、平均値では P7 で 912ppm に対し P2 では 991ppm と 79ppm の差しかなかった。

平均値が同程度の値で、測定高さにより CO₂濃度の差が大きくなったことから、空調方式が鉛直方向の CO₂濃度分布に影響を及ぼすと考えられる。

表-3 から相対湿度の平均値は廊下や屋外が高いが、絶対湿度と相対湿度の差と考えられる。

B-1

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第1報) 飯舘村での事業実施の背景と再エネの現状、復興への寄与

○菊野 里絵, 小松崎 弘道 (一般財団法人ふくしま未来研究会),
石田 みゆき (㈱地域創造研究所), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯舘村),
赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part1, Background of Project Implementation, Current State of Renewable Energy, Contribution to Reconstruction in Iitate Village

Rie Kikuno, Hiromichi Komatsuzaki (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
Miyuki Ishida (Regional Creation Research Institute Co., Ltd),
Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village),
Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University)

キーワード：スマート農業 再生可能エネルギー熱 地中熱 復興

1. 福島第一原子力発電所の事故と環境汚染、全村避難指示

飯舘村は、「日本で最も美しい村」連合に加盟し、阿武隈山系北部の高原に位置する、豊かな自然に恵まれた村である。

東日本大震災後の東京電力福島第一原子力発電所の水素爆発事故による放射線物質の降下により、2011年全域が計画的避難区域に指定され、2017年3月末に一部地域を除いて避難指示が解除され、同4月に帰還が始まるまで全村避難を余儀なくされていた。

2. 避難解除から再生可能エネルギー導入へ

飯舘村では、震災前より低炭素型の村づくりに取り組んできた。

その一つとして、2010年には21世紀環境共生型住宅のモデル事業による建設促進事業として、村民に住宅断熱の性能を体験させることを目的に建設された省エネ住宅「までいな家」が挙げられる。これは、村民に住まいの部門からの二酸化炭素の排出削減を体験させる施設として運用していたものであり、①地球環境に配慮した温暖化対策、CO₂削減モデル住宅 ②新築だけでなく、村内の住宅改築での省エネ、CO₂削減のモデル住宅 ③飯舘村で活用できる自然エネルギーを活用したエコハウス ④厳寒地における暖房熱需要を極力減らすことのできる建物(無暖房住宅) ⑤木質バイオマス小規模地域熱供給システム(マイクロネ

ッツ) ⑥環境と親和性のある住宅 ⑦中央地区での景観、環境、緑地のデザインのモデルとなり、中央地区の景観形成のモデルとなる ⑧地域のゼロエミッションへの試み・・・等の意義をもって運用されていた。

震災・事故が発生した年の年末2011年12月に、飯舘村では「いいたてまでいな復興計画」を策定した。その中で、村は「①生命(いのち)をまもる②子どもたちの未来をつくる③人と人とがつながる④原子力災害をのりこえる⑤までいブランドを再生する」の5つの基本方針に沿って、村および村民一人ひとりの復興を目指すことを明らかにしている。

その重点プロジェクト(新までいな村構想)の一つとして、新たな村内拠点(スマートビレッジ)の形成を計画した。これは、原子力発電所の事故により中断してしまった「低炭素型地域づくり」を継承したもので、原子力発電所事故を乗り越え、エネルギーの自立をしつつ新しく雇用を生み出すことを目指した内容となっている。

その復興計画の柱の1つが再生可能エネルギー導入への取組である。2013年に、東光電気工事株式会社と飯舘村の共同出資による「いいたてまでいな太陽光発電株式会社」を創立。村所有の牧草地に出力10,000kWの太陽光発電所を建設し、また2020年9月には同敷地内に合計出力6,400kWの風力発電2基を増設した。連携枠を超えないよう太陽光発電と風力発電の出力を効率よく制御す

る「再エネ・クロス発電」の仕組みを取り入れた国内初の発電所となっている。

行政主導の取組ばかりではない。2014年、村民有志が「株式会社飯舘電力」を設立。再生可能エネルギーによる産業創造、地域の自立・再生を目指し、村内外での太陽光発電、ソーラーシェアリング事業を進めている。

このような中、村内の農業における脱炭素化は進んでいないのが実情である。園芸用施設内の加温では一般的に重油焚きボイラが用いられてきた。帰還後に営農再開事業等を活用して新設した園芸施設でも、多くが重油焚きボイラを主に利用している。ヒートポンプシステムと組み合わせて燃料代を大幅に削減する仕組みが主流になりつつあるが、化石系燃料を燃焼して加温するという基本的な考え方については震災前後を通して変わっていない。

3. 飯舘村の農業の特徴と今後の展望

飯舘村は、冷涼な気候を生かした高品質なトルコキキョウをはじめとする花卉類や、高原野菜の産地であった。

しかし、震災と原子力発電所の事故を経た今、10年を経過しようとしている中でさえ、放射線の影響への懸念は払拭されていない。出荷制限が解除されたとはいえ、いまだに一定割合の消費者からは「口にすることは飯舘村産は不安」という声が聞かれている。風評を考えると、飯舘村の土壌を使っただけの営農はまだ厳しい部分があると言わざるを得ない。

コロナ禍の中で見通しが立ちにくい状況ではあるが、村内での営農の展開を検討するにあたっての作物選定は、花卉類や高設（土壌を用いない）での果菜類の栽培を、再生可能エネルギーを熱源とした園芸施設で展開することで、かつての「低炭素型村づくり」を継承した営農モデルが構築できるのではないかと考えている。

4. 飯舘村の復興への寄与

震災前の村の基幹産業は農業であった。全村避難の期間を経て、復興創生期である今、一度失われた活力を取り戻し農業の再興を図ることは必須の課題である。飯舘村の地理や気候を生かした再生可能エネルギーを活用し、スマート農業の体系

を実証していくことで、村内の農業における脱炭素化への道筋をつけ、飯舘村の復興にも大きく寄与していくことができるものと考ええる。

参考文献

- 1) 菅野典雄:「美しい村に放射能が降った」,ワニブックス,p124-131,p134-184
- 2) 菅野典雄:「までの村」に帰ろう,ワニブックス,p16-39
- 3) 飯舘村役場HP,
<http://vill.iitate.fukushima.jp/soshiki/14/545.html> (2021.2.1 確認)

B-2

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第2報) 脱炭素・脱化石燃料を目指した地中熱・蓄熱・VPP導入と計画の概要

○赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
 菊野 里絵, 小松崎 弘道 (一般財団法人ふくしま未来研究会),
 石田 みゆき (㈱地域創造研究所), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯舘村),
 田中 雅人, 進堂 晃央, 中元 秀則 (ミサワ環境技術㈱),
 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業㈱)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part2, Outline of Ground Source Heat and Thermal Storage, VPP Introduction Plan Set Out to Decarbonizing and Defossil Fuel

Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
 Rie Kikuno, Hiromichi Komatsuzaki (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
 Miyuki Ishida (Regional Creation Research Institute Co., Ltd.),
 Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village), Masato Tanaka, Akio Shindou,
 Hidenori Nakamoto (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.),
 Koji Tanifuji (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.)

キーワード：地中熱 蓄熱 VRE セクターカップリング “Power to Heat” VPP スマート農業

はじめに

環境省が「脱炭素・資源循環『まち・暮らし創生』FS事業」を公募する。福島復興再生特別措置法対象地域内で、付加価値の高い農業を目指そうと、2020年度第2回目の募集に、国立大学法人福島大学が代表業務責任者、㈱リファー、ミサワ環境技術㈱、ゼネラルヒートポンプ工業㈱、飯舘村(福島県相馬郡)の4者が共同事業実施協力者として、「飯舘村における地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業FS調査」(以降、飯舘村スマート農業FS調査と記す)で応募、採択を受けた。

パリ協定やポスト・コロナ等の動向を踏まえて、再生可能エネルギー熱を利用した本FS調査が目指すスマート農業の方向性を探る。

ギーを生み出すことを目標に据える。関連産業の集積に向けた取組を加速させ、名実ともに福島県を再生可能エネルギーの「先駆けの地」とすることにした。

福島県は、震災から1年後の2012年3月に、再生可能エネルギー推進ビジョンを定め、「2040年を目途に、県内で消費するエネルギー需要の100%以上を再生可能エネルギーで生み出す」という目標を立てる。これにより、福島県内の再生可能エネルギー発電設備容量は、9年間で約8倍に増えた。太陽光(メガソーラー)発電は、2011年に363MWだったものが、2018年には1,993MWと飛躍的な伸びを見せ全国2位まで伸びる。また、風力発電は、全国5位である。

1. 再生可能エネルギー先駆けの地・福島

東日本大震災による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。原子力発電所事故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る。福島県は、復興計画も含め必然的に対応せざるを得なかった。政府や福島県は、政策に再生可能エネルギーを掲げ、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

2. “行き場のない太陽光発電”の活用

2018年10月13日(土)と翌10月14日(日)、九州電力が、離島以外での出力制御(太陽光・風力の発電業者に稼働停止を求める行為)を日本で最初に行う。その後、2018年末までに8回、2019年3月の1ヶ月間だけで16回出力制御を実施した。2019年度の出力制御日数は、74日に上った。

四国電力供給エリアでは、2019年5月5日に連休で電力需要が落ち込む中、太陽光発電が最大

出力 197 万 kW を記録して電力需要の約 90%を占める。翌 2020 年 5 月 5 日は、前年の 5 月 5 日と同等に太陽光発電が電力需要の 88%を占めた。一方で、5 月 3 日は 21%で、太陽光発電の発電量の不安定さを象徴した。

卸電力取引市場価格が 0.01 円/kWh の場合もある。さらに、仕組みの中で余剰電力を消費することにより収入が得られるネガティブプライスも有り得る。太陽光発電や風力発電等の発電量が大きく変動して、制御しにくい再生可能エネルギー由来の電力の活用方法が喫緊の課題である。

この天気任せで安定しない VRE (Variable Renewable Energy、変動性再生可能エネルギー)の余剰分を蓄電すれば良いが、導入コストが高く、また寿命も長くない。技術が確立していて、導入コストが安く、寿命の長いヒートポンプによる給湯の貯湯や暖冷房、加熱・冷却等の蓄熱にメリットがある。再生可能エネルギーの関連技術・産業の先行するドイツでは、セクターカップリングの概念で Power to Heat や Power to Gas の方向に進んでいる (Power : 電力、Gas : 水素)。

発電時に二酸化炭素を排出しない太陽光発電や風力発電を有効に活用するために、農業用のヒートポンプの稼働と蓄熱に、Demand Response や Smart Grid、VPP (Virtual Power Plant、仮想発電所) 技術との組み合わせの可能性を探るのも、本 FS 調査の主眼点である。

3. RE100 から RHC100 へ

(再エネ電力と再エネ熱が車の両輪)

国際的なイニシアチブ RE100 (Renewable Energy 100%) が大きく進展している。企業活動に関わる電気エネルギー消費の 100%を、再生可能エネルギーにする取り組みである。2014 年、に始めた。世界をリードする 261 社 (うち日本から 41 社) が加盟している (2020 年 11 月時点)。

RE100 に対して、2019 年に再生可能エネルギー熱の長期的なビジョン RHC100 (Renewable energy-based Heating and Cooling、略称 : Renewable Heating and Cooling) が策定された (Heating and Cooling : 加熱と冷却)。

再生可能エネルギー電力の普及拡大が著しく、太陽光発電による電力の受給バランスを考えても、RHC100 が重要である。RHC100 に、Demand

Response や Smart Grid の技術融合、VPP リソースとしてヒートポンプの稼働や貯湯・蓄熱の組み合わせが重要である。

4. VPP リソースとしての農業分野でのヒートポンプと蓄熱 (行き場のない太陽光発電の活用)

時間帯によって、“行き場のない太陽光発電”を活用して、蓄熱や貯湯を伴うヒートポンプによる冷却・加温・除湿は、この動向に不可欠で、RHC100 の考え方にに基づき、再生可能エネルギー熱利用も拡大させる必要がある。つまり、石油や石炭を焚いて熱を得るのではなく、VRE を上手に使い、ヒートポンプで電力を熱に転換して使う Power to Heat にシフトさせるのが賢明だ。飯舘村スマート農業 FS 調査でも、農業用ハウスの冷却・加温・除湿に電力を使ったヒートポンプに置き換えることで、余剰電力を有効に利用できる。

一方で、2020 年 7 月に日本政府が方針を固めた、2030 年度までに国内にある約 140 基の石炭火力発電所のうち約 100 基の非効率な旧式発電所を休廃止の対象とする方針がある。福島県内の石炭火力発電所は、現在稼働している 13 基 (出力合計 : 約 700 万 kW) の内、非効率な 8 基 (出力合計 : 約 360 万 kW) が休廃止の対象になる。この非効率な石炭火力発電所の休廃止により、東日本大震災後と同様に、時間帯や季節によっては電力不足が予想され、下げ Demand Response (需要抑制型 Demand Response) も必要になると予想されている。

5. 飯舘村スマート農業 FS 調査

日本の食料自給率は低い。毎年、輸出入の収支で約 6 兆円の赤字である。国内食農産業でのインフラ・イノベーションにより、農業を活性化して海外へのお金の流出を止めることが大切であると考えている。飯舘村で生産された農作物の消費地を首都圏や仙台圏と想定すると、フードマイレージの指標でも有利である。

本 FS 調査で、飯舘村内にある既存の農業用ハウスに、地中熱ヒートポンプシステムを構築して、再生可能エネルギー由来の余剰電力を使用してヒートポンプを稼働させ蓄熱させた場合の省エネルギー効果や CO₂ 削減効果を検証するとともに、VPP リソースの実現可能性を調査・検討する。

B-3

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第3報) 農業分野での冷却・除湿等の優位性と蓄熱・VPPの活用の検討

○赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
 早瀬 訓, 山谷 佳枝, 恩田 徳雄, 塚崎 孝, 瀬川 和幸 (東北電力株),
 渡辺 武彦, 佐藤 秀一 (株ユアテック), 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業株),
 菊野 里絵 (一般財団法人ふくしま未来研究会), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯館村),
 田中 雅人 (ミサワ環境技術株)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part3, Advantages of Cooling and Dehumidification, Consideration of Thermal Storage and Utilization of VPP in agricultural field

Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
 Satoru Hayase, Yoshie Yamaya, Tokuhō Onda, Takashi Tsukasaki, Kazuyuki Segawa
 (Tohoku Electric Power Co., Inc.), Takehiko Watanabe, Shuichi Sato (Yurtec Corporation),
 Koji Tanifuji (GENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.),
 Rie Kikuno (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
 Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village),
 Masato Tanaka (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.)

キーワード：地中熱ヒートポンプ 冷却 除湿 蓄熱 VRE VPP スマート農業

1. フリークーリングを含む冷却・除湿による脱炭素化、収穫量増加と品質向上

いわき市内の農業用ハウスでは、2014年からヒートポンプの冷房利用によるトマトの収穫量増加に関する研究を東北電力株研究開発センターと共同で取り組んだ。実証試験の冷房利用の効果として、9月～11月の生産量が40%増加した他、秀品率が60%から70%以上に向上、品質も上がった。

冷房による除湿効果により、高湿に伴う病気や苗の欠損が減少した。暖房では、ヒートポンプと重油暖房機を組み合わせたハイブリッド熱源シ

テムを採用して、周辺のトマト農家の光熱費より約20%削減した。除湿による植物へのカビの発生を抑制することによる品質の向上は、他の農産物でも数多く実用化されている。

例えばイチゴでは、図-1に示す形態で、株元や果実を加温することでハウス内の暖房温度が5℃であっても収穫量の増加(図-2)や暖房熱量の低減(図-3)を図ることができる。また、低温による障害果(種浮果)の発生率も低減できる栽培法が行われている(図-4)。

これらの熱源に、地中熱によるフリーヒーティ

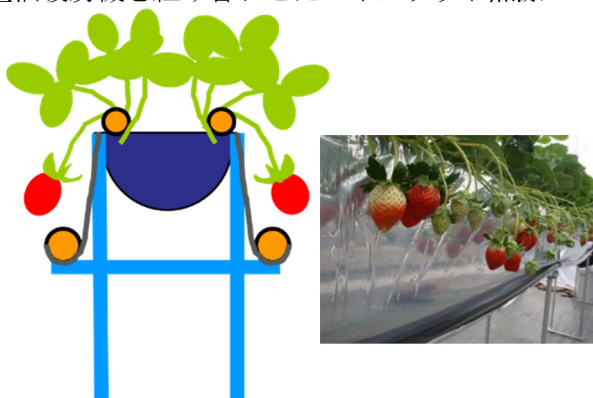


図-1 イチゴの温度制御パイプ+アルミシートによる局所加熱栽培 (深山陽子)

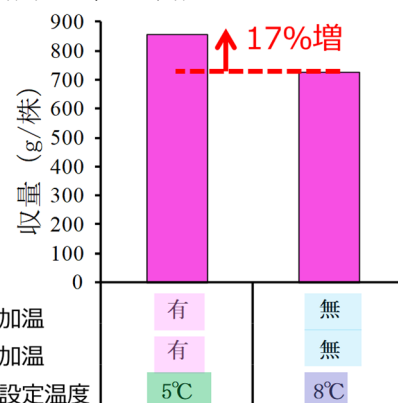


図-2 イチゴの局所加熱が収穫量に及ぼす影響 (深山陽子)

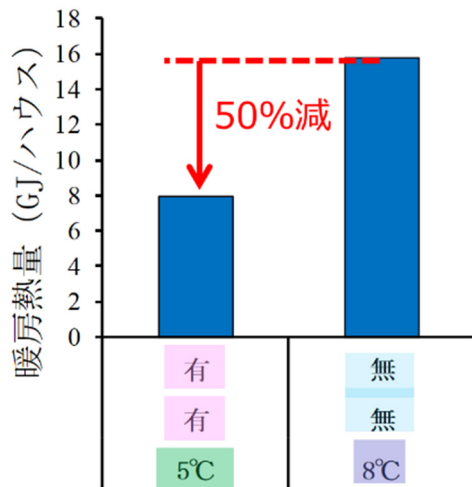


図-3 イチゴの局所加熱が暖房熱量に及ぼす影響 (深山陽子)

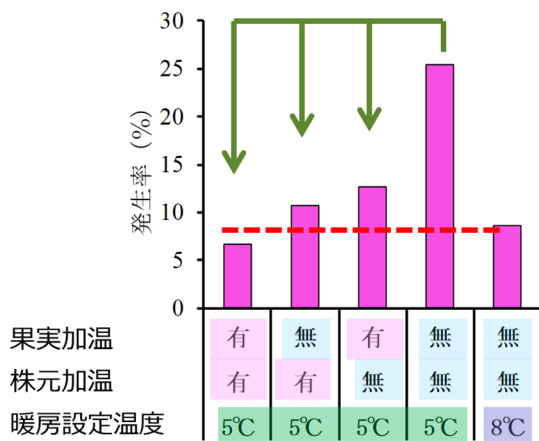


図-4 イチゴの局所加熱と暖房温度が障害果 (種浮果) の発生率に及ぼす影響 (深山陽子)

ングや熱の温度カスケード利用の低温側利用の可能性も検討する。

冷却と加温は、トマトやイチゴ、アルストロメリアやトルコキキョウ花卉類の栽培の他、放射(輻射)冷却による貯蔵への利用を想定する。トマトとイチゴの栽培では、土壌からの放射線の影響を受けやすい土耕栽培を避けて、水耕栽培や隔離培地を用いることに設定する。

イチゴは、隔離培地を使った栽培法と局所加温・冷却技術による収穫量の増加、市場単価の高価なクリスマスに合わせた出荷調整を図ることができる。トマトは、養液加温・冷却設備を装備した点滴かん水による隔離培地が増えている。

アルストロメリアやトルコキキョウは、飯舘村

で多く栽培された花卉である。アルストロメリアは、飯舘村の気温に類似した札幌近郊の石狩郡新篠津村で、フリークーリングと地中熱ヒートポンプの使い分けによる地中冷却による収穫量の大幅な増加が確認されている。

農作物の冷却貯蔵では、対流式の冷却でなく、放射式を用いることで長期間保存をしても品質低下を避けられることがある。施設園芸では、農業用ハウス内の空気を加温・冷却するのではなく、局所や養液、土壌等を加温・冷却することで、省エネルギー化や脱炭素化を図る方向性がある。

2. VRE の蓄熱・VPP の活用の検討

本 FS 調査のシステムには密閉式蓄熱槽を組み込み、VRE によりヒートポンプを稼働させて蓄熱する。ヒートポンプの稼働と蓄熱は、VPP 導入の可能性を検討、想定する。これにより、発電時に CO₂ を排出しない太陽光・風力発電等の有効利用が図られることから、CO₂ 排出削減量を評価する。

日本国内では、VPP の需要側のリソースを、年間を通して熱負荷のあるヒートポンプ給湯機と貯湯槽の組み合わせに求める傾向がある。蓄熱槽を持たないオフィスビルや事務所系テナントビル等の空調熱負荷は、中間季を除く平日の日中の 8~10 時間程度のみに見えることからヒートポンプ空調システムは VPP のリソースになりにくいと認識されつつある。

農業用ハウスでは、作物の種類により加温と冷却が必要な時期が異なり、多品種を栽培することで年間を通してヒートポンプを稼働する期間が長くなる。また、土日曜日や休日にもヒートポンプを稼働するし、日射や外気温の影響を受けやすい農業用ハウスという特性がある。季節や設定温度によっては、同じ日や翌日に加温の必要な時間帯と冷却が必要な時間帯が現れる可能性があることから、冷暖同時取出地中熱ヒートポンプの稼働と蓄熱が VPP リソースの役割を持たせることができることを検討する。

参考文献

- 1) 趙玉亮:施設トマト栽培におけるヒートポンプの夏の冷房利用—いわき市・あかい菜園の取り組み—, 調査と情報(農林中金総合研究所), 第 62 号, pp.10-11 (2017 年 9 月)

B-4

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第4報) 地中熱利用のための地盤特性と地中熱交換器埋設工法計画

○進堂 晃央, 田中 雅人, 中元 秀則 (ミサワ環境技術(株)),
赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
菊野 里絵 (一般財団法人ふくしま未来研究会), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯舘村),
谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業(株)),

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part4, Thermal properties of Ground considering the use of Ground Source Heat and Installation Plan for Ground heat exchanger.

Akio Shindou, Masato Tanaka, Hidenori Nakamoto
(Misawa Environmental Technology Co., Ltd.),
Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
Rie Kikuno (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village),
Koji Tanifuji (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.)

キーワード：地中熱ヒートポンプ 地盤特性 熱応答試験 地中熱交換器 埋設工法

はじめに

第2報の通り、福島県飯舘村において農業ハウスの温度制御に地中熱を活用する実証調査を実施している。本事業では農業用ビニールハウスの隣にハウス加温用ヒートポンプの熱源として深さ70mの地中熱交換器を2本埋設した。これに隣接して、産業技術総合研究所の「被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業」(以下シーズ事業)にて埋設された深さ50mの地中熱交換器が1本埋設してある。この50mの地中熱交換器にて行われた熱応答試験から地盤の有効熱伝導率を算出し、飯舘村の地盤特性を評価した。

1. 飯舘村と現地の地盤

地盤の有効熱伝導率の値が高いと、例えば冷房・冷却の場合であれば冷房排熱で温まった地盤の熱を周辺に伝え易いことから、地中熱ヒートポンプの効率が高くなる。日本シームレス地質図¹⁾による飯舘村周辺の地質は、花崗岩が分布している。一般的な地盤の有効熱伝導率は表-1の通りで、花崗岩は3.5W/(m・K)で高い値を示す。建築物省エネ法(建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律)で、地中熱ヒートポンプシステムの計算に用いる地盤の有効熱伝導率は、熱応答試験を

施しない場合のデフォルト値を1.2W/(m・K)としている。日本国内の有効熱伝導率の平均的な値は1.5W/(m・K)前後とされている。このように、花崗岩の有効熱伝導率は高いことから、地中熱ヒートポンプシステムに適していると判断できる。

表-1 地盤・岩盤の有効熱伝導率²⁾

	有効熱伝導率[W/(m・K)]	
	飽和	不飽和
砂	1.53	1.19
砂礫	2.0	
シルト	1.44	
粘土	1.27	0.92
火山灰	1.18	0.90
泥炭	1.22	0.88
ローム層	1.0	0.72
岩(重量)	3.1	
岩(軽量)	1.4	
花崗岩	3.5	

2. 熱応答試験結果

熱応答試験ではヒーターによって加熱した水を地中熱交換器内に循環させ、地中熱交換器の循環水温度と流量を計測する温水循環試験と、この温水循環試験終了後に地中熱交換器内に事前に設置

した温度センサーにより地中温度の回復状況を計測する温度回復試験を実施した。これらの試験は「一定加熱・温水循環方式熱応答試験 (TRT) 技術書」³⁾に基づいて行った。それぞれの計測データから、循環時法と回復時法を用いて地盤の有効熱伝導率の解析を行った結果を表-2に示す。各解析方法の平均は2.76W/(m・K)となった。

表-2 熱応答試験結果一覧

	有効熱伝導率[W/(m・K)]
循環時法	2.99
回復時法	2.52
平均	2.76

深さ70mの地中熱交換器を埋設した際に行ったボーリングの柱状図を図-1に示す。GL-15mまでが砂質土、それ以深は風化花崗岩となっている。GL-50m以深も風化花崗岩が続くため、70mまでの有効熱伝導率も2.76W/(m・K)とほぼ同等の値であると推測できる。また、一般的な花崗岩よりも風化が進んでいるため、有効熱伝導率は前述した3.5W/(m・K)よりもやや低い値となった。しかしながら日本国内の平均的な値よりもかなり高い値であるため、地中熱ヒートポンプシステムの利用に非常に有効だと考えられる。

3. 地中熱交換器埋設工法

地中熱交換器を埋設する際に行ったボーリングはダウンザホールハンマー式掘削工法を採用した。この工法は、安定した硬岩の掘削に最適な工法で、他の掘削工法と比較して掘進速度が速い。また、削流体にエアを使用することから、泥壁形成がなく、地盤の熱伝達を損なうこともない。地下水が豊富にある場合は、大規模な濁水処理対策が必要であるが、当該敷地でのボーリングの際は、地下水も60L/min程度と少なかった。よって、ボーリングはスムーズに行うことができ、掘削から地中熱交換器の埋設まで2日間で行うことができた。当該敷地付近でボーリングを行う際は、ダウンザホールハンマー式掘削工法で行うのが望ましいと思われる。

謝辞

熱応答試験の測定結果は、産業技術総合研究所

の「令和2年度被災地企業等再生可能エネルギー技術シーズ開発・事業化支援事業」の成果である。ここに謝意を表する。

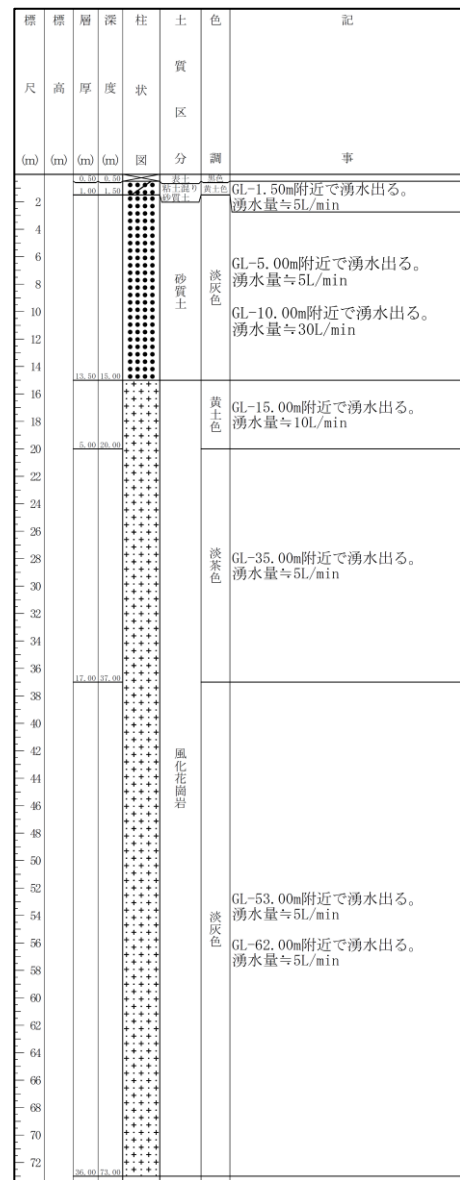


図-1 柱状図

参考文献

- 1) 産総研地質調査総合センター:20万分の1日本シームレス地質図 (<https://gbank.gsj.jp/seamless/seamless2015/2d/>)
- 2) 北海道大学環境システム工学研究室編:地中熱ヒートポンプシステム(2020)
- 3) NPO 法人地中熱利用促進協会編:一定加熱・温水循環方式熱応答試験 (TRT) 技術書 (2018)

B-5

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第5報) 遠隔監視・制御の有効性と冷暖同時取出地中熱ヒートポンプの概要

○小倉 怜子, 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業(株)),
 赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
 菊野 里絵 (一般財団法人ふくしま未来研究会), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯舘村),
 田中 雅人, 進堂 晃央 (ミサワ環境技術(株)), 山谷 佳枝, 早瀬 訓 (東北電力(株)),
 渡辺 武彦, 佐藤 秀一 (株ユアテック)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part5, Outline of Effectiveness of Remote Monitoring and Control, Ground Source Heat Pump for Simultaneous Cooling and Heating

Reiko Ogura, Koji Tanifuji (GENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.),
 Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
 Rie Kikuno (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
 Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village),
 Masato Tanaka, Akio Shindou (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.)
 Yoshie Yamaya, Satoru Hayase (Tohoku Electric Power Co., Inc.),
 Takehiko Watanabe, Shuichi Sato (Yurtec Corporation)

キーワード：地中熱ヒートポンプ 遠隔監視 遠隔制御 冷暖同時取出 スマート農業

はじめに

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画にて、第5報では再生可能エネルギーを利用した冷暖同時取出地中熱ヒートポンプシステムの概要と、スマート農業実践における遠隔監視と制御の有効性について報告を行う。

1. 冷暖同時取出地中熱ヒートポンプシステムの概要

一般的なヒートポンプシステムは冷房・冷却時は温熱を外に捨て、暖房・加熱時には冷熱を外に捨てている。冷暖同時取出ヒートポンプシステムは捨てていた温熱、冷熱を有効利用することで、より省エネルギーなヒートポンプの運転が可能になる(図-1)。

さらにヒートポンプの熱源に地中熱を利用することでより省エネルギーなシステムとなる。

2. 冷暖同時取出地中熱ヒートポンプシステムの有効性

再生可能エネルギー由来の電力によりヒートポンプを活用することは、脱炭素・脱化石燃料化に

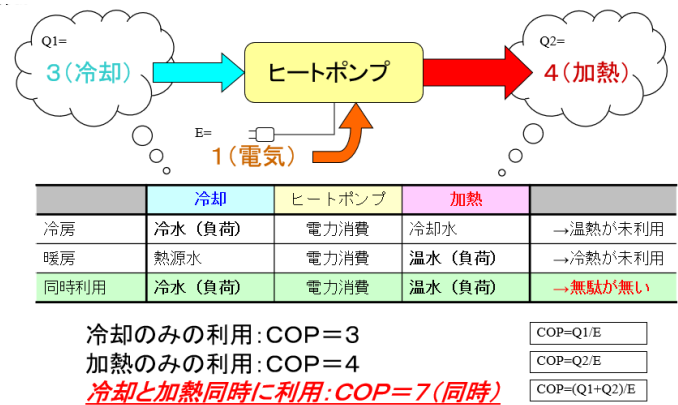


図-1 冷暖同時取出地中熱ヒートポンプシステムのエネルギー効率

重要である。しかし、寒冷地での空気熱ヒートポンプの稼働は、暖房時や加温時に屋外機の熱交換器に霜が付くことから、デフロスト運転(除霜運転)をする必要があり効率が落ちる。積雪地では雪が屋外機の熱交換器に付着するために、更に効率が低下する。地中熱はデフロスト運転の必要がなく、効率が良い。地中熱利用ヒートポンプシステムは、年間を通して温度変化の少ない土壌の熱を熱源とすることから、ヒートポンプで一般的な

空気熱より効率が高い。

農業ハウスは、一般的な建物に較べて断熱性や気密性が低く、外気の影響を受けやすい。このため、春季～夏季～秋季の期間は、昼間は冷房・冷却、夜間は暖房・加熱と言うように、1日の間にヒートポンプの運転状況が変化する可能性がある。そこで、冷温水同時取出ヒートポンプ（排熱回収式ヒートポンプ）と蓄熱槽を組み合わせたシステム構成が良い。

3. 遠隔監視と制御による脱炭素化と就労軽減による定職化

ヒートポンプシステムの遠隔によるデータ監視と調整、制御等によるシステムの最適化は、建築設備分野でチューニングを伴うコミッションング、エネルギーマネジメントの手法で行われている。システムの最適化によって、ヒートポンプの稼働を含むシステム全体の脱炭素化を図ることができる。ヒートポンプ等の熱源制御・監視システムは、現地の状況を見える化し、遠隔監視センターで24時間・365日監視する。農業事業者がタブレット端末でリモート接続し、遠隔から運転状況を確認、操作も可能である。(図-2)

日本でもオランダ式農業を取り入れたスマート農業が進もうとしており、IoTを活用した栽培環境をコントロールするモニタリング・遠隔制御システムが開発している。例えば、トマト栽培であれば室温、CO₂濃度、土壌水分、日射をセンシングして制御する。イチゴだと、室温、CO₂濃度、水温、流量をセンシングして制御する。

これらの技術を本FS事業の次のステップでどのように組み入れることができるか考察を行いたい。前項で述べたように1日の間にヒートポンプの運転状況を変えなければならない毎日現場に赴いて状況確認、操作をするのではなく、遠隔

から状況確認・操作が可能になればより週休二日制の実施がしやすくなり、就労が定着し、飯舘村の復興に繋がるものと考えている。

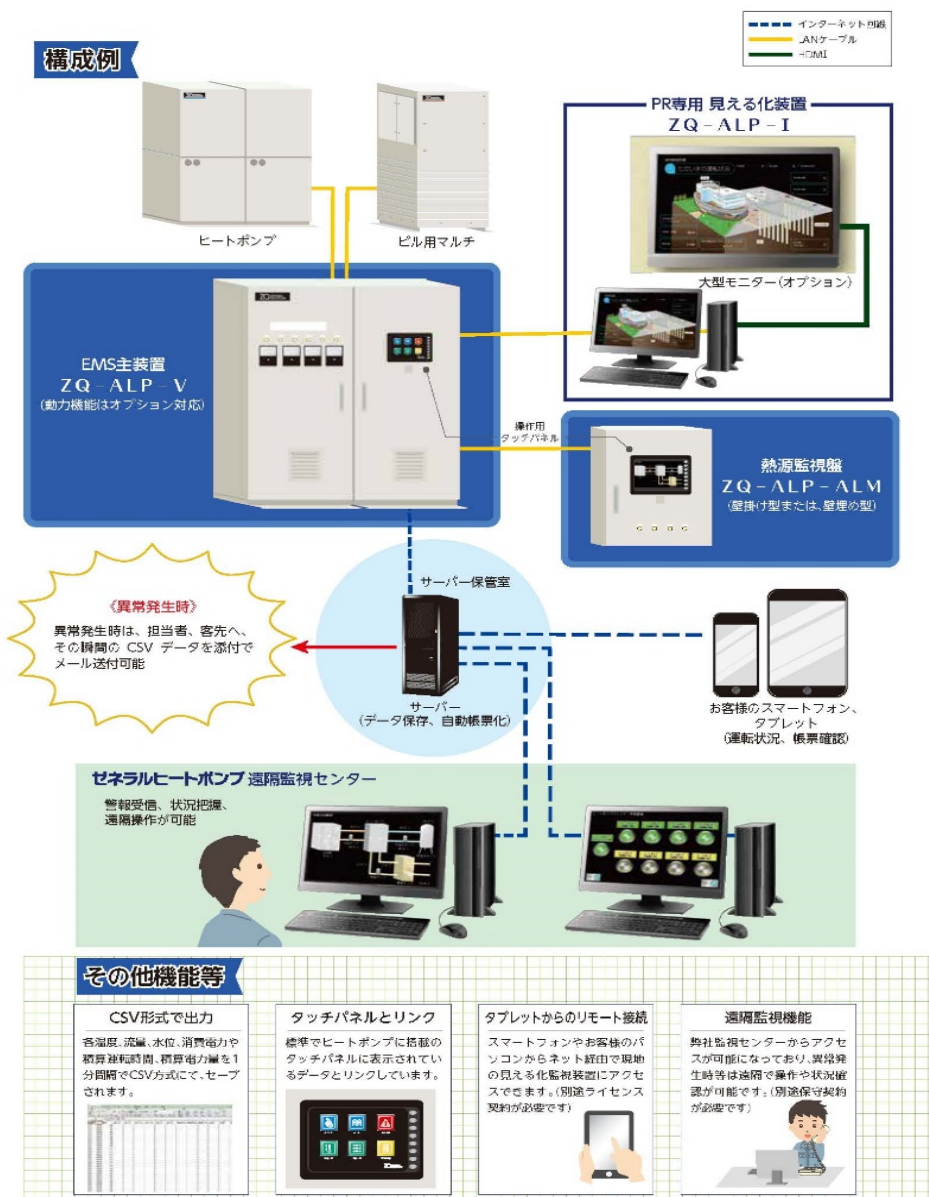


図-2 熱源制御・監視システムの例 (ゼネラルヒートポンプ工業株)

B-6

地中熱・蓄熱・VPP によるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第6報) 冷暖同時取出地中熱システム計画と有効性

○谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業㈱),
 赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
 早瀬 訓, 山谷 佳枝, 恩田 徳雄, 塚崎 孝, 瀬川 和幸 (東北電力㈱),
 渡辺 武彦, 佐藤 秀一 (㈱ユアテック),
 菊野 里絵 (一般財団法人ふくしま未来研究会), 杉岡 誠, 庄司 伸也 (飯舘村),
 田中 雅人 (ミサワ環境技術㈱)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part6, Planning and Effectiveness of Ground Source Heat Pump System for Simultaneous Cooling and Heating

Koji Tanifuji (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.),
 Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
 Satoru Hayase, Yoshie Yamaya, Tokuhiko Onda, Takashi Tsukasaki, Kazuyuki Segawa
 (Tohoku Electric Power Co., Inc.), Takehiko Watanabe, Shuichi Sato (Yurtec Corporation),
 Rie Kikuno (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
 Makoto Sugioka, Shinya Shoji (Iitate Village),
 Masato Tanaka (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.)

キーワード：地中熱ヒートポンプ 冷暖同時取出 システム計画 スマート農業

はじめに

地中熱・蓄熱・VPP によるスマート農業実践のための関連事項調査と計画において、第5報では遠隔監視・制御の有効性と冷暖同時取出地中熱ヒートポンプの概要について報告を行ったが、本報では、冷暖同時取出地中熱システムの計画と有効性について報告を行う。

1. 地中熱ヒートポンプと蓄熱による脱炭素化

飯舘村の気温は、札幌市に近いとされている。過去20年間のAMeDASデータを用いて、月ごとの気温、日照時間、平均風速を飯舘と札幌で比較したものを、図-1に示す。

特に日最低気温を比較すると、飯舘村と札幌市は、ほぼ変わらない。12月～2月までは飯舘村が、わずかに気温が高く、8月は1.0℃低い。年間の日最低気温の平均値は、飯舘村が4.9℃、札幌市が5.3℃である。

このような寒冷地における空気熱源ヒートポンプの稼働は、暖房時に屋外機の熱交換器に霜が付くことから、デフロスト運転(除霜運転)をする必要があり効率が落ちる。積雪地では雪が屋外機

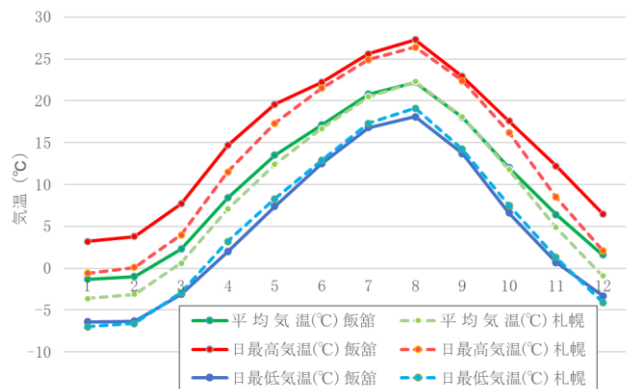


図-1 飯舘村と札幌市の平均・日最高・日最低気温の月ごとの比較

の熱交換器に付着するために、更に効率が低下する。地中熱はデフロスト運転の必要がなく、効率が良い。地中熱利用ヒートポンプシステムは、年間を通して温度変化の少ない土壌の熱を熱源とすることから、一般的な空気熱ヒートポンプより効率が低い。

環境省のパフレット『地中熱利用システム』によると、地中熱ヒートポンプのCO₂排出量の試算では、オフィスビルにおいては空気熱源ヒート

ポンプに比べ年間 25%の削減、積雪寒冷地などで暖房や融雪に使う油焚ボイラに比べ 53%の削減が見込まれるとしている。¹⁾

地中熱ヒートポンプを農業用ハウスの加温・冷却の熱源に利用することで、脱炭素・脱化石燃料に繋がる。農業ハウスは、一般的な建物に比べて断熱性や気密性が低く、外気の影響を受けやすい。このため、春季～夏季～秋季の期間は、昼間は冷却、夜間は加熱と言うように、1日の間にヒートポンプの運転状況が変化する可能性がある。そこで、冷温水同時取出ヒートポンプと蓄熱槽を組み合わせたシステム構成が良い。冷却の COP (成績係数) を 3 と仮定すると、冷暖同時取出のヒートポンプは冷却 COP3 と加熱 COP4 の合算の COP7 となり、効率が上がる。

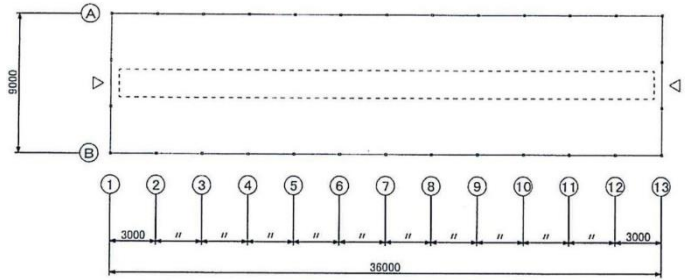


図-2a 農業用ハウスの平面図

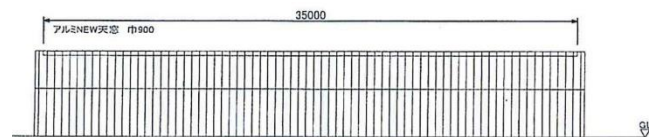


図-2b 農業用ハウスの立面図

2. 農業用ハウスの概要

飯舘村菅田地区にある既存の農業用ハウス (36m×9m) を 5 エリアに分割して、両端の 2 エリアを除く 3 エリアを、冷却エリア、加温エリア、機械設置エリア (システム設置スペース) として、冷暖同時取出地中熱ヒートポンプシステムを構築する (図-2a と図-2b)。冷却エリアと加温エリアの温度を設定、外気温度や日射等の影響を受けやすい農業用ハウス内で、模擬負荷 (ファンコイルユニット) を稼働させて、電力消費量や温度・流量等から CO₂ 排出削減量を定量化する。

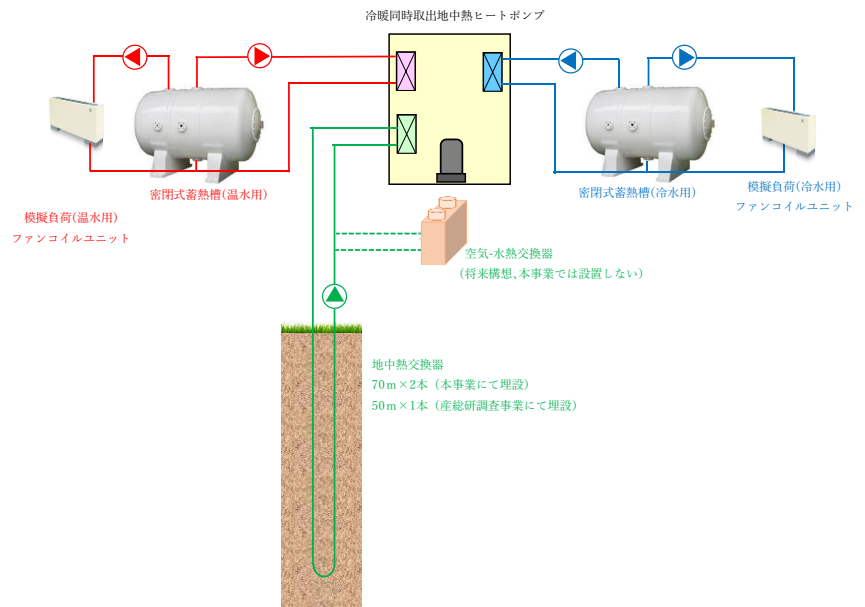


図-3 冷暖房同時取出地中熱ヒートポンプシステム系統図

3. 冷暖房同時取出地中熱ヒートポンプシステム

冷暖房同時取出地中熱ヒートポンプシステムの系統図を、図-3 に示す。地中熱ヒートポンプの加熱能力は 13.0kW である。暖房室、冷房室の面積をいずれも 58.5m²、単位面積当たりの熱負荷を 200W/m² とすると、暖房、冷房の熱負荷は 11.7kW となりヒートポンプ能力は熱負荷を満たす。

密閉式蓄熱槽は温水用、冷水用に 1.5ton を 2 式、模擬負荷用のファンコイルユニットは温水用、冷水用にそれぞれ 6.5kW を 2 台、計 4 台設置して計画を行った。

計画したシステムにおいて、地中熱源による加熱試験、冷却試験および冷暖同時試験の 3 モードの実証試験を行う。蓄熱する温水温度、冷水温度は作物によっても最適温度がことなることから変化させて試験を行い、模擬負荷用のファンコイルの出力も変化させる。実証試験より得られた結果より、地中熱と蓄熱の有効性の検証を行う。

参考文献

- 1) 「地中熱利用システム」、環境省, 2019年3月

B-7

地中熱・蓄熱・VPPによるスマート農業実践のための関連事項調査と計画

(第7報) 本事業に基づく今後の展開と将来に向けて

○庄司 伸也, 杉岡 誠 (飯舘村), 赤井 仁志, 深山 陽子, 大黒 太郎, 齊藤 裕 (福島大学),
 菊野 里絵, 小松崎 弘道 (一般財団法人ふくしま未来研究会),
 石田 みゆき (㈱地域創造研究所), 田中 雅人, 進堂 晃央, 中元 秀則 (ミサワ環境技術㈱),
 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ工業㈱)

Research and Planning for Smart AgTech (Agriculture Technology) Practice using Ground Source Heat, Thermal Storage and VPP, Part7, For future Development and Plans Based on The AgTech Feasibility Study Project

Shinya Shoji, Makoto Sugioka (Iitate Village),
 Hitoshi Akai, Yoko Miyama, Taro Daikoku, Yutaka Saito (Fukushima University),
 Rie Kikuno, Hiromichi Komatsuzaki (The Society for the Study of Fukushima's Better Future),
 Miyuki Ishida (Regional Creation Research Institute Co., Ltd), Masato Tanaka, Akio Shindou,
 Hidenori Nakamoto (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.),
 Koji Tanifuji (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., Ltd.)

キーワード：スマート農業 再生可能エネルギー 展開 将来構想

はじめに

飯舘村では、東日本大震災の原子力災害により、放射能汚染による危険にさらされたうえ、全村避難を余儀なくされた。平成29年3月末に一部地域を除いて避難解除がなされたが、令和3年1月1日現在の村民の帰還者数は震災前の約2割に留まっており、帰還者及び移住者増に向け、魅力ある村づくりに向けて歩みを進めている。

こういった中、東日本大震災から10年が経過することに伴い、新しい村づくりを進めるため、本村の村づくりの指針を総合的・体系的にまとめた総合振興計画の見直しを行い、令和2年9月に「飯舘村第6次総合振興計画」を策定した。

本計画の重点事業の一つとして、地球規模での環境問題について、村民の意識向上をはじめ、環境負荷を低減できるライフスタイルの推進に向けた取り組みを進めることが掲げられている。本実証試験が、村民の脱炭素化に向けた意識向上のきっかけ及び村の基幹産業である農畜産業の新たな可能性の発掘に繋げていけるものだと考える。

1. 飯舘村における再生可能エネルギーへの取組

前項で述べたとおり、飯舘村では、東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、全村避難を余儀なくされた。村では全村避難直後から、村民や有識者を交え、「村民一人ひとりの復興」を目指し、「いいたてまでいな復興計画(第1版～

第5版)」を策定し、日々直面する課題から中長期的な復興事業まで、定期的に見直しを行ってきた。

こうした経緯の中、「いいたてまでいな復興計画(第1版)」の基本方針の一つである「までいブランドを再生する」の長期施策「再生可能エネルギー産業の導入、確立」等に基づき、関係各所との審議等を経て、村内で太陽光発電及び風力発電の再生可能エネルギー事業を展開している。

また、令和2年9月には、民間企業と飯舘村が共同出資して設立した「いいたてまでいな再エネ発電株式会社」が事業主体となり、太陽光発電と風力発電を組み合わせる国内初の「再エネ・クロス発電」の運用を開始した。これは、既存のメガソーラーの連携枠(10MW)を活用し、夜間や曇天など太陽光が連携出力に満たない時に風力発電の発電電力を送電するものである。

これらの再生可能エネルギー事業で得られた財源等を活用し、本村の復興、新しい村づくりに向けた様々な施策を展開している。

2. 飯舘村における農業の現況

平成29年3月末の避難指示解除(全20行政区中、長泥地区を除く19地区)後、平成29年度から令和元年度までの3か年間で、村独自の「飯舘村営農再開ビジョン」に位置付けた「生きがい農業」従事者は、約360件に達している一方、農業を生業とする「なりわい農業」従事者は約100件程度に留まっている。これは震災前の約8%程

度である。

「生きがい農業」従事者が速やかに「なりわい農業」にステップアップすることは農畜産業を基幹産業としてきた純農山村である本村の復興にとって必要不可欠なことであり、そのステップアップのために「農業者の意欲」を掻き立てる新たな施策の展開、可能性の発掘が必須であると考ええる。

3. 再生可能エネルギーを活用した農業活性化の可能性調査

飯舘村は寒冷地であり、農業用ハウスによる農業を検討する農家にとって、夏季の冷房もさることながら、冬季の加温にかかる暖房費は、大きな課題の一つでもある。

本実証試験で実施する地中熱源を利用したヒートポンプシステムはインシャルコストが高額であるという課題がありつつも、耐用年数が長く、メンテナンスがほとんど不要であることから、ランニングコストが安価であるため、長期的な視点で考えた場合、導入へのハードルが比較的低いものとする。また、化石燃料を直接利用しないため、地球温暖化の原因となるCO₂(温室効果ガス)を直接排出しないことでクリーンなエネルギーでもあり、脱炭素化に向けた住民意識の向上に繋がることも期待できる。

本村の土壌・岩盤は有効熱伝導率の高い花崗岩が多く、地中熱ヒートポンプを実施するにあたり地理的優位性を有していると考えられる。本実証試験を通し、本村の土壌から天候や季節に左右されず、安定した熱源としての利用が可能なエネルギーを確保できるかのデータを取得し、前項で述べた「農業者の意欲」を掻き立てる新たな施策展開に繋げていく。

B-8

VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用

(その3) 日帰り入浴施設の概要、システムと時間帯別のヒートポンプ性能

○ 堀岡 建吾, 安岡 稔弘, 小野坂 充央, 三島 潤也 (㈱四電技術コンサルタント),
 天野 雄一朗, 藤井 良平, 松田 健太郎 (四国電力(株)),
 赤井 仁志 (福島大学 / 北海道大学), 濱田 靖弘, 土山 紘平, 猪俣 海斗 (北海道大学)

Utilization of central hot water supply system including hot water storage as VPP resources
 (Part 3) Outline of One-day Bath Facility, Heat Pump Performance by System and Time Zone

Horioka Kengo, Yasuoka Toshihiro, Onosaka Michio, Mishima Junya (Yonden Consultants)
 Amano Yuichiro, Fujii Ryohei, Matsuda Kentaro (Shikoku Electric Power Co.,Inc)
 Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University),
 Hamada Yasuhiro, Tsuchiyama Kohei, Inomata Kaito (Hokkaido University)

キーワード：再生可能エネルギー VPP 給湯 貯湯 ヒートポンプ 入浴施設

はじめに

現在再生可能エネルギーの需要は世界中で高まっている。今後、再生可能エネルギー電力が増加することで出力制御の可能性が高くなることが予想されており、需要家での電力需要が少なくなり、太陽光発電などが多くなるハルヤ秋に起こる電力供給過多の解決策の一例として、DR(Demand Response)による蓄熱や蓄電が挙げられる。空調設備は中間期に稼働率が低くなるため、上げ DR の観点においては、通年で利用可能な電気式給湯設備が注目されており、実設備を対象とした検討が進んでいる。

また、地域に分散するエネルギーリソースを IoT や Smart Grid などの技術を使い遠隔制御・集約することで、あたかも一つの発電所のように機能させる VPP (Virtual Power Plant) が普及・発展しようとしている。VPP では、ヒートポンプ給湯機を稼働させて貯湯や蓄熱をすることも想定しており、今後、貯湯を含んだヒートポンプ給湯機が Smart Community に組み込まれることが予想される。

本報は VPP リソースとしての中央式給湯設備の活用に関する一連の研究^{1),2)}の第3報であり、日帰り入浴施設の概要、システムと時間帯別のヒートポンプ給湯機の性能について述べる。

1. 調査対象の日帰り入浴施設の概要

本研究の解析対象施設は徳島県の日帰り温浴施設である。この施設で使用する貯湯槽は開放型貯湯槽であり、貯湯槽の寸法は幅 4m、奥行 4m、

高さ 3m で、呼称容量は 48,000L だが、有効容量は約 83% で、40,000L である。また、研究対象施設の営業時間は 8:00~22:00 であり、休館日は火曜日である。

1.1 システム概要

本施設のシステムの概要について述べる。本施設で使用される空気熱源ヒートポンプ給湯機の加熱能力は約 35kW であり、6 台で運転する。ヒートポンプ給湯機は主に貯湯運転、保温運転、運転停止の 3 つの運転を行う。このヒートポンプ給湯機はシャワー系統に使用されており、浴槽の湯張りは熱水源ヒートポンプ給湯機とボイラで対応している。給湯コントローラにより定期的に状態を監視しており、遠隔監視が可能である。システムの概要図を図-1 に示す。

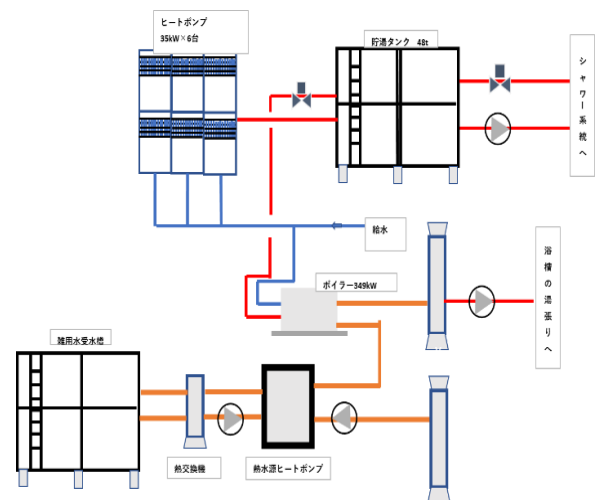


図-1 システム概要図

表-1 貯湯運転 入水温度 出湯温度

出湯温度[°C]	入水温度[°C]
68.9	25.4

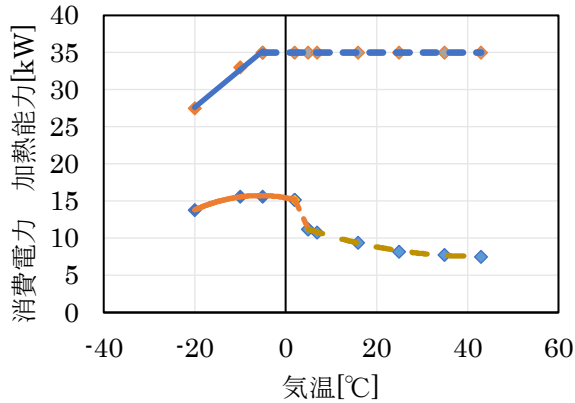


図-2 貯湯運転 能力線図
(上：加熱能力 下：消費電力)

表-2 保温運転 入水温度 出湯温度

出湯温度[°C]	入水温度[°C]
72.2	59.8

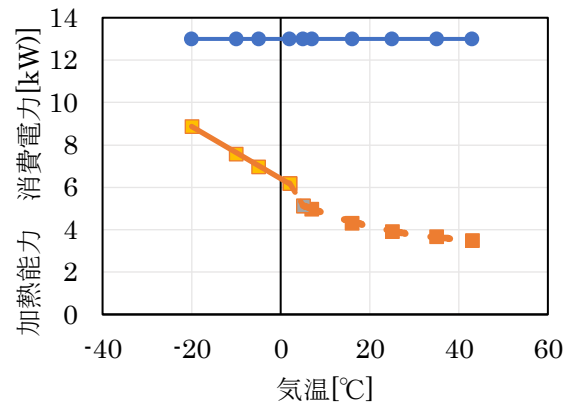


図-3 保温運転 能力線図
(上：加熱能力 下：消費電力)

表-3 貯湯運転 近似式

	範囲	近似式	R ² 値
加熱能力	$x < -5$	$y = 0.5071x + 37.75$	0.9947
	$-5 < x$	$y = 35$	1.000
消費電力	$x < 2$	$y = -0.0094x^2 - 0.106x + 15.45$	0.9901
	$2 \leq x \leq 5$	$y = -1.3333x + 17.9$	1.000
	$5 < x$	$y = 0.0027x^2 + 0.2243x + 12.25$	0.9983

表-4 保温運転 近似式

	範囲	近似式	R ² 値
加熱能力		$y = 13$	1.000
消費電力	$x < 2$	$y = -0.123x + 6.4104$	0.9989
	$2 \leq x \leq 5$	$y = -0.35x + 6.9$	1.000
	$5 < x$	$y = 0.001x^2 + 0.0894x + 5.5619$	0.9964

1.1 空気熱源ヒートポンプ給湯機的能力

メーカーの公表値³⁾を参考にしてヒートポンプ給湯機的能力線図を作成した。能力線図を作成するうえで、ヒートポンプ給湯機の出湯温度、入水温度の平均値を算出した。算出の際、貯湯運転と保温運転でそれぞれ算出した。表-1と表-2に示す。この表から、貯湯運転の出湯温度は70°C、保温運転の入水温度は60°Cの能力線図をそれぞれ作成した。図-2と図-3に示す。また、近似直線の近似式を表-3と表-4に示す。

2. 空気熱源ヒートポンプ給湯機の実稼働状況

対象施設のヒートポンプ給湯機は貯湯運転、保温

運転、運転停止の3つの運転状況で運転されている。

2.1 ヒートポンプ給湯機の日運転状態

ヒートポンプ給湯機の日運転状態の特徴をつかむため、実測データを分析した。代表日として祝日のない6月の第2週の金曜日と日曜日を選定し、運転状況をグラフにした。図-4と図-5にそれぞれ示す。このグラフから、ヒートポンプ給湯機は深夜に貯湯運転を主に行っていることが分かる。また、貯湯運転を行わないすべての時間帯で保温運転が行われているわけではなく、ヒートポンプ

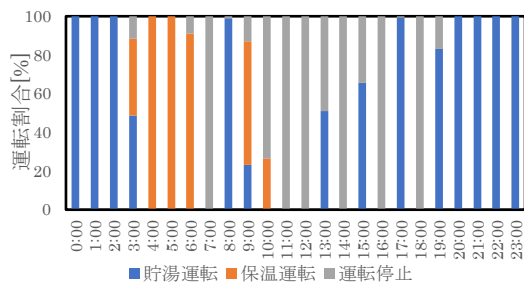


図-4 運転状況 金曜日

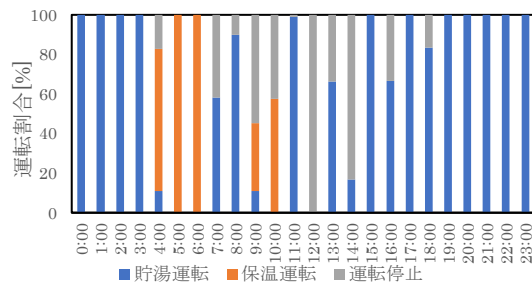


図-5 運転状況 日曜日

給湯機の運転が停止されることも多くみられた。また、4時ごろから営業開始時刻の8:00までに保温運転が発生している。夜間の貯湯開始時刻を見直すことで放熱ロスに伴う保温運転を抑えることができ、省エネルギー効果が見込まれると考えられる。

2.2 日給湯負荷、残湯量、生成量、目標貯湯量の推移

1日の給湯負荷、貯湯槽の残湯量、ヒートポンプ給湯機の湯の生成量、また目標貯湯量を時間ごとに整理した。日毎の特徴をつかむため、祝日のない6月の第2週のデータを整理した。代表の曜日として、休館日の火曜日と、給湯負荷が高い日曜日を図に示した。図-6と図-7に示す。これらのグラフから、営業時間内の8:00~22:00の給湯負荷が高い傾向にあることが読み取れる。また、火曜日の給湯負荷が低い原因は、火曜日が施設の休館日であることである。また、貯湯槽の残湯量は給湯負荷に比べ、多く設定されているのは、ヒートポンプ給湯機の1時間当たりの湯の生成量が給湯負荷に比べて小さいため、給湯負荷が小さい時間帯で湯貯めをする必要があるためである。

3. 時間帯別のヒートポンプ給湯機の性能

実測データの外気温度とヒートポンプ給湯機の能力線図から、深夜帯である22時から8時、22時から6時と、昼間の時間帯である8時から16

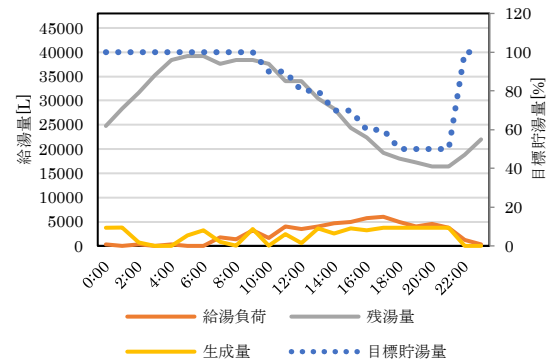


図-6 給湯負荷 残湯量 生成量 日曜日

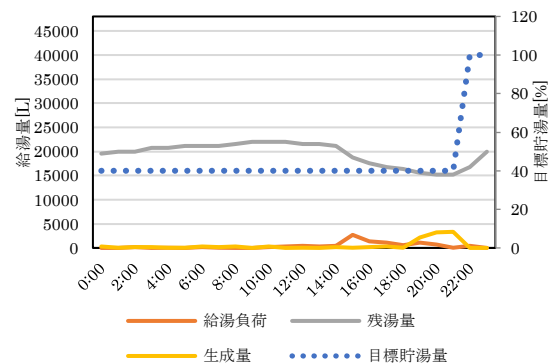


図-7 給湯負荷 残湯量 生成量 火曜日

時、9時から17時でヒートポンプ給湯機を運転した際のCOPの平均値を計算した。比較のため、22時から6時のCOPを100として計算した。この時、ヒートポンプの能力線図は貯湯運転のものを用いて計算した。入水温度は25℃として計算し、出湯温度は70℃で求めた。表-4に示す。このことから、昼間に運転する方がCOPは高くなることが分かる。このことから、昼間の外気温度が高くなる時間帯でCOPが高くなるため、夜間に運転するよりも少ないエネルギーでヒートポンプ給湯機を運転することができることが分かる。

4. 運転状態ごとのヒートポンプ給湯機の性能

4.1 貯湯運転 保温運転

ヒートポンプ給湯機が貯湯運転、保温運転の運転状況の場合について、加熱能力、消費電力、外気温度との関係をグラフにした。図-8と図-9にそれぞれ示す。このグラフは図-2と図-3の能力線図とおおむね一致していたため、能力線図として使用することができると思われる。

表-5 月別 運転時間の違いによる COP の比較

	22~8 時運転	22~6 時運転	8~16 時運転	9~17 時運転
1月	99.9	100.0	115.8	117.5
2月	99.9	100.0	120.7	123.0
3月	100.1	100.0	118.2	120.1
4月	100.4	100.0	113.8	115.0
5月	100.6	100.0	111.0	111.7
6月	100.6	100.0	109.2	109.6
7月	100.8	100.0	108.6	108.9
8月	100.5	100.0	107.7	108.1
9月	100.4	100.0	106.8	107.1
10月	100.3	100.0	109.8	110.5
11月	100.0	100.0	111.9	113.0
12月	99.9	100.0	109.3	110.7
平均	100.3	100.0	111.9	112.9

22時から6時までを100.0として

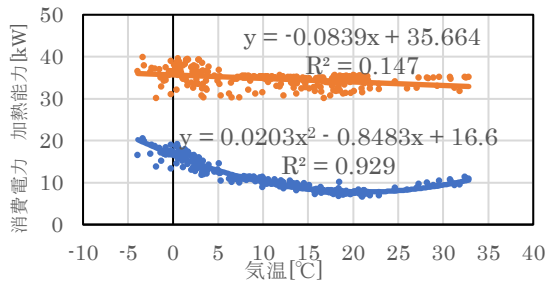


図-8 能力線図 実測データから作成 貯湯運転 (上:加熱能力 下:消費電力)

4.2 デフロスト運転

デフロスト運転を行った際の加熱能力、消費電力と気温の関係のグラフを作成した。この時、ヒートポンプ給湯機の出湯温度が入水温度よりも低かった場合、加熱能力は負の値とした。図-10に示す。このグラフからは相関は見られなかった。次に外気温と1時間当たりのデフロスト運転の運転時間の関係をグラフにした。図-11に示す。このグラフからは負の相関がみられ、外気温が高くなると、デフロスト運転の運転時間は少なくなることが分かる。

5. まとめ

本報では研究対象施設の概要について述べ、実測データを解析した。本報で得られた知見を以下に示す

- ・貯湯運転の時間を変更することで保温運転を減らすことができ、省エネルギー効果が見込まれる。

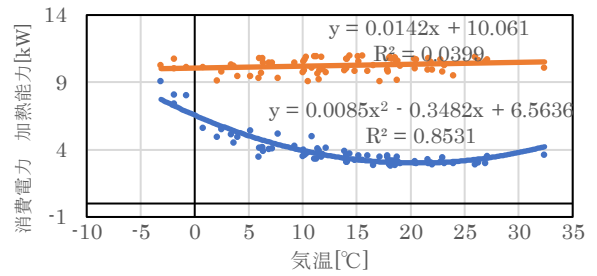


図-9 能力線図 実測データから作成 保温運転 (上:加熱能力 下:消費電力)

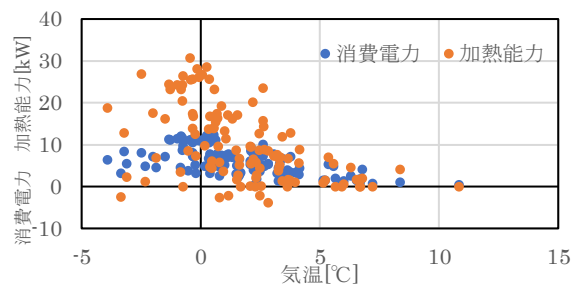


図-10 デフロスト運転 能力線図

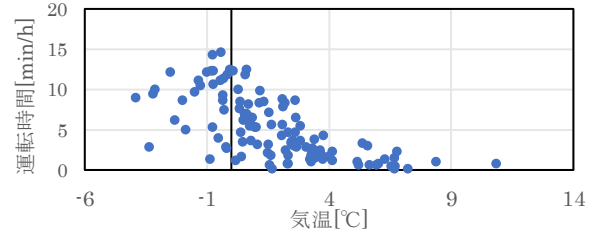


図-11 デフロスト運転 運転時間

- ・昼間に運転することで、COPは高くなり、昼間に運転することのメリットは大きい。

参考文献

- 1) 藤井良平・赤井仁志ら：VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用（その1）再生可能エネルギー由来の電力の状況，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，pp.97～100（2020年3月10日）
- 2) 矢崎稜馬・赤井仁志：VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用（その2）気候と季節の違いによる動的給湯負荷と貯湯、電力消費量，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，pp.101～104（2020年3月10日）
- 3) ダイキン社技術資料

B-9

VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用

(その4) 実測データを用いたシミュレーション、年間給湯負荷

○ 猪俣 海斗 (北海道大学), 赤井 仁志 (福島大学 / 北海道大学), 濱田 靖弘, 土山 紘平 (北海道大学), 天野 雄一朗, 藤井 良平, 松田 健太郎 (四国電力(株)), 安岡 稔弘, 小野坂 充央, 堀岡 建吾, 三島 潤也 (㈱四電技術コンサルタント)

Utilization of central hot water supply system including hot water storage as VPP resources
(Part 4) Simulation Using Actual Measurement Data, Annual Hot Water Supply Demand

Inomata Kaito (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima University/Hokkaido University),
Hamada Yasuhiro, Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University),
Amano Yuichiro, Fujii Ryohei, Matsuda Kentaro (Shikoku Electric Power Co.,Inc),
Yasuoka Toshihiro, Onosaka Michio, Horioka Kengo, Mishima Junya (Yonden Consultants)

キーワード：再生可能エネルギー VPP 給湯 貯湯 ヒートポンプ 入浴施設

はじめに

再生可能エネルギー由来の電力の増加に伴って生じる出力制御を抑制するため、電力の需給バランスを調整する必要がある。そこで、電気式給湯設備を上げ DR 時に利用することを検討する。

本報は VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用に関する一店の研究^{1),2)}の第4報であり、実測データを用いたシミュレーション、年間給湯負荷について述べる。

1. シミュレーションのための実測データの解析

本研究のシミュレーションでは実測データから作成した能力線図を用いる。また、シミュレーションを行うため、上げ DR の発生日及びインセンティブを含む電気料金を仮定し、1日に必要な運転時間の算出を行う。

1.2 実測データから作成した能力線図

実測データから、貯湯運転、保温運転時の加熱能力、消費電力と外気温度の関係のグラフを作成し、能力線図とした。図-1 と図-2 にそれぞれ示す。本報ではこの能力線図を用いてシミュレーションを行っていく。

1.3 年間給湯負荷について

1日ごとの給湯負荷と施設の来客者数の関係をまとめ、1日ごとの1人当たり給湯負荷の平均値を算出した。月別の1人当たり給湯負荷の平均値を算出し、グラフにした。図-3 に示す。このグラフから、給湯負荷平均が高くなる月は平均気温が高い月であることが多いことが分かった。これは

平均気温が高くなる月ではシャワーのみを使用する来客者が多いためであると考えられる。8月に1人当たり給湯負荷が低くなっている理由は来客者数が多いためであることが考えられる。また、1日の来客者数と給湯負荷の関係をグラフにした。図-4 に示す。このグラフには正の相関がみられ、来客者数が増えると給湯負荷は増加する傾向にあることが分かる。また、来客者数が0人の時に給湯負荷が0ではない理由としては、施設の清掃にシャワー系統が使用されていることや、シャワー系統の漏水などが考えられる。

1.4 電気料金単価について

電気料金単価を時間別に表-1 のように作成した。作成の際、業務用時間帯別料金(新規)、業務用蓄熱割(現行)、上げ DR 発生時の料金単価、次世代 VPP 想定パターンの4つを想定した。この電気料金単価から、料金パターンを表-5 のようにパターン A からパターン E の5パターン作成したパターン B とパターン D では上げ DR 発生時に、上げ DR 発生時の料金単価を使用可能である。

1.5 1日の必要運転時間について

シミュレーションを行う際、ヒートポンプ給湯機を停止することのできる時間を設定する。まず、1年間の日毎の給湯負荷の降順図を作成した。この時、2018年のデータを使用した。図-5 に示す。このグラフから、給湯負荷の1日の最大値は約88,000Lであり、貯湯槽の有効容量のおよそ2倍であった。このことから、ヒートポンプ給湯機の

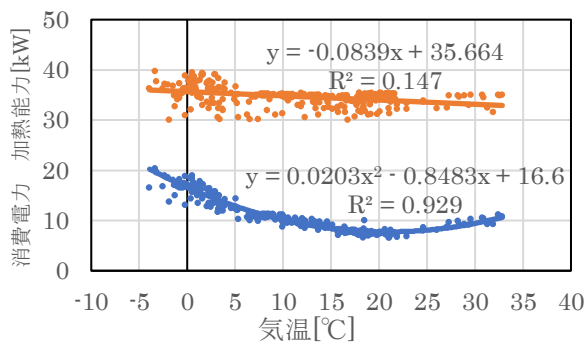


図-1 能力線図 実測データから作成 貯湯運転 (上：加熱能力 下：消費電力)

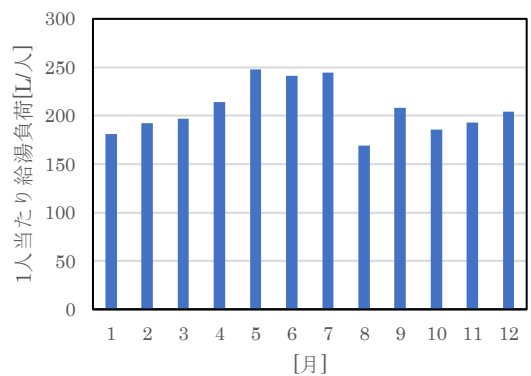


図-3 1人当たり給湯負荷 月別

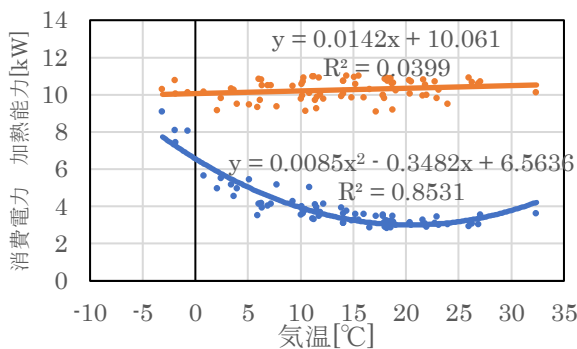


図-2 能力線図 実測データから作成 保温運転 (上：加熱能力 下：消費電力)

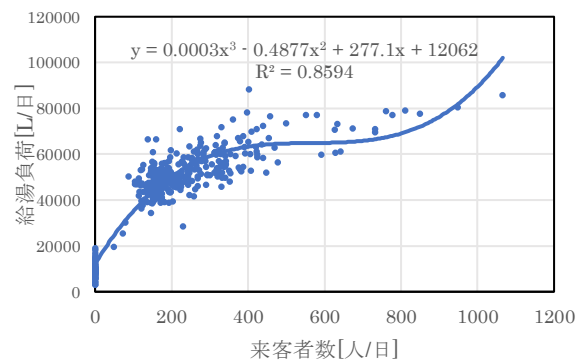


図-4 来客数 給湯負荷

表-1 電気料金単価・各パターン設定

単価[円/kWh]	パターン A		パターン B		パターン C	パターン D		パターン E
	業務用時間 帯別料金(新規)	業務用時間 帯別料金(新規)	上げ DR 時 単価	業務用蓄熱 割(現行)	業務用蓄熱 割(現行)	上げ DR 時単価	次世代 VPP 想定 コスト	
8:00~12:00	21	21	9	15	15	9	5	
13:00~17:00	23	23	9	15	15	9	7	
18:00~22:00	21	21	9	15	15	9	15	
23:00~7:00	11	11	7	12	12	9	12	

運転時間は長めにとる必要があることが予想される。また、日毎の給湯負荷は 50,000L 前後のことが多かったことから、給湯負荷が 88,000L と 50,000L の時にヒートポンプ給湯機の必要な運転時間を算出した。表-2 に示す。この表から、必要な運転時間は最大で約 22 時間、平均でも約 12 時間半必要であることが分かる。このことから、本報のシミュレーションではヒートポンプ給湯機の必要運転時間を 18 時間と設定し、ヒートポンプ給湯機を完全に停止する時間を 1 日当たり 6 時間

と設定する。

1.6 上げ DR 発生日について

上げ DR について説明する。上げ DR の指令に従い、ヒートポンプ給湯機を稼働させて余剰電力を使うことでインセンティブが得られる。上げ DR の発動時間は 9:00~14:00 時台で、使用率が 70%以下かつ再生可能エネルギー由来の発電が 60%以上となることとした。上げ DR 発生日を図-2 に示す。オレンジ色に塗られた部分で上げ DR の発動を示しており、上げ DR 発回数は 4

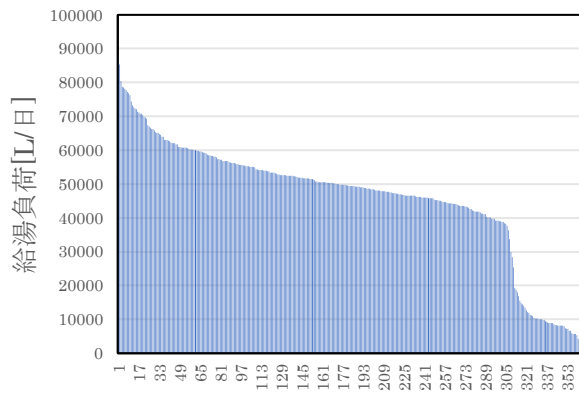


図-5 給湯負荷 降順図

表-2 日毎必要運転時間

給湯負荷[L]	88,000	50,000
必要運転時間	22.0	12.5

表-3 上げDR 発生日

2018年4月							2018年5月						
日	月	火	水	木	金	土	日	月	火	水	木	金	土
1	2	3	4	5	6	7			1	2	3	4	5
8	9	10	11	12	13	14	6	7	8	9	10	11	12
15	16	17	18	19	20	21	13	14	15	16	17	18	19
22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26
29	30						27	28	29	30	31		

月に4回、5月に9回であり、合計で39時間であった。

2. シミュレーションについて

2.1 シミュレーション方法について

図-1と図-2を能力線図として、シミュレーションを行う。シミュレーションでは1.3で設定した、ヒートポンプ給湯機の運転を停止可能な時間、ヒートポンプ給湯機の運転を保温運転に変更させる。この時、ヒートポンプ給湯機の貯湯量がマイナスになる場合、追いかけて運転を行う。完全停止させる時間以外では、貯湯槽の貯湯量が、貯湯槽の有効容量である40,000Lを十分満たせるように、35,000Lを超えるようにヒートポンプ給湯機制御し、35,000Lを超えたときは運転を保温運転にするように制御する。電気料金単価パターンの違いによるコストの比較、ヒートポンプ給湯機を完全停止する時間帯を変更したときのコストの比較を行う。

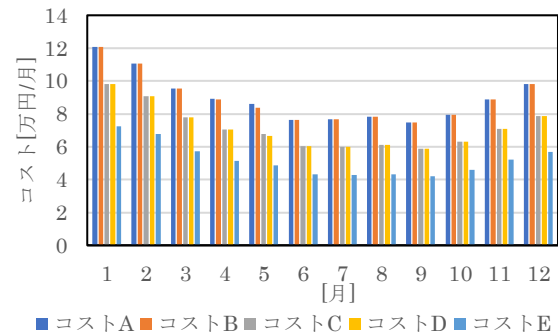


図-6 料金単価パターン 比較 月別

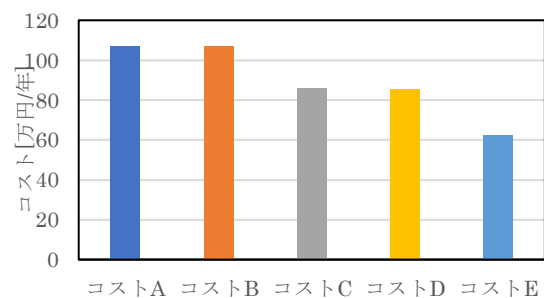


図-7 料金単価パターン 比較 年間

2.2 実測データに基づく料金設定の違いによるシミュレーション

電気料金単価パターンの違いによるコストの比較を行うため、実測データに基づいて、コストを算出した。月毎と年間コストを算出し、それぞれ図-6と図-7に示す。この結果から、上げDRを考慮したときのコストの低下は年間数千円と低いことが分かった。これは現在の制度では上げDRの発生回数が少ないためであると考えられる。今後太陽光発電が普及することにより、上げDRの発生回数は増加することが予想され、上げDRが生じる時間帯でヒートポンプ給湯機の運転を行うことのメリットは増加することが予想される。

2.3 ヒートポンプ給湯機の運転時間を変更したときのシミュレーション

今年1月、夕刻を中心に電力需要が増加し、電力が増加した。このことをふまえ、ヒートポンプ給湯機の制御条件を夕方の17時から22時まで運転を停止する制御を行った。コストパターンはパターンAとパターンCを用いてコストを算出した。比較のために実測データに基づいて算出したコストを載せた。月別と年間コストでそれぞれ図-8と図-9に示す。結果からシミュレーシ

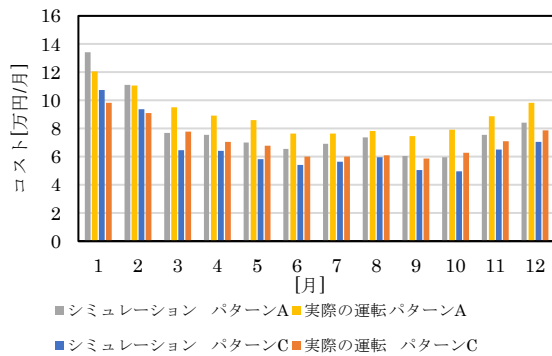


図-8 シミュレーション① 月別

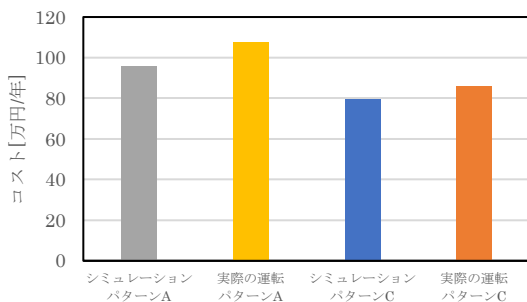


図-9 シミュレーション① 年間

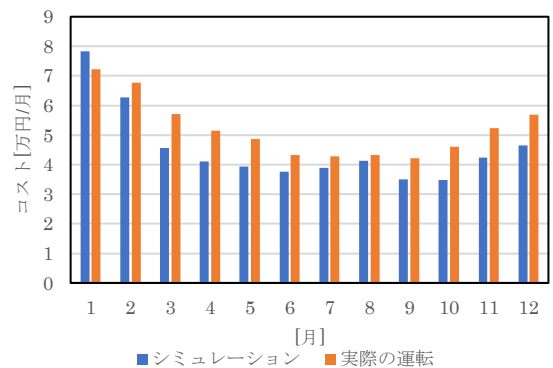


図-10 シミュレーション② 月別

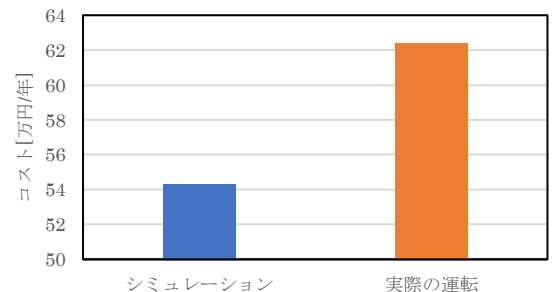


図-11 シミュレーション② 年間

ンのコストの方が低かった。この理由としては、深夜帯の安い電力単価の電力を有効に利用することが出来たためであると考えられる。このように給湯に VPP を組み込み、電気需要が高まる時間帯の電力使用を抑えることのメリットは大きいと考えられる。

2.4 ヒートポンプ給湯機の運転時間を変更したときのシミュレーション②

次世代型 VPP 想定コストのパターン E の最も安い電気料金単価である、8:00~12:00 の間の電力を有効に使用するため、深夜の 3:00~7:00 の運転を停止する制御を行った。図-10 と図-11 に結果を示す。この結果から、シミュレーションを行った時の方が現在の運転方法よりもコストを大幅に抑えられることが分かる。これはシミュレーションの際、電気料金単価パターン E の電気料金単価が安い時間帯の電力を積極的に利用することが出来たためであることが考えられる。今後、太陽光発電の増加に伴い、パターン E のような昼間の電力が安くなることが予想されるため、給湯に VPP を組み込み、制御を行うメリットは大きいと考えられる。

3. まとめ

本報では実測データを用いてシミュレーションを行った。本報で得られた知見を以下に示す。

- ・運転時間を変更させ、安い時間帯の電力を使用することのメリットがあることが分かった。今後制度が進むにつれてこのようなメリットは増加することが予想される。

参考文献

- 1) 藤井良平・天野雄一郎・赤井仁志・濱田靖弘・矢崎稜馬・土山紘平・安岡稔弘・堀岡建吾・三島潤也：VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用（その 1）再生可能エネルギー由来の電力の状況，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，（2020 年 3 月 10 日）pp.97~100
- 2) 矢崎稜馬・赤井仁志・濱田靖弘・土山紘平・天野雄一郎・藤井良平・安岡稔弘・堀岡建吾・三島潤也：VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用（その 2）気候と季節の違いによる動的給湯負荷と貯湯、電力消費量，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，（2020 年 3 月 10 日）pp.101~104

B-10

ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究（その3） 予備実験およびコントローラによるヒータの温度制御実験結果の解析

○ 上林 由果, 岩井 良真 (関西電力㈱),
赤井 仁志 (福島大学 / 北海道大学), 濱田 靖弘, 土山 紘平, 猪俣 海斗 (北海道大学)
岡本 茂, 小畑 拓未 (㈱東畑建築事務所), 磯部 茂樹 (エヌヴェントジャパン㈱)

Experimental Study on the Basic Characteristics of Heat Tracer Hot Water Supply System (Part 3) Preliminary Experiment and Analysis of Temperature Control Experiment Using Controller

Kabayashi Yuka, Iwai Yoshimasa (The Kansai Electric Power Co., Inc.),
Akai Hitoshi (Fukushima /Hokkaido University),
Hamada Yasuhiro, Tsuchiyama Kohei, Inomata Kaito (Hokkaido University),
Okamoto Shigeru, Kobatake Takumi (Tohata Architects & Engineers),
Isobe Shigeki (nVent Japan)

キーワード：レジオネラ症 給湯配管用自己制御ヒータ 給湯

はじめに

在来型の給湯システムでは、給湯負荷が存在しない時間帯では配管内の湯が滞留し、温度が低下することでレジオネラ菌が発生する危険があることから、配管内の湯を循環させる必要があり、熱損失が発生する。給湯配管用自己制御ヒータ（以下、自己制御ヒータと称す）を用いた給湯システムは、給湯行き配管に自己制御ヒータを装着することで配管内の温度を維持できるため、給湯還り配管が不要になり、熱損失の削減が期待できる。

本研究では、本システムの各種運転特性を実験から明らかにすることで、システムの導入可能性や省エネルギー性能の評価を行ううえで広く設計資料として資することを目的としている。既報^{1),2)}では、配管温度と消費電力の関係を測定し、各種運転特性に関するデータを蓄積できたが、より精度の高いデータを取得するためには、実験装置の状態確認および長時間データでの検証の必要性が示唆された。そこで、本報では実験装置の状態確認を目的とした予備実験と、長時間での実証試験における各種運転特性に関する結果の一部について報告する。

1. 研究概要

1.1 自己制御ヒータの特性

本実験で使用した自己制御ヒータに付属されるコントローラは、配管表面温度（給湯温度と近似

値とみなす）が制御設定温度の±2℃以内で収まるような制御を行う。なお、本コントローラは、安全のため予め約 60 分間通電後に 5 分間程度停止する制御が組み込まれている。また、配管表面温度が制御設定温度+2℃を超過すると停止し、-2℃未満になるまで停止し続ける特性を持つ。

1.2 実験概要

予備実験として、コントローラ付属のサーモスタットの温度特性を確認する。また、自己制御ヒータの各種運転特性を明らかにするために、以下の2通りでの本実験を行う。

I コントローラによる温度制御実験

II 自己制御ヒータの自己制御性による実験

本報では、予備実験と本実験 I の実験結果を報告し、第4報では本実験 II の実験結果を報告する。

2. 予備実験

2.1 実験内容

第2報で使用したサーモスタット3個と予備1個を用いて、測定温度にばらつきがないか検証した。実験装置と測定項目を表-1に示す。U字型 Su 管に湯を注入し、ヒータ通電後、設定室温 32℃の状態、5 分間隔で、コントローラに表示されるサーモスタットの測定温度と、サーモスタットに近接して設置した熱電対の測定温度を記録した。なお、設定室温 12℃でも同様の検証を行った。写真-1に予備実験装置の全体を示す。

表-1 予備実験装置と測定項目

実験装置	測定項目	測定点数
U字型 Su管[1000mm]	配管表面温度	サーモスタット4点 熱電対2点



写真-1 予備実験装置の全体写真

2.2 実験結果

設定室温 32℃でのサーモスタットと熱電対の測定温度の経時変化を図-1に示す。サーモスタットCの測定温度は、他のサーモスタットよりも常時、高い値を示したが、サーモスタットA、B、Dは温度特性が近いことを確認できた。また、熱電対はサーモスタットと近い温度帯を推移した。設定室温 12℃でも同様の傾向が得られた。従って、本実験では、A、B、Dのコントローラを使用することとした。

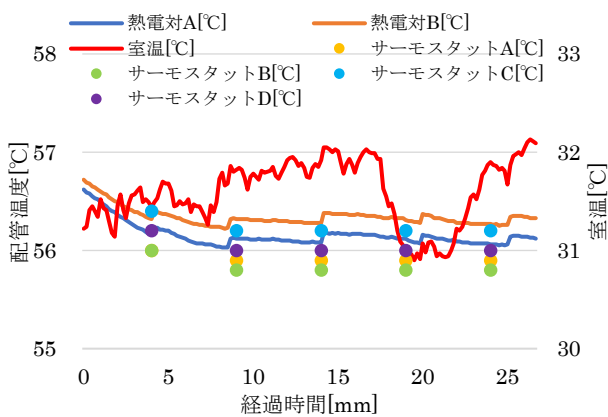


図-1 設定室温 32℃での各温度の経時変化

3. コントローラによる温度制御実験(本実験 I)

3.1 実験内容

既報¹⁾²⁾で使用した自己制御ヒータ付属のコントローラ(HWAT-T50)を用いて、室温と配管内の水温を変化させて、自己制御ヒータの加熱特性

を検証した。表-2に測定項目と測定機器を、表-3に配管および保温材の仕様を、また、図-2に実験に使用した配管の断面図を示す。実験装置の配置図や各種センサの位置等については既報²⁾を参照されたい。

表-2 本実験での測定項目・測定機器

測定項目	測定機器	測定点数
配管表面温度	メモリハイロガー T熱電対 [0.65mm]	配管当り3点 (計9点)
保温材外表面温度		配管当り3点 (計9点)
室温		2点
電圧	クランプオンパワーロガー	配管当り1点 (計3点)
電流	電圧センサ クランプオンセンサ	配管当り1点 (計3点)
力率		-

表-3 本実験での配管および保温材の仕様

品名	仕様		
薄肉ステンレス加工管 [3000mm]	25 Su (20A)	40 Su (32A)	60 Su (50A)
保温材 (保温筒)	仕様	グラスウール保温筒	
	厚さ	20 mm	30 mm

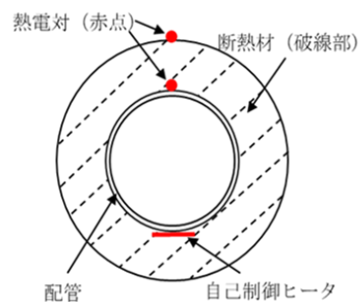


図-2 配管の断面図

表-4 本実験での各検証ケースの室温・水温条件

	室温[℃]					
	10	15	20	25	30	
水温[℃]	50		⑥			
	55		⑦			
	60	①	②	③	④	⑤
	65			⑧		

※ 室内相対湿度は50%

実験は表-4の通り、8ケースの室温・水温条件で行った。各ケースで配管内水温がコントローラの制御設定温度を上回ってから実験を開始し、12時間検証した。写真-2に実験装置の全体を示す。



写真-2 本実験 I の全体写真

3.2 配管温度と消費電力の経時変化の結果

表-4のケース③での配管温度と消費電力の経時変化を図-3に示す。図-3より、自己制御ヒータの通電時に消費電力が一時的に30 W/m以上まで上昇し、すぐに下降して、約15 W/m付近で一定時間運転し、停止に至るサイクルが繰り返された。また、自己制御ヒータの発停から2分ほど遅れて、配管温度が上昇・下降しており、消費電力は配管温度の上昇に伴い小さくなっていた。各ケースでも同様の傾向がみられた。

図-3のケース③における25Su、40Su配管の各測定点の配管温度と消費電力の経時変化を図-4、5に示す。図-4、5より配管の測定位置によって、温度にばらつきが生じている。サーモスタットと近接する中央の配管温度と比較すると、40Su配管では、右および左の配管温度と比較して、コントローラの制御設定温度の±2℃以内に収まるような温度変化をしており、これは各ケースでも概ね同様の傾向が確認された。一方で、25Su配管では中央の配管温度でも制御設定温度+2℃を超えていた。

3.3 配管温度の考察について

(1)小管径配管の温度変化について

図-4に示した通り25Su配管では、配管温度が制御設定温度+2℃を超える状況が確認されたが、水温が65℃の条件を除いたすべての条件においても制御設定温度+2℃を超えた過剰な運転となっていた。これは、小管径配管では配管内の保有水量が少なく、自己制御ヒータ停止後の余熱の影響を受けていることが推定される。従って、25Suのような小管径配管に自己制御ヒータを敷設する

場合は、温度上昇に留意する必要があると考えられる。

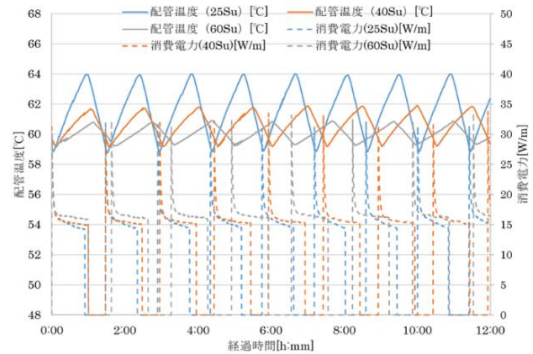


図-3 各配管温度と消費電力の経時変化 (室温 20℃, 水温 60℃)

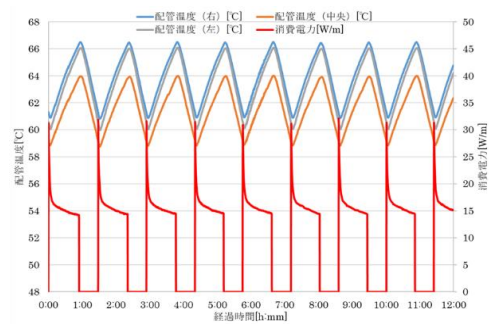


図-4 25Su 配管での配管温度と消費電力の経時変化 (室温 20℃, 水温 60℃)

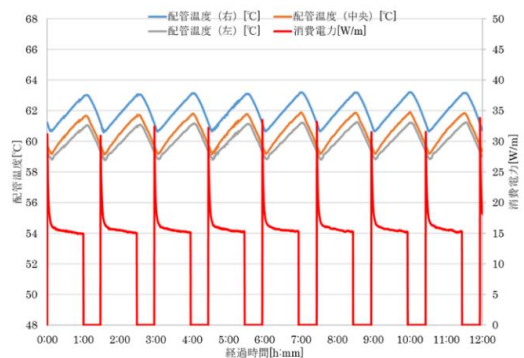


図-5 40Su 配管での配管温度と消費電力の経時変化 (室温 20℃, 水温 60℃)

(2)配管温度の測定位置によるばらつきについて

測定位置によって配管温度にばらつきが生じた。各ケースでも同様のばらつきが確認されたため、測定器具の不具合ではなく、施工上の要因が推定される。例えば、熱電対やサーモスタットを取り

付けるために保温材を切ったことで、配管からの放熱量に差異が生じた点や、配管に自己制御ヒータを取り付けるために結束バンドで固定したが、固定していない部分で配管と自己制御ヒータに隙間が生じ、その密着度合いの違いにより伝熱性状にばらつきが生じた点、などが考えられる。

3.4 消費電力の回帰分析

図-6、7 に、配管内水温が安定し、自己制御ヒータの動作開始から 12 時間の平均消費電力 [W/m] を縦軸、 Δt (水温-室温 [°C]) を横軸に示す。水温は配管中央の配管表面温度を、室温は測定点 2 点の平均値で、ともに 12 時間の平均値を用いた。また、得られた回帰式を表-5、6 に示す。

Δt が大きくなるにつれて、消費電力は大きくなる傾向が見られた。室温や水温を変化させても同様の傾向を持つ直線が得られた。また、切片を 0 とした場合の回帰式の傾きは、どの条件でも概ね等しかった。これは、自己制御ヒータは配管からの放熱量に応じて出力制御を行っており、室温や水温の変化に関係なく Δt が等温であれば、配管からの放熱量も等しくなるため、回帰式の直線の傾きが同じになったと考えられる。

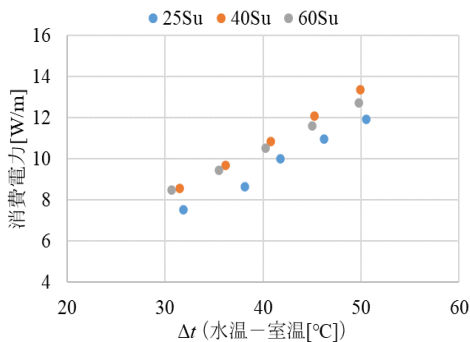


図-6 室温変動条件での Δt と消費電力の関係 (設定水温 60°C)

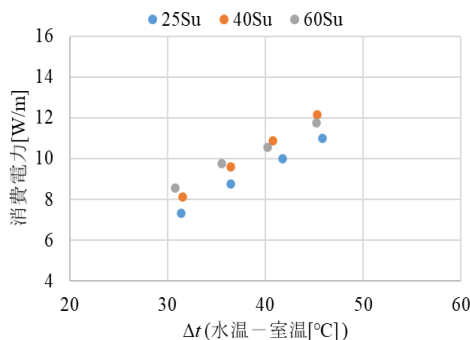


図-7 水温変動条件での Δt と消費電力の関係 (設定室温 20°C)

表-5 室温変動条件での消費電力の回帰式

	切片がある回帰式		切片を 0 とした場合の回帰式	
	回帰式	R ² 値	回帰式	R ² 値
25Su	$y = 0.2423x - 0.2893$	0.9883	$y = 0.2355x$	0.9997
40Su	$y = 0.2603x + 0.3209$	0.9989	$y = 0.268x$	1
60Su	$y = 0.2233x + 1.5887$	0.9989	$y = 0.2617x$	0.9994

表-6 水温変動条件での消費電力の回帰式

	切片がある回帰式		切片を 0 とした場合の回帰式	
	回帰式	R ² 値	回帰式	R ² 値
25Su	$y = 0.2533x + 0.5816$	0.9981	$y = 0.2386x$	0.9999
40Su	$y = 0.2922x - 1.0793$	0.9999	$y = 0.2647x$	0.9998
60Su	$y = 0.2157x + 1.9724$	0.9945	$y = 0.2667x$	0.9992

4. まとめ

本実験では、実験装置の状態確認を目的とした予備実験を行い、長時間でのコントローラによる温度制御実験を行った。

既報 2) よりも十分な時間を確保したことで、コントローラの制御特性と消費電力の関係性が明らかになった。さらに消費電力の回帰分析を用いることで、水温と室温条件により自己制御ヒータの消費電力を算出できることが分かった。また、切片を 0 とした消費電力の回帰式の傾きについては、室温・水温変化いずれの条件でも概ね等しかったことから、コントローラによる自己制御ヒータの温度制御実験における精度の高さが確かめられた。

参考文献

- 1) 赤井他: ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究(その 1) 給湯配管系統での熱損失, 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(2020年3月10日)
- 2) 土山他: ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究(その 2) 実験の概要と解析, 空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集, pp.107~110(2020年3月10日)

B-11

ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究（その4） ヒータの自己制御による実験結果の解析およびシステム総合評価

○ 土山 紘平（北海道大学）、赤井 仁志（福島大学 / 北海道大学）、
濱田 靖弘、猪俣 海斗（北海道大学）上林 由果、岩井 良真（関西電力(株)）、
岡本 茂、小畑 拓未（株東畑建築事務所）、磯部 茂樹（エヌヴェントジャパン(株)）

Experimental Study on the Basic Characteristics of Heat Tracer Hot Water Supply System (Part 4) Experimental Analysis by Self-Control of Heater and Comprehensive Evaluation of System

Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima /Hokkaido University),
Hamada Yasuhiro, Inomata Kaito (Hokkaido University),
Kambayashi Yuka, Iwai Yoshimasa (The Kansai Electric Power Co.,Inc.),
Okamoto Shigeru, Kobatake Takumi (Tohata Architects & Engineers),
Isobe Shigeki (nVent Japan)

キーワード：レジオネラ症 給湯配管用自己制御ヒータ 給湯 シミュレーション

はじめに

本研究では、給湯配管用自己制御ヒータ（以下、自己制御ヒータと称す）を用いた給湯システムに関する各種運転特性を実験から明らかにすることで、本システムの導入可能性評価や省エネルギー性能の評価を行ううえで、広く設計資料として資することを目的とする。

本報は、一連の研究^{1)~3)}の第4報であり、自己制御ヒータの自己制御性による実験結果の解析と、自己制御ヒータを利用した給湯システムの総合評価について述べる。

1. 自己制御ヒータの自己制御性による実験（本実験Ⅱ）

1.1 実験内容

既報^{1)~3)}で使用したコントローラを取り外し、室温を変化させて、水温を成り行きで制御させた場合の自己制御ヒータの加熱特性・自己制御性を検証した。

実験は表-1に示す通り、5ケースの室温条件で行った。測定項目、測定機器、配管、保温材は第3報と同様とし、各ケースで水温が安定してから実験を開始し、12時間検証した。

1.2 配管温度と消費電力の経時変化の結果

配管内の水温が安定してから12時間の配管温度と消費電力の経時変化を図-1、2に示す。

配管温度、消費電力ともに概ね一定の値で安定

していた。コントローラを取り外すことで、配管温度が70℃前後まで上昇し、第3報の実験結果と比較すると同じ Δt でも消費電力が大きかったことから、ヒータの運転が過剰であることが分かった。また、第3報の実験と同様に、配管の測定位置によって、配管温度のばらつきが生じていた。

1.3 消費電力の回帰分析

図-3に、配管内の水温が安定してから12時間の平均消費電力[W/m]を縦軸、 Δt (水温-室温[℃])を横軸に示す。水温は配管中央の表面温度を、室温は測定点2点の平均値とし、ともに12時間の平均値を用いた。得られた回帰式を表-2に示す。

切片を0とした場合の回帰式の傾きは25Suが最も小さく、40Su、60Suは概ね変わらなかった。 Δt が大きくなるにつれて、消費電力は大きくなった。

1.4 実験結果の妥当性について

各配管の熱損失の算出結果を表-3に示す。熱損失（実測値）は、表-2の切片を0とした場合の回帰式の傾きを用いた。熱損失（計算値）の計算条件は、保温材外面の表面熱伝達率を10[W/(m²・℃)]、保温材の熱伝導率を0.043[W/(m・℃)]とした。

実測値の切片を0とした場合の回帰式の傾きと、算出した配管からの熱損失を比較すると、ほとんど差が見られなかった。このことから、本実験のデータは妥当であると判断し、本実験データを第2章のシミュレーション評価に活用した。

表-1 本実験での各検証ケースの室温条件

	室温[°C]				
	10	15	20	25	30
水温成り行き[°C]	①	②	③	④	⑤

※ 室内相対湿度は50%

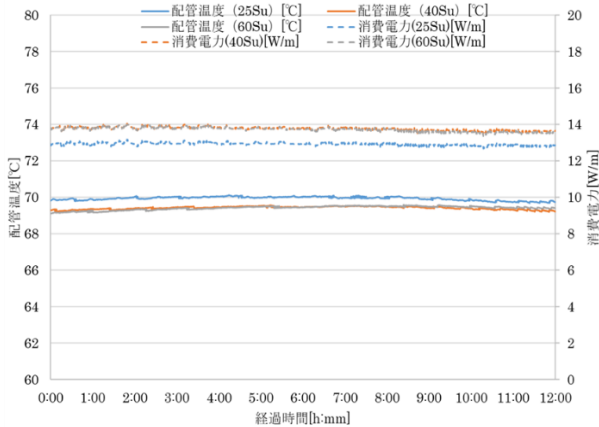


図-1 各配管温度と消費電力の経時変化 (室温 20°C, 水温成り行き)

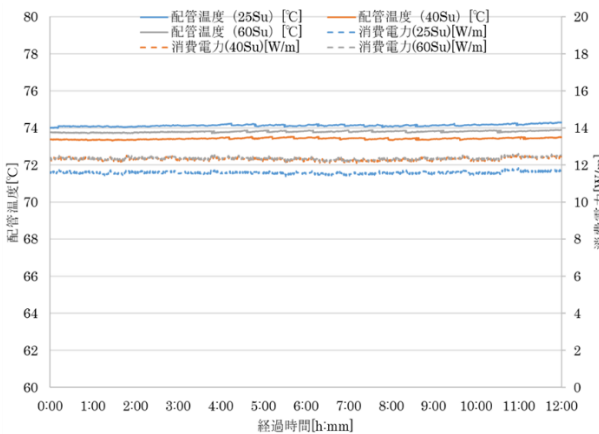


図-2 各配管温度と消費電力の経時変化 (室温 30°C, 水温成り行き)

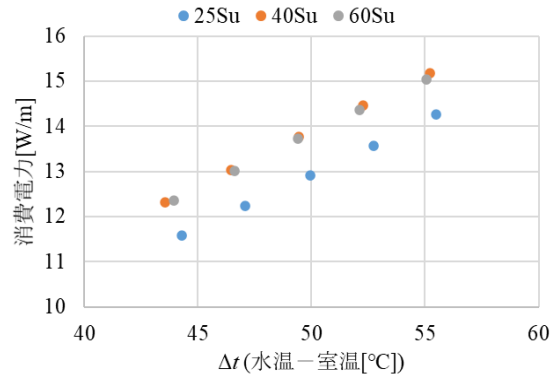


図-3 室温変動条件での Δt と消費電力のプロット (水温成り行き)

表-2 自己制御ヒータの自己制御性による実験の消費電力の回帰式

	切片がある回帰式		切片を0とした場合の回帰式	
	回帰式	R ² 値	回帰式	R ² 値
25Su	$y = 0.2375x + 1.0608$	0.9998	$y = 0.2586x$	1
40Su	$y = 0.2454x + 1.6266$	1	$y = 0.2781x$	0.9999
60Su	$y = 0.2421x + 1.7342$	0.9996	$y = 0.2769x$	0.9999

表-3 配管からの熱損失[W/(m・°C)]

呼び径 (Su)	25Su	40Su	60Su
熱損失 (計算値) [W/(m・°C)]	0.2700	0.2810	0.2989
熱損失 (実測値) [W/(m・°C)]	0.2586	0.2781	0.2769
実測値を100%としたときの計算値[%]	104.4	101.1	108.0

負荷のみを計算対象とした。

(1)対象施設

対象施設は、大浴場なし9階建ての宿泊施設と17階建ての病院とした。給湯2次循環ポンプの容量はそれぞれ、0.75kW、1.2kWである。

(2)比較対象とする給湯システム

対象施設に導入する循環型給湯システムにおける給湯循環系統の加熱熱源は、ガスボイラ、大型業務用ヒートポンプ給湯機とし、循環系統がない自己制御ヒータを利用した給湯システムと比較する。循環型給湯システムは、出湯温度60°C、入水

2. シミュレーションによるヒータを利用した給湯システムの評価

2.1 シミュレーションの概要

本研究の目的である、自己制御ヒータを利用した給湯システムの省エネルギー性、経済性を判断するために、従来の循環型給湯システムを用いている施設に、本システムを導入した場合のシミュレーションを行った。なお、自己制御ヒータは配管内の流体が止まっている状態に熱損失が発生しているものとみなし、給湯負荷を考慮せず、保温

表-4 給湯加熱熱源の部分負荷効率

給湯加熱熱源	ガスボイラ	ヒートポンプ
部分負荷効率 [%]	50	67

※ ボイラ効率は日本ボイラ協会資料，ヒートポンプの COP はメーカー技術資料によった

表-5 保温材の熱伝導率

保温材	グラスウール保温筒	グラスウール保温帯
熱伝導率 [W/(m・℃)]	0.043	0.052

表-6 宿泊施設の配管長

全体	ループ (循環)			
	往き		還り	
	呼び径 [Su]	配管長 [m]	呼び径 [Su]	配管長 [m]
集計	80	0.8	-	-
	75	24.2	-	-
	60	11.8	-	-
	50	3.0	-	-
	40	297.2	40	23.9
	30	171.3	30	6.3
	25	182.6	25	17.6
	20	209.5	20	17.8
合計[m]	900.4		65.6	

温度 55℃とし、自己制御ヒータを利用した給湯システムは、コントローラの制御設定温度を 60℃とした。

表-4 に循環型給湯システムに採用する給湯機の部分負荷効率を示す。

自己制御ヒータは、第3報のコントローラによる温度制御実験の室温変動条件での、切片を 0 とした場合の消費電力の回帰式を使用した。実際の施設では湯が消費され、貯湯槽から 60℃以上の湯が供給されるため、自己制御ヒータの運転時間が実験よりも短くなることが予想される。そこで、自己制御ヒータの運転時間は、実験時の 60%程度になると考え、算出した消費電力量に 0.6 を乗算することとした。

シミュレーションに使用する保温材は、自己制御ヒータのメーカーが推奨する保温筒、民間工事等で多用されている保温帯の 2 種類とした。表-5 に保温筒と保温帯の熱伝導率を示す。

表-7 病院の配管長

全体	ループ (循環)			
	往き		還り	
	呼び径 [A]	配管長 [m]	呼び径 [A]	配管長 [m]
集計	100	41.7	-	-
	65	54.0	-	-
	50	476.3	50	23.9
	40	456.2	40	9.7
	32	512.0	32	126.9
	25	246.9	25	181.5
	20	254.7	20	430.8
	15	37.0	15	25.0
合計[m]	2,078.7		797.8	

表-8 都市ガス(13A)と電気の CO₂排出係数

	都市ガス (13A)	電気
CO ₂ 排出係数	2.70[kg-CO ₂ /m ³]	0.64[kg-CO ₂ /kWh]

(3)シミュレーションの計算手順

以下に、シミュレーションの計算手順を示す。

i) 配管長の決定

各施設の配管図から、往き配管と還り配管の配管長を求める。その結果を表-6、7に示す。

ii) 循環型給湯システムでの熱損失量の算出

i) で決定した配管長から循環型給湯システムの熱損失量を算出する。外気温度は京都の年間データ (2009/4~2010/3 の実測値) を使用した。

iii) 各システムの燃料消費量、消費電力量の算出
循環型給湯システムは、ii) で算出した熱損失量と各給湯機の機器効率 (部分負荷効率を考慮) から、燃料消費量及び消費電力量を算出し、循環ポンプの消費電力量を加える。ガスボイラの燃料は、都市ガス(13A)で、低位発熱量 40.6 [MJ/m³(N)] とする。

自己制御ヒータを利用した給湯システムは、i) で算出した配管長に、自己制御ヒータの実験結果による消費電力を乗じて、消費電力量を算出する。
iv) 年間 CO₂ 排出量の算出

iii) で算出した各給湯システムの燃料消費量、消費電力量から各給湯システムの CO₂ 排出量を算出する。表-8 に都市ガス(13A)と電気の CO₂ 排出係数を示す。

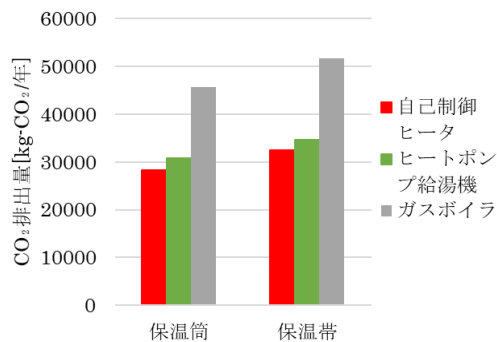


図-4 宿泊施設の各給湯システムのCO₂排出量

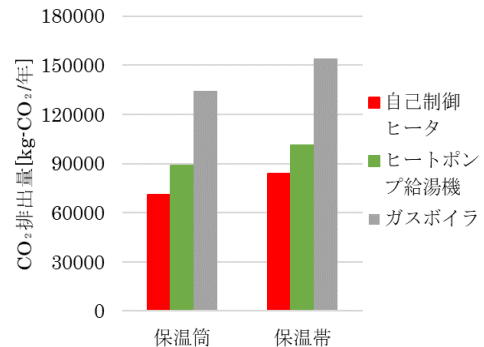


図-5 病院の各給湯システムのCO₂排出量

2.2 シミュレーション結果

各給湯システムの年間CO₂排出量の算出結果を図-4、5に示す。両施設の保温筒、保温帯ともに自己制御ヒータを利用した給湯システムが最もCO₂排出量が小さくなった。また、図-5より、病院施設は行き配管に対する還り配管の割合が大きいことから、自己制御ヒータを利用した給湯システムは、循環型給湯システムのガスボイラ、ヒートポンプ給湯機と比較して、保温筒を使用した場合のCO₂排出量の削減率は47.0%、19.7%と削減効果が大きくなった。

3. 国内での自己制御ヒータを利用した給湯システムの導入可能性について

シミュレーション結果により、従来の循環型給湯システムと比べて自己制御ヒータを利用した給湯システムは、年間のCO₂排出量が少ないことが分かった。実運用でみると、循環型給湯システムに採用されるガスボイラや大型ヒートポンプ給湯機の循環運転（昇温運転）時は、部分負荷の運転となるケースが多く、定格値よりも大幅に効率が低下する可能性がある一方で、自己制御ヒータは、湯温に応じてヒータの出力を制御することができ、実運用下では更に省エネルギー性を発揮する可能性がある。

また、コントローラを併用することで、制御したい設定温度付近で給湯温度を調整できること、深夜や休日など湯を殆ど使用しない時間帯はタイマ制御で自己制御ヒータをオフにできるなど、施設管理者の意図した運用に柔軟に対応できる利点もある。

従って、省エネルギー性と給湯温度維持、運用の柔軟性等の観点から、還り配管がある程度長い

施設で、本自己制御ヒータを利用した給湯システムの適正が期待できる。

まとめ

本報では、第3報に続き、自己制御ヒータの自己制御性を検証する実験を行うとともに、シミュレーションにより、システムの省エネルギー性を評価した。本研究で得られた知見を以下に示す。

- ・ 温度制御用コントローラを取り外すと、自己制御ヒータにより配管温度が70℃前後まで上昇し、消費電力量も増加することから、コントローラの設置に優位性がある。
- ・ 循環型給湯システムと比較して、自己制御ヒータを利用した給湯システムの方が保温運転時のCO₂排出量の削減が期待でき、イニシャルコストは大きくなるが、保温帯よりも保温筒を用いた方が、CO₂排出量の削減効果が大きくなる。

参考文献

- 1) 赤井仁志ら：ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究（その1）給湯配管システムでの熱損失，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（2020年3月10日）
- 2) 土山紘平・赤井仁志ら：ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究（その2）実験の概要と解析，空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集，pp.107～110（2020年3月10日）
- 3) 上林由果・岩井良真・赤井仁志ら：ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究（その3）予備実験およびコントローラによるヒータの温度制御実験結果の解析

B-13

集合住宅の排水負荷計算に用いる衛生器具の器具排水特性と排水実態に関する調査

○篠塚 利彦 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 山崎 信吾 (UR都市再生機構),
中野 英治 (UR都市再生機構)

Research on The Drainage Characteristics and Actual Drainage of Sanitary Fixtures Used to Calculate The Drainage Load of Apartment Houses.

Shinozuka Toshihiko(Kanto-gakuin Univ.), Otsuka Masayuki(Kanto-gakuin Univ.), Yamazaki Shingo(Urban Renaissance Agency), Nakano Hideharu(Urban Renaissance Agency)

キーワード：排水実態調査 集合住宅 浴室系統 器具排水特性 排水率 β

1. はじめに

集合住宅における排水負荷算定については表-1に示すように、1990年代に収集されたSHASE-S206住宅用排水管径の決定に関する器具排水特性データ¹⁾をもとに実施し、管径計算を行っている。しかし、最近では節水化された衛生器具が普及していること、さらには以前の排水実態(排水率 β 値等)の変化が予想されることから数値データの見直しが必要である。

本報では、図-1に示す調査フローに沿って、筆者らの実施した既往研究等から、最近の節水化された衛生器具を含む器具排水特性を、また、高層系の既存ストック集合住宅における浴室系統雑排水の排水行為(排水率 β 等)の頻度等に関するアンケート調査を実施し、実態を把握する。それらの結果が排水立管システムの排水負荷にどの程度影響するかを検討することを目的とする。

2. 調査概要

調査は図-1に示す(1)既往文献による器具排水特性調査と(2)アンケートによる排水実態調査の2つとする。

2.1 既往文献による器具排水特性調査

2001年から2019年に報告された文献^{2)~8)}を調査し、衛生器具の器具排水特性実験から得られた実測値を把握しまとめる。

2.2 アンケートによる排水実態調査

表-2の各項目に対する内容を基本的な条件としてアンケート調査を実施する。なお、調査内容については、排水率 β の算定に必要な項目を条件とし、既往調査⁹⁾との比較や、分析が可能な内容となるように留意した。

2.2.1 調査対象ストック団地

高層系の既存ストック団地から、回収数が1000件以上となるために回収率20%とした場合の5000戸を目途に、都心型・郊外型が偏らないよう

に留意し調査対象団地を選定した。

表-3に調査対象団地を示す。対象団地は昭和45~63年に建設され、築40年以上の集合住宅を主な調査対象としている。

2.2.2 アンケート調査概要

表-4に排水行為の実態調査に関するアンケート概要を示す。(1)~(3)では回答者の基本情報を、(4)~(6)では洗面器・洗濯機・浴槽の、浴室系統の衛生器具の排水調査実態に関する情報を調査する。これらの結果をまとめ、現在の排水率 β に資するデータを収集する。

表-1 住宅排水器具の負荷算定の標準値¹⁾

衛生器具名	SHASE-S206規定値				排水率 β
	器具特性		使用頻度	器具	
	器具排水量 W[L]	器具平均排水流量 qd[L/s]	器具平均排水間隔 T ₀ [s]	定常流量 q=W/T ₀ [L/s]	
大便器	9.0	1.5	700	0.013	1.0
洗面器	6.0	0.75	700	0.009	
台所流し	6.0	0.75	200	0.03	0.3
浴槽	180.0	1.0	3600	0.05	
洗濯機	120.0	0.75	3600	0.033	0.5

(1) 既往文献による器具排水特性調査

1. (1) 最近の住宅系統衛生器具に関する文献調査

2. (1) 器具排水特性諸値の把握

3. (1) SHASE-S206の住宅排水器具の負荷算定標準値と最近の衛生器具の器具排水特性の比較

(2) アンケートによる排水実態調査

1. (2) アンケートによる高層集合住宅ストックにおける排水実態調査

2. (2) アンケートから各種衛生器具の排水頻度及び排水時間帯の把握

SHASE-S206 定常流量法による排水負荷算定結果の比較

図-1 調査フロー

表-2 アンケート調査基本条件

項目	内容
調査対象	既存高層集合住宅ストック、及び団地
目標回収数	1000件以上
調査内容	浴室系統雑排水(洗面器・浴室・洗濯機)の実態調査(排水時刻・排水頻度など)

3. 調査結果及び考察

3.1 既往文献による器具排水特性調査

表-5に既往文献^{2)~8)}による最近の節水化された集合住宅の衛生器具の器具排水特性諸値とSHASE-S206規定値を比較した結果を示す。

これより、器具平均排水流量 q_d に着目すると、大便器ではSHASE規定値は1.5[L/s]に対し、節水Ⅰ形で約1.3[L/s]、節水Ⅱ形で約1.1[L/s]となり、15~27%の低減がみられた。洗面器で0.75[L/s]に対し、0.44~0.63[L/s]となり、16~42%の低減、台所流しは器具排水量6.0[L/s]について0.75[L/s]に対し、0.52~0.66[L/s]となり、12~31%の低減がみられた。特に浴室系統排水器具の浴槽、洗濯機では、器具排水量 W が節水化により大幅な低減がみられたほか、 q_d は浴槽でSHASE規定値が1.0[L/s]に対し、SHASE-S220¹⁰⁾規定量150Lで0.66[L/s]となった。また後述するアンケート調査の結果、浴槽の残り湯量から算定した排水量で器具排水特性実験を行った結果、0.52[L/s]となり、両排水量で、44~48%の低減、洗濯機はSHASE規定値が0.75[L/s]に対し、0.31~0.43[L/s]となり、43~59%の低減がみられた。これらの結果より、1990年代に策定されたSHASE-S206規定値は現在の節水化された衛生器具の器具排水特性諸値とは乖離があるため見直しが必要である。

3.2 アンケートによる排水実態調査

図-2に表-4(5)の洗濯機の使用実態について、容量、洗濯機のタイプのアンケート結果を示す。これより、洗濯機の容量は5~7kg(50L相当)が最も多く、SHASE-S206規定量と比較しても節水化されており、洗濯機のタイプは縦型全自動式が最も多い結果となった。また、図-3に表-4(6)の浴槽の使用実態について、浴槽の湯はり量、湯を抜くときの残り湯の量のアンケート結果を示す。これより、湯を抜くときの残り湯の量は半分~3割以下が最も多く約55%となりSHASE-S220規定(浴槽の全容量から人体の容量60Lを抜いた場合)よりも低くなる可能性が考えられる。また、洗濯機、浴槽の排水時間帯について調査を行った結果、図-4及び、表-6に式(1)によって求めた排水率 β を平日、休日に分けて示す。これより、洗濯機の場合、最大排水率は平日のピークとなる7時台で0.214、休日の8時台で0.256となり、SHASE規定値(既往調査)の0.26~0.32と比較し

て20%程度低減した。浴槽の場合、最大排水率は平日、休日の21時台でもとも0.1となりSHASE規

表-3 アンケート調査対象団地

団地No.	地域の別	団地名	階数[階]	棟数[棟]	管理開始(昭和:年)	戸数[戸]
1	郊外	A	7	1	45	78
2		B	11	2	47	337
3	都心	C	14	1	51	713
4		D	11	3	52	300
5		E	10	1	54	176
6		F	10~11	2	58	299
7		G	14	1	59	312
8		H	8~11	2	61	130
9		I	9~10	2	63	154
10		J	9	1	53	144
11		K	14	1	61	163
12		L	11	2	61	160
13	M	14	1	62	143	
14	郊外	N	11	2	53	124
15		O	14	6	54	778
16		P	8~11	2	54	99
17		Q	14	3	59	332
18		R	8	1	63	82
19		S	14	1	63	175
都心型合計					11団地	2694
郊外型合計					8団地	2005
総合計					19団地	4699

表-4 アンケート調査概要

アンケート概要		
(1)	居住地域	
(2)	回答者の氏名	
(3)	現在の世帯構成	
(4)	洗面台の使用実態について	
	①使用頻度 ②使用方法	
(5)	洗濯機の使用実態について	
	①洗濯機の種類 ②洗濯機の容量 ③すすぎの回数設定 ④使用頻度(曜日・時間帯)	
	(6)	浴槽の使用実態について
		①季節ごとの浴槽のお湯はり回数 ②お湯はりの湯量 ③浴槽の湯の再利用 ④浴槽利用後の残り湯量について ⑤浴槽の排水時間(曜日・時間帯)

表-5 SHASE-S206規定値と文献調査及び実測値の器具排水特性諸値^{1)~8)}

衛生器具名	SHASE-S206 ¹⁾ 規定値		文献調査及び実測値(大塚 ^{2)~8)}		
	器具排水量W[L]	器具平均排水流量 q_d [L/s]	実測排水条件	器具排水量W[L]	器具平均排水流量 q_d [L/s]
大便器	9.0	1.5 (サイホンゼットだけ2.0)	一般形	9.9(±0.5)※	1.99(±0.5)
			節水Ⅰ形(W≥8.5)	7.8(±0.2)	1.3(±0.3)
			節水Ⅱ形(W≥6.5)	5.4(±1.3)	1.1(±0.3)
洗面器	6.0	0.75	20L溜め排水	18.7(±1.0)	0.63(±0.2)
			10L溜め排水	9.96	0.47
			6L溜め排水(SHASE-S220規定量)	6.2	0.44
台所流し	6.0	0.75	30L溜め排水	30.1(±1.4)	0.83(±0.03)
			6L洗いおけ排水	5.9(±0.09)	0.52(±0.25)
			6L溜め排水(SHASE-S220規定量)	6.14(±0.26)	0.66(±0.1)
浴槽	180.0	1.0	150L	153(±10)	0.66(±0.2)
			100L	101(±1.1)	0.52(±0.01)
洗濯機	120.0	0.75	高水位設定	56.5	0.38
			高水位設定 間接排水	52.4	0.35
			中水位設定	47.4	0.37
			低水位設定	34.0	0.34
			押し込み(重力) サイホン	52.5	0.31
				0.43	

※は平均値(±最大・最小値)

定値 0.15 と比較して 33%低減した。

これより得られた数値に、SHASE-S206 に規定されている安全率である 50%を考慮すると、洗濯機で 0.32~0.38、浴槽で 0.15 程度となることから、既往調査の値と比較すると、両者衛生器具で 0.1 程度の排水率の低減が考えられる。

3.3 排水負荷算定の比較

3.1 及び 3.2 で得られた値を用いて、SHASE-S206 の定常流量法を用いた、排水負荷算定結果を現行値と最近の衛生器具から得られた実測値を比較検討する。表-7 に比較検討用の排水立て管システムを示す。想定する階層は中高層規模の集合住宅とし、設計条件 1 では、浴室システムの衛生器具が排水立て管システムに接続された「分流式」を想定し、設計条件 2 では、汚水系統及び台所流し、浴室系統の全てが排水立て管システムに接続された「合流式」を想定し、排水負荷算定を行う。

また、図-5 に高層・超高層集合住宅に用いられる、(1) 特殊継手排水システム(新築物件)を、既存中・高層ストックで用いられる (2) 結合通気方式 1 箇所 (3) 2 箇所を示し、既往研究¹¹⁾¹²⁾から求めた、それらの排水能力(設計用許容流量値)を表-8 に示す。

以上の条件から求めた排水負荷算定結果を図-6 に示す。設計条件 1 の場合、排水負荷流量は SHASE-S206 規定値では、最高階の 20 階では 4.6 [L/s]程度となったが、調査結果及び最近の実測値を用いた場合、4.0[L/s]程度となり約 14%低減される。設計条件 2 の場合、排水負荷流量は SHASE-S206 規定値では、最高階の 20 階では 7.5[L/s]程度となったが、調査結果及び最近の実測値を用いた場合、5.4[L/s]程度となり約 28%低減した。また、図-5 (1) ~ (3) の排水立て管システムの排水能力と各階での排水負荷算定結果を照合し、適用可能とな

る階層数を前述の表-8 に示す。これより、設計条件 1 の場合 (1) 特殊継手排水システムでは、SHASE 規定値、実測値の両者で 20 階以上まで適用可能となった。(2) 結合通気方式 1 箇所では、SHASE 規定値が 3 階までに対し、実測値では 8 階まで、(3) 2 箇所では SHASE 規定値が 9 階までに対し、実測値

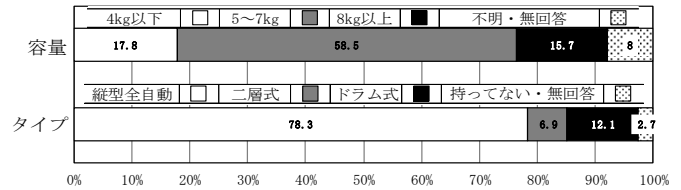


図-2 洗濯機の容量とタイプ

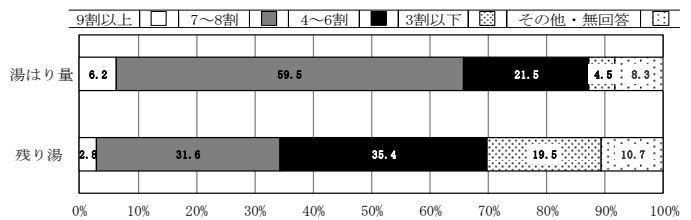


図-3 浴槽の湯はり量と排水時の残り湯量

$$\text{排水率 } \beta = \frac{\text{1時間の最大排水戸数 [戸]}}{\text{1日の合計排水戸数 [戸]}} \dots (1)$$

※βを使用する場合、SHASE-S206により安全率50%を考慮する。

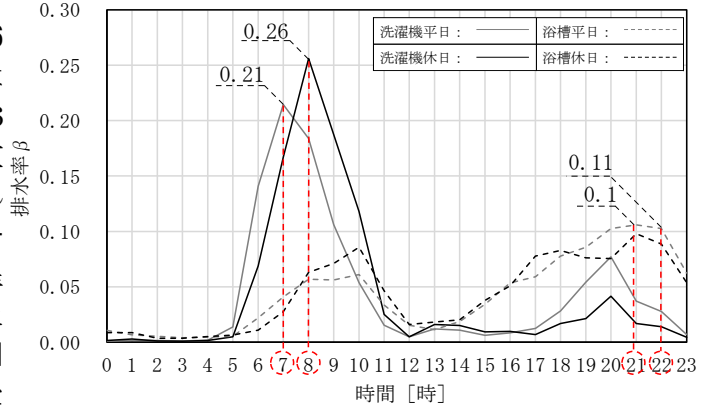


図-4 洗濯機・浴槽の時間帯別の排水率(β)

表-6 洗濯機・浴槽の最大排水率(β)

対象		最大使用時間帯	1時間の最大排水戸数 [戸] (a)	1日の合計排水戸数 [戸] (b)	排水率β 安全率無考慮 (a/b)	排水率β 安全率50%考慮 (a/b)	
洗濯機	既往調査 ⁹⁾	平日	8:00~9:00	494	1929	0.26	0.38
		休日	9:30~10:30	543	1707	0.32	0.48
	本調査	平日	7:00~8:00	230	1073	0.21	0.32
		休日	8:00~9:00	310	1214	0.26	0.38
浴槽	既往調査 ⁹⁾	平日	19:30~20:30 及び9:00~10:00	88	593	0.15	0.22
		休日	9:00~10:00 及び9:45~10:45	87	565	0.15	0.23
	本調査	平日	21:00~22:00	158	1492	0.11	0.16
		休日	21:00~22:00	135	1378	0.10	0.15

※休日は土・日曜日とした。

表-7 設計条件 (配管モデル)

モデル配管：高層・超高層集合住宅 (20階までを想定)							
設定条件1. 分流式：浴室系統雑排水立て管 (浴槽・洗面器・洗濯機)							
設定条件2. 合流式：汚雑合流排水立て管 (大便器・台所流し・浴槽・洗面器・洗濯機)							
供試衛生器具	器具排水量W [L]		器具平均排水流量qd [L/s]		器具平均排水間隔T ₀ [s] (今回はSHASE-S206規定値を使用)	排水率β	
	SHASE-S206規定値	実測値	SHASE-S206規定値	実測値		SHASE-S206規定値	本調査値
大便器	9.0	5.4	1.5	1.0	700	1.0	0.1
洗面器	6.0	6.2	0.75	0.44	700		
台所流し	6.0	6.14	0.75	0.66	200		
浴槽	180.0	153.0	1.0	0.66	3600	0.32	0.1
洗濯機	120.0	56.5	0.75	0.38	3600	0.5	0.38

表-8 各種排水立て管システムの排水能力と設計条件別適用階層

排水方式	排水能力 [L/s]	設定条件1. 浴室系統雑排水立て管想定 (浴槽・洗面器・洗濯機)		設定条件2. 汚雑合流排水立て管想定 (大便器・台所流し・浴槽・洗面器・洗濯機)	
		SHASE規定値	本報	SHASE規定値	本報
(1) 特殊継手排水システム ¹¹⁾	6.5	20階	20階	16階	20階
(2) 結合通気方式 ¹²⁾ 1箇所	2.5	3階	8階	適用不可	3階
(3) 結合通気方式 ¹²⁾ 2箇所	3.25	9階	13階	1階	9階

では13階まで適用可能である。

設計条件2の場合、(1)特殊継手排水システムでは、SHASE規定値では16階、実測値では20階以上まで適用可能となった。(2)結合通気方式1箇所、(3)2箇所での高層集合住宅への適用は厳しい。

4. まとめ

本調査では集合住宅における最近の節水化された5種類の衛生器具の器具排水特性を把握し、さらに浴室系統、特に浴槽、洗濯機の排水実態についてアンケート調査を行い、それらの排水量や、排水時間帯、排水率βについて報告した。その結果、全ての衛生器具で器具平均排水流量 qd の低減が見られ、浴槽、洗濯機の排水率βも現行 SHASE-S206 規定値と比較し、20~33%程度低減された。また、それらの値を用い、定常流量法による排水負荷算定を行った結果、本調査で得た値を用いることで、最近の集合住宅で使用されている特殊継手排水システムでは、「分流式」、「合流式」ともに20階以上まで適用可能という結果が得られた。

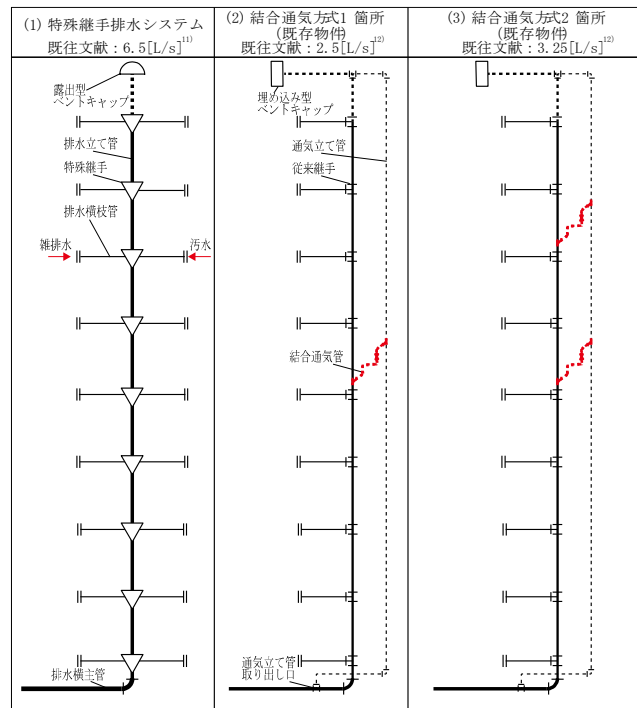


図-5 集合住宅の主な排水立て管システム

【参考文献】

- 公益社団法人 空気調和・衛生工学会規格：SHASE-S 206-2019「給排水衛生設備基準・同解説」(2019)
- 大塚雅之他：SI住宅排水横枝管システムの性能評価と設計方法に関する研究第1報-モデル配管システムでの排水性能の実験的検討 空気調和・衛生工学会論文集 No. 84, pp. 111-120 (2001.7)
- 大塚雅之他：SI住宅排水横枝管システムの性能評価と設計方法に関する研究第2報-配管長さ変化に伴うqd値の低下特性と排水立て管負荷影響 空気調和・衛生工学会論文集 No. 90, pp. 29-38 (2003.7)
- 大塚雅之他：SI住宅排水横枝管システムの性能評価と設計方法に関する研究第4報-配管長さとお水への水圧区間長さが短い場合の合流排水の検討 空気調和・衛生工学会論文集 No. 94, pp. 51-60 (2004.7)
- 大塚雅之他：SI住宅排水横枝管システムの性能評価と設計方法に関する研究第5報-汚水系統での器具平均排水流量の低下値の算定手法と搬送能力の検討
- 大塚雅之他：排水横枝管の設計に資する各種節水形大便器の器具排水特性と搬送性能に関する実験的研究 空気調和・衛生工学会論文集 No. 111, pp. 53-63 (2006.6)
- 大塚涼太他：ALC鉄骨造の戸建住宅における排水横枝管システムの性能評価に関する研究 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (名古屋) 第1巻, pp. 105-108 (2018.9)
- 山本陽也他：既存高層ストック集合住宅における浴室系統雑排水管の排水性能に関する実験研究 (その1)浴槽等の雑排水系統の器具排水特性データの収集と排水負荷算定 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (札幌) pp. 129-132 (2019.9)
- 住宅・都市整備公団建築部：集合住宅の給排水負荷基準の適正化に関する研究 (1985)
- 公益社団法人 空気調和・衛生工学会規格：SHASE-S 220-2007「器具排水特性試験法」(2017)
- 久我慶希他：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・衛生工学会大会学術講演論文集 (高知) 第1巻, pp. 9-12 (2017.9)
- 藤原利彦他：既存高層ストック集合住宅における浴室系統雑排水管の排水性能に関する実験研究 (その2)結合通気管等の設置による排水性能向上の検討 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集 (札幌) pp. 133-136 (2019.9)

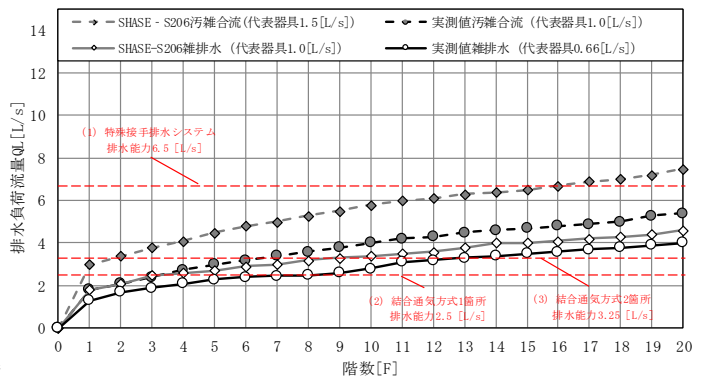


図-6 排水負荷算定結果の比較

B-14

中層 ALC 集合住宅へ適用する専用排水立て管システムの排水性能評価に関する研究

○阿部斗哉（関東学院大学），大塚雅之（関東学院大学），石井方奈子（関東学院大学），

篠塚利彦（関東学院大学），松村弘慈（旭化成ライフライン(株)）

Study on Drainage Performance Evaluation of Dedicated Drainage Stack System Applied to Middle-rise ALC Apartments.

Toya Abe (Kanto Gakuin Univ.), Otsuka Masayuki (Kanto Gakuin Univ.),
Kanakano Ishii (Kanto Gakuin Univ.), Toshihiko Sinozuka (Kanto Gakuin Univ.),
Koji Matsumura (Asahi Kasei Lifeline Corporation.)

キーワード：集合住宅，中・高層住宅，排水性能，排水負荷，適用高さ（階数），排水立て管

はじめに

東日本大震災以降、耐震・耐火性に優れている ALC (Autoclaved Lightweight Concrete) 板を用いた鉄骨造の戸建住宅が普及している。平成 30 年総務省住宅・土地総計調査によれば、近年、集合住宅の建設戸数が年々増加傾向にあり、特に、3～5 階建ての中層集合住宅の割合が住宅総数内の 4 割と多く占めている¹⁾。図-1 中右上より、一般の RC 造では、スラブ上の専用部に排水横枝管システムがあり、床仕上げ（二重床）とする必要があるが、ALC 鉄骨造では床仕上げ工程を少なくすることができ、工費の削減につながり、特に区分所有を有

さない賃貸住宅での普及は期待できる。そのため、今後は中高層への展開を考えている。

以上の背景より、本報では排水用多口管継手及び減速継手を用いた ALC 中層集合住宅専用の排水立て管システムを提案し、その排水性能を明らかにするとともに適用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

図-1 に供試排水立て管システムを示す。同図 (1) は基準排水立て管となる伸頂通気方式、同図 (2) は通気弁方式 1 箇所及び 2 箇所とする。排水立て管は呼径 100A、排水横枝管は呼径 75A（こう配

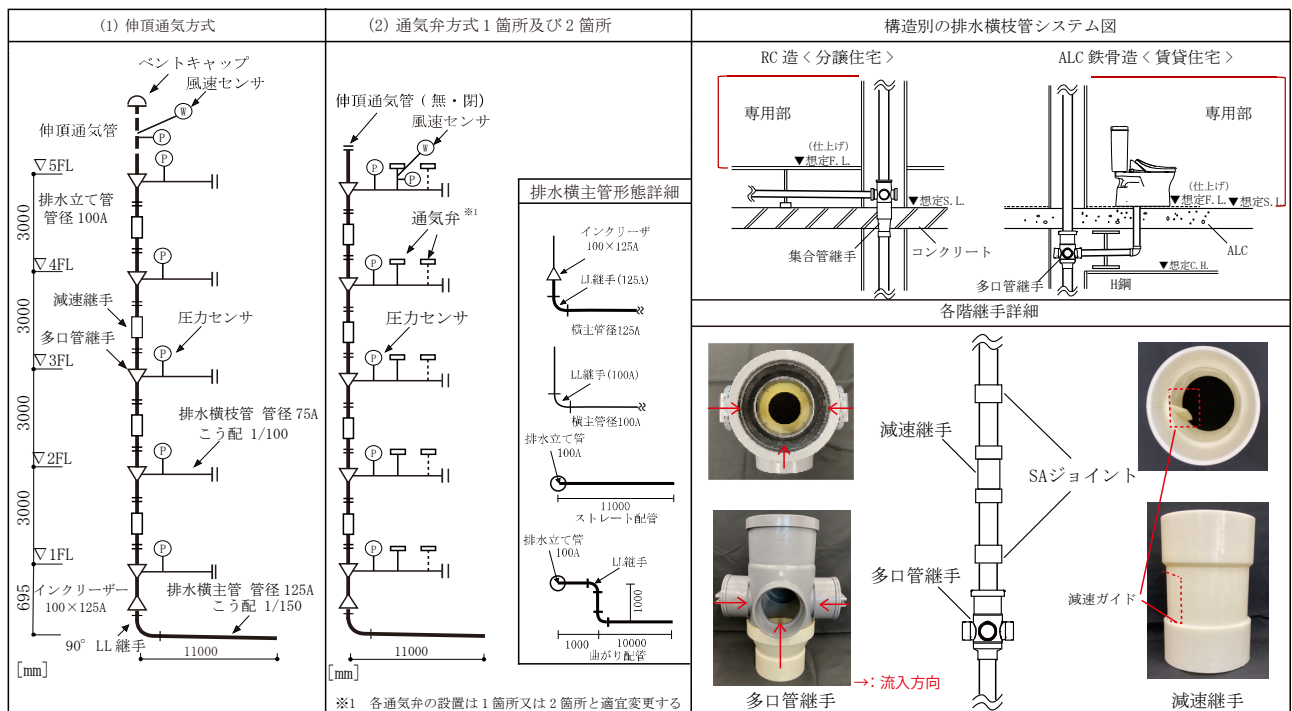


図-1 供試排水立て管システム

1/100)、排水横主管は呼径 100A 及び 125A (こう配 1/100、1/150)とし、排水横主管形態をストレート及び排水立て管の管芯より 1mの位置に第一曲がり設けた曲がり配管とする。なお、排水横主管(呼径 125A)は躯体を貫通させることが構造上、困難な場合が想定されるため、参考までに排水横主管(呼径 100A)を適宜変更して排水性能の把握を行う。排水立て管には、同図に示す多口管継手と各階間に流下速度を減速させることを目的とした減速継手を設けた。

通気弁方式は既報³⁾より排水横枝管に管径 40A 対応の通気弁を1箇所または2箇所設けることが有効とされたため、通気箇所を適宜変更し行う。

2.2 排水負荷の与え方

排水負荷パターンを表-1に示す。同表より SHASE-S 218⁵⁾に準拠し、一層(1階分)より与える最大排水負荷流量を2.5[L/s]とする。なお、既報²⁾において、住戸内に設置した5器具の合流排水時の器具平均排水流量 qd 値は2.72[L/s]であったが、概ね2.5[L/s]を同等の排水負荷と想定した。

2.3 測定項目及び判定基準

伸頂通気管及び5階横枝通気管、各階排水横枝管での管内圧力変動を測定する。そのうち、各階排水横枝管の管内圧力変動の最小値及び最大値を P_{min} 、 P_{max} とし、それからシステム最大値 P_{smax} 、システム最小値 P_{smin} を求め、その値が SHASE-S 218⁵⁾の判定基準値となる ± 400 [Pa]以内におさまる合計排水負荷流量 Q_w [L/s]を排水能力(設計用許容流量値)とする。また、伸頂通気管端部の管内中心風速変動を測定し、式(1)を用いて通気流量 Q_a [L/s]に変換する。ただし、通気弁方式では図-2に示す通気弁の通気特性実験装置を用いて、ファンで吸引し、バルブの開閉により、通気流量を変化させて求めた、式(2)、(3)に実測した管内圧力の負圧域を代入し、排水立て管内へ流入する全通気流量 ΣQ_a [L/s]を推定する。

3. 実験結果及び考察

3.1 管内圧力分布の比較

図-4に排水横主管径 125A の場合、図-5に排水横主管径 100A の合計排水負荷流量 3.5[L/s]における(1)伸頂通気方式、(2)通気弁方式1箇所、(3)同2箇所の排水横主管形態ストレート・曲がりの管内圧力分布を示す。これより、伸頂通気方式では頂部が大気に解放されているため、排水負

表-1 排水負荷パターン

排水階[F]	1箇所排水[L/s]					2箇所排水[L/s]				
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
5	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	
4	-	-	-	-	-	0.5	1.0	1.5	2.0	
合計排水流量[L/s]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0	

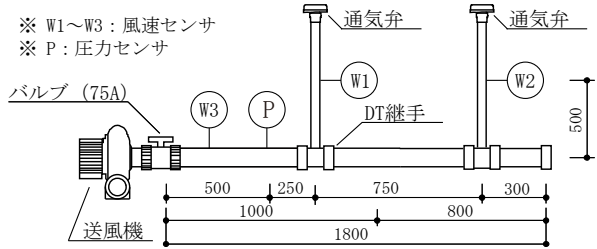


図-2 通気弁の通気特性実験装置

$$Q_a = 0.82 \times V \times A \times 10^3 \quad \dots \text{式 (1)}$$

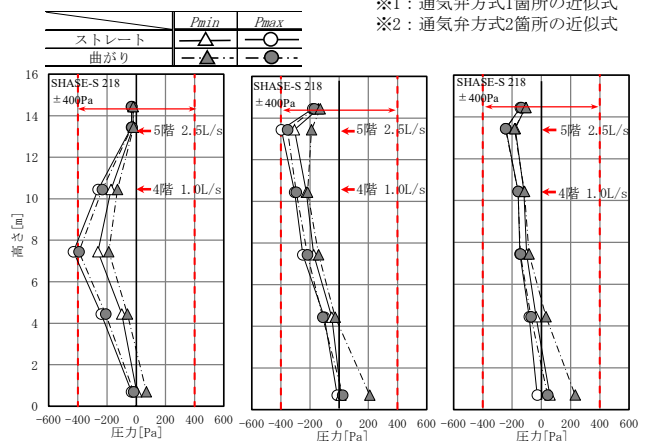
$$P = -1.4591 Q_a^2 - 8.9188 Q_a \quad \dots \text{式 (2)} \quad \text{※1}$$

$$P = -0.3948 Q_a^2 - 5.0742 Q_a \quad \dots \text{式 (3)} \quad \text{※2}$$

【凡例】

Q_a : 通気流量[L/s] V : 管内中心風速[m/s] P : 実測した管内圧力[Pa]
 A : 配管断面積[m²]... $A = \pi \cdot d^2 / 4$ d : 配管の実内径[m]

※1: 通気弁方式1箇所の近似式
 ※2: 通気弁方式2箇所の近似式



(1) 伸頂通気方式 (2) 1箇所 (3) 2箇所

図-4 管内圧力分布の比較

排水横主管 125A (合計排水流量 3.5[L/s])

荷直下階で P_{smin} となり、排水横主管ストレートにおいて P_{smin} が 430[Pa]に達し、判定値を超えた。また、 P_{smax} は 50[Pa]程度となり判定値内におさまった。

一方、通気弁方式では頂部が閉じられているため、各階に設けられた通気弁より空気が流入することから、排水負荷階にて P_{smin} が生じる結果となったが、判定値内におさまった。また、最下階である1階で P_{smax} が約 260[Pa]に達し、伸頂通気方式と比べ大幅に増加した。これは、各階に通気弁を設置することで排水横主管に加わる通気流量が増加したこと、伸頂通気方式では、伸頂通気管端部での吸気、排気が行われていたのに対し、通気弁方式では吸気のみが行われ、排水横主管曲

がり部分で通気抵抗が大きくなったことが要因と考えられる。しかし、最下階である1階は上階の排水と別系統とされるため2階を最下階とみなした場合、±50[Pa]程度と判定値内におさまった。

図-5 に示す、排水横主管径 100A の場合では、すべての方式で最下階となる1階で P_{smax} が判定値+400[Pa]を超え、通気弁方式においては1階別系統とした場合でも判定値を超えた。伸頂通気方式の場合では主に排水横主管曲がりの場合に正圧が増加しており、通気弁方式においてはその差が顕著にみられる。これは口径が縮径したことにより管内水位が上昇し、通気抵抗が排水横主管径 125A に比べ、大きくなったためだと推察する。よって、排水横主管は原則通り、排水立て管より1サイズ拡張させ、125A とすることが望ましい。

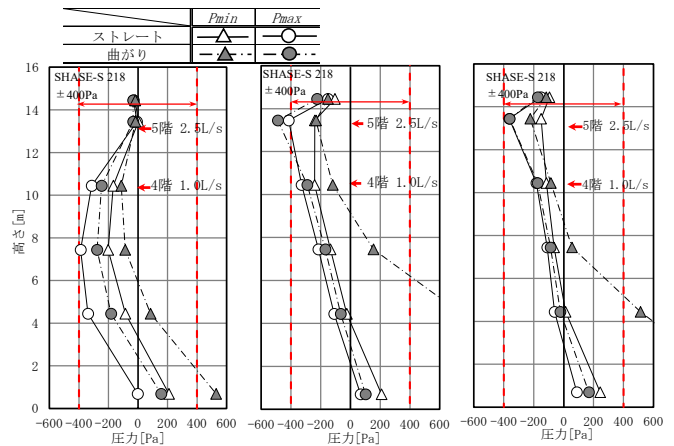
3.2 各種通気方式の通気流量の比較

図-6 に一例として排水横主管径 125A、100A における排水横主管曲がりの各種通気方式の合計排水負荷流量と通気流量の関係を示す。これより、3.1 と同様の合計排水負荷流量 3.5[L/s]で判断すると、排水横主管径 125A の場合、伸頂通気方式では約 30[L/s]となり、通気流量は一定以上の排水負荷流量を与えると増加は少なくなることが分かった。一方で通気弁方式1箇所では約 33[L/s]、2箇所では約 45[L/s]となり、通気弁の設置個数や合計排水負荷流量が増加すると通気流量が増加する傾向があることが分かった。この結果から 3.1 で述べた最下階で P_{smax} が増加する要因は通気流量が多く、圧力損失の増加が要因と推察する。

排水横主管径 100A の場合では、排水横主管径 125A と比べ、概ね同等の傾向が見られたが、全体的に通気流量は低い結果となった。これは、排水横主管径 125A に比べ、下層階にて正圧が生じたことで、その階において吸気が行われないことから通気流量は減少したと推察する。また、最下階で P_{smax} が過度に生じる要因は、3.1 で述べた口径が縮径したことによる排水横主管内の水位上昇に加え、上記の結果となったことから、排水横主管曲がり部分で大きな通気抵抗が生じ、より大きな圧力が発生したためだと推察する。

3.3 各種通気方式の排水能力の把握

図 7 (1)、(2) に一例として排水横主管径 125A の1階を別系統とした場合の合計排水負荷流量 Q_w と P_{smin} 、 P_{smax} の関係を排水横主管ストレー



(1) 伸頂通気方式 (2) 1箇所 (3) 2箇所
図-5 管内圧力分布の比較
排水横主管径 100A (合計排水流量 3.5[L/s])

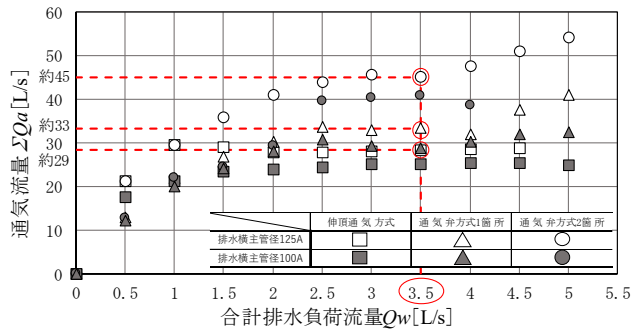
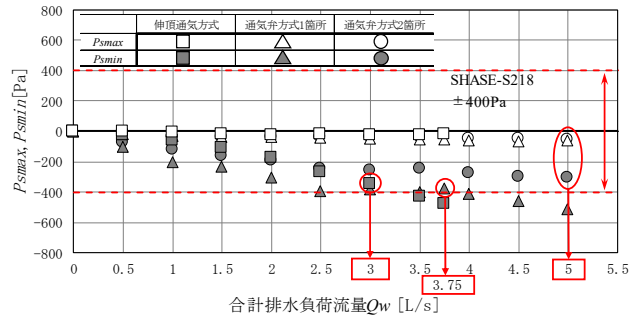
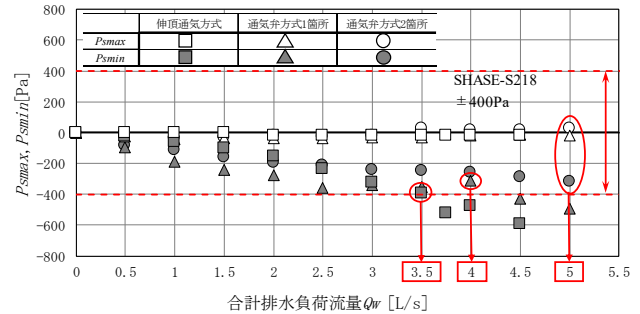


図-6 通気流量の比較 (排水横主管曲がり)



(1) 排水横主管ストレー



(2) 排水横主管曲がり

図-7 合計排水流量 Q_w と P_{smin} 、 P_{smax} の関係
(排水横主管径 125A)

ト・曲がりに分けて示す。同図より、±400[Pa]以内におさまる排水能力を表-3に示す。これより、排水能力は伸頂通気方式で3.0~3.5[L/s]、通気弁方式1箇所では3.75~4.0[L/s]、2箇所では5.0[L/s]以上となった。排水横主管の形態がストレート・曲がりの双方で、伸頂通気方式および通気弁方式1箇所が負圧側で判定値を超え、通気弁方式2箇所では最大の合計排水負荷流量である5.0[L/s]を与えても判定値内におさまった。以上より、同表の排水能力値の内、最も厳しい値を設計用許容流量値とする。

表-4に示すSHASE-S 206⁴⁾の原単位データと既報で求めた器具排水特性値を用いて、定常流量法により排水負荷流量を算出する。図-8に階数ごとに求めた排水負荷流量と3.3で得た設計用許容流量値を照合した結果を、表-5に適用階数を示す。定常流量法で使用する代表器具は大便秘器とし、その qd 値はSHASE-S 206⁴⁾では1.5[L/s]、本報では既報²⁾で求めた1.2[L/s](II形)を採用し、本実験の5階規模の中層建物の排水負荷流量を算定する。これより、概算ではあるがSHASE-S 206⁴⁾の原単位データを用いた場合、適用目標とする5階規模の建物では、実験的には通気弁方式2箇所のみ適用できる可能性がある。それに対し、節水形の衛生器具を用いた場合には、通気弁方式1箇所及び2箇所の双方で清水のみの排水において、適用の可能性があるとわかった。一方で、伸頂通気方式においては、3階以下の適用範囲となり5層規模の建物に対し、適用は厳しい。

以上の結果より、合流排水による排水横枝管での誘導サイホン作用等を考慮すると、通気弁方式2箇所が最も有効であるが、通気弁は排気的能力がなく、吸気のみ装置であることから正圧によるトラップ跳ね出し破封等の影響を考慮し、下層階にて通気管を設置する等の安全対策を設けることが望ましい。

4. 総括

中層 ALC 鉄骨造の集合住宅での専用の排水立て管システムとして、排水用多口管継手及び減速継手を用いた専用の排水立て管システムを提案し、排水能力及び各種通気方式における適用の可能性について検討した。その結果、計算上であるが排水横主管径を125Aとした通気弁方式2箇所、清水のみの排水においては、適用目標とする5層

表-3 各種排水立て管システム設計用許容流量値

		排水階含め+1階別系統 2.5[L/s]	
		ストレート	曲がり
伸頂通気方式	排水横主管125A	3.0 (-)	3.5 (-)
通気弁方式1箇所		3.75 (-)	4.0 (-)
通気弁方式2箇所		5.0(最大)	5.0(最大)

○が決定した排水能力。

(最大)：合計最大排水負荷流量を流した場合

(-)：表記以上の排水負荷を与えると判定基準値±400Paを負圧側で超える。

表-4 器具排水特性値

器具名	SHASE-S206		実測値			排水頻度 平均 排水間隔 T _v [s]	排水率 β
	器具排水特性 (単独排水)		単独排水(排水管非接続)				
	器具 排水量 W[L]	器具平均 排水流量 qd[L/s]	器具 排水量 W[L]	平均排水 時間 td[s]	器具平均 排水流量 qd[L/s]		
浴槽	180	1.0	152	366.0	0.25	3600	0.3
洗濯機	120	0.75	30.5	34.0	0.54		0.5
洗面器	6.0	0.75	10	13.0	0.46	700	1.0
大便秘器	9.0	1.5	5.00	2.5	1.2	700	1.0
台所流し	6.0	0.75	6.00	14.0	0.26	200	1.0

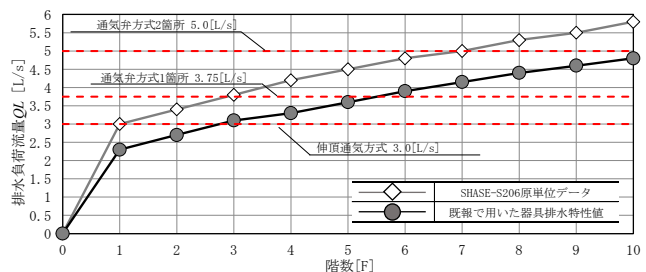


図-8 排水負荷と適用階数の比較

表-5 排水負荷流量 QL と許容流量値照合結果

	SHASE-S206記載 原単位データ	既報より求めた 実測データ
伸頂通気方式	1階 (3.0[L/s])	2階 (3.0[L/s])
通気弁方式1箇所	2階 (3.75[L/s])	5階 (3.75[L/s])
通気弁方式2箇所	7階 (5.0[L/s])	10階 (5.0[L/s])

程度の建物で適用できる可能性がある。しかし、汚物の混入や洗剤泡による過度の圧力を想定すると、実用化に向けては正圧の緩和に有効な通気管等を適宜設置することが必要と考える。

また、伸頂通気方式と通気弁方式の通気流量の比較を行った結果、通気弁方式の方が、通気流量が大きくなることから、通気弁の設置位置・個数に十分に注意し、通気流量の過多とならないよう配慮する必要がある。

【参考文献】

- 1) 総務省 統計局「平成30年住宅・土地統計調査結果」平成31年4月26日
- 2) 大場涼太 他:ALC鉄骨造の戸建住宅における排水横枝管システムの排水性能評価に関する研究, 空気調和衛生工学会・学術講演論文集, pp105~108, (2018.9)
- 3) 石井方奈子 他:ALC板を用いた鉄骨造の低層住宅に適用する排水システムの排水性能評価に関する研究 その2立ち下がり管合流システム及び多口管継手の排水システム排水性能評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp1717~1718(2020.9)
- 4) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備規準・同解説:SHASE-S 206-2019
- 5) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会規格:SHASE-S 218-2014「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」

B-15

導電性高分子ポリマーを用いた交流による

通電再生型デシカント空調システムに関する研究

○伊藤健允（東北大学），小林光（東北大学），白須公二郎（東北大学），

金井文彦（クレバ株式会社），川勝英樹（東京大学），小林大（東京大学）

Study on AC Power Regeneration Desiccant Air Conditioning System Using Conductive Polymer

Ito Kensuke (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),

Shirasu Kojiro (Tohoku University), Kanai Fumihiko (Creva Co. Ltd.)

Kawakatu Hideki (The University of Tokyo), Kobayashi Dai (The University of Tokyo)

キーワード：デシカント空調，PEDOT/PSS，導電性高分子，通電再生，省エネ，小型化

はじめに

デシカント空調は除湿エレメントの水蒸気吸着作用によって直接的に除湿する空調方式であり、従来の冷却除湿よりもエネルギー消費を削減できると考えられている。一般にロータ式デシカント空調は、温風により除湿エレメント(ロータ)を加熱再生する。これに対し筆者らは、吸湿性と導電性を兼ね備えた材料である導電性高分子ポリマー(PEDOT/PSS)を除湿エレメントに用い、通電により再生する通電再生型デシカント空調システムの開発を進めている。同方式はロータ内の最適な再生制御により再生時の消費エネルギーを従来方式よりも削減できる可能性を持つ。本報では、同方式の性能を向上させることを目的として、交流を用いた通電再生の除湿性能及び通電による再生への影響について検討した結果を報告する。

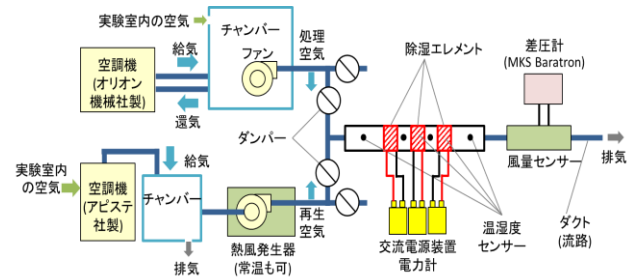


図-1 実験装置の概略図

表-1 実験 CASE

実験CASE	電気伝導率 [S/m]	電力 [W]	再生空気		処理空気		面風速 [m/s]	サイクル時間[min]	
			温度[°C]	湿度 [g/kg]	温度[°C]	湿度 [g/kg]		除湿	再生
A	1	150	28	11.8 (50%)	33	19.1 (60%)	2.5	3	3
	2							2	
	3							1	
	4							1	
	5	10						0	1
	6							0.7	2
	7							0	1
	8							0	1
B	1	150	33	19.1 (60%)					
	2	0.7~11							
	3	10							

生し、通電が阻害されたためと推測している。同現象の発生を防ぎ通電を可能とするために、交流を用いた通電再生実験を行った。図-1 に実験装置の概略図を示す。この実験では温湿度の異なる空気を交互に流すことにより、デシカントロータの運転を模擬した。実験条件を表-1、A 欄に示す。

1.2 実験結果・考察

交流を用いた P/P10 でのサイクル実験中に電気抵抗の増大は見られず、安定した通電再生が可能ことが確認された。図-2 に単位風量当たりの除湿量を示す。電力については P/P150 では 14W 程度の電力を印加したのに対して、P/P10 では 0.7W 程度と P/P150 の 20 分の 1 程度の電力しか印加し

ていない。これは P/P10 の電気抵抗が高く、P/P150 と同様の電力を現有の電源で印加できなかったことによる。通電した CASE:A-1~3,5~7 より、P/P150 と P/P10 を比較すると、サイクル時間が 3 分と 2 分の CASE:A-1,2,5,6 では P/P150 の方が性能が高く、1 分の CASE:A-3,7 では同程度の性能を示した。両者は投入電力が大きく異なっているにも関わらず、性能に大きな差は見られず、通電時の再生に係る挙動が異なる可能性が考えられる。また、再生時に通電せずに低湿度の空気を通すだけである程度の再生効果は得られる。そこで通電した CASE:A-3,7 と非通電の CASE:A-4,8 より、P/P150,10 の各エレメントにおける通電の有無による性能を比較すると、通電した CASE:A-3,7 の方が除湿量が共に 1.5 倍程度大きく、通電により性能が向上することが確認された。P/P150 と P/P10 の各エレメントに印加した電力は大きく異なるが、通電による性能向上の割合は似ており、このことから両者に何らかのメカニズムの違いがある可能性が示された。

2. 通電による再生挙動への影響の分析

2.1 実験概要

図-2 に示す結果より、P/P10 において低電力であっても通電再生により性能が向上することが確認された。このことから、当初、通電再生では単に通電によるジュール熱により再生が行われると想定していたが、通電による効果が単なる加熱のみではないことが推察される。そこで、通電の影響を分析するために P/P150,10 の各エレメントに除湿・再生ともに同条件の空気(33℃、60%)を送風して通電を行った。この実験は、通電による再生のみを確認することを意図している。実験条件を表-1、B 欄に示す。

2.2 実験結果・考察

図-3~5 に CASE:B-1~3 の入口空気と出口空気の絶対湿度差を示す。図-3 より P/P150 では通電時に絶対湿度差が大きくなり通電による再生が確認される。一方、図-4 の P/P10 では通電による大きな変化は見られなかった。図-5 より P/P150 においても印加する電力が小さいと大きな変化は見られず、電力を大きくすることで絶対湿度差が増加した。以上より通電による作用には水の蒸発潜熱供給以外の効果の存在が推察される結果を得た。

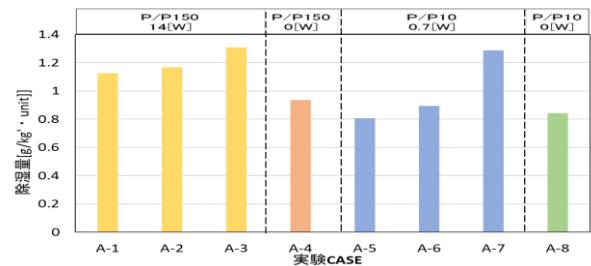


図-2 単位風量当たりの除湿量

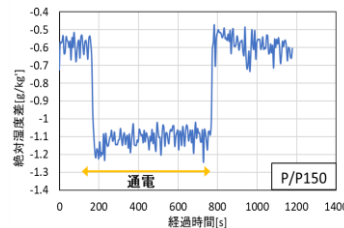


図-3 実験 CASE:B-1 の絶対湿度差(P/P150)

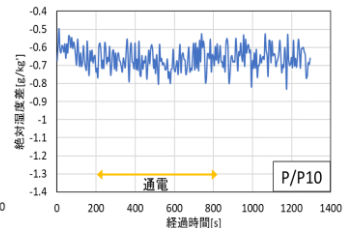


図-4 実験 CASE:B-3 の絶対湿度差(P/P10)

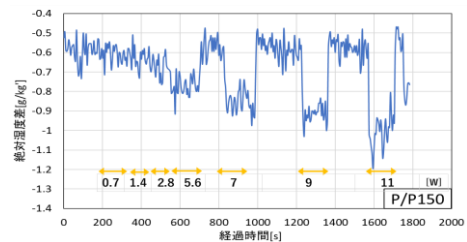


図-5 実験 CASE:B-2 の絶対湿度差(P/P150)

3. まとめと今後の展望

従来の実験で安定に実現できなかった P/P10 の通電再生を交流により実現した。電圧の正負を交番させることで内部の電気的な変化を抑制できることが推察された。また、P/P10 では P/P150 の 20 分の 1 程度の電力で P/P150 と同程度の除湿性能が確認され、両者の通電時の再生に係る挙動が異なる可能性が明らかになった。今後分析を進め、今回得られた結果を更に詳細に調べる。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H02294 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 弥富飛鳥 他:日本建築学会大会学術講演梗概集,2016年,p.1241-1242
- 2) 日浦良太 他:日本建築学会環境系論文集 2019年,84巻,757号,p.263-269

B-16

地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究
(その5) 実大試験家屋を対象とした異なる採熱方式の暖冷房実験

○竹内仁哉 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

松本真一 (秋田県立大学), 小田島賢成 (秋田県立大学)

Study for Energy Saving Efficiency of Grand Source Heat Pump System
(Part 5) Experiment for Heating and Cooling on Vertical and Horizontal Ground Heat Exchanger in Full-scale Test House

Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Odashima Kensei (Akita Prefectural University)

キーワード：地中熱，実大試験家屋，実験，採熱方式

1. はじめに

東北地方の日本海側地域では、地中熱のポテンシャルが高く再生可能エネルギーとしての活用が期待されている¹⁾。しかしながら、地中熱ヒートポンプ空調システム(以降、GSHP)は住宅への適用例は少なく、省エネルギー性能を適切に評価した研究例も極めて少ない。また、一般的に広く普及しているGSHPの採熱方式であるボアホール方式(以降、垂直採熱方式)は、大型の専用掘削機を用いて地中約100mまで採熱管を埋設するため、建設コストが高くGSHPを導入する上での課題となっている。一方、月館ら^{2)~5)}によれば、北海道地区において地中2m前後の浅層部を対象に、専用掘削機を不要とする水平採熱方式を導入した研究事例はあるものの、東北以南の寒冷地住宅への適用の可能性や住宅性能と採熱量との関係等は不明な部分が多く、現状、これらに関連する設計

資料は十分に整備されていない。

本研究では、既報^{6),7)}に引き続き、垂直採熱方式と水平採熱方式が導入された本学キャンパス内の実大試験家屋を対象に、住宅にGSHPを適用する優位性を明らかにするとともに採熱深さの緩和の可能性を見出すべく、異なる採熱方式を比較した暖冷房実験の検証結果について報告する。

2. 実験概要

2.1 実大試験家屋概要

図-1に実大試験家屋の1階平面図と温湿度等の測定点とあわせて、垂直採熱方式と水平採熱方式の導入位置、表-1に実大試験家屋の概要を示す。実大試験家屋の1階は、比較対象実験を可能とするために規模や断熱・気密性能を同一仕様とした

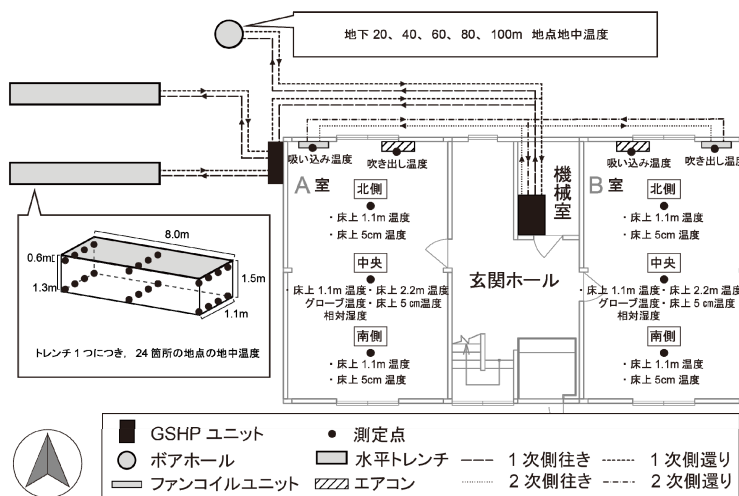


図-1 実大試験家屋・測定概要

表-1 実大試験家屋概要

試験家屋	竣工	2003年3月	
	構造	木造2階建	
	面積	建築面積	115.9m ²
		延床面積	176.6m ²
		試験室床面積(A・B室)	89.4m ² /室
	各試験室容積	89.4m ³	
各室の隙間相当面積(C値)	1.6~1.8cm ² /m ²		
各室の外皮平均熱貫流率(U _A 値)	0.41W/(m ² ・K)		
GSHP (垂直採熱方式)	冷房	能力	5.4kW
		定格消費電力	1.49kW
	暖房	COP	4.2
		能力	5.5kW
FCU	冷房	定格消費電力	1.49kW
		COP	4.2
	暖房	能力	1.85kW
		定格消費電力	33W
暖房	能力	3.1kW	
	定格消費電力	33W	

試験室 2 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。主な建物設備として, 試験室 2 室は両室とも第一種換気方式が採用されており, 北側壁面にはヒートポンプ式エアコンと GSHP の放熱器(以降, FCU)が設置され, 機械室には GSHP 本体が設置されている。採熱設備として, 写真-1 に示すように垂直採熱方式は実大試験家屋外の北西の位置に U 字状の熱伝導性の高いチューブが地中深さ 100m 地点まで 1 本埋設されている。一方, 水平採熱方式は地中 0.4m ~ 1.5m の浅層部に掘ったトレンチの両側面と底面の計 3 面に熱伝導性の高いチューブを U 字状に敷設し, 熱需要に応じて使用するトレンチを選択可能な 2 系統のトレンチを埋設している。なお, 各採熱方式は実験条件に応じて切り替え可能な機構としている。

試験室内の条件として, 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等の日射遮蔽物は施されていない。なお, 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化して $1.64cm^2/m^2$ である。本実験で用いた 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採用している。

2.2 実験条件

表-2 に暖冷房実験の実験条件を示す。実験ケースとして, 冷房実験では垂直採熱方式, 水平採熱方式を対象に送水温度を $7^{\circ}C$, もしくは $14^{\circ}C$ で供給し, FCU の稼働台数を 1 台もしくは 2 台稼働させた 8 ケース, 暖房実験では垂直採熱方式のみを対象に送水温度を $35 \sim 60^{\circ}C$ の範囲で $5^{\circ}C$ 間隔に供給し, 冷房実験と同様に FCU の稼働台数を変更させた 12 ケースの計 20 ケースを想定した。特に, FCU を 1 室に 1 台だけ稼働させる実験条件では, 残りの片方の試験室において, エアコンによる空調を行うことで GSHP とエアコンのエネルギー消費量を比較できる条件とした。各実験ケースの実施期間として, 外気による日変動の影響を考慮し連続した計 3 日間を対象とした。なお, エネルギー効率の評価指標として, 暖冷房出力(以

(a) 垂直採熱方式 (b) 水平採熱方式



写真-1 各採熱方式の埋設風景

表-2 実験ケース(冷房時・暖房時)

ケース名	対象室	空調モード	送水温度	採熱方式	条件	室内設定温度	
F1-T7-B	A 室	エアコン	7°C	垂直採熱方式	冷房	25°C	
	B 室	GSHP					
F2-T7-B	A 室	GSHP	14°C				
	B 室						
F1-T14-B	A 室	エアコン	14°C				
	B 室	GSHP					
F2-T14-B	A 室	GSHP	7°C				水平採熱方式
	B 室						
F1-T7-H	A 室	エアコン	7°C				
	B 室	GSHP					
F2-T7-H	A 室	GSHP	14°C				
	B 室						
F1-T14-H	A 室	エアコン	14°C				
	B 室	GSHP					
F2-T14-H	A 室	GSHP	35°C	垂直採熱方式	暖房	22°C	
	B 室						
F1-T35-B	A 室	エアコン	40°C				
	B 室	GSHP					
F2-T35-B	A 室	GSHP	45°C				
	B 室						
F1-T40-B	A 室	エアコン	50°C				
	B 室	GSHP					
F2-T40-B	A 室	GSHP	55°C				
	B 室						
F1-T45-B	A 室	エアコン	60°C				
	B 室	GSHP					
F2-T45-B	A 室	GSHP	50°C				
	B 室						
F1-T50-B	A 室	エアコン	55°C				
	B 室	GSHP					
F2-T50-B	A 室	GSHP	60°C				
	B 室						
F1-T55-B	A 室	エアコン	60°C				
	B 室	GSHP					
F2-T55-B	A 室	GSHP	60°C				
	B 室						
F1-T60-B	A 室	エアコン	60°C				
	B 室	GSHP					
F2-T60-B	A 室	GSHP	60°C				
	B 室						

降, 二次側出力注 1)をヒートポンプ消費電力で除した COP 注 2)を用いるが, 本報では GSHP 消費電力の計測値は採熱側と暖冷房側の搬送ポンプの消費電力の合算値であるため, GSHP 消費電力から採熱側と暖冷房側の搬送ポンプ消費電力を引くこ

とでヒートポンプ消費電力を算出している。

3. 各採熱方式による実験結果

3.1 室内外の温度推移と GSHP 消費電力

図-2, 図-3 に冷房時における各採熱方式の送水温度 14℃, FCU の稼働台数が 2 台の条件による室内外の温度推移と GSHP の消費電力を示す。設定温度 25℃に対して各ケースとも平均室温は垂直採熱方式(F2-T14-B)で 25.2℃, 水平採熱方式(F2-T14-B)で 25.3℃と概ね設定温度を満たす結果となった。

また, 図-4, 図-5 に垂直採熱方式の暖房時における送水温度 35℃, 45℃, FCU の稼働台数が 2 台の条件による室内外の温度推移と GSHP の消費電力を示す。設定温度 22℃に対して送水温度が 35℃と低い条件(F2-T35-B)の平均室温は 18.1℃と低くなっており, 送水温度が 45℃(F2-T45-B)の平均室温は 22.9℃と概ね設定室温を満たしている。

3.2 室内外の温度分布と COP の関係

図-6, 図-7 に冷房時, 暖房時における室内温度分布と COP の関係を示す。図-6 より, 冷房時において送水温度, 負荷率(FCU の稼働台数の増加)が高くなるにつれて各採熱方式の COP は上昇傾向にある。特に, 垂直採熱方式の場合, COP は 3.9~7.1 と定格 COP(4.2)を大きく上回っている。一方, 水平採熱方式では垂直採熱方式に比べ COP の上昇幅の程度は低いが, 垂直採熱方式と同様に送水温度や負荷率が高くなるにつれて COP が上昇する傾向にある。

図-7 より, 垂直採熱方式の暖房時において, 送水温度や負荷率が高くなるにつれて COP は低下する傾向にある。特に, 送水温度 40℃以上の場合, 定格 COP(4.2)を下回る傾向にある。以上より, 運用時において, 送水温度の設定値や FCU の稼働台数等の負荷率以外に, 室内温度についても留意しながら運用する必要がある。

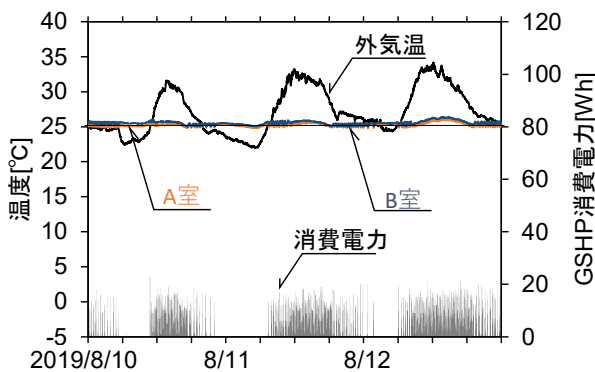


図-2 冷房時の温度推移と GSHP 消費電力 (F2-T14-B)

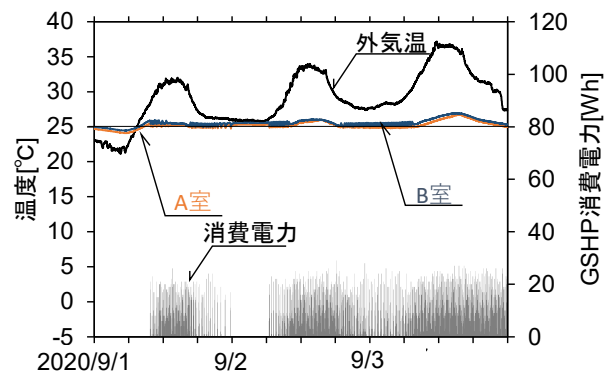


図-3 冷房時の温度推移と COP の関係 (F2-T14-H)

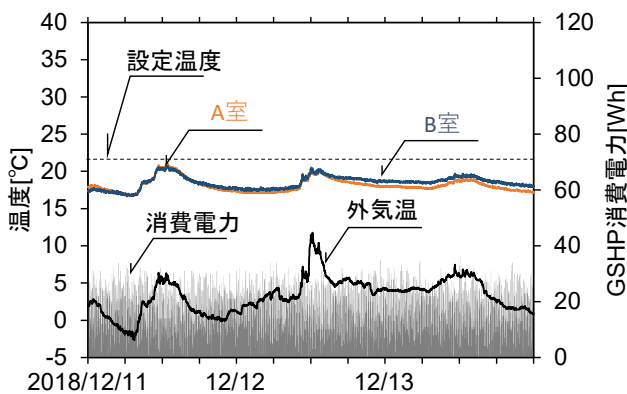


図-4 暖房時の温度推移と GSHP 消費電力 (F2-T35-B)

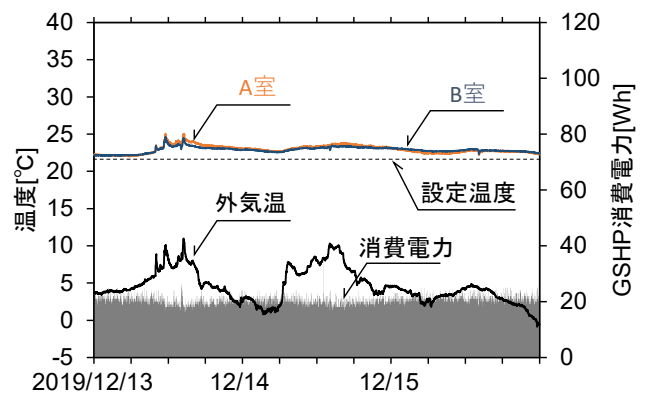


図-5 暖房時の温度推移と COP の関係 (F2-T45-B)

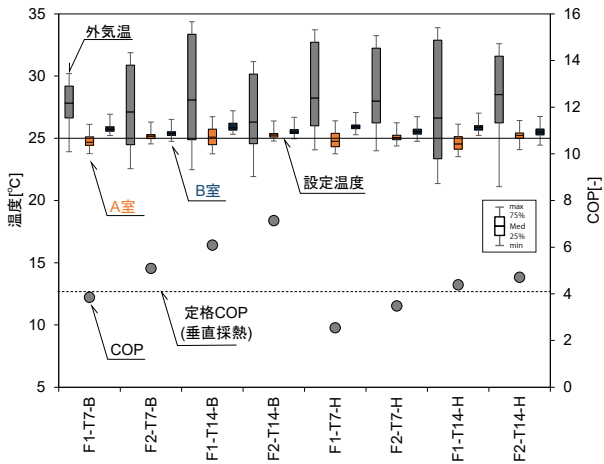


図-6 冷房時の温度分布と COP の関係(垂直・水平)

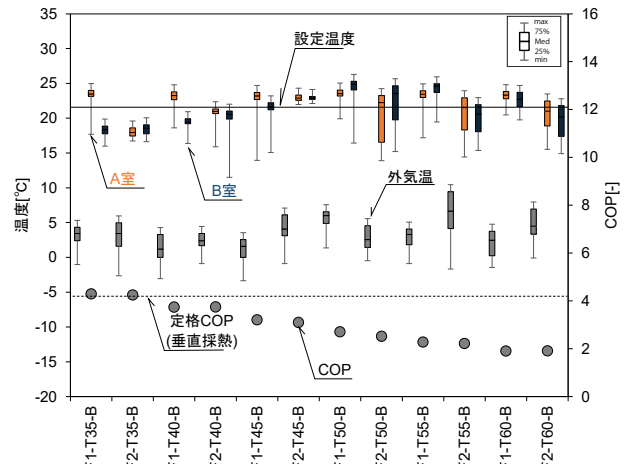


図-7 暖房時の温度分布と COP の関係(垂直のみ)

4. まとめ

本研究では、以下の知見が得られた。

- 1) 冷房時では各採熱方式で送水温度や負荷率 (FCU の稼働台数の増加) を高く負荷率が高くなるにつれて COP は上昇傾向にある。
- 2) 暖房時(垂直採熱方式)では、送水温度や負荷率が高くなるにつれて COP は低下傾向にある。
- 3) 暖房時の運用について、送水温度の設定値や FCU の稼働台数等の負荷率以外に、室内温度についても留意しながら運用する必要がある。

今後は、暖房時の水平採熱方式による導入結果と比較しながら、各採熱方式による採熱量の差異や地中温度の推移等、検証していく予定である。

注釈

- 注1) 二次側往き温度を $T_{2in}[^{\circ}C]$ 、二次側還り温度を $T_{2out}[^{\circ}C]$ 、二次側流量を $V_{b2}[L/min]$ 、不凍液の比熱、密度を $C_{b2}[kJ/kg \cdot K]$ 、 $\rho_{b2}[kg/L]$ 、二次側出力を $Q_2[kW]$ として、二次側出力を $Q_2 = |T_{2in} - T_{2out}| \cdot V_{b2} \cdot C_{b2} \cdot \rho_{b2}$ にて算出した。
- 注2) HP 消費電力を $W_{HP}[kW]$ 、GSHP 消費電力を $W[kW]$ 、採熱側搬送ポンプ消費電力を $W_{P1}[kW]$ 、暖冷房側搬送ポンプ消費電力を $W_{P2}[kW]$ とし、 $W_{HP} = W - (W_{P1} + W_{P2})$ より COP を $COP = Q_2 / W_{HP}$ にて算出した。
- 注3) 定格暖冷房出力を $Q[kW]$ 、負荷率を $\eta [%]$ として、負荷率 $\eta = Q_2 / Q \times 100$ にて算出した。

謝辞

本研究は、平成 30 年度公益社団法人・前川報恩会の学術研究助成 (研究代表者: 竹内仁哉)、ならびに 2019 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。実験を実施するにあたり、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、ご協力をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 松本真一: 25 年間の拡張アメダス気象データに基づく浅層地中温度の計算, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 5 巻: 121-124 (2014.9)
- 2) 福島ら: 寒冷地における水平採熱型地中熱ヒートポンプ暖房システムの検討, その 1 地中熱交換性能の実測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻: 229-232 (2013.9)
- 3) 月館ら: 寒冷地における水平採熱型地中熱ヒートポンプ暖房システムの検討, その 2 地中熱交換性能の数値解析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻: 233-236 (2013.9)
- 4) 月館ら: 寒冷地における水平採熱型地中熱ヒートポンプ暖房システムの検討, その 3 地中熱交換器の熱交換性能と地中温度分布, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻: 41-44 (2014.9)
- 5) 月館ら: 寒冷地における水平採熱型地中熱ヒートポンプ暖房システムの検討, その 4 設計年間採熱量, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 2 巻: 49-52 (2014.9)
- 6) 小田島賢成, 長谷川兼一, 竹内仁哉, 松本真一: 地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究, その 3 実大試験家屋を対象とした全ての暖冷房実験結果の比較, 日本建築学会東北支部研究報告集, 計画系, 第 83 号: 37-40 (2020.6)
- 7) 小田島賢成, 長谷川兼一, 竹内仁哉, 松本真一: 地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究, その 4 実大試験家屋を対象とした COP と室内温度分布の関係, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 II: 1967-1968 (2020.9)

B-17

アクアマリンふくしま(AMF)のエントランスホール空調に関する調査及び検証

○飯田 卓也 (千葉工業大学), 田村 真生 (千葉工業大学), 宮下 雅俊 (千葉工業大学),
若山 尚之 (千葉工業大学)

Investigation and verification of entrance hall air conditioning in Aquamarine Fukushima

Takuya Iida (Chiba Institute of Technology), Maki Tamura (Chiba Institute of Technology),
Masatoshi Miyashita (Chiba Institute of Technology),
Hisashi Wakayama (Chiba Institute of Technology)

キーワード：空調システム

1. はじめに

エントランスホール (以降 EH と表記) は、室外と室内の緩衝地帯であり通過空間のため、温度設定も緩和空調の位置づけのケースが多い。AMF の EH においても、入場者のヒートショックを防止する観点もあり、夏季は室温を高めに計画されており、居住域のみを対象とした空調システムとなっている。しかしながらここ近年、夏季の温熱環境に関する快適性に問題が生じていた。そこで現在の空調システムの性能検証を行い、温熱環境悪化要因を明らかにするとともに、温熱環境の改善案の提案を行うことを目標とする。

2. 研究の背景・目的

AMF の EH は、ガラスで覆われており、室温が上昇しやすい環境になっている。また開館から 21 年目を迎え空調システムの経年劣化により、快適性の悪化の可能性が推測される。この研究の目的は、EH の空調及び居住域の温熱環境の調査を行い、温熱環境悪化の原因と思われる設定送水温度の変更を伴う実測調査をし、改善方法を提案する。また昨年の実測より空調機導入部分での冷水温度が 8.5℃に上昇されたのが確認された。そのため、導入部分の冷水温度を設計値の 7.0℃での供給とするため、熱源側の設定送水温度を調整した上で実測を行った。

3. EH 実測調査

3.1 EH に関する実測概要

EH 温熱環境に関する測定対象は中央インテリア側である。EH 空調系統に関する測定対象は、床吹出空調の吹出口、SA ダクト、チャンバーである。測定項目は風速、温度である。測定は 8 月 3 日から 5 日までの 3 日間で行った。

3.2 EH に関する実測結果

3.2.1 EH 温熱環境の実測結果

温熱環境の実測結果を表-1 に示す。EH は竣工当時の設計方針を室温 28℃、湿度 50%、PMV2.0 としており、今回の実測では表-1 より平均 PMV はそれを満たす結果であった。しかし、この結果は実測当日の外気温度は夏季においては低く、本来想定される外気温 30℃以上に達していなかったためと思われる。また、設定送水温度の変更の影響は読み取れない結果となった。

表-1 EH 実測結果

項目	8月4日	8月5日
平均室温	29.6℃	29.5℃
平均外気温	26.5℃	26.5℃
平均 PMV	2.0	2.0

3.2.2 EH 空調系統の実測結果

EH 空調系統に関する実測の結果を表-2 に示す。

表-2 測定位置・各所温度

条件	初期	冷水温度 変更前	冷水温度 変更後
空調機導入部分	7.0℃	8.5℃	7.0℃
SA ダクト	18.0℃	17.8℃	17.7℃
チャンバー	18.0℃	18.2℃	18.0℃
床吹出口	18.0℃	21.3℃	20.4℃

SA ダクトとチャンバー内の温度差は 0.3℃程であった。一方、床吹出口付近とチャンバー内の温度差は、3.0℃程であった。風量について設計値では、南北系統各 10,000 m³/hr であるが、今年は外気取り入れを行っておらず、南北系統各 8,000 m³/hr の風量が、割り当てられている。測定値としては、SA ダクトが 13,500 m³/hr、床吹出口付近が 19,200 m³/hr であった。

3.3 冷水送水温度変更による効果検証

設定送水温度を 5.5°C にして運転を行った結果、空調機導入部分の冷水温度を 8.5°C から 7.0°C に低下させることができた。その条件の下で EH の温熱環境に関する実測調査を行った。これらの条件による実測結果として表-2 より、冷水温度変更前後で床吹出口付近の空気温度は 1.0°C 程低下した。この結果から、冷水温度の変更は EH の温熱環境を改善することに寄与すると考えられる。

3.4 床吹出空調システムに関する考察

床吹出空調の当日想定能力は 18.0°C と 16,000 m³/hr であった。空調機周りの実測結果は、冷水温度変更前では 17.9°C と 13,428 m³/hr、冷水温度変更後では 17.4°C と 13,605 m³/hr であった。風量について比較すると冷水温度変更前後ともに 15% 程の風量不足が空調機で起こっている。温度については冷水温度変更前後でダクト内では 0.5°C、床吹出口では 1.0°C、空気温度が低下していることから冷水温度の変更は有効な温熱環境の改善方法であった。

4. 空調機までの冷水温度上昇の考察

熱源から空調機までの配管内における冷水温度の上昇を改善することは EH の温熱環境の改善に繋がるため、要因と推測される 2 つの検証を行う。

4.1 改修に伴う冷水配管延長の熱損失の検証

2011 年に行われた AMF の熱源大改修工事により、空調機から熱源機械室のターボ冷凍機(配管長: 56.9m)より、空調機から屋外の空冷チラー(97.7m)に置き換わった。冷水配管が 40m 程延長され、延長部分は屋外に配管が設置されているため、改修工事前に比べ配管の熱損失が大きいことが考えられる。そのため配管の熱損失より、配管内の冷水温度の上昇値を算出した。外気条件など計算条件は実測当日の気象条件で、最大負荷時の運用という想定で算出を行う。結果を表-3 に示す。

表-3 熱損失による温度上昇の検討結果

	冷水設定温度 [°C]	
	7.0°C	5.5°C
延長部分における昇温	0.0039	0.0041
配管全長における昇温	0.0083	0.0089

検証を行った結果、冷水温度に関わらず温度上昇は 0.01°C と軽微であり、冷水配管延長のみが冷水温度上昇の原因ではないと推定された。

4.2 冷水供給ポンプの揚程に関する検討

熱源の大改修後、熱源から空調機まで冷水を送るポンプとしては、熱源内蔵一次ポンプに加え二次ポンプを使用する設計であった。しかし、省エネ運転のために現在は一次ポンプのみで運用しており、負荷が大きい大水量の際においては揚程が足りず空調機側で定格水量を確保できずに空調空気を冷却しきれないまま送風していた可能性がある。冷水配管の各所揚程を表-4 に示す。

表-4 配管抵抗の検討結果

	揚程
元設計の配管抵抗	394kPa (40m)
延長部分の配管抵抗	101kPa (10m)
全揚程	495kPa (50m)

揚程の検証を行ったところ、一次ポンプの揚程が 360kPa であり、元設計の配管抵抗でも揚程は足りず、実際には一次ポンプのみでの運用では、必要な揚程の 28% 程不足しているため、必要水量が不足したと推定される。その結果、冷水温度が上昇した可能性があると思われる。

4.3 冷水温度上昇に関する検証結果

検証結果として、冷水温度の上昇の要因の一つである冷水配管の延長での温度上昇は軽微であり、ポンプの揚程不足による不十分な水量の影響が大きいと推定される。

5. まとめ

EH の温熱環境に関する実測結果からは、EH 空間の温熱環境について著しい悪化は見られなかったが、床吹出空調系統の性能低下が見られた。その原因が、熱源から空調機までで起こる冷水温度の上昇であることが推定され、その改善方法として熱源の冷水設定温度を 1.5°C 低くすることが 1 つの方法であることを実測の結果より明らかにした。しかしながら、空調の運転条件による EH の温熱環境の改善は消費エネルギー量増大につながり、同時に電力料金上昇と連動するため、その運用については、AMF 側の経営的判断が必要であることは言うまでもない。

参考文献

- 1) 株式会社 日本設計: 福島県海洋文化学習施設 温度・気流解析 結果報告書(1996)

「DiverCell」（ダイバーセル）は短期間で設置が可能な室圧制御型クリーンブースで、感染症対策から産業用途まで様々な需要に対応する。

CONCEPT

- ①標準2.5日間の短期工事
- ②一般オフィスに設置可能な寸法と重量
- ③タッチパネルによる陽圧／陰圧の切替え
- ④HEPAフィルタによる給排気の清浄化
- ⑤ナイトモード等の静かな空間を提供
- ⑥新開発フレーム採用で内側から組み立て可能
- ⑦シール材未使用による耐久性向上
- ⑧高精度部材採用で遮音性向上
- ⑨変更可能なFFU配置

DiverCellの外観



▶ 感染症対策から産業用まで多様なニーズに対応する **室圧自動制御**

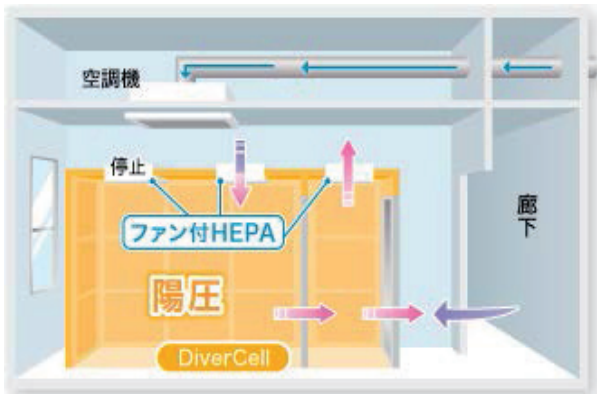


図-1 陽圧運転時の模式図

DiverCellの陽圧運転時の airflow イメージを図-1に示す。ブース外部の空気はHEPAフィルタを通過し清浄空気として内部に供給される。感染・汚染源となりうるエアロゾル粒子がブース外部に存在する場合、HEPAフィルタで除去され、内部の清浄度を維持することができる。産業用クリーンブース、再生医療用クリーンブース、医療従事者安全確保室などの用途として使用することができる。

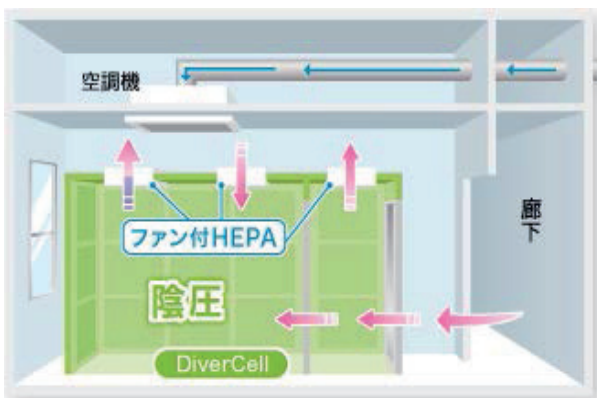


図-2 陰圧運転時の模式図

陰圧運転時の airflow イメージを図-2に示す。ブース内で汚染物質が発生した場合、汚染物質はHEPAフィルタによって除去され清浄空気として外部へ排出される。その空気量を調整することでブース内はブース外より圧力が低い陰圧環境となり、ブース内汚染物質の外部漏出を防ぐことができる。そのため例えば、空気感染症とされる結核感染者や隔離が必要なウイルス性感染症向けの「空気感染隔離室」として利用することができる。室圧をブース外部>前室>主室に制御することにより、前室が緩衝室としての役割を果たし、汚染物質流出のリスクを低減する。空気感染隔離室のほか、薬剤調整ブース、微生物等取扱ブースなどの用途としても使用することができる。

* 米国CDCガイドラインの隔離予防策によると、感染者からウイルスや細菌が空中に放出される場合は、感染者を空気感染隔離室に移動させ感染性ウイルス等を室外に漏洩しないことが望まれる。その場合の空気感染隔離室（陰圧）の室内圧力は外周部に対し、 -2.5Pa 以下とされており、DiverCellはこの基準をクリアしている。



室圧の変更が可能な
多用途型簡易クリーンブース



新日本空調株式会社
SHIN NIPPON AIR TECHNOLOGIES CO., LTD.

▶ ISO-class5の基準以上となる高い清浄度

DiverCellは用途に応じてFFUの運転制御方法を変更することができる。清浄度を重点管理項目とした運転を想定し、ブース内の清浄度の推移を計測した。結果を図-3に示す。横軸は運転開始からの経過時間[分]、縦軸は粒子個数濃度[個/ft³]である。運転開始から3分経過後にISO-class5の基準以上(0.5μmが3520個/m³以下、旧規格クラス100@0.5μm)となり、9分経過後には粒子数0となった。室圧と清浄度のバランスを考慮し最適な運転条件に設定することが可能である。

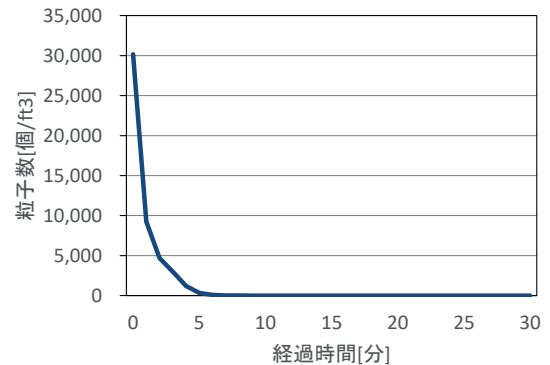


図-3 FFU運転開始後の粒子濃度の推移

▶ 室用途に応じた静音運転

DCブラシレスモータの採用や運転出力の最適な制御により低騒音化を実現している。感染症の罹患者等が安心して睡眠することが可能な環境を提供できる。

測定結果を表-1及び図-4に示す。静音運転時は会議室や寝室に相当するNC-30を達成している。

図-4 各運転条件におけるNC曲線

運転条件	室圧設定	室圧制御	NC値
陽圧/通常	+2.5Pa	あり	NC-45
陰圧/通常	-2.5Pa	あり	NC-50
陽圧/低騒音	+2.5Pa	無	NC-30
陰圧/低騒音	-2.0Pa	無	NC-30

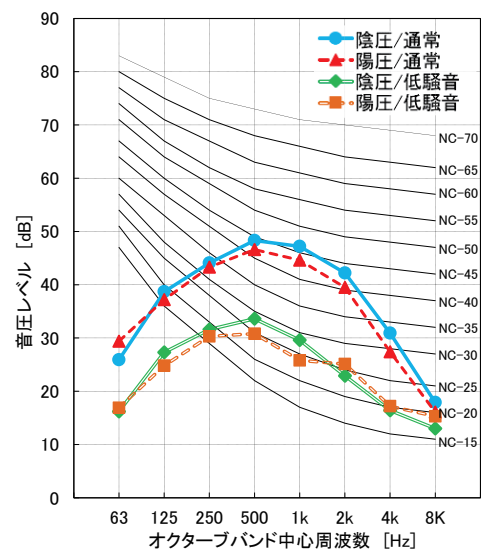
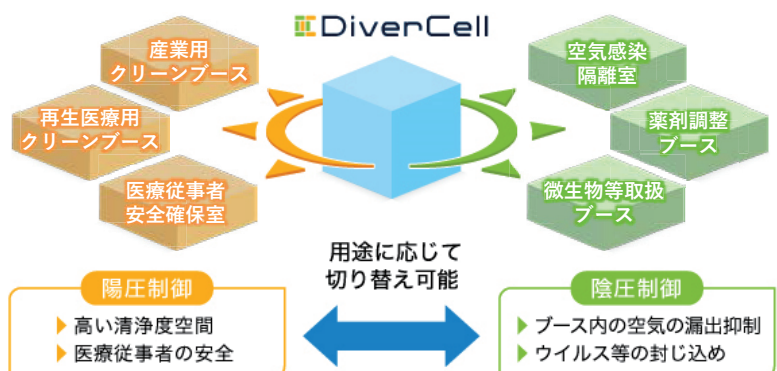


図-4 各運転条件におけるNC曲線

室圧を制御し高い清浄度空間を作ることができるため、幅広い分野・用途に適用でき、技術革新や市場ニーズ、事業や業態の変化に対応できる。

DiverCellは既存オフィス等への導入ができ、大規模な改修工事を実施せずに設置することができる。吸排気系統が完結しているため、電源供給のみで稼働し、更に解体・再構築が可能で、移設にも対応する。常設の陰圧ブースとしての適用はもとより、既存の病院や避難施設等において一時的な隔離スペースを設ける場合や、将来の用途の変更が想定される状況での設備投資にも対応することができる。

様々な用途に適用可能であると同時に、運用や用途変更に応じて柔軟に対応できるため、不特定多数に短期間で貸し出しをする用途にも対応可能となっている。運転の設定変更が容易であり、複数利用者が入れ替わりながら使用することも可能である。多様な社会ニーズに柔軟に対応する技術として今後の普及・展開を促進する。



コロナ禍を契機とした、三菱電機の快適空間提案

三菱電機住環境システムズ株式会社
東北支社

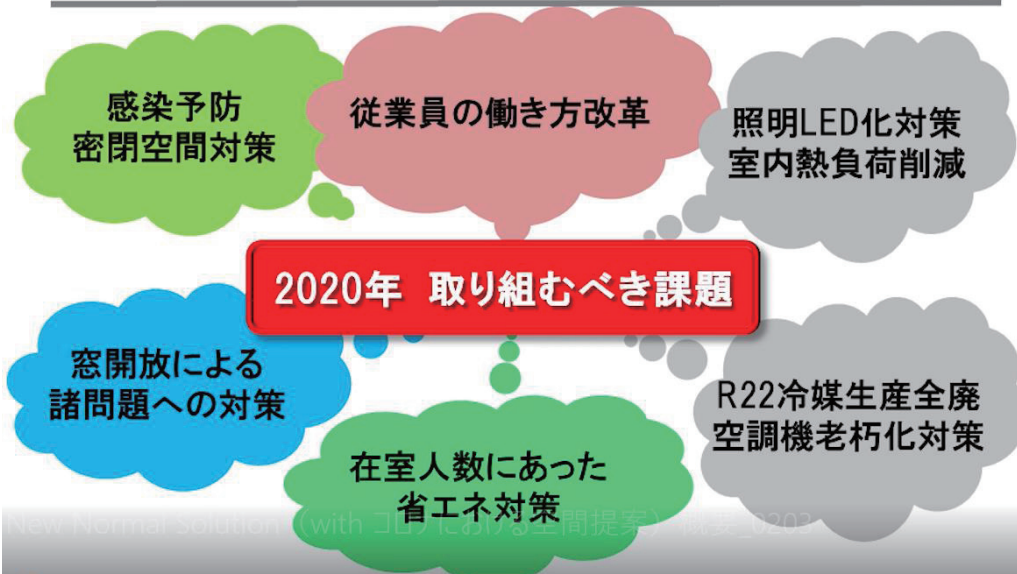
■ New Normal Solution (with コロナにおける空間提案)

New Normal Solution (with コロナにおける空間提案)



New Normal Solution(with コロナ時代の空間提案)

「密閉空間」を心地よい「快適空間」へ！



【中小規模オフィス】 換気、空調、照明 ご提案

換気・空調・照明設備で快適な環境をご提案。

コロナ禍を契機とした、三菱電機の快適空間提案

三菱電機住環境システムズ株式会社
東北支社

■ New Normal Solution (with コロナにおける空間提案)



【工場】換気、空調、照明 ご提案

換気・空調・照明設備で快適な環境をご提案。

生産ライン・倉庫



事務室・会議室



トイレ・廊下・更衣室



【学校】換気、空調、照明 ご提案

換気・空調・照明設備で快適な環境をご提案

教室



グラウンド・プール



体育館



工場用ゾーン空調機の特徴について

 木村工機株式会社

快適職場宣言

人にさわやか、機械にやさしい 工場用ゾーン空調機

スポット空調でなく、全館空調でなく、職場ゾーンをターゲットとします!

高効率空調による快適な労働環境を実現!

品質、生産性大幅向上、職場の和を高めます!



工場用ゾーン空調機の特徴について



労働環境改善で、品質/生産性大幅向上

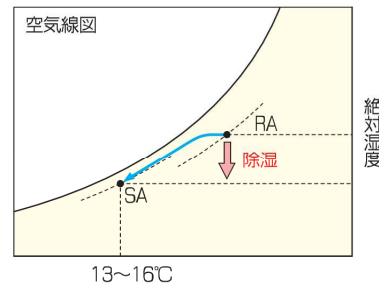
(1) 性能は実績で証明

1982年の発売以来、長年様々な進化を続けながら、各種工場、展示場、大ホールなどで働く多くの人々を支えています。



(2) 強力除湿設計

低温送風設計により、しっかりと除湿した空気を作業エリアまで届けます。除湿は、WBGT(※)に大きく影響し、暑熱および熱中症対策に有効性大です。



※ WBGT (暑さ指数)

WBGT (Wet-Bulb Globe Temperature: 湿球黒球温度) は、熱中症を予防することを目的とした指標で、人体の熱バランスに大きく影響する「気温」、「湿度」、「輻射熱」より下記計算式によって算出されます。

- ① 日射の影響がある場合 $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.2 \times \text{黒球温度} + 0.1 \times \text{乾球温度}$
- ② " がない場合 $0.7 \times \text{湿球温度} + 0.3 \times \text{黒球温度}$

湿度の影響が大きい理由は、多湿環境では汗の蒸発が阻害されるためであり、効果的に除湿することが望まれます。また、WBGT値が28℃を超えると熱中症患者が著しく増加することなどが報告(*)されています。 (*) 環境省ホームページ「熱中症予防サイト」より

● WBGT推定表 (目安)

		相対湿度(%)									
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	
乾球温度(℃)	38	31	32	33	34	35	35	36	37	38	
	37	30	31	32	33	34	35	35	36	37	
	36	29	30	31	32	33	34	34	35	36	
	35	29	29	30	31	32	33	33	34	35	
	34	28	29	29	30	31	32	33	33	34	
	33	27	28	28	29	30	31	32	32	33	
	32	26	27	28	28	29	30	31	31	32	
	31	25	26	27	27	28	29	30	30	31	
	30	24	25	26	27	27	28	29	29	30	
	29	24	24	25	26	26	27	28	29	29	
	28	23	23	24	25	25	26	27	28	28	
	27	22	23	23	24	25	25	26	27	27	
26	21	22	22	23	24	24	25	26	26		
25	20	21	22	22	23	23	24	25	25		

< 作業強度毎のWBGT基準値 >

- ① 低代謝率: 軽い手作業など WBGT基準値 30℃
- ② 中代謝率: 腕と胴体の作業など WBGT基準値 28℃
- ③ 高代謝率: 強度の腕と胴体の作業など WBGT基準値 25℃

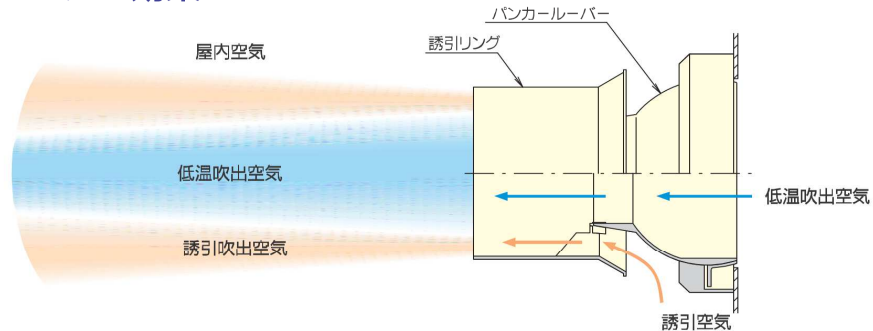
※ 左表は室内で日射・輻射の影響がない環境を想定した推定表です。正確なWBGT値とは異なる場合があります。
 ※ WBGT基準値は、作業環境における熱中症を予防するための目安です。実測値を基に本基準値以下になるよう対策が求められます。
 ※ WBGT基準値は、作業する熱環境への慣れ、気流感の有無によっても異なります。詳細は厚生労働省のホームページをご参照ください。

工場用ゾーン空調機の特徴について



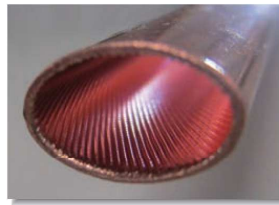
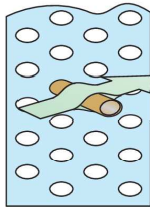
温度も！湿度も！到達距離も！！

(3) 誘引パンカー効果



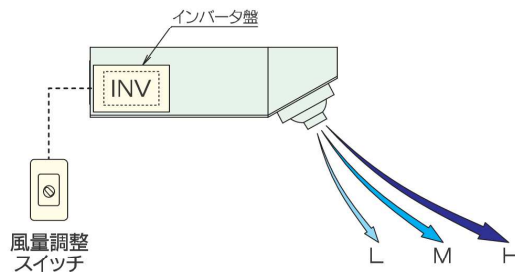
誘引空気では風量約20%増加、室内空気と低温吹出空気の混合を抑えながらできるだけ遠方まで冷気の到達を図ります。また、低温送風による送風動力削減で省エネとなります。

(4) 低圧損、溝付楕円管コイルで省エネ運転！



楕円形状による低圧損効果で送風動力低減、直膨コイルには内面溝付管を採用し、総合熱伝達率を高めています。

(5) インバータ搭載で風量可変！



インバータを搭載し、手元スイッチで風量の切換えが可能です。冬期暖房立ち上げ時のドラフト対策にも有効です。(オプション)

※ オイルミスト雰囲気でのご使用はインバータ別置にて対応検討しますので、お問合せください。

(6) 自動制御盤で全自動運転！



制御盤



液晶制御スイッチ (空冷直膨式)



マイティリモコン (冷温水用/オプション)

工場用ゾーン空調機の特徴について



空冷直膨式

熱源別置の直膨式で冷暖フリー運転が可能です。

■ 型番構成

CRV2-HPSE

空冷直膨式を示す



空冷室外機 SE型



CRV2/CRH2



BLV

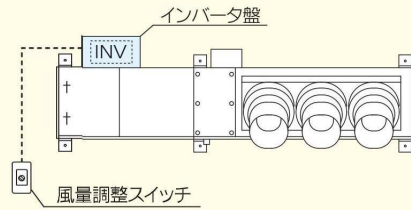


BLH

室内機

< オプション >

■ 給気風量制御 (H-M-L)



インバータを搭載し、
給気風量制御が可能です。

■ 寒冷地仕様 室外機



KM-DXZ型

寒冷地や暖房能力も重視される
建物にお勧めです。

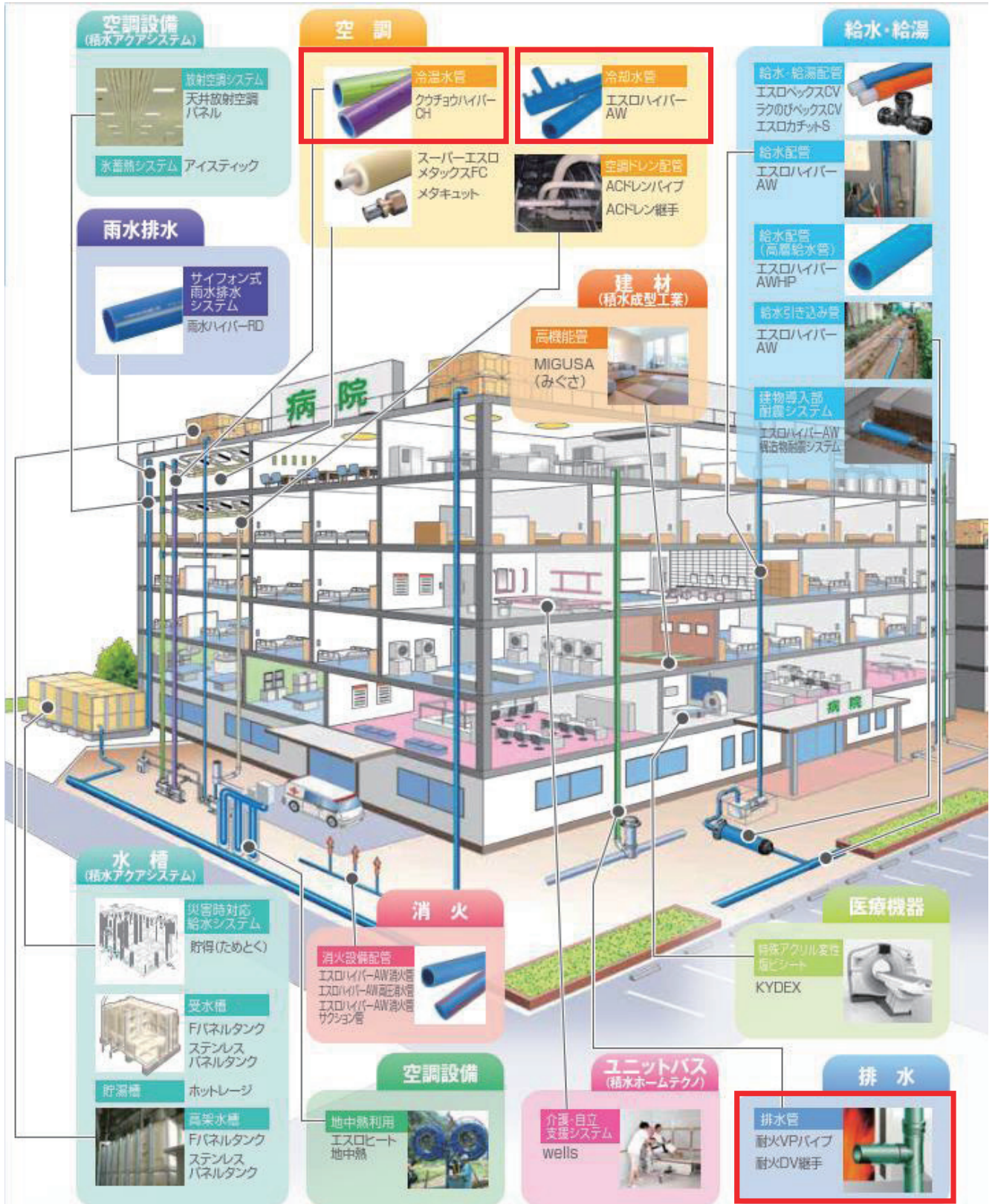


G-4

建築現場における樹脂配管のご提案

積水化学工業株式会社

積水化学工業では主に**プラスチック**を使用した配管材をご提案しております。
例として、病院での当社品が採用可能部位について記載しております。



次ページにて、赤枠の3製品をご紹介致します。

建築現場における樹脂配管のご提案

積水化学工業株式会社

給水

水道用耐震型高性能ポリエチレン管

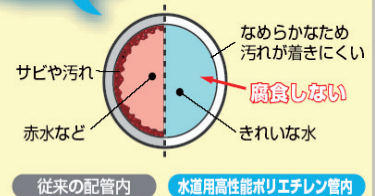
エスロハイパー-AW

耐久性

ポリエチレン管の採用で
錆びなし! 漏れなし!

- 錆びることのない高性能ポリエチレン(PE100)を使用。赤水の心配なし!
- 酸・アルカリに強く腐食性土壌や海岸付近の塩害地域でも腐食の発生なし!
- 電気絶縁性にも優れ、鉄道付近でも電食の心配なし!

こんな効果も!
赤水の心配なし!



耐震性

埋設配管で実績をつんだ
水道用耐震型高性能ポリエチレン管を採用

- 管体独自の可とう性とEF接合により地震に強い一体管路を構築。
- エスロハイパー-AW「免震継手」登場で、免震構造の建物にも対応。
- 埋設配管(エスロハイパー-AW)では、2003年宮城県北部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震、2011年東北地方太平洋沖地震※、2016年熊本地震で被害件数がゼロ。※津波被害は除く。

内水圧2.5MPa(25.5kg/cm²)をかけた状態で30度曲けても接合部に異常がありません。



省力化

信頼のEF接合、軽量・柔軟な管材、保温レス可能により
施工工数の省力化とトータルコスト削減

- 信頼性が高く熟練不要のEF接合により、スピーディーな施工が可能。
- 軽量かつ柔軟なポリエチレン管により、施工性が大幅アップ。
- ねじ切りや接着が不要。改修工事でもシール材・油・接着剤で現場を汚しません。

空調配管用高性能ポリエチレン管

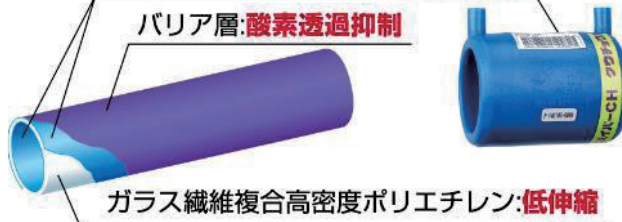
空調

クウチョウハイパー-CH

管・継手の構造

特殊高性能ポリエチレン:60℃対応

バリア層:酸素透過抑制



管と継手の接合は信頼のEF接合 (ねじ切りや溶接の作業は不要) 軽量でスピーディーな施工が可能。(100Aで重量はSGPの約1/3)



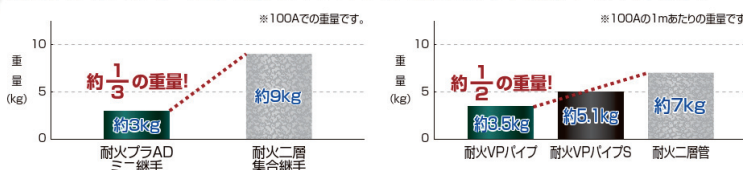
建物用耐火性硬質ポリ塩化ビニル管・継手(建物排水・通気用)

排水

耐火VPパイプ配管システム

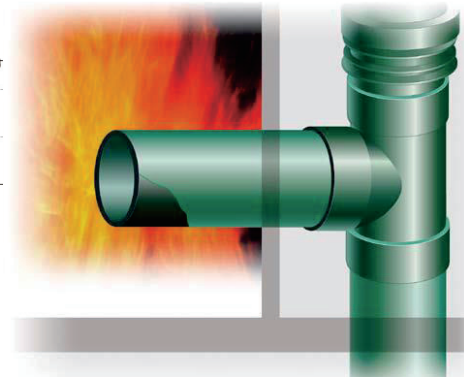
軽量コンパクト

●耐火プラADミニ継手、耐火VPパイプは、従来品の半分以下の重さです。



易施工

- 立て管、横枝管には塩ビ管と同寸法の耐火VPパイプを接続。耐火二層管と比べて、切断作業、取り扱い性に優れます。
- 横枝接続はゴム輪ファンタッチ。パイプの熱伸縮の吸収も行います。



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	
14,474 名	32 名	41 名	347 名	14,894 名	483(社)	15,377 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】

大塚 雅之（関東学院大学・教授）

【ホームページ】

<http://www.shasej.org/>

2020 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 【2019年（第47期）・2020年（第48期）】

役 職	氏 名	所 属
支部長	渡邊 浩文	東北工業大学
副支部長	小林 光	東北大学大学院
	田原 誠	(株)竹中工務店 東北支店
事業幹事	赤井 仁志	福島大学
	石島 和明	大成建設(株)
	菅原 正則	宮城教育大学
	須藤 諭	東北文化学園大学
総務幹事	岡田 誠之	東北文化学園大学
	許 雷	東北工業大学
	金田 清満	新菱冷熱工業(株)東北支社
会計幹事	佐々木 匡	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
	庄司 恒久	空気調和・衛生工学会東北支部
事業委員	佐藤 博明	(株)興盛工業所
	牧野 泰弘	ダイダン(株)東北支店
	岩淵 克也	(株)ユアテック
	小山 琢	三建設備工業(株)東北支店
	目黒 正浩	東北地方整備局
	小林 仁	仙台高等専門学校
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	佐々木 修	(株)アトマックス
	鈴木 道哉	東北学院大学
	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
	月野 智弘	(株)ピーエーシー仙台支所
	早瀬 訓	東北電力(株)本店
	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	住所	番地	ビル名
北関東空調工業(株)	いわき市平字柳町	3	
(株)興盛工業所	仙台市宮城野区日の出町	1-1-35	
新日本空調(株)東北支店	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	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	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	仙台市青葉区片平	1-5-20	Ever-I 片平丁ビル 4階
(株)東北開発コンサルタント	仙台市青葉区大町	2-15-33	大町電力ビル新館
東北電力(株)	仙台市青葉区中山	7-2-1	
(株)ユアテック	仙台市宮城野区榴岡	4-1-1	
大成建設(株)東北支店	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	仙台市青葉区本町	1-13-22	仙台松村ビル 5F
(株)朝日工業社東北支店	仙台市青葉区春日町	3-21	
(株)竹中工務店東北支店	仙台市青葉区国分町	3-4-33	
三機工業(株)東北支店	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	仙台市青葉区一番町	1-3-1	TMビル
サンポット(株)	花巻市北湯口第2地割	1-26	
(株)アークズ会津	会津若松市千石町	4-50	
東北エネルギーサービス(株)	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	仙台市若林区新寺	1-3-45	AI.Premium 8F
(株)大気社東北支店	仙台市青葉区二日町	12-30	
東日本興業(株)	仙台市青葉区一番町	3-7-1	
弘栄設備工業(株)	山形市北町	1-7-2	
(有)トータルライフプラン	福島県いわき市泉玉露	7-11-10	サンハイツ泉 103
(公財)ふくしま海洋科学館	福島県いわき市小名浜辰巳町	50	
東洋熱工業(株)東北支店	宮城県仙台市青葉区本町	1-12-7	
(株)ユアテック 秋田支社	秋田市川尻町字大川反	233-9	
(株)福島地下開発	福島県郡山市田村町金屋	110	
ミサワ環境技術(株) 福島営業所	福島県会津若松市新横町	1-37	

2021年2月現在

**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9回 新型コロナウイルス感染拡大予防のため中止。審査なし。

第8回 平成31年3月13日(水) 東北大学川内北キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
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
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
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

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

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4回

平成27年3月10日(火) 東北大学 人間・環境系校舎

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-3	集合住宅への介護用圧送トイレシステムの適用の可能性	松尾 隆史	関東学院大学
A-9	PCMを利用したパッシブ温度管理型グリーンハウスの開発	澤田 真吾	東北大学
A-23	東日本大震災後の避難施設に関する研究 -防災システムの概要と稼働状況-	村上 美穂	仙台高等専門学校
A-24	避難者が製作できる段ボールルームの提案	相澤 華絵	宮城教育大学
B-7	サーバ室におけるラック型前面吹出しユニットの評価	岩崎 守顕	三機工業(株)

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 10 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 10th Conference

2021 年（令和 3 年）3 月 10 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 4,000 円（税込）

表紙デザイン 松本若菜 赤井仁志
