
第 13 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 13th Conference

令和 6 年 3 月 12 日(火)
口頭発表・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 13 回学術・技術報告会

口頭発表講演者および技術展示募集

空気調和・衛生工学会東北支部では第 13 回学術・技術報告会を下記の要領にて実施致します。
本年度は、新型コロナウイルス感染症流行以来、久しぶりの現地開催となりますので、是非皆様お誘いあわせの上ご来場頂き、交流を深めて頂ければ幸いです。

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展示を募集致します。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、一般来場者も聴講可能な特別セッションを予定する他、交流会も行いますのでぜひお誘いあわせのうえご参加下さい。

- 主 催 空気調和・衛生工学会東北支部
- 共 催 電気設備学会東北支部、建築設備技術者協会東北支部、日本技術士会東北本部
- 後 援 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 令和 6 年 3 月 12 日 (火) 9 : 00~17:30 (8 : 40 受付開始 : 5351 講義室) 予定。
- 会 場 東北文化学園大学 5 号館 3 階 5351・5352・5353 講義室
〒981-8551 宮城県仙台市青葉区国見 6-45-1
(<http://www.tbgu.ac.jp/> キャンパス内及び周辺地域全面禁煙)
アクセス JR 仙山線「国見駅」下車徒歩 1 分、仙台市営バス「国見浄水場・東北文化学園大学前」降車
- 開催方式 現地開催 (zoom ミーティング併用) ※参加のための URL は、口頭発表・技術展示・聴講の申し込みをされた方に、別途お知らせします。

【口頭発表・技術展示のエントリー】

- エントリー締切 令和 6 年 1 月 17 日 (水) (口頭発表・技術展示共通)
※エントリーが受理された後、締切日までに論文集掲載用原稿を提出頂きます。
※エントリー用紙は必ず今年度 (第 13 回) 版をご使用下さい。
※エントリーが受理された方に整理番号をお送りします。参加費お振り込みの際に使う番号となります。
- 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, 所属支部不問) であること。
- 申込方法 専用ホームページ (以下専用 HP) からエントリー用紙をダウンロードし、メールにて件名に「第 13 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。
専用 HP : <https://sites.google.com/view/tohoku-gakujutsu>
- 参加費用 **口頭発表登録料** : 一題につき 3,000 円(税込)。論文集掲載用原稿の提出日(2月9日(金))までに、エントリー時に発行された整理番号と発表者のお名前、指定の口座へお振込み下さい(振込み方法は、エントリー用紙および専用 HP に掲載)。入金が確認できない場合、原稿は論文集へ掲載されません。連名者は無料です。なお、複数題をまとめて振り込みする場合はその旨委員会へお知らせ下さい。
技術展示出展料 : 1 ブース当り 20,000 円(予定料金・税込) 。2月7日(水)頃までに出席者 (責任者) 宛に請求書を送付致しますので、期日までに指定の口座へお振込み下さい。

【論文集掲載用原稿（論文および技術展示資料）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、組織委員会 shase@tohoku-shibu.org までメールに添付して提出して下さい。ファイル名のつけかたは後日専用 HP にて伝達事項でお知らせします。
- 提出締切 令和 6 年 2 月 9 日（金） 17 : 00
- 講演方法 **口頭発表**：一題に付き発表 9 分、討論 6 分程度を予定。
現地にて参加される方は各自、パソコンと発表データをご持参下さい。
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。
- 掲 載 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。技術展示の原稿は、論文集にも掲載します。

【技術展示】

- 出展内容 ①空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学に関連する研究・調査、技術・機器・システム等を紹介するポスター等や機器・製品・システム等。
②ポスター会場に展示ブース（幅約 180 cm×奥行 90cm+テーブル）を予定。
③午前中に、技術関連展示内容を説明するためのコアタイムを予定しています。（説明時間は 6 分程度、参加者全員に向けて行って頂きます）
④騒音や振動の発生する展示物のデモンストレーションがある場合は、実施の可否と時間帯の検討を行いますので、計画内容を事務局までご相談下さい。
⑤電源を要する機器類の電源は、単相 100V、5A 以内でお願いします。
※詳細は、後日「伝達事項」として当学会 HP に掲載いたします。
- 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。

【論文集予約購入】

無償の PDF 版が専用 HP よりダウンロード可能です(掲載開始時期 3 月 1 日頃予定)。また、紙媒体(白黒印刷 1 冊 4,000 円 税込)は予約販売します。後日請求書を同封の上お送りいたします。購入希望者は、組織委員会 shase@tohoku-shibu.org までメールでお申込み下さい。申込締切 1 月 30 日（火）。

【聴講の申込み】

- 申込締切 令和 6 年 2 月 16 日（金） ※現地参加・オンライン参加共に事前にお申込み下さい。
- 申込方法 件名「第 13 回学術・技術報告会聴講希望」とし、①参加者名、②会社名（学校名）、③連絡メールアドレス、④電話番号、⑤参加方式（現地又はオンライン）を明記の上、組織委員会 shase@tohoku-shibu.org までメールにてお申込み下さい。
- 資 格 どなたでも聴講できます。
- 参加費用 無料
- 参加方式 現地、又は zoom ミーティングによりオンライン参加。 ※開催日 2 日くらい前までに URL をお送りします。

■プログラム（予定）

8:40 受付開始

※発表者・技術展示代表者は発表・展示前（発表者は発表の 30 分前まで）に必ず受付を済ませて下さい。

9:00 開会

9:10 口頭発表開始

午前 口頭発表、技術展示コアタイム

午後 口頭発表、特別セッション

閉会行事、優秀発表奨励賞表彰式

17:30 閉会

■交流会

当日 18:30～20:30 TKP ガーデンシティ PREMIUM 仙台西口で行います。

会費 7,000 円。参加希望者は、所属・氏名・連絡先(電話番号)を 2 月 20 日（火）までに下記組織委員会へメールでご連絡下さい。

参加費は 2 月 27 日(火)頃までに請求書を送付致しますので、期日までに指定の口座へお振込み下さい。

【連絡・お問い合わせ先】

空気調和・衛生工学会 東北支部第 13 回学術・技術報告会組織委員会

E-mail shase@tohoku-shibu.org（窓口：事務局 田原 亜紀子）

TEL：022-224-7091 FAX：022-797-2486

※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 13 回学術・技術報告会専用 HP

<https://sites.google.com/view/tohoku-gakujutsu>

伝達事項、各種用紙のダウンロードは専用ページをご利用下さい。

第 13 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 13th Conference

目 次

学術・技術報告〔口頭発表〕	1
技術展示	63
空気調和・衛生工学会の概要	70
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	71
第 1～12 回 優秀発表奨励賞受賞者	73

第 13 回 学術・技術報告会 組織委員会

委 員 長	須知 秀行	(株)朝日工業社 東北支店
委 員	松隈 達也	(株)大気社 東北支店
	牧野 泰弘	ダイダン(株) 東北支店
	小山 琢	三建設備工業(株) 東北支店
	八十川 淳	東北文化学園大学
	大石 洋之	東北工業大学
	小林 光	東北大学大学院工学研究科
事 務 局	田原 亜紀子	空気調和・衛生工学会 東北支部

空気調和・衛生工学会 東北支部 第13回学術・技術報告会 スケジュール

口頭発表1題あたり15分（発表9分，討論6分）

	口頭発表 A会場 (5353講義室)	技術展示会場 (5351講義室)	メモ欄
受付	9:10～9:30		
開会式	9:30～9:40 支部長挨拶 司会：須知 秀行		
学術・技術報告 (口頭発表・午前)	9:45～10:45 【給湯・排水】 A1～A4 司会：松隈 達也		
	10:50～11:50 【空調設備・地球環境】 A5～A8 司会：小山 琢		
技術展示 コアタイム (展示は 9:30～16:00)		12:00～12:45 【技術展示】 T1～T7 司会：牧野 泰弘	
学術・技術報告 (口頭発表・午後)	13:45～14:45 【温熱環境】 A9～A12 司会：田原 誠		
	14:50～15:50 【住宅環境・防災・BIM】 A13～A16 司会：小林 光		
特別セッション	16:00～17:00 【講演会】 司会：八十川 淳		
閉会式	17:10～17:30 優秀発表奨励賞 発表 優秀発表奨励賞 受賞式 司会：須知 秀行		
交流会	18:30～20:30 司会：菅原 正則	会場：TKPガーデンシティPREMIUM 仙台西口	

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第13回 学術・技術報告会

プログラム

令和6年3月12日（火）

会場：東北文化学園大学（5号館3階）

オンライン（Zoomミーティング）併用

1. 開会式

【開会式】	司会：須知 秀行	(株)朝日工業社
9:30～9:40		口頭発表A会場(5353講義室)
支部長挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長 田原 誠	(株)竹中工務店

2. 学術・技術報告〔口頭発表・午前〕

【給湯・排水】	司会：松隈 達也	(株)大気社	掲載ページ
9:45～10:45		口頭発表A会場(5353講義室)	
A-1	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12) 電力需給バランスを考慮した貯湯運転の検討	○ 宮川 卓 北海道大学 赤井 仁志 東北文化学園大学 李 相逸 北海道大学 若林 斉 北海道大学 天野 雄一朗 四国電力(株) 藤井 良平 (株)四国総合研究所	1
A-2	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13) 欧州やSBTの動向を考慮した給湯設備の方向性	○ 赤井 仁志 東北文化学園大学 宮川 卓 北海道大学 天野 雄一朗 四国電力(株) 藤井 良平 (株)四国総合研究所	5
A-3	下水利用による大気からの二酸化炭素回収技術の研究	○ 宇田川 洋一 新日本空調(株) 吉田 愛里 新日本空調(株) 高塚 威 新日本空調(株) 小山 寛貴 東北大学 佐野 大輔 東北大学 石崎 創 ヤンマーホールディングス(株)	11
A-4	中層集合住宅用排水立て管システムにおける伸頂通気管端部形状の違いが排水能力へ及ぼす影響	○ 柿澤 海斗 関東学院大学大学院 大塚 雅之 関東学院大学 相澤 幸司 関東学院大学	15

【空調設備・地球環境】		司会: 小山 琢	三建設備工業(株) 口頭発表A会場(5353講義室)	掲載ページ
10:50～11:50				
A-5	導電性高分子材料PEDOT/PSSを用いた通電再生型デシカント空調の開発	○ 楊 子葳 西山 陽歌 樋口 陽太 金井 大介 金井 文彦 小林 大 川勝 英樹 小林 光	東北大学 東北大学 東北大学 クレバ(株) クレバ(株) 東京大学 東京大学 東北大学	19
A-6	密閉型湿式デシカント空調の実用化に向けた除湿・再生条件の最適化に関する研究	○ 松井 徹朗 小林 光 関根 賢太郎 渡邊 深雪 若林 宏樹 河井 翔太 村瀬 清一郎	東北大学 東北大学 大成建設(株) 大成建設(株) 東レ(株) 東レ(株) 東レ(株)	23
A-7	原発事故被災地での浸透性地表面の非破壊的調査によるCs-137深度分布推定手法の検討	○ 小室 幹 大槻 謙太郎 小林 光	東北大学 東北大学 東北大学	27
A-8	福島県新地町における地産地消型エネルギーマネジメントのシナリオ評価	○ 平野 勇二郎 五味 馨 小端 拓郎 吉田 友紀子	国立研究開発法人国立環境研究所 国立研究開発法人国立環境研究所 東北大学 茨城大学	31

3. 学術・技術報告(口頭発表・午後)

【温熱環境】		司会: 田原 誠	(株)竹中工務店 口頭発表A会場(5353講義室)	掲載ページ
13:45～14:45				
A-9	間取り変更を含む部分断熱改修による戸建住宅の温熱環境改善効果に関する事例研究	○ 加藤 丈一郎 長谷川 兼一 松本 真一 竹内 仁哉	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	33
A-10	田園型小規模ZEBオフィスの執務環境における熱的快適性の評価と温熱環境適応の実態	○ 河原 大樹 長谷川 兼一 松本 真一 竹内 仁哉	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	37
A-11	ダイナミックインシュレーション窓による温熱環境改善効果に関する実験 ～由利本荘市内の県営住宅を対象として	○ 高橋 俊弘 長谷川 兼一 松本 真一 竹内 仁哉	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	41
A-12	秋田県内の市町村単位でみたヒートショック関連死因の死亡率と住宅熱環境に関する統計分析 その4	○ 西川 竜二	秋田大学	45

【住宅環境・防災・BIM】 14:50～15:50		司会: 小林 光	東北大学 口頭発表A会場(5353講義室)	掲載ページ
A-13	ASHRAEの水分活性評価法を用いた住宅床下空間における真菌汚染の定量化実験	○ 湯本 雅弘 長谷川 兼一 松本 真一 竹内 仁哉	秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学 秋田県立大学	49
A-14	浸水被害住宅の真菌汚染と復旧手法に関する調査研究 その2 秋田市内の被害住宅10世帯を対象とした室内真菌の長期計測の途中経過	○ 石戸 脩斗 長谷川 兼一 中谷 岳史 松本 真一 竹内 仁哉	秋田県立大学 秋田県立大学 信州大学 秋田県立大学 秋田県立大学	53
A-15	教科横断的な防災学習のための避難所用ダンボールルームの活用	○ 平賀 千優 菅原 正則	宮城教育大学 宮城教育大学	57
A-16	空調設備におけるBIM 設計システムの軽量化に関する研究 その3 設備データベースとの連携	○ 劉 瀛 許 雷	東北工業大学大学院 東北工業大学	61

4. 技術展示

【技術展示】 コアタイム 12:00～12:45 (展示は 9:30～16:00)		司会: 牧野 泰弘	ダイダシ(株) 技術展示会場(5351講義室)	掲載ページ
展示No.	展示題目	出展者		掲載ページ
T-1	exiida遠隔監視による空調機管理サポート	日立グローバルライフソリューションズ(株)		63
T-2	クラウドを利用した遠隔監視システム及び生成AIの活用	三機工業(株)		
T-3	働き方改革のご提案 製品ユニット化とサービスで労働時間削減・環境改善に貢献	(株)ノーリツ		64
T-4	GRPパイプ	富士化工(株)		
T-5	電熱式蒸気加湿器(排水温度低下仕様)	ウエットマスター(株)		65
T-6	ヒートポンプ空調機の製品紹介	新晃工業(株)		67
T-7	エスロハイパーAW融着デモ及び施工管理について	積水化学工業(株) 西尾レントオール(株)		69

5. 特別セッション

【講演会】 16:00～17:00		司会: 八十川 淳	東北文化学園大学 口頭発表A会場(5353講義室)	掲載ページ
演題	講師			
L-1 「宇宙空間に必要な建築設備」	森田 健	高砂熱学工業(株)		

6. 閉会式

【閉会式】	司会: 須知 秀行	(株)朝日工業社
17:10～17:30		口頭発表A会場(5353講義室)
優秀発表奨励賞 発表	優秀発表奨励賞 選考・表彰委員会委員長 菅原 正則	宮城教育大学
優秀発表奨励賞 受賞式	空気調和・衛生工学会 東北支部長 田原 誠	(株)竹中工務店
閉会の辞	〃	〃

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第13回 学術・技術報告会 交 流 会

令和6年3月12日(火)
会場: TKPガーデンシティPREMIUM 仙台西口
宮城県仙台市青葉区花京院1-2-15

交流会

【交流会】	司会: 菅原 正則	宮城教育大学
18:30～20:30		会費: 7,000円
開会挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長 田原 誠	(株)竹中工務店
来賓祝辞	日本技術士会 東北本部 本部長 遠藤 敏夫 様	
乾 杯	日本設備設計事務所協会連合会 東北ブロックブロック長 佐々木 亨 様	
	【 歓 談 】	
閉会挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部 副支部長 金田 清満	新菱冷熱工業(株)

A-1

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12) 電力需給バランスを考慮した貯湯運転の検討

○宮川 卓 (北海道大学), 赤井 仁志 (東北文化学園大学),

李 相逸, 若林 斉 (北海道大学), 天野 雄一朗 (四国電力(株)), 藤井 良平 ((株)四国総合研究所)

Centralized Hot Water Supply Systems, including Hot Water Storage, as a VPP Resource (Part12)
Hot Water Storage operation considerations for electricity supply and demand balance.

Miyagawa Suguru (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Tohoku Bunka Gakuen University),

Lee Sang-il, Wakabayashi Hitoshi (Hokkaido University),

Amano Yuichiro (Shikoku Electric Power), Fujii Ryohei (Shikoku Research Institute)

キーワード：ダイヤモンドリスポンス, 空気熱源ヒートポンプ給湯機, クラスタ分析

はじめに

第6次エネルギー基本計画が策定され、再生可能エネルギー由来の電力比率の増加が見込まれる。しかし太陽光発電を始めとした変動性再生可能エネルギー (VRE) は発電量が天候次第であり、電力供給量が不安定になる。供給過多の際には、供給側に発電停止を求める措置である出力制御が行われる場合があるが、未然に防ぐために需要側で電力消費を調整するダイヤモンドリスポンス (DR) が必要である。DR では不安定な電力供給に応じる柔軟性が求められるため、本研究では、給湯の需要安定性やヒートポンプの即時性の高い制御から『余剰電力による貯湯』に着目し、『温浴施設における DR の有効性を評価すること』を研究目的とした。

1. 研究方法

1.1 研究対象施設

徳島県の日帰り温浴施設にある、シャワー・厨房システムに用いられている空気熱源ヒートポンプ給湯機を対象とした。システム簡略図を図-1 に示す。

1.2 エリアプライスの群間比較

電力需給バランスは電力単価 (システムプライス) の変動に表われ、JEPX で公開されている。四国エリアプライスの2017年から2022年の日データに対して k-means 法によるクラスタリングを行った結果を図-2 に示す。図中、縦軸は Z 値、

横軸は時刻を表し、左上の数字は日数を示す。Gap 統計量の算定結果から、4 つのクラスタが得られた。また、既往研究¹⁾にならひ、各クラスタを地形になぞらえて命名した。

そして各クラスタについて、エリアプライスの特性把握を目的に群間比較 (t 検定) を行った。表-1 のデータを用ひ、四国エリア電力需要量・太陽光発電の割合・温浴施設の日給湯負荷を指標として、クラスタ間の有意差を検討した。ここで検定はボンフェローニ法を用ひて $p < 0.01$ を有意とした。

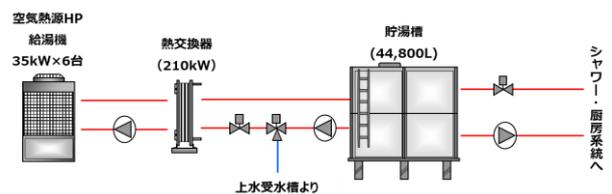


図-1 研究対象施設概要図

表-1 使用データ

各データ	単位	取得	期間
日給湯負荷	[L]	貯湯槽	実測 2017年1月1日-2019年12月26日
エリアプライス	[円]	JEPX (四国エリア)	公表 2017年1月1日-2022年12月31日
太陽光発電量の割合	[%]	四国電力送配電	
エリア需要量	[万 kW]		

1.3 シミュレーションによる運転比較

既往研究²⁾で作成したシミュレーションモデルを用ひ、現在の深夜帯電力を活用する夜間運転と、エリアプライスを考慮した DR 運転を比較した。

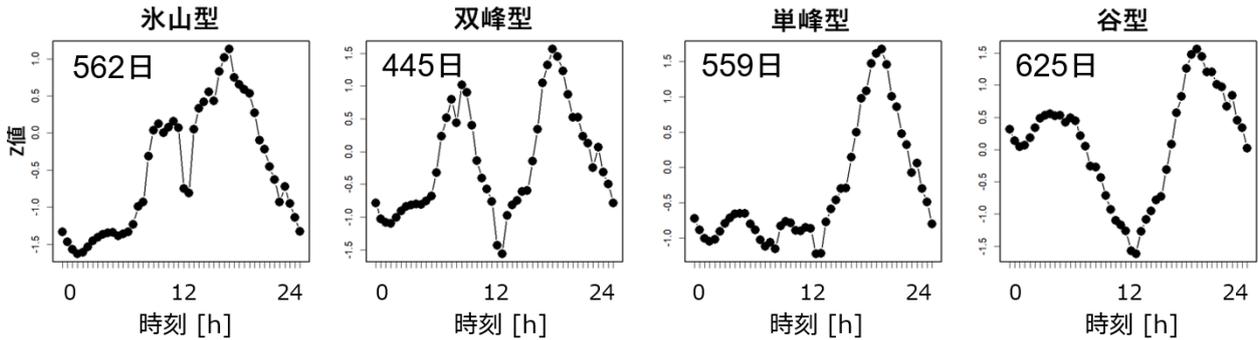


図-2 エリアプライスのクラスタリング結果

① 夜間運転

本研究では、深夜帯電力の時間帯を 23 時から 7 時とした。この時間帯に給湯運転が生じやすい制御とするため、表-2 の通り給湯運転開始水量を 80%とした。つまり貯湯槽内の水量が満蓄を基準に 80%を下回った場合に給湯運転を開始する。また厚生労働省によるとレジオネラ感染症の観点から、貯湯槽水温を 60℃以上に保つ必要がある。そのため保温運転は貯湯槽水温が 60℃を下回った時に開始する設定とした。

② DR 運転

エリアプライスが低い時には蓄熱のために上げ DR、高い時には節電のために下げ DR を行う。表-3 の通り、上げ DR の時間帯では満蓄まで給湯運転をし、満蓄なら 80℃まで昇温する設定とした。下げ DR の時間帯と定休日は、湯切れを防ぐために、給湯機の最低水位設定である 30%を開始水量とした。

また各スケジュールは、クラスタごとにワード法によるクラスタリングを行い、図-3 のようにデンドログラムを作成した。3,4 組に分けられたクラスタから、エリアプライスの高さを参照して、図-4 の通り上げ DR と下げ DR の時間帯を設定した。ここで熱損失を考慮し、給湯負荷の高い夕方前に上げ DR を設定した。

ここで表-4 の通り出湯温度を設定した。上げ DR の保温運転では給湯機の最高出湯温度である 90℃とすることで、蓄熱のための昇温を行った。

2. 研究結果と考察

2.1 エリアプライスの群間比較

クラスタ間の有意差を比較した結果を図-5 に示す。一日のエリア需要量は、氷山型と双峰型が有

表-2 夜間運転の給湯機制御設定

	給湯運転		保温運転	
	開始水量 [%]	終了水量 [%]	開始水温 [°C]	終了水温 [°C]
通常	< 60	100	< 60	63
夜間	< 80	100	< 60	63
定休日	< 30	40	< 60	63

表-3 DR 運転の給湯機制御設定

	給湯運転		保温運転	
	開始水量 [%]	終了水量 [%]	開始水温 [°C]	終了水温 [°C]
通常	< 60	100	< 60	63
上げ	< 100	100	< 80	80
下げ	< 30	40	< 60	63
定休日	< 30	40	< 60	63

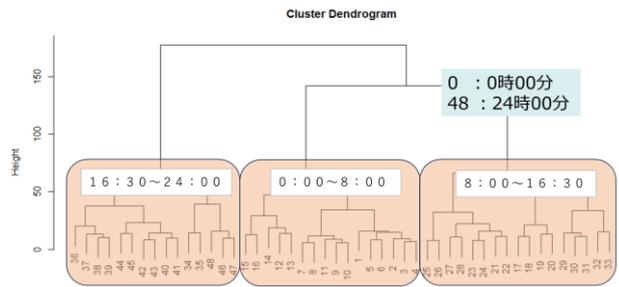


図-3 デンドログラム (谷型)

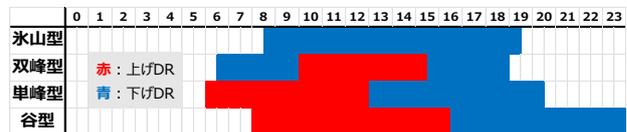


図-4 DR 運転のスケジュール

表-4 出湯温度設定

	給湯運転時 [°C]	保温運転時 [°C]		給湯運転時 [°C]	保温運転時 [°C]
	通常	65		65	通常
夜間	65	65	上げ	65	90
定休日	65	65	下げ	65	65
			定休日	65	65

意に大きく、単峰型と谷型では有意に小さかった。また、氷山型は平均気温が高くエリア需要が高い日に、双峰型は平均気温が低くエリア需要が高い日に集中しており、谷型は中間期に多い(図6)。これらの結果は季節ごとの冷暖房需要の影響を受けている可能性が考えられる。

太陽光発電の割合は、四国エリアにおける一日の総発電量に占める太陽光発電の割合を示しており、谷型で最も大きくなる結果となった。需要側は、谷型ではエリア需要量が小さいことから、火力発電等の発電量を調整することが太陽光発電の相対的割合を高めたと考えられる。また供給側は、図-7左図のように谷型のうち太陽光発電量の多い春が約50%を占めていることから、谷型では昼間の発電量が多いことが分かる。実際に図-2では昼に下落する形をしている。

日給湯負荷は、谷型が最も有意に大きい結果となった(図-5)。日給湯負荷の大きさはDRにおいてピークシフトできる電力量の大きさとつながる。つまりエリア需要量が少なく余剰電力の行き場が少ない谷型の日において、温浴施設では反対に給湯需要が高いことが示唆された。図-7右図の通り谷型は休日に多いため、娯楽施設である温浴施設の給湯需要が高いことが関係すると考えられる。

これらの結果から、エリア需要が低く、太陽光発電の割合が高くなりやすい春の休祝日には、谷型のエリアプライス変動を示すことが多いことが示唆された。資源エネルギー庁『再生可能エネルギーの出力制御の抑制に向けて』によると、図-8の通り出力制御は春の休日に行われていることから、谷型における昼間の上げDRが重要であるとされる。同時に温浴施設は谷型において給湯需要が高いため、余剰電力の受け皿として機能することが示唆された。したがって建築設備におけるDRでは、娯楽施設を優先して電化していくことが重要だと考えられる。また資源エネルギー庁『2050年カーボンニュートラルの実現に向けた需要側の取組』によると、2018年時点では、給湯部門における電化率は家庭用で20%弱、業務用で10%弱である。将来的に給湯分野を電化推進したときのDRのインパクトは大きくなっていくと予想される。

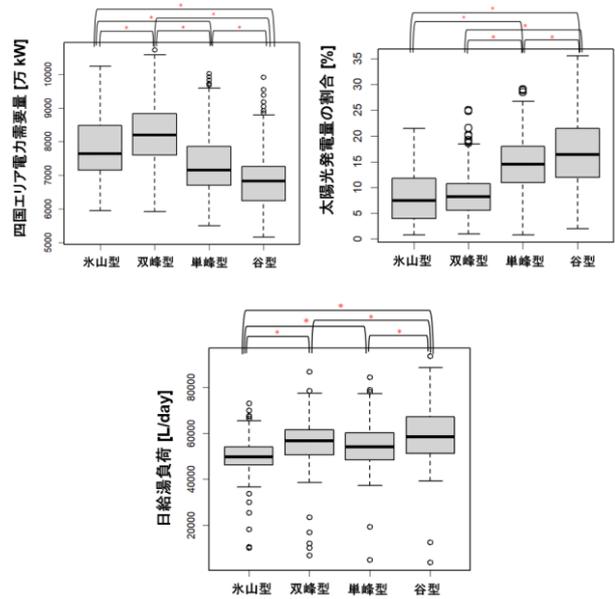


図-5 クラスターの群間比較 (t 検定結果)

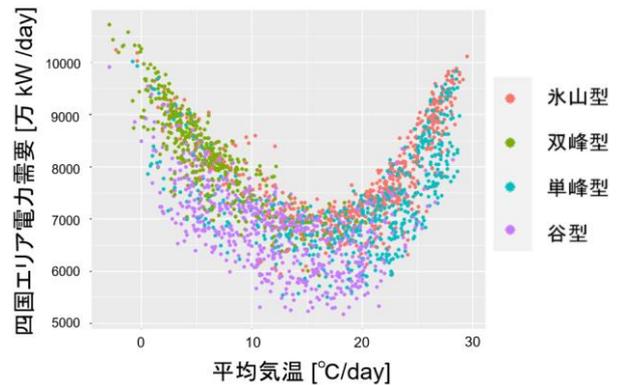


図-6 エリア需要と平均気温の関係

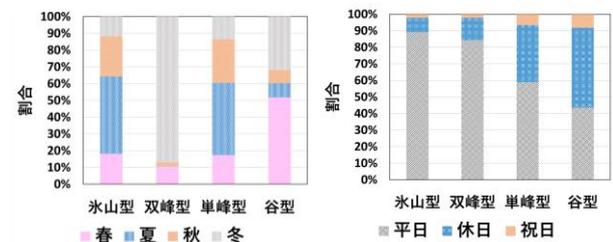


図-7 クラスターの割合 (左: 季節別、右: 曜日別)



図-8 各月ごとの出力制御の実施量

2.2 シミュレーションによる運転比較

2.2.1 代表日の運転分析

図-9と図-10に谷型の代表日における0~24時の運転状況、貯湯槽水量、貯湯槽水温の変化を示す。夜間運転シミュレーションでは、夕方から給湯運転が開始される結果となった。DRシミュレーションでは、上げDRの時間帯に給湯運転と保温運転を繰り返し、下げDRの時間帯では停止する結果となった。上げDRの時間内に満蓄になった際には保温運転による昇温に移行し、70℃近くまで昇温した。その結果、夜23時においても貯湯槽水温が60℃を下回ることにはなかった。

2.2.2 各指標の比較

2018年1月1日から12月31日のデータについて、エリアプライス[kWh/円]と消費電力量[kWh]を掛け合わせた値を電力料金[円]と定義し算出した(図-11)。消費電力量は、30分ごとのヒートポンプ給湯機が消費した電力の合計値とした。二酸化炭素排出換算量は四国電力送配電株から公表されている1時間単位の電源別の発電供給量に、電源別の二酸化炭素排出量を掛け合わせて算出した。

電力料金と二酸化炭素排出量の削減率に差が生じたことに関して、エリアプライスの変動における需要側の変動などの、太陽光発電以外の要因が考えられる。2022年時点では四国電力管内における太陽光発電は電源構成の1%に満たないことから、二酸化炭素排出量に与える影響は相対的に小さかったと考えられる。

3. 結論

本研究では『余剰電力による貯湯』に着目し、温浴施設のヒートポンプ給湯機を活用したDR運転を検討した。エリアプライスのクラスタリングによる電力需給の統計解析から、春の休日において電力供給が過剰になり、昼間の上げDRの必要性が高まることが示された。さらに、実際の温浴施設での夜間運転とDR運転のシミュレーションによる比較検討を行った結果、DR運転によって湯切れを防ぎつつ貯湯が可能であること、電力料金等を削減できる可能性が示唆された。これらの結果から、温浴施設におけるDR運転では、電力供給側と需要側の双方に寄与する可能性があることが示唆された。

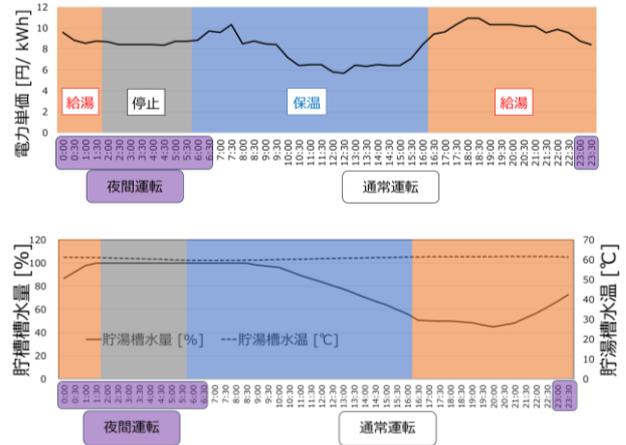


図-9 夜間運転での挙動

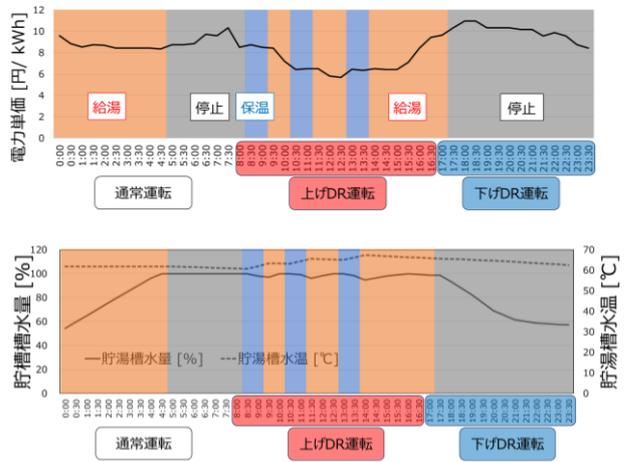


図-10 DR運転での挙動



図-11 各指標の比較 (通年)

参考文献

- 1) 江上風太ら:再エネ電力需給調整機能のための個別分散式蓄熱システムの適用可能性の検討,空気調和・衛生工学会 中国支部技術報告会論文集, (2023-3)
- 2) 猪俣海斗ら: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 9)需給調整による省エネルギー性の評価,空気調和・衛生工学会 東北支部技術報告会論文集, (2023-3)

A-2

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13) 欧州や SBT の動向を考慮した給湯設備の方向性

○赤井 仁志 (東北文化学園大学) 宮川 卓 (北海道大学)
天野 雄一郎 (四国電力㈱) 藤井 良平 (㈱四国総合研究所)

Utilization of Central Hot Water Supply Systems Including Hot Water Storage as VPP Resources (Part 13), Direction of Hot Water Supply Systems Considering Trends in Europe and Science Based Targets

Akai Hitoshi (Tohoku Bunka Gakuen University), Miyagawa Suguru (Hokkaido University), Amano Yuichiro (Shikoku Electric Power), Fujii Ryohei (Shikoku Research Institute)

キーワード：地中熱利用, RHC100, SBT (Science Based Targets)

はじめに

VPP を活用したヒートポンプによる給湯・貯湯のシステムは、地球温暖化防止の視点からヒートポンプ採熱源の選択に配慮することもたいせつである。また、環境意識の高い欧州各国の宿泊客が多く泊まる宿泊施設では、パリ協定に基づく温室効果ガス排出削減目標 SBT (Science Based Targets)、気候関連財務情報開示タスクフォース TCFD (The FSB Task Force on Climate-related Financial Disclosures) 等への配慮も欠かせない。背景や欧州の動向を踏まえ、わが国での給湯設備の方向性を述べる。

1. ドイツを例にした欧州の動向

1.1 法令や基準等の再生可能エネルギー熱の位置づけと動向

給湯は、年間を通して熱負荷があり、電力と熱需要の時間的ミスマッチのバッファ機能を貯湯槽が担うことができることからヒートポンプ給湯機を活用する方向性がある。また、ヒートポンプで利用する地中熱や空気熱等は、2009年6月にEUで施行した『再生可能エネルギー推進に関する指令』で、「自然界に存在する永続的に使用可能なエネルギー」と位置づけられる。

VRE を有効活用したヒートポンプによる貯湯と蓄熱は重要であるが、なぜか日本では余り評価されていない。また、ヒートポンプ利用の中で省エネルギー効果が高く、脱炭素・脱化石燃料の切り札とも考えられる再生可能エネルギー熱の内、

地中熱の利用も日本では進んでいない。

再生可能エネルギー熱分野の利用遅れの背景として、日本では法令上の定義が曖昧という指摘されている。「新エネルギー利用等の促進に関する特別措置法施行令」の第1条や「エネルギー供給構造高度化法施行令」の第4条で、地中熱を含む再生可能エネルギー熱の取扱が漠然としている。

一方、欧州では、ヒートポンプ利用を含めた太陽熱や地中熱等の再生可能エネルギー熱が定義されている。「再生可能エネルギー指令 RED II (2018/2001/EU)」では、下記のように再生可能エネルギーが定義されている。

- ① ‘energy from renewable sources’ or ‘renewable energy’ means energy from renewable non-fossil sources, namely wind, solar (solar thermal and solar photovoltaic) and geothermal energy, ambient energy, tide, wave and other ocean energy, hydropower, biomass, landfill gas, sewage treatment plant gas, and biogas;
- ② ‘ambient energy’ means naturally occurring thermal energy and energy accumulated in the environment with constrained boundaries, which can be stored in the ambient air, excluding in exhaust air, or in surface or sewage water;
- ③ ‘geothermal energy’ means energy stored in the form of heat beneath the surface of solid earth

この他、欧州では、再生可能エネルギーシェアの計算 (RED II 第7条) や、EUにおけるヒートポンプの再生可能エネルギー量の定義 (REDI II ANNEXVII) 等もある。また、欧州では「再生可能エネルギー指令 RED (2009/28/EC)」や「再生可能エネルギー指令 RED II (2018/2001/EU)」で、最終エネルギー消費の再生可能エネルギー熱の導入目標を設定して推進している。

具体的には、欧州では、再生可能エネルギー熱の利用を、EU 指令に基づき各国が策定する国家再生可能エネルギー行動計画により明確な導入目標を定めている (表-1.1)。再生可能エネルギー電力ほど再生可能エネルギー熱の導入は進展していないと言われるが、北欧諸国では元々高かった導入割合をさらに増加させている。ドイツやフランス、イギリスなど比較的人口の多い国の導入割合も、2005年の基準年に比べて、2018年にはドイツで2倍弱、イギリスでは8倍弱も利用量を増やしている。十分な政策資源を投下して、政策的に導入を進めたことが背景にある。

EU レベルでも、2018年に発表された新たな再生可能エネルギー指令 (RED II) で、2021年以降、毎年1.3%ずつ再生可能エネルギー熱を増やすことを加盟国に求めることにした。これはイギリスのEU 離脱前の28カ国の数字で、毎年157万kLの増加量に相当する。イタリアは、再生可能エネルギー熱全体の目標に加えて、種類別の導入目標を設定しており、2020年までにバイオエネ

ルギー660万kL、地中熱35万kL、太陽熱186万kLとしていた。

1.2 RE100 から RHC100 へ

日本国内でも普及が始まった RE100 (Renewable Energy 100%) 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)。RHC100 ビジョンは、6章と2つのアネックスで構成されており、タイトルは次の通りである。

- 第1章 持続可能な脱炭素化社会のための再生可能エネルギー熱利用 (RHC)
- 第2章 エネルギー移行における都市の戦略的役割
- 第3章 エネルギーを生み出す地区に向けたステップ
- 第4章 再生可能エネルギー100%の建物
- 第5章 再生可能エネルギー100%システムに基づく産業のリーダーシップ
- 第6章 社会と政策のイノベーション
- アネックス I 技術の最新動向
- アネックス II 再生可能エネルギー熱源の比較と関連技術

2008年1月、欧州連合 (EU) は、2020年までに温室効果ガスを、対1990年比で20%削減とした。加えて、2009年に再生可能エネルギーの最終

表-1.1 各国の再生可能エネルギー熱の導入目標 (万kL)

国	基準年(2005年)			実績(2018年)			目標(2020年)		
	全体量 (注1)	RE量	RE割合	全体量 (注1)	RE量	RE割合	全体量 (注1)	RE量	RE割合
スウェーデン	1,551	833	53.7%	1,733	1,133	65.4%	1,995	1,239	62.1%
フィンランド	1,643	657	40.0%	1,701	930	54.6%	1,799	846	47.0%
デンマーク	949	220	23.2%	899	408	45.4%	900	358	39.8%
オーストリア	1,553	377	24.3%	1,574	494	31.4%	1,506	491	32.6%
ドイツ	13,741	907	6.6%	12,837	1,750	13.6%	10,953	1,533	14% (注2)
フランス	8,108	1,103	13.6%	7,194	1,567	21.8%	7,056	2,328	33.0%
イタリア	8,056	226	2.8%	6,527	1,255	19.2%	7,195	1,230	17.1%
イギリス	7,867	55	0.7%	6,569	419	6.4%	6,056	727	12.0%

消費エネルギーの目標を20%とする「気候変動・エネルギー政策パッケージ (EU Climate and Energy Policy Package)」を決定して、2010年代の地球温暖化対策をリードしてきた。この流れで、再生可能エネルギー熱分野にも長期的なビジョンを策定する。具体的には、2050年に化石燃料をゼロにする目標を掲げた再生可能エネルギー熱利用に関するRHC100ビジョンを、2019年に発表した。

RHC100の背景には、2016年に策定された脱炭素化を強調した熱利用に関するEU戦略がある。前述した内容の補足になるが、この戦略に従い2018年の前述した「欧州再生可能エネルギー指令 (Renewable Energy Directive 2018/2001/EU、略称: REDII)」では、2030年の再生可能エネルギーの比率を32%にするとともに、再生可能エネルギー熱利用 (RHC) は、その40%としている。2016年のEU戦略は、再生可能エネルギー熱利用技術の普及を後押しするものとなった。EUでは年間エネルギー消費量を、熱・電力・輸送の3つのセクタで集計しており、2017年の年間消費量は、熱が5,600TWh、電力が4,000TWh、輸送が2,700TWhという構成で熱が多い。ここでの熱の19.5%が再生可能エネルギーである。

EU戦略に従って再生可能エネルギー熱利用について具体的な検討を進めているのが、欧州技術イノベーションプラットフォーム (ETIP: European Technology Innovation Platform) である。このプラットフォームは2005年にできた太陽熱のプラットフォームを引き継ぎ、現在は再生可能エネルギー熱の関連団体を結びつける再生可能エネルギー熱プラットフォーム (RHC-ETIP) となり機能している。

RHC100%ビジョンは、RHC-ETIPにより策定されたもので、専門家による共同作業で作成された。作成は建物、都市、地区、産業の4つの学際的なグループによる共同作業で行われている。

1.3 ドイツでの再生可能エネルギー熱利用ヒートポンプと電気ヒータ利用による給湯・貯湯

再エネ電力分野では失速気味のドイツだが、再エネ熱分野では素晴らしい成果を上げている。新築建物の熱源で、2000年の電気ヒートポンプの割合は0.8%だったが、2020年には35.5%に増やし

た。電気ヒートポンプの内、3割以上を地中熱が占めるまで急成長した。

ドイツ国内の省エネルギー量や省CO₂量の半分以上は地中熱ヒートポンプが担う。オーストリア、スイス、フィンランド、スウェーデン、オランダの比率には及ばないが、絶対量ではスウェーデンを僅かに下回る程度で高い値を生み出す。

ドイツでは、住宅でも地中熱利用ヒートポンプの導入が多い。住宅に太陽光発電や太陽熱温水パネルを設け、ヒートポンプにより給湯と暖房を行っているSmart Grid住宅がある。

余剰となる再生可能エネルギー由来の電力を有効に活用するために貯湯槽に電気ヒータも備えることがある (図-1.1)。電気ヒータは、レジオネラ症対策として貯湯温度を確実に昇温する目的も有する。また、ヒートポンプ給湯機では、例えば、R407Cは55~60℃、R134aは70~75℃と言うように冷媒ごとに昇温できる上限温度が決まっているが、電気ヒータは100℃以上まで昇温可能である。余剰電力を有効活用できる伸び代が電気ヒータを持ち合わせている。近年、住宅でも更に高气密・高断熱化が進展しており、Nordrhein-Westfalen州などの北ドイツでも冷房の必要になる傾向があり、地中熱交換器で採熱するだけでなく放熱もするようになっている。

冷房は、床暖房の配管に、直接地中熱の冷水を循環させるパッシブクーリングによるフリークーリングで稼働させることが多い (図-1.2)。このシステムだと、床が冷えすぎずに不快になりにくい。ヒートポンプを使ったアクティブクーリングで使

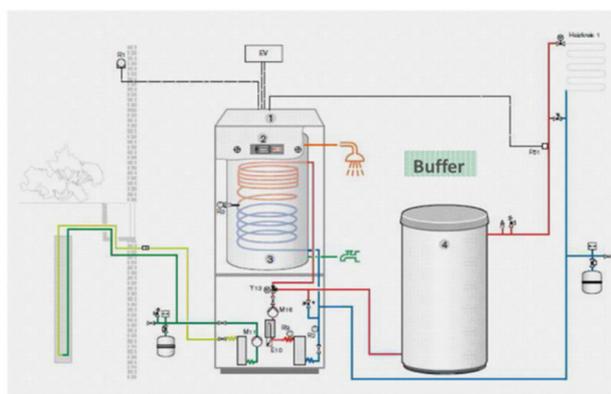


図-1.1 地中熱ヒートポンプによる加温の他に電気ヒータで昇温する給湯システム (Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.)

うこともある(図-1.3)。この場合、各所の温湿度を計測して、結露が生じないように制御する。

日本で、住宅の給湯を含めたシステムに用いる地中熱利用ヒートポンプシステムの地中熱交換器は、垂直埋設型がほとんどである。欧州では、垂直埋設型(図-1.4)だけでなく、水平埋設型(図-1.5)も用いられる。

1.4 冷媒ガスの動向

ヒートポンプ給湯機に使われる冷媒ごとの特性により、昇温上限温度、昇温温度差により COP に違いが生じる。とくに後者は、貯湯槽を含む給湯回路からの損失熱量の影響を考慮する必要がある。

冷媒ガスは、様々な要因を考慮する必要がある。自然冷媒 CO₂ は、フロン系の冷媒と異なり、地球温暖化係数が 1、オゾン層破壊係数が 0 で、さらに毒性や可燃性がなく安全で安価であることが特長である。2016 年 10 月の第 28 回モントリオール

議定書の締約国会議で、本議定書の改正(いわゆる、キガリ改正)が行われたが、日本を含む先進国の HFC の生産と消費量の段階的削減義務が義務付けられた。

欧州の F ガス (F-gas) 規制、アメリカ合衆国の AIM 法 (American Innovation and Manufacturing Act of 2020、米国イノベーション及び製造業法)、日本のオゾン層保護法(特定物質等の規制等によるオゾン層の保護に関する法律)等の冷媒ガス規制の改正があるが、CO₂ 冷媒は規制の対象外である。

CO₂ 冷媒は、単純な暖冷房に使用する温度帯の冷凍サイクルとの比較で、COP がフロン系冷媒の場合よりも低くなるが、給湯などの高温温度差の加熱には高い COP が期待できる。しかし、給湯回路からの熱損失量を昇温する、低温度差の加熱の効率は低い。このことから、自然冷媒 CO₂ のヒートポンプ給湯機で、損失熱量分を昇温するには

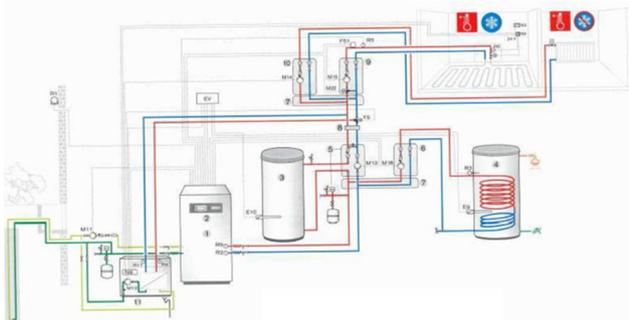


図-1.2 地中熱のフリークーリングによる床暖房とパネルヒータによるパッシブクーリング

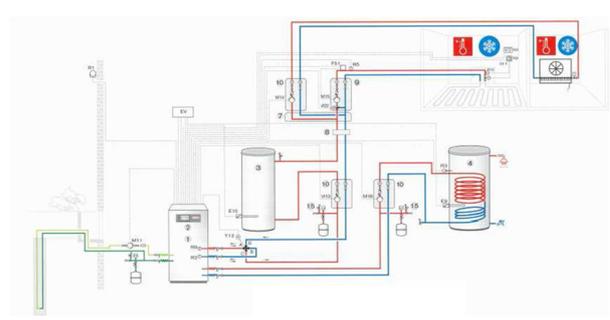


図-1.3 地中熱ヒートポンプによる床暖房とパネルヒータによるアクティブクーリング

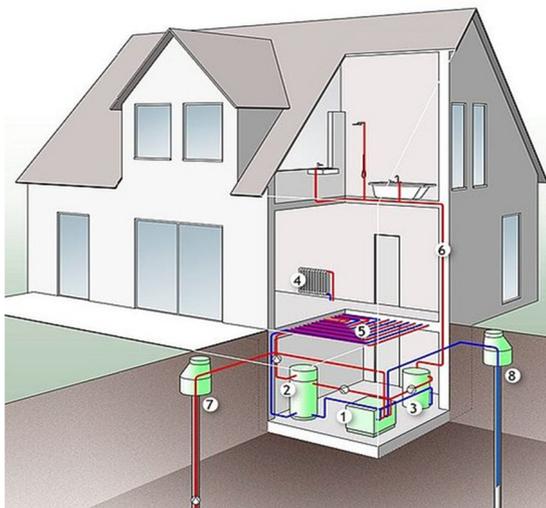


図-1.4 垂直埋設型地中熱交換器を用いた給湯を含めた地中熱利用ヒートポンプシステム



図-1.5 水平埋設型地中熱交換器を用いた給湯を含めた地中熱利用ヒートポンプシステム

あまり適さない。

これを解消する方法として、2次側の返湯管を省略して、給湯管（往管）に給湯配管用自己制御ヒータを設置する給湯システムがある。

1.5 給湯システムでの地中熱利用と地中熱交換器延長の選定

建築設備分野の再生可能エネルギー熱利用の投資回収期間は、建物種別や設備用途、熱源、気候風土や立地等によって異なる。しかし、決まった季節しか利用しない暖冷房設備や融雪設備よりは、年間を通して利用する給湯設備や浴場設備への熱源とした方が、投資回収期間が短くなる。

熱源にヒートポンプを用いた地中熱とすると、採熱するのみで、土壤熱伝導率によっては地中熱交換器周辺温度が低下していく可能性がある。地中熱の普及が進んでいるドイツでは、熱負荷（ヒートポンプ容量）が30kW以下のシステムは、表-1.2のVDI 4640 (The Association of German Engineers の Verein Deutscher Ingenieure Standard) を使い、土壤条件によって地中熱交換器の長さを表から求める。ドイツは、日本とは異なり地下水流れの影響を受けにくいことから土壤条件によって決定する。表の” Specific heat extraction ” の” for 1800h ” は暖房のみの場合、

“for 2400h” は暖房と給湯の双方で使う条件である。暖房も給湯も地中熱交換器により地中から熱を取得する一方のために、地中温度が下がりすぎないように考慮して決める。

2. SBT (Science Based Targets) 等の配慮

2.1 欧州の地球温暖化に対する航空会社の対応

2021年秋、ライバル関係にある日本航空(JAL)と全日空(ANA)は、将来(2030年頃)の海外からの圧迫を見据えて、航空燃料をSAF (Sustainable Aviation Fuel、持続可能な航空燃料)へ移行することで異例のタッグを組んだ。SAFの割合が低い航空会社の乗り入れを拒否する地域や国が出る可能性があるし、日本国内でSAFが調達できないと外国籍の航空機が日本に飛んで来れないことも予想した動きである。

人の行き来により国際的な影響を受けやすい航空業界は、とくに環境意識の高い欧州で次のような動向がある。例えば、フランスは2時間半圏内の国内線を禁止しようとしている。KLM オランダ航空は、500km以下の近距離路線を減便、高速鉄道と連携して鉄道による移動を提供しようとしている。

欧米は、日本の弱点を突いた攻勢も視野に入れており、圧迫という一面もある。JALとANAの

表-1.2 30kW以下の物件の地中熱交換器長さを求める表(抄)(VDI-4640)

Underground	Specific heat extraction	
	for 1800 h	for 2400 h
VDI 4640-2		
<i>General guideline values:</i>		
Poor underground (dry sediment) ($\lambda < 1.5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	25 W/m	20 W/m
Normal rocky underground and water saturated sediment ($\lambda < 1.5\text{--}3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	60 W/m	50 W/m
Consolidated rock with high thermal conductivity ($\lambda > 3.0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$)	84 W/m	70 W/m
<i>Individual rocks:</i>		
Gravel, sand, dry	< 25 W/m	< 20 W/m
Gravel, sand, saturated water	65–80 W/m	55–65 W/m
For strong groundwater flow in gravel and sand, for individual systems	80–100 W/m	80–100 W/m
Clay, loam, damp	35–50 W/m	30–40 W/m
Limestone (massif)	55–70 W/m	45–60 W/m
Sandstone	65–80 W/m	55–65 W/m
Siliceous magmatite (e.g. granite)	65–85 W/m	55–70 W/m
Basic magmatite (e.g. basalt)	40–65 W/m	35–55 W/m
Gneiss	70–85 W/m	60–70 W/m
The values can vary significantly due to rock fabric such as crevices, foliation, weathering, etc.		

SAF の連携の背景の一つとも考えられる。また、環境性能要求は、間接的取引関係まで遡ろうとしている。カーボンニュートラルが持つ破壊力を理解しなければ、まともな事業計画や経済政策を論議すること、さらには投資をすることもできない。

2.2 国内の動向

SDGs や ESG 投資の他、パリ協定に基づく温室効果ガス排出削減目標 SBT (Science Based Targets)、気候関連財務情報開示タスクフォース TCFD (The FSB Task Force on Climate-related Financial Disclosures) 等、企業価値向上や国際標準化追従の動向もある。

SBT や TCFD による事業者のサプライチェーン排出量の見える化の動向は、政策とは切り離され、企業が主体となり国際経済の中での生き残りや発展に結びつく。グリーン電力利用は、取引先(顧客)からの環境性能要求に応える必要が生じている。例えば、日本卸電力取引所の非化石燃料証書の取引量は、東北電力㈱で 2018 年度の 4,000 万 kWh から、20 年度には 200 億 kWh と約 500 倍に躍進した。

企業取引で、直接温室効果ガス排出削減とは無関係そうな建設業でも、気候変動への対応が進展している。建設業で本邦初の RE100 と SBT の認証を受けた戸田建設㈱は、利益至上主義からサステナブル経営に舵を切る。近い将来、間接的な取引も含め欧米の取引先から、わが国の宿泊業に対し温暖化防止対策等の環境性能要求や脱炭素・脱

化石燃料の数値の明示化を求められると推測する。これらができないと欧米との取引ができず、インバウンドツーリズムが滞ってしまう懸念がある。

3. 熱エネルギー比率の把握

国際再生可能エネルギー機関 (IRENA) や国際エネルギー機関 (IEA) 等の “Renewable Energy Policies in a Time of Transition: Heating and Cooling(移行期の再生可能エネルギー政策:加温・冷却)” の中で、加温・冷却は世界エネルギー消費量のほぼ半分を占め、加温・冷却のほとんどが化石燃料に依存しており温室効果ガス排出と大気汚染つながっていると記されている。再生可能エネルギー電力システムの柔軟性向上や加温・冷却の電化(ヒートポンプ活用)、低温太陽熱、地熱・地中熱、その他の再エネ熱源の統合により地域熱供給(温冷熱)を改善しようということが、わが国では具体策に乏しい。

前述した JAL や ANA の SAF への移行の動向は、欧米の宿泊客のインバウンドツーリズムにも影響する。宿泊施設の建物全体に占める最終エネルギー消費割合の 8 割弱は熱で、再エネ熱利用設備導入の伸び代が大きい(図-3.1)。日本の再生可能エネルギー熱導入可能ポテンシャルの合計は約 2,396 PJ/年で(図-3.2)、家庭・業務他部門の熱需要の約 2,400 PJ/年に匹敵する。

温泉旅館等の宿泊施設だと地中熱と温泉熱が使い易く、適切な計画・設計と運用管理によりランニングコストが半減する。

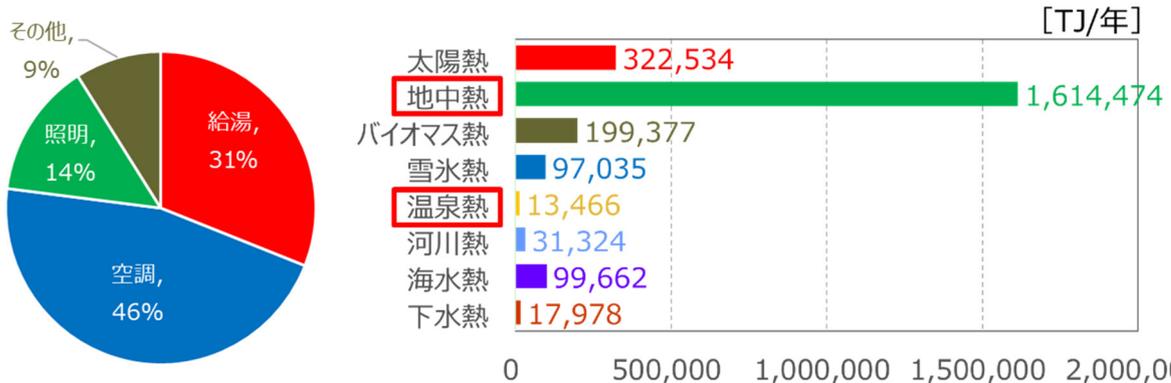


図-3.1 宿泊施設の最終エネルギー消費割合 (ZEBの実現と展開に関する研究会報告書、経済産業省)

図-3.2 日本の再生可能エネルギー熱導入可能量 (NEDO 技術戦略研究センターレポート『再生可能エネルギー熱利用分野の技術戦略策定に向けて』2021年)

下水利用による大気からの二酸化炭素回収技術の研究

○宇田川洋一, 吉田愛里, 高塚 威 (新日本空調㈱),

小山寛貴, 佐野大輔 (東北大学), 石崎 創 (ヤンマーホールディングス㈱)

Study on Atmospheric Carbon Dioxide Capture Techniques Using Real Sewage

Yohichi UDAGAWA, Eri YOSHIDA, Takeshi TAKATSUKA (Shin Nippon Air Technologies Co., Ltd.),
Hiroki KOYAMA, Daisuke SANNO (Tohoku University), So ISHIZAKI (Yanmar Holdings Co., Ltd.)

キーワード：微生物燃料電池, 二酸化炭素回収, 下水

はじめに

気候変動の原因の一つとされる温室効果ガスの対策は世界的に喫緊の課題となっている。我が国では、2021年に排出された温室効果ガスの約91%が二酸化炭素(CO₂)であり¹⁾、カーボンニュートラルの実現に向けた一層の取り組みが求められている。このような背景から、CO₂の回収・有効利用技術が盛んに研究されている。

現在主流の方法の一つとして、アルカリ溶液(吸収液)を用いる化学吸収法があり、これは吸収液にCO₂を化学反応で吸収させ、重炭酸イオンとして回収する方法である。我々はこの方法に着目し、アルカリ溶液を微生物燃料電池(MFC; Microbial Fuel Cells)でつくり、これと大気中のCO₂を接触させて回収し、安定した化合物である炭酸塩として固定する技術について検討を行なっている²⁾。

またMFCは微生物によって下水や汚泥などに含まれる有機物を分解しながら、同時にその一部を電気エネルギー(電子)として取り出すことができる。このような微生物は電気生産菌と呼ばれ、MFCは発電と下水処理、さらにCO₂固定の三つのプロセスを同時に行うことを可能としている。

本報では、この下水を利用するCO₂固定技術についてMFCの立上げ高速化のラボ実験と、下水処理場での水質変動下における大気中CO₂固定評価のためのフィールド実験に関して得られた成果について述べる。

1. MFCの立上げ高速化実験

1.1 実験目的と方法

本実験では、MFCの立上げ速度を向上、すなわちMFCの負極(アノード)電極表面に電気生産

菌がバイオフィームを形成し、正極(カソード)電極表面でのCO₂固定が可能な状態になるまで栄養源を連続的に供給する期間の短縮を目的に行った。本実験では、アノード槽容積が45 mL(30 mm×50 mm×30 mm)で、アノードを挟むようにカソードが設置された空気カソード型MFCを使用した。また、電極素材として、アノード電極はカーボンフェルトを、カソード電極は文献³⁾を参照して製作したものを用いた。

MFCの立上げ速度は、アノード電極に存在する電気生産菌の密度に依存する。そこで、空気カソード型MFCに対して、①フィールド実験の対象とした下水処理施設の汚泥を直接接種した条件(汚泥接種)と、②電気生産菌のバイオフィームが形成されたアノード電極を接種した条件(電極接種)の、立上げからの発電量をデータロガー(Keysight Technologies DAQ973A, DAQM901A)で記録し、比較した。電極接種におけるアノード電極へのバイオフィーム形成には、アノード槽およびカソード槽の容積がそれぞれ0.5 Lの二槽型MFCを別途用いた。また、空気カソード型MFC、二槽型MFCとも供給液(電気生産菌の栄養源)には、酢酸・Yeast extract(酵母抽出液)培地を用いた。これら条件の比較を表-1に示す。

1.2 実験結果および考察

図-1には汚泥接種と電極接種での立上げからの発電量の比較を示す。汚泥接種では発電量の増加が見られないが、電極接種では立上げから2日後には明確な発電量の増加が確認され、発電量が多い状態が維持された。よって電気生産菌が集積した(バイオフィームが形成された)アノード電

極を、空気カソード型 MFC のアノード電極に接種することで、迅速な発電量の上昇、すなわち MFC の立上げの高速化が可能であることが示された。また、効率化の点から CO₂ 固定に供するエアカソード型 MFC を立ち上げる前段階において、電気生産菌を別途集積させることが望ましいと考えられる。

表-1 MFC の立上げ条件の比較

	汚泥接種	電極接種
接種源	下水処理場の汚泥	二槽型 MFC のアノード電極片 (15 mm×15 mm)
アノード槽容積	45 mL (30 mm×50 mm×30 mm)	
アノード電極	カーボンフェルト 29 mm×49 mm 2 枚	
カソード電極	Active Carbon: 9.9 mg/cm ² Carbon Black: 1.0 mg/cm ² PVDF/DMAc をバインダーとして利用	
供給液	酢酸・Yeast extract 培地	
外部抵抗	1 kΩ	

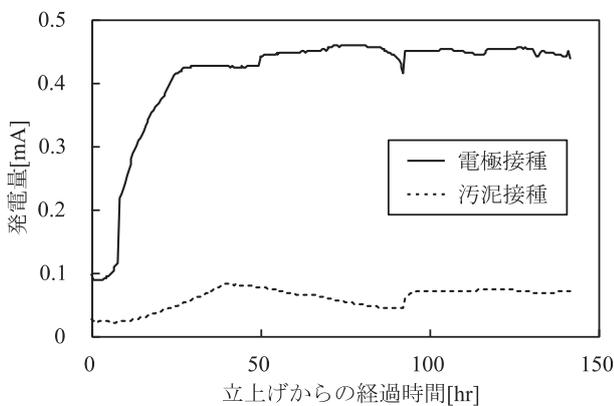


図-1 MFC 立上げからの発電量の比較

2. 水質変動下における大気中 CO₂ 固定実験

2.1 実験目的と方法

本実験では、空気カソード型 MFC を下水処理施設に設置し、下水をエネルギー源とする空気カソード型 MFC の運転および大気中の CO₂ 固定実験を行った。下水の水質は有機物濃度、温度、電気伝導度などが日変動および季節変動するが、それらの変動が電気生産菌の活性に与える影響については明らかとなっていなかった。そこで、立上げ高速化実験で電気生産が確認された空気カソ

ド型 MFC に対し、実際の下水を供給液として連続実験に適用すること、および実下水による発電の確認と CO₂ 固定量のデータの信頼性を高めることを目的とした。

実験では、MFC へ下水（処理プロセス途中の硝化槽由来）を供給するためのポンプ（東京理化工機 MP-4000）と配管を下水処理施設に設置した上で MFC を 2 台接続した。また、立上げ高速化実験で用いたものと同型のデータロガーを MFC に接続して発電量を記録した。2 台のうち 1 台は①無通電状態（開回路）、もう 1 台を②通電状態（閉回路）として比較を行った。MFC の運転は 2023 年 5 月 31 日から開始し、同年 8 月 31 日まで（93 日間）実施した。設置した空気カソード型 MFC の立上げ、および運転条件を表-2 に示す。

表-2 MFC 立上げおよび運転条件

	開回路・閉回路
接種源	二槽型 MFC のアノード電極片 (15 mm×15 mm)
アノード槽容積	45 mL (30 mm×50 mm×30 mm)
アノード電極	カーボンフェルト 29 mm×49 mm 2 枚
カソード電極	Active Carbon: 9.9 mg/cm ² Carbon Black: 1.0 mg/cm ² PVDF/DMAc をバインダーとして利用
供給液	下水 (~7/6: 10 mL/hr・7/6~: 3.75 mL/hr)
外部抵抗	10 Ω
運転期間	2023/5/31~8/31 (93 日間)

7 月 6 日までは下水を配管から 10 mL/hr の流量で直接供給していたが、流量が安定せず、電気生産も確認されなかったことから、同日以降は汲み置いた下水を 3.75 mL/hr の流量で間接供給する形に変更した。なお、汲み置いた下水はおよそ 2 週間に 1 回のサイクルで交換、補充した。その後は電気生産が確認され、8 月 2 日から 31 日の期間（30 日間）で 3 回（Run 1 から Run 3）に分けて発電量を計測した。CO₂ の固定量については、カソード電極表面を蒸留水（5 mL）で洗い流し、その蒸留水をイオンクロマトグラフィー（IC）で測定して炭酸イオンの存在量を求めることで評価した。併せて、COD（有機物などによる水質汚濁の度合い

を示す指標の一つ)、クーロン効率(除去 COD に対する電気回収効率; 閉回路のみ) による評価を行った。

2.2 実験結果および考察

8月2日から31日における閉回路(通電状態)での発電量の推移を図-2に示す。この期間ではRun 2で発電量が大きく変動し発電量も高かった。また、カソード電極表面には白色結晶として炭酸塩が生じ、CO₂の固定が確認された。図-3にはMFCのCO₂固定量を、表-3には運転結果を示す。

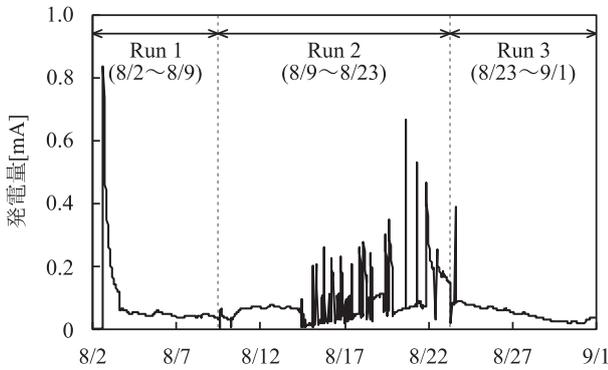


図-2 閉回路の発電量の推移

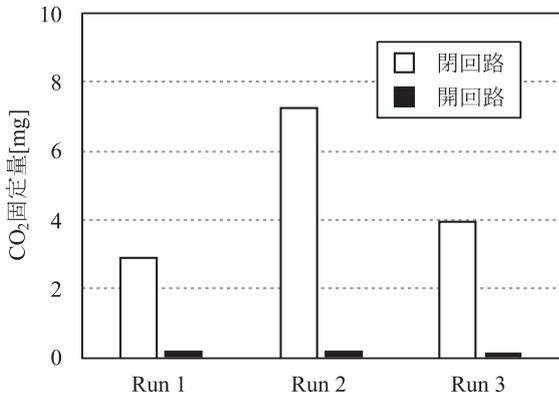


図-3 期間毎のCO₂固定量

図-3のとおり、開回路と閉回路を比較すると、閉回路においてCO₂が多く固定化されている。これは開回路の場合には電気が流れることで生じる化学反応が進行せず、カソード電極上にアルカリ溶液が生成しなかったためと考えられる。また、最も高い発電量が得られたRun 2が、CO₂固定量も最大となった。なお、表-3で示すように閉回路、開回路共に COD 除去率は比較的高い値が維持さ

れており、本実験の範囲では水質変動が電気生産菌の活性に及ぼす影響は比較的低いと想定された。

表-3 MFCの運転結果

	Run 1	Run 2	Run 3	平均
平均 発電量 [μA]	72.6	83.2	44.9	66.9
COD 除去量 [mg/L]	336	617	556	503
閉回路 COD 除去率[%]	82.0	91.1	86.9	87.0
クーロン 効率[%]	1.72	1.07	0.64	1.1
CO ₂ 固定量 [mg/day]	0.42	0.52	0.44	0.5
平均 発電量 [μA]	—	—	—	—
COD 除去量 [mg/L]	349	593	547	496.3
開回路 COD 除去率[%]	85.1	88.5	85.5	86.4
クーロン 効率[%]	—	—	—	—
CO ₂ 固定量 [mg/day]	0.03	0.01	0.01	0.02

一方で、同表より閉回路におけるクーロン効率の平均が1.1%と非常に低いのが、これはMFCとデータロガーを接続する配線の劣化による接触不良が原因と考えられた。本実験では被覆配線を使用したのが、MFCの接続部分などは被覆を剥離して使用しており、その部分が時間経過と共に黒く変色した。この変色部分と被覆を剥離した直後の配線を、走査型電子顕微鏡エネルギー分散型X線分光法(SEM-EDX)により分析した結果を図-4に示す。

被覆剥離直後の配線は主材料である銅(Cu)のピークが顕著であるが、変色部分は表面の劣化が確認され、Cu以外に特に硫黄(S)のピークが認められた。これは、排水処理プロセスにおいて発生する硫化水素(H₂S)に由来すると推察された。H₂Sは金属表面と反応して硫化金属を生成し、金

属腐食を進行させ、特に Cu は腐食が進行しやすい⁴⁾。よって、腐食によって接触不良が生じていた可能性が高く、MFC の設置環境を考慮すると、耐食性の高い配線を用いることが必要である。

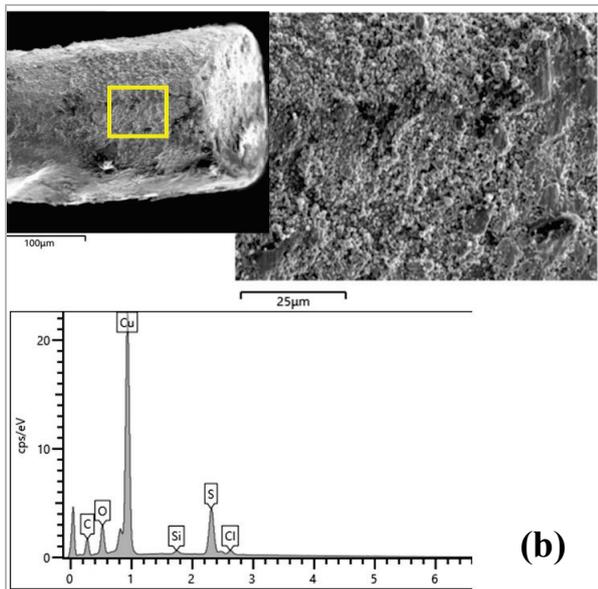
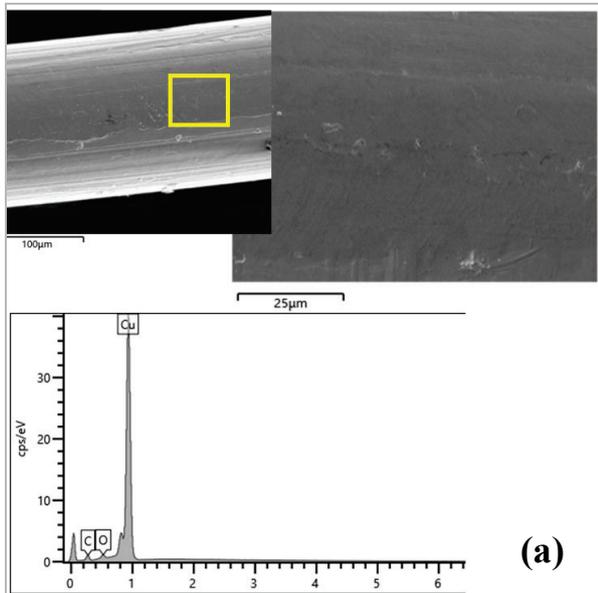


図-4 SEM-EDX による配線の分析結果
(a) 被覆剥離直後、(b)変色部分

3. まとめ

MFC の立上げ高速化実験と水質変動下における大気中 CO₂ 固定実験に関して、これまでに得られた結果をまとめると以下のとおりとなる。

① 予めバイオフィルムを形成させたアノード

電極を空気カソード型 MFC に接種することで、立上げ高速化が可能となった。

- ② 実際の下水处理施設から供給した下水で MFC を運転し、大気中の CO₂ の固定を達成した。また、発電量が大きいほど固定された CO₂ の量は増大した。
- ③ 開回路、閉回路とも有機物が MFC により分解されることが COD 除去率から確認でき、水質変動が電気生産菌の活性に及ぼす影響は比較的低いことが示唆された。
- ④ 下水処理施設由来の H₂S により、配線が腐食することで接触不良が生じ、それにより MFC のクーロン効率が低い状態となったと示唆された。

また課題として、配線を含む MFC を含むシステム全体の耐久性向上や、MFC へ供給する下水の流量を安定化させる必要性が明らかになった。

謝辞

本研究は、(一社) カーボンリサイクルファンドの 2022 年度研究助成により遂行されたものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国立環境研究所, 2021 年度(令和 3 年度)の温室効果ガス排出・吸収量(確報値)について, available from <<https://www.nies.go.jp/whatsnew/2023/20230421/20230421.html>>, (参照日 2024 年 1 月 25 日).
- 2) 宇田川洋一, 高塚威, 佐野大輔, 石崎創, 微生物燃料電池(MFC; Microbial Fuel Cells)による二酸化炭素ガス回収・固定技術, 日本機械学会 2021 年度年次大会講演論文集 (2021), J065-06.
- 3) Yang, W., He, W., Zhang, F., Hickner, M. A., and Logan, B. E., Single-Step Fabrication Using a Phase Inversion Method of Poly(vinylidene fluoride) (PVDF) Activated Carbon Air Cathodes for Microbial Fuel Cells, Environmental Science & Technology Letters, Vol. 1, No. 10 (2014), pp. 416-420.
- 4) 小島英順, 排水処理施設における硫化水素の問題と, 薬剤を用いた対策技術, におい・かおり環境学会誌, Vol. 49, No. 4 (2018), pp. 254-264.

A-4

中層集合住宅用排水立て管システムにおける

伸頂通気管端部形状の違いが排水能力へ及ぼす影響

○柿澤 海斗 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 相澤 幸司 (関東学院大学)

Drainage Capacity of Vertical Drainage Pipe System for Medium-rise Multi-Family Dwellings
Effects of Different End Configurations of Extension Vents on Drainage Capacity of Drainage Vertical Pipe Systems in Mid-rise Multi-unit Dwellings

Kaito Kakizawa (Kanto Gakuin Univ.), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin Univ.),
Koji Aizawa (Kanto Gakuin Univ.)

キーワード：排水能力, 定流量排水実験, 伸頂通気管

1. はじめに

近年、わが国では住宅建設会社によって中層程度の賃貸併用集合住宅が流通されており、市場が戸建て住宅から変化しつつある。中層程度の集合住宅における排水立て管には伸頂通気管を設置することが一般的である。また、原則として伸頂通気管は排水立て管と同径とすることが定められている。しかし、伸頂通気管端部にベントキャップ等が設置されると通気抵抗が生じ、頂部から流入する通気が減少することで、負圧の増大につながるものが危惧される。

本研究は、中層集合住宅における設計手法の提案を目的とし、本報では、伸頂通気管端部形状を変化させ、器具排水を想定した定流量排水実験を行うことで許容排水流量を把握する。

2. 実験概要

本実験は、中層集合住宅における実配管を想定し、図-1 に示す継手を各階に設置し、SHASE-S 218¹⁾ に準拠した定流量排水実験を行う。また、実使用に近い負荷を想定し、雑排水系統と汚水系統を分流して定流量排水負荷を与え、排水システムへの影響を把握する。

2.1 供試排水立て管システム

図-2 に本実験で用いる供試排水立て管システムを示す。実使用を想定し排水立て管管径は100Aとし、管径100A、こう配1/100の排水横主管に接続した。排水横主管形態は、6.6[m]のストレート配管と、排水立て管基部から1mの位置に第1水平曲がり設けた曲がり配管とした。表-1

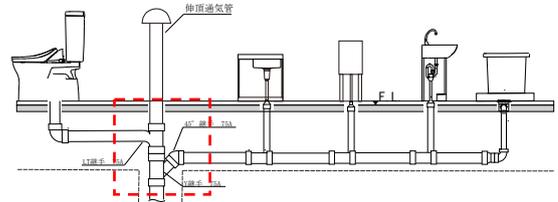


図-1 実配管を模した継手システム
表-1 伸頂通気管端部の詳細

名称	(1)ベントキャップ [100A]	(2)製作型A [65A]	(3)製作型B [60A]
詳細図			
通気抵抗係数α	1.96	17.81	54.89

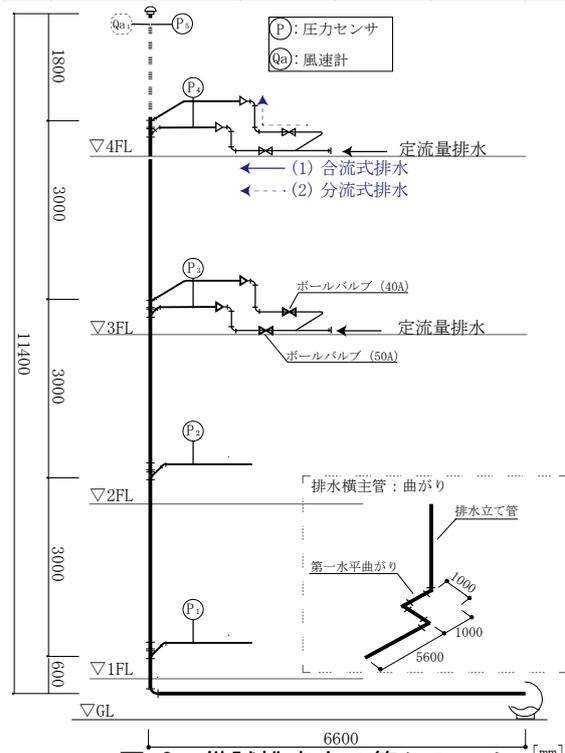


図-2 供試排水立て管システム [mm]

に本実験にて使用する伸頂通気管端部の詳細を示す。なお、通気抵抗係数は既報²⁾を参考に通気抵抗実験を行い算出した。本実験では(1)ベントキャップ 100A(通気抵抗係数：1.96)を基準とし、通気抵抗を増加させた(2)管径 65A の試作型 A タイプ(通気抵抗係数：17.81)、(3)管径 50A の試作型 B タイプ(通気抵抗係数：54.89)を排水立て管頂部に設置し、伸頂通気管端部形状を可変させ、通気抵抗を変化させる。排水横枝管は管径 75A とし、こう配を 1/100 とした。図-3 に排水横枝管の詳細図を示す。排水横枝管は汚水系統と雑排水系統の異なる方向に分流させ、ボールバルブの開度を調整することで、合流式排水及び分流式排水を行う。

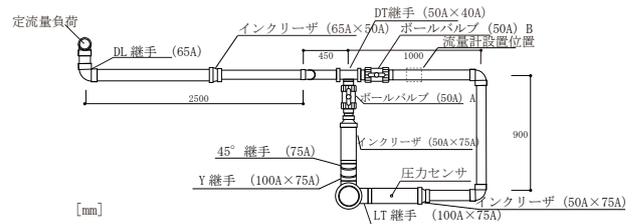


図-3 排水階での排水横枝管詳細図

表-2 必要排水能力決定根拠

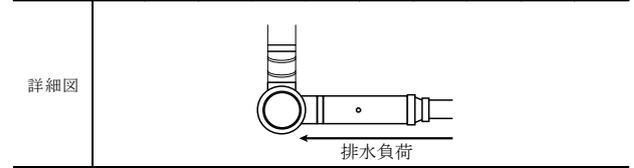
定常流量法による必要排水能力決定方法		
	SHASE-S 206	既報 ⁴⁾
1. 器具定常流量 合計 $\bar{q} = \sum w/T_i$ [L/s]	0.097 ^{*1}	0.072 ^{*2}
2. 4階での定常流量 Q [L/s]	0.4	0.289
3. 代表器具の器具排水特性 qd [L/s]	大便器=1.5	大便器=1.5
4. 排水管選定図より、負荷流量 Q_L [L/s]	4.5	3.3
5. 安全性を考慮し、4.5[L/s]を必要排水能力とした		

^{*1}浴槽=0.015[L/s] 洗面器=0.009[L/s] 洗濯機=0.03[L/s] 大便器=0.013[L/s] 台所流L=0.03[L/s]
^{*2}浴槽=0.013[L/s] 洗面器=0.014[L/s] 洗濯機=0.08[L/s] 大便器=0.007[L/s] 台所流L=0.03[L/s]

表-3 排水負荷方法

(1) 合流式排水

	合流式排水									
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
4F	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
3F	-	-	-	-	-	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5
計[L/s]	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0



(2) 分流式排水

	分流式排水				
	0.5[L/s]	1.0[L/s]	1.0[L/s]	1.5[L/s]	1.5[L/s]
汚水系統					
雑排水系統					
4F	○	○	○	○	○
3F	○	○	○	○	○
計[L/s]	1.5	3.0	2.0	4.0	2.5

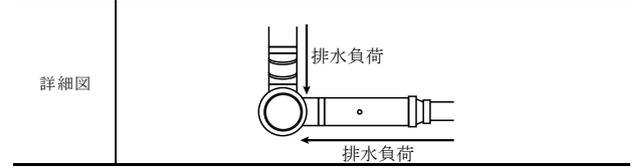


表-4 測定項目及び判定条件

測定項目	判定条件	備考
管内圧力 P [Pa]	±400Pa以内	SHASE-S 218 ¹⁾ の試験判定条件によるものとする。
通気流量 Qa [L/s]	-	通気管内の管内中心風速 V [m/s]を測定し、式(1)を用いて通気流量 Qa [L/s]を算出する。

P_{min})を測定する。排水能力における判定条件は SHASE-S 218¹⁾に準拠し、本システムにおけるシステム最大値・システム最小値($P_{smax} \cdot P_{smin}$)が判定基準値±400Pa 以内におさまることとする。通気流量は、伸頂通気管端部における管内中心風速 V [m/s]より、式(1)を用いて通気流量を算出し、その値を用いることとする。

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

[凡例]

Qa : 通気流量 [L/s] 0.82: 管内速度係数
 V : 管内中心風速 [m/s] A : 配管断面積 [m²]

2.2 排水負荷

2.2.1 排水負荷の決定根拠

表-2 に必要排水能力の決定根拠を示す。4層規模の集合住宅における許容排水流量値を SHASE-S 206³⁾における定常流量法を用いて算出すると、約 4.5[L/s]となった。また、既報⁴⁾における器具平均排水流量 qd 値を用いて算出した同値は 3.3 [L/s]となったため、双方を照合した結果、安全性を考慮して、本システムにおける許容排水流量値(以後、必要排水能力とする)を 4.5[L/s]とした。

2.2.2 排水負荷条件

表-3 に本実験における排水負荷方法を示す。同表(1)合流式排水では、汚水系統側に設置したボールバルブを閉塞させ、雑排水系統側から必要排水能力を上回る 5.0[L/s]まで与える。なお、排水階は4階および3階とし、各階での最大排水負荷流量は SHASE-S 218¹⁾に準拠し、2.5[L/s]とした。同表(2)分流式排水では、実使用を想定し、ボールバルブの開度を可変させることで汚水系統と雑排水系統に分流させ、定流量排水負荷を与える。分流式排水における排水パターンは、実排水を想定し、供試大便器における qd 値を基に汚水系統を 1.0[L/s]として雑排水系統を 0.5~1.5[L/s]に変化させ分流排水を行い、伸頂通気管端部の形状が異なることによる排水能力への影響を把握する。

2.3 測定項目及び判定条件

表-4 に測定項目及び判定条件を示す。測定項目は、各階排水横枝管の(1)管内圧力 P [Pa]と伸頂通気管内の(2)通気流量 Qa [L/s]とした。管内圧力は、各階排水横枝管及び伸頂通気管端部における管内圧力変動 P [Pa]の最大値・最小値($P_{max} \cdot$

3. 実験結果及び考察

3.1 合流式排水実験

3.1.1 管内圧力

図-4 に合計排水負荷流量を 4.5[L/s] を与えた際の管内圧力分布を示す。(1) ストレートでは、基準となるベントキャップ 100A の P_{smin} は 4 階で約-130[Pa] となった。65A 相当の試作型 A を設置した場合、 P_{smin} は 2 階で発生し、約-310[Pa]、50A 相当の試作型 B では、 P_{smin} は 4 階で発生し、約-380[Pa] となり、ベントキャップ 100A に比べ、それぞれ約 140%、190% の負圧が増加した。(2) 曲がりでは、ベントキャップ 100A の P_{smin} は 4 階で約-200[Pa] となった。試作型 A を設置した場合、 P_{smin} は 4 階で約-250[Pa]、試作型 B では、 P_{smin} は 4 階で約-370[Pa] となり、ベントキャップ 100A に比べ、それぞれ約 25%、48% の負圧が増加した。これは、伸頂通気管端部が縮径したことで通気抵抗が増加し、負圧が増大したためと推察する。また、排水横主管形態を曲がりとした場合では、ストレートに比べ特に下層階で正圧が発生していたが、大差はなくいずれの場合であっても、SHASE-S 218¹⁾ の判定基準値±400Pa 以内におさまった。よって、排水横主管を曲がりとした場合では、ストレートに比べ、安全な傾向があると推察する。

3.1.2 排水能力

図-5 に合計排水負荷流量 Q_w [L/s] と P_{smax} ・ P_{smin} の関係を示す。(1) ストレートでは、試作型 A,B ともに、合計排水負荷流量 5.0[L/s] を与えた際に P_{smin} がそれぞれ約-540[Pa]、-610[Pa] と判定基準値±400Pa を負圧側で超過し、排水能力は 4.5[L/s] となった。(2) 曲がりでは、合計排水負荷流量 5.0[L/s] を与えた際にベントキャップ 100A を除き全ての条件において負圧側で±400Pa を超過した。また、曲がりでは合計排水負荷流量が増加するに従い正圧が発生するが、5.0[L/s] を与えた場合であっても+400Pa を超える正圧が発生することはなかった。これらから、いずれの場合であっても排水能力は 4.5[L/s] としたが、試作型 B では、2.5[L/s] 以上の負荷を与えた際に-400Pa 近傍であることから安全性を考慮し、65A 以上の伸頂通気管を設けることが望ましいと考える。

3.1.3 通気流量

図-6 に合計排水負荷流量 Q_w [L/s] と通気流量

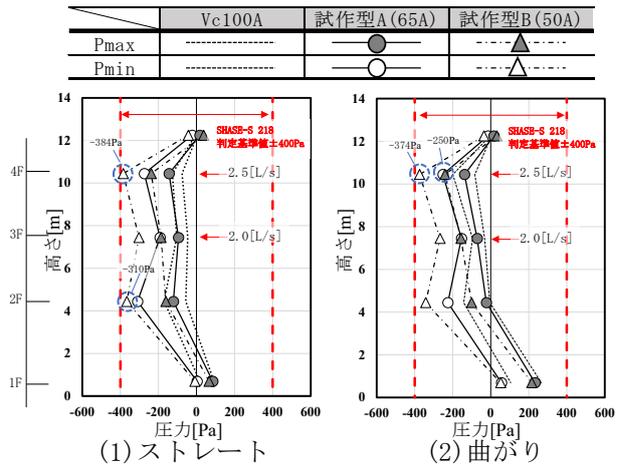


図-4 管内圧力分布 (4.5[L/s])

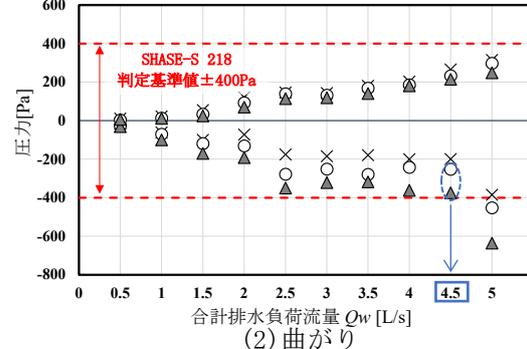
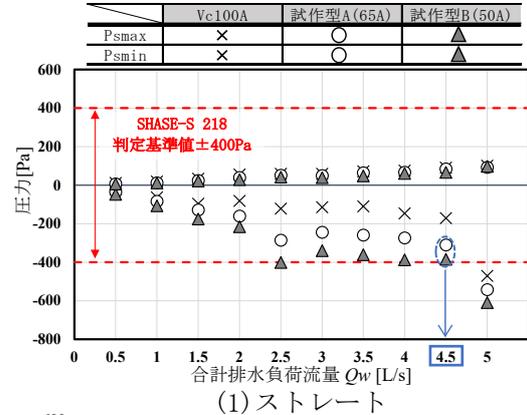


図-5 合計排水負荷流量 Q_w と P_{smax} ・ P_{smin} の関係

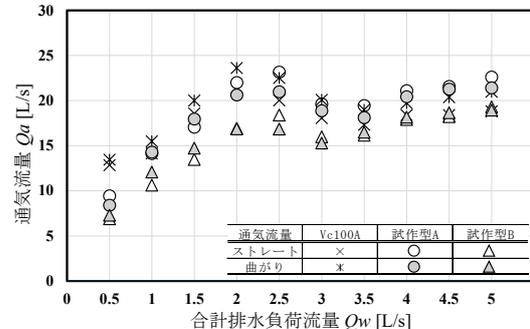


図-6 合計排水負荷流量 Q_w と通気流量 Q_a の関係

Q_a [L/s]の関係を示す。同図より、排水横主管形態の違いによる通気流量に大差はみられなかった。しかし、伸頂通気管端部の形状によって通気流量は変化し、特に、合計排水負荷流量を 2.0[L/s]とした場合においては、ストレートにて試作型 A,B はそれぞれ 25.3[L/s]、16.9[L/s]、曲がりではそれぞれ 20.6 [L/s]、16.8[L/s]と、口径の大きさに伴い通気流量に差がみられた。

3.2 分流式排水実験

3.2.1 管内圧力

図-7 に一例として、汚水系統を 1.0[L/s]、雑排水系統を 1.5[L/s]とした場合での、排水横主管形態をストレートとした際の分流式排水における管内圧力分布を示す。(1)1層排水(計:2.5[L/s])では、基準とするベントキャップ 100A で P_{smin} は3階で約-160 [Pa]となった。試作型 A,B の P_{smin} は3階でそれぞれ約-180[Pa]、-270[Pa]とベントキャップ 100A に比べ負圧が発生した。(2)2層排水(計:5.0[L/s])では、ベントキャップ 100A で P_{smin} は2階で発生し、約-250 [Pa]となった。試作型 A,B の P_{smin} は、同様に2階で発生し、それぞれ約-330[Pa]、-340[Pa]と判定基準値以内におさまる結果となった。3.1 での同排水負荷を与えた場合の結果と比較すると、負圧が低くなる傾向がみられた。これは、汚水系統と雑排水系統に分流したこと、異なる方向から分散流量が排水立て管へと流入させることで合流部の抵抗が低減し、負圧が緩和したと推察する。

3.3 合流式・分流式比較

図-8 に合流式排水及び分流式排水における合計排水負荷流量 5.0[L/s]与えた場合の P_{smax} ・ P_{smin} を比較して示す。5.0[L/s]を与えた際に、合流式排水においてはすべての条件下で判定基準値 -400Pa を負圧側で超えていたものの、分流式排水を行うことで、負圧が低減され、全条件にて判定基準値以内におさまる結果となった。以上のことから、中層集合住宅における排水方式は汚水系統と雑排水系統を分流させることにより、排水能力が向上し、安全性が高まると推察する。

3. 総括

本研究では、中層集合住宅における伸頂通気管端部形状の違いが排水能力へと及ぼす影響を定流量排水実験にて把握した。その結果、合流式排水

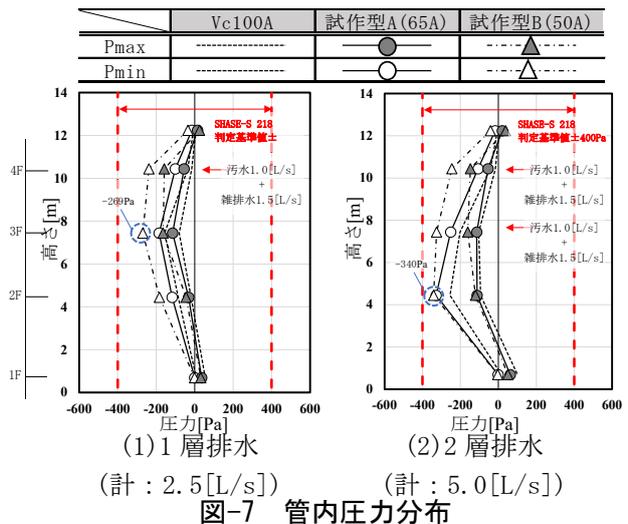


図-7 管内圧力分布 (汚水系統 1.0[L/s]+雑排水系統 1.5[L/s])

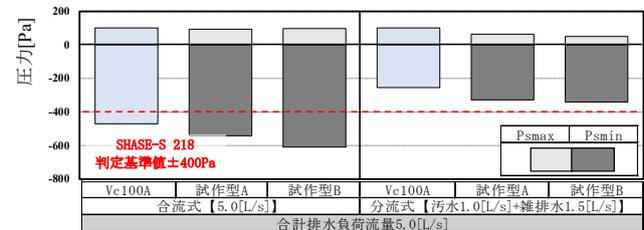


図-8 排水方式による P_{smax} ・ P_{smin} の比較

実験では全て必要排水能力 4.5[L/s]を満たしたが、50A 相当(通気抵抗係数: 54.89)の試作型 B においては 2.0[L/s]を超える排水負荷を与えると判定基準値近傍となった。分流式排水実験では、合流式排水実験と比較し、負圧が発生しない傾向がみられ、全ての条件で判定基準値以内におさまった。これらより、中層集合住宅における安全性を考慮したとき、伸頂通気管端部は 65A (通気抵抗係数: 17.81)程度かつ、分流排水方式を適用することが望ましいと推察する。

参考文献

- 1) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会; 集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法 SHASE-S 218-2014, (2014.11)
- 2) 本郷智大 他; ベントキャップの通気抵抗試験法の提案と排水立て管システムの排水能力に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会環境系論文集 第 84 巻 第 758 号, pp417-426 (2019. 4)
- 3) 公益社団法人 空気調和・衛生工学会; 給排水衛生設備基準・同解説 SHASE-S 206-2019, (2020.1)
- 4) 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, pp.105~108, (2018.9)

A-5

導電性高分子材料 PEDOT:PSS を用いた通電再生型デシカント空調の開発

-通電再生モジュール電気的特性及び吸放湿挙動の検討-

○楊子葳（東北大学），西山陽歌（東北大学），樋口陽太（東北大学），金井大介（クレバ株），
金井文彦（クレバ株），小林大（東京大学），川勝英樹（東京大学），小林光（東北大学）

Development of Energization-Regeneration Desiccant Air Conditioner Using Conductive Polymer PEDOT:PSS -Investigation of Electrical Characteristics and Moisture Absorption/Desorption Behavior of Energization-Regeneration Modules

Yang Ziwei (Tohoku University), Nishiyama Haruka(Tohoku University), Higuchi Youta(Tohoku University), Kanai Daisuke(Create Value Co., Ltd.), Kanai Fumihiko (Create Value Co., Ltd.), Kobayshi Dai (Tokyo University), Kawakatsu Hideki (Tokyo University), Kobayshi Hikaru (Tohoku University)

キーワード：通電式再生，デシカント空調，PEDOT:PSS，電気的特性，耐久性，除湿性能

はじめに

ポリ(3,4-エチレンジオキシチオフェン)/ポリ(4-スチレンスルホン酸)PEDOT:PSS はバイエル社とアグファ・ゲバルト社によって開発された導電性高分子材料で、優れた電気伝導性、熱電特性、柔軟性などの利点から、開発以来さまざまな分野で活用されている。ただし、PEDOT:PSSは高い吸湿特性も示すものの、近年この特性を活用する研究はほとんど行われていない。筆者らはPEDOT:PSSの吸湿性能と導電性を利用し、電気を印加することで再生する除湿エレメントとして、通電再生型デシカント空調の開発に取り組んでいる。本システムは通電再生のために、別途熱源を必要とせず、装置の簡易化、ローコスト化、小型化などが期待できる。その一方で、通電式除湿エレメントは通電に伴って電気抵抗の上昇し、発熱効率が低下するといった課題があり、改善の必要がある。本研究では、除湿エレメントの性能を確保するため、主に吸放湿性能及び電気的性能の二つの側面から検討する。本報では、PEDOT:PSSを基材に含浸する手法を用いて作製した除湿エレメントの性能に着目し、電極付き除湿エレメントの耐久性を確保するため、電気的な性能に影響を与える要因と、定常状態及び通電による吸・放湿能力について報告する。

1. 実験方法

1.1 PEDOT:PSS 分散液の調製

本研究では、PEDOT:PSS 分散液をコルゲート

等の基材に含浸して用いる。含浸液は、電気伝導度の異なる 150 S/cm と 10 S/cm の 2 種類を用いた（以下、PP150、PP10 と称す）。これは、親水性が高いが絶縁性も高い PSS の割合によって区別される。PP10 は PSS の割合が多いため、PP150 より導電性は劣るが、吸湿性能は高い。本報は PP150 に焦点を当てて含浸体の電気的な性能を実験的に研究し、同時に除湿性能の側面から PP10 も検討する。

本研究では PEDOT:PSS の電気伝導度向上するため、エチレングリコール(EG)¹⁾を 5 vol%添加した。また、含浸媒体との密着性を高めるため、界面活性剤ドデシルベンゼンスルホン酸(DBS)²⁾を 0.025 vol%添加した。加えて、PEDOT:PSS の含浸添着率(wt%)を上げるために 3 種類のバインダーを使用した。調製した分散液と、本報での呼称を表-1 に示す。

1.2 基材電極付除湿エレメントの作製手法

含浸基材は内層の高さ 1mm の 33mm 角のハニカム構造コルゲート基材を選択した。除湿エレ

表-1 調整分散液の成分と略称

呼称	B0(PP150)	B1	B2	B3	PP10
含浸液	PP150				PP10
添加剤(vol%)	EG 5%, DBS 0.025%				
バインダー	—	バインダー-1 耐熱水性	バインダー-2 親水皮膜形成	バインダー-3 高硬度	—

メントの含浸は、真空含浸法を利用した。コルゲート真空装置に入れ、減圧後、PEDOT:PSS 分散液を容器に加えて 3 分間含浸する。含浸完了後 3 分間減圧状態を維持した後、コルゲートを取り出し、恒温槽内で 70℃、24 時間乾燥した。乾燥終了後、室温で 24 時間放置した。以上の手順を 3 回繰り返すことで、PEDOT:PSS の添着率を高めた。本実験では、2 種類の電極材料（銅箔電極、カーボン電極）を用い、表面に電気化学的に不活性なカーボンペーストを均一に塗布し、含浸コルゲートの両端に貼り付け、24 時間固定し、除湿エレメントの作製を完成した（図-1）。

1.3 電気測定実験条件および測定

電気性能実験では、除湿エレメントの導電率に影響を与える要因の変数を制御し、異なる要因が電気的な性能に及ぼす影響を分析した。実験中の環境条件を冷房時の空調還気条件の 28℃、50% に設定し、除湿エレメントに風を当てた状態で約 1 時間通電させた。実験 CASE を表-2 に示す。特に明記する場合を除き、以下の順で除湿エレメントに電気を印加した：DC 15 V、AC ±15 V(矩形波、50 Hz)、及び AC ±15 V(矩形波、500 Hz)。

測定装置の概要を図-2 に示す。Analog Discovery 2 は、PC に接続することで、安定化電源装置から回路に印加する電圧と電源種類を制御でき、電圧と電流の直接測定装置としての機能も果たす。除湿エレメントへの通電により発生する電位と電流を記録することで、インピーダンスを算出し、導電性や劣化状態を判断する。

1.4 振動式質量測定器による吸・放湿測定

材料の吸放湿性能を判断する際に、吸着等温線は極めて有用な情報となる。しかしながら、吸着等温線を専用測定器で測定する場合、微細なサンプルでしか測定できず、除湿エレメントとしての吸湿に比べて著しく高い吸湿量となる。そこで筆者らが、先行研究で開発した振動式の重量測定装置を用いて除湿エレメントとしての吸着等温線測定を試みた。除湿エレメントが吸湿すると質量が増加するため、バネ-マス系の共振周波数の原理を利用した振動式重量測定装置(図-3)を開発し、除湿再生サイクル中の除湿エレメント試験体の質量の連続的な変化を測定できるようにした。³⁾



図-1 測定用除湿エレメントの実写（銅箔電極）

表-2 電気測定実験 CASE の説明

実験 CASE	分散液	電極	通電順
CASE:1~3	B0	Cu	DC→50Hz→500Hz
CASE:4~6	B1	Cu	
CASE:7~9	B3	Cu	500Hz→50Hz→DC→50Hz→500Hz
CASE:10~14	B2	Cu	
CASE:15~17	B2	C	DC→50Hz→500Hz

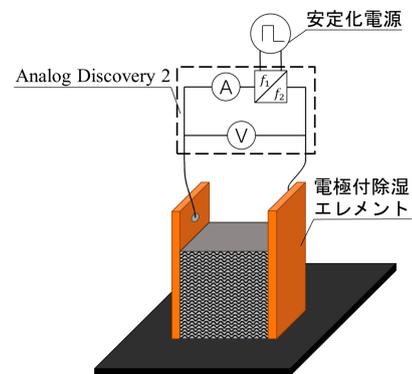


図-2 電気測定実験装置

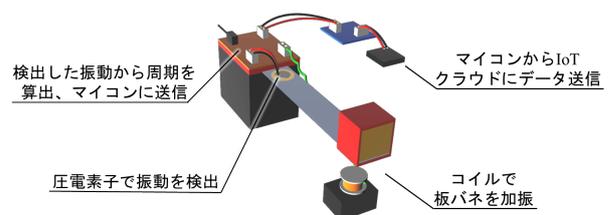
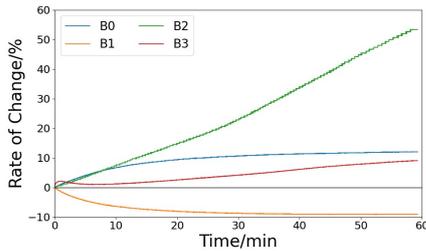


図-3 振動式質量測定器の仕組み

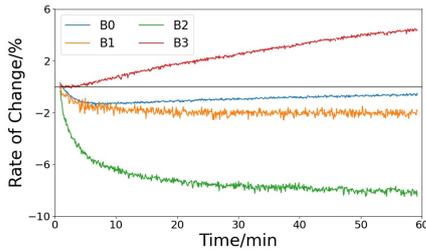
2. 電気性能測定実験結果および考察

2.1 バインダーによる影響

除湿エレメントの電気伝導率に及ぼすバインダーによる影響を確認するための実験を行った。銅箔電極を用いた DC の条件下では、B1 で含浸したエレメントを除くすべてのエレメントは時間経過とともにインピーダンスが上昇し、バインダー毎に変化率のトレンドも異なり(図-4(a), (b))、添加するバインダーにより電気特性が異なることが確認された。



(a)



(b)

図-4 異なる分散液種類のインピーダンス変化率 (a)DC, (b) AC 50Hz (B2 の場合は CASE:13)

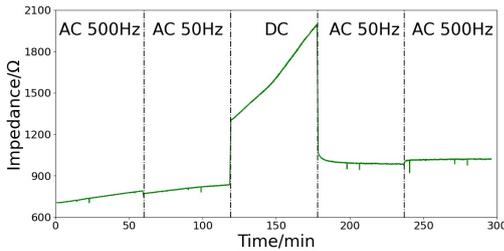


図-5 B2 の全通電過程のインピーダンス変化

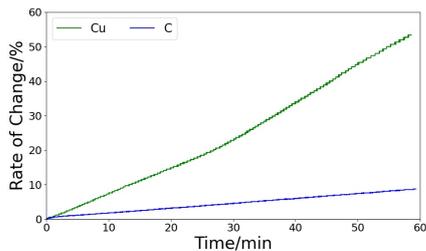


図-6 DC で異なる電極のインピーダンス変化率

2.2 電源種別による影響

2.1 より、除湿エレメントに通電する際の AC のインピーダンス変化の挙動は DC より小さいことが判断できるが、これは DC の実験を先に行ったため、劣化が飽和またはある段階まで進んだ結果、AC を通電した際の劣化速度が小さくなった可能性がある。そこで、B2 を用いて、表-2 に示す CASE:10~14 の通電順で通電測定実験を行っ

た。銅箔電極付除湿エレメントは、AC から通電をスタートしてもインピーダンスが上昇し、劣化が起きることが確認できる(図-5)。ただし、AC 場合正負いずれの電極も劣化が進むことを考えると、電極の劣化は DC に比べて遥かに劣化が少ない可能性がある。

また、DC の場合インピーダンスは増加し、その後 AC 50Hz に切り替えた直後、除湿エレメントのインピーダンスは低下したが(図-5)、DC 通電前のインピーダンスには戻らなかったことから、DC 通電時の劣化には、可逆的な劣化と不可逆的な劣化の 2 つに分けられると推測できる。可逆的な劣化については、エレメントのバルク(含浸されたポリマー)内で PEDOT:PSS の部分導電性に寄与する自由電荷のキャリアが片方の電極に集まることで導電性が阻害されると考えられる。AC の場合は電極にキャリアが集まらないとすれば、相対的にインピーダンスは低く保たれ、劣化は小さくなると考えられる。DC 実験後の AC 50Hz の実験では、除湿エレメントのインピーダンス変化率は AC への切り替え直後に減少しており(図-5)、片方の電極に集まったキャリアが電極から離れ、除湿エレメントの電極間で往復泳動するようになり、除湿エレメントの導電率が回復するためと推定される。この仮説は図-4 の(a)と(b)の DC と AC の変化率の違いからも確認できる。一方、不可逆的な劣化は陽極酸化によるものと推定される。これについては次節で説明する。

2.3 電極による影響

2.2 の電極陽極酸化の推定を検証するため、カーボン電極に変更することより劣化測定実験を行った。カーボン電極は陽極酸化が生じないことであり、直流電圧を印加した後のエレメントのインピーダンスの増加は、エレメント内のキャリアの移動によるものと確認できる。一方、銅箔電極の DC 変化率の結果は、図-6 に示すように、カーボン電極より大きく、ということより、銅箔電極を用いた除湿エレメントの DC での劣化は、キャリア泳動と陽極酸化の 2 つに分けると確認できる。

以上から、通電による劣化は金属電極の陽極酸化及び特に DC によるバルク内部キャリアの移動によるものであると推定した。従って、通電再生を良好に行うためには、陽極酸化とバルク内のキ

キャリアの移動による劣化を避けるため、電気化学的に安定なカーボン電極などを採用し、電源はACを採用することが必要であると結論した。

3. 吸湿能力の測定実験および結果の考察

PP10, PP150(B0), PP150(B2)3種類の除湿エレメントを製作し、28℃, 33℃の温度条件で吸着等温線を測定した。図-7より、PP10で単位当吸着・脱着量が最も高くなった。また、B2の単位吸着・脱着量はB0に及ばないため、バインダーの添加が吸湿量に影響することが確認された³⁾。

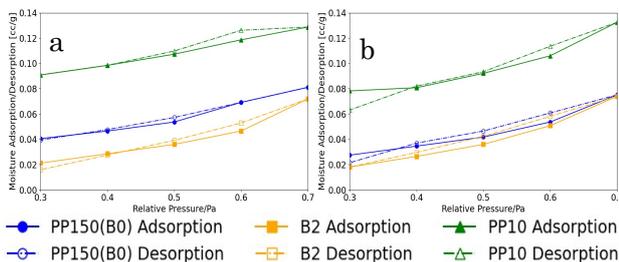


図-7 各試験体の吸脱着等温線:(a)28℃, (b)33℃³⁾

吸着等温線は、無通電状態で吸湿・放湿する場合の除湿エレメントの挙動を示す。これに対し、無通電状態で吸湿し、通電状態で放湿（再生）する除湿エレメントの挙動を測定することで、通電再生が除湿エレメントの吸湿能力に及ぼす影響を分析した。除湿エレメントに除湿空気（乾球温度33℃、相対湿度60%）を連続的に送風し、初期定常状態になった後、吸着・脱着量を測定した。再生空気（乾球温度28℃、相対湿度50%）に切り替えて、5W, AC 50Hz電源を印加し、定常状態になった後に再び除湿空気に切り替えることで、吸湿・放湿全過程における重量変化を測定した。除湿再生サイクルによる吸脱着量は表-3に示す。B2の測定の脱着量が最も高いものの、その一部は送風空気の温湿度環境変化によるパッシブな蓄水変化量によるものであり（即ち、33℃の吸着量から28℃の脱着量を差し引いた値(図-7)）、通電による電気再生量はB0とほぼ同等であることから、添加剤バインダー2は親水皮膜を形成し、パッシブな吸湿性を増加するが、通電による電気再生量は増加しないと考えられる。また、吸着等温線から、PP10の方が全体的に1g当たりの吸・脱能力は大きいものの(図-7)、切り替えによる蓄

水量はほぼ変わらない。一方、電気伝導度の高いPP150(B0)に比べて、PP10の電気再生量は少なく、電気伝導度が高くなると通電再生量が増加する可能性が示唆される。従って、PP150を含む浸液として用いた除湿エレメントは、通電条件下で比較的高い吸湿能力を有することが確認できる。

4. まとめ

導電性高分子ポリマーを用いて通電式デシカント空調システム用除湿エレメントの製作方式と運転方式の改良対策を提案し、通電再生時状態での安定性と耐久性について実験により明らかにした。また、除湿エレメントの除湿性能評価を行い、得られた評価方法と実験結果を参考に、今後の研究に寄与する多くの知見を得た。

謝辞

本研究の一部は、次世代研究者挑戦的研究プログラムJPMJSP2114の支援を受けたものです。

表-3 除湿再生サイクル吸脱着量のまとめ

	28℃, 50% 脱着量 [cc/g]	33℃, 60% 吸着量 [cc/g]	蓄水変化量 [cc/g]	測定の 脱着量 [cc/g]	電気 再生量 [cc/g]
PP10	0.110	0.106	-0.004	0.012	0.016
PP150	0.057	0.054	-0.004	0.016	0.020
B2(PP150)	0.039	0.051	0.012	0.027	0.015

※単位のcc/gは除湿エレメント1g当たりの吸脱着量

参考文献

- 1) Cripin, X. et al. Conductivity, morphology, interfacial chemistry, and stability of poly(3, 4-ethylene dioxythiophene)-poly(styrene sulfonate): A photoelectron spectroscopy study. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*. 41, 2561-2583 (2003).
- 2) 望月 威夫 他: PEDOT/PSSを用いたフレキシブル透明電極の作製と高分子分散型液晶ディスプレイへの応用, 高分子論文集, (2016-1), Vol.73, No.1, pp. 96~101
- 3) 西山 陽歌 他: 導電性ポリマーを用いた通電再生型デシカント空調に関する研究 その5: 振動式質量測定器を用いた通電式デシカント空調用除湿媒体の水蒸気吸脱着量と吸脱着速度の測定及び評価 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2023.9), pp.1761~1762

A-6

密閉型湿式デシカント空調の実用化に向けた除湿・再生条件の最適化に関する研究

○松井徹朗（東北大学），小林光（東北大学），

関根賢太郎（大成建設株式会社），渡邊深雪（大成建設株式会社），

若林宏樹（東レ株式会社），河井翔太（東レ株式会社），村瀬清一郎（東レ株式会社）

Research on optimization of dehumidification and regeneration conditions
for practical use of closed wet desiccant air conditioning systems
Matsui Tetsuro (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Sekine Kentaro (Taisei Corporation), Watanabe Miyuki (Taisei Corporation)
Wakabayashi Hiroki (Toray Industries), Kawai Shota (Toray Industries),
Murase Seiichiro (Toray Industries)

キーワード：湿式デシカント空調，密閉型，除湿，省エネルギー，中空糸膜

はじめに

建築空調分野における省エネルギー化対策として、デシカント空調が注目されている。本研究では透湿性をもつ中空糸膜に液体の吸収剤(本研究では塩化リチウム水溶液、以降 LiCl 溶液)を流し、空気と接触させて除湿を行う密閉型湿式デシカント空調の実用化を前提とした実験的な検討を行っている。湿式デシカント空調システムを密閉化するとともに、除湿部を小型化、複数化し、屋外に設置する再生部と LiCl 溶液配管で接続したマルチ除湿空調システムの実現を目指している。

これまでの一連の研究で中空糸膜の検討、除湿ユニット(図-1)の基本的な性能評価等を完了し、本システムの実現可能性が確認されるとともに、中空糸膜と空気の接触面積の重要性等が示唆されている。本研究では、①実大機への実装を前提とした温湿度条件の下、除湿ユニット単体による実験を行い、除湿・再生挙動の知見を得ること、②単体ユニットを用いて実装時の多段ユニットを模擬した実験を行い、2 段目以降の除湿・再生挙動を検証し、実用化に近づけることを目的とする。

1. すだれ状除湿ユニット単体実験

本実験ではすだれ状ユニット(図-1, 左)の空気流路の断面積を、実大機の流路断面積の 1/8(縦 1/2、横 1/4)としたダクトユニット(図-1, 右図中央部)を製作して実験を行った。また、本ユニットには斎藤ら²⁾が使用した中空糸膜を用いた。

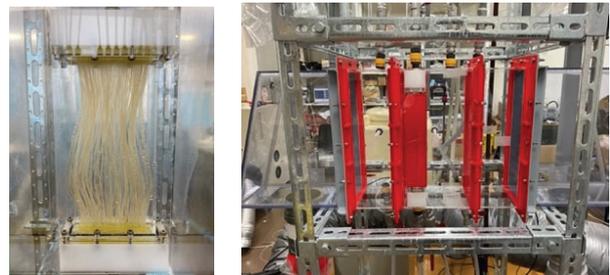


図-1 すだれ状除湿ユニット(左), TS(右)

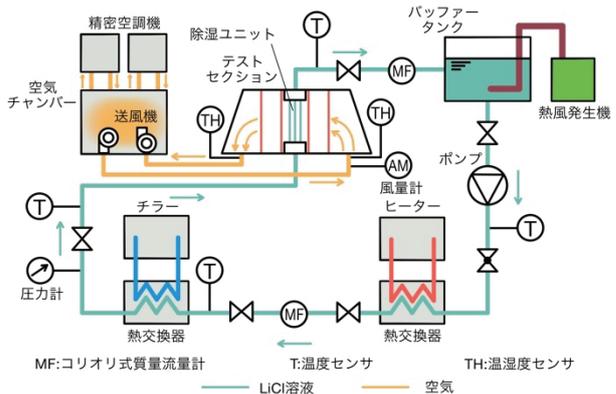


図-2 実験システムの概要

1.1 実験概要

実験システムの概要を図-2 に示す。テストセクション(図-1 右、以降 TS)にダクトユニットを設置し、その除湿ユニットに温度調節した LiCl 溶液を流す。同時に、TS 内に精密空調機および空気

チャンバーで調整した夏季外気条件(温度 34℃, 相対湿度 54%)の空気を送風し、除湿ユニット内の中空糸膜と接触させる。この時、TS 前後における空気温湿度を温湿度センサ (rotronic, HC2A-S) で測定し、その絶対湿度差(本実験では、TS 前-TS 後)を求めることで、除湿ユニットによる除湿・再生挙動を検証することができる。また、計算や条件の調整に必要な風量を風量計 (testo, 440 100mm ベーン式)、溶液温度をシース側温抵抗体 (PT-1000)、溶液の体積流量及び密度をコリオリ流量計(オーバル, ALTI mass II)によってTS 前後で測定している。測定したデータはデータコレクタで記録した。LiCl 溶液の濃度調整は熱風発生機によるバブリングによって行い、溶液の温度と密度にて濃度の確認を行っている。

実験条件を表-1 に示す。流入空気条件を温度 34℃, 相対湿度 54%とし、面風速を 0.5~2.5m/s の間で 1m/s 刻みの 3 水準とした。LiCl 溶液の濃度を 35%、体積流量を 170L/h とし、溶液の温度を 25~50℃の間で 5℃刻みの 6 水準とした。面風速と溶液温度の各組み合わせで 18 ケースの実験を行った。

1.2 面風速による除湿性能評価

面風速をパラメータとした実験結果を図-3 に示す。横軸を面風速の逆数、縦軸を TS 前後の絶対湿度差とすることでほぼ直線のグラフとなった。このことから、TS 前後の絶対湿度差は面風速、即ち送風量に反比例しており、この風速及び液温の範囲において中空糸膜-空気間における有意な湿気伝達率の変化は見られないことが確認された。また、面風速が遅いほど大きい除湿前後の絶対湿度差(除湿性能)を得られることが確認された。

1.3 液温による除湿性能評価

液温をパラメータとした実験結果を図-4 に示す。TS 前後の絶対湿度差は LiCl 溶液の液温にほぼ比例し、低温ほど除湿性能が高いことが確認された。また、溶液濃度 35%では液温 40~45℃で除湿・再生が切り替わることが確認された。各面風速について 35, 45℃の結果が回帰線よりも若干大きい絶対湿度差を示すが、溶液温度 35℃, 40℃における高温帯除湿実験(case7~12)、25℃, 30℃における低温帯除湿実験(case1~6)の順で実施したことで、低温帯実験時の溶液濃度に若干の濃度低下が生じ誤差が生じたと考えられる。

表-1 実験条件

case	流入空気			LiCl溶液			
	温度[°C]	相対湿度[%]	面風速[m/s]	濃度[%]	体積流量[L/h]	温度[°C]	
1	34	54	0.5	35	170	25	
2			1.5				
3			2.5				
4			0.5				30
5			1.5				
6			2.5				
7			0.5			35	
8			1.5				
9			2.5				
10			0.5				40
11			1.5				
12			2.5				
13			0.5			45	
14			1.5				
15			2.5				
16			0.5				50
17			1.5				
18			2.5				

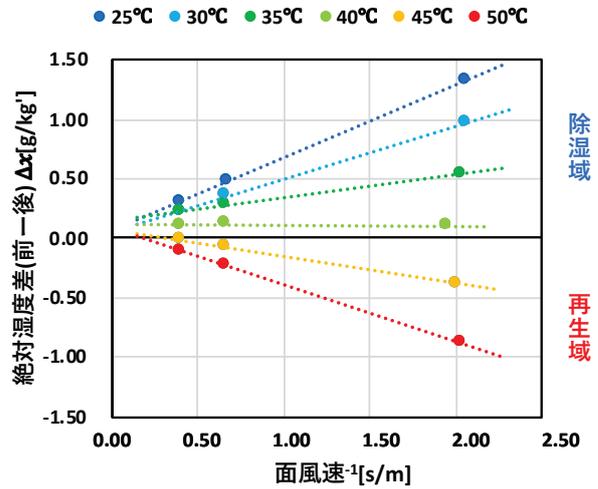


図-3 面風速と絶対湿度差の関係

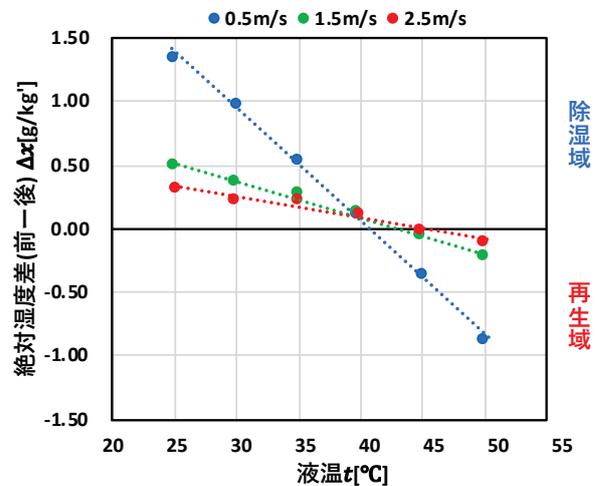


図-4 液温と絶対湿度差の関係

2. 除湿ユニット単体の多段シミュレーション実験

除湿ユニットを実大機に実装する際には、空気の流路方向に複数直列に並べて設置することを計画している。しかし、すだれ状除湿ユニットに関して、これを想定した検証は行われていない。そこで本研究では、2 段目以降の除湿ユニットの性能を、1つの除湿ユニットで行うシミュレーション的な実験で検討した。

2.1 実験概要

本実験は単体ユニットと同じ実験装置により以下の手順で実施した。

- ① TS に夏季外気条件(温湿度 34℃, 54%)の空気を送り、TS 通過後の温湿度を測定。これを1 段目通過空気条件とする。
- ② TS に 1 段目通過空気条件の空気を送り、TS 通過後の温湿度を測定。これを 2 段目通過空気条件とする。
- ③ 同様に 3 段目 ④4 段目を想定した実験を行う。
①, ②までを 25~50℃の各液温について行い、さらに③, ④を除湿域の代表ケースとして液温 25℃、再生域の代表ケースとして 50℃の 2 条件で行った。なお、空気の面風速は 0.5m/s、LiCl 溶液の濃度および体積流量は単体実験と同様である。

2.2 結果・考察

各液温における 2 段目までの結果を図-5、そのうち除湿域を抜粋したものを図-6 に示す。除湿域では 2 段目の除湿性能が下がる一方、再生域では 2 段目の再生性能の低下が比較的小さいこと(図-5)、2 段目についても各液温と絶対湿度差の関係はほぼ線形となりその傾きは 1 段目とほぼ変わらないこと(図-6)が確認された。このことから、2 段目の除湿挙動は 1 段目と同様に考えられる。25℃, 50℃における 4 段目までの実験結果を図-7 に示す。図-7 も図-5 と同様に、除湿域では段ごとに絶対湿度差が小さくなるのに対し、再生域ではその傾向が小さいことが確認された。除湿域において段ごとの絶対湿度差には低下が見られたが、4 段合計で 4.57g/kg の絶対湿度差が得られた。本実験より、35%の LiCl 溶液を用いたすだれ状ユニットは、4 段以降の空気を更に除湿する能力を持つと考えられる。このことから、さらに段数を増やすことでシステム全体の除湿性能が向上する可能性があり、実用化へ向けて必要な除湿量を得られる可能性が示唆された。

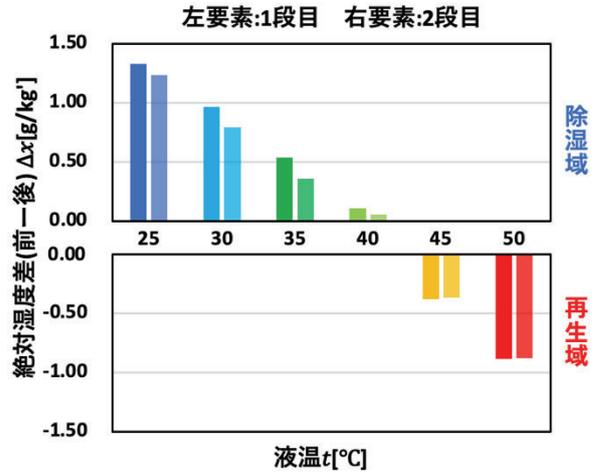


図-5 2 段シミュレーション実験結果

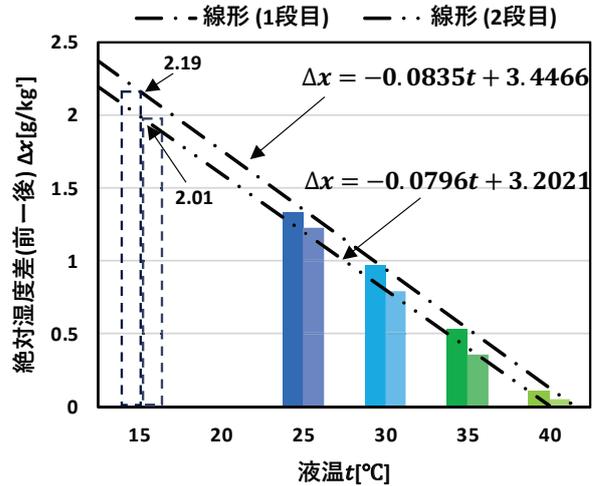


図-6 2 段実験結果 (除湿域抜粋)

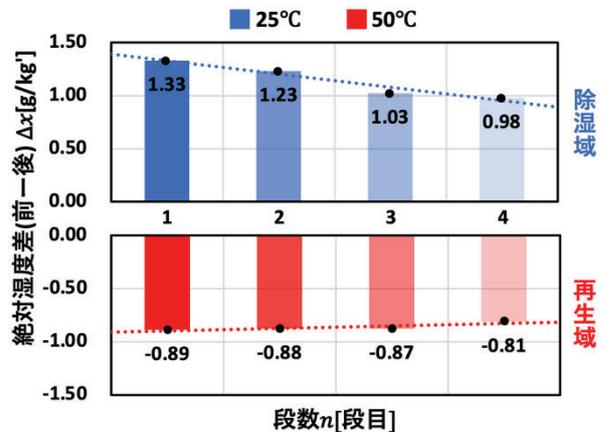


図-7 多段シミュレーション実験結果

3. 実用化へ向けた議論

本研究では実用化に向け、高温多湿外気の処理においては、除湿前後の絶対湿度差が $10\text{g/kg}'$ となることを目標としている。本実験では今後の実大試験機への実装を予定した除湿ユニットと同様の中空糸膜配置を採用している。また、実大試験機の処理風量は $500\text{m}^3/\text{h}$ を計画しているが、この時の除湿ユニット通過時の面風速は約 0.66m/s である。そこで、本研究の実験結果から、実大試験機において目標値を達成するための除湿ユニットの構成について検討した。

実用化の際には、 LiCl 溶液の温度は冷水等と熱交換を行うことで 15°C 程度に下げることができる。図-6 より、各段における除湿域の液温と絶対湿度差の関係を線形とした際の近似式より、 15°C における 1, 2 段目の絶対湿度差はそれぞれ $2.19\text{g/kg}'$, $2.01\text{g/kg}'$ と予測される。さらに図-7 より、除湿域において絶対湿度差はユニット段数にほぼ比例する。よって、液温 15°C においても同様に考え、1, 2 段目で予測した絶対湿度差より、各段の絶対湿度差は液温 15°C の際の段数 n [段目] と絶対湿度差 Δx [$\text{g/kg}'$] の関係式(1)で概算できる。

$$\Delta x = -0.18n + 2.37 \quad (1)$$

式(1)より各段における絶対湿度差を予測すると、その合計は 9 段目までで $13.23\text{g/kg}'$ となる。ここで、面風速 0.5m/s から 0.66m/s にした際の性能低下率は図-3 に示す関係から、面風速の逆数に比例し、約 0.75 であると予測される。よって、ユニット 9 段、面風速 0.66m/s 、液温 15°C における絶対湿度差は $9.92\text{g/kg}'$ 程度になると予測できる。また、液温を 15°C まで下げた際、上流のユニットでは露点温度に達し、結露が生じる。これによる除湿効果も加味し、9 段の除湿ユニットを実装することによって目標値を達成できる可能性が確認された。

ただし、この考察は液温 15°C の条件が理想的に除湿に寄与することを前提としている。本研究において、 LiCl 溶液による除湿・再生挙動を検証するという観点から、結露を伴う液温 15°C における実験は行っておらず、実際に液温を下げた際の除湿・再生挙動は今後の検討である。また、実用化をより確実なものとするため、より透湿性の高い中空糸膜、除湿ユニット内の中空糸膜配置、 LiCl 溶液濃度等の検討を進める。

4. まとめと今後の展望

以下に本研究における成果をまとめる。

- 1) 実大機への導入を想定した除湿ユニットで、単体及び多段の除湿・再生挙動を確認する実験を行った。
- 2) 本実験により、実大機において目標絶対湿度差 $10\text{g/kg}'$ を達成できる可能性を確認した。

本研究から、密閉型の湿式除湿ユニットを多段構成で用いることで、目標とする除湿性能 $10\text{g/kg}'$ の達成が示唆された一方、今後、検討すべきパラメータや検証すべき点も残されている。

- ① より高透湿な中空糸膜の検討：性能向上と、必要段数減少による装置サイズ小型化の追求
- ② 除湿ユニット内の中空糸膜配置：除湿性能と空気抵抗の両面に配慮した高密化によるユニット単体性能の向上と装置サイズの小型化
- ③ LiCl 溶液濃度・温度の検討：再生も含めた熱ロス等に配慮した総エネルギー効率の検討
- ④ 直列多段のすだれ状除湿ユニットによる実験室実験
- ⑤ 直列多段のすだれ状除湿ユニットを実装した実大機による実証実験

上記を中心とした検討を進めることにより、中空糸膜を用いた密閉型湿式デシカント空調システムの実用化及び、マルチ化する場合の条件検討等を段階的に進める。

謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の助成事業 (JPNP21005) の結果得られたものです。

参考文献

- 1) 伊勢司朗: 中空糸膜式液体デシカント空調システムの開発 - 実大機による実証実験及び実験・解析によるユニット形状の検討, 令和 2 年度東北大学工学研究科修士学位論文, 2021.2
- 2) 斎藤淳: 密閉型湿式デシカント空調における中空糸膜を介した透湿挙動と除湿性能に関する研究, 令和 3 年度東北大学工学研究科修士学位論文, 2022.2

A-7

原発事故被災地での浸透性地表面の非破壊的調査による Cs-137 深度分布推定手法の検討

○小室幹（東北大学）， 大槻謙太郎（東北大学）， 小林光（東北大学）

Study on Estimation Method of Cs-137 Depth Distribution by Nondestructive Investigation of Permeable Ground Surface in the Area Affected by the Nuclear Power Plant Accident
Komuro Kan(Tohoku University), Kobayashi Hikaru(Tohoku University), Otsuki Kentaro(Tohoku University)

キーワード：放射性セシウム， 深度分布， 浸透性地表面， ガンマ線， ベータ線， 放射特性

はじめに

2011年3月に発生した福島第一原子力発電所事故による避難指示はその多くが解除され、住民帰還が進められている。しかし、原発事故由来のγ線に対する建築学的対策は未だ明確ではない。その対策の検討には、建築周辺に残存する放射性物質とそれに起因する放射線環境を把握する必要がある。これまでの研究では齋藤ら¹⁾をはじめとして原発事故被災地の土壌が多く調査されている。人工被覆面については、吉村ら²⁾がアスファルトのCs-137の深度分布を調査しているほか、東北大学の須藤³⁾らがコンクリート、不透水性・透水性アスファルトを対象としてCs-137深度分布の調査を行っている。これらの研究では現地で採取したサンプルを深度毎に分け、ゲルマニウム半導体検出器で分析し、精密な深度分布を明らかにしている。このような調査は多大な労力や時間がかかるため簡易化が望まれるが、その手法は未確立である。また、一連の研究から土壌・コンクリート・不透水性アスファルトではCs-137が指数関数的に減衰することが明らかになったが、透水性アスファルトで表層1cm程度までの測定となっており、さらに深部の領域の調査が必要となっている。

以上から、本研究では①透水性アスファルトの詳細な深度分布を明らかにした上で、②切削を要しない非破壊的調査による、土壌、透水性アスファルトに代表される浸透性地表面の深度分布の予測手法を検討することを目的とする。

1. 人工被覆面のCs-137深度分布の再測定

筆者らの一連の研究において、須藤ら³⁾は福島県大熊町の旧・現避難指示区域内で採取した人工被覆面のコア抜き試料を用いて、Cs-137の深度分布調査を行った。現地でサンプリングしたコアを地表面から0.5mmまたは1mmの深度別に旋削し、その後、採取検体をゲルマニウム半導体検出器で測定し、Cs-137の汚染濃度を分析した。同研究では数多くの試料を分析しているが、外れ値となる試料も散見されたため、本研究にて、

これらの再測定を行った。図-1に再測定の結果を含む地表面種別ごとのCs-137濃度分布を示す(縦軸：重量深度[g/cm²]、横軸：Cs-137濃度[Bq/g])。コンクリート、不透水性アスファルトでは指数関数的な分布に、透水性アスファルトではS字型の分布を示し、複数の試料は揃った傾向を示した。

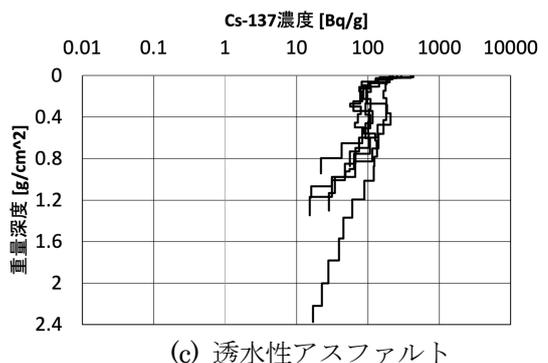
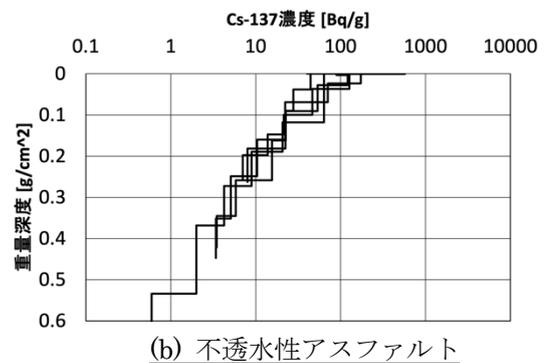
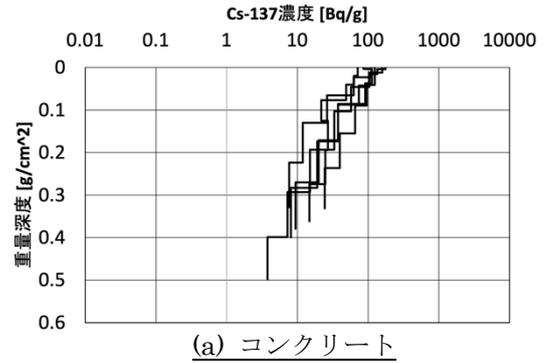


図-1 Cs-137深度分布

2. 人工被覆面の Cs-137 濃度ロングテール測定

これまでの調査によって人工被覆面の放射能深度分布は極めて浅いことが示された。透水性アスファルトにおいても、多くは地表付近に留まる。そのため、透水性アスファルトにおける Cs-137 深度分布測定は表層 1cm 程度にとどまったが、同時により深い領域まで浸透していることも示された。そこで、本研究ではより詳細な深度分布の把握のため、須藤³⁾らが分析した透水性アスファルト試料について、追加旋削及び測定を行った。以降、この追加測定をロングテール測定と称す。また、コンクリート、不透水性アスファルトの一部試料についてもロングテール測定を行った。

2.1. 測定結果

測定結果を図-2 に示す。コンクリートは指数関数で近似可能であるが、不透水性アスファルトは、若干傾向を異にしている。透水性アスファルトは地中にピークを持つ S 字型分布を示し、ロングテール部分は地表の数十分の一ではあるが、さらに深部に達していることが伺われる。

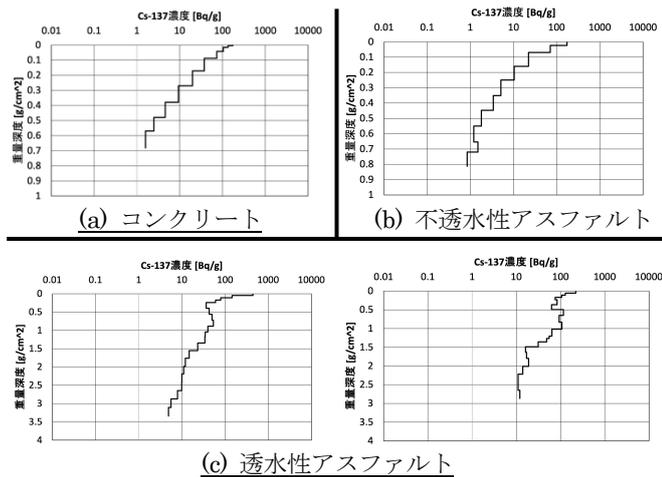


図-2 各種人工被覆面のロングテール試料測定結果

2.2 Cs-137 深度分布に関する考察

コンクリートは指数関数で表現可能と考えられることから、ごく浅い地表付近の領域に拡散的に Cs-137 が浸透したと考えられる。これに対し、不透水性アスファルトはそれと異なるメカニズムでコンクリートとよく似た指数関数的な深度分布を形成していること推察される。主にアスファルト表面への付着と、アスファルト表面形状に起因する深度毎の面積によって深度分布が形成されている可能性がある。また、透水性アスファルトは、いずれも重量深度 0.5g/cm² 付近で Cs-137 濃度の上昇が始まり、1.5g/cm² 付近で再度減衰に転じるピークが存在している。この事は、透水性アスファルトにおける移流による深度方向への Cs-137 の輸送を示唆すると考えられる。

3. 非破壊調査による浸透性地表面の Cs-137 深度分布の予測

3.1. 非破壊調査の意義

地表面の Cs-137 は、一連の研究や本研究の分析によってコンクリート、不透水性アスファルトの場合、発災後 10 年以上を経過してもごく浅い層までに留まり、大きく分布が変化しないものと結論できる。一方で浸透性地表面は時間経過とともに Cs-137 の地中移行が進み深度分布が変化する。Cs-137 深度分布は地表に放射する放射線の強度と方向に作用するため、簡易な非破壊調査で地中の状況を調査することが望まれる。本研究では GM 管サーベイメータと鉛コリメータ、アクリル遮蔽板を用いた深度分布の非破壊調査法(写真-1)を検討した。



写真-1 非破壊的調査の様子

3.2. β線およびγ線の検出

本研究における Cs-137 深度分布予測では、β線およびγ線の透過力の差を利用することをコンセプトとした。β線は透過力が低く Cs-137 が地中に浸透するほど地表面への放射量が減少する一方、γ線は透過力が高く、土壌であれば 30 mm 程度までの深度ではあまり遮蔽されないと考えられる。この透過力の違いから、これら透過性の異なる放射線の地上への放射量の比を取ることによって Cs-137 の地中への沈着状況を推定することが期待された。各線種と線量の見分けには、β線、γ線の双方を検出可能なサーベイメータと 5 mm 厚のアクリル遮蔽板を用いる。β線は 5 mm アクリル板で概ね遮蔽されるとされる一方、γ線はそのほとんどがアクリル板を透過する。この特性から、サーベイメータと地面の間にアクリル板を置いた場合のカウント数 (cpm) を主に γ線、アクリル板を置かない場合を β線 + γ線のカウント数として、(アクリル板なしあり) を β線のカウント数と仮定して線量比の推定を試みた。

3.3 土壌の実測・解析結果と考察

本研究では福島県大熊町の3地点6箇所の土壌の定を行った。その実測結果を表-1に示す。また、実測と同様の解析体系を組み、粒子・重イオン輸送計算コードPHITSによる解析を行った。この解析から、アクリル板を設置しても一定量のβ線が透過することが明らかになった。そこで解析では、サーベイメータの検出効率(β線:100%、γ線:1-2%)⁴⁾も考慮して、透過β線の影響を加味した透過放射線量と遮蔽放射線量の比、すなわち(アクリル板なし-あり)と(アクリル板あり)のカウント数を実測値と比較することとした。解析において、Cs-137の浸透を示す代表深度である重量緩衝深度β(g/cm²)をパラメータとして変化させて各ケースでの検出放射線量を計算した。図-3に計算による重量緩衝深度β(g/cm²)と、(アクリル板なし-あり)と(アクリル板あり)のカウント数比の関係グラフ、式-1にその関係式を示す。また、カウント数比の実測値を式-1に代入することで各地点での重量緩衝深度βの値を推定した。表-2に各地点の土壌のカウント数比の実測値と推定重量緩衝深度βの値を示す。

大きく外れる値を示した箇所を除く4箇所のβは、事故後5-20年でβ=10となる傾向⁵⁾と近い値となった。一方Site C-1では、実測による線量比が0に近似できるほど小さく、遮蔽放射線が検出されなかった。当箇所は落葉で埋め尽くされた土壌で、落葉による遮蔽効果が示唆される。またSite B-2では遮蔽放射線が検出されているもののその比率が極端に小さくなっている。除染済で表土が入れられていたり、土壌密度が他地点と比べて大きく、地中で遮蔽された放射線量が多くなったりしたことが一因であると現段階で推察している。今後、地点ごとの土壌の密度や当手法の妥当性の確認のために実際にコアを採取し、ゲルマニウム半導体検出器による分析が必要となる。

3.4 透水性アスファルトの実測・解析結果と考察

透水性アスファルトでは、ロングテール測定を行い詳細な深度分布を明らかにした試料について同様の解析を行った。線源としては、測定値を用いて0.5mmまたは1mmのレイヤごとにCs-137濃度[Bq/g]を与えた。解析による計算値と、以前の試料採取時に行われたサーベイメータの測定結果との比較を行った。実測結果を表-3、解析結果を表-4に示す。未除染のSiteと比べると、除染済のSiteでは実測における線量比の値が解析と大きく異なっている。除染により地表が削られたことで、アクリル板で遮蔽されやすいβ線の比が小さくなり遮蔽線量の割合が小さくなっているためと考えられる。しかし、未除染のSiteにおいてはいずれのコアも実測値と解析値に近い値となった。

また、線量比の実測値を土壌と比較すると、土壌の

表-1 土壌における実測結果

Site A-1		Site A-2	
カウント数(cpm)	カウント数比	カウント数(cpm)	カウント数比
アクリル無一有	54	42.7	0.67
アクリル有	67	63.7	
Site B-1		Site C-1	
カウント数(cpm)	カウント数比	カウント数(cpm)	カウント数比
アクリル無一有	61.7	2463.33333	0.89
アクリル有	71.3	2766.66667	

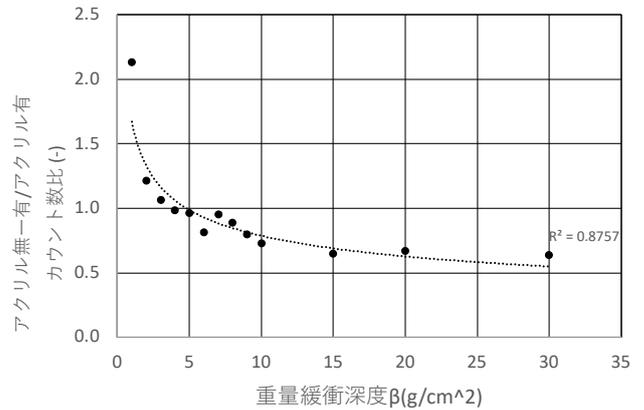


図-3 重量緩衝深度βとカウント数比の関係

$$r = 1.6723 \cdot \beta^{-0.328} \quad \text{(式-1)}$$

- r : 遮蔽放射線量/透過放射線量比(-)
- β : 重量緩衝深度(g/cm²)

表-2 カウント数比実測値と推定β

測定箇所	カウント数比 実測値(cpm)	推定重量緩衝深度β (g/cm ²)
Site A-1	0.81	9.3
Site A-2	0.67	16.2
Site B-1	0.86	7.5
Site B-2	0.35	113.1
Site C-1	0.89	6.8
Site C-2	-0.003	-

方がアクリル板で遮蔽されるβ線量の割合が小さくなる結果となった。土壌では透水性アスファルトよりも深くまでCs-137が浸透していることから、より多くのβ線が地中で遮蔽され、地表から放射されるβ線量が少なくなったためと考えられる。以上の結果より、土壌においては一定の精度で重量緩衝深度が推定され、透水性アスファルトにおいては多くのコアで実測と解析の線量比が互いに近い値となったこと

から、本研究の手法による簡易な非破壊調査が可能であると結論できる。なお、本研究における実測結果値は各ケース、30秒ごと3回の測定の前平均値で得られており、測定時間の短縮も実現している。

表-3 透水性アスファルトにおける実測結果

Site I (未除染)①		Site II (除染済)①			
カウント数(cpm)	カウント数比	カウント数(cpm)	カウント数比		
アクリル無一有	4019.7	4.92	アクリル無一有	3028.3	4.87
アクリル有	817		アクリル有	621.7	

Site I (未除染)②		Site II (除染済)②			
カウント数(cpm)	カウント数比	カウント数(cpm)	カウント数比		
アクリル無一有	3918.7	5.04	アクリル無一有	3636.7	6.46
アクリル有	778		アクリル有	563.3	

表-4 透水性アスファルトにおける解析結果

Site I (未除染)		Site II (除染済)	
試料番号	カウント数比	試料番号	カウント数比
R3-42	6.47	R4-7	9.09
R3-43	5.17		
R4-9	4.67		

3.5 β線の放射特性解析

一般的にβ線は5mmのアクリル板で遮蔽されるとされているが、PHITS解析で一定量のβ線が透過することが判明した。そこで、どのようなβ線が透過するのかを確認した。土壌において深度10cmまで、1cmごとに線源を設定した解析を行い、地表面でのβ線の放射状況を調べた。アクリル板を設置した際の解析結果を図-4（縦軸：検出領域に進入したβ線カウント数 [1/cm²/sr]）に示す。なお、Cs-137が崩壊する際に放出されるβ線は0.512MeV(94.6%)と1.174MeV(5.4%)の2種類あるが、割合の多い0.512MeVについての結果を示す。深度が大きくなるに従い検出されるβ線量は減少するものの、どのレイヤでも一定量の透過β線量が存在し、全体的傾向として地表と鉛直に近い方向で放射するβ線の割合が大きいたことが明らかとなった。なお、この透過β線の発生は、β線が自身の運動エネルギーの一部として放出する制動X線の影響が一因していると推察される。

4. まとめ・今後の展望

実測と解析によって浸透性地面におけるCs-137深度分布を推定する手法を検討し、本研究で提示した手法が実用可能であることを確認した。今後は土壌のコア採取と測定による詳細な分析を通じて更なる精度向上を検討する。また、本研究の手法を、γ線遮蔽体を利用した深度分布調査法に発展させる。

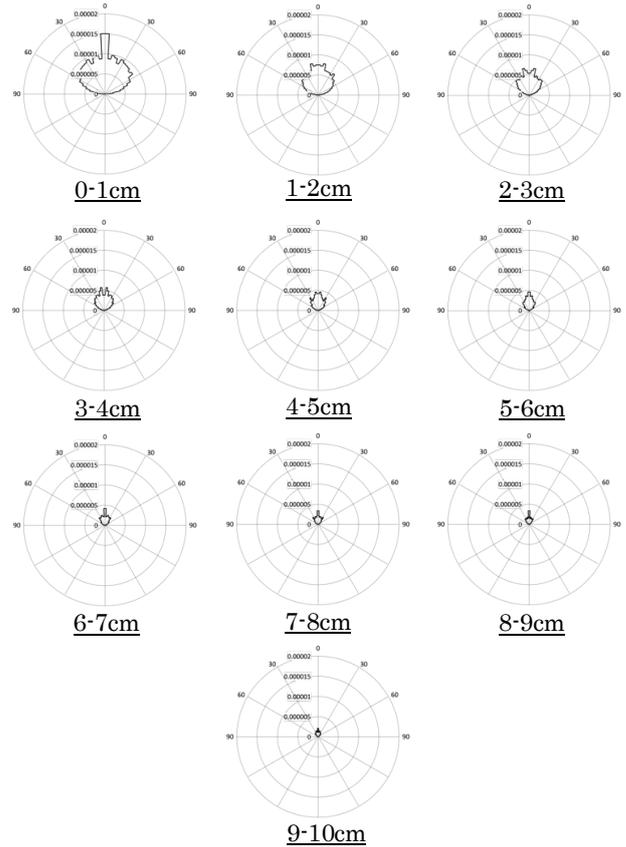


図-4 5mmアクリル板設置時0.512MeV β線の放射特性

謝辞

本研究はJSPS科研費Bの助成を受け実施しました。ここに記して謝意を示します。

参考文献

- 1) JAEA：放射性物質の分布状況調査、第2編 (<https://fukushima.jaea.go.jp/fukushima/result/entry05.html>、参照日:2023/12/11)
- 2) K.Yoshimura et al. : Vertical and horizontal distributions of ¹³⁷Cs on paved surfaces affected by the Fukushima Dai-ichi Nuclear Power Plant accident, Journal of Environmental Radioactivity, 2020
- 3) 須藤慎仁：原発事故被災地における人工被覆面のCs-137深度分布調査及び屋内の空間γ線量率の影響評価、東北大学修士学位論文、2022
- 4) 木村毅一、石割隆太郎：放射線の測定、1956年
- 5) International Commission on Radiation Units and Measurements : Gamma-ray spectrometry in the environment, ICRU Report 53, 1994.
- 6) 株式会社福島リカバリーソリューションズ：FRSレポート⑥汚染はこの後どうなるの (<http://frs.jpn.com/blog>、参照日:2024/1/11)
- 7) KEKつくば放射線管理室：ベータ線の作用 (<https://rcwww.kek.jp/kurasi/page-26.pdf>、参照日:2024/2/8)

A-8

福島県新地町における地産地消型エネルギーマネジメントのシナリオ評価

○平野 勇二郎 (国立環境研究所), 五味 馨 (国立環境研究所福島拠点),

小端 拓郎 (東北大学), 吉田 友紀子 (茨城大学)

Scenario evaluation of local energy management in Shinchi Town, Fukushima Prefecture

Hirano Yujiro (National Institute for Environmental Studies), Gomi Kei (National Institute for Environmental Studies), Kobashi Takuro (Tohoku University), Yoshida Yukiko (Ibaraki University)

キーワード：地域エネルギー利活用，地域エネルギーマネジメント，環境配慮型復興まちづくり

はじめに

脱炭素地域づくりの実現に向けて、地方自治体や種々の地域ステークホルダーによる地産地消型エネルギーシステムの導入・普及が注目されている。著者らは福島県新地町の東日本大震災後の復興過程において、新地町と国立環境研究所の連携協定に基づき、環境に配慮した復興まちづくりを進めてきた。本稿では、JR 新地駅周辺の地域エネルギー事業における地域エネルギーマネジメントの評価事例を紹介する。

1. 新地駅周辺地域における電熱併給型地域エネルギー供給

新地町において中核的な復興事業の一環として、甚大な津波被害を受けた JR 新地駅周辺地域における地域エネルギー供給が開始された。この事業の運営主体として 2018 年に新地スマートエナジー株式会社が設立され、駅周辺の各施設に電力・熱を供給する新地エネルギーセンターが建設された。新地エネルギーセンターは地域のエネルギー

供給拠点であると同時に地域防災拠点としての機能も有しており、系統電力の大規模停電時にも一定量の防災対応用の電力供給を維持することが可能である。

現在、このエネルギー供給エリアにおいて PV 発電設備が設置されている新地エネルギーセンター、交流センター、複合施設の 3 拠点の PV 発電・消費電力のデータに基づきエネルギー地産地消の関する分析を進めている (図-1)。

2. 電気自動車 (EV) とエネルギー事業者連携シナリオ

地産地消型エネルギーとして PV を有効活用することを目的として、地域モビリティの脱炭素化に必要な EV の導入による効果の分析した結果を紹介する。ここでは、新地町のデマンド型地域公共交通 (新地町のりあいタクシー) に EV を導入し、新地エネルギーセンター周辺に導入された太陽光発電余剰の解消から、地域モビリティにおける再生可能エネルギー活用を最大化させる EV の充電計画について検討した。地域公共交通の需要量と、PV 発電量、地域エネルギー供給エリアのエネルギー需給は実データを用いた。

図-2 に新地駅前の文化交流センターにおいて PV 発電余剰が発生するケースを想定し、地域公共交通の運行状況それぞれを踏まえた最適な充電計画を検討した例を示す。この図において薄い赤の網掛けはピーク発生、緑の網掛けは充電における再エネ比率が比較的高いことを示す (表-1 も同様)。このケースにおける PV 発電電力ピークは 11 時から 13 時の 26kWh であり、消費電力ピークは 10 時の 14kWh となった。また、これらの差から算出される PV 発電余剰量は 13 時が最大と



図-1 PV 発電設備を導入した 3 拠点

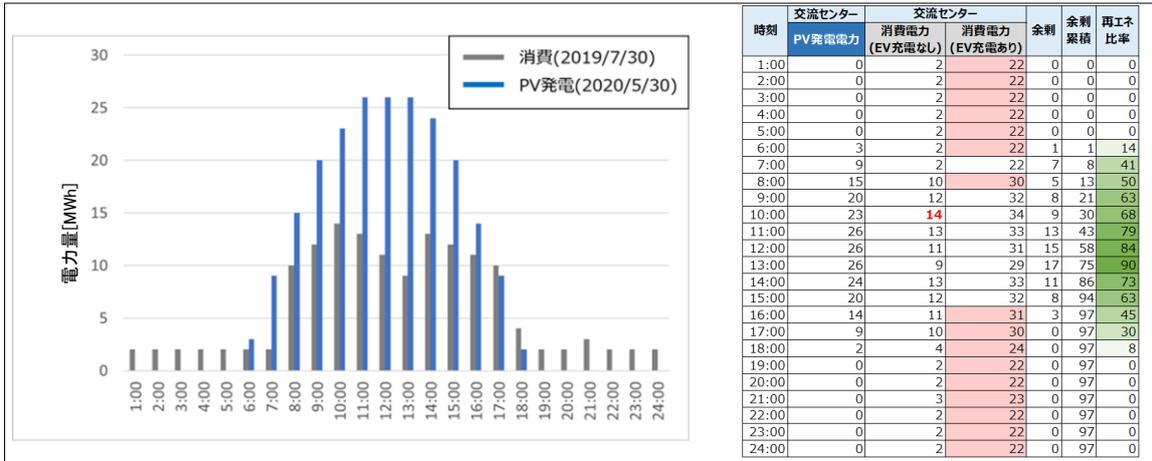


図-2 交流センターにおける PV 発電余剰発生ケース

表-1 PV 設備と蓄電池を増設した際の発電余剰

時刻	交流センター		交流センター			余剰		余剰累積		再エネ比率	
	PV発電電力 (30kW)	PV発電電力 (50kW)	消費電力 (EV充電なし)	消費電力 (EV充電あり)	消費電力 (EV充電あり,PV50kW)	PV30kW	PV50kW	PV30kW	PV50kW	PV30kW	PV50kW
1:00	0	0	2	22	22	0	0	0	0	0	0
2:00	0	0	2	22	22	0	0	0	0	0	0
3:00	0	0	2	22	22	0	0	0	0	0	0
4:00	0	0	2	22	22	0	0	0	0	0	0
5:00	0	0	2	22	22	0	0	0	0	0	0
6:00	3	5	2	22	17	1	3	1	3	14	23
7:00	9	15	2	22	7	7	13	8	16	41	68
8:00	15	25	10	30	5	5	15	13	31	50	83
9:00	20	33	12	32	-1	8	21	21	52	63	104
10:00	23	38	14	34	-4	9	24	30	77	68	113
11:00	26	43	13	33	-10	13	30	43	107	79	131
12:00	26	43	11	31	-12	15	32	58	139	84	140
13:00	26	43	9	29	-14	17	34	75	174	90	149
14:00	24	40	13	33	-7	11	27	86	201	73	121
15:00	20	33	12	32	-1	8	21	94	222	63	104
16:00	14	23	11	31	8	3	12	97	234	45	75
17:00	9	15	10	30	15	0	5	97	239	30	50
18:00	2	3	4	24	21	0	0	97	239	8	14
19:00	0	0	2	22	22	0	0	97	239	0	0
20:00	0	0	2	22	22	0	0	97	239	0	0
21:00	0	0	3	23	23	0	0	97	239	0	0
22:00	0	0	2	22	22	0	0	97	239	0	0
23:00	0	0	2	22	22	0	0	97	239	0	0
24:00	0	0	2	22	22	0	0	97	239	0	0

なり 17kWh で、余剰累積よりこのケースでは 97kWh/日の PV 発電電力すなわち再エネの活用余地があるという結果となった。

同様に検討し、PV 設備と蓄電池を増設した場合の発電余剰を表-1 に示す。これらの検討から、現状 30kW の PV 設備が導入されている交流センターで EV 充電が可能な時間帯は、のりあいタクシーの稼働時間を踏まえると 8時から 16時台となる。一方、PV 設備をエネルギーセンター設置と同規模の 50kW に増設した場合は、PV 発電余剰は 239kWh/日となり再エネ比率が高い時間帯が増加するという結果を得た。ただし現在は大まかなシナリオ想定による評価であるため、今後はこの結果を検証するとともに、対象建物や地域条件が異なる他地域において適用可能な汎用手法の確立を目指して検討を進めている。

謝辞

本研究は、文部科学省 大学の力を結集した、地域の脱炭素化加速のための基盤研究開発 JPJ010039、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) 課題番号 23H01546 の助成を受けたものです。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 平野勇二郎, 磯崎恭一郎, 安達健一, 藤田壮: 脱炭素まちづくりの実現に向けた地産地消型エネルギー事業の社会実装研究(第1報) 地域エネルギー計画・評価システムの開発. 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, (2022), 393-396.

A-9

間取り変更を含む部分断熱改修による戸建住宅の温熱環境改善効果に関する事例研究

○加藤 丈一朗 (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 Indoor Thermal Improvement Effect After Partial Thermally Retrofit in a Detached house with a Modified Floor Plan

Kato Joichiro (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University)
Takeuchi Jin-ya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：断熱改修, 温熱環境, 間取り変更

はじめに

2050年のカーボンニュートラル実現に向け、住宅・建築物の省エネルギー化が求められており、有効な対策の1つに断熱改修が挙げられる。新築と同様に、既存住宅においても全体改修が望ましいが、費用面や工期中の生活面等の課題¹⁾があり、普及が進んでいない。そのため、既存住宅の改修方法として比較的費用が抑えられ、生活面での負担が少ない部分改修が適していると考えられる。

また、田中ら²⁾は、住宅改修時の間取り変更が、脱衣所・浴室等の室温上昇、暖房室との室温差の低減に寄与することを示唆している。改修範囲が小規模であっても、間取りを工夫することにより改修効果を高めることができると考えられる。

表-1に対象となるSH邸の概要、図-1に1, 2階平面図を示す。本事例は、小規模な断熱改修に間取りの変更を組み合わせることで、より効果的な温熱環境の改善を図ろうとしている。既存住宅の改修における費用面等の課題を解消していくにあたり、本事例の改修効果を評価することは意義深いと考えられる。

本研究は、外皮性能と室内温熱環境、エネルギー消費量の側面から、間取り変更を伴う部分断熱改修による戸建住宅の温熱環境改善効果を評価する。

1. 外皮性能の評価

1.1 概要

平面図・立面図を用いて各部材の面積、厚み等を調査した後、国土交通省が提供している計算プログラム^{3), 4)}を使用して、各部位の熱貫流率と外皮熱損失量、外皮平均熱貫流率を算定した。

1.2 各部位の熱貫流率

表としては示していないが、各部位の熱貫流率

について、外皮では、無断熱部分が $3.85[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ であるのに対し、断熱部では $0.45[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ と性能が向上した。床は $2.01[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ から $0.76[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ 、天井は $3.33[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ から $0.83[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ となり、いずれも改修により部位としての断熱性能が向上していた。

1.3 外皮熱損失量・外皮平均熱貫流率

図-2にSH邸における外皮熱損失量と外皮平均熱貫流率(U_A 値)の算定結果を示す。住宅全体で見ると、外皮熱損失量が最も多い部位は壁であり、続いて天井、開口部、床の順であった。総量は $1241.9[\text{W}/\text{K}]$ 、 U_A 値は $2.90[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ となり、山形県の基準である $0.75[\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$ を満たしていない。

表-1 SH邸の住宅概要

住宅名称	SH邸		
所在地	山形県鶴岡市		
構造	木造2階建て		
住宅形式	戸建住宅		
家族構成	高齢夫婦		
改修範囲	1階		
概要項目	改修前	改修後	
竣工年	1967年	2022年	
断熱材	天井・屋根	なし	XPS 30 mm (天井)
	壁	なし	HGW 16K 100 mm
	床・基礎	なし	XPS 30 mm (床)
窓	サッシ	アルミ	樹脂、アルミ
	ガラス	単板	複層、単板
暖房	設備 (部屋)	サロンヒーター (キッチン) ファンヒーター (居間、寝室)	エアコン (居間、寝室)
	形態	部分暖房	部分暖房
給湯設備	ガス給湯器	ガス給湯器	
熱源	給湯	都市ガス	都市ガス
	暖房	灯油	電気
	その他	都市ガス (調理)	都市ガス、電気 (調理)

※HGW：高性能グラスウール、XPS：押出法ポリスチレンフォーム

改修範囲は1階の一部にとどまっており、1階和室と2階全体の断熱性能が改善されなかったことが要因であると考えられる。改修部の熱損失割合を見ると、壁は総量の34.4%、開口部は21.8%

となっており、住宅全体の熱損失量に対して少なく抑えられていた。LDKの場合も同様の傾向が見られた。改修部で2.01[W/m²K]、LDKで2.24[W/m²K]と住宅全体と比較すると改善が見られたが、基準は満たしていなかった。

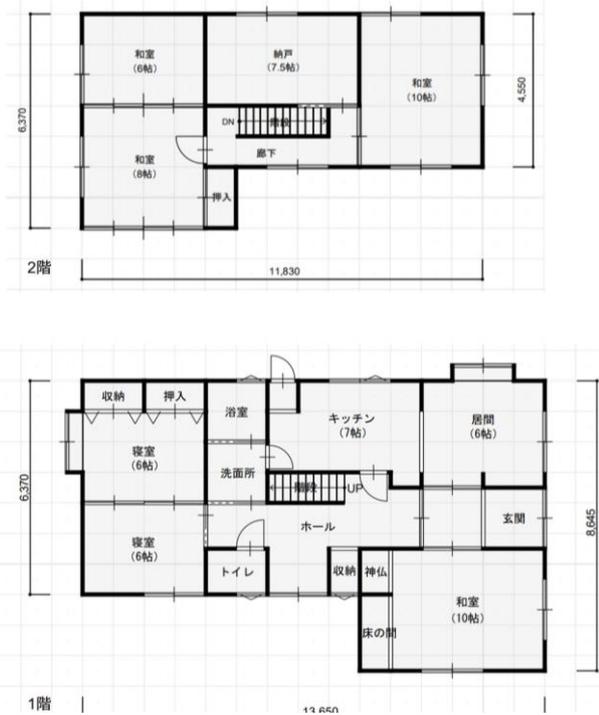


図-1 SH邸の1, 2階平面図

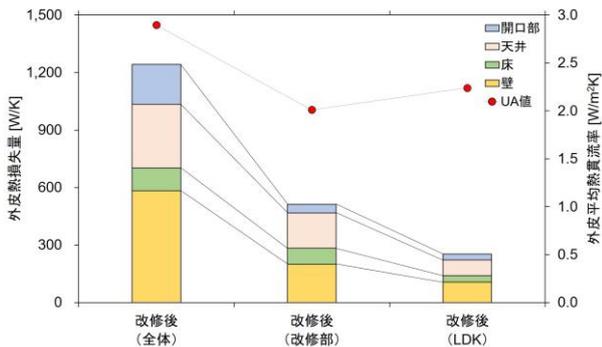


図-2 SH邸の外皮熱損失量・外皮平均熱貫流率

2. 室内温熱環境の評価

2.1 冬期の温熱環境

図-3に冬期1週間の時刻別温度変動を示す。居間と脱衣所を隣接させる間取り変更により、暖房室である居間の室温に脱衣所の室温が追従する傾向が見られた。明け方の居間室温は10℃程度であ

り、暖房停止後の室温低下は小さく抑えられていた。居間温度とグローブ温度に差は見られなかったが、上下温度差は最大で約6℃生じていた。また、階段に仕切り板が設置されている影響により、1階ホールは2階廊下より全ての時間帯で温度が高く保たれており、最大で約5℃の差が見られた。2階への熱流出を防ぐ上で有効な手法の1つであると考えられる。

2.2 室内温熱環境のグレード評価

表-2に吉野のグレード評価表⁵⁾に基づく、SH邸の室内温熱環境のグレード評価結果を示す。吉野ら⁵⁾は、東北地方の住宅における温熱環境の実測結果から、暖房設備や断熱・気密性能等の相違が室温に及ぼす影響を分析した。分析結果を基に住宅の室内温熱環境の指標として6項目を選定し、達成された温度に応じたグレードを設けた。グレードは5段階になっており、1が最も低く、5が最も高い評価値となる。居間団らん時(19:00~22:00)の上下温度差と寝室温度は評価値が2と低く、脱衣所は評価値が最高の5となった。冬期の温度推移と同様の傾向が見られ、断熱改修における間取り変更の有効性が確認された。また、グレード平均値は3.0となり、全体で見ると平均的な温熱環境を形成していることが確認された。

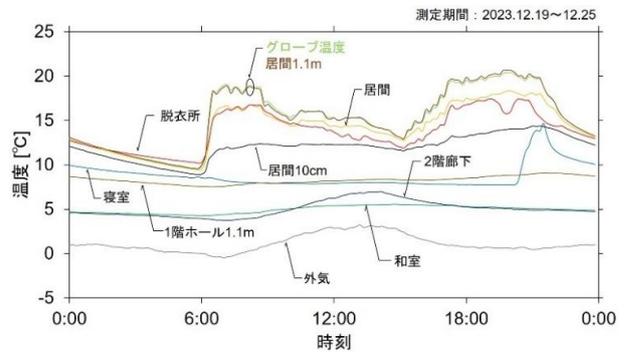


図-3 冬期1週間の時刻別平均温度推移

表-2 SH邸のグレード評価結果

グレード		1	2	3	4	5	SH邸
居間温度	床上1.1mの温度	12	15	18	21	24	3 (19.7℃)
	上下温度差*1	10	8	6	3	0	2 (6.6℃)
	グローブ温度差*2	-3	-2	-1	0	1	3 (-0.2℃)
	明け方の最低温度*3	2	6	10	14	18	3 (11.1℃)
寝室の温度(団らん時)*4		4	8	12	16	20	2 (11.3℃)
トイレ・廊下・脱衣所の温度(団らん時)*4		2	5	8	11	14	5 (18.2℃)
グレード平均値							3.0

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

3. エネルギー消費量の評価

3.1 算出方法

エネルギー消費量を算出するにあたり、入手した電気・灯油・都市ガスの使用量をエネルギー消費量に換算し、暖房・給湯・その他（冷房、照明、調理等）に分類した。

3.2 1次エネルギー消費量の算出結果

図-4に改修前後の用途別1次エネルギー消費量の推移を示す。暖房用のエネルギー消費量は、各月とも削減されており、3月は最大の53.1%であった。暖房器具の熱源が熱量の大きい灯油から電気に変更されたことが主な要因であると考えられる。給湯用については、増加している月も確認されたが、削減月においては1.2~30%の削減が見られた。その他に関しては、各月において改修前より2~14%程度削減されていた。

図-5に改修前後の1~7月の1次エネルギー消費量の積算値を示す。積算期間において、各用途の1次エネルギー消費量は削減されており、割合は暖房用で28.4%、給湯用で13.1%、その他で10.4%であった。合計でも、18.9%の削減となっており、小規模な断熱改修であっても、エネルギー消費量を抑えた生活が実現できていた。

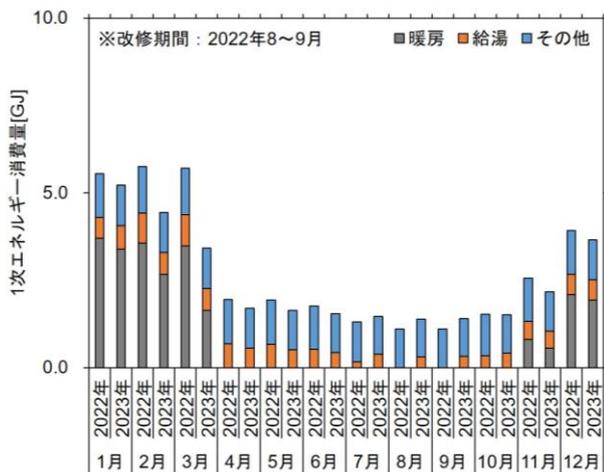


図-4 用途別1次エネルギー消費量の推移

4. まとめ

本研究では、外皮性能と室内温熱環境、エネルギー消費量の側面から、対象住宅における温熱環境改善効果の評価した。

外皮性能の評価では、各部位の熱貫流率と外皮

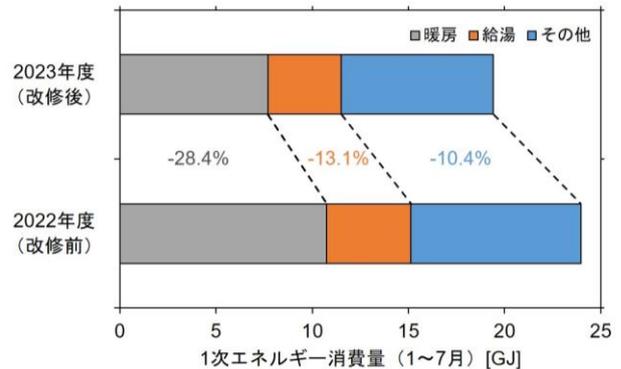


図-5 改修前後の1次エネルギー消費量の変化

熱損失量、外皮平均熱貫流率の算定を通じて、改修部位の断熱性能は向上したことが確認された。

室内温熱環境の評価では、温度推移やグレード評価を通じて、暖房室に隣接させる間取り変更の有効性や居間の上下温度差・寝室室温に課題があることが確認された。

エネルギー消費量の評価では、1次エネルギー消費量の算出を通じて、暖房用のエネルギー消費量が大きく削減され、積算値で見ても、各用途において削減効果が見られることが確認された。

今後は、改修範囲の影響を検証していくにあたり、実測とシミュレーションを組み合わせ、より詳細な住宅性能の評価が求められる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、有限会社親和創建ならびに対象住宅の居住者の皆様に多大なるご理解とご協力を賜りました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。なお、本研究の実施に対しては、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認（承認番号：県大地研-467）を受けている。

参考文献

- 1) 国土交通省:2050年カーボンニュートラルに向けた住宅業界の取り組み, 2021年4月 https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/shoene_shinene/sho_energy/pdf/032_05_00.pdf
- 2) 西野文香, 田中稲子, 山田恭司, 松本吉彦, 藤岡泰寛:住宅改修時の間取り変更によるヒートショックリスクの低減に関する基礎的研究 モデル解析による脱衣行為に関する非居室室温の検討, 日

本建築学会技術報告集, 第 28 巻, 第 70 号,
pp.1325-1330, 2022 年 10 月

- 3) 住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム, 住宅・住戸の外皮性能 計算条件入力シート Ver.3.5.0 https://house.lowenergy.jp/static/documents/EnvelopeInputSheet_Ver.3.5.0_20231002.xlsx
- 4) 住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム, 住宅・住戸の外皮性能の計算プログラム Ver.3.5.0 <https://envelope.app.lowenergy.jp/>
- 5) 長谷川房雄, 吉野博: 東北地方の各種住宅における冬期の室温に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集第 371 巻, pp.18-26, 1987 年

A-10

田園型小規模 ZEB オフィスの執務環境における 熱的快適性の評価と温熱環境適応の実態

○河原大樹 (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)

Evaluation of behavioral adaptation for thermal comfort
in small ZEB office located in a rural area

Kawara Hiroki (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jin-ya (Akita Prefectural University)

キーワード：熱的快適性, 温熱環境適応, ZEB

はじめに

近年、執務環境の形成に関する各種評価制度に注目が集まっている。具体的には、2050年カーボンニュートラルの実現に向けて建築物の省エネルギー化を図る ZEB (Net Zero Energy Building) や、医療費の急増やメンタルヘルスの問題、オフィスにおける知的生産性のニーズなどの各種社会背景を受けて米国で開始された WELL Building Standard (通称: WELL 認証) が挙げられる。さらに、国内においても企業の働き方改革や健康経営の社会的ニーズを受けて CASBEE- ウェルネスオフィス認証制度がスタートした。一般的に、これらの評価を得て、健康・快適空間を維持し続けるためには高い環境性能や設備運用に伴うエネルギー使用が必要とされている¹⁾。

また、オフィスの環境やそこでの働き方に対する考え方が変わること、従来からの均一な熱環境を目標とする設計手法に反して、不均一な熱環境を活かすコンセプトが主流になりつつある。具体的には、ABW (Activity Based Working) の広がりやパーソナル空調システムの普及など、執務者自身が熱環境を調整できる幅が拡大している²⁾。さらに、不快な環境に対して自ら快適性を得ようとする能動的な「環境適応」³⁾に期待し、オフィスにおいても自然換気を利用して外気温に適応することで、冷暖房に費やされる過剰なエネルギーの抑制に繋がると考えられている。そこで、環境適応の概念を考慮した上で、適切な執務環境を確保し、必要最低限の環境性能や設備で ZEB を実現する手法を模索することは意義深い。

本研究では、Nearly ZEB を達成するオフィスを定量的・定性的に評価し、設備に依存せずとも快適な空間を形成する執務環境の在り方を追究する。

表-1 建物概要

所在地	秋田県仙北郡美郷町	南側外観
用途	事務所	
建築面積	143.79m ²	
延べ面積	118.87m ²	
構造	木造平屋建て	
外皮平均熱貫流率 (U _A 値)	0.27W/(m ² ・K)	
気密性能 (C値)	1.2cm ² /m ²	

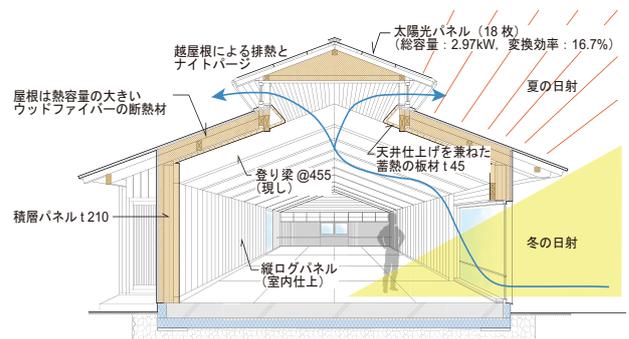


図-1 断面パース

1. 建物概要とエネルギー評価

1.1 建物概要

表-1 に建物概要を示す。対象は秋田県仙北郡美郷町に計画されている木造平屋建ての小規模なオフィスである。2021年4月に竣工し、用途は事務所として使用されている。敷地周辺は水田が多く、民家は点在しているのみであるため、冬期の日射や夏期の通風を遮るものが少なく、自然エネルギーのポテンシャルを十分に活かすことができる。暖房熱源に薪、冷房に地下水を利用しており、積極的な空調設備の使用は無い。冬期は主に薪ストーブで得られた温水を土間床に埋設されたパイプに循環させる床暖房とし、夏期は自然通風や扇風機の使用などによる環境調整行動により快適性を得ることを意図している。

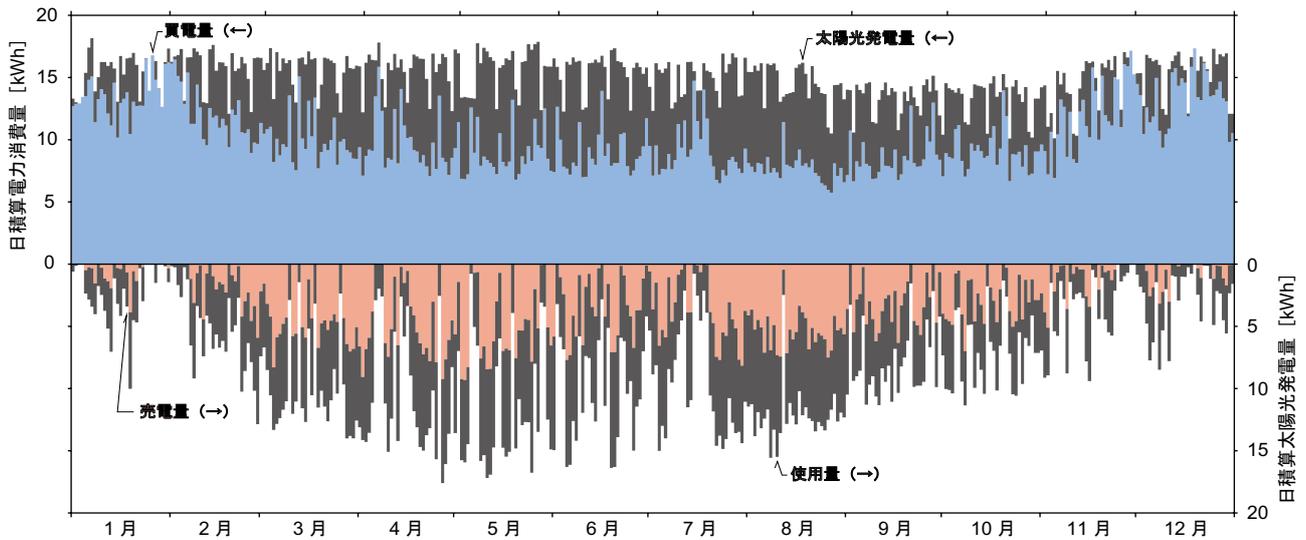


図-2 日積算電力消費量・太陽光発電量 (2023年)

図-1に断面パースを示す。ほぼ真南に正対した東西方向に長い平面であり、南面に合計16.35m²の開口部を設けることで冬期のダイレクトゲインに期待している。ガラス部分にはトリプルガラス (Low-E ガラス, アルゴンガス入り, 熱貫流率 $U=0.60\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) が採用されている。切妻屋根とすることで深い軒の出が日射遮蔽に寄与している。また、夏期におけるナイトパーズを越屋根と床面付近の換気窓により計画している。これらの効果を最大限活かすために、455ピッチで架けられた現しの登り梁や315mmの厚みを持つ製材多層パネル (縦ログパネル+積層パネル) を使用し、木材による断熱性、調湿性に期待している。南側越屋根面には単結晶シリコン型太陽光発電パネルを18枚 (総容量: 2.97kW, 変換効率: 16.7%) 搭載することで、創エネルギーを図る。

1.2 年間電力消費量と太陽光発電量の特徴

図-2に2023年の年間の日積算電力消費量・太陽光発電量の実績値を示す。電力消費量は空調用が含まれていないため、一年を通して約15kWhで推移していた。太陽光発電量は、季節的な変化があり、5-8月は消費量の約半分を占め、1-2,12月は夏期の半分以下まで減少していた。積雪や日射量の減少が原因と考えられ、冬期の太陽光発電による創エネルギーは十分に期待できない。しかし、薪ストーブで作られた温水を床埋設のパイプに循環させるためのポンプ駆動分の消費量が一日あたり2kWhであり、室内環境の変動を抑えた建物性能も含めて、一次エネルギー消費量の78%削減 (省エネルギー55%, 創エネルギー23%) を実現し、Nearly ZEBを達成できたと考えられる。

2. 室内温熱環境と熱的快適性の評価

2.1 調査概要

調査期間は2022年6月～2023年6月である。データロガーなどを用いた室内外の環境測定に加えて、日記形式の環境記録 (温度感, 湿度感に関する申告, 窓開けや薪ストーブの運転の頻度, コメント) を執務者に依頼した。また、週に一度執務者6名 (男性3名, 女性3名) に対してアンケート調査を実施した。基本情報として、氏名や性別, 年齢, 体質 (暑がり, 寒がり, 汗っかき, 冷え性, その他) に関する個人情報を回答していただいた。アンケートでは回答時の寒暑感や仕事のしやすさなどの心理的な主観申告に加えて、回答時の着衣量や回答前までに行った環境調整行動などを尋ねた。なお、執務者が在室している場合にのみ回答を得ているため、回答数には個人差がある。

2.2 冬期における室内環境の特徴

図-3に冬期 (12-3月) の代表期間 (2023年2月7日～2月9日) における温度・鉛直面全日射量 (南面) の変動を示す。8日の日射量は最大1,067W/m²で、事務所の室温は18.3℃ (7:00) から23.5℃ (14:20) まで上昇していた。日射によるダイレクトゲインが室内環境の形成に寄与していたと考えられる。

図-4に同じ期間における相対湿度・絶対湿度の変動を示す。変動は小さく、相対湿度は全室で約40%前後で推移していた。期間中に加湿器の使用はなく、8日の13時に窓開け換気が行われたが変動が小さいことから、木材の使用を通じて吸放湿作用による調湿効果も発揮されたものと考えられる。

2.3 熱的快適性の評価と温熱環境適応の実態

アンケート実施日(2月8日)の寒暑感申告では、当時勤務していた5人全員が熱的中立を申告していたが、実測値に基づくPMVの評価では、4人が快適範囲(PMV=±0.5)から逸脱する結果となった。環境調整行動は、上着を脱いで暖かいものを飲食する者、ひざ掛けを使用して暖かいものを飲食する者など、それぞれの適応の様子が見られた。温熱6要素以外の要素が影響し、少ない着衣でも快適と判断したことで評価値との乖離が生じたと考えられる。

2.4 適応モデルの検討

PMVの結果を踏まえ、本研究ではGriffith法⁴⁾による快適温度^{注1)}と移動平均外気温度より、適応モデルを検討した。この快適温度には、執務者による行動的適応(着衣・気流の調節など)および心理的適応(環境への認識の仕方の調整)の効果が含まれており、温熱環境に適応した結果としての快適温度条件が統計的に導かれている。図-5に結果を示す。分析のため、仕事のしやすさ^{注2)}に関するアンケート結果を踏まえ、「仕事しにくい群(尺度:1-3)」と「仕事しやすい群(尺度:4-6)」に分けて加筆している。図より、仕事しやすい群の方が回帰式の傾きが大きく、より強い正の相関が見られた。執務者自身の適応による心理的な満足感は、快適温度の幅の拡大に寄与する可能性がある。

冬期全体の異性間に快適温度の違いはあるのか、またその要因を調査した。図-6に男女別の快適温度と着衣量の比較を示す。図より、快適温度の性差は無いものの、着衣量の平均値に0.14cloの性差があった。男性に比べて冷えを感じやすいとされる³⁾女性は着衣量を増加させることで室内環境に適応し、男女共に快適な環境が形成されていた。

3. まとめ

本研究では、最低限の設備と自然エネルギーを活かした計画によりNearly ZEBを実現するオフィスにおける執務環境の実態について実測・アンケートにより調査した。その結果、執務者の申告とPMVとでは相違があることが分かった。また、執務者の積極的な環境適応によって仕事のしやすさに好影響があることや曝露環境の感じ方に対する生理的な差を減らし男女共に快適な環境を確保することができる可能性が示唆された。執務環境の在り方の一つとして評価できるものであると見え、今後も検討を進めていく。

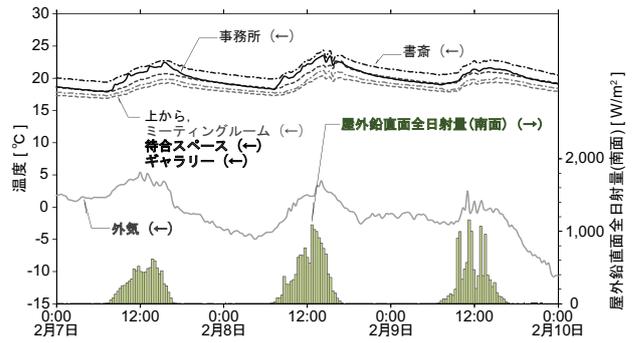


図-3 温度・屋外鉛直面全日射量の変動(2月7日～2月9日)

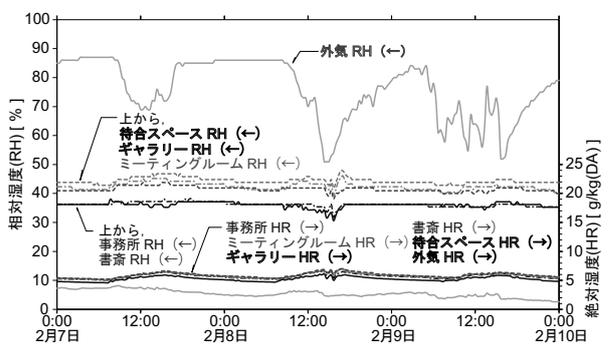


図-4 相対湿度・絶対湿度の変動(2月7日～2月9日)

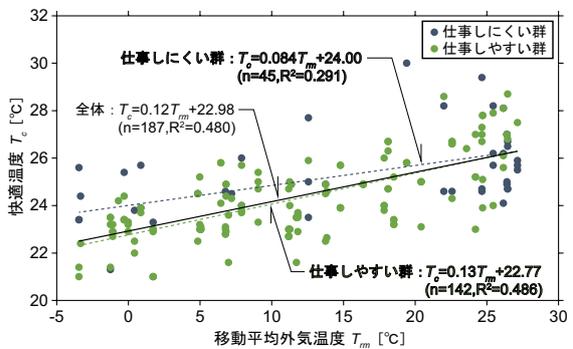


図-5 適応モデル

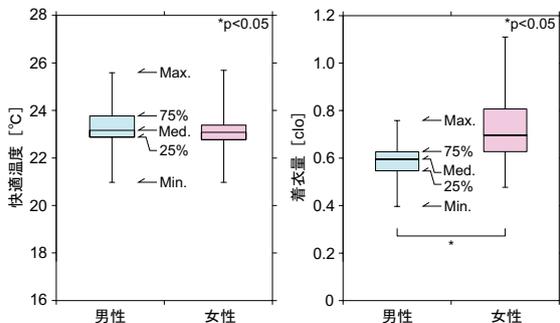


図-6 男女別にみる快適温度と着衣量の比較(冬期)

あとがき

本調査の実施にご協力いただいたもろくす建築社・佐藤欣裕氏を始めとする関係者の皆様に謝意を表します。なお、本研究の実施に対しては、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認（承認番号 県大研-246）を得ている。

注釈

1) 快適温度は下式(1)から算出した。

$$T_c = T_g + (4 - C) / a \quad (1)$$

T_c : 快適温度 [°C], T_g : 室内グローブ温度 [°C], C : 寒暑感申告, a : グリフィス定数 (0.5 を使用)

2) 各尺度は, 1: 非常に仕事しにくい, 2: 仕事しにくい, 3: やや仕事しにくい, 4: やや仕事しやすい, 5: 仕事しやすい, 6: 非常に仕事しやすいと定義した。

参考文献

- 1) 杉元康治: 中小事務所ビルにおける空調更新時の ZEB と Wellness の両立, ヒートポンプとその応用, No.93, pp.39-42, 2019 年 11 月 .
- 2) 富樫英介: 人の熱的嗜好性と熱環境の分布が不満足度を与える影響, 日本建築学会環境系論文集, 第 88 巻, 第 811 号, pp.708-715, 2023 年 9 月 .
- 3) F.Nicol and M.A.Humphreys: Thermal comfort as part of a self-regulating system, Building Research and Practice(J.CIB), 6(3), pp.191-197, 1973.
- 4) F.Nicol and M.A.Humphreys: derivation of the adaptive equations for thermal comfort in free-running buildings in European standard EN 15251, Building and Environment, 45, pp.11-17, 2010.
- 5) 田辺新一, 宮嶋裕基, 尾方壮行, 鈴木雅一, 中川純, 浅賀潤一: 適応モデルの最新動向・多様性をどのように評価するのか-, 日本建築学会環境工学委員会 熱環境運営委員会, 第 45 回熱シンポジウム, 2015 年 10 月 .

A-11

ダイナミックインシュレーション窓による温熱環境改善効果に関する実験

： 由利本荘市内の県営住宅を対象として

○高橋俊弘（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）

Experiment of Indoor Thermal Environmental Improvement
The Thermally Renovation using After Dynamic Insulation System applied to Windows
Case Study of Public housing located in Yurihonjo City

Takahashi Toshihiro (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jin-ya (Akita Prefectural University)

キーワード：ダイナミックインシュレーション窓，実験，集合住宅

はじめに

2050年カーボンニュートラル宣言を受け、住宅・建築物の省エネルギー化が求められているが、住宅ストックのうち省エネルギー基準に適合する住宅は全体の約13%¹⁾と少ない。住宅ストックの省エネルギー化に向けた対策の一つに断熱改修が挙げられる。筆者らは、秋田県をはじめ、住宅の建て方として戸建住宅が多くを占める東北で、戸建住宅の断熱改修事例を対象に実測調査を行い、改修による温熱環境の改善効果や適切な改修手法を検討している²⁾。一方、秋田県の住宅総数のうち16.6%³⁾を占める集合住宅に対しては、改修に関する課題や適切な改修手法が検討された事例が少ない。今後、秋田県では、高齢化による人口減少や過疎化による限界集落が多く見られるようになり、都市機能を集約せざるを得ない状況が予想される。集合住宅は住民が集まり豊かに暮らせる可能性を秘めており、集合住宅のストックの断熱改修により温熱環境を改善することは意義深いと考えられる。

筆者らは、由利本荘市内にある県営住宅団地内の集合住宅において実測調査の機会を得ている。そこで本研究では、断熱改修の手法の一つとして研究・開発が進んでいる「ダイナミックインシュレーション技術（以下、DI技術）」を寒冷地である由利本荘市の県営住宅に適用して、実験結果から温熱環境の改善効果について検討する。

1. 既往研究の調査

1.1 ダイナミックインシュレーション窓システムの性能評価に関する研究⁴⁾

樋山らは、窓サッシ部から室外へ流出する熱を限りなくゼロに近づけることを目標に、DI技術を適用した窓サッシ（以下、DIサッシ）を開発した。DI技術は、ポーラス化した適用部材内に外気を通気させ、この外気が部材を通過する過程で貫流熱を回収し室内へ戻すことによって、部材からの室外へ流出する熱損失を限りなくゼロに近づけるものである。

寒冷地である北海道札幌市に建設された実験棟に試作品を設置し、氷点下を含む厳冬の環境で居室者一人と想定し、換気量を与えた条件で性能評価をした。その結果、熱画像を用いた定性的な評価においては、DIを用いない普通サッシと比較し、DIサッシ部では室外への熱損失の発生が抑制されていることが確認された。加えて、非通気時と比較してサッシから室外へ流出する熱流束も低減されていることも確認された。

1.2 集合住宅へのダイナミックインシュレーション窓システム適用に関する研究⁵⁾

三田村らは、公営住宅の多くが無断熱や断熱性能が著しく低い現状から、これらの温熱環境の向上とストックの有効活用に期待している。その一つとして、群馬県前橋市内の公営住宅の一住戸を対象とした調査をしており、集合住宅におけるDI技術を用いた窓システム（以下、DI窓）の適用効果を明らかにした。最寒日を含む一週間における調査結果から、各DI窓の動的な熱貫流率を、通気時と非通気時と比較した結果、内障子で0.58～0.67 W/m²K、外障子で0.20～0.32 W/m²Kと小さく、ダイナミックインシュレーション効果を確認した。

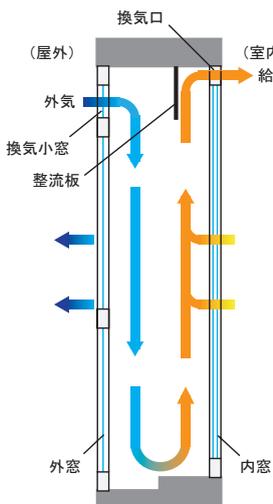


図-1 DI窓の概要⁵⁾

表-1 対象県営住宅概要⁶⁾

県営住宅2号棟	
所在地	秋田県由利本荘市
構造	鉄筋コンクリート造
階数	3階(14戸)
概要項目	現況
竣工年	1998年
断熱材	屋根・天井 XPS 2種 50mm 壁 XPS 2種 50mm 床・基礎 XPS 2種 40mm(基礎)
窓	サッシ アルミ、樹脂 ガラス 単板
暖房設備	FF式ストーブ(LDK,洋室1,3) エアコン(洋室1,3)
換気設備(居室)	無
熱源	給湯 ガス 暖房 灯油、電気 調理 ガス

※XPS: 押出法ポリスチレンフォーム

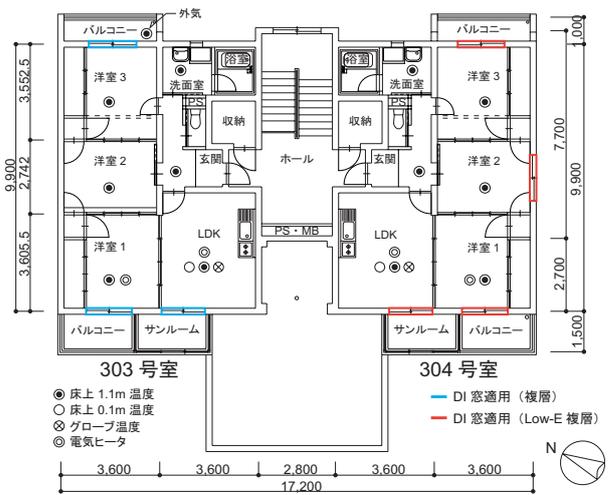


図-2 住戸平面図と測定箇所・DI窓適用箇所

2. 対象とする県営住宅について

2.1 建物概要

表-1に対象県営住宅の概要を示す。対象県営住宅は1996年から1998年に建設された鉄筋コンクリート造3階建ての4棟計50戸の集合住宅である。図-2では省略しているが、303号室は中住戸であり実際には北側に隣室がある。居室には給気口がなく、計画的な換気はされていない。

2.2 対象住戸の気密性能・換気性能

適切な温熱環境を維持するためには、対象住戸のシェルター性能や換気量を把握する必要がある。そこで、今回は両住戸に対して減圧法による気密測定と換気扇の風量を測定した。

建物の相当隙間面積(C値)を算定した結果、303号室は $C=0.83\text{cm}^2/\text{m}^2$ 、304号室は $C=1.50\text{cm}^2/\text{m}^2$ であった。また、換気扇の通気量と室容積から換気回数を算定した結果、303号室は0.63回/h、304号室は0.52回/hであった。

3. ダイナミックインシュレーション窓適用による予備実験

4.1 測定概要

DI窓を適用した場合、温熱環境がどの程度改善するかを確認するために、適用前後の室温推移と暖房による電力使用量の変化に着目する。図-2に対象住戸の平面図と測定箇所及びDI窓適用箇所を示す。測定期間は適用前後それぞれ冬期5日間とし、暖房スケジュールは各日6:00~10:00、18:00~24:00の時間に1200Wの電気ヒータで間欠運転させた。また、室温が20℃で安定するよう、室温が22℃に達すると暖房が自動で停止するようにした。

電力使用量は、暖房時間における1時間毎の積算電力の値から求めた。

4.2 測定結果

図-3,4にDI窓適用前後の各測定期間内の303号室における非暖房室とLDKの室温推移と電力使用量の比較を示す。

(1) 室温の比較

非暖房室において、適用前後共に室温が10~15℃で推移している。また、洋室と玄関は暖房時間に室温が上昇する傾向があり、特に適用後が顕著である。LDKにおいては、特に大きな上下温度差は見られなかったが、下階の居住状態の影響を受けているものと推察される。室温変動においては、適用前はこの時期にしては外気温が高い日が続いていたため、12~20℃で安定して推移している。適用後は適用前よりも外気温が低くなったことも影響し、10℃~20℃と変動が大きくなっており、室温が20℃に達する時間も短い。また、夜間の暖房停止後から明け方にかけての室温低下は外気温の影響を受けていることもあり、両者には大きな変化は見られない。よって、今回の測定値のみでは、DI窓適用による断熱性能の改善効果を確認することはできなかった。

表-3に外気温度を0℃として補正したDI窓適用前後の室内温熱環境を、吉野⁷⁾のグレード評価に基づきグレード化したものを示す。適用前後の暖房室の温熱環境は共にグレード3~4が中心であるが、適用後の非暖房室や、玄関においては室温が上昇し、グレードが1ランク上がる場合もある。したがって、DI窓からの給気が非暖房室間に移流し、換気扇から排気されている様子が窺える。

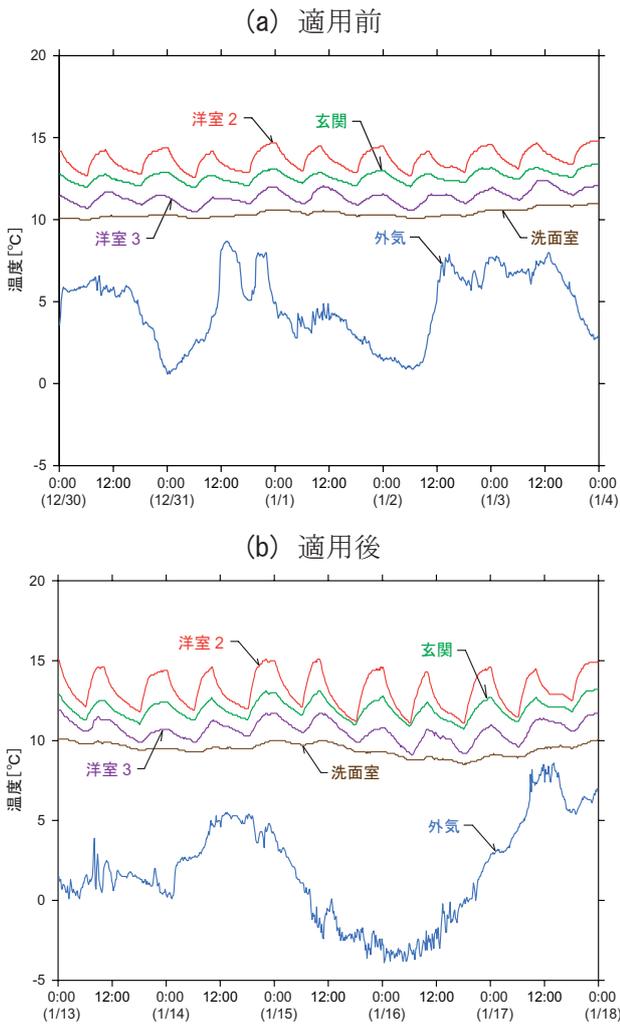


図-3 非暖房室の室温推移 (303号室)

(2) 電力使用量の比較

適用後の暖房時間において、室温が適用前に比べて設定温度に到達するまでに時間がかかっている。そのため、設定した停止時刻まで暖房が運転し続けることが多かった。

表-4にDI窓適用前後の暖房室における電力使用量と平均室内外温度差の関係を示す。電力使用量だけでなく、室内外温度差に対する電力使用量の平均的な値に着目しても、適用後の方が大きい値となっており、DI窓適用による省エネルギー効果については、今回の予備実験の結果から確認することができなかった。

(3) 考察

室温及び電力使用量の予備実験から、DI窓適用による暖房室の温熱環境の改善効果と省エネルギー効果が現れなかった要因は以下のことが考えられる。

① 計画した換気経路の一部である非暖房室間での

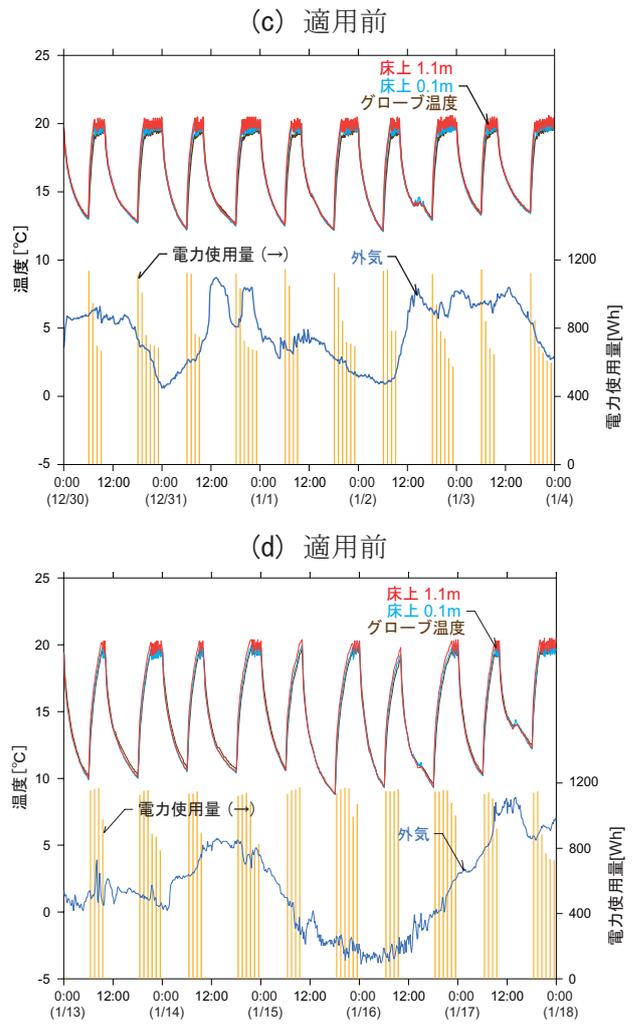


図-4 暖房室の室温・電力使用量推移 (303号室)

表-3 団欒時における室内環境の指標とその分類・段階⁷⁾

グレード	1	2	3	4	5	303号室 適用前	304号室 適用前	303号室 適用後	304号室 適用後
居間温度	12	15	18	21	24	19.2 (3)	19.4 (3)	18.0 (3)	18.1 (3)
団欒時	10	8	6	3	0	0.5 (4)	0.5 (4)	0.6 (4)	0.5 (4)
温度	-3	-2	-1	0	1	-0.9 (3)	-1.0 (3)	-0.8 (3)	-1.0 (3)
グローブ温度差 ²⁾	2	6	10	14	18	11.7 (3)	11.8 (3)	12.5 (3)	12.7 (3)
明け方の最低温度 ³⁾	4	8	12	16	20	14.0 (3)	15.2 (3)	18.1 (4)	14.7 (3)
団欒時の寝室(洋室2)温度 ⁴⁾	4	8	12	16	20	12.0 (3)	8.6 (2)	13.3 (3)	10.2 (2)
団欒時の寝室(洋室3)温度 ⁴⁾	2	5	8	11	14	11.4 (4)	9.8 (3)	15.7 (5)	13.5 (4)
団欒時の廊下(玄関)温度 ⁴⁾									

¹⁾ 床上1mの温度が20℃、外気温度が0℃の時の値 ²⁾ グローブ温度と床上1mの温度との差
³⁾ 外気温度が0℃の時の値 ⁴⁾ 団欒時において、居間の床上1mの温度が20℃、外気温度が0℃の時の値

表-4 電力使用量と平均室内外温度差の関係

居室	総電力 使用量 [kWh]	日平均 電力使用量 [kWh]	日平均 電力使用量 [Wh]		
			日平均 室内外温度差 [°C]	一時間平均 電力使用量 [Wh]	
LDK	303号室適用前	42.4	8.5	713	56.9
	304号室適用前	42.4	8.5	706	56.0
	303号室適用後	51.9	10.4	790	64.7
	304号室適用後	52.6	10.5	794	64.9
洋室1	303号室適用前	32.2	6.4	521	40.8
	304号室適用前	34.4	6.9	552	44.3
	303号室適用後	46.3	9.3	674	53.0
	304号室適用後	44.1	8.8	628	50.8

温度上昇が適用後に確認できたことから、DI窓から給気される通気量が増加した分、換気による熱損失が以前よりも増加した可能性が考えられる。それを確かめるため、今後熱貫流量の現場測定から、DI窓の熱回収効果を調査する必要がある。

- ② 台所の換気扇の隙間からの冷気の流入が過大となった可能性がある。今後、部位別の気密性能実験の結果と照らし合わせながら、レンジフードの密閉性を高めることを検討する。
- ③ 集合住宅の住戸で測定したため、下階の居住者の暖房行動の違いが、室温に影響を及ぼした可能性がある。

4. まとめ

本研究では、由利本荘市内にある県営住宅を対象に、DI窓適用前後における温熱環境と省エネルギー性能の変化を比較した。暖房室においては適用後の温熱環境の改善と電力使用量の削減ができなかったが、非暖房室ではグレードの向上が見られた。したがって、暖房によって暖められた空気が計画した換気経路の通りに隣室に移動したと推察される。今後は部位別の気密性能実験の結果から、DI窓以外の隙間からの通気を確かめると共に、DI窓の熱貫流率も実験により同定する予定である。

謝辞

今回の測定にあたっては秋田県建設部建築住宅課、及び三協立山株式会社三協アルミ社の皆様に多大なるご協力をいただきました。ここに記して深甚の謝意を表します。

参考文献

- 1) 国土交通省：住宅行政の最近の動向，2021年10月。
<https://www.j-reform.com/web-seminars/pdf/2021sym-1.pdf>.
- 2) 石川武尚，長谷川兼一，細淵勇人，高木理恵，松本真一：戸建住宅の断熱改修のための環境計画手法に関する事例研究，空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集，pp.45-48，2016年3月。
- 3) 総務省：平成30年住宅・土地統計調査主要統計表，
<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/index.htm>.
- 4) 樋山恭助，河原大輔，加藤信介，李時桓，大浦豊，森勝彦，野村吉和，二川智吏，手塚純一：窓サッ

シ部へのダイナミックインシュレーションの適用－実験棟を用いた実環境下における基本性能評価－，日本建築学会環境系論文集，第79巻，第699号，pp.435-441，2014年5月。

- 5) 三田村輝章，大浦豊，藤園武史，岡村大輔：集合住宅へのダイナミックインシュレーション窓システムの適用（その1）－群馬県前橋市内の公営住宅を対象とした冬期における実測結果－，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp.707-708，2022年9月。
- 6) 村田悠翔，長谷川兼一，松本真一，竹内仁哉：集合住宅の断熱改修による室内温熱環境改善に関する数値計算－由利本荘市内の県営住宅を対象として－，2022年度秋田県立大学卒業論文
- 7) 長谷川房雄，吉野博：東北地方の各種住宅における冬期の室温に関する調査研究，日本建築学会計画系論文報告集，第371号，pp.18-26，1987年1月。

A-12

年齢調整冬季死亡増加率を指標にした地域の気候と住宅熱環境が

死亡率に与える影響に関する統計分析 その2

○西川竜二 (秋田大学)

Statistical analysis of the relationship between the mortality rate of causes of death due to temperature shock and the thermal performance of houses in the Tohoku region Part.2

Nishikawa Ryoji (Akita University)

キーワード: 年齢調整死亡率 冬季死亡増加率 ヒートショック

1. はじめに

筆者は、統計資料を活用して、地域のヒートショック関連等の死亡率に気候や住宅要因が与える影響を自治体単位で明示し、住環境と健康の向上の基礎資料とする研究を行っている¹⁾²⁾。これまでは年間の年齢調整死亡率や単年又は複数年間の標準化死亡比SMRを死亡率の地域比較の指標としたが、年間の死亡率の指標に加えて冬季の死亡増加率³⁾⁴⁾⁵⁾を指標に加えることで、特に地域の外気温と住宅熱環境の要因が死亡率に与える影響を顕在化できると考えられる。ただし、先行研究³⁾~⁴⁾で示されている冬季死亡増加率は、年齢調整していない粗死亡率の増加率であり、地域の人口構成(高齢化率)の違いの影響を含んでいる。そこで、筆者は既報その1²⁾で、47都道府県を対象に、①近年の統計データを用い「年齢調整の処理をした冬季死亡増加率」を定義・算出し、②年間の年齢調整死亡率と年齢調整した冬季死亡増加率(以下、冬季死亡率と略記)の関係の検討し、③それらと気象・住宅要因の相関分析を行った。しかし、既報では、冬季死亡増加率を用いることで、心疾患の死亡率では年間の年齢調整死亡率では検出されなかった気象と住宅要因との有意な相関関係が得られたが、脳血管疾患の死亡率では逆に冬季死亡増加率では気象・住宅要因との相関関係が見られない結果となった。そこで、今回は、脳血管疾患の死因について、年間の年齢調整死亡率と冬季死亡増加率の関係から地域を分類し、その分類別に相関分析を行うこ

表-1 使用した統計データ

種類	使用したデータ	統計調査・資料名称等	調査・公開機関	統計期間
人口	人口(全国・都道府県別、5歳年齢階級別)	人口推計(H27-R2国勢調査の補間補正人口)	総務省統計局	2018年10月1日
死亡	死亡数(全国・都道府県別、死因別、5歳年齢階級別、月)	人口動態統計月報	厚生省	2018年の各月
気象	外気温(都道府県庁所在地、日ご)	過去の気象データ検索	国交省気象庁	平年値(1990~2020年)
住宅	住宅・世帯状況(全国・都道府県)	H30 住宅・土地統計調査	総務省統計局	2018年10月1日

とを試みた。その結果、脳血管疾患の冬季死亡増加率と気象・住宅要因との間に有意な相関関係が得られたので、その概要を報告する。

2. 統計データと分析方法、既報その1の概要

2.1 使用した統計データと年齢調整した冬季死亡増加率の算出方法

表-1に、使用した統計データを示す⁶⁾~⁸⁾。年齢調整が無い場合と有る場合の冬季死亡増加率(月平均死亡率の冬季の増加率)を計算するために、地域別・月別・死因別・5歳年齢階級別の死亡数のデータを用いた。今回は試みとして男女計の場合を算定・考察した。また、年齢調整のための全国の基準人口は、以前は「S60年モデル人口」が長く使われていたが、新しい「H27年モデル人口」^{注)}を用いた。統計年は「住宅・土地統計調査」との相関分析も行うため、確定値が公開済みの2018年で統一した。

年齢調整の方法は、「年齢調整死亡率」の算定方法と同様にして、対象地域(今回は各都道府県単位)の死因別・月別・年齢階級別の死亡率を求め、それを基準人口(今回は日本全体)の年齢階級別人口に乗じることで、基準の人口の

1 年齢構成に調整して揃えた死亡率とした。

2 **2.2 既報その1の結果の概要と今回の課題**

3 **図-1**に、年齢調整の処理を施した冬季死亡増加率^{注2)}の算定結果を示す(筆者の既報その1の再掲)。この結果から、亜熱帯の沖縄を除いて、気候が寒冷で暖房デグリーデーが大きい地域の方が冬季死亡増加率が小さく、温暖な地域の方が冬季死亡増加率が大きくなっている。これは、気候が寒冷な地域の方が住宅の断熱や暖房がしっかりしており、冬季の気候の寒冷による死亡率の増加の効果を住宅の断熱・暖房で打ち消して、冬季の気候の寒冷さと死亡率を負の相関関係にしている。このことから、温暖地でも冬季死亡増加率が全死因で15~25%程度まで大きくなるので、住宅の熱環境の向上が示唆される。ただし、この図で冬季死亡増加率が小さい側でも年間の死亡率が高い地域もあり、年間と冬季増加率の双方を合わせ見る必要がある。

20 また、**表-2**に、年間と冬季増加率の二通りの死亡率と気象・住宅要因の相関分析の結果を示す(筆者の既報その1の再掲)。心疾患と全死因(総数)では、冬季死亡増加率を用いることで、年間では見られなかった気象や住宅要因との相関が見られたが、脳血管疾患では冬季増加率にすると要因との相関が無くなり、冬季死亡増加率を用いることで冬季のヒートショックに与える住宅要因の影響をより顕在化できるのではないかとこの予想と異なる結果で、その理由が課題となった。しかし、各死因について年間の年齢調整死亡率と冬季死亡増加率の関係から地域の特徴を分類できるという着想を得ていたことから、本報告では脳血管疾患について、その分類別に相関分析を行う方法を試みた。

7 **3. 結果と考察**

8 本研究で取り上げている脳血管疾患の死因は脳血管疾患(全体)、脳出血、脳梗塞の3通りである。全国の粗死亡数の内訳は季節を問わず、脳出血が3割、脳梗塞が55%、その他が15%弱であり、脳出血と脳梗塞で85%を占めるので、この2つで脳血管疾患全体の傾向を概ね説明できる。

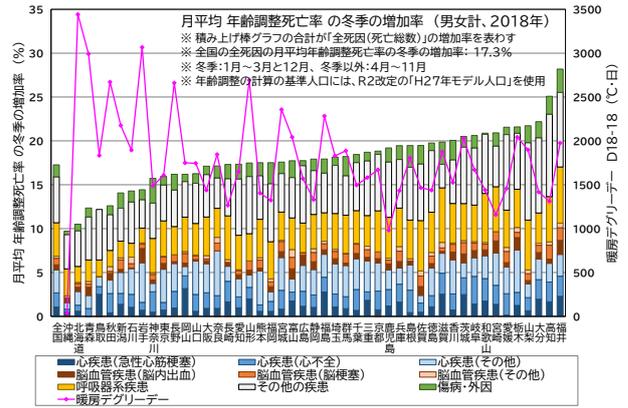


図-1 年齢調整を加えた冬季死亡増加率の計算結果²⁾

表-2 死亡率と気象・住宅要因の関係(相関係数、判定) (※沖縄県を除くN=46)²⁾

気象・住宅の要因	(年間の)年齢調整死亡率											
	心疾患(全体)	急性心筋梗塞	心不全	脳血管疾患(全体)	脳内出血	脳梗塞	呼吸器系疾患	判定	判定	判定	全死因(総数)	
暖房デグリーデー (018-18°C・日)	0.04	0.04	0.07	0.56	0.50	0.54	0.53	**	**	-0.53	**	0.24
年平均外気温 (°C)	-0.04	-0.04	-0.06	-0.58	-0.53	-0.56	0.54	**	**	0.54	**	-0.25
1月の平均外気温 (°C)	-0.03	-0.05	-0.04	-0.54	-0.48	-0.53	0.53	**	**	0.53	**	-0.21
1月の日最低外気温の月平均 (°C)	-0.09	-0.08	0.01	-0.55	-0.51	-0.52	0.47	**	**	0.47	**	-0.23
全ての窓にある住宅の割合 (%)	0.01	-0.04	0.18	0.49	0.46	0.45	0.41	**	**	0.41	**	0.39
一部の窓にある	-0.15	0.05	0.11	0.60	0.48	0.61	0.58	**	**	0.58	**	0.12
なし	0.06	0.00	-0.16	-0.57	-0.51	-0.54	0.53	**	**	0.53	**	-0.23
「全ての窓」と「一部の窓」にある	-0.06	-0.00	0.16	0.58	0.51	0.56	0.52	**	**	0.52	**	0.25
「一部の窓」にある+「なし」	-0.01	0.04	-0.17	-0.48	-0.45	-0.40	0.41	**	**	0.41	**	-0.28

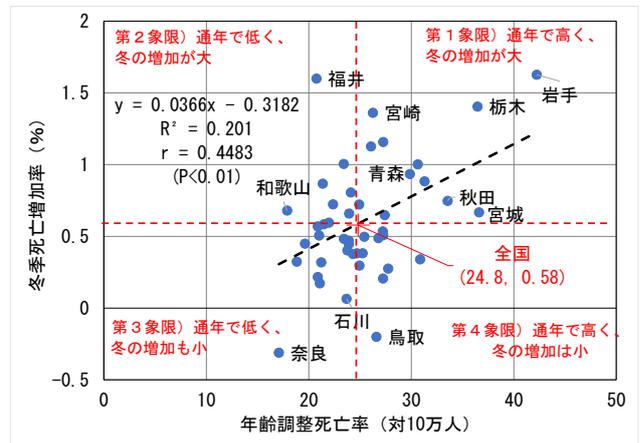


図-2 年間の年齢調整死亡率と冬季死亡増加率の関係(脳出血、沖縄を除くN=46)

表-3 脳出血の年間死亡率と冬季死亡増加率による都道府県分類(図-2の象限)

象限	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第1	青森	岩手	宮城	秋田	茨城	栃木	富山	静岡	広島	大分
第2	千葉	東京	福井	岐阜	兵庫	和歌山	香川	福岡	佐賀	奈良
第3	北海道	埼玉	石川	山梨	愛知	三重	滋賀	大阪		
第4	岡山	山口	徳島	高知	長崎	熊本				

※参考として、沖縄県は第4象限

また、粗死亡数のひと月当たりの人数では冬季はそれ以外の月より約2割多くなっている。

図-2に、脳血管疾患のうちの「脳出血」について、年間の死亡率と冬季死亡増加率の関係を示す。そして、今回は、日本全体の二つの死亡率の値を基準（図の原点）にして、その値以上と未満の組み合わせ、つまり図-2の第1～第4象限のいずれに位置するかで、各都道府県を4つに分類した（表-3）。同様に、脳梗塞の場合を図-3と表-4に示す。

そして、4つの象限の2つずつの組み合わせ全6通り（第1と第3、第2と第4、第1と第2、第2と第3、第3と第4、第4と第1）について、それぞれ相関分析を行ってその結果を検討した。これを、「脳血管疾患（全体）」と「脳梗塞」も行った結果、脳出血では第1と第2象限の組み合わせ（21都県）、脳血管疾患（全体）と脳梗塞では第1と第3象限の組み合わせの各26道府県と23都道府県で統計的に有意かつ概ね合理的な解釈が可能な相関関係が得られた。結果の概要（相関係数行列、判定）を表-5に示す。

まず、年間の死亡率と冬季死亡増加率についても、分類した象限の組み合わせの地域のグループで有意な相関が見られた。脳血管疾患（全体）は、前述したように、脳出血と脳梗塞の結果を合わせた内容で説明できるので、脳出

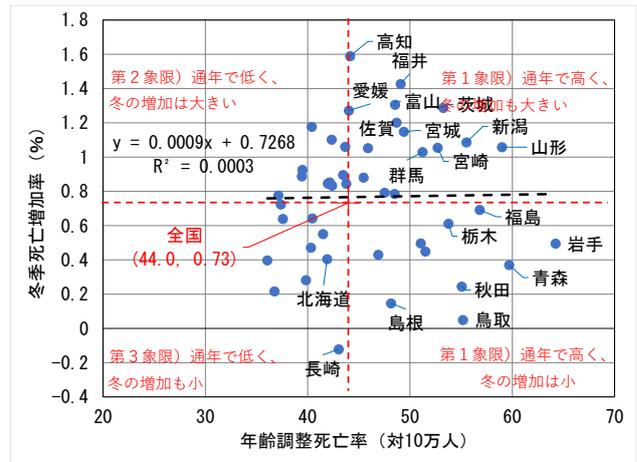


図-3 年間の年齢調整死亡率と冬季死亡増加率の関係（脳梗塞、沖縄を除くN=46）

表-4 脳梗塞の年間死亡率と冬季死亡増加率による都道府県の分類（図-3の象限）

象限	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
第1	宮城	山形	茨城	群馬	新潟	富山	福井	山梨	長野	静岡
	三重	愛媛	高知	佐賀	宮崎					
第2	埼玉	千葉	岐阜	京都	兵庫	奈良	岡山	徳島	香川	熊本
	大分									
第3	北海道	東京	神奈川	愛知	滋賀	大阪	和歌山	広島	福岡	長崎
第4	青森	岩手	秋田	福島	栃木	石川	鳥取	島根	山口	鹿児島

※参考として、沖縄県は第3象限

血と脳梗塞の内容について考察する。

脳出血について、年間の死亡率は、気象が寒冷なほど死亡率が高くなっている。また、窓の断熱化では、窓が断熱化されている地域のほど死亡率が高いという相関が現れている。これは、重要なことで、図-2の全国の冬季死亡増加

表-5 脳血管疾患の二通りの死亡率と気象・住宅要因との関係（各死因の年間死亡率と冬季死亡増加率の組み合わせのグループの相関分析で有意かつ概ね解釈可能な結果が得られたケース）

気象の寒冷さ、住宅の水準の指標	脳出血の第1と第2象限 (21)				脳梗塞の第1と第3象限 (26)				脳血管疾患全体の第1と第3象限 (23)				
	脳出血		脳梗塞		脳血管疾患 (全体)		脳血管疾患 (全体)		脳血管疾患 (全体)		脳血管疾患 (全体)		
	年間死亡率	判定	冬季増加率	判定	年間死亡率	判定	冬季増加率	判定	年間死亡率	判定	冬季増加率	判定	
気象	暖房デGREEデー D18-18[℃・日]	0.67	**	0.37		0.34		0.06		0.54	**	0.08	
	年平均外気温 (℃)	-0.70	**	-0.35		-0.35		-0.09		-0.58	**	-0.11	
	1月の平均外気温 (℃)	-0.66	**	-0.41		-0.35		-0.08		-0.54	**	-0.09	
	1月の日最低外気温の月平均 (℃)	-0.76	**	-0.48	*	-0.40	*	-0.15		-0.59	**	-0.16	
住宅の種類・所有形態・広さ	木造住宅率 (%)	0.47	*	0.48	*	0.81	**	0.51	**	0.69	**	0.48	*
	一戸建率 (%)	0.25		0.47	*	0.68	**	0.50	*	0.50	**	0.46	*
	持ち家率 (%)	0.12		0.40		0.60	**	0.45	*	0.38		0.41	*
	1住宅当たり延べ床面積 [平米]	0.20		0.51	*	0.65	**	0.47	*	0.52	**	0.52	**
建設時期 (省エネ基準)	1980年以前 (旧基準)	-0.18		0.26		0.40	*	0.24		0.06		0.07	
	1990年以前 (新基準)	-0.19		0.17		0.36		0.18		-0.00		-0.02	
	2001年以降 (次世代後)	0.25		-0.10		-0.26		-0.17		0.06		0.17	
窓の断熱化 (複層窓)	全ての窓にある	0.69	**	0.29		0.19		-0.03		0.45	*	0.05	
	一部の窓にある	0.48	*	0.35		0.52	**	0.25		0.62	**	0.29	
	なし	-0.61	**	-0.31		-0.33		-0.08		-0.54	**	-0.13	
	「全ての窓」と「一部の窓」にある	0.61	**	0.33		0.36		0.09		0.56	**	0.15	
	「一部の窓にある」+「なし」	-0.69	**	-0.26		-0.14		0.05		-0.42	*	-0.02	

** : P<0.01 * : P<0.05

率の比較では寒冷地域の住宅は冬季の死亡増加率が小さく防寒が出来ているかに思われるが、それらの地域では寒冷の為に死亡率の絶対値が高い。この表の結果からは、寒冷地の方が窓の断熱化（複層化率）は高いが、その断熱水準は十分ではなく、寒冷な気候の影響を受けて年間の脳出血の死亡率は高いと言える。脳出血の冬季増加率の結果では、1月の日最低外気温の月平均値が低いほど、冬季死亡増加率が高くなり、こちらも外気の寒冷さの影響を受けていることが分かる（図-4に散布図）。また、木造住宅率・戸建て率・1住宅当り述べ床面積が広いほど、冬季死亡増加率が高くなっているが、これは、木造・戸建て・広い住宅が悪いわけではなく、地方に残っている築年数の古い農家型等の住宅にこの傾向があり、それらの住宅の断熱・暖房水準が悪いことが現れている。東京・福岡・兵庫・千葉等がその対比にある（図-5）。

また、脳梗塞では、年間死亡率に築年数が古い住宅が多いほど脳梗塞が多い傾向が出ている。脳血管疾患（全体）では、脳出血と脳梗塞を合わせた傾向になっていることが分かる。

4. おわりに

冬季死亡増加率の指標を取り入れ、かつ地域を分類して冬季死亡増加率と気象・住宅要因との相関関係を見ることで、地域における住宅熱環境の現状と課題を外観することが出来た。

謝辞

本研究は、科研費・基盤研究(C)（研究代表者：西川竜二、課題番号：20K02382）の助成を受けました。ここに記して謝意を表します。

注記

- 1) 年齢調整死亡率の計算に用いる全国の基準人口は、高齢化に対応して「S60年モデル人口（高齢者率10.5%）」から「H27年モデル人口（高齢者率26.6%）」に2020年に改訂された。H27年モデル人口を使った計算結果はS60より3倍程度大きくなる。
- 2) ここでは、各死因の冬季増加率の積み上げ（全死因の内訳）として全死因の冬季増加率を表現しており、増加率の分母は各死因ではなく全死因の冬季以外の月平均死亡率である。これは、本報告の各死因の冬季死亡増加率の値でも同様である。各死因の冬季増加率の値が数パーセント程度と小さいのはその

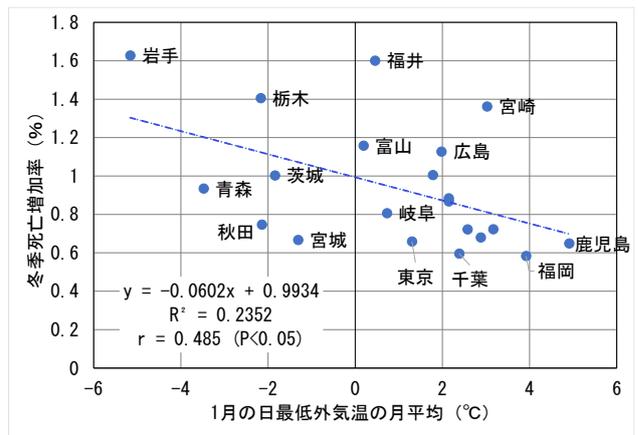


図-4 1月の日最低外気温の月平均値と冬季死亡増加率の関係（脳出血、第1と第2象限のN=21都県）

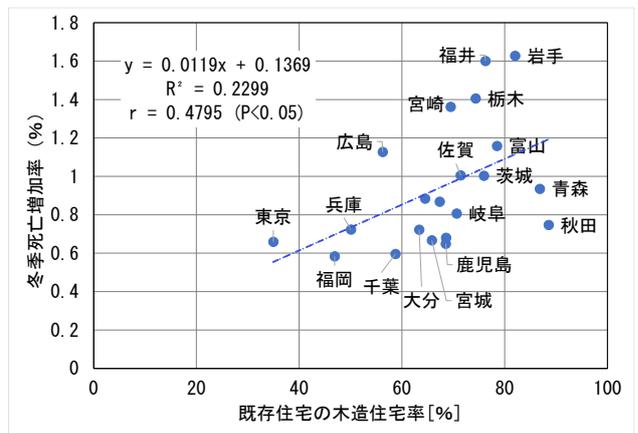


図-5 木造住宅率と冬季死亡増加率の関係（脳出血、第1と第2象限のN=21都県）

為である。各死因で冬季以外の月平均死亡率を分母にした冬季死亡増加率は数割増加のオーダーになる。

参考文献

- 1) 西川：秋田県内の市町村単位でみたヒートショック関連死因の死亡率と住宅熱環境に関する統計分析、日本建築学会大会梗概集、pp.981-982、2015
- 2) 西川：年齢調整冬季死亡増加率を指標にした地域の気候と住宅熱環境が死亡率に与える影響に関する統計分析、日本建築学会大会梗概集、pp.1075-1076、2022
- 3) 伊香賀俊治：健康住宅・建築最前線、グリーン建築推進フォーラム第5回月例セミナー資料、pp.11-13、2017
- 4) JD Healy: Excess Winter mortality in Europe: a cross country analysis identifying key risk factors, J Epidemiol Community Health, Vol.57, pp.784-789, 2003
- 5) 総務省：人口推計（H27及びR2年国勢調査結果による補間補正人口、2022.2、政府統計の総合窓口e-Stat.
- 6) 厚労省：人口動態統計月報
- 7) 気象庁：過去の気象データ検索
- 8) 厚労省：基準人口の改定に係る検討結果の報告、2020.6

A-13

ASHRAE の水分活性評価法を用いた住宅床下空間における真菌汚染の定量化実験

○湯本雅弘 (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)

Experiment for Quantification of indoor fungal contamination in a housing crawl space using water activity indicators proposed by ASHRAE

Yumoto Masahiro (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード：水分活性, 真菌汚染, 実験

はじめに

住宅における高湿度環境 (dampness) は室内での真菌の繁殖を促進させ、室内空気を汚染する。その結果、喘息の発症や悪化、呼吸器感染症の発症といった様々な疾患に影響する。室内真菌が健康へ悪影響を与えることは認識されている¹⁾が、室内真菌の暴露環境を評価する際には測定法に多くの課題がある。そのため、現場での適切な測定法を選別することが必要である。

近年、真菌汚染のリスクを測定するために水分活性が利用されている。木材が保有する水分のうち微生物が利用可能なのは自由水のみである。これを定量的に表す指標が水分活性であり、0 から 1 の値で示される²⁾。

Hukkaら³⁾が開発した真菌繁殖予測モデルでは、水分活性が真菌繁殖の予測因子に使用されている。また、Nielsenら⁴⁾の実験室実験に基づく研究では、真菌の繁殖に影響を与える最小水分活性は 0.78~0.80 としている。一般に水分活性は小片試料を密閉容器に封入し、その平衡相対湿度を測定することで求められる。しかし、この方法では実空間での計測は不可能であるため、実空間で水分活性を測定する手法の開発が必要である。ASHRAE は水分活性を推定する方法を提案している⁵⁾、注1)。

本研究では ASHRAE が提案した水分活性の推定法の妥当性を確認することを目的とする実験を行った。また、水害被害住宅を対象とした実測調査より水分活性と付着真菌の関連性を考察した。

1. 水分活性の推定の検証

1.1 実験概要

写真-1 は ASHRAE が提案した水分活性の推定



写真-1 実験方法 (左:方法A 右:方法B)



写真-2 測定箇所 (左:測定点1 右:測定点2)

法として、①材料表面をカップ等で密閉する方法 (以下、方法 A)、②材料の表面温度と材料近傍の水蒸気量を測定する方法 (以下、方法 B) による計測状況を示している。

方法 A はカップ内を平衡に近い状態まで静置し、測定した相対湿度を水分活性とみなすが、測定期間が 1 ヶ月程度必要である。一方、方法 B は表面温度と水蒸気量を測定して、水分活性を推定するため、現場での計測に適用しやすい。

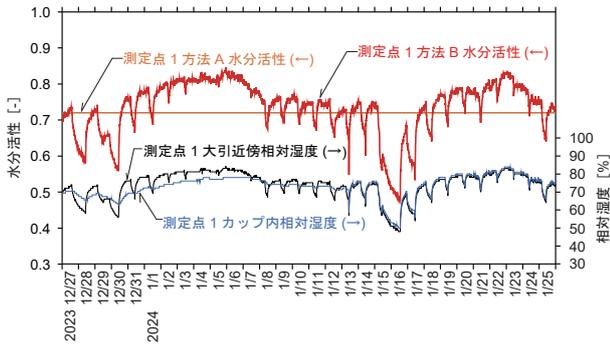


図-1 測定点1の水分活性推移

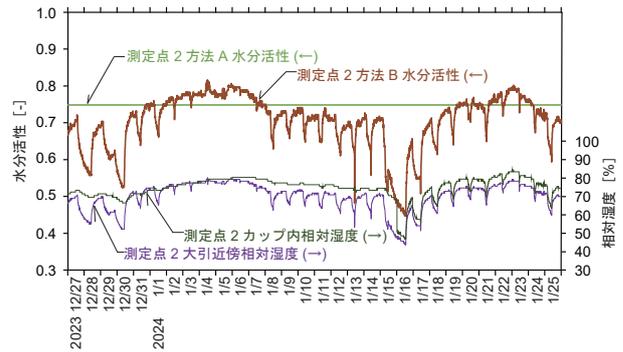


図-2 測定点2の水分活性推移

本実験では方法Aと方法Bを比較し、方法Bで測定した水分活性の妥当性を検討した。

実験は秋田県立大学本荘キャンパスの敷地内にある木造の実験住宅における床下の大引（樹種：スギ）を対象とした。床下を25℃に暖房しながら、加湿器で加湿した。測定期間は2023年12月27日から2024年1月25日であり、測定箇所は方法A、Bともに2箇所である。小型データロガーにより温度と相対湿度を測定した。

1.2 実験結果

方法Aでは1月25日までにカップ内の相対湿度が平衡に達していると判断し、1月25日の相対湿度の日平均値を水分活性とした。方法Bは測定した大引の表面温度と大引近傍の水蒸気量から水分活性を算出した^{注2)}。

図-1に測定点1の水分活性の推移、図-2に測定点2の水分活性推移を示す。図-1, 2より測定点1, 2ともに大引近傍の相対湿度が低下すると、方法Aと方法Bの水分活性が異なる値となることが確認された。これはカップ内と床下が異なる測定環境条件となったためと考えられる。しかし、カップ内と大引近傍の相対湿度が近いときに方法Aと方法Bの水分活性は近い値となる。この結果からカップ内と床下の測定環境条件が近いときに水分活性は近い値になると考えられる。

方法Aはカップ内を平衡に近い状態にするため、方法Aによる水分活性は妥当と考えられる。方法Bは大引近傍の相対湿度の推移に応じて水分活性が推移している。しかし、この期間の方法Aによる水分活性は、測定点1で0.72、測定点2で0.75となるがこの値は方法Bの測定開始時の水分活性の値に近い。また、計測期間の方法Bによる水分活性の平均値にも近い。そのため、方法Bは現場での計測

に適用可能と考えられる。

2. 水害被害住宅での水分活性調査

2.1 調査概要

2023年7月に発生した大雨により被災した秋田市の住宅を対象に水分活性と付着真菌を調査した。

対象住宅の概要を表1に示す。対象住宅は木造住宅の2件で、1章で検討した方法Bで大引や束の水分活性を測定した。水分活性は、30日の移動平均により算出した。また、付着真菌は粘着テープにより、大引や束から採取し、粘着テープをDG-18培地の表面に移し替えてインキュベーターの中で培養した。

2.2 調査結果

図-3, 4に住宅1の水分活性、付着真菌濃度、図-5, 6に住宅2の水分活性、付着真菌濃度を示す。図-3, 4より住宅1では被災直後は水分活性が高く、付着真菌濃度も高いが、被災から時間が経過するとともに水分活性と付着真菌濃度が低下していることが分かる。図-5, 6より住宅2では被災から時間が経過しても水分活性と付着真菌濃度が低下せず、高く

表-1 対象住宅の概要

住宅	1	2
構造	木造	木造
築年数 [年]	25	不明
床工法	根太工法	根太工法
床土間コンクリート	あり	なし
床下換気	換気口	換気口
断熱材の種類 (壁)	繊維系	なし
(床)	繊維系	なし
解体 (壁)	なし	なし
(床)	あり (和室のみ)	あり
被害判定	一部破損 (床下浸水)	一部損壊 (床下浸水)
復旧 (確認日) 避難状況	完了 (10/29) 在宅	完了 (10/29) 在宅
サーキュレーター等による床下空間の乾燥 (乾燥開始日)	あり (7/30)	あり (7/30)

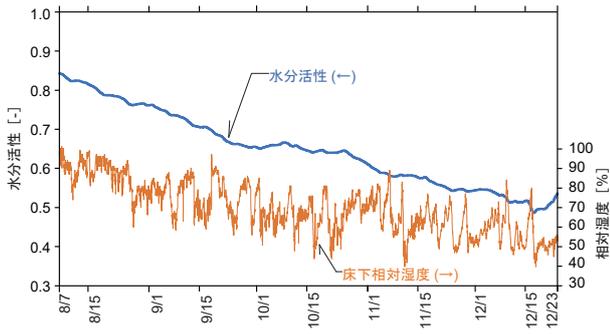


図-3 住宅1の水分活性推移

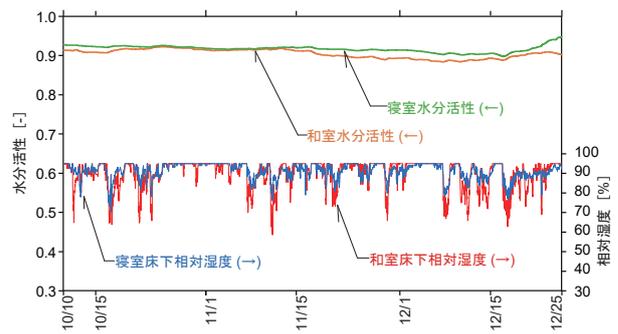


図-5 住宅2の水分活性推移

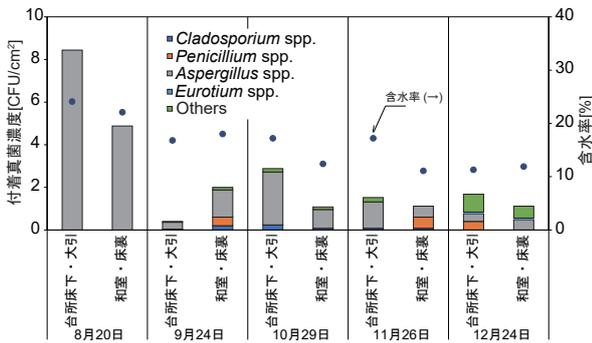


図-4 住宅1の付着真菌濃度

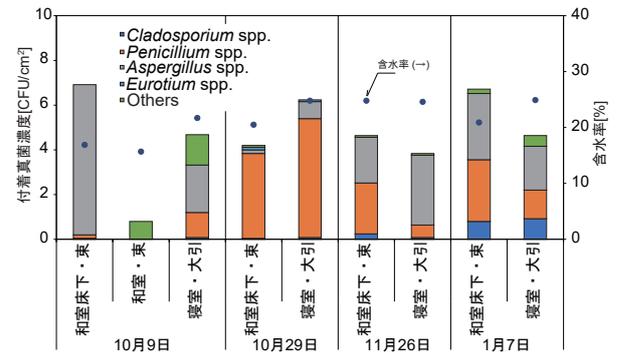


図-6 住宅2の付着真菌濃度

なっていることが分かる。

住宅1は土間コンクリートがあるため、被災から時間が経過することで床下の相対湿度が低下し、水分活性が低下したが、住宅2は土間コンクリートがなく、土壌の防湿シートが敷かれていないため、被災から時間が経過しても土壌からの湿気によって、床下の相対湿度が低下せず、水分活性が低下しなかったと考えられる。

2件の住宅の結果から水分活性と真菌濃度の関連が示された。水分活性を低くすることで真菌の繁殖が抑制されることが考えられる。

3. まとめ

実験より、ASHRAEが提案している2種類の水分活性の推定法を比較し、これらは、現場での実測にも適用可能であることを確認した。また、水害被害住宅を対象とした実測調査より、計測されている水分活性は真菌の繁殖に関係していることが示された。

あとがき

研究における調査を実施するにあたり、関係各位にご理解と多大なるご協力をいただきました。ここに記して深甚なる謝意を表します。

なお、本研究は、秋田県立大学・研究倫理審査

委員会の承認（承認番号 県大地研-298号）を得て実施している。

注釈

注1) ASHRAEが提案した水分活性推定法⁵⁾を示す。

- ・湿度センサーをカップ等で密閉された材料表面に取り付ける。材料表面とカップ内の空気の温度と相対湿度が平衡に達するのに十分な時間が経過したときの相対湿度の測定値が水分活性の近似値となる。
- ・材料表面近傍の空気の水蒸気量と材料の表面温度を測定する。それらから表面近傍の相対湿度を求め、それを水分活性の近似値とする。

注2) 水分活性の算出に使用した式を以下に示す。

$$e = 6.2078 \cdot 10^{(t_a / (t_a + 237.3)) \cdot (RH / 100)}$$

$$t_d = \frac{237.3 \log_{10}(6.1078/e)}{\log_{10}(e/(6.1078-7.5))}$$

$$A_w = \frac{\exp(17.625t_d / (243.04 + t_d))}{\exp(17.625t_s / (243.04 + t_s))}$$

- e : 水蒸気圧 [hPa] t_a : 材料近傍の温度 [°C]
- RH : 材料近傍の相対湿度 [%] t_d : 露点温度 [°C]
- A_w : 水分活性 [-] t_s : 材料の表面温度 [°C]

参考文献

- 1) World Health Organization Regional Office for Europe (2009) WHO Guidelines for Indoor Air Quality: Dampness and Mould. Bonn, Germany: World Health Organization Regional Office for Europe.
- 2) 文部科学省：カビ対策マニュアル 基礎編,
https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/sonota/003/houkoku/08111918/002.htm/ (最終閲覧日 2023年12月16日)
- 3) A. Hukka, H.A. Vittanen : A mathematical model of mould growth on wooden material. Wood Science and Technology, vol. 33, pp.475-485, 1999.
- 4) K. F. Nielsen, G. Holm, L. P.Uttrup, P. A. Nielsen : Mould growth on building materials under low water activities. Influence of humidity and temperature on fungal growth and secondary metabolism. International Biodeterioration & Biodegradation, vol. 34, pp. 325-336, 2004.
- 5) ASHRAE Multidisciplinary Task Group : Damp Buildings 2020 ASHRAE, Damp Buildings, Human Health, and HVAC, Design Persistent Water Activity (aw) at the Surface of Organic Materials or Coatings or Untreated Paper-Faced Gypsum Board in Excess of 0.75.

A-14

浸水被害住宅の真菌汚染と復旧手法に関する調査研究

その2 秋田市内の被害住宅 10 世帯を対象とした室内真菌の長期計測の途中経過

○石戸脩斗 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学)

中谷岳史 (信州大学), 松本真一 (秋田県立大学), 竹内仁哉 (秋田県立大学)

Study of Indoor Fungal Contamination and Environmental Recovery Methods in Flood Damaged Houses Part 2: Long-term Measurements of Indoor Fungi in 10 houses in Akita City

Ishito Shuto (Akita Prefectural University), Hasegawa Ken-ichi (Akita Prefectural University),
Nakaya Takashi (Shinshu University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jin-ya (Akita Prefectural University)

キーワード：浸水害住宅，真菌濃度

1. はじめに

近年，日本各地で自然災害の発生頻度が高く，激甚化している。台風や線状降水帯による大雨も度々発生しており，河川の氾濫（外水氾濫）よりも，短時間に生じた雨水を処理しきれないことによる内水氾濫が建物へ浸水被害をもたらしている現状にある¹⁾。

本報では，令和5年7月に発生した大雨により被災した秋田市内の戸建住宅10戸を対象として，被災直後から継続して調査している結果を報告する。被害状況，復旧状況を調査し，住宅内外の浮遊真菌濃度，浸水部の木材表面の付着真菌などを計測することにより真菌汚染の状況を明らかにする。

2. 調査概要

令和5年7月14日に発生した大雨による被害状況について，秋田県災害対策本部の発表では，住宅被害として秋田県全体で床下浸水が3,367世帯，床上浸水が741世帯，半壊が2,892世帯の被害が確認され，全体で7,039世帯が被災したことが報告された。特に秋田市内では床下浸水が2,729世帯，床上浸水が599世帯，半壊が2,431世帯の合計で5,792世帯が被害を受けた（12月26日時点）。

筆者らは7月21日から被災地に入り，現地の技術系ボランティア団体の協力を得ながら調査を継続している。本報では，実測調査を実施している住宅のうち10戸を対象に被災から1月時点までの被害状況を報告する。

住宅概要を表1に示す。被害から半年以上が過ぎた現在でも，床上浸水の住宅においては工事待ちの住宅も少なくない状態であり，復旧が未完了の住宅もある。

真菌計測を複数回実施している住宅に関して，No.1の住宅は，被災直後からサーキュレーターによる床下空間の乾燥を行った。また，付着真菌濃度が高いことから9月22日に消毒をしている。No.2の住宅に関しても，浸水直後からサーキュレーターによる乾燥を行った。No.5の住宅に関しては，床下におさえのコンクリートがあり，床下エアコンを設置していた。このエアコンにより，早期から乾燥を行っていた。また，壁に繊維系の断熱材が使用されていたため壁の解体を行ったが，壁体内部の付着真菌濃度が高いことから9月中旬に消毒を行っている。No.6の住宅に関しては，壁・床を解体し，早期からサーキュレーターによる乾燥を行った。1回目の浮遊真菌濃度が高いことから消毒がされた。No.8の住宅に関しては，リビングのみ壁の解体をし，繊維系の断熱材を取り除いていた。また，1回目の訪問時以前に床下の消毒を行っていた。

測定では，浮遊真菌の捕集はエアーサンプラー（BIO SAMP MBS-1000D，ミドリ安全）を使用した。PDA培地^{注1)}とDG18培地^{注2)}に定風量を吹き付けて，空気中に含まれる胞子を採取し，インキュベータ内で25℃，約5日間の培養を行い，コロニー数を計測した。付着真菌は粘着テープ（Tegaderm，3M）を用いて回収し，テープに付着した真菌を

表-1 住宅概要

住宅 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
構造	木造	木造	木造	木造	木造	木造	木造	木造	木造	木造
築年数 [年]	25	53	不明	不明	1	6	不明	不明	不明	35以上
床工法	根太工法	根太工法	根太工法	根太工法	剛床構法	剛床構法	根太工法	根太工法	根太工法	根太工法
床土間コンクリート	あり	なし	なし	なし	あり	あり	なし	なし	なし	なし
床下換気	換気口	換気口	換気口	換気口	基礎パッキン	基礎パッキン	換気口	換気口	換気口	換気口
断熱材の種類 (壁・床)	繊維系 繊維系	繊維系 なし	なし 発泡系	なし なし	繊維系 なし	繊維系 なし	不明 繊維系	繊維系 発泡系	不明 発泡系	繊維系 繊維系
解体 (壁・床)	なし あり (和室のみ)	なし あり	なし あり	あり あり	あり なし	あり あり	なし なし	あり (リビングのみ) なし	なし なし (畳除去のみ)	あり あり (床板全て撤去)
床面からの浸水深さ [cm]	床下浸水	20	20	30	10	10	床下浸水	20	10	30
被害判定	一部破損 (床下浸水)	中規模半壊	未確定(9/24)	未確定(8/27)	未確定(9/23)	中規模半壊	一部破損 (床下浸水)	中規模半壊	半壊	中規模半壊
復旧 (最終確認日) 避難状況	完了(9/24) 在宅	完了(9/24) 在宅	未完了(12/9) 在宅	未完了(8/27) 在宅	完了(10/9) 在宅	未完了(1/27) 在宅	未完了(10/15) 在宅	完了(10/24) 避難(賃貸)	未完了(9/24) 在宅	未完了(9/24) 避難
サーキュレーター等による床下空間の乾燥 (乾燥開始日)	あり(7/30)	あり(7/30)	あり(7/30)	なし	床下エアコン	あり(7/21)	あり(9/10)	なし	なし	扇風機
消毒の有無 (実施時期)	あり(9/22)	なし	なし	なし	あり(9月中旬)	あり(9月上旬)	なし	あり (9/9以前)	なし	なし

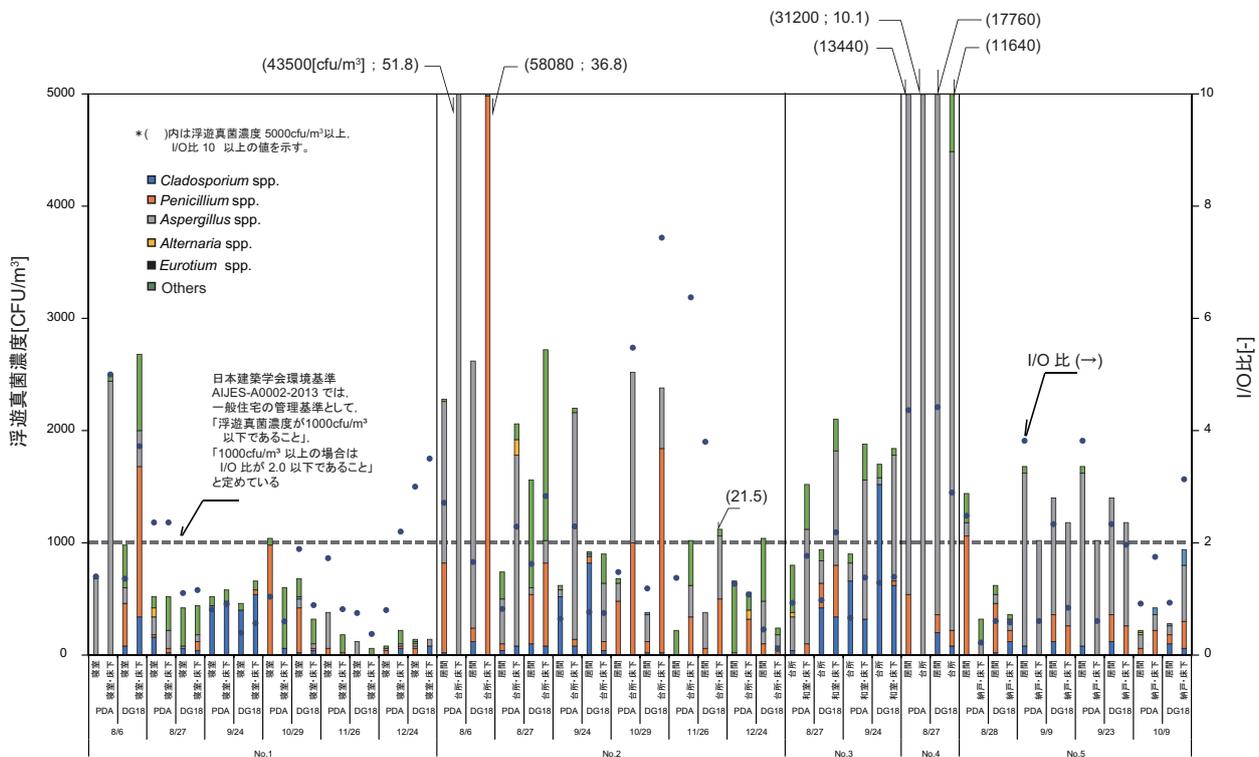


図-1 浮遊真菌濃度とI/O比の測定結果 (No.1 ~ No.5)

DG18 培地の表面に移し替えた²⁾。その後、浮遊真菌と同様に培養し、コロニー数を計測した。

3. 調査結果

図1, 2にそれぞれ No.1~No.5, No.6~No.10の浮遊真菌濃度とI/O比^{注3)}の測定結果を示す。結果を見ると、浮遊真菌の計測を複数回実施している住宅 (No.1, No.2, No.5, No.6, No.8) に関して、時間経過とともに浮遊真菌濃度が低下していることがわかる。特に、被災直後の浮遊真菌濃度は多くの

住宅において、環境規準値^{注4)}を大幅に超える結果であった。しかし、被害から半年以上経過した現在、多くの住宅が環境規準値を下回る結果になっていることがわかる。No.2の住宅では、1回目の測定において、規準値を大幅に超える浮遊真菌濃度であったが、2回目で規準値は超えているものの大幅に減少した。この住宅では、消毒を実施していないが、サーキュレーターを用いたことで床下の乾燥が促進されたことが真菌濃度の低下に繋がったと考えられる。

それぞれの住宅において図1, 2から浸水直後の

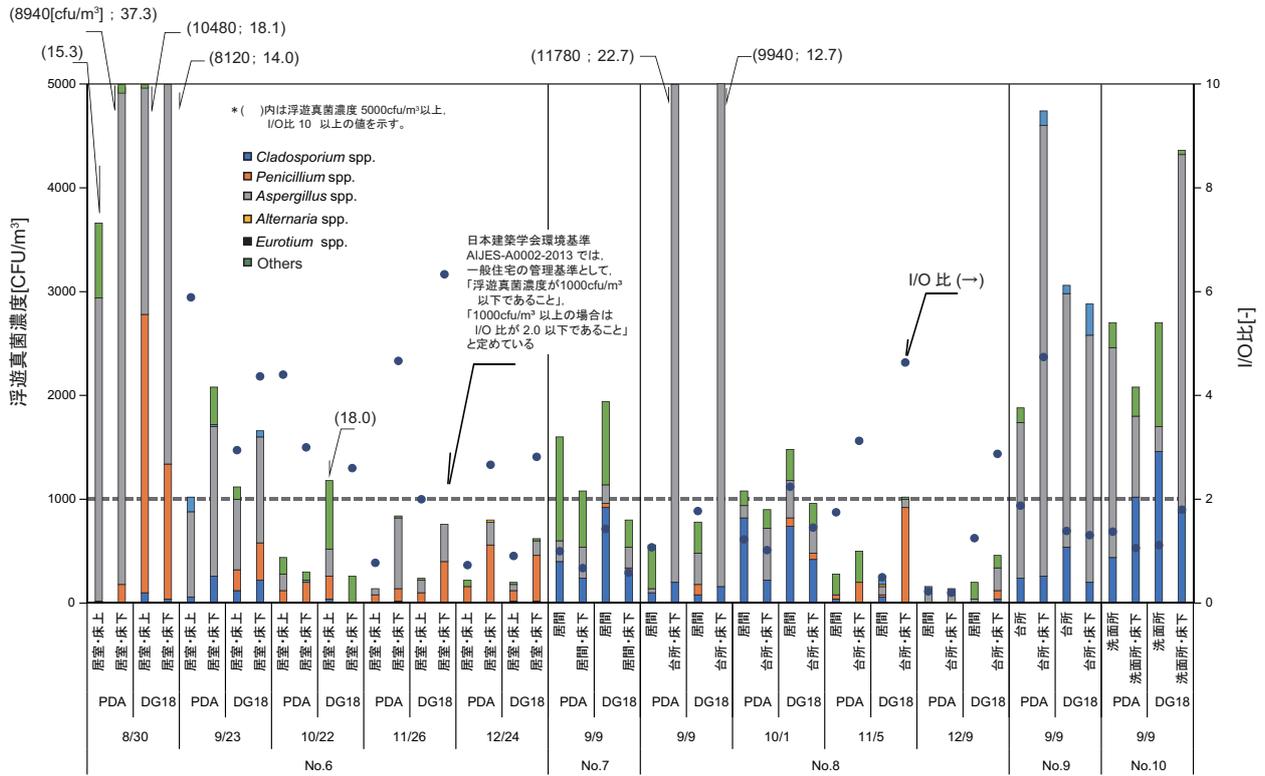


図-2 浮遊真菌濃度とI/O比の測定結果 (No.6 ~ No.10)

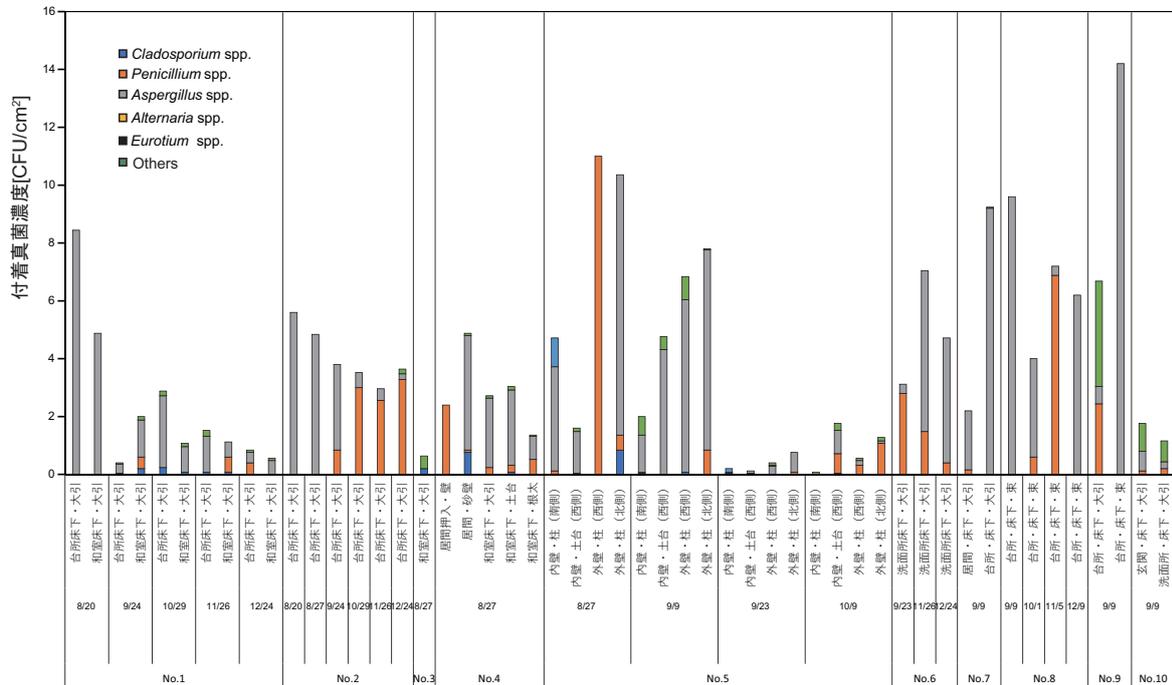


図-3 付着真菌濃度の測定結果 (No.1 ~ No.10)

真菌種を見ると *Penicillium spp.* *Aspergillus spp.* が大半を占めていることがわかる。ここで、床下の真菌濃度に関して、同じ培地の DG18 について、図 3 の付着真菌濃度の結果と比較すると、全体的に見て浮遊真菌濃度が高い真菌種が付着真菌濃度も高い傾向が確認できる。しかし、No.2 の住宅の結果を見ると、必ずしも真菌濃度が高い菌種が一致するわけではないことから、外気や周囲の環境にも左右されていることが窺える。

図 3 に関して消毒を実施した No.1 と No.5 は、消毒後の付着真菌濃度が大幅に減少している。消毒を実施していない住宅に関しては、大きく減少している様子は見られなかった。また No.6 については、消毒を実施しているが、消毒以前の付着真菌濃度が計測できておらず、消毒前後での付着真菌濃度の変化は不明である。

図 1, 2 と図 3 の結果を照らし合わせると、付着真菌濃度が低いにも関わらず、浮遊真菌濃度が高い住宅は見られなかった。また、付着真菌濃度が高い住宅において床下の浮遊真菌濃度が高い傾向が見られた。ただし、No.2, No.6, No.10 の浮遊真菌濃度と付着真菌濃度を比べると、付着真菌濃度は経時変化していないものの床下の浮遊真菌濃度が減少していることがわかる。つまり、付着真菌濃度が高くても必ずしも浮遊真菌濃度も高くなるわけではない。これは、付着真菌濃度が高くてもそこから孢子が飛散していない状況が窺える。しかし、真菌の繁殖は確認できるため、今後の動向に注視する必要がある。特に、冬期間はカビの成長が抑制されやすいため、春先のカビが成長しやすい時期になった際に再度、浮遊真菌濃度と付着真菌濃度を計測し、状況を確認する必要があると考える。ここまでの調査より、消毒を実施した住宅において付着真菌濃度が大きく低下したことが確認できたため、付着真菌濃度が高い状態にある住宅においては、今後の計測結果に基づいて、消毒を検討することが重要であると考えられる。

4. まとめ

本報では、住宅概要と浮遊真菌濃度、付着真菌濃度を調査し、その結果を示した。床下の木材表面の付着真菌濃度が高い住宅において、浮遊真菌濃度が高い傾向にあった。ただし、付着真菌濃度が高くても孢子が飛散していない可能性もあり、その結

果、浮遊真菌濃度が高くないことも確認された。また、消毒前後での付着真菌濃度の結果から、消毒による付着真菌濃度の低減効果が見られた。

また、今後も継続して被災現場に赴き、測定を重ねることで迅速な復旧に資する情報を整理していく予定である。

謝辞

研究における実測調査を実施するにあたって、関係各位にご理解と多大なる協力をいただいた。

なお、本研究は、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認（承認番号 県大地研－298 号）を得て実施している。

注釈

- 注 1) PDA 培地とは、好湿性寒天培地であるポテトデキストロース寒天培地の略称である。
 注 2) DG18 培地とは、好乾性寒天培地であるジクロラングリセロール寒天培地の略称である。
 注 3) I/O 比とは、室内濃度を屋外濃度で割った比率を示す。日本建築学会環境基準 AIJES-A 0002-2013 では、「1000cfu/m³ 以上の場合は I/O 比が 2.0 以下であること」と定めている。
 注 4) 環境規準値とは、住環境において要求される最低限の値のこと。日本建築学会環境基準 AIJES-A0002-2013 では、一般住宅の管理基準として、「浮遊真菌濃度 1000 cfu/m³ 以下であること」と定めている。

参考文献

- 1) 長谷川兼一, 中谷岳史: 浸水被害を受けた戸建住宅の浸水後の復旧方法と真菌濃度に関する文献調査 — 令和 3 年 8 月に発生した佐賀県六角川周辺地域の被災地を対象として — 日本建築学会東北支部研究報告集 計画系, 第 85 号, pp1~4, 2022 年 6 月 .
- 2) G. Fan , J. Xie , H. Yoshino , U. Yanagi , K. Hasegawa , N. Kagi, J. Liu : Environmental conditions in homes with healthy and unhealthy schoolchildren in Beijing, China , Building and Environment vol.112 , pp.270-284 , 2017.

教科横断的な防災学習のための避難所用ダンボールルームの活用

○平賀千優（宮城教育大学），菅原正則（宮城教育大学）

Applying the Corrugated Containerboard Room for Refugees to Subject-integrated Disaster Prevention Learning

Hiraga Chihiro (Miyagi University of Education),
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education)

キーワード：防災教育，小学校，住教育，伝承

はじめに

日本は，地理的条件から地震等の自然災害が多い。その際の人的被害には，災害発生時の直接的な被災以外に，避難生活の「肉体的・精神的疲労¹⁾」による災害関連死も挙げられる。その解決のために，鶏徳ら²⁾は，使用済みダンボールを用いた避難所用ダンボールルームの製作方法を提案しているが，現状では十分に活用されていない。

文部科学省³⁾が示した『『生きる力』を育む学校での安全教育』における防災教育のねらいでは，学校で児童の防災意識を高めるための指導が求められている。また同省のヒヤリング調査⁴⁾では，現在の学校教育において，各教科等で防災を含む安全に関する指導や学習が行われているものの，時数が足りず，それらを繋ぎ合わせる活動が十分でないという課題が見えてきた。

そこで本研究では，小学校の授業において，防災への興味関心を高め，これからの時代に求められる災害対策についての学びを深めるための，教科横断的な防災学習を検討する。特に，避難所用ダンボールルームの活用を中心に，各教科に対応させたカリキュラムを提案する。

1. 東日本大震災伝承活動調査報告書にみる災害に対する意識の変化

(公社) 3.11 メモリアルネットワーク⁵⁾による経年調査報告に基づいて，東日本大震災の被災3県(岩手～福島)における伝承活動の状況を分析した。

1.1 災害学習プログラム

語り部活動やフィールドガイド等の活動に関する災害学習プログラムは，実施団体数が増加する一方，参加者数(オンラインを含む)は減少傾向

にあり，ピーク時である2013年の25.5万人に対して，2021年には13.3万人となっていた。

1.2 震災伝承施設

災害関連の展示施設，または一部の空間で展示を行う施設への来場者数(来訪目的が展示見学でないものも含む)は，被災後徐々に増加し2018年には60.0万人に達したが，これには施設数の増加による影響も含まれる。そこで，施設ごとに，開設2年目の来場者数を100%として来場者数の割合を求めると，全体的に開設初期よりも減少する傾向にあった(図-1)。

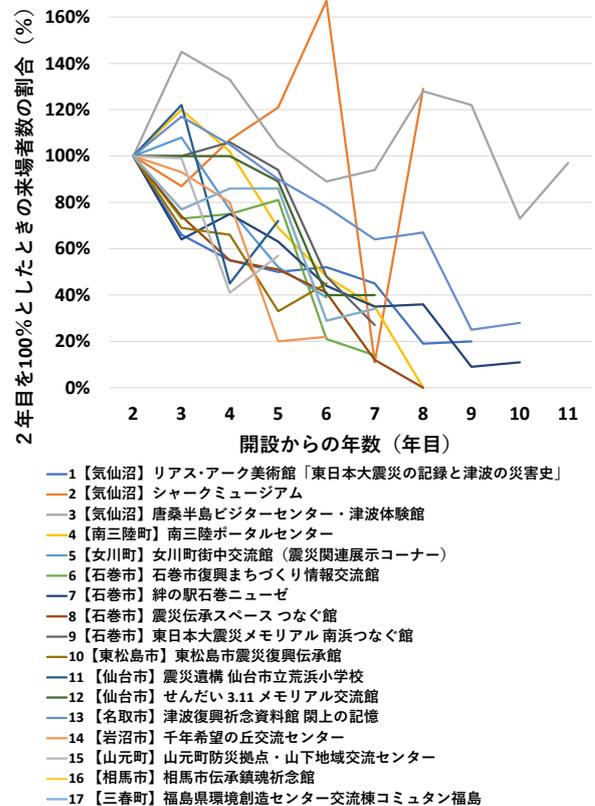


図-1 来場者数の割合の変化

1.3 学校における防災学習の意義

本章の分析結果から、災害発生後は年々社会的な関心が薄れると推測される。松賀ら⁶⁾によれば、災害体験学習は、小学校児童の防災に対する興味を高め、防災に関する知識や意識を向上させるために有効である。また、時間経過とともに児童の防災に対する意識の低下が見られたことから、定期的な防災学習の機会を有効に活用することが意識風化を防ぐために重要だと提言している。次の自然災害に備えるためにも、学校教育の中で日常的に防災学習を行うことに意義があると言える。

2. 小学校の授業を想定したダンボールルームの製作方法

本研究では、ダンボールルーム製作の難易度や各教科の内容を考慮し、対象学年を小学校5年生としてカリキュラムの提案を行う。授業提案に先立ち、鶏徳ら²⁾のダンボールルームの製作方法を次のように改良し、再現性を高める。

2.1 壁パーツの製作方法

小学校教室で一般的に使用されているJIS企画機の天板が65×40cmであることを踏まえ、壁を構成するダンボールの部品（以下壁パーツ）を、40×40cmの正方形で統一する。これにより、ダンボールルームの設計段階で、壁パーツの使用枚数も算出可能になるため、教師側の準備物や作業過程などの見通しを持ちやすくなる。

2.2 壁パーツの接続方法

壁パーツを配置および固定する時は、ダンボールの中芯(フルート)の向きを縦横互い違いにし、剛性を確保する。また重ねる際は、ダンボールルームの内側から見てZ字を描く順とし、その「重ねしろ」を5cm確保することで、外から内の様子を見えにくくする。壁パーツを使用済みダンボール箱から切り出した場合は、その印字面を内側にして外観を無地にする。

2.3 ダンボールルームの寸法の設定

小学5年生の身長(2023年度平均で男子139cm、女子141cm)を考慮し、奥行180×幅145×高さ110cmの寸法とする。これは、壁パーツにして奥行5枚×幅4枚×高さ3枚に相当する。これにより、作業高さが目線より高くなり過ぎず、完成後にダンボールルーム内で過ごす体験も可能となる。

3. 防災学習カリキュラムの学習指導要領における位置付けの検討⁷⁾

本研究で提案する防災学習カリキュラムは、小学校の授業で学ぶ内容として、次のように位置付けられる。

3.1 社会科

教科内容5項目のうち、「(5)我が国の国土の自然環境と国民生活の関係」をカリキュラムで押さえる内容とする。学習指導要領解説には、イ(ア)について、「自然災害が発生しやすい我が国においては、日ごろから防災に関する情報に関心をもつなど、国民一人一人の防災意識を高めることが大切であることに気付くように配慮することが大切である」と示されている。ダンボールルームの製作および体験活動が、社会科での日本の災害や災害対策に関する学びを深めるための教材と位置づけられれば、ダンボールルームの製作活動を社会科としてカリキュラムの中に取り入れることは妥当であると考えられる。

3.2 国語科

育成を目指す資質・能力について、知識および技能に関する事項のうちの「(2)情報の扱い方に関する事項」における「ア情報と情報の関係」「イ情報の整理」と、思考力・判断力・表現力等に関する事項のうちの「A聞くこと・話すこと」「B書くこと」における「ア題材の設定、情報の収集、内容の検討」「イ構成の検討」「ウ表現、共有」を当カリキュラムで押さえる内容とする。国語の題材と防災教育を関連させ、得られた情報を活用しながら、他教科での学びを加えて考えたことを表現し伝える活動は、国語的な力を育みながら、防災知識を伝承することも期待できると考える。

3.3 家庭科

教科の「C消費生活」の内容2項目のうち「(2)環境に配慮した生活」をカリキュラムで押さえる内容とする。学習指導要領解説には、ねらいとして「環境に配慮した生活について、課題をもって、自分の生活と身近な環境との関わりについて理解し、ものの使い方などに関する基礎的・基本的な知識を身に付け、環境に配慮した生活の工夫を工夫すること」と示されており、ダンボールを題材として、使用から処分まで適切な方法で行えるよう指導する必要があると考える。

4. 模擬授業の実施と分析

ダンボールルームの製作および体験活動についての模擬授業を、2023年12月18および25日の「生活系教育概論(月曜2限)」において、宮城教育大学の1年生11名に実施した。この授業を通じて、受講者に与える学習効果、必要時間数、および改善点を把握することが目的である。

4.1 模擬授業の実施概要

模擬授業の流れは、「授業前のアンケートの実施」「基礎知識の講義」「ダンボールルームの製作」「避難所疑似体験」「授業後アンケートの実施」で行った。アンケートは、授業前後での受講者の回答を比較するために同じ質問とし、その内容は、生活環境づくりにおいて「自分にできることがあると思うか」というスキル面と、「自分のもっているスキルを積極的に活用しようと思うか」という意欲面を尋ねる質問とした。回答は、自己評価で0(全くそう思わない)～10(強くそう思う)の11段階で点数化した。さらに、スキル面については自分にできると思うこと具体例、意欲面についてはその数値に至った理由を、それぞれ自由記述してもらった。

4.2 授業アンケートの分析

授業の前後における、スキル面と意欲面の自己評価の変化を、図-2に示す。平均値は、スキル面/意欲面ともに授業前(4.5/6.8)に比べ、授業後(9.0/9.3)の方が高くなった。分布の状況を見ると、授業前は広い範囲に分散したのに対し、授業後は高い値に収束した。授業後の自己評価が高い値に変化したことは、ダンボールルームの製作活動が受講者に与えた学習効果だと考えられる。

スキルの具体例について、授業前は「ボランティア」「力仕事」「居住空間の快適化」など抽象的な記述が多かった。しかし、授業後は具体性のある記述に変化し、その例で特に「ダンボールルーム」を挙げている人が多かったことから、授業で製作方法を知り、自分のスキルになったと感じているということが窺える。さらに「床の硬さを軽減させる」と、疑似体験を通して見つけた問題点を改善しようとする回答も見られた。

意欲面の理由を見ると、授業前は、参加の意欲はあるものの、実際に行動を起こす上での不安を抱えている人がいることが分かった。また、記述の多くで「快適な避難所生活を送りたい」「実践してみた

い」など「～したい」という願望が見られ、それが意欲を引き出す大きな要因になっていることが窺える。授業後には「自分にもできそう」「一度やった経験は大きい」「役に立つものが作れそう」など、模擬授業での経験を根拠とする理由が多く見られた。授業の前後で記述の内容が、単なる願望から根拠を持った可能性に変化したといえる。

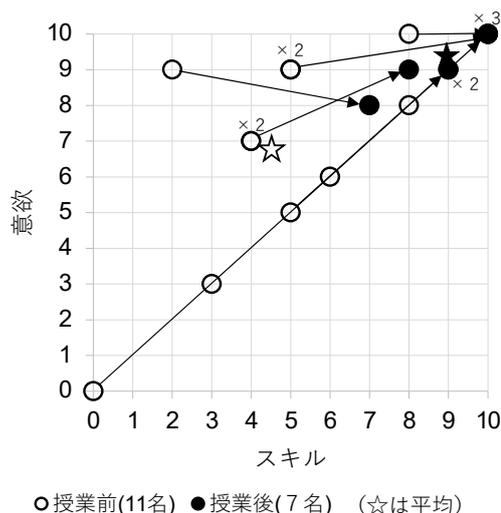


図-2 スキルおよび意欲の自己評価とその変化

4.3 指導の流れや作業手順の改善

受講者から挙げられた改善点はまず、ダンボールに穴を開ける方法であり、安全を確保するための作業方法や説明の仕方を工夫する必要がある。

また、接続箇所数や壁パーツの大きさの改善を求める意見もあった。新品の板ダンボールを使用する場合は、1枚当たりの壁パーツを大きくして作業負担を減らすことも可能である。しかし、使用済みダンボール箱から切り出して使用する場合は、元の箱の大きさが充分でなければならず、机上での作業の安全性も考慮すると、40cmが最大であると考えられる。

授業の中での補助資料として製作物の見本となる模型を用意したが、これに対しては、「分かりやすかった」という意見があった。

作業時間について、説明や片付けの時間も考慮すると、45分授業を基本とする小学校では4時限分確保する必要があるということが分かった。模擬授業の結果を踏まえて、防災学習カリキュラムを表-1のように提案する。その中の時数8～11「ダンボールルームを作ってみよう」がダンボールルームの製作および体験活動の内容である。

まとめ

本研究では、小学校5年生を対象として社会、国語、家庭科の教科横断的に実施される、ダンボールルームの活用を中心とした防災学習カリキュラムを提案した。特に、避難所用ダンボールルームの製作方法の改良と、その製作活動により受講者のスキルや意欲を高める効果の確認を行った。このカリキュラムが学校教育などで日常的に活用されれば、防災への意識風化の防止が期待される。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 23K01958 (代表 菅原正則) の助成を受けました。

参考文献

1) 復興庁:東日本大震災における震災関連死に関する報告, 2012.8.21, https://www.reconstruction.go.jp/topics/20120821_shinsaikanrenshihouku.pdf (2023.12.14.参照)

2) 鶏徳真衣, 菅原正則:多様な形状の材料を用いた避難所用ダンボールルームの提案, 空気調和・衛生工学会東北支部第5回学術・技術報告会論文集, 2016.3, pp. 135-138
 3) 文部科学省:「生きる力」を育む防災教育の展開, 2013.10
 4) 文部科学省:防災教育を含む安全教育の指導時間の確保の方策について, 2014.9.22, https://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo5/012/gijiroku/_icsFiles/afieldfile/2014/09/22/1352075_02.pdf (2024.1.25 参照)
 5) 3.11 メモリアルネットワーク:2021 年 東日本大震災伝承活動調査報告書, 2022.10
 6) 松賀信行, 糸井川栄一:防災教育施設での児童の防災体験学習が児童とその保護者に与える効果に関する研究—本所防災館を対象として—, 地域安全学会論文集, No. 31, 2017.11, pp. 125-135
 7) 文部科学省:小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 社会編, 国語編, 家庭編

表-1 提案する防災学習カリキュラム

時数	社会科(7時間) 【自然災害とともに生きる】			国語(11時間) 【知りたいことを聞きだそう】 【防災ポスターを作ろう】	家庭科(2時間) 【環境に配慮した暮らし】
	社	国	家	小単元名	本時のねらい
1	○			日本の災害について考えよう	自然災害の発生と環境条件の関係を捉えることができるようにする
2	○				起こり得る被害や困難を予測し、備え方を考えることができるようにする
3		○		インタビューに向けて準備しよう	質問する時の留意点や配慮事項を理解することができるようにする
4		○			聞きたい情報に優先順位をつけ、整理することができるようにする
5/6		○		インタビューをして知りたいことを聞きだそう	メモ等を活用して、情報を聞き逃さないように話を聞けるようにする
7		○		インタビューを振り返ろう	得られた情報を繋ぎ合わせながら振り返り、自分の考えを持つことができるようにする
8/9	○			ダンボールルームを作ってみよう	ダンボールルームの作り方を理解することができるようにする
10/11	○				避難所の疑似体験から災害対策を自分事として考えることができるようにする
12	○			防災について考えよう	日常的な備えの重要性に気付き、自分でできる備えを考えることができるようにする
13		○		ポスター作りの工夫を読み取る ポスターを作成しよう	ポスター制作の工夫とそれを活用することによる利点を理解することができるようにする
14		○			情報の適正性を判断し、必要な情報を選別することができるようにする
15		○			全体の見通しを持ちながら構成メモを作れるようにする
16/17		○			ポスターの工夫と使用の意図を結び付けながら適切に活用にとめることができるようにする
18		○		発表会を開こう	ポスターの工夫点や良さに気付き、互いに伝えあうことができるようにする
19			○	分別について考えよう	3Rについて理解できるようにする
20			○	身の回りの資源を大切に	資源を適切に分別・処理し、責任を持つてものを使うことができるようにする

空調設備における BIM 設計システムの軽量化に関する研究

その3 設備データベースとの連携

○劉瀛, 佐々木梨陽, 許雷 (東北工業大学)

Development of a Lightweight BIM System for HVAC Design
Part 3 Connection with HVAC database

Ying Liu, Rio Sasaki, Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：自動接続, 軽量化, ダクトシステム

はじめに

前報^{1),2)}に続き、本報では、空調設備における BIM 設計システムの軽量化の実現に向けて、Three.js を用いて外部の設備データベースと連携し、視点からオブジェクトまでの距離に応じたデータ軽量化技術を活かして軽量型ダクトシステムの設計ツールを構築する。

1. 軽量型空調設備 BIM 設計ツールの提案

既存の BIM ソフトウェアは 3次元ベースで図形データを作成しているため、データ容量が膨大であり、BIM 図面を開くのに時間を要する。本研究はオープンソース JavaScript ライブラリ Three.js を用いて、2次元操作を中心に軽量型空調設備 BIM 設計ツールを提案する。

2. 軽量化モデルの提案

2.1 距離に応じたモデルの表現方法

本研究では、視点からオブジェクトまでの距離に応じたデータ軽量化技術を用いて、計算されたカメラとモデルの距離に基づいて、普通モデルと軽量化モデルを適応的に切り替える³⁾。図1に示すように、カメラとモデルの距離が指定された臨界距離よりも小さい場合、モデルがシーンに表示される。距離が設定された臨界距離を超えると、軽量化モデルに切り替えて表示される。普通モデルは通常、外接する直方体の輪郭として表示されるが、エルボや継手などの場合、より簡潔な線で表示することができる。

2.2 設備データベースの作成

本研究では、Revit 2023 で出力された空調設備や継手などの IFC ファイルを参考にし、設備要素のデータベースを構築する。また、オープンソ

ースの解析ライブラリ IfcOpenShell⁴⁾を利用して各要素のジオメトリデータを解析し、Three.js のシーンに表示する。

2.3 ダクトと設備の接続

(1) エルボとダクトの自動作成

ダクトと設備を接続する際、ダクトと設備要素の高さを自動的に計算し、接続部に垂直方向のダクトを自動的に作成できる。同時に接続されたダクト間のエルボも自動的に作成できる。図2示す

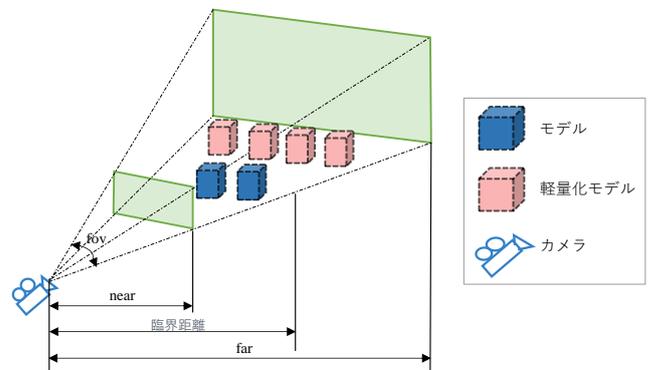


図-1 距離に応じた図形表現

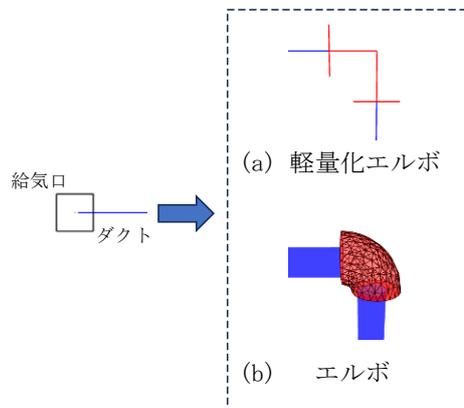


図-2 エルボとダクトの自動作成

ように、軽量化エルボとエルボがそれぞれ表示されている。

(2)クロス継手などの自動作成

複数のダクトが交差し結合する場合、交差位置に対応する継手を自動的に作成できる。また、接続したダクトを自動的に切断できる。図3に示すように軽量化継手とクロス継手がそれぞれ表示されている。

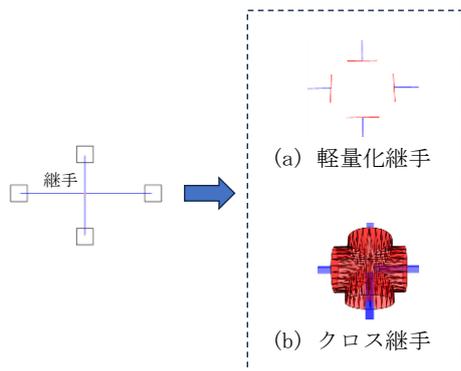


図-3 クロス継手の自動作成

2.4 システムの構築

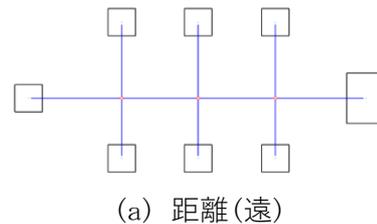
視点からオブジェクトまでの距離に応じたデータ軽量化技術を活かし、カメラと設備要素の距離に応じて異なる状態のジオメトリ形状を表示できる。図4と図5に示すように、ダクトシステムの2次元と3次元インターフェースがそれぞれ表示されている。

まとめ

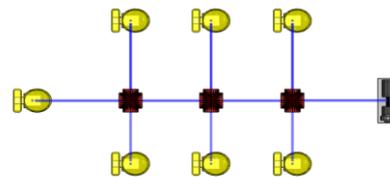
本研究では、BIM 設計ツールの軽量化に着目し空調設備設計ツールの構築を行った。さらに、Revit を用いて設備要素の IFC データを作成し、Three.js で読み込める設備データベースを構築した。また、視点からオブジェクトまでの距離に応じたデータ軽量化技術を活かし、カメラと設備要素の距離に基づいて異なるジオメトリ形状を表示した。今後は、既存 BIM ソフトウェアと比較し、データの軽量化を評価する。また、設備設計者・施工者へのヒアリング調査などを通じて提案した BIM 設計ツールの操作について改善を行う。

参考文献

1) 許 雷, 劉 瀛: 空調設備における BIM 設計システムの軽量化に関する研究 その1 既存 BIM ソフトウェアの調査及び提案概要, 日本建築学会

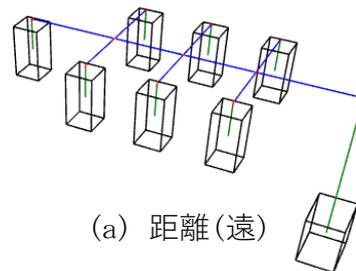


(a) 距離(遠)

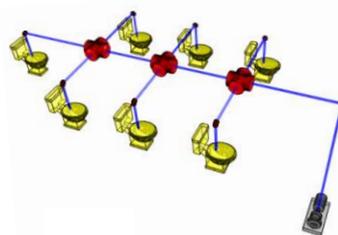


(b) 距離(近)

図-4 2次元ダクトシステム (2D 作業面)



(a) 距離(遠)



(b) 距離(近)

図-5 3次元ダクトシステム (3D 作業面)

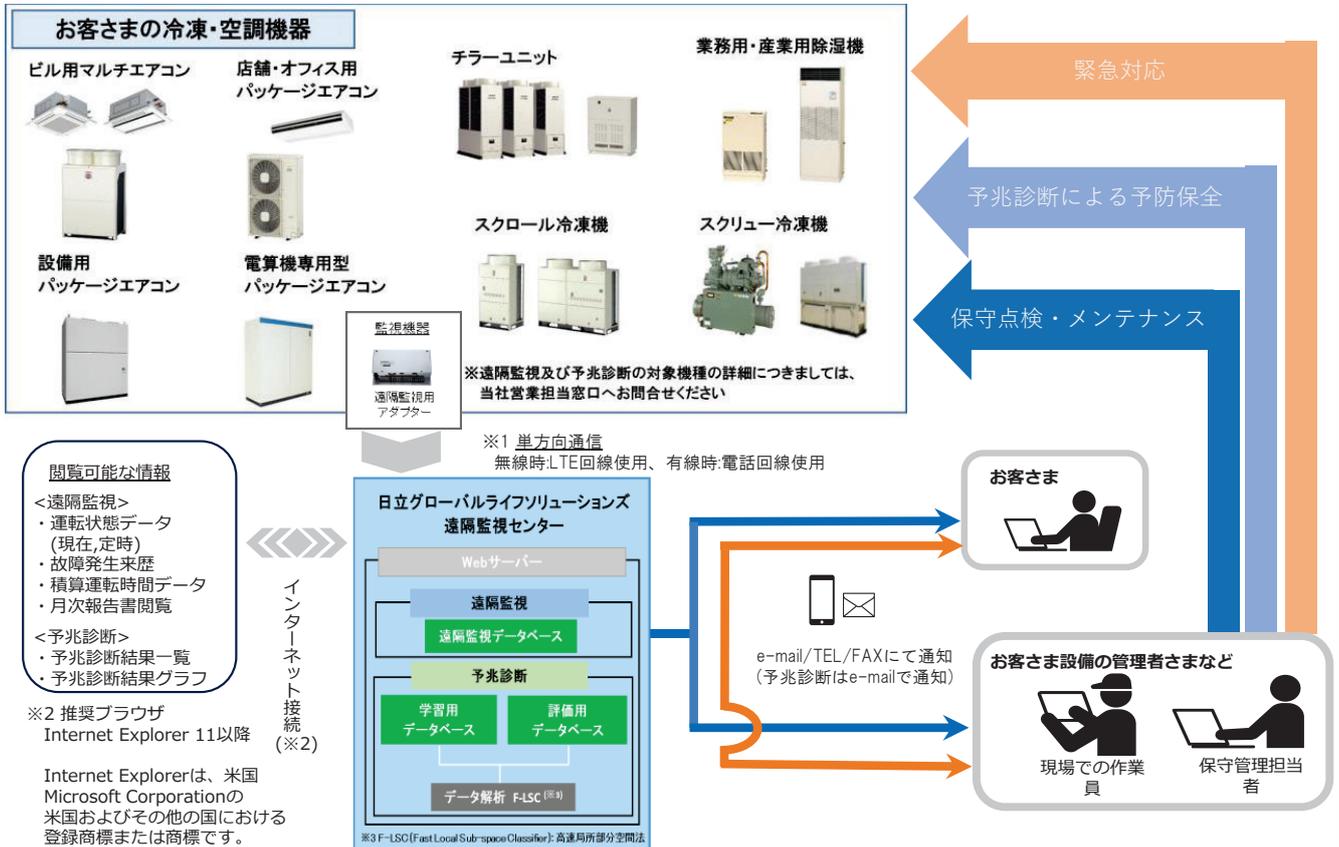
大会学術講演梗概 2023, p. 83-84

2) 劉 瀛, 許 雷: 空調設備における BIM 設計システムの軽量化に関する研究 その2 ダクト設計用 BIM ツールの構築, 日本建築学会大会学術講演梗概 2023, p. 85-86

3) Varduhn, Vasco, Mundani, Ralf-Peter, Rank, Ernst: Real Time Processing of Large Data Sets from Built Infrastructure, J Syst Cybern Inform No. 9, p. 63-67

4) IfcOpenShell Team, <https://ifcopenshell.org/>(参照日 2024/2/5).

「exiida遠隔監視・予兆診断」は、冷凍・空調機器をインターネット上の当社クラウドサーバーへ接続し、膨大なデータを蓄積・分析することで、さまざまなサービスを提供します。これらのサービスはお客様の設備に関する維持管理コストの抑制をサポートします。



遠隔監視の効果

迅速な対応	運転状態を24時間監視し、故障発生時はすぐにお客様へ通知します。また、直前の運転データを確認し訪問することで、迅速な修理対応が可能となります。
設備管理の省力化	運転データをデータベース化します。運転状態の記録管理など、設備管理の上で省力化が図れます。

予兆診断の効果

事業機会の損失抑制	予兆診断技術(※)により、故障につながる変化 (=劣化の進行)を検知。検知結果による予防保全を行うことで、不稼働時間が短縮され、事業機会の損失を抑制できます。 ※予兆診断対象範囲は冷凍サイクルに起因するものに限りです。
維持管理コストの抑制	予兆診断の結果にもとづく適切なタイミングで保守整備を実施。これにより重故障化を抑制し、維持管理コストを抑制できます。

働き方改革のご提案



働き方改革

省設計

不要です!

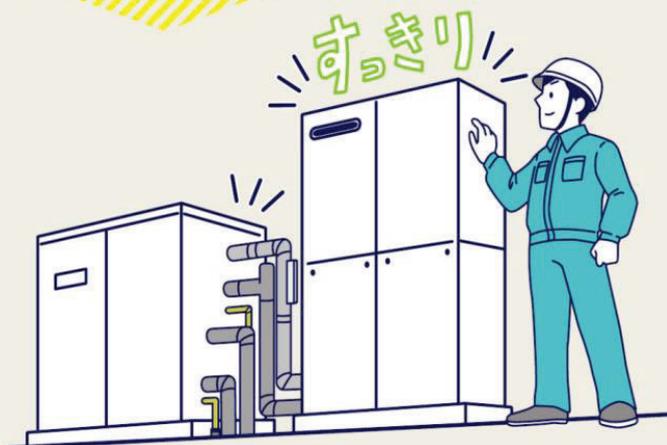
ポンプ等部材の選定
ポンプまわりの図面作成

省施工

ポンプ周りをユニット化している
から機器の設置のみで完了!

省スペース

美観向上



ノーリツのろ過システムなら、設計・施工の手間と時間の削減に貢献します。

ろ過ユニット

+

昇温熱源機

+

ろ過昇温ポンプユニット

機器のメンテナンスもメーカー1社で完結!

組立配送の流れ

STEP 1

ご発注



STEP 2

組立(ノーリツ指定工場)



STEP 3

配送(ノーリツ手配)



STEP 4

現場で車上渡し



STEP 5

吊上げ・横持ち



STEP 6

設置



排水温度を低下させ配管施工の省力化に貢献

1. はじめに

近年、建築設備業界における人員不足ならびに資材の高騰は収益を圧迫する大きな要因であり、工数削減、コストダウンは設備設計者、管理者にとって重要課題となっている。

このような市場要求に対応するため、当社では電熱式蒸気加湿器に新たなオプション仕様「WM-SJB-TAタイプ」をラインアップした。



SJB-TAタイプ（本体取付架台付き）

2. 概要と特長

SJB-TAタイプは、リレーおよびタイマーリレーを搭載した加湿器本体と、冷却水用の給水ユニット（給水機構）が付属された排水ボックスを接続し、加湿器からの排水温度を低下させる当社電熱式蒸気加湿器SJBタイプのオプション仕様である。

加湿器からの排水を一度排水ボックスに流し、冷却水と混ぜることで、排水温度を45℃未満（加湿器の定時排水時および排水ボックスへの冷却水温度が25℃以下の場合）まで低下させる仕組みとなっている。

主な特長は次の通り。

①排水配管の施工簡略化、コストダウン

塩化ビニル管・継手協会(JPPFA)の技術資料では、『屋内排水管路は、（中略）常用45℃未満での使用とする』ことを推奨している。排水温度が45℃未満である本製品においては、塩ビ素材の配管も使用可能となり、コストダウンや施工の簡略化・時間短縮といったメリットを享受することができる。

②法順守の面でのメリット

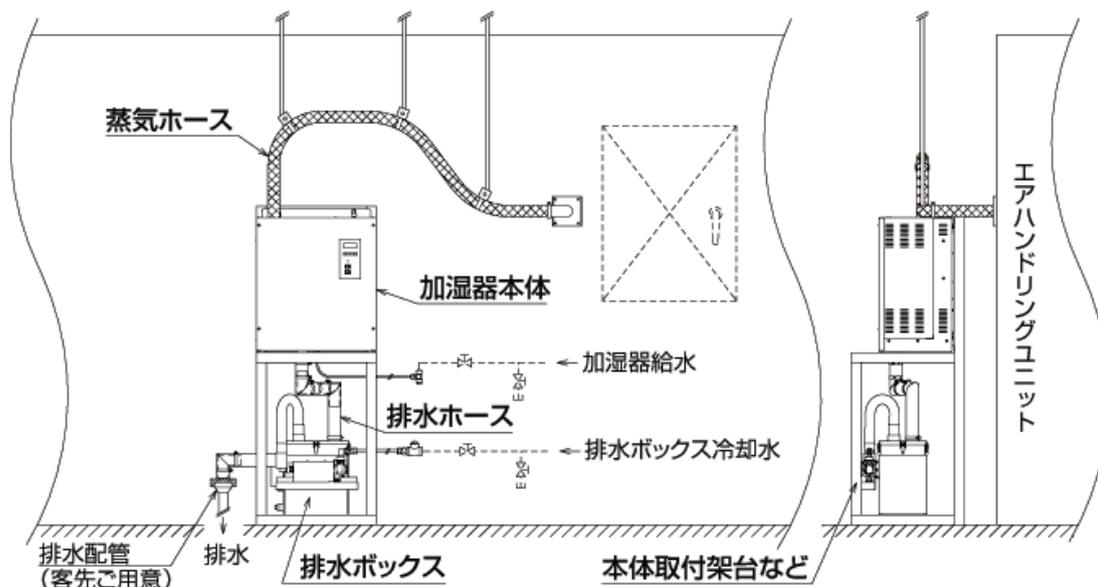
下水道法および空気調和・衛生工学会の技術資料(SHASE-S 206-2019)には『高温排水は45℃未満に冷却した後、排水管へ排出する。』と記載がある。昨今のコンプライアンス推進の風潮により、現場においても法令を順守した機器の運用が厳しく求められる傾向にあるが、本製品は上記の基準にも適合しており、法順守の面からも安心して使用することができる。

③万一の場合に備えて警報機能を搭載

現場での断水や排水ボックス用給水ユニット（給水機構）の故障などにより、万が一冷却水が供給されず排水ボックスからの排水温度が上昇した場合、警報を発報し運転および排水を停止する機能を搭載。不測の事態においても、排水温度上昇による配管の劣化、破損を防ぎ、漏水などの重大な事故が発生しないように設計されている。

3. おわりに

蒸気式加湿器で排水温度を低下させることはどの現場でも求められることが多い。本製品を使用させていただくことで、現場のニーズに応え、施工者の負担削減に貢献できれば幸いである。



SJB-TAタイプ設置イメージ図

空気をデザインする会社

SINKO

場所や用途、能力に合わせてベストな設計ができる空調機

ヒートポンプ空調機Ⅱ

HEAT PUMP AIR HANDLING UNIT SERIES

自由設計

+

充実の
基本性能

で快適環境を創造する

●高断熱サンドイッチパネル

(ガレリウム樹脂)塗装しスcaf、ノンフロン発泡の発泡ウレタンを注入した、環境にやさしい高断熱パネル。

●オーダーメイドランナ方式

(ファンファン) 現場ごとに部屋数・容量に合わせたオーダーメイドランナ方式で、最適化を実現。

●動力制御盤

様々なシチュエーションに合わせた多彩な空調システムに対応。

●高効率室外機

DCインバータ圧縮機、DCファンモータを採用し、省エネルギーを実現。

●ステンレス製メインフレーム

機内の錆の発生をなくするとともに、塗料使用量を削減。

●冷媒配管

最大配管長185m、最大高低差50mを可能にした自由曲のよい設備性。

●直配コイル

熱交換器をモジュール化することで、設計・製造方式を見直し、高品質を実現。

●加湿器

普通な種類の加湿器をラインナップし、必要に応じて湿度制御を実現。

多種多様な風量・静圧・能力設計に対応

空調機は最大80,000m³/hまで幅広くラインアップ。高静圧への対応も可能です。中規模ビルから体育館や工場等の大空間まで幅広く対応します。



冷媒容量制御による給気温度コントロール

負荷に応じた冷媒容量制御により、オーバーシュートやハンチングを抑え、高精度な給気温度制御を実現。湿度設定の変化にも高効率な運転を維持し省エネに貢献します。

※圧縮機回転数による冷媒容量制御



室外機は最大540馬力まで接続可能

室外機は8~54馬力をラインアップ、最大10台まで接続することで、540馬力相当の室外機接続が可能です。幅広い空気条件下での使用が可能です。



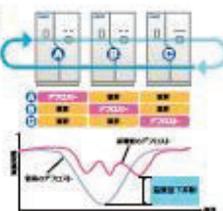
広範囲な風量制御に対応

設計風量の20%~100%まで広範囲な制御が可能です。低負荷時でも効率の良い空調で省エネに貢献します。

※コイル正面風速3m/sで設計値インバータの制御可能範囲内

デフロストローテーションにより給気温度の低下を抑制

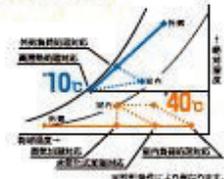
複数の冷媒系統室外機で順番にデフロスト運転を行うことにより安定した給気温度を保ち温度低下を抑制します。



除湿・加湿を多彩にコントロール

暖房時は40℃までの吹出しで外気低温時でも水気化式加湿器の使用が可能です。

冷房時は高潜熱処理対応として10℃までの吹出しが可能です。



空気をデザインする会社

SINKO

室外機一体型ヒートポンプ空調機

オクージオ

HEAT PUMP AIR HANDLING UNIT SERIES

短工期、施工費削減、メンテ性向上へ。
オールインワンになって登場

架台上に室外機を設置した高効率プラグファン
組込のオールインワン空調機
一体設計により、現場での施工期間を大幅に削減。
8馬力から32馬力まで、
豊富なバリエーションからお選びいただけます。



短工期
施工費削減

施工期間を短縮し
施工費削減に貢献します。

- 自社工場組み立て体制のため、現地では設置と電気設備工事のみ。
- 室内機と室外機をつなぐ冷媒配管工事や試運転調整は不要です。

省スペース
メンテ性向上

一体型の屋外設置のため
機械室が不要です。

- 建物内のスペースを有効に活用できます。
- 一体型のため、メンテナンス作業が集約できます。
- 屋外設置のため、居室内に入ることなく、メンテナンス作業を行えます。

多彩な
オプションと
運転制御

オプション部品との
組み合わせで多彩な制御を実現

- 耐塩害仕様、差圧スイッチ、加湿器の2段ステップ制御、タッチパネル制御など多彩なオプションと制御を用意しております。

採用事例



生産施設



商業施設

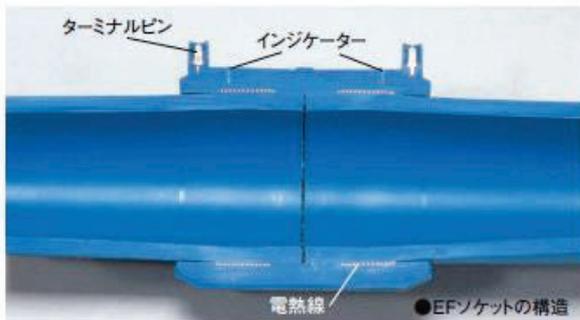


医療施設

エスロハイパーAW 水道用耐震型高性能ポリエチレン管

E F 接合 管と継手が一体化します

融着実演致します



最新の融着コントローラーを紹介します！



シリーズ最軽量

NTEF100

適用サイズ 20A~100A

重量6.5kg

NTEF500α

適用サイズ 20A~500A

重量10.6kg



西尾レントオール株式会社 製品

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	
14,823 名	33 名	50 名	278 名	15,184 名	478(社)	15,662 名

2023（令和 5 年）年 3 月末現在

【沿革】

- 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）
- 1927 年（昭和 2 年） “社団法人衛生工業協会” へと改称
- 1962 年（昭和 37 年） “社団法人空気調和・衛生工学会” へと改組
- 1973 年（昭和 48 年） 5 月 12 日 **東北支部設立**
- 2012 年（平成 24 年） 公益社団法人の認定を受け移行
- 2017 年（平成 29 年） 100 周年

【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】

倉淵 隆（東京理科大学・副学長）

【ホームページ】

<http://www.shasej.org/>

空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー

■東北支部運営委員 【令和5年度(第51期)】

役 職	氏 名	所 属
支部長	田原 誠	東北大学大学院工学研究科
副支部長 (総務・事業担当)	菅原 正則	宮城教育大学
副支部長 会計幹事	金田 清満	新菱冷熱工業(株) 東北支店
総務幹事	佐々木 匡	新日本空調(株) 東北支店
	宮本 健太郎	三機工業(株) 東北支店
事業幹事	須知 秀行	(株)朝日工業社 東北支店
	石島 和明	大成建設(株) 東北支店
	小林 仁	仙台高等専門学校
	小山 琢	三建設備工業(株) 東北支店
	月野 智弘	(株)ピーエーシー 仙台支所
	一條 佑介	東北文化学園大学
	高橋 善浩	(株)ユアテック
	赤井 仁志	北海道大学大学院
委員	荒川 博之	高砂熱学工業(株) 東北支店
	山田 英明	東洋熱工業(株) 東北支店
	松隈 達也	(株)大気社 東北支店
	牧野 泰弘	ダイダン(株) 東北支店
	八十川 淳	東北文化学園大学
	大石 洋之	東北工業大学
	小林 光	東北大学大学院工学研究科
	新沼 久雄	(株)興盛工業所
	二科 妃里	東北文化学園大学
	佐々木 修	(株)アトマックス
	長谷川 麻子	宮城学院女子大学
	高木 理恵	東北工業大学
	早瀬 訓	東北電力(株) 本店
	斉藤 隆一	東北地方整備局
	許 雷	東北工業大学

■賛助会員

社名	住所
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 読売仙台一番町ビル
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 4F
(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
(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	仙台市青葉区中央4-2-6 仙台中央第一生命ビルディング5F
(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)	山形市大字風間字地蔵山下2068
(有)トータルライフプラン	いわき市泉玉露7-11-10 サンハイツ泉 103
公益財団法人ふくしま海洋科学館	いわき市小名浜辰巳町50
東洋熱工業(株) 東北支店	仙台市青葉区本町1-12-7
(株)福島地下開発	郡山市田村町金屋110
ミサワ環境技術(株) 福島営業所	会津若松市新横町1-37
(株)アースクリーン東北	仙台市若林区伊在2-14-17
熱研プラント工業(株)	仙台市宮城野区扇町5-8-4
(株)アステム	刈田郡蔵王町矢附川原脇1-2
東和管工(株)	青森市野内272-4

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12回

令和5年3月3日(金) ZOOMミーティング

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-4	Köhler Integratorを応用した固定型透明採光ルーバーの開発に関する研究	田村 拓己	東北大学
A-14	導電性高分子材料PEDOT/PSSを用いた通電再生型デシカント空調の開発 最適な運転方法・装置形状の検討	樋口 陽太	東北大学
A-16	環境試験室に向けた直接膨張方式の検討	永田淳一郎	三機工業㈱

第11回

令和4年6月14日(火) ZOOMミーティング

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-13	原子力発電所事故被災地における人工被覆面の ¹³⁷ Cs深度分布調査及び地表面付近での ¹³⁷ Cs沈着状況の検討	大槻 謙太郎	東北大学
B-3	室内湿度分布形成に対する湿源の寄与を評価する指標CRI(S) _H の開発とCRI(S) _{DB} を併用した比エンタルピー空間分布評価法の提案	須田 華	東北大学
B-8	空調におけるAI活用制御技術の開発	綾目 久雄	新日本空調㈱
B-9	細胞培養加工室の気流最適化手法の考案	遠藤 翔太	三機工業㈱

第10回

令和3年3月10日(水) ZOOMミーティング

講演 No.	講演題目	発表者	所属
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
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
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
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㈱

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 ー東北地方都市部における地域特性の分析ー	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 ー主として暑熱環境と寒冷環境についてー	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 ー熱源機運転実績と省エネルギー性の評価ー	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

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
過去優秀発表奨励賞受賞者

第6回

平成29年3月14日(火) 東北学院大学 多賀城キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-2	都市部オフィスビルにおける緑陰形成効果と空気熱源機器効率向上に関する研究	土屋 茂樹	三機工業㈱
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㈱
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㈱
A-21	太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討	菅野 智之	東北学院大学

第4回

平成27年3月10日(火) 東北大学 人間・環境系校舎

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-3	集合住宅への介護用圧送トイレシステムの適用の可能性	松尾 隆史	関東学院大学
A-9	PCMを利用したパッシブ温度管理型グリーンハウスの開発	澤田 真吾	東北大学
A-23	東日本大震災後の避難施設に関する研究 ー防災システムの概要と稼働状況ー	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㈱

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
過去優秀発表奨励賞受賞者

第3回

平成26年3月18日(火) 株式会社ユアテック 本社

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-2	秋田県立大学におけるエネルギー消費特性の分析と環境負荷削減の適応手法の可能性に関する研究	庄司 侑椰	秋田県立大学
A-5	東日本大震災後の東北地方の福祉施設におけるエネルギー消費に関する調査	伊藤 梓	東北文化学園大学
B-16	室温の上昇・下降が人間の覚醒状態に及ぼす影響に関する被験者実験	平松 美紀	東北大学
P-1	オフセットを有する排水立て管システムの排水能力把握に関する研究	杉本 遼太	関東学院大学

第2回

平成25年3月12日(火) 東北文化学園大学

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-4	東日本大震災時の仙台市水道被害の実態分析 ～大規模地震時における上水道被害に関する研究～	菅原 章斗	東北工業大学
B-13	全国事務所建物における電力系・燃焼系熱源設備併用建物のエネルギー消費原単位 －DECC平成21年度調査データによる分析－	井城 依真	東北文化学園大学
B-16	水素吸蔵合金を用いた水素貯蔵容器内の充填状態変化と応力発現の検討	川上 理亮	高砂熱学工業(株)

第1回

平成24年3月14日(水) 東北工業大学 八木山キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-11	グリース阻集器の油脂分解技術の評価試験 (その1)評価試験の基礎的実験	草刈 洋行	(株)ユアテック
A-15	洗浄水量4.0Lを有する超節水型大便器の排水性能の検討	各務 紘史	関東学院大学
B-8	大規模震災時における応急給水施設の整備方策に関する研究 －仙台市を対象とした検討－	石橋 直也	東北工業大学
B-12	公共建物における空調機器の予測制御システムの適用に関する研究 その1 システムの概要と日射量の推計式について	松本 若菜	仙台高等専門学校
P-4	在室スケジュールに基づいた予熱暖房による熱負荷低減効果	田中 恵莉	宮城教育大学

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第13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 13th Conference

令和6年(2024年)3月12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

定 価 4,000円(税込)

表紙デザイン 松本 若菜 赤井 仁志
