
第 12 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 12th Conference

令和 5 年 3 月 3 日(金)

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 12 回学術・技術報告会

口頭発表講演者および技術 P R 募集

空気調和・衛生工学会東北支部では第 12 回学術・技術報告会を下記の要領にてオンラインで実施致します。

つきましては、空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学一般に関する研究や調査、物件の企画や設計・施工・試験結果等の技術報告、新製品・新素材や試製品の紹介等の口頭発表および技術 P R を募集致します。若手研究者・技術者を対象とした優秀発表奨励賞の表彰も行います。産官学各界よりたくさんのご応募を賜りますよう、お願い申し上げます。また、どなたでも聴講できますので、ぜひお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 5 年 3 月 3 日（金） 9：30～17：15（予定）
- 開催方式 zoom ミーティング※参加のための URL は、口頭発表・技術 PR・聴講の申し込みをされた方に、別途お知らせします。

【口頭発表・技術 P R のエントリー】

- エントリー締切 令和 5 年 1 月 13 日（金）
 - ※エントリー用紙は必ず今年度（第 12 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。
 - ※締め切り日までに論文集掲載用原稿（論文・P R 資料）を提出して下さい。
- 応募資格 発表者（連名者）/説明者（紹介者）のうち少なくとも 1 名が本学会または共催・後援学協会の会員（会員種別不問、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 12 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 10 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^で、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)。入金を確認できない場合、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 P R 登録料：1 件当たり 10,000 円(予定料金・税込)。2 月 3 日(金)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 P R 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 tohoku.shase@gmail.com 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 5 年 2 月 10 日（金） 17：00

- 講演方法 **口頭発表**：一題につき発表 9 分、討論 3 分程度を予定。
技術 PR：説明時間は未定。技術 PR の説明は、コアタイムにおいて参加者全員に向けて行って頂きます。
口頭発表・技術 PR 共通：各自、あらかじめ zoom による音声確認はじめ論文の画面共有等発表できるようにご準備下さい。開催日が近づきましたら、接続確認の機会や、発表方法についてご相談頂く機会を設ける予定です。その他の詳細は、「伝達事項」として専用 HP に掲載致します。
- 採 否 東北支部学術・技術報告会組織委員会に一任願います。
- 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 PR の原稿は、論文集の掲載とは別に一定期間専用 HP に掲載します。

【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 2 月 24 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 tohoku.shase@gmail.com までメールでお申込み下さい。申込締切 2 月 10 日(金)。

【聴講の申込み】

- 申込締切 令和 5 年 2 月 24 日(金)
- 申込方法 件名「第 12 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電話番号を明記の上、組織委員会 tohoku.shase@gmail.com 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 zoom ミーティング ※開催日 2 日くらい前までに URL をお送りします。

【連絡・お問い合わせ先】

空気調和・衛生工学会 東北支部第 12 回学術・技術報告会組織委員会

E-mail tohoku.shase@gmail.com 担当：岡田

TEL：022-224-7091 FAX：022-797-2486

※@gmail.com からのメールが受け取れるように設定をお願いします。

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

第 12 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 12 回
学術・技術報告会
論文集

Collection of Papers of the 12th Conference

目 次

学術・技術報告〔口頭発表〕	1
講演会	103
空気調和・衛生工学会の概要	114
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	115
第 1～11 回 優秀発表奨励賞受賞者	117

第 12 回 学術・技術報告会 組織委員会

委 員 長	許 雷	東北工業大学
委 員	須知 秀行	(株)朝日工業社 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
	小山 琢	三建設備工業(株) 東北支店
	宮本 健太郎	三機工業(株) 東北支店
	八十川 淳	東北文化学園大学
事 務 局	岡田 ゆきえ	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12回 学術・技術報告会 スケジュール

	口頭発表A会場	口頭発表B会場	メモ欄
開会式	9:30～9:35 小林支部長挨拶 司会:許 雷		
学術・技術報告 (口頭発表)	9:45～10:45 【建築環境①】 A1～A4 司会:須知 秀行	9:45～10:45 【性能検証・実態調査】 B1～B4 司会:牧野 泰弘	
	11:00～12:00 【建築環境②】 A5～A8 司会:須知 秀行	11:00～12:00 【BIM・システム設計】 B5～B8 司会:牧野 泰弘	
学術・技術報告 (口頭発表)	12:45～13:45 【建築環境③】 A9～A12 司会:松隈 達也	12:45～13:45 【給湯・排水システム】 B9～B12 司会:小山 琢	
	14:00～15:00 【空調システム】 A13～A16 司会:松隈 達也	14:00～14:45 【防災・減災】 B13～B15 司会:小山 琢	
講演会		15:15～16:45 L1～L3 司会:八十川 淳	
閉会式	17:00～17:15 閉会の辞:田原副支部長 司会:許 雷		

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第12回 学術・技術報告会

プログラム

令和5年3月3日(金)
オンライン(Zoomミーティング)

1. 開会式

【開会式】 9:30~9:35	司会: 許 雷	東北工業大学
支部長挨拶	空気調和・衛生工学会 東北支部長 小林 光	口頭発表A会場・B会場 東北大学

2. 学術・技術報告〔口頭発表〕

【建築環境①】 9:45~10:45		司会: 須知 秀行	㈱朝日工業社	掲載 ページ
A-1	マイクロバイームから見た学校教室の環境特性	○ 福島 朋実 菅原 正則 小林 光 江刺 美和	宮城教育大学 宮城教育大学 東北大学 宮城教育大学附属中学校	1
A-2	九州西南地域における牛舎の温熱環境に関する研究 (第1報)牛房への冷却設備の導入検討と室内環境測定結果	○ 大石 葉介 大石 洋之	東北工業大学 東北工業大学	7
A-3	縮小模型を用いたシングルラインディフューザ気流のPIV測定に関する研究	○ 山元 誠也 桃井 良尚	福井大学 福井大学	11
A-4	KöhlerIntegrator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 小林 光	東北大学 東北大学	15

【建築環境②】 11:00~12:00		司会: 須知 秀行	㈱朝日工業社	掲載 ページ
A-5	空気感染リスクの見える化による社会的レジリエンス向上に関する研究 その1 モデル概要	○ 小林 仁	仙台高等専門学校	19
A-6	海岸部に建つ研修・保養施設の建築・設備計画 (その1)建築環境・設備計画	○ 村田 大輔 田中 雅人 駒澤 昭彦 進堂 晃央 赤井 仁志	㈱テーテンス事務所 ミサワ環境技術㈱ ミサワ環境技術㈱ ミサワ環境技術㈱ 東北文化学園大学	21
A-7	海岸部に建つ研修・保養施設の建築・設備計画 (その2)地中熱利用による塩害対策と省エネルギー	○ 進堂 晃央 田中 雅人 駒澤 昭彦 村田 大輔 赤井 仁志	ミサワ環境技術㈱ ミサワ環境技術㈱ ミサワ環境技術㈱ ㈱テーテンス事務所 東北文化学園大学	23
A-8	エアロゾル感染対策を念頭においた講義室の空気環境評価	○ 本間 義規 長谷川 麻子 下ノ蘭 慧 林 基哉	国立保健医療科学院 宮城学院女子大学 国立保健医療科学院 北海道大学	25

【建築環境③】		司会：松隈 達也	㈱大気社	掲載 ページ
12:45～13:45		口頭発表A会場		
A-9	複雑な形状を持つ建築外皮の熱移動に関するシミュレーション研究 その1 シミュレーションモデルの構築	○ 佐々木 梨陽 東北工業大学 竹内 友佐 東北工業大学 許 雷 東北工業大学		29
A-10	複雑な形状を持つ建築外皮の熱移動に関するシミュレーション研究 その2 シミュレーション結果の分析	○ 竹内 友佐 東北工業大学 佐々木 梨陽 東北工業大学 許 雷 東北工業大学		31
A-11	湿度を考慮した相当外気温度に基づく蒸発冷却ポテンシャルの提案	○ 石田 侑都 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学		33
A-12	地中熱ヒートポンプ空調システムの稼働と地中温度の相互干渉に関する検討	○ 佐藤 一徹 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学		37

【空調システム】		司会：松隈 達也	㈱大気社	掲載 ページ
14:00～15:00		口頭発表A会場		
A-13	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	○ 西山 陽歌 東北大学 小林 光 東北大学 川勝 英樹 東京大学 小林 大 東京大学 金井 大介 クレバ(株)		41
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 小林 光 東北大学 川勝 英樹 東京大学 小林 大 東京大学 金井 大介 クレバ(株)		43
A-15	コロナ放電を利用した空気清浄装置の開発	○ 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)		47
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(株) 佐々木 賢知 三機工業(株) 新村 浩一 三機工業(株) 福森 幹太 三機工業(株)		51

【性能検証・実態調査】		司会：牧野 泰弘	ダイダ(株)	掲載 ページ
9:45～10:45		口頭発表B会場		
B-1	秋田県の非住宅建築物のCO2排出量の将来推計 ー現状趨勢モデルの精度検証と考察ー	○ 大和 頌 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		55
B-2	戸建住宅の断熱改修前後におけるLCCO ₂ の事例評価	○ 外館 凌 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学		59
B-3	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 ー由利本荘市内の県営住宅を対象としてー	○ 村田 悠翔 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		63
B-4	東北地域におけるハウスダスト中におけるマイクロプラスチックの実態調査 ー初動調査としてー	○ 前川原 悠 秋田県立大学 竹内 仁哉 秋田県立大学 長谷川 兼一 秋田県立大学 松本 真一 秋田県立大学 イム ウンス 東洋大学		67

【BIM・システム設計】		司会：牧野 泰弘	ダイダシ(株)	口頭発表B会場	掲載 ページ
11:00～12:00					
B-5	IFCを活用した給水システムの設計手法に関する提案 その1 給水システムのIFCデータの構築	○ 劉 瀛 劉 雨萌 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学		71
B-6	IFCを活用した給水システムの設計手法に関する提案 その2 配管サイズおよびポンプ揚程の設計	○ 劉 雨萌 劉 瀛 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学		73
B-7	BIM技術を活用した電気設計に関する研究 その1 電気設備システムの構築とIFCデータの作成	○ 山村 尚生 太田 恭輔 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学		77
B-8	BIM技術を活用した電気設計に関する研究 その2 IFCデータによる設備システムの情報解析	○ 太田 恭輔 山村 尚生 許 雷	東北工業大学 東北工業大学 東北工業大学		79

【給湯・排水システム】		司会：小山 琢	三建設備工業(株)	口頭発表B会場	掲載 ページ
12:45～13:45					
B-9	VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用 (その9) 需給調整による省エネルギー性の評価	○ 猪俣 海斗 赤井 仁志 宮川 卓 岩田 勝太郎 天野 雄一朗 藤井 良平	北海道大学 東北文化学園大学 北海道大学 北海道大学 四国電力(株) (株)四国総合研究所		81
B-10	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10) ハイブリッド給湯システム導入による地域ポテンシャルと最適な熱源機器割合の推定	○ 岩田 勝太郎 赤井 仁志 猪俣 海斗 宮川 卓 天野 雄一朗 藤井 良平	北海道大学 東北文化学園大学 北海道大学 北海道大学 四国電力(株) (株)四国総合研究所		85
B-11	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11) 中央式給湯設備以外の活用の可能性と必要性	○ 赤井 仁志 猪俣 海斗 宮川 卓 岩田 勝太郎 天野 雄一朗 藤井 良平	東北文化学園大学 北海道大学 北海道大学 北海道大学 四国電力(株) (株)四国総合研究所		87
B-12	戸建住宅における排水立て管の配管形態が搬送性能に及ぼす影響	○ 高山 拓徳 大塚 雅之 宮越 彪維	関東学院大学 関東学院大学 関東学院大学		89

【防災・減災】		司会：小山 琢	三建設備工業(株)	口頭発表B会場	掲載 ページ
14:00～14:45					
B-13	浸水被害住宅の真菌汚染と復旧手法に関する調査研究	○ 石戸 脩斗 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		93
B-14	R3・R4年度福島県沖地震による建築設備被害調査に関する研究 その1 調査概要と集計結果	○ 小林 仁 小林 光 赤井 仁志	仙台高等専門学校 東北大学 東北文化学園大学		97
B-15	R3・R4年度福島県沖地震による建築設備被害調査に関する研究 その2 貯水槽の崩壊、断水と飲料水の確保	○ 赤井 仁志 平野 廣和 小林 仁 小林 光	東北文化学園大学 中央大学 仙台高等専門学校 東北大学		101

3. 講演会

【講演】		司会: 八十川 淳	東北文化学園大学	掲載 ページ
15:15~16:45		口頭発表B会場		
L-1	空気調和・衛生工学会 第36回振興賞技術振興賞受賞 「温泉ホテル八幡屋帰郷邸温泉設備の源泉の有効利用と排湯の熱利用」	井口 勉	(株)総合設備コンサルタント	103
L-2	空気調和・衛生工学会 第36回振興賞技術振興賞受賞 「いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～」	田村 健	大成建設(株)	106
L-3	建築設備技術者協会 第10回カーボンニュートラル賞 「ふくしまZEBからカーボンニュートラルを実現する」 福島県須賀川土木事務所	飛木 佳奈	(株)土田建築設計事務所	112

4. 閉会式

【閉会式】		司会: 許 雷	東北工業大学
17:00~17:15		口頭発表A会場・B会場	
閉会の辞	空気調和・衛生工学会 東北支部 副支部長	田原 誠	(株)竹中工務店

A-1

マイクロバイオーームから見た学校教室の環境特性

○福島朋実（宮城教育大学），菅原正則（宮城教育大学），
小林 光（東北大学），江刺美和（宮城教育大学附属中学校）

Environmental Characteristics of School Classrooms from Microbiome Perspectives

Fukushima Tomomi (Miyagi University of Education),
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Esashi Miwa (Affiliated Junior High School, Miyagi University of Education)

キーワード：マイクロバイオーーム，室内環境，DNA 解析，教室

はじめに

筆者ら¹⁾²⁾はこれまで、仙台市内の小学校・中学校建物内における冬季及び夏季の環境マイクロバイオーーム(微生物叢)を調査し、生徒が日ごろ接触する機会のある部位間、あるいは季節間の様相を比較した。また、新型コロナウイルス感染症蔓延期の冬季における中学校教室内調査及び分析から、休業日と比べた時の通常授業日の特徴を明らかにした³⁾。本報では、これら既報で取り扱った計 8 回にわたる環境マイクロバイオーームの調査結果を総合的に分析し、学校教室の環境特性について考察する。

1. 調査概要

1.1 調査対象

仙台市市街域にある中学校（1 学年あたり 4 クラス、1 学年 157～158 人在籍・RC 造 3 階建）および小学校（1 学年 140 人在籍）を調査対象とする。中学校の教室平面構成を図-1 に示す。窓はすべて南に面しているが、教室 c1 および c4 はセットバックし、窓の方向とホールに面する出入り口の方向との関係が異なるため、教室 c2 および c3 に比べて、日照・通風条件が不利である。小学校は、中学校と同じ敷地内にある。小・中学校のいずれの教室も冷暖房が設置されている。

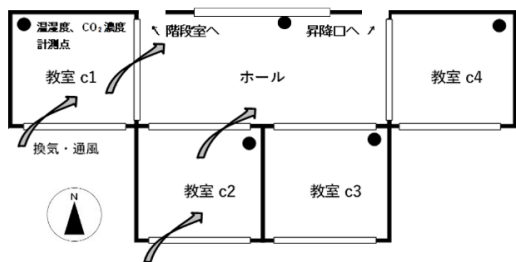


図-1 調査対象教室の平面構成

1.2 調査項目

環境マイクロバイオーームについては、調査対象において、机の天板（一般教室の机については調査のたびに無作為に選定）とその付近の床、入口引戸の引手など生徒が日頃から頻繁に接触する部分（詳細は表-1 を参照）に対して、スワブによるふき取りサンプリングを実施した。また、一般教室および小学校図書室においては、室内空気をエアポンプ（3L/分で 60 分間）によりサンプリングした。サンプリング作業および解析の手順についての詳細は、文献 1) を参照のこと。また、

表-1 環境マイクロバイオーームのサンプリング実施日とサンプル採取箇所

	サンプリング記号	実施日	採取箇所
小学校	TH1	2017.12.11 2017.12.18	教室：1 年机天板，6 年机天板， ドア引手，ゴミ箱蓋（6 年）， 空気 トイレ：ドア引手 廊下：手すり，コーナーの壁 図書室：机天板，ゴミ箱蓋，マット， 貸出カウンター，空気 理科室：机天板 図工室：机天板 体育館：上り棒
		TH2	2018.10.2 2018.10.5
中学校	TH3	2019.1.30	教室（c1，c2，2 年教室）の机天板， ドア引手，空気
	TH4	2019.3.6	同上
	TH5	2019.8.29	教室（c1，c2，2 年教室）の机天板， ドア引手，エアコン吹き出し口， 空気
	TH6	2019.10.8	同上
	TH7	2021.1.5 (冬期休業日)	教室（c1，c2）の机天板，床， 教卓天板，ドア引手
	TH8	2021.1.29	同上

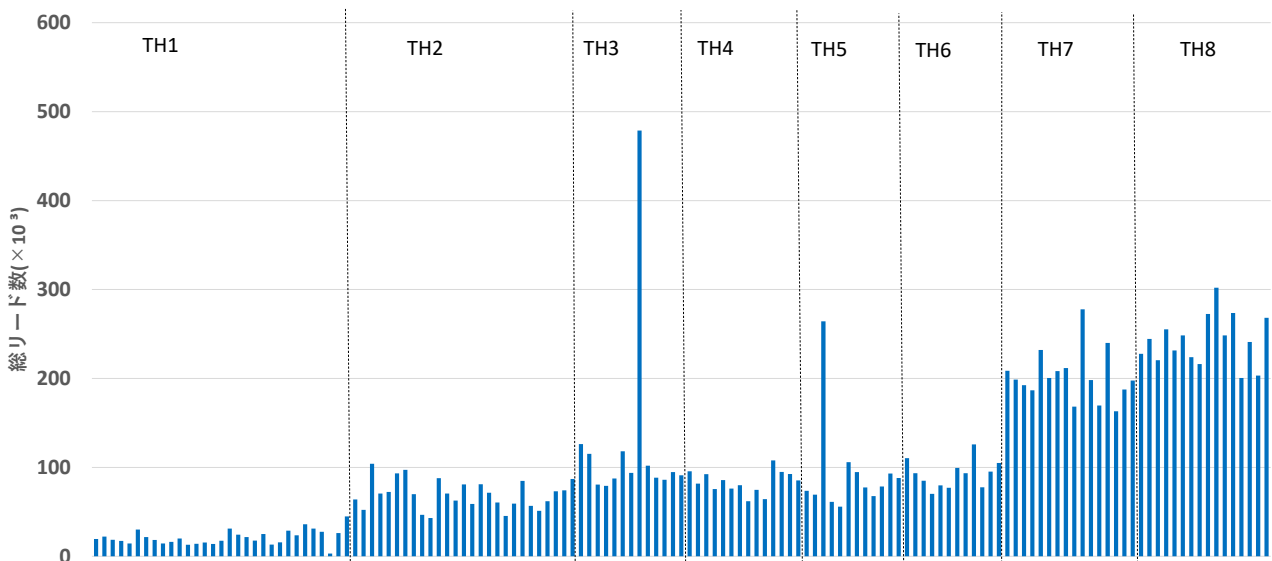


図-2 各サンプルのリード数

環境条件把握のために、中学校において教室と学年用ホールの気温・湿度・CO₂濃度、そして百葉箱（外気）の気温・湿度を、2019年1月30日の夕方以降、5分または10分間隔で連続計測した（本報投稿時も継続中）。

2. 全サンプルの比較

2.1 総リード数

これまでに行った計8回の調査(TH1～8)において、全141サンプルから検出されたリード数の合計は14,705,871であった。各サンプル中に含まれるリード数を図-2に示す。また、サンプリング実施毎の総リード数と検出されたOTU (Operational Taxonomic Unit)を表-2に示す。図-2より、1サンプル当たりのリード数は $3.2 \times 10^3 \sim 4.8 \times 10^5$ の範囲にあり、教室、部位、季節による違いに特定の傾向は見られない。ただし全体的に、TH1で検出されたサンプルのリード数が極端に少なく、TH2～TH6、そしてTH7・8

表-2 サンプリング実施毎の総リード数と検出されたOTU

サンプリング記号	サンプル数	総リード数	検出されたOTU
TH1	31	656,623	9,471
TH2	27	1,879,989	101,724
TH3	13	1,641,779	52,594
TH4	14	1,168,600	50,221
TH5	12	1,129,413	55,468
TH6	12	1,112,369	45,536
TH7	16	3,240,375	141,336
TH8	16	3,876,723	144,894
計	141	14,705,871	601,241

へとリード数が徐々に増加する傾向が見られた。これは、実施時期の違いによるゲノム解析の精度向上が理由と考えられるが、詳細は不明である。

2.2 物理計測データとの比較

調査対象の中学校において、環境マイクロバイオームのサンプリングを実施した日の登校時刻（8:00）から放課（16:45）までについて、気温・湿度・CO₂濃度（以後、物理計測データと呼ぶ）の四等分値を図-3～5に示す。冬期休業日であったTH7を除けば、気温についてはTH4・8（冬季）において学校環境衛生基準を下回っていることがあった。一方、湿度についてはTH5（夏季）において同基準を上回ることがあり、またTH4・8（冬季）において下回ることがあった。CO₂濃度については、TH5・6（夏季）において、同基準を上回ることがあった。

これらのことから、TH4・8（冬季）では授業時間以外は暖房を十分にせずやや寒い環境で過ごしていたことが分かる。TH4（コロナ禍前）に比べてTH8（コロナ蔓延期）は窓開け換気も意識的に行われるようになったためか、1月にもかかわらずCO₂濃度が同基準を超えることがなかったが、外気の影響で乾燥している。むしろ、TH5・6（コロナ禍前・夏季）においてCO₂濃度の同基準を超えることがあり、換気不足が懸念される。

次に、物理計測データの環境マイクロバイオームへの影響を検討するため、サンプリング実施日の各教室における、机サンプル(3台分の平均)のり

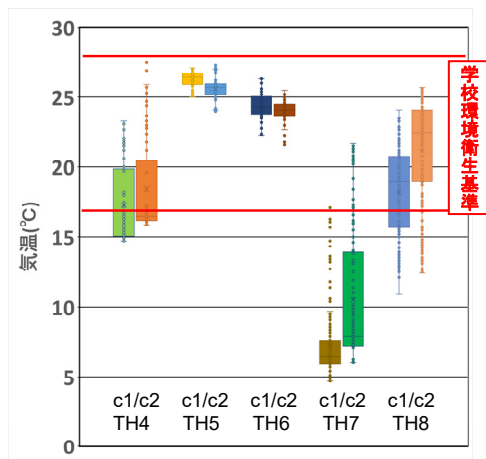


図-3 気温の四等分値

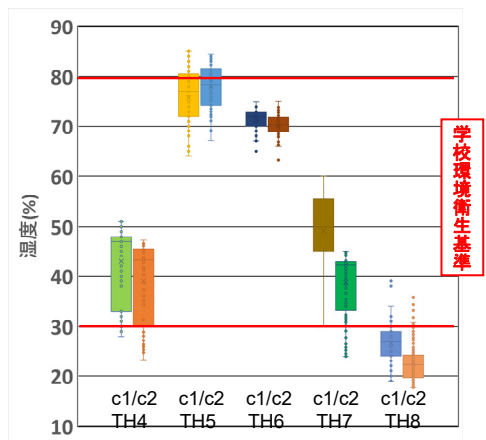


図-4 湿度の四等分値

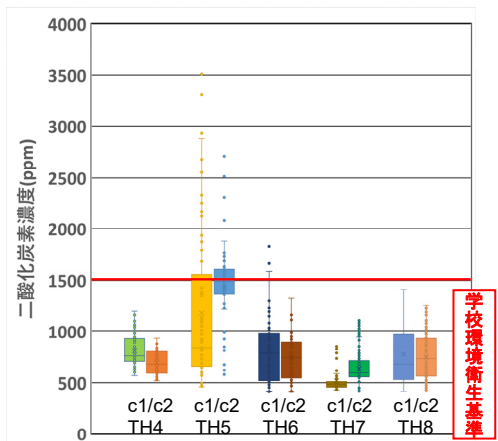


図-5 CO₂濃度の四等分値

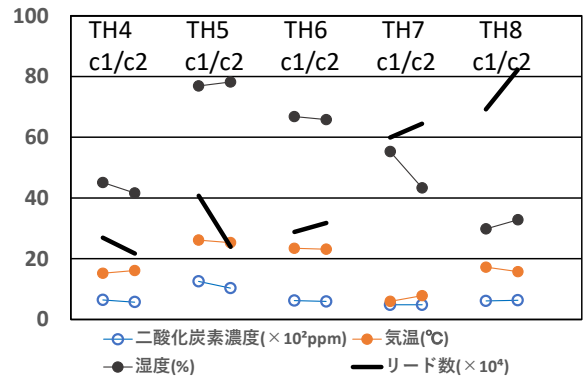


図-6 物理計測データと環境マイクロバイオームとの比較

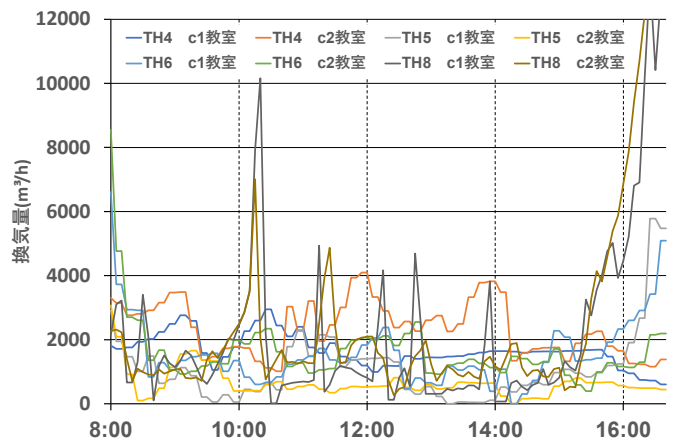


図-7 サンプルング実施日別換気量の推移

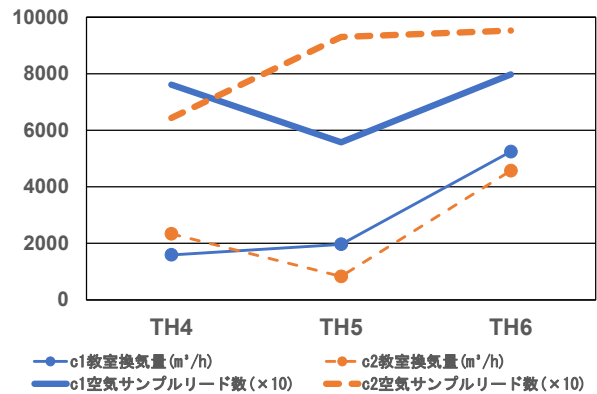


図-8 教室別換気量と空気サンプルのリード数との関係

ード数と物理計測データの日平均を図-6 に示す。2.1 節で示したリード数の推移を考慮して、TH4～6 と TH7～8 を分けて眺めると、これら中学校教室のリード数が多く検出されるのは、どちらかといえば気温が高い時と言えそうである。そして、湿度・CO₂濃度との間には関連性は見られない。

3. 換気量との比較

TH4・5・6・8 における中学校教室内の CO₂濃度と出席者数から求めた換気量の推移を図-7 に、またそれぞれの換気量の日平均とサンプルング実施日の教室空気サンプルのリード数との関係を図-8 に示す。なお、TH7 のサンプルング実施

日を除外したのは、冬期休業日で在室者の設定が0人となり、換気量を求められないためである。

図-7 に示された換気量は、必要量を1人当たり25m³/hとすると、40人在室の時に1000m³/hとなるので、TH5のサンプリング実施日にはどちらの教室もやや不足気味であることが分かる。一方、TH8(コロナ蔓延期)のサンプリング実施日については休み時間に換気量が上昇した様子が明確に見られた。図-8からは、教室の換気量とリード数との間には、全体的な関連性が見られなかった。ただし、同じサンプリング実施日で比較すると、換気量の多い教室の方が、空気サンプルのリード数は少なかった。

4. 主座標分析によるサンプルの類似度の比較

主座標分析結果について、TH1~8を対象としたものを図-9に、中学校の2019年調査であるTH3~6を対象としたものを図-10に示す。

図-9では、TH8のc2教室の机と教卓、そしてTH2の6年教室機のサンプルが、座標軸の原点付近に密集するサンプル群からは離れた位置にある。これら3箇所の外れ値のOTUに特徴的な組成は見られなかったことから、リード数の少ないOTUに、特異な種が含まれていたと考えられる。

図-10では、TH3・4(冬季)とTH5・6(夏季)の分布、教室ごとの分布、そしてサンプル採取箇所(机天板、ドア引手、空気)ごとの分布について比較を行ったが、分布範囲に特徴的な違いは見られなかった。しかしながら、冬季のサンプルであるTH3の2年教室机、TH4のc2教室ドア引手、TH3のc2教室机が、大幅な外れ値として検出された。そして、TH3の2年教室機のサンプルの主なOTU組成を見ると、Diplorickettsia属の組成が比較的多く、またTH3のc2教室机は、Methylobacterium属の組成が比較的少ない代わりにAcinetobacter属・Neisseria属・Chloroplast属の組成が多い特徴が見られた。

筆者らによる既報³⁾において、TH7・8(冬季休業日と同月の平常授業日)に対して主座標分析したところ、平常授業日のc2教室における教卓天板・机天板・床面のサンプルが外れ値となった。このことから、外れ値として検出されるサンプルは、教室の利用者が頻繁に接触する箇所に多く見られると推察される。

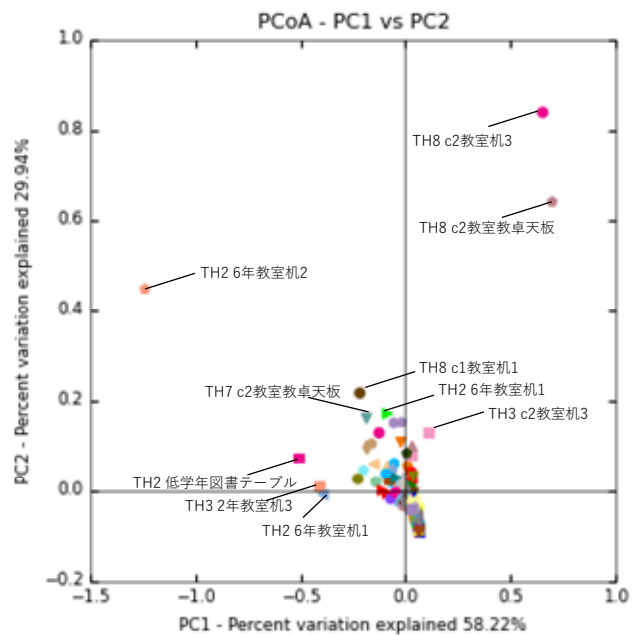


図-9 全8回(TH1~8)のサンプルの主座標分析結果(PC1-PC2軸)

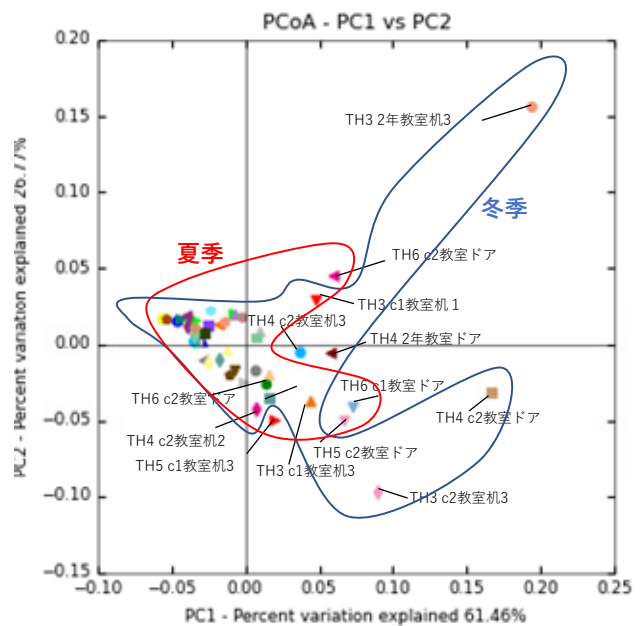


図-10 中学校(TH3~6)のサンプルの主座標分析結果(PC1-PC2軸)

5. 数量化Ⅲ類による環境特性の検討

5.1 空気サンプル全体の分析

サンプル採取箇所と主なOTUとの関係を検討するため、各サンプルにおいて組成比が1%以上を占めるOTU(全体で164が該当)を対象として、数量化Ⅲ類による分析を行った。その結果、主座標分析にて外れ値として検出されたサンプル

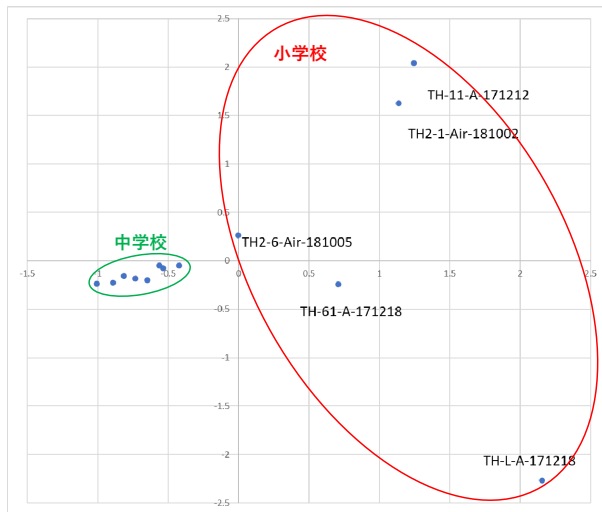


図-11 空気サンプルの数量化Ⅲ類分析結果 (サンプル採取箇所、I-II軸)

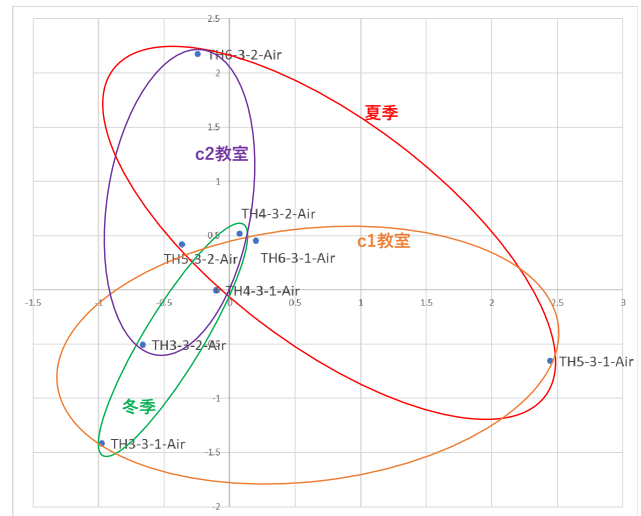


図-13 中学校空気サンプルの数量化Ⅲ類分析結果 (サンプル採取箇所、I-II軸)

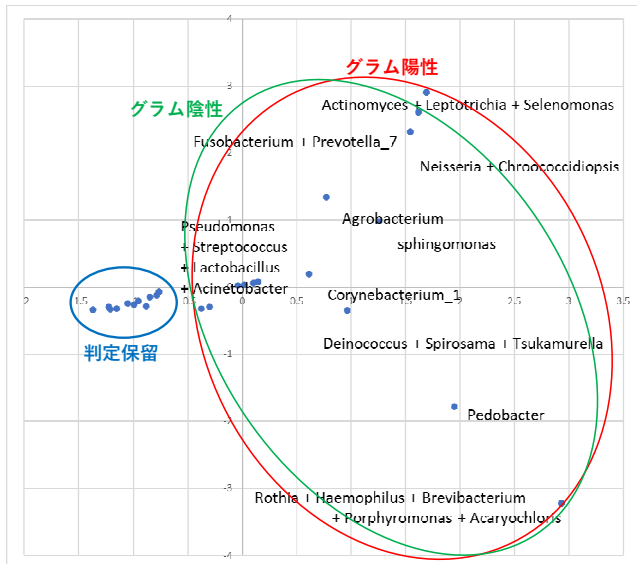


図-12 空気サンプルの数量化Ⅲ類分析結果 (OTU、I-II軸)

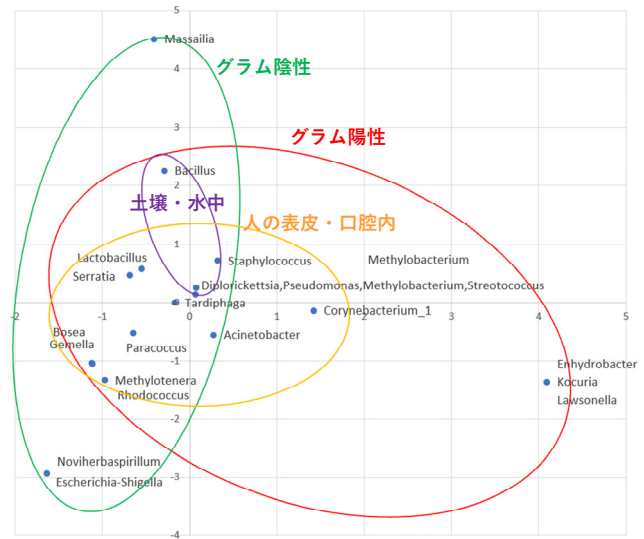


図-14 中学校空気サンプルの数量化Ⅲ類分析結果 (OTU、I-II軸)

と同様に、数量化Ⅲ類の分析結果においても机やドア引手など、教室の使用者が頻繁に接触する箇所のサンプルに外れ値が多く見られた。そこで、教室の環境特性の検討は、TH1～6でサンプリングされた13箇所の空気サンプルのみ(該当するOTUは40)を用いることとした。

分析結果(固有ベクトルの固有値は、I軸0.54、II軸0.49)にもとづいて、図-11にサンプル採取箇所の散布図を、図-12にOTUの散布図を示す。図-11では、I軸において正の範囲に小学校、負の範囲に中学校のサンプル採取箇所が分布していることが分かる。すなわち図-12においても、I軸の

正の範囲に広く散在するOTUは、小学校のサンプルにおいて主に検出されたものであるといえる。また、図-11中で中学校の楕円に対応する位置に分布する図-12のOTUは、中学校のサンプルで主に検出されたものであるといえる。図-12の原点付近に分布するAcinetobacter属、Streptococcus属、Pseudomonas属、Lactobacillus属は、小・中学校のほとんど(11～13箇所)のサンプルで検出されるOTUである。

図-12において、小学校のサンプルで主に検出されたOTU(それ以外は判定保留)に対して、細菌の特徴を表すグラム陽性・陰性のOTUの分

布範囲を楕円で示した。両者はほぼ重なっていることから、小学校教室の空気サンプルで主に検出される OTU について、本報では環境特性の違いを見いだせなかった。今後さらに、グラム陽性・陰性以外の OTU の分類を進める必要がある。

5.2 中学校の空気サンプルのみの分析

図-11 にて I 軸の負の範囲に密集していた中学校の空気サンプル（8箇所、該当する OTU は 22）に関して、数量化Ⅲ類による分析を行った。分析結果（固有ベクトルの固有値は、I 軸 0.36、II 軸 0.23）にもとづいて、図-13 にサンプル採取箇所の散布図を、図-14 に OTU の散布図を示す。

図-13 において、図の右上の範囲には夏季のサンプルが、左下の範囲には冬季のサンプルが分布している。また、図の下方の範囲には c1 教室のサンプルが、左上の範囲には c2 教室のサンプルが分布していることが分かる。

一方、図-14 では、人の表皮・口腔内に存在する OTU が原点付近に広く分布するものの、II 軸に沿ってその正の値の範囲に土壌・水中に存在する OTU がいくつか見られた。これは図-13 における c2 教室の分布範囲であるので、この教室の特性を表すと考えられる。また、グラム陽性の OTU が図の全体に広く分布するのに対して、グラム陰性の OTU は図の左側上下に長く分布している。しかしながら、これに影響を与える環境特性は見いだせなかった。なお、図-13 では、サンプルの分布範囲が夏季と冬季、c1 教室と c2 教室の間で明確に異なっていたが、それに対応する図-14 中の OTU は、季節や教室の違いによる環境特性を表すものと考えられる。今後、該当する OTU の特徴を詳細に検討する必要がある。

まとめ

筆者らは、小学校および中学校の一般教室において、教室机上面など生徒が日頃から接触する場所を中心に、環境マイクロバイオームの調査を、2017年12月（コロナ前）～2021年1月（コロナ蔓延期）に計8回行い、その統計的な分析結果および物理計測データから学校教室の環境特性を考察した。得られた主な成果は下記のとおりである。
①筆者らの調査により得られた全141サンプルのリード数は、 $3.2 \times 10^3 \sim 4.8 \times 10^5$ の範囲にあり、教室、部位、季節による違いに特定の傾向は見られない。

②TH8（コロナ蔓延期）は窓開け換気が意識的に行われるようになったとみられる。TH5・6（コロナ禍前・夏季）において換気不足が懸念される。

③中学校教室の OTU リード数が多く検出されるのは、気温が高い時と言えそうであるが、湿度・CO₂濃度との関連性は見られない。同じサンプリング実施日では、換気量の多い教室の方が空気サンプルのリード数は少なかった。

④主座標分析では、外れ値として検出されるサンプルは机天板やドア引手など、教室の使用者が頻繁に接触する部分に多く見られると推察される。

⑤空気サンプルを対象に数量化Ⅲ類により分析したところ、小学校と中学校との間、中学校の夏季と冬季との間、中学校の c1 教室と c2 教室との間で、サンプルの分布範囲に違いが見られた。しかし小・中学校のほとんどのサンプルにおいて、共通に *Acinetobacter* 属、*Streptococcus* 属、*Pseudomonas* 属、*Lactobacillus* 属が検出された。今後の課題として、環境マイクロバイオームの観点から学校教室の環境特性について季節・教室・部位ごとの傾向などをより深く考察するためには、更なるデータ採取や、微生物が人に及ぼす影響とその条件について明らかにする必要がある。また、環境マイクロバイオームは、居住者の直接的・間接的な接触による影響を受けるが、それ以外の影響要因が不明な部分も多く、環境の実態を読み取るためには裏付けデータの取得が必要である。

謝辞

本研究の進行にあたり、中学校および小学校の先生方には多大なご協力を頂きました。ここに記し、感謝の意を表します。なお本研究は、科研費17H06216 および 18K02185 の助成を受けました。

参考文献

- 1) 小林光ほか:環境建築における呼吸器系病原体モニタリング法の確立に関する調査研究 その3, 日本建築学会大会学術講演梗概集(2018), pp. 867-870
- 2) 菅原正則ほか:仙台市の中学校教室における冬季および夏季のマイクロバイオーム実態調査, 日本建築学会大会学術講演梗概集(2020), pp. 1569-1570
- 3) 福島朋実ほか:新型コロナウイルス感染症対策下の冬季における仙台市内中学校の環境マイクロバイオーム, 空気調和・衛生工学会東北支部第11回学術・技術報告会論文集(2022), pp. 13-16

A-2

九州西南地域における牛舎の温熱環境に関する研究

(第1報) 牛房への冷却設備の導入検討と室内環境測定結果

○ 大石葉介 (東北工業大学), 大石洋之 (東北工業大学)

Study on Thermal Environment of Cattle Shed in Southwestern Area of Kyushu Region
Part1: Installation Study of Cooling Facilities in Cattle Shed and Measurement Results of Indoor Environment

OISHI Yousuke(Tohoku Institute of Technology), OISHI Hiroshi (Tohoku Institute of Technology),

キーワード: 牛舎 冷却牛房 温熱環境 実測調査

1. 序

近年の猛暑は、人が利用する建物のみならず動物を飼育する畜産施設の室内環境にも大きな影響を及ぼしており、有効な暑熱対策が求められている。中国地方や九州地方などの温暖な地域ではその影響が顕著にみられ、福岡管区気象台のレポート¹⁾では、九州・山口県の真夏日、猛暑日、熱帯夜の年間日数が増加していることが報告されている。また高橋らの「夏季の暑熱と人工受胎率」の調査事例²⁾では、人工受精後の繁殖成績が温暖地域は寒冷地域より劣るという報告があり、暑熱ストレスが経済的損失をもたらしていると述べられている。

牛舎の温熱環境に関する既往の研究では、長尾らが夏季暑熱時における繋ぎ牛舎トンネル換気方式の熱環境と牛体への暑熱ストレスの影響について検討³⁾している。また、宮崎県畜産試験場では牛舎の暑熱対策による採胎成績の改善効果について継続的に研究⁴⁾を行うなど牛舎そのものの温熱環境を改善する検討が進展している。

そのような背景のもと、本研究では牛房全体を



図1 牛舎の外観と牛舎内の状況

冷却するための冷却設備の導入検討と、導入後の牛房内温熱環境の実測調査により、冷却設備を設置した牛房(以降、冷却牛房)の温熱環境性状の把握と、冷却設備による効果を明らかにすることを目的としている。

2. 対象牛舎の概要

本研究では九州西南地域に立地する某牛舎を対象とした。牛舎の外観及び冷却牛房内の状況を図1に、牛舎の平面図を図2に示す。牛舎は木造平屋建て、通路を挟み東側が作業場と物置となっており、西側に冷却牛房がある。冷却牛房は外周部の壁を合板で囲んで閉鎖しており、通路は屋外に開放されている。

冷却設備は天井フィン冷房システム⁵⁾を導入した。天井フィン冷房システムは、冷水を通水・循環させる冷却フィンと、その表面結露を受けるルーバーにより構成されている。冷却フィン表面からの放射と冷却された空気が自然対流により居住域まで降下することで冷房効果を得るシステムである。システムの稼働に伴う結露水はドレン管によって牛房外に排出されるため、顕熱と潜熱両方の処理が可能なシステムとなっている。

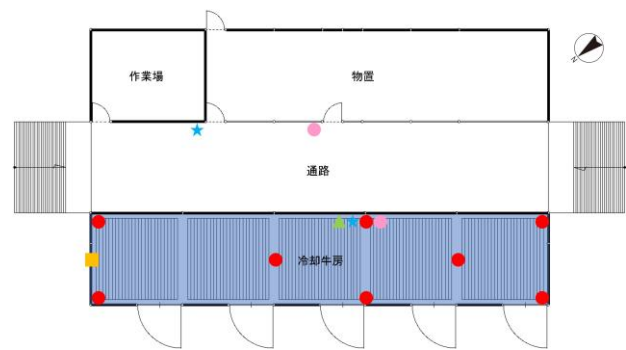


図2 牛舎の平面図および測定点位置

3. 夏季時実測調査の概要

冷却設備導入後の夏季実測調査は、2021年8月～11月中旬にかけて実施した。測定点位置を図2に、測定項目を表1に示す。

冷却設備による効果を検証するための比較対象として通常牛房も測定対象とし、温湿度を冷却牛房、通路、通常牛房、グローブ温度を冷却牛房と通常牛房で計測し、CO2濃度は冷却牛房と通路で計測を行った。また、冷却時の牛房内の温度分布を把握するために、牛と同程度の高さ1.5mの8カ所に温度センサを設置した。

4. 冷却設備の導入検討

4-1 負荷計算の概要

冷却設備の導入にあたって、対象牛舎の自然室温および冷房負荷を把握するため、LadybugToolsを用いたエネルギーシミュレーションを行った。LadybugToolsは、3Dで作成した牛舎モデルに建物外皮の条件を入力し、負荷計算の諸条件を与え、EnergyPlusにより計算が行われている。

負荷計算のための内部発熱条件は、牛房に滞在する牛を模擬した発熱⁶⁾が一頭当たり1400W/m²とし、4頭が常に滞在するスケジュールを設定した。換気による負荷は、換気回数0.5回/hが連続する設定とした。また、冷房設定温度は28℃、25℃の2条件で検討することとし、7月～9月の夏季3ヵ月間について1時間刻みでの計算を行った。なお、気象データはEPW形式による入力が必要であるため、公開されているEPW気象データのうち、牛舎の立地する地点の最寄りとなる観測点のものをを用いた。

4-2 計算結果

計算結果が得られた7月1日～9月30日より、気温が30℃以上あり、降水量が0mmの日が連続していた7月26日から7月28日の3日間を分析対象日とした。

自然室温の結果を図3に示す。自然室温は、ピーク時に38℃付近まで気温が上昇しており、昼夜にかけて30℃を超える気温が長時間続くことがわかる。EPW気象データと比較すると、日全体をとおして3～4℃ほど自然室温が高く推移している。また、冷房設定温度28℃では自然室温の気温差が最大13.0℃、25℃では10.0℃となっていた。

つづいて冷房負荷の結果を図4に示す。室温を

表1 実測調査の測定項目

記号	測定項目・使用機器	測定間隔
●	気温(コンター図用センサ) Elitech RC-5+	10分
●	気温・相対湿度 ユニ電子 LogttaCable	10分
▲	グローブ温度 ユニ電子 LogttaCable+小径黒球	10分
★	CO2濃度 ユニ電子 LogttaCO2	10分
■	牛の姿勢の録画 Atom CAM(ネットワークカメラ)	-

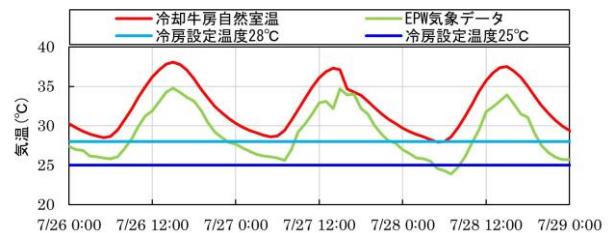


図3 自然室温の計算結果

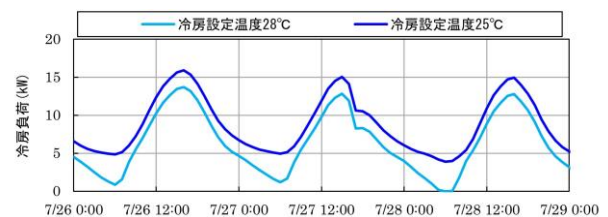


図4 冷房設定温度毎の冷房負荷

設定温度で一定に保った場合、28℃ではピーク時に13.7kW、25℃では15.9kWとなる。温熱環境により体温調節機能が著しく低下する臨界温度⁷⁾は乳用牛の場合25℃、肉用牛の場合30℃といわれている。そこで、乳用牛と肉用牛の臨界温度の間となる28℃の冷房負荷を冷却設備導入の目安と考えた。以上の検討により、冷却設備の想定負荷は、冷房能力15kWのものを設置している。

5. 夏季実測調査の結果

5-1 解析日の選定

はじめに、測定期間全体の気象条件について対象牛舎の最寄りであるアメダス観測点のデータを整理した。日照率40%以上、かつ日降水量が5mm以下の場合に晴天日として分類した。2021年夏季は、8月中旬以降に長い雨が続いた影響で気温が低くなっているが、8月下旬に暑い日が連続していた。そこで、十分な暑さが得られた日における冷却効果を確認するため、最高気温が34℃程度で

晴れの日が連続していた8月27日～29日の3日間を代表日として選定した。

5-2 気温の測定結果

冷却牛房と、通常牛房の気温、グローブ温度の測定結果を図5に示す。これより、通常牛房で気温が34℃に達するピーク時において、冷却牛房では30℃に抑えられており、冷却による気温低減効果が確認できる。特に、周壁からの放射の影響を加味したグローブ温度では、通常牛房は気温以上に高く、日射で熱せられた建物外皮の影響を受けているのに対して、冷却牛房では気温とほぼ同等、時間帯によっては気温を下回る値を示しており、冷却効果が現れていた。なお、夜間の時間帯に冷却牛房とその他の測定点の気温が逆転している部分は冷却設備の稼働が室温で制御されており、室温22℃を下回った場合に、運転が一時的に停止したことによる影響である。

つづいて、8カ所に設置した温度センサのデータを用いて2021年8月28日の9時から21時までの3時間ごとのコンター図を作成した。結果を図6に示す。これより、いずれの時間帯も牛房の中心部分が低い気温となっており、冷却設備の効果が牛房中心部分で最も現れていると考えられる。18時を見ると通路側は西から差し込む日差しの影響により温度が上昇しており、日射が当たることで通路側の壁面が暖められたためと考えられる。一方で、21時では大きく気温が低下しており、日没後の冷却効果が高いことがわかる。

5-3 絶対湿度の測定結果

冷却牛房と通常牛房の絶対湿度の測定結果を図7に示す。日中において、冷却牛房の水分量は屋外に相当する通常牛房に比べて低い値を示しておらず、ある程度一定の水分量が牛房内に保持されていることがわかる。一方で、夕方に冷却牛房で通常牛房の水分量を下回る傾向が連日みられたため、日没後に除湿の効果が現れる可能性が示唆される。

5-4 温湿度指数 THI の結果

温湿度指数 THI(以降、THI)は牛の暑熱ストレス評価指標⁸⁾とされており、乾球温度と相対湿度から算出できることから、畜産分野では牛の暑熱ストレスを簡易的に把握するためのツールとして利用されている。

測定結果から THI を求めた結果を図8に示す。

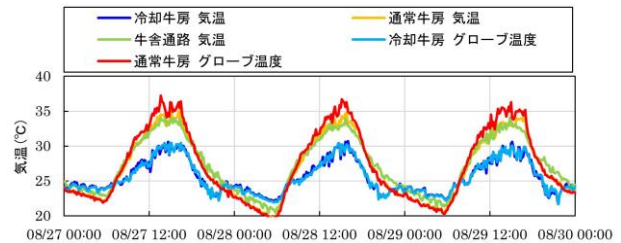


図5 気温とグローブ温度の測定結果

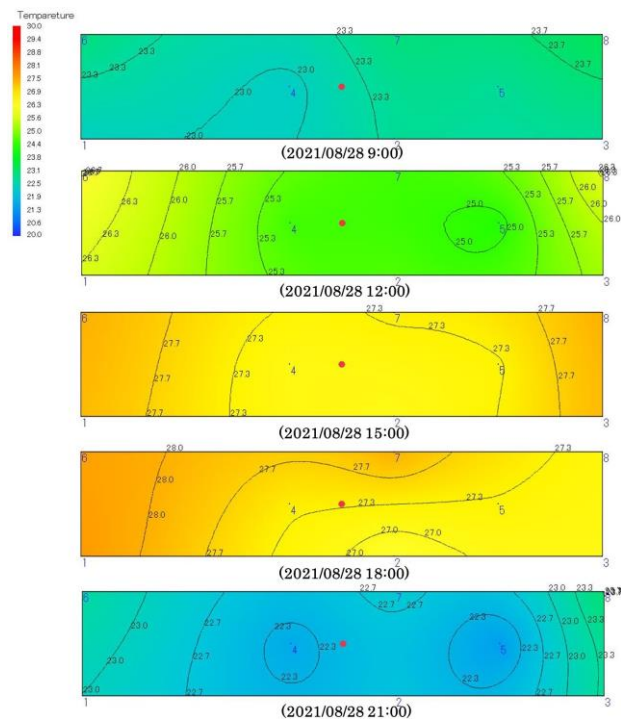


図6 温度分布の時間推移

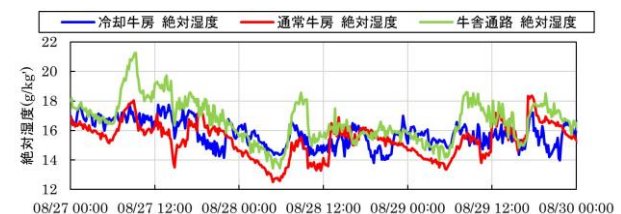


図7 絶対湿度の測定結果

冷却牛房は通常牛房や通路に比べて低い値で推移するものの、THIにおける「強いストレス」の値の範囲となっていた。冷却設備の稼働を室温により制御させていたため夜間に一時的にTHIが上昇する傾向がみられた。夜間も連続運転を行うことで、THIの値を改善することが可能と考えられる。

5-5 冷却牛房における牛の行動観察

ネットワークカメラで録画した冷却牛房内について、8月27～29日の録画記録を目視により確認し、牛の横臥状態、起立状態などの姿勢を1分ごとに分類した。冷却牛房の中央に滞在する1頭について、THIの値毎での姿勢の割合を集計した結果を図9に示す。なお、同図は冷却設備が稼働中の9～20時台のデータのみを対象とした。

これより、牛房内のTHIが75を下回る状態の場合に横臥割合が顕著に高くなっていた。THIごとの姿勢の割合は観察した3頭で個体差がみられたが、いずれもTHIの値が低くなると、横臥割合が増加する傾向がみられた。また、THIの数値が77以上の高い場合に舐塩していることから、発汗によって不足した塩分を摂取していると考えられる。

6. 結語

以上、冷却牛房における夏季の温熱環境実測調査結果を示した。気温やグローブ温度の結果より、冷却牛房は通常牛房に比べて冷却効果が発揮されていることが確認できた。一方で、THIの値ではいまだ強いストレスの範囲であるため、さらなる冷却を行う必要がある。また、温度分布の結果から、冷却牛房西面の明かりとりから差し込む日射について、熱負荷を仔細に検討する必要があることがわかった。今後も引き続き温熱環境の検討を進めていく予定である。

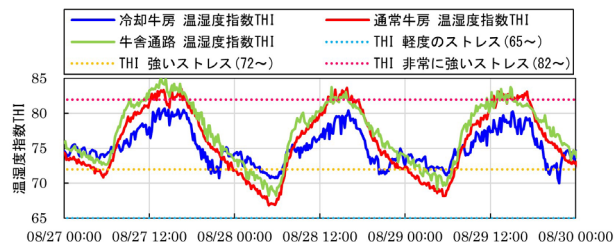


図8 温湿度指数 THI の算出結果

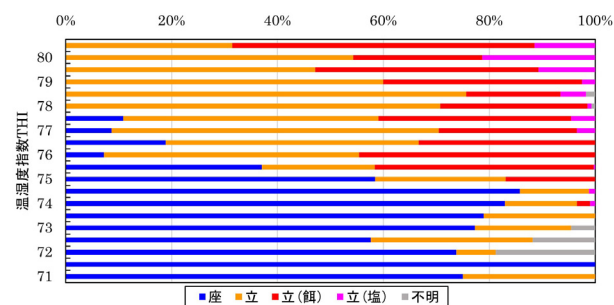


図9 温湿度指数 THI 毎の牛の姿勢の割合

謝辞

本研究の実施にあたり、宮崎県畜産試験場 須崎哲也様、橋谷薫様、株式会社ヤザワコーポレーション 菊池由弘様、アオキ住宅機材販売株式会社 米山鐘一様に多大なるご協力をいただきました。また、名城大学 深川健太先生には温度センサのデータをご提供いただきました。ここに記して、深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 福岡管区気象台：九州・山口県の気候変動レポート2021，(2022-6)
- 2) 高橋昌志：夏季の暑熱と人工受胎率，一般社団法人家畜改良事業団 LIAJ NEWS No.153，pp.6～8，(2015-7-25)
- 3) 長尾ほか：繋ぎ牛舎におけるトンネル換気方式が夏季暑熱時の乳牛の生産に及ぼす影響，日本家畜管理学会誌 45 巻 4 号，pp.153～160，(2009-12)
- 4) 北野ほか：簡易冷却施設を利用した黒毛和種胚牛の暑熱対策効果の検討，宮崎畜産試験場試験研究報告 第31号，pp.5～8，(2020)
- 5) 村越ほか：駅舎に導入した夏季における天井フィン冷房システムの効果，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp.345～348，(2017)
- 6) 塩谷繁：乳牛の暑熱対策，畜舎環境の整備と資料給与の改善，牧草と園芸 第46巻第7号，pp.1～5，(1998-7-1)
- 7) 阪谷美樹：暑熱ストレスが産業動物の生産性に与える影響，産業動物臨床医学雑誌 5 巻，pp.238～246，(2015)
- 8) 雪印メグミルク株式会社・酪農総合研究所：乳牛の暑熱ストレスと生理的影響，<https://www.rakusouken.net/technology/>，(2023年1月閲覧)

A-3

縮小模型を用いたシングルラインディフューザ気流のPIV測定に関する研究

○山元誠也（福井大学） 桃井良尚（福井大学）

Seiya Yamamoto (University of Fukui), Yoshisa Momoi (University of Fukui),

キーワード：模型実験，吹出し口，PIV

はじめに

空調吹出し気流は室内の気流性状や温度分布に非常に大きく影響する。しかし、制気口メーカーのカタログには吹出し気流の到達距離や拡散幅等のデータはあるものの、それらのみでは室内の温熱環境を詳細に予測するためには不十分である。そのため、CFD解析による室内温熱環境設計の予測が有効である。そこで種々の吹出し気流に対し気流をモデル化し、CFD解析ソフト上に配置することで多くの吹出し口を有する空調室内の気流解析を短時間かつ容易に行うCFDパーツの開発が進められている¹⁾。CFDパーツには、それぞれPV法やMomentum法といった吹出し気流のCFDモデリング手法が採用され、吹出し口近傍の風速分布や運動量を与える必要がある。CFDモデリングの研究としてこれまで吹出し口周辺の詳細解析や実験による実大風速測定など数多くある。本研究では、3Dプリンターの性能向上により、精度の高い縮小模型が作成できるようになったことで、ラインディフューザを対象として縮小模型を用いた吹出し風速測定の可能性について検討した結果を報告する。

1. 熱線風速計を用いた吹出し風速測定

1.1 実験装置の概要

熱線風速計による実験は、2021年1月に福井大学環境計画実験室において行った。図1に、測定対象としたシングルラインディフューザ（空研工業，VTL-1型）の縮小模型寸法を、図2に実験装置の全体図を、表1に実験条件を示す。幅と高さ600mm、奥行き900mmのチャンバーに取り付けた。吹出し口幅4mm、開口高さ182mmのシングルラインディフューザ（空調技研工業 VTL-1型）の1/5縮小模型を3Dプリンターで作成し、実験は風速5m/s、10m/s、15m/s(実大:1m/s、2m/s、3m/s)の3条件で行った。図3に吹出し口の断面図を示す。チャンバーの中にバップルプレートを取り付け、吹出し気流が一様になるようにした。

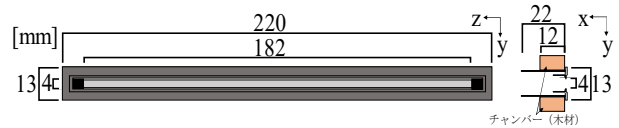


図1 ディフューザ詳細図（縮小模型サイズ）

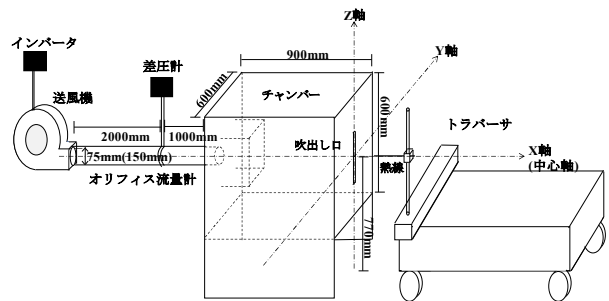


図2 実験装置

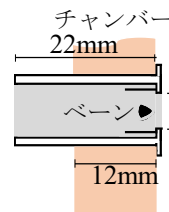


図3 吹出し口断面図

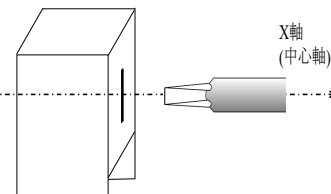


図4 熱線プローブの設置方向

表1 実験条件

	縮率 [-]	吹出し口幅d [m]	吹き出し風速v [m/s]	流量Q [m³/h]	レイノルズ数Re [-]
縮小 模型実験 (実大実験)	1/5 (1)	0.004 (0.020)	5.0 (1.0)	11.4 (57.0)	1333
			10.0 (2.0)	25.6 (128.0)	2667
			15.0 (3.0)	38.6 (193.0)	4000

本実験は等温で行い、Z軸方向の風速分布はないとして、吹出し口中央(床上770mm)の水平断面で測定を行った。風速は式(1)に示す実大スケールでの吹出し気流のレイノルズ数と一致するように、縮小模型実験での吹出し風速条件を決めた。

$$Re = \frac{dv_0}{\nu} \quad (1)$$

ここで d は吹出し口幅(=0.004)[m]、 v_0 は吹出し風速[m/s]、 ν は動粘性係数(1.5×10^{-5}) [m²/s]とした。

1.2 熱線風速測定における測定点

測定機器は標準直線プローブ：(日本KANOMAX社製 0251R-T5)を使用した。本実験の風速はXY軸の2方向成分の合成値とした。図4に熱線風速計の測定向きを示す。到達距離のカタログ値及びBS EN 12238²⁾を参照し測定点を決定した。図5に吹出し風速 5m/s における風速測定点を示す。吹出し風速 5m/s における測定点はX軸上(以降、中心軸上と記す)の吹出し口から160mmの地点までとし、吹出し口近傍は風速の減衰が早いため7.5mm間隔で等間隔になるように設定し、吹出し口から離れた地点では徐々に間隔を広げ、到達距離付近では15mm間隔で等間隔になるように設定した。拡散方向は中心軸から5mm間隔になるように設定した。吹出し風速10m/sや15m/sでも、測定間隔は風速比に応じて変わるものの基本的な設定方法は吹出し風速5m/sと同じとした。

1.3 実験結果及び考察

図6に吹出し風速 5m/s、15m/s における風速の水平分布を示す。吹出し口近傍では5m/sよりも15m/sの方が噴流幅が狭く、風速勾配が大きい。吹出し口から遠い位置では噴流幅が広がり風速勾配が小さくなり、吹出し風速 5m/s と15m/sの結果は非常に一致する。

2. PIV 測定による気流性状の把握

2.1 実験装置の概要

熱線風速計による風速測定では測定データが時間的にも空間的にも離散データになるため、吹出し気流全体の流れ場の把握を行うには多くの測定点を要し、測定に時間がかかる。そこで高速度カメラを用いたPIV(粒子画像流速測定法)測定³⁾により吹出し口からの気流場全体の同時把握を試みた。実験は2022年10月に福井大学環境計画実験室で行った。図7にPIV実験の概要を示す。PIV実験では煙発生装置(ダイニチ社製、PS-2006)で発生させた煙を送風機から取り込み、チャンバーで一様にし、吹出し口正面に設置したシート状レーザー(CNI社製、MGL-F-532、出力2W)を水平に照射し、床面に設置した高速度カメラにより吹出し気流の可視化画像を撮影した。吹出し風速は5m/s、10m/s、15m/sで実験を行い、吹出し風速条件に合わせて粒子の移動距離が10pixel/frame程度になるよう画像サイズ、測定探査領域、及び

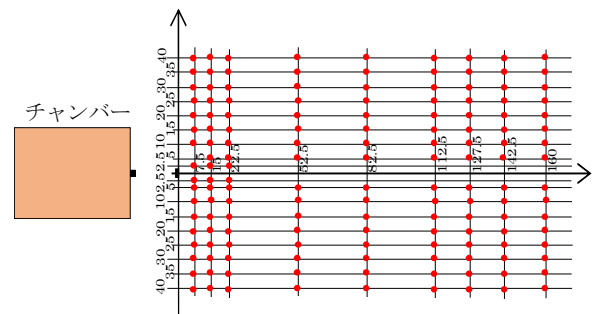


図5 吹出し風速 5m/s での測定点

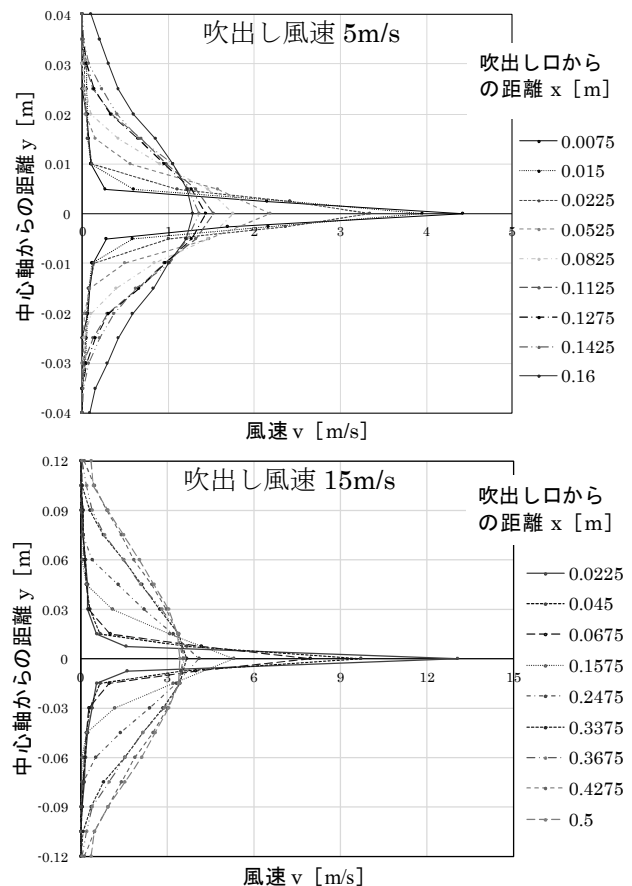


図6 吹出し風速の水平分布

撮影速度などの条件を決定した。表2にPIV測定の測定条件及び解析条件を示す。PIV解析にはKoncerto II(西華デジタルイメージ社製)を使用した。

2.2 PIV 測定の結果と考察

(1) 中心軸上の風速測定

噴流の式を式(2)に記す。なお式(2)に吹出し幅 $d=0.004$ m、残風速 $v=0.25$ m/s を代入し変形すると式(3)に示す吹出し風速を関数とした到達距離の推定式が得られる。

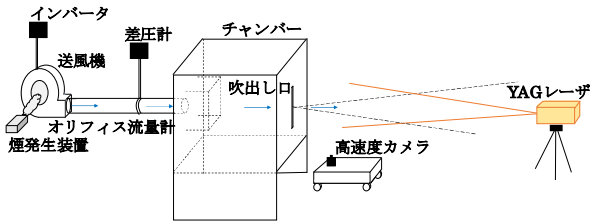


図7 可視化実験装置

表2 PIV 測定の概要

風速条件	5m/s	10m/s	15m/s
使用ソフト	Koncerto II		
CCDカメラ	FASTCAM Mini AX(Photron)		
レーザ	MGL-F-532/2W		
アルゴリズム	直接相互相関法		
解像度 [pixel]	1024×496	1024×736	1024×560
撮影範囲 [mm]	263×127	338×243	488×267
撮影速度 [fps]	2000	3000	4000
平均化時間 [msec]	0.5	0.33	0.25
シャッター速度 [s]	1/frame		
検査領域 [pixel]	16×16		
探索領域 [pixel]	16×16		
再帰回数 [回]	7		

$$\frac{u}{u_0} = \sqrt{K \frac{d}{x}} \quad (2)$$

$$x = Kd \left(\frac{u_0}{u} \right)^2 \quad (3)$$

d : 吹出し口幅[m], u_0 : 吹出し風速[m/s], u : 残風速=0.25[m/s], K : スロー定数=5[-], x : 吹出し口からの距離[m]とする。

図8に吹出し口からの距離による中心風速のPIV結果を熱線風速計での測定値を式(2)に示す噴流の式⁴⁾で回帰した曲線と併せて示す。PIV実験による風速測定では、吹出し口近傍の風速を精度よく算出することができなかった。本実験では模型の縮率を実物大の1/5と設定しているため測定位置が実距離の1/5倍となり、吹出し口近傍で測定する必要がある。吹出し口近傍では、トレーサ粒子の密度が高くなることや、レーザ光の反射の影響で可視化画像の輝度が高くなりすぎるため正確な風速が算出できなかったと考えられる。一方、吹出し口から100mm程度離れると熱線風速計による測定値とほぼ同じ値になった。また噴流の式より両辺対数をとると、式が線形になることから、図8の両軸を対数軸で表したグラフを図9に示す。吹出し風速10m/s及び15m/sでは、吹出し口から100mm程度離れた位置では風速の低下が見られ、二次元性を失った可能性があると考えられる。

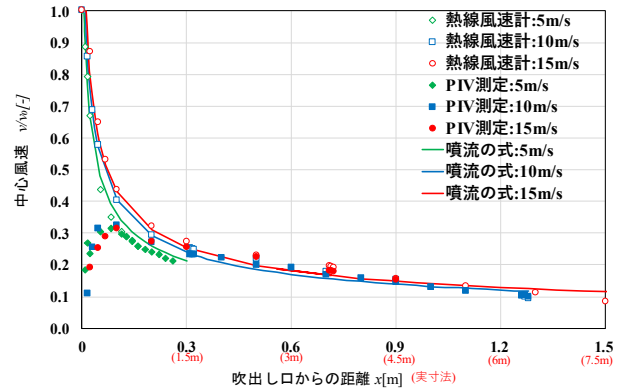


図8 PIV熱線風速計による中心風速測定結果の比較

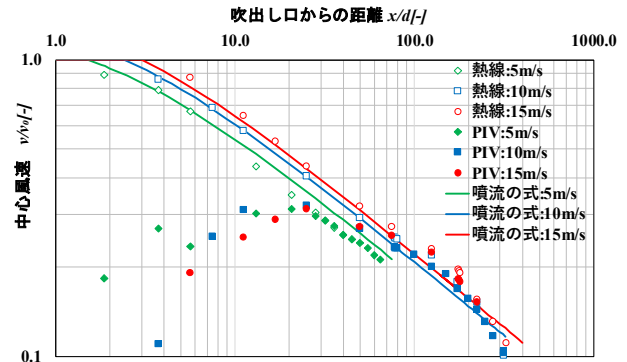


図9 PIV測定と熱線風速計による中心風速測定結果の比較(両軸対数)

等温で縮小模型のPIV測定を行う場合、比較的容易に風速分布が得られるものの、熱線風速計と比べ測定可能範囲が限られることがわかった。

(2) 吹出し風速の水平分布

熱線風速計の風速測定値はX方向とY方向の合成成分スカラーであるため、PIVによる測定結果も熱線風速計に合わせて合成成分スカラーで表す。図10に吹出し風速5m/s及び15m/sにおける吹出し風速の水平分布を示す。ここで風速の水平分布噴流式を(4)に示す。

$$\frac{u_y}{u_c} = \exp \left[-2K^2 \frac{y^2}{x^2} \right] \quad (4)$$

u_y : 距離 y における x 方向の成分風速 [m/s], u_c : 距離 x における中心軸上の風速 [m/s], y : 中心軸からの距離 [m], x : 吹出し口からの距離 [m]とする。いずれの条件においても吹出し口近傍は正確に測定できておらず、吹出し口からの距離が80mm程度までは中心軸付近の風速が熱線風速計による測定より低い結果となった。しかし、吹

出し口から十分離れると熱線風速計による測定値と非常に良く一致した。どちらの条件においても吹き出し口近傍は正確に測定できておらず、吹き出し口からの距離が 80mm ほどは離れるまで中心軸付近の風速が PIV 測定の方が低い結果となっていた。しかし、吹き出し口から十分離れると熱線風速計と一致する結果となり、風速の減衰もなだらかな変化となった。また、吹き出し風速 5m/s と 15m/s での拡散の仕方を見ると、吹き出し風速 15m/s の方が拡散していることが見て分かった。これは吹き出し風速 5m/s は層流であり、気流はまっすぐ進み、吹き出し風速 15m/s は乱流であることからこのような少しの違いが見られたのではないかと考えられる。

(3) 吹き出し風速の水平分布

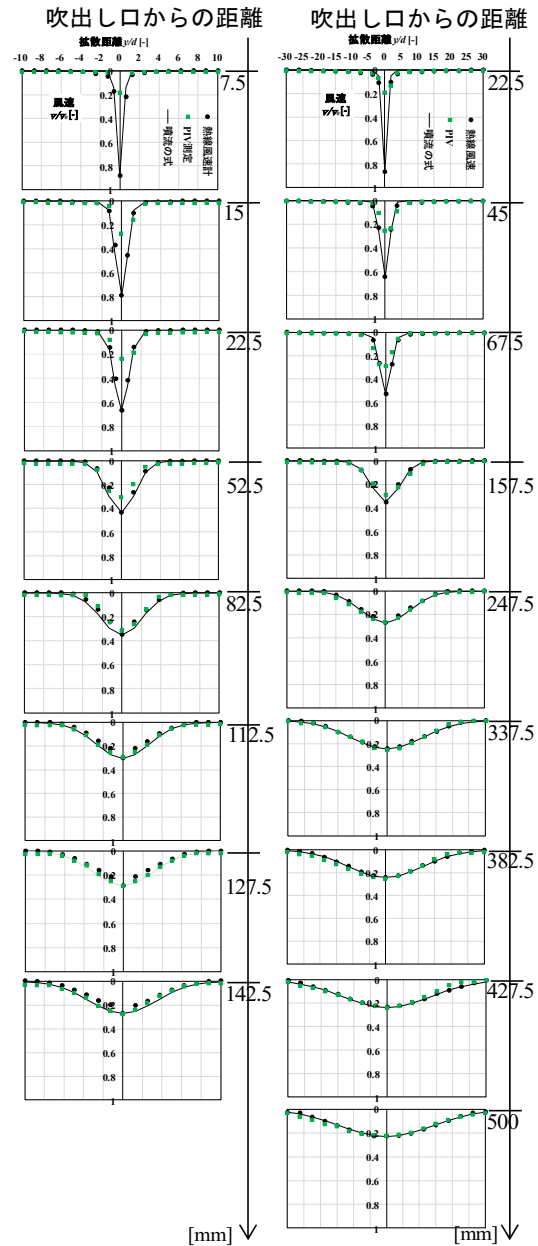
図 11 に熱線風速計及び PIV 測定の結果から算定した到達距離の比較を行ったものを示す。第一到達距離である残風速 0.5m/s(縮小模型寸法では 2.5m/s)では、吹き出し風速 5m/s は吹き出し口に近すぎたため算定できなかった。吹き出し風速 10m/s 及び 15m/s では PIV 測定の方が吹き出し口に近い位置となっている。吹き出し口から近い位置で残風速 0.5m/s になるためだと考えられる。第二到達距離である残風速 0.25m/s(縮小模型寸法では 1.25m/s)では、熱線風速計と PIV 測定による結果が非常に一致していた。

3. まとめ

縮小模型を用いた風速測定実験では、高風速条件でレイノルズ数が 2000 以上の乱流条件では風速分布が相似に寝ることが示され、多くの風速条件を設定する必要がないことが明らかとなった。PIV 測定では、吹き出し気流全体の風速分布を容易に把握することができるが、吹き出し口近傍の風速を正確に測定するのは困難であることが分かった。今後は吹き出し口の詳細形状データを用いた CFD 解析を行い、本報の PIV 測定及び熱線風速計による測定結果と比較する予定である。

参考文献

- 1)次世代建築環境 CFD パーツの研究開発と BIM 連携環境シミュレーションへの応用 (第2報) ラインディフューザと4方向カセット型ディフューザパーツの開発,空気調和・衛生工学会学術講演論文集,(2018-4),5-8
- 2)BS EN 12238: 2001 : Ventilation for buildings – Air terminal devices – Aerodynamic testing and rating for mixed flow application (2001)
- 3)ライン型ディフューザを用いた室の CFD 解析手法に関する研究 その5 シングルラインディフューザにおける気流性状の把握と簡易解析手法の検討,空気調和・衛生工学会論文集,(2016-3), pp.205-208
- 4)ライン型ディフューザを有する室の室内気流解析に関する研究 その4 シングルラインディフューザにおける簡易解析手法の検討,日本建築学会環境系論文集,(2016-8), pp.817-818



吹き出し風速 5m/s 吹き出し風速 15m/s
 図 10 各測定距離での吹き出し風速の水平分布

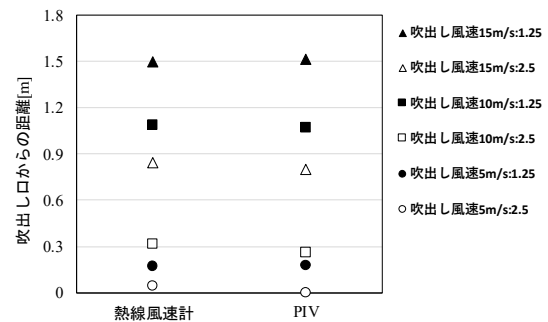


図 11 熱線風速計と PIV の到達距離の比較

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），小林光（東北大学）

Study on development of transparent daylighting device applying Köhler Integrator
 Tamura Takumi (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University)

キーワード：昼光，採光，非結像光学，Köhler Integrator

はじめに

昼光利用は、照明エネルギーの削減のみならず災害時対応、知的生産性の向上等への効果が期待されている。奥行きが深いオフィス等では側窓から室奥まで配光することが期待され、太陽方位・高度が変化する直射光を取り入れるための様々な提案がなされている。川岸ら¹⁾は透明材料を用いた屈折と全反射で構成する採光ルーバーに Köhler Integrator²⁾(以降 KI)の原理を用いたコンパクトな固定型採光装置を提案した。

川岸らの透明採光ルーバーは中緯度地域の南面ファサードに適用することを意図して、 $50 \pm 30^\circ$ の入射プロファイル角(入射角の垂直成分)に対応し、採光部・導光部・放光部の各部位で屈折・全反射・屈折の3段階の光線制御を行う。広いプロファイル角に対応して多くの採光量を確保する反面、プロファイル角によって配光特性が大きく異なるほか、窓面付近と室奥とで机上上面照度に大きな差があるなど検討の余地を残す。本研究では川岸らの採光ルーバーの思想を踏襲しながら、配光を狭角化してプロファイル角によらず常に室奥への配光を実現し、室全体でなるべく均等な照度となる採光ルーバーの開発を目指した。

1. 採光ルーバー形状の検討

図1に示すオフィス空間の南面窓への設置を前提として、オフィス在室者の主な作業時間である9:00～15:00において室奥への理想的な放光を得ることを意図した採光ルーバーの形状検討を行った。Köhler Integrator を基本としてレンズ形状や全反射面の検討を行い、光線追跡によって理想的な配光が得られているか確認した。

1.1 Köhler Integrator の性質を用いた形状の検討

KI は入射、放射一対のレンズで構成され、角度範囲 $\pm\theta/2$ から入射する光を放光側の角度範囲 θ 内にほぼ均等に放光する。KI は同じレンズ2枚の構成を基本とするが、異なる形状や大きさの非対称なレンズを用いても同様な効果が得られる。本研究では大きさ

の異なる2枚のレンズで構成した $\pm 30^\circ$ の範囲からの直射光を $\pm 7.5^\circ$ の範囲に絞る構成を基本とする(図2)。

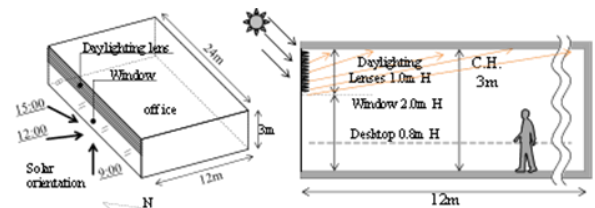
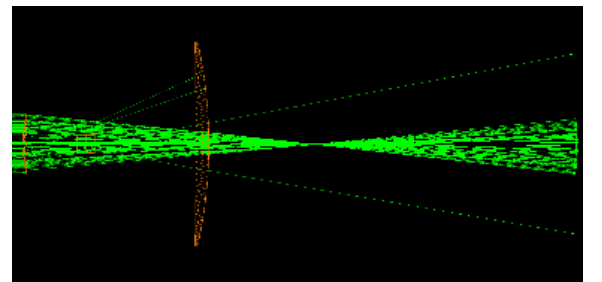
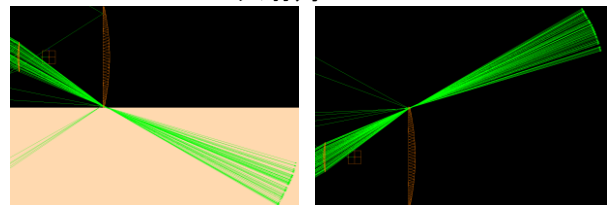


図-1 採光対象室平面図(左)、断面図(右)



入射角 0°



入射角 -30°

入射角 30°

図-2 放光角度範囲の絞り込み

但し放光の向きがレンズの中心からずれるため、後述の全反射面による光線の制御で放光角を適切に修正する。KI を構成するレンズは、その表裏が曲面である場合は2枚のレンズ間に空間を必要とするが、裏面が平面である場合はレンズ間を屈折体で満たしても大きな問題はない。即ちレンズ表面(片面)のみで機能する非球面レンズが計画できれば、一体化したKIを構成できる(図3)。こうした非球面レンズを非結像光学の設計手法のSMS(Simultaneous Multiple Surfaces)法で計画する。

室全体に配光するために入射光を水平から上向きに放光する必要がある。入射する直射光をルーバー

内で大きく天井方向へ曲げるため、一体化した KI を適切な面で折り返して全反射面を形成する。本論のルーバーの適用地域は北緯 35.7 度、東経 139.7 度の東京を代表地域として想定し、南面における主なプロファイル角の範囲 20°~80°の太陽光を採光できるように KI の角度範囲を 50±30°とし (図 4)、折り返し面を設けて全反射面を形成した(図 5)。

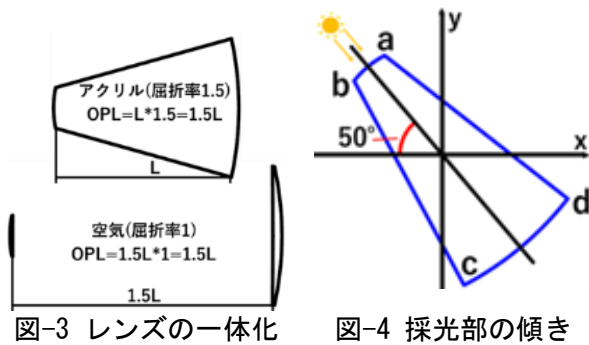


図-3 レンズの一体化

図-4 採光部の傾き

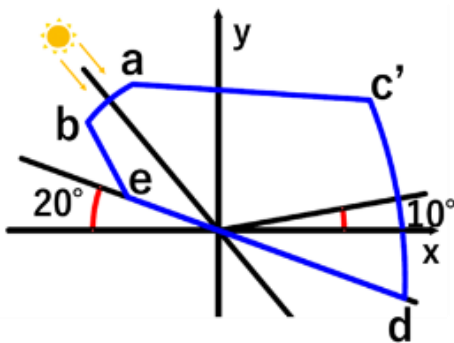


図-5 折り返した KI

1.2 全反射面の傾き角度の検討及び円弧の導入

ルーバーの材料として屈折率約 1.5 の透明アクリルを用いる場合、屈折体から空気への界面に入射角約 42°以上で光が入射すると全反射を生じる。まず KI の中心であり、春・秋分のプロファイル角である 50°において理想的な放光となるようにルーバーの形と全反射面(図 5 の d-e)の傾きを決定し、入射角が 50°を下回る場合と上回る場合について図 2 に示したとおり、放光がレンズ中心からずれるため、これを補正することを意図して、全反射面の傾きを調整した。これは入射角に応じて面 d-e 上の光線反射位置が異なることで実現可能となる。各入射角に応じて理想的な放光となる傾きの全反射面を導入し、隣り合う面の端点を接点とする円弧で接続して全反射面を形成した(図 6)。なお入射側のレンズが小さいため、ルーバーを構成する際には図 7 に示す通り入射側に隙間が生じる。プロファイル角が大きい 70°以上では 100% 採光されるのに対し、70°を下回ると採光しない光が生じる。プロファイル角によって採光される日光の割

合は変化するが、採光量は大きく変化しない。また、採光しない光は積極的に拡散することとした。

以上の形状検討によって、プロファイル角 20°~80°の全ての光線ではほぼ同等の室内への放光を実現した。

1.3 光線追跡による採光の検証

検討した採光ルーバーに関して、天井、室内への配光特性を確認するためにプロファイル角 20°、50°、80°の入射光について光線追跡を行った結果を図 8 に示す。

プロファイル角 50°、80°では一部に水平下向きの光が見られるものの、概ね等しい放光が得られた。

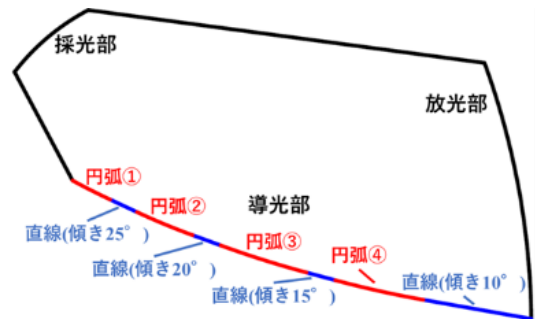


図-6 円弧と直線による全反射面

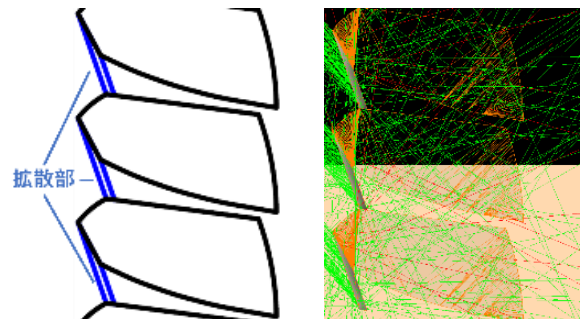
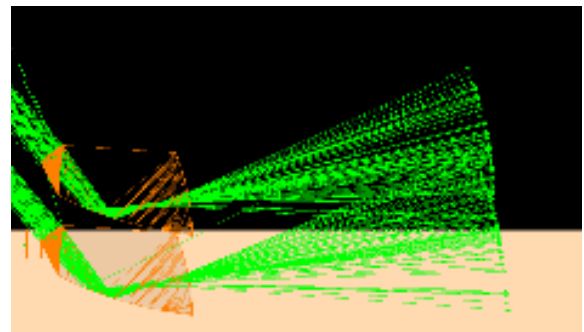
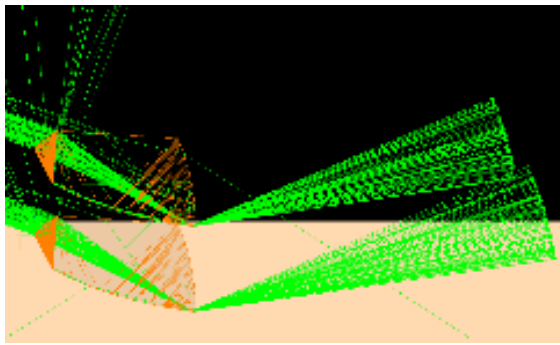


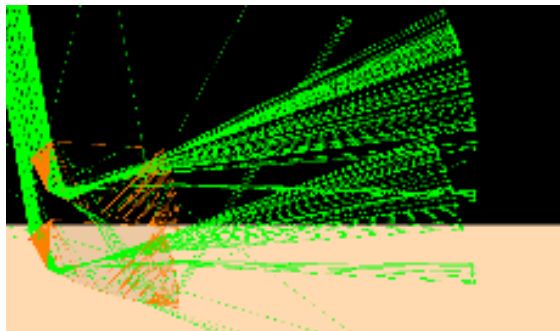
図-7 拡散部(左)と光線の様子(右)



プロファイル角 20°



プロファイル角 50°



プロファイル角 80°

図-8 光線追跡

机上面照度について、本ルーバーと川岸らのルーバーを図 10 に比較する。図 9 より、季節や時間帯にかかわらず室内全域において偏りなく 500lx 以上の照度が確保されていることが確認できる。また、図 10 より、既存ルーバーと比較して室内でより高い照度を得ることが確認できる。

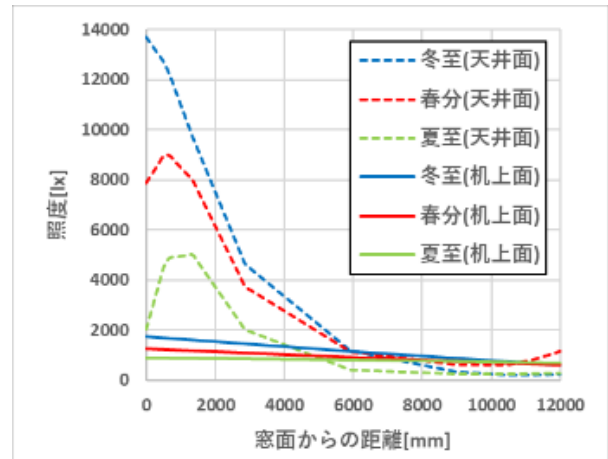


図-9 解析結果

2. 光学シミュレーションによる性能検証

2.1 光学シミュレーションの概要

光学シミュレーションにより机上面照度(床上0.8m)を評価した。図 1 のオフィス空間を対象に直射日光のみを考慮した。室内各面の表面特性を表 1 に示す。解析ケースは表 2 に示した東京(北緯 35.7 度、東経 139.7 度)における冬至、春分、夏至の 9 時、12 時、15 時とした。光解析には Integra 社、Lumicept を用いた。

表-1 表面特性

材料特性	天井・壁	床	ルーバー拡散部	ルーバー透明部
鏡面反射率[%]	0	0	0	8
ランベルト反射率[%]	70	50	20	0
透過率[%]	0	0	0	92
拡散透過率[%]	0	0	75	0
屈折率[%]	-	-	-	1.5

表-2 解析ケース(一部抜粋)

解析Case	採光装置	日付	時刻 [時]	太陽高度 [°]	太陽方位 [°]	プロファイル角 [°]	法線面照度 [lx]	水平面照度 [lx]
Case5	有	12/22(冬至)	12	30.7	185.3	30.8	89378.8	45608.9
Case8	有	3/21(春分)	12	54.4	184.9	54.5	100908.2	82040.4
Case11	有	6/21(夏至)	12	77.2	198.3	77.8	100814.0	98302.0

2.2 照度の解析結果

冬至、春分、夏至の正午における窓面からの距離と机上面照度及び天井面照度を図 9 に示す。また、

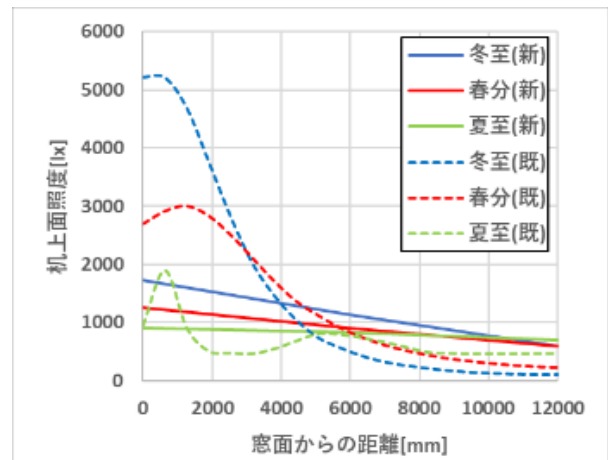
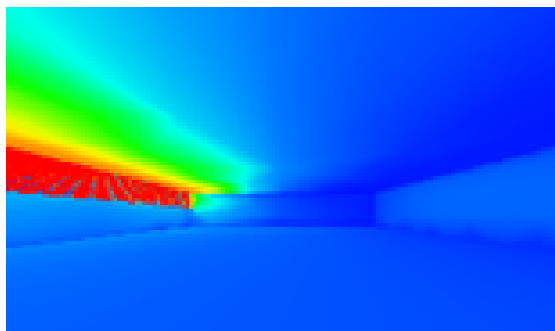


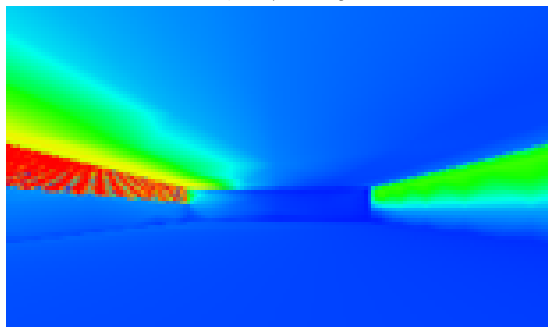
図-10 既往の採光ルーバーとの比較

2.3 輝度の解析結果

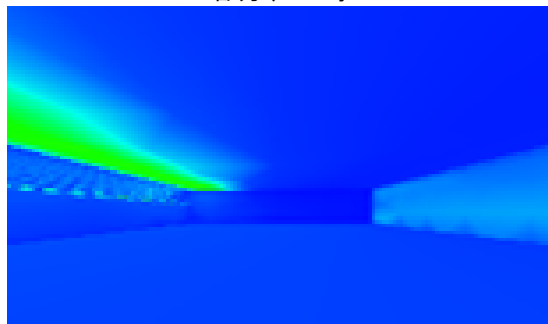
室の東側から西側を見た場合の輝度画像を図 11 に示す。机上面方向に直射光は入射しておらず、天井面や室内壁面に配光されていることが確認できる。



冬至、12時



春分、12時



夏至、12時

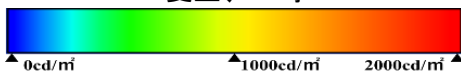


図-11 輝度画像

3. DGP (Daylight Glare Probability)³⁾によるグレア評価

表 2 の解析ケースにおいて、冬至、春分、夏至の正午について、視線高さ 1.2m における室中央の窓からの距離と DGP の関係を表 3 に示す。距離 10m の評価点からルーバーを見た様子を図 12 に示す。DGP 評価には Lumicept を用いた。全ての日時、場所で DGP が 0.35 を下回っているため、グレアは「感じない」と判断することができる。以上の評価から、このルーバーは広く室内に季節・時間帯を問わない均質な照度を十分に低いグレアリスクで実現すると考えられる。

表-3 室内各位置における DGP 評価

窓からの距離	冬至12時	春分12時	夏至12時
2m	0.24	0.23	0.25
6m	0.29	0.25	0.22
10m	0.28	0.25	0.19



図-12 ルーバーの様子

4. まとめ

- 1) KI の原理を応用して透明採光ルーバーの開発を行った。2 枚の異なるレンズの組み合わせとプロファイル角 $20^{\circ} \sim 80^{\circ}$ の範囲において全反射が生じる導光部の形状を検討し、本研究の前身となる川岸らのルーバーの課題であったプロファイル角による配光特性の変化を改善し、常に安定した室内への配光を実現した。
- 2) 光学シミュレーションによる性能評価を行い、本ルーバーは既存のルーバーと比較して机上面照度が高く、かつ均質であることが確認された。
- 3) 入射条件によって、若干下向き光が発生するものの、グレア指標の DGP による評価でグレアのリスクが十分に低いことが確認された。

参考文献

- 1) 川岸 岳大 小林 光: エテンデュを用いた固定型透明採光ルーバーの開発に関する研究
- 2) Julio Chaves: Introduction to Nonimaging Optics SECOND EDITION
- 3) Jan Wienold, Jens Christoffersen: Evaluation methods and development of a new glare prediction model for daylight environments with the use of CCD cameras

空気感染リスクの視える化による社会的レジリエンス向上に関する研究

その1 モデル概要

○小林 仁 (仙台高等専門学校)

Study on improving social resilience by visualizing airborne infection risk

Part 1 Model Overview

Hiroshi Kobayashi (NIT Sendai College)

キーワード：社会的距離、層列モデル、オルタナティブパーソナルスペース

1. はじめに

近年、グローバル化が進む中で人・物の世界的移動が加速化し、これに伴い、感染症の世界的パンデミックのリスクが懸念されている。実際にSARS(2002年～)、MERS(2012年～)、COVID-19(2019年～)等が世界的に蔓延してきている。

感染症蔓延などの複雑系の問題解明には、解像度の高いビックデータが必要となる。しかし、パンデミック初期のウイルスの特性が未詳の段階での対応では、解像度の粗いビックデータ、解像度の高いティックデータを集積・複合して、対策を検討することが必要となる。特に、COVID-19の様な感染力が強く、潜伏期間の長い感染症では、因果関係が明確ではなく、ビックデータに基づく広域の統一的対策には限界がある。このため、ティックデータに基づく、地域や個人での対策が重要となるが十分に成果を上げていたとは言いがたい。

この理由として、個人レベルでの判断が困難であることがあげられる。確かに、富岳等スーパーコンピューターを用いた熱流体解析等のティックデータは一般にも共有されているが、計算条件は限定的で、専門的知識を持たない個人が活用することは難しい。感染者数や実行再生産数等のビックデータも反映させて行動することも困難である。

一方で、人類は、生存という長期間のセレクションにより、遺伝子的、習慣的、心理的に最適化されたパーソナルスペース(対人距離)が定まっているが、新たな感染症のパンデミックの様な急な変化にはすぐには順応できない。

そこで、新たな感染症に関するティックデータを基に、パーソナルスペースを拡張し、周囲の人

の居方・環境など周辺状況に伴って変化する空気感染のリスクの経時変化を予測できる、簡易予測モデルを構築し、それをを用いた空気感染リスクの視える化を図ることを考える。

これをウェアラブル化することで、各自が周辺状況に応じて、各自の判断で空気感染リスク対応が可能となる。それが習慣化することで、各自でパーソナルスペースを最適化できるようになり、社会全体で空気感染へのレジリエンスが高い行動が自然に取れるようになることが期待される。

以上鑑みて、本研究では、既往のパーソナルスペースの概念を距離から空間へ拡張した上で、層間の気流・物質移動を加えた層列モデルへとし、感染リスクに基づいたリアルとバーチャルを融合したオルタナティブパーソナルスペースを提案し、感染症に対する社会的レジリエンス向上を目的とする。本報ではモデルの概要について示す。

2. 研究方法

2.1 社会距離

本研究では、初めに、エドワード・T・ホールの密接距離・個体距離・社会距離¹⁾を基に、それぞれ3密の密接、密集、密閉と関係付けて、それらを空間へと拡張する。日常での、密接距離(密接)、個体距離(密集)、社会距離(密閉)の気積を 0.05m^3 (人体体積)～ 0.5m^3 (時間当たりの吐気量)、 $0.5\sim 5\text{m}^3$ (2m間隔での個人領域×身長)、 $5\sim 50\text{m}^3$ (厚生省の感染対策目安：カナダ結核調査での1時間当たりの有効換気量²⁾)とする。具体的には、通常は、密接空間 0.5m^3 、個体空間 5m^3 、社

会空間 50m³、満員電車等は、密接空間 0.05m³、
 個体空間 0.5m³、社会空間 50m³とする。実際には、
 密接空間、個体空間、社会空間の適切な気積・
 層数は、居方・換気性情によって変わるため、そ
 れら³⁾を基に随時最適化する必要がある。

2.2 層列モデル

居方（ウイルス拡散）の要因、**①**マスク等感染
 対策(捕集効率^{4),5),6)}：不織布 80%、布 70%、ウレ
 タン 50%)、**②**顔の向き(口・鼻からの呼気の拡散：
 密接空間の方向性^{5),6)})、**③**呼吸・声・大声・咳等
 ウイルスの拡散量(発生量^{5),6)}1:10:100:1000)、等
 を基に、ウイルス発生量の経時空モデル化を行う。

換気性情に関連する要因、**①**吐気量⁷⁾0.5m³/h、
②拡散・対流^{5),8),9)}5m³/h、**③**換気²⁾50m³/h、**④**移
 動(歩行¹⁰⁾:1.0m/s)、**⑤**気象(気流¹¹⁾:屋外 3.0m/s)、
 等を基に、層間換気量を設定する。

これらを基に、パーソナルスペースを図-1の様
 な層列型換気・濃度計算モデルへと拡張する。こ
 れを基に、暴露量と時間から、感染リスク^{4),5)}の
 時空分布を計算するツールとして整備する。

3. おわりに

本報では、パーソナルスペースの概念を空間へ
 と拡張し、スペース間を移動する気流・物質量を
 定め、層列モデルとした、オルタナティブパーソ
 ナルスペースのモデルの概要を示した。

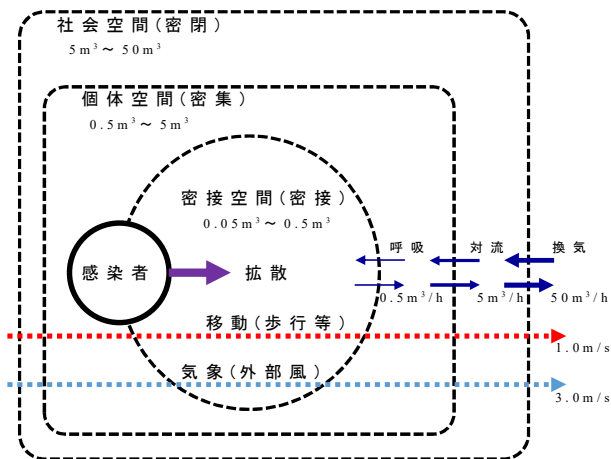


図-1 概念図

今後は、提案したモデル基に、既往の感染例^{3),4)}
 等によりツールの検証を行う。さらに、呼吸・プ
 リウム等のシミュレーション^{5),8),9)}、レーザー等

用いた可視化実験結果¹²⁾などティックデータで
 モデルの最適化を行う。また、資点系の指数関数
 型感染モデル²⁾などとの整合性も検証する。

将来的には、ツールをスマートグラス等のウェア
 ラブル端末用に実装し、各地点での感染リスク
 の随時把握を目指す。

参考文献等

- 1) エドワード・T・ホール：「かくれた次元(日高敏隆・佐藤信行共訳)」、みすず書房、1970
- 2) 倉淵隆：「特集 新型コロナウイルス感染症の現状とその対策(2)・新型コロナ対策として換気量はどうかやって決めるべきか?」、空気調和・衛生工学会誌 第95巻 第6号、pp6-9、2021
- 3) 倉淵隆：「[特集]新型コロナウイルス感染症の拡大防止に貢献する流体力学 新型コロナウイルス感染防止のための換気対策」、ながれ第40巻、pp215-220、2021
- 4) 日本産業衛生学会・令和2年度厚生労働科学特別研究事業研究班：「職場における新型ウイルス感染予防・対策マニュアル シリーズ4、接客業務における新型コロナウイルス感染予防・対策マニュアル」、2020
- 5) 飯田明由、大西慶治 他：「マスクの流体力学」HP(https://www.hpci-office.jp/invite2/documents/ws_cae_210312_iida.pdf)
- 6) 上田耕蔵：「新型コロナ Q&A その30-3」、2021
- 7) 放射医学総合研究所ラドン濃度測定・線量評価委員会：「ラドン濃度測定・線量評価最終報告書」、pp28-32、1998
- 8) 環境シミュレーション：「換気と咳の話」HP(http://www.env-simulation.com/jp/service/5/seki_jirei.php)
- 9) 福岡孝幸、伊藤一秀：「閉鎖空間内の非定常不均一濃度分布と疫学連成解析による暴露リスク評価」、日本建築学会環境系論文集 第76巻 第659号、pp25-33、2011
- 10) 例えば、阿久津邦男：「歩行の科学：運動不足克服のために」、不昧堂、1975
- 11) 例えば、田中俊六 他：「最新建築環境工学[改訂4版]」、井上書店、2014
- 12) 田辺新一 他：「模擬咳発生装置による飛沫沈着量分布の測定」、日本建築学会環境系論文集 第83巻 第743号、pp57-64、2018

A-6

海岸部に建つ研修・保養施設の建築・設備計画

(その1) 建築環境・設備計画

○村田 大輔 (㈱テーテンス事務所), 田中 雅人, 駒澤 昭彦, 進堂 晃央 (ミサワ環境技術㈱),
赤井 仁志 (東北文化学園大学)

Overview of Architectural and Building Mechanical Equipment Planning for the Training and Recreation facility to be Built in the Coastal Area (Part 1) Architectural Environment and Mechanical Equipment Planning

MURATA Daisuke (TETENS ENGINEERING CO.,LTD.), TANAKA Masato,
KOMAZAWA Akihiko, SHINDOU Akio, (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.)
AKAI Hitoshi (Tohoku Bunka Gakuen University),

キーワード：自然調和 研修施設 保養施設 海岸部

はじめに

本施設は、景勝地である松島湾を一望できる高台に位置する。寒冷地の塩害地域という条件の下で、建築・設備の長寿命化対策と様々な省エネルギー手法により、ライフサイクルコスト低減と快適な室内環境の両立を目指した。

1. 建築概要

本施設の概要を記す。松島の自然を大切にするため、敷地内の既存樹木(アカマツ等)を保存し、建物高さを13mに抑えることで松島の景観に調和する計画とした。

所在地：宮城県宮城郡松島町

主用途：研修所・保養所

地域・地区：第2種住居地域、

特別名勝松島保存管理計画地区

敷地面積：17,415.46 m²

建築面積：1,807.71 m²

延べ面積：5,537.76 m²

構造：RC造、SRC造

階数：地上4階

建物高さ：12.95m

2. 建築計画

外壁は耐久性に優れる炆器質レンガとアルミキヤストパネルで仕上げ、屋根は亜鉛合金板の深い庇で覆うことで、汚れにくく、傷みにくく、メン

テナンスの負担が少ない長寿命な建築とした。建物全体を外断熱工法とした。窓は複層真空ガラスや一部発熱ガラスを採用することで熱負荷対策に配慮して、快適で安定した室内温熱環境を省エネルギーで得られる計画とした。

3階と4階には、松島湾の絶景を楽しめる浴室(温泉)と食堂を配置、内装は地場産の木材、石、漆喰など自然素材を採用している。

3. 設備計画

本計画敷地の特性(景観、塩害、寒冷地)を考慮し、設備機器を室内に設置する事で景観に配慮した。塩害の影響を軽減する事で長寿命化を図り、ライフサイクルコストを低減する計画とした。研修・宿泊エリアだけでなく共用部も、快適な室内空間となるよう計画、省エネルギーとの両立に配慮した。設備機器の耐震措置はクラスAとし、震災時の人命保護を最優先とすると共に設備の被害を最小限として、早期復旧できる様に工夫した。

次報で詳述するが、全館に導入した地中熱利用システムは、国内最大規模である。高効率で省エネルギー性に優れた空調システムである。熱源機器を全て室内設置する事で、景観及び塩害対策に配慮した。

空調換気設備の概要を表-1に、給排水衛生設備を表-2に示す。

謝辞

最後に完成に至るまでご指導くださいました東京エレクトロンのご担当者皆様をはじめ、設計及び施工を担当された関係者の皆様に、紙面をお借りして感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) 村田大輔:東京エレクトロン松島クラブ、竣工ライブラリー、東京都設備設計事務所協会誌・MET、No.34、(2022-7)、pp.12～15

表-1 空調換気設備の概要

空調設備	全館：地中熱ヒートポンプマルチエアコン 冷暖房切替熱源機 90kW×1台、85kW×1台 73kW×1台、56kW×1台 45kW×2台、28kW×1台 22.4kW×5台 冷暖フリー熱源機 45kW×1台、40kW×2台 地中熱交換器 PE製ダブルU字パイプ100m×136ヶ所 エントランスホール・ロビー・ラウンジ：温水式床放射暖房
換気設備	客室：デシカント調湿外気処理機 その他居室：全熱交換型換気扇 浴室：温水コイルユニット+ダクトファン その他：ダクトファン・天井扇 外気取入：除塩フィルターユニット

表-2 給排水衛生設備の概要

給水設備	受水槽（FRP製複合版パネル 24m ³ ） 給水加圧ポンプユニット
給湯設備	ガス無圧温水器（3回路：給湯・浴槽昇温・暖房）291kW×2台 貯湯槽(SUS 4.8m ³) 給水予熱槽（SUS 2.2m ³ ）+プレート熱交換器（温泉廃熱利用） 個別電気温水器
排水設備	下水道放流（一部浄化槽） 屋内合流式 汚水槽・雑排水槽・雨水槽・温泉排水槽・温泉貯留槽
ガス設備	LPガスバルク貯槽（980kg） 強制気化装置
消火設備	屋内消火栓設備（易操作性1号）
ろ過設備	全自動砂ろ過装置 内湯系統×1台、露天風呂系統×1台、足湯系統×1台
温泉設備	温泉槽（FRP製保温型複合パネル 13m ³ ） 加圧ポンプユニット

A-7

海岸部に建つ研修・保養施設の建築・設備計画

(その2) 地中熱利用による塩害対策と省エネルギー

○進堂 晃央, 田中 雅人, 駒澤 昭彦 (ミサワ環境技術(株)), 村田 大輔 (株テーテンス事務所), 赤井 仁志(東北文化学園大学)

Overview of Architectural and Building Mechanical Equipment Planning for the Training and Recreation facility to be Built in the Coastal Area (Part 2) Countermeasures Against Salt Damage and Energy Saving by using Ground Source Heat System

SHINDOU Akio, TANAKA Masato, KOMAZAWA Akihiko (Misawa Environmental Technology Co., Ltd.), MURATA Daisuke (TETENS ENGINEERING CO.,LTD.), AKAI Hitoshi (Tohoku Bunka Gakuen University),

キーワード：塩害対策 省エネルギー 地中熱

はじめに

第1報の通り、本施設には地中熱利用システムを導入している。地中熱ヒートポンプの熱源として深さ100mの地中熱交換器を136本埋設している。この地中熱交換器の本数を決定するために熱応答試験を実施した。当該敷地の地盤特性を事前に調査し、地中熱ヒートポンプが効率よく稼働できる最適な地中熱交換器の本数を算出した。本報では地中熱ヒートポンプが採用された要因、及び熱応答試験の結果と当該敷地の地盤特性を報告する。また、沿岸部での地中熱ヒートポンプの優位性についても評価した。

1. 地中熱ヒートポンプの優位性

地中熱ヒートポンプは、空冷式のヒートポンプと比較されることが多い。地中熱ヒートポンプの最大の優位性は地中温度の安定性に起因する省エネ性にある。それに加えて、空冷式のヒートポンプは外気と熱交換するために屋外に設置することになる。そのため、沿岸地域では塩害対策が必要となり、コストアップを余儀なくされるが、地中熱ヒートポンプは屋内に設置することが可能である。本施設では、ヒートポンプの設置位置が海岸から150m程度と近く、このような地域では、塩害対策のような特別な対応は不要となるという大きな利点がある。本施設では塩害対策に加えて景観にも配慮し、地中熱ヒートポンプが採用された。

2. 温度検層結果

熱応答試験の前に当該敷地の地中温度を調査した。地中熱交換器のパイプ内に温度センサーを挿入し、深さ1m毎に温度を測定した。測定結果を図-1に示す。10m付近までは外気の影響を受けているため11mから100mの平均をとると、平均値は17.5℃であった。東北地方の地中温度は14℃程度であることが多く、当該敷地の地中温度は比較的高かった。地中温度が高いと、暖房時の採熱が優位となり、寒冷地での地中熱ヒートポンプの利用には適している。

3. 熱応答試験結果

熱応答試験ではヒーターによって加熱した水を地中熱交換器内に循環させ、地中熱交換器の循環水温度と流量を計測した(温水循環試験)。更に温水循環試験終了後に地中熱交換器内に事前に設置した温度センサーにより地中温度の回復状況を計測した(温度回復試験)。これらの試験は「一定加熱・温水循環方式熱応答試験(TRT)技術書」¹⁾に基づいて行った。それぞれの計測データから、温水循環試験のデータに基づく循環時法と温度回復試験のデータに基づく回復時法を用いて地盤の有効熱伝導率の解析を行った結果を表-1に示す。各解析方法のうち循環時法によって解析した値1.17W/(m・K)を当該敷地の有効熱伝導率とした。

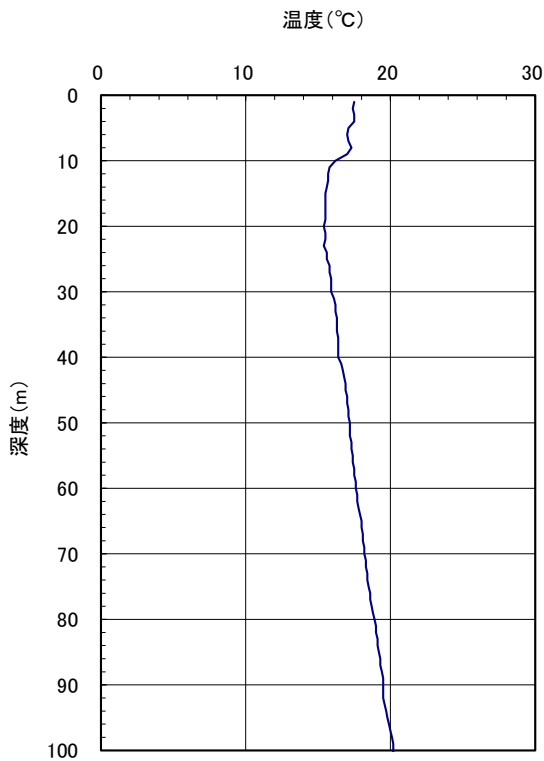


図-1 温度検層結果

表-1 熱応答試験結果

	有効熱伝導率 [W/(m・K)]
循環時法	1.17
回復時法	1.28

地中熱交換器を埋設した際に行ったボーリングの柱状図を図-1に示す。シルト、粘土、泥岩や砂岩といった軽量の岩が主体となっており、今回の熱応答試験の結果は一般的な値に近い値となっている。

謝辞

熱応答試験のデータをご提供くださいました東京エレクトロンのご担当者皆様をはじめ、関係者の皆様に、紙面をお借りして感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) NPO 法人地中熱利用促進協会編:一定加熱・温水循環方式熱応答試験 (TRT) 技術書 (2018)

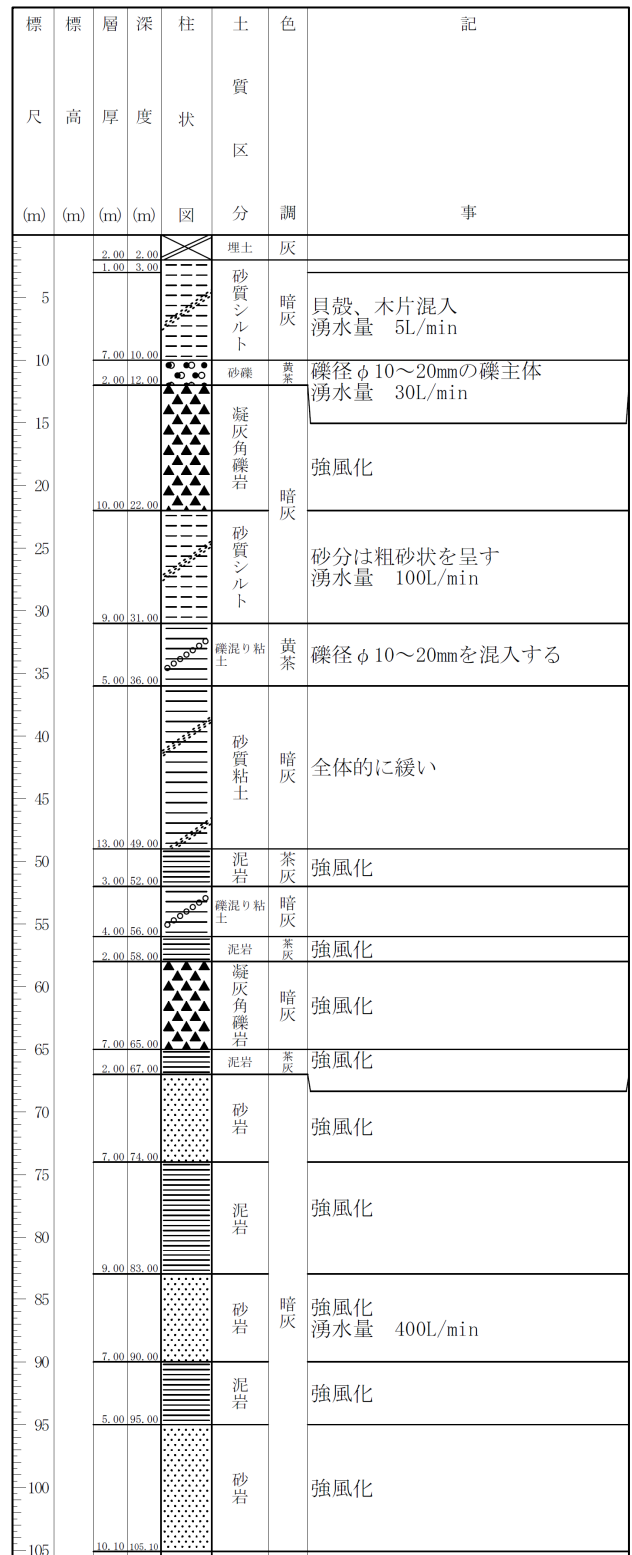


図-1 柱状図

A-8

エアロゾル感染対策を念頭においた講義室の空気環境評価

○本間義規 (国立保健医療科学院), 長谷川麻子 (宮城学院女子大学),
下ノ菌慧 (国立保健医療科学院), 林基哉 (北海道大学)

Evaluation of Indoor Air Quality in Lecture Room considering Aerosol Infection Control

Honma Yoshinori (National Institute of Public Health), Asako Hasegawa (Miyagi Gakuin Women's University), Shimonosono Kei (National Institute of Public Health), Hayashi Motoya (Hokkaido University)

キーワード : CO₂, 浮遊微粒子, 煙突効果

1. はじめに

教室 (講義室) 空間は, 授業内容に応じた感染対策が必要である. 講義 (スクール) 形式は壇上講師の発話がエアロゾル発生源となるため, 教壇周辺の対策を考えればよい. 一方, グループワークもしくはゼミ方式は, 複数人が近距離で発話し議論するため, 感染リスクは一気に高くなる. この形式は食堂をはじめ対面会話場面に相当し, アクリルパーティションが一般的な対応であるが, 単に仕切ればよいというものでもない.

アクティブラーニングは教育方式として推奨されているが, どの程度リスクが高まるのかについては十分な検討はされていない. また, 窓開けによる通風は自然動力 (風力+温度差) に依存する方式であり, 希釈換気としての効果は期待できるものの, 汚染物質の移流, 風下感染等のリスクを高める可能性も否めない. また, 窓開けに伴う冷房負荷 (潜熱負荷) および暖房負荷増大のみならず, 外部騒音の影響等も見込まれ, 学校建築においては学習効率への配慮も重要である.

そこで本研究では, 教室 (講義室) 空間の空気環境改善に資する知見を得るため, 通常授業時の室内空気環境をモニタリングするとともに, 特に内外温度差が大きくなる冬期の煙突効果 (浮力換気) が空気流動に及ぼす影響について検討したので, その概要について報告する.

2. 授業時の空気環境実測評価

2.1 測定対象講義室の概要

今回, 宮城学院女子大学共通講義棟で空気環境のモニタリングと煙突効果の確認実験を実施した.

Covid-19 対策のため, 通常は窓開け換気を原則実施しているが, 冬期は講義室内が低温となり学習環境を阻害するため, CO₂ 濃度で 800ppm を超えたときに外窓 2 か所を 10cm 幅で開放および休み時間に窓を全開するルールとしている. 今回の測定対象講義室は 4 階に位置し, 外窓は閉状態, 廊下側ドア 2 か所は全開 (有効幅 85cm, 高さ 200cm) の状態であった. 実測時は履修人数 19 名, 教員 1 名で授業を実施している.

講義室の概要を表-1, 写真-1 に示す. 講義室には熱交換換気システム (定格風量 500m³/h, 強運転) が設置されているが, 運転自体は授業担当教員に一任されており稼働は必ずしも徹底していない. 今回も熱交換換気システムは稼働しない状態であった. 授業時の状況と講義形態を表-2 に示す. 社会科学系の授業であり, 講義とグループワークを織り交ぜた講義内容となっている. 集中講義であるため, 在室者は同一でアクティビティ状態の差だけとなり, 授業ごとの比較が可能となる.

表-1 測定対象講義室の概要

床面積	82.95 m ² , 天井高 3.0m
階数	4 階 (6 階建て, 1F はサービスヤードで実質 2~6F の 5 層が階段室で連続)
形式	スクール形式 (70 席)
暖房	FCU 3 基 + 天井カセット形エアコン 2 基
換気	熱交換換気システム (強運転: 500m ³ /h)

表-2 分析対象授業日の講義室状況と講義形態

在室者数	学生 19 名 + 講師 1 名 (全員女性)
講義種類	社会科学系授業・集中講義
講義形態	1, 2 時限目: 講義 (スクール形式) 3 時限目: グループワーク・発表 (アイランド形式)



写真-1 講義室内全景

2.2 実測概要

2022年度後期の集中講義期間、講義室の温湿度、CO₂、浮遊微粒子を連続測定した（CO₂・温湿度：TandD TR-76Ui 測定時間間隔 1分、微粒子濃度：Sensirion SPS-30、測定時間間隔 10分）。分析は講義室内中央、廊下および外気のデータを対象とする。授業時間帯の平均温度は講義室 21.5℃、廊下 14.2℃、外気 2.5℃であり、平均相対湿度は講義室 16.7%、廊下 25.4%、外気 47.6%であった。今回はおもに CO₂ 濃度および微粒子濃度について考察する。

2.3 実測結果

図-1 に各時限の CO₂ 濃度のボックスプロット図を示す。平均濃度は、1、2 時限目 480～560ppm（平均値：1 時限目 525ppm、2 時限目 511ppm）に対し、3 時限目は 570～610ppm（平均値：569ppm）となっており、3 時限目の濃度が高い。多重比較(Tukey-Kramer法)で各授業時間の平均値の有意差検定をしたところ、3 コマとも平均値に統計的有意差が認められた。3 時限目がグループワークであったため、学生同士の発言・会話が増えたことに伴う呼気排出量増大が要因であると推定される。

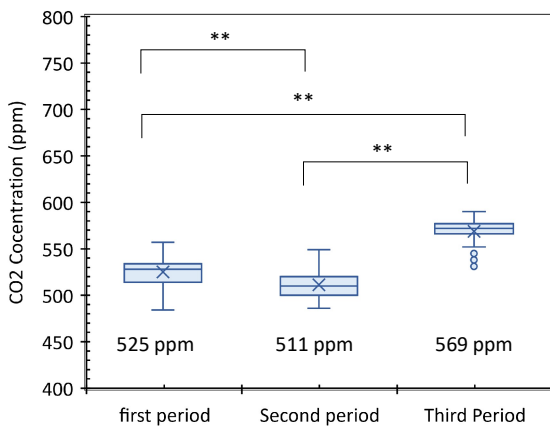


図-1 講義室内の CO₂ ボックスプロット

1.0 μm 未満 (図-2)、1.0 μm 以上 2.5 μm 未満 (図-3)、2.5 μm 以上 10 μm 未満 (図-4) の 3 粒径の浮遊微粒子濃度について、各時限間の多重比較(Tukey-Kramer法)したところ、粒径 1.0 μm 未満の粒径においてのみ統計的有意差が認められた。この結果より、呼気により排出される浮遊微粒子は 1.0 μm 未満が主体であると考えられる。

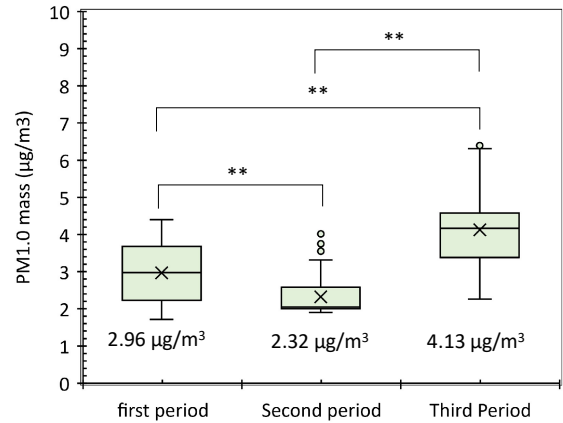


図-2 <1.0 μm 以下の濃度比較

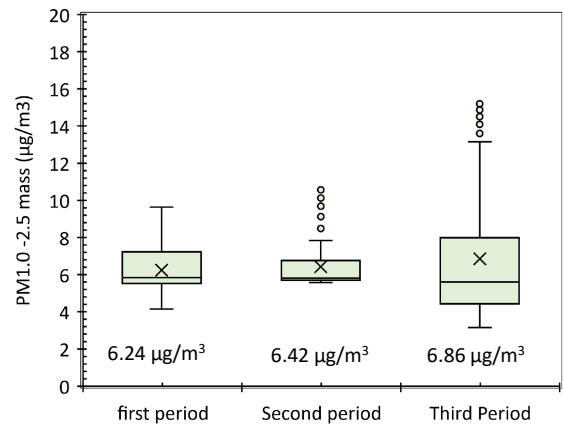


図-3 ≥1.0 μm, <2.5 μm の濃度比較

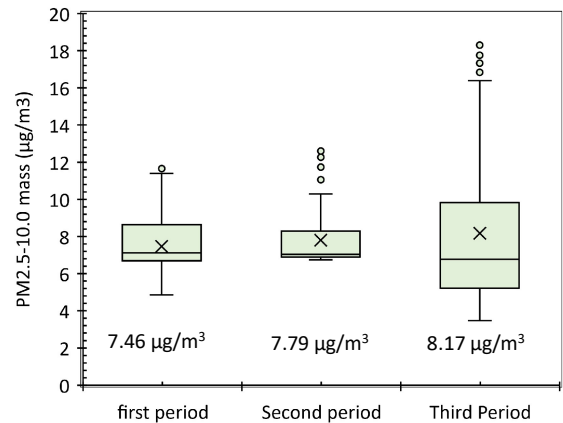


図-4 ≥2.5 μm, <10 μm の濃度比較

2.4 学校建築の換気量の考え方

今回測定した講義室は外窓閉・廊下ドア開放であるので、講義室・廊下間の間接型換気に相当する。一方向間接給気（第3種換気乙種）は、中性帯より高い位置にある居室で煙突効果が優勢の場合に当てはまる。しかし、そうした圧力が得られない場合、あるいは中性帯付近または中性帯以下の居室では、相互換気もしくは第3種換気甲種相当（外気直接流入）となる。汚染源発生位置によってはこうした間接給気・相互換気は感染リスク増大につながる恐れがある。逆に新鮮外気直接流入は、感染リスクは低下する一方で室温低下に伴う温熱環境の悪化や熱負荷増大などのデメリットが生じる。いずれにしても平屋相当以外の建築物は煙突効果について考慮することが必要であろう（多層であっても、各階で空気移動の生じないつくりの場合は同等と考えるのが妥当）。煙突効果については今回実験を行っているので、次章で考察する。今回実測した講義室は6階建ての4階に位置しているため、流れ方向の判断は一般には難しい。そこでトレーサとなり得るCO₂、浮遊微粒子、絶対湿度を用いて、講義室、外気、廊下のデータを用いて相関分析を実施した。結果を表-3に示す。いずれも統計的有意であるが、CO₂、浮遊微粒子に関しては、講義室-廊下間で正の相関、講義室-外気間、廊下-外気間では負の相関関係にある。講義室、廊下、外気の3か所の絶対湿度はいずれも正の相関関係が確認できる。相関係数の値から外気→廊下→講義室の経路が推定される。

表-3 トレーサ毎の各空間相関分析

CO ₂			
	Lecture room	Corridor	Outair
Lecture room	1		
Corridor	0.6131	1	
Outair	-0.1491	-0.3935	1
Humidity Ratio (g/kgDA)			
	Lecture room	Corridor	Outair
Lecture room	1		
Corridor	0.7686	1	
Outair	0.6436	0.7752	1
PM _{1.0} < 1.0 μm			
	Lecture room	Corridor	Outair
Lecture room	1		
Corridor	0.1122	1	
Outair	-0.3015	-0.25074	1

3. 講義棟での煙突効果実験および換気回路網計算に基づく床面圧力

3.1 実験概要

吹き抜け、階段室等で縦方向に連続する空間を有する建築では煙突効果を見逃すことができない。煙突効果によって階をまたいで汚染物質が運ばれる可能性もあり得るため、感染対策延いては建築計画や設備計画に大きな影響を及ぼす。そうした煙突効果の状態を確認するため、共通講義棟でCO₂ガスを一定時間発生、各階の階段通路入口床面および各階の1講義室ずつCO₂濃度を測定した。

3.2 階段室の濃度応答

1分ごとにサンプリングしたCO₂濃度を図-5に示す。今回の実験は、2階入口（1階は機械室・中央監視室ならびに一部ピロティとなっており、階段室も分離している。実質的に2階から6階までの5層に対し各階のインパルス応答を求めるようなイメージであるが、濃度拡散の非定常性やセンサー時定数の影響もあり、厳密な分析は難しい。そこで、濃度応答の位相差のみから伝播状態を定性的に把握することに主眼を置く。

空間の濃度応答時間からピーク時間を算出するため、空間の物質収支の常微分式の解をベースにした(1)式で近似する。この式を微分することで極値となる時間（ピーク時間）を算出することができる。計算式を(2)式に示す。同定した係数を表-4に、推定したピーク時間を表-5に示す。

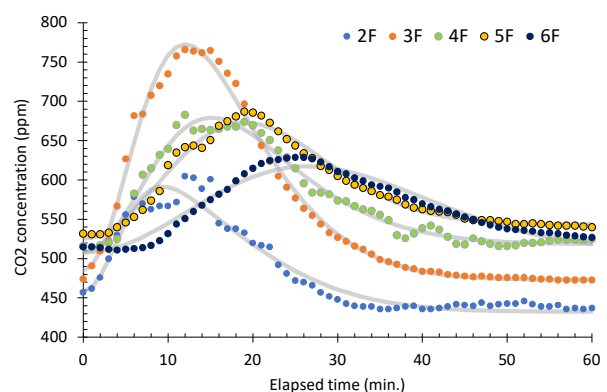


図-5 共通講義棟2～6階の濃度応答

$$p = a + b \cdot e^{-c \cdot t^2} + d \cdot (1 - e^{-e \cdot t^2}) \quad (1)$$

$$t = \sqrt{\frac{\log_e \left(\frac{ed}{bc} \right)}{e-c}} \quad (2)$$

表-4 濃度応答の近似式係数

	2F 階段室	3F 階段室	4F 階段室
a	250.0969	-22.19154	193.5107
b	208.2042	507.5589	314.5454
c	0.002221367	0.002405729	0.001873814
d	182.404	495.1145	324.8604
e	0.03106091	0.01473645	0.008740293
	5F 階段室	6F 階段室	
a	-38255.36	-33615.55	
b	38780.71	34123.3	
c	0.002876683	0.001435804	
d	38798.73	34126.42	
e	0.002904267	0.00144817	

表-5 濃度応答のピーク到達時間(min.)

2F 階段室	3F 階段室	4F 階段室	5F 階段室	6F 階段室
9.32	12.04	15.13	19.05	26.47

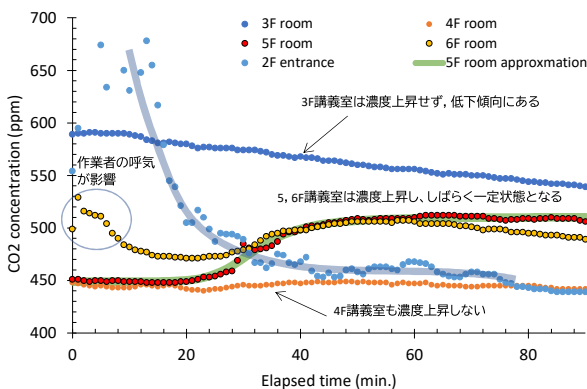


図-6 共通講義棟各階講義室の濃度応答

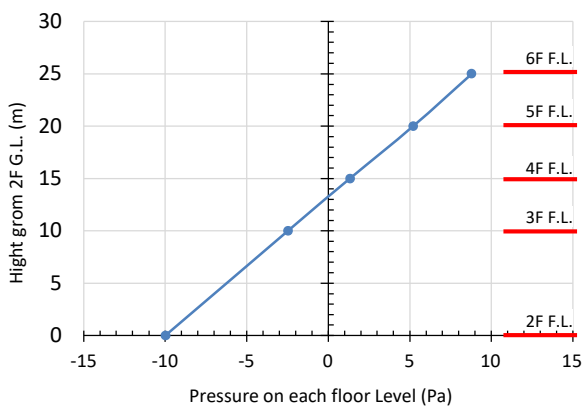


図-7 各階の床面圧力計算例(ΔT=18K)

2F エントランス(北側)で CO₂ ガスを発生させたときの北側階段室の濃度応答は 9.32 分,その後階段室を 1 層上がるのに約 3 分要しており, 5 階から 6 階へは 7 分ほどかかる。

図-6 に講義室内の CO₂ 濃度応答を示す。3F は濃度低下しており, 開口部からの外気流入が推定される。4F は濃度が安定している。5F, 6F 講義室はしばらく時間経過したあとに濃度上昇し一定時間濃度飽和状態となる。以上より, 3F,4F は中性帯に近く, 5F,6F は廊下側から講義室内流入が推定できる。なお, 6F 講義室の初期的な濃度上昇は, 配線作業を行っていた作業者の影響である。

3.3 換気回路網計算に基づく床面圧力

図-7 に換気回路網シミュレーション(圧力未知数 37, 総開口数 316)に基づく各階の床面圧力を示す。煙突効果実験時を概ね再現しているが, ちょうど 3F で中性帯となることがわかる。

4. まとめ

エアロゾル感染対策を念頭において講義室の空気環境をモニタリングし, グループワーク時に CO₂ 濃度および浮遊微粒子濃度(粒径 1.0 μm 未満)が統計的に有意に増加することを確認した。また, 直接外気導入のみならず廊下等からの間接流入を相関分析から推定するとともに, 煙突効果実験および換気回路網シミュレーションにより階層間の空気流れを確認した。今後はシミュレーションにより, 建物特性, 特に吹き抜け空間あるいは階段室等の縦方向の流れと対象室の感染対策について詳細な検討を行う予定である。

謝辞

講義室の空気環境調査(浮遊微粒子測定)に関し, ダイキン工業株式会社にご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Motoya Hayashi, U Yanagi, Yoshinori Honma, Yoshihide Yamamoto, Masayuki Ogata, Koki Kikuta, Naoki Kagi and Shin-ichi Tanabe, Ventilation Methods against Indoor Aerosol Infection of COVID-19 in Japan, Atmosphere 2023, 14(1),150; <https://doi.org/10.3390/atmos14010150>

複雑な形状を持つ建築外皮の熱移動に関するシミュレーション研究

その1 シミュレーションモデルの構築

○佐々木梨陽（東北工業大学）、竹内友佐（東北工業大学）、許雷（東北工業大学）

Simulation on heat conduction in complex building envelope

Part 1 Construction of the simulation model

Sasaki Rio, Takeuchi Yusuke, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：熱移動，熱伝導方程，外皮

はじめに

建築外皮における熱伝導計算について、ASHRAE が提案された CTF 法（Conduction transfer function）がよく使われている。簡易熱計算では、外皮の蓄熱性能が無視され、フーリエの法則を利用することも多い。CTF 法やフーリエの法則は、一次元的に熱移動を考えているため、複雑な形状を持つ建築外皮や柱や梁などへの対応が難しいと考える。

そこで、本研究ではオープンソースのプラットフォーム FEniCS¹⁾を用いて、3次元で熱伝導方程式を解析することを提案する。

1. 研究概要

1.1 熱応答計算法について

CTF 法の元は応答係数法であり、Stephenson らが 56 年前に提案された²⁾。当時パソコンの計算能力の制限などもあり、応答係数を求めて、一次元的に複層壁における熱伝導を計算した（図-1）。CTF 法の計算精度が良く、多くの空調負荷シミュレーションソフトに採用されている。

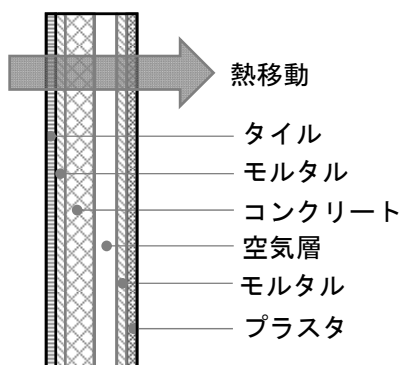


図-1 複層壁の構成と熱移動

1.2 課題提起

図-2 に示す建物では、屋根は梁・壁などと接続され、外皮の形状が複雑になっているため、接続部の熱移動は3次元になっており、CTF 法は適用できないと考える。

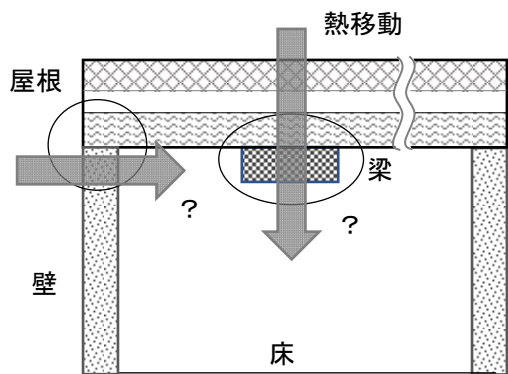


図-2 複雑な形状を持つ建築外皮の例

1.3 研究提案

熱移動をエネルギー的に考えて収支のバランスが等しくなるため、式(1)の熱伝導方程式より熱伝導を解析する。

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

ここに、

T: 温度, K; k: 熱伝導率, W/(m·K);

ρ: 密度, kg/m³; C: 比熱, kJ/(kg·K);

t: 時間, s; q̇: 内部発熱量, W/m²。

2. シミュレーションツールの紹介

2.1 FEniCS の概要

Hans らが提案されたオープンソースのプラットフォーム FEniCS は有限要素法を利用して偏微分方程式を解析できる。本研究では、python3.5.6 の環境において、FEniCS を利用し熱

伝導方程式を解析する。また、mshr^{注1)} というメッシュ生成モジュールを使用し、シミュレーション用メッシュを作成した。Jupyterlab を用いて、プログラミングのソースコードを編集した。

2.2 後処理ソフト

ParaView^{注2)} という後処理ソフトを用いて、FEniCS 解析結果 (温度など) を表示する (図-3)。

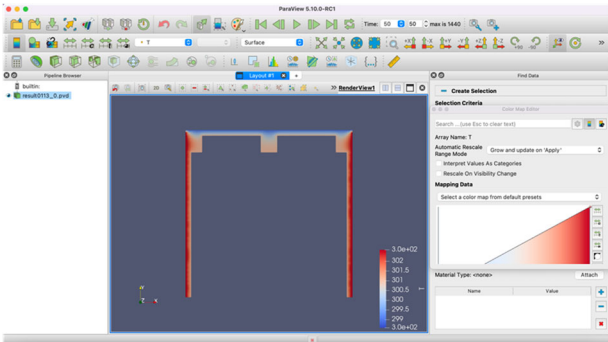


図-3 ParaView で表示した解析結果の例

3. シミュレーションモデルの構築

3.1 解析モデル

図-4 に示す建築モデルを構築した。室内に空調しているため、室温 t_0 が一定である。外壁は柱と接続され、屋内外の温度差より、熱は外壁と柱などを通して移動している。

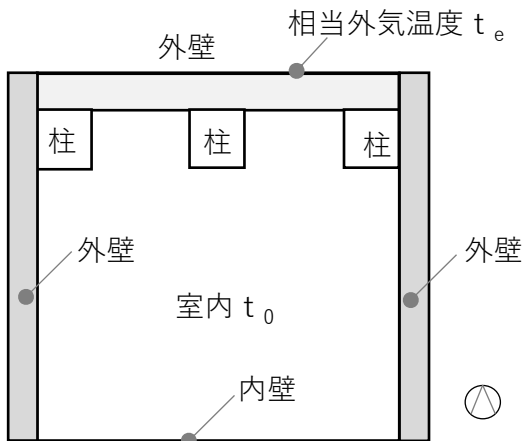


図-4 モデル平面図

式(2)より相当外気温度を計算する³⁾。外壁の外側表面温度は相当外気温度と一致して想定する。

$$t_e = t_0 + \frac{\alpha E_t}{h_0} - \frac{\varepsilon \Delta R}{h_0} \quad (2)$$

ここに、

α : 日射吸収率 (赤色の外壁やレンガの場合、値は 0.63 となる) ; h_0 : 熱伝達率, $W/(m^2 \cdot K)$; E_t : 外皮が受けている全日射量, W/m^2 ; ε : 外皮の放射率 ; ΔR : 夜間放射量, W/m^2 。

3.2 境界条件

シミュレーションの際、下記三つの境界条件を設定できる。

- 第一境界条件(Dirichle) : 境界面の値を直接設定し、温度一定である。
- 第二境界条件 (Neuman) : 変数の勾配を与える温度勾配一定 (断熱条件とも言われる) である。
- 第三境界条件(Robin) : 第一境界条件と第二境界条件を合わせたものである。

まとめ

建築外皮における熱伝導計算において、CTF 法が多く使われているが、一次元的に熱移動を考えているため、複雑な形状を持つ建築外皮における熱移動の予測が難しいと考える。本報では、オープンソースのプラットフォーム FEniCS を用いて熱伝導方程式を解析する方法を提案した。また、シミュレーションのモデルの構築、初期条件及び境界条件の設定を説明した。第2報にて、シミュレーションの結果などを報告する。

注 記

注1) mshr は python3.5.6 に対応しているが、現在リリースされている FEniCS のバージョンでは使用できない。

注2) ParaView はオープンソースのポスト処理可視化エンジンで、<https://www.paraview.org/> よりダウンロードできる。

参考文献

- 1) Hans Petter Langtangen and Anders Logg, Solving PDEs in Python, doi = {10.1007/978-3-319-52462-7}, 2017
- 2) Stephenson, D.G., and G.P. Mitalas., Room thermal response factors. ASHRAE Transactions 73, pp. III 1.1-1.7, 1967.
- 3) ASHRE, ASHRE Handbook Fundamentals, pp. 18.22, 2009

A-10

複雑な形状を持つ建築外皮の熱移動に関するシミュレーション研究

その2 シミュレーション結果の分析

○竹内 友佐 (東北工業大学), 佐々木 梨陽 (東北工業大学), 許雷 (東北工業大学)

Simulation on heat conduction in complex building envelope
 Part 2 Analysis of the simulation
 Takeuchi Yusuke, Sasaki Rio, Xu lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：熱移動，微分解析，建築外皮

はじめに

本報は前報のその1の続きとなる。前報では本研究の理論背景となる熱伝導方程式とその条件設定を説明した。本報ではそれらを用いた FEniCS⁶⁾ によるシミュレーション結果を示す。

1. シミュレーションで使用するモデルの作成

本研究では図-1に示すようなモデルを用いる。外気温と室内温度は枠で囲っている部分で示している。使用する物性値は表-1にまとめてある。

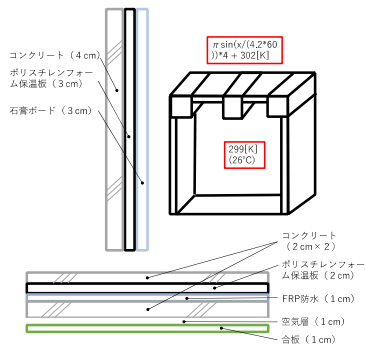


図-1 材料と境界条件について

表-1 素材の物性値について 1),2),3)

材料名	熱伝導率 W/m.K	比熱 kJ/kg.K	密度 kg/m ³	熱拡散係数 m ² /s
コンクリート	0.90	0.879	2000	5.12×10^{-4}
ポリスチレンフォーム	0.034	1.3	28	9.34×10^{-4}
石膏ボード	0.22	1.1	750	2.67×10^{-4}
FRP 防水層	0.26	1.2	1600	1.35×10^{-4}
空気層				2.074×10^{-5}

また、日射熱取得量^{4),5)} (その1のE_tの部分で解説)は全ての面において4[W/m²]で統一している(今回は北面を想定して値を選定した)。放射の影響は水平方向が4[K],鉛直方向が0[K]となっている。

2. シミュレーションの結果

初期条件については図-2に示すように温度の境界がはっきりとしている。

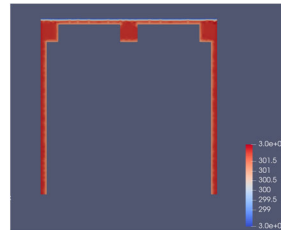


図-2 壁体内の初期条件

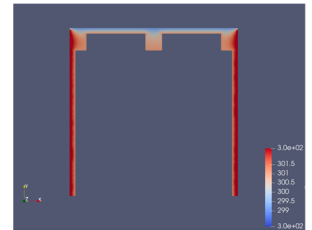


図-3 1時間後の壁体内

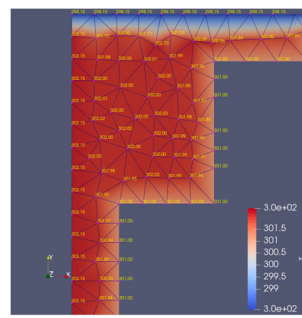


図-4 初期条件の温度

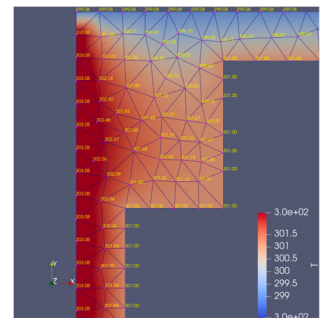


図-5 1時間後の壁体内

図-3初期条件については温度の与え始めなので熱の広がっていく様子は見られない。1時間後の熱については北面壁と西面壁からの温度が混ざり合っているため301[K]前後となっている。

3. シミュレーション結果の考察

● 壁体内部について

温度差の最大値は7[K](306[K]-299[K])となっている。壁の厚みは0.1[m]であるので熱流束の最大値は70[K]となっている。温度分布が不安定にはならなかったためフーリエの法則がそのまま使える。

● 柱について

柱の内部は今回の場合温度変化（温度勾配）が急になりやすい場所であったと言える。1時間後の柱の様子を例に挙げると西壁側からは 306[K]の温度が与えられており、北壁側から 300[K]の温度が混ざっているのが確認できる。初期条件のようにこちらもしっかりと温度の境界が確認できるが、初期条件では温度を与え始めた瞬間なので境界が色でわかりやすくなっている。

● 外気温の設定

室内の温度は一定であるが外気温は時間によって変化し続けている。（非定常状態）ただ、外気温が変化しても厚みのある部分はすぐに温度変化はせず周囲の温度によって熱のタイムラグは発生していた。

● 境界条件

境界条件が重なるような所（境界条件がちょうど入れ替わる部分）ではより高い温度、より低い温度が台頭していた（顕著に表れていた。）

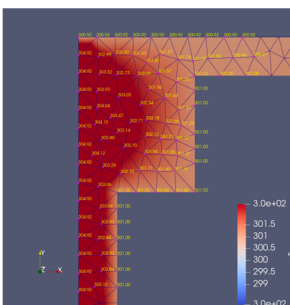


図-6 10時間後の温度

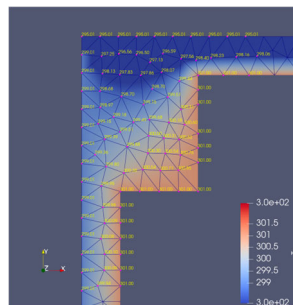


図-7 17時間後の温度

● 温度分布

柱内部において曲線になるような温度分布が見られた。（熱の吸収や流入が行われているように見えた）今回は境界条件を固定しており、一定の熱が流れるようにしていた。複層の壁としていたが、柱についてはコンクリートで均一の材料としていたため安定しているとは思う。実際はコンクリートだけではなく鉄筋や鉄骨が入ってくる。

それと同様に、今回接触抵抗はないものと考えているが、やはりどうしても材料を複層にすると微小な空気層気層や凸凹した接触面が生まれてしまうため、実測の際どのように評価するのかが課題となる。

まとめ

熱伝達率や熱放射、今回は定数としたが、今後の研究では流体による屋外および屋内の自然対流熱伝達率を考慮して計算を行う。今後の課題となるのが異種材同士の接触抵抗である。接触抵抗だけでなく、完全に接着することは無く若干の隙間による熱抵抗も生じることになる。そのため、熱の接触抵抗をどのように評価するのかという点は改善の余地がある。また、実測値による精度の向上を図っていく。

謝辞

本研究の根幹となる内容のご指導をくださった新潟大学理学部の劉雪峰准教授に深く感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 物体の物理的性質一覧, オーム電気株式会社, https://www.ohm.jp/media/tech_cooling204.pdf,(2023年1/16閲覧)
- 2) 空気の物性値 ,BUILDING PHYSICS RESEARCH GROUP <https://lee-lab.net/blog-contents-037/>,(2023年1/16閲覧)
- 3) 材料の熱定数表, https://www.ibec.or.jp/best/files/tec_info/material_3.pdf (2023/11/1/16閲覧)
- 4) Walter T.Grondzik et al.,2009 ASHRAE Handbook-FUNDAMENTALS,18.23
- 5) Weather Date By Location, https://energyplus.net/weather-location/asia_wmo_region_2/JPN/JPN_Kagoshima.478270_IWEC(2023年1月閲覧)
- 6) The FEniCS Tutorial Volume I ,A gallery of finite element solvers, https://fenicsproject.org/pub/tutorial/sphinx1/_ftut1004.html#the-heat-equation,(2023年1月閲覧)

A-11

湿度を考慮した相当外気温に基づく蒸発冷却ポテンシャルの提案

○石田侑都 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学),

長谷川兼一 (秋田県立大学), 竹内仁哉 (秋田県立大学)

Evaporative Cooling Potential Based on Wet-Air-Temperature
Ishida Yuto*1, Matsumoto Shin-ichi, Hasegawa Ken-ichi, Takeuchi Jinya

*1 Akita Prefectural University

キーワード：屋根散水, 蒸発冷却ポテンシャル

はじめに

2050年カーボンニュートラルの実現に向けて、再生可能エネルギーや自然エネルギーを積極的に利用することが推奨されている。夏期に高温多湿になるわが国では、自然冷房の可能性を検討することは重要である。そこで本研究では、地域の気候、風土を活かした自然エネルギーである、太陽熱を利用した自然冷房手法の一つである屋根散水に着目する。本研究グループでは、全国各地で蒸発冷却ポテンシャル(以下、ECP)の地域分布特性を提示している¹⁾。このことを受け、本研究では、ECPを発展させ、湿度を考慮した相当外気温に基づく蒸発冷却ポテンシャル(以下、WECP)を提案し、その計算例を示す。

1. 湿相当外気温に関する文献調査

1.1 湿相当外気温

石川ら²⁾によると湿相当外気温とは、相当外気温の概念を拡張し、湿り屋根表面と外気との間の物質移動に伴う熱移動なども含めて、湿り表面に入る正味の熱量に等価となる外気温を壁体の熱特性(ここでは、熱貫流率 U)、室内温度条件のもとに表したものである。

1.2 算出方法

表-1 に屋根表面に入る正味の熱量と屋根からの取得熱量を示す。文献 2)では式(2)を T_e について解き、式(1)に代入し、 T_i を既知とすると、 T_s の非線形方程式になるため、Newton-Raphson 法などの陰解法により T_s を収束計算して求める。さらに、この T_s を式(2)に代入し T_e を求める。

2. 湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャルの提案 (WECP)

2.1 湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャル (WECP)

表-1 屋根からの取得熱量

$al + k_s(i_o - i_s) + \alpha_{ro}(T_o - T_s) + C_{pw}L_sT_w - C_{pw}L_eT_s = \alpha_o(T_e - T_s)$	(1)
$\alpha_o(T_e - T_s) = U(T_e - T_i)$	(2)
ここに、	
a : 日射吸収率 [-]	
I : 入射する日射量 [W/m^2]	
k_s : 表面でのエンタルピ基準総括熱伝達率 [$W/m^2 \cdot (J/kg)$]	
i_o, i_s : 外気、表面の空気飽和エンタルピ [J/kg]	
α_o, α_{ro} : 各々、外気側総合、放射熱伝達率 [-]	
T_o, T_s, T_w, T_i : 各々、外気温、表面温度、水温、室温の絶対温度 [K]	
C_{pw} : 水の比熱 [$J/kg \cdot K$]	
L_s, L_e : 各々散水量、流出水量 [$kg/m^2 \cdot s$]	
U : 屋根の熱貫流率 [W/m^2]	
T_e : 湿相当外気温 [K]	

表-2 湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャル算出式

$WECP[W/m^2 \cdot ^\circ C \cdot h] = \frac{-\sum q}{CDH}$	(3)
$-\sum q$: 冷房期間内屋根面から除去される熱量の積算値 [W/m^2]	
CDH : 冷房期間内の冷房デグリーアワー [$^\circ C \cdot h$]	
$-\sum q = \sum \{al + \varepsilon L^{\downarrow} - \varepsilon \sigma_b T_s^4 + \alpha_c(T_o - T_s) + \alpha_c \frac{kH}{c_o}(x_o - X_s)\}$	(4)
$CDH = \sum (\theta_o - \theta_i)$	(5)
$T_e = T_o + \frac{al + \varepsilon L^{\downarrow} - \varepsilon \sigma_b T_s^4}{\alpha_o} + \frac{\alpha_c}{\alpha_o}(T_o - T_s) + \frac{\alpha_c kH}{\alpha_o c_o}(x_o - X_s)$	(6)
$\therefore T_s = T_o - \frac{U}{\alpha_o}(T_o - T_i)$	(7)
ε : 外気側の輻射率[-]	
L^{\downarrow} : 下向き大気放射量	
σ_b : Stefan-Boltzmann 定数= $5.67 \times 10^{-8}[W/(m^2 \cdot K)]$	
α_c : 対流熱伝達率 [$W/(m^2 \cdot K)$]	
k : 蒸発比[-]	
H : 水の蒸発潜熱= $r + C_{pw}T_s = 1996.04664 + 1.846T_s[J/g]$	
C_o : 外気の湿り比熱= $1000C_{po} + C_{pw}x_o = 1004.6 + 1.846x_o[J/(kg \cdot K)]$	
r : (仮想)水の蒸発潜熱= $1996.04664[J/g]$	
C_{po} : 乾燥空気の定圧比熱= $1.0046[J/(g \cdot K)]$	
C_{pw} : 水蒸気の定圧比熱= $1.846[J/(g \cdot K)]$	
x_o : 外気の絶対湿度 [g/kg]	
X_s : 外気側屋根表面温度 $T_s[K]$ [$^\circ C$]に対する飽和絶対湿度 [g/kg]	
θ_o : 外気温 [$^\circ C$]	
T_i, θ_i : 室温= $293.15K(20^\circ C)$	

表-2に湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャル算出式を示す。小玉らの先行研究³⁾の考え方を応用し、WECPは冷房デグリーアワー(以下、CDH)と冷房期間内の水平屋根面から除去される正味の熱量の比をポテンシャルとして定義する。先に示した通り、石川ら²⁾の湿相当外気温度 T_e の計算と熱量 q の計算は収束計算が必要となる。そこで本研究では、湿相当外気温度 T_e および熱量 q の簡易的な計算法として林らの先行研究⁴⁾を引用し、式(4)により熱量 q を評価する^{5),6)}。石川ら²⁾の表現との大きな違いは①輻射熱伝達率 α_r の使用を回避していること、②水蒸気に伴う潜熱移動の加味を外気のエンタルピー i_o と屋根表面のエンタルピー i_s の差ではなく外気の絶対湿度 x_o と屋根表面の絶対湿度 X_s の差で考えているところ、③蒸発比 k [-]という簡便な概念^{注1)}を用いているところである。計算を進める手順としては、前時刻段階での T_s を現在時刻の T_s として代用し、式(4)より q を、式(6)により T_e を算出する。算出された T_e より現在時刻の T_s を式(7)より算出する。ここで算出された T_s を次時刻の T_s として代用し、一年間分の計算を繰り返す。式(4)は屋根から除去される熱量として表現したいため-1を乗じて正の値とする。

2.2 冷房期間の設定方法

松本ら⁷⁾は気象データを日別気温ごとに調和解析を行い、定数項(年平均値)と最初の6項は \sin, \cos 係数を使用している^{注2)}。冷房期間は参照温度を 23°C とし日最高気温の年周期成分の変動曲線から判定する。また、暖房期間は参照温度を 15°C とし、日平均気温の年周期成分の変動曲線から判定する。冷房期間にも、暖房期間にも属さない期間を中間期とする。

3. 湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャルの計算例

3.1 冷房期間の選定

図-1に冷房期間および中間期の選定方法(東京の例)を示す。また図2にECPの分布を示す¹⁾。調和解析の結果、東京の冷房期間は5/5~10/7と判明した。那覇は3/18~12/18、旭川は6/2~9/22と判明した。以上の3つの地点を選定した理由としては、本研究グループが示すECPマップによると東京、那覇はECPが大きく蒸発能力が高いこと、

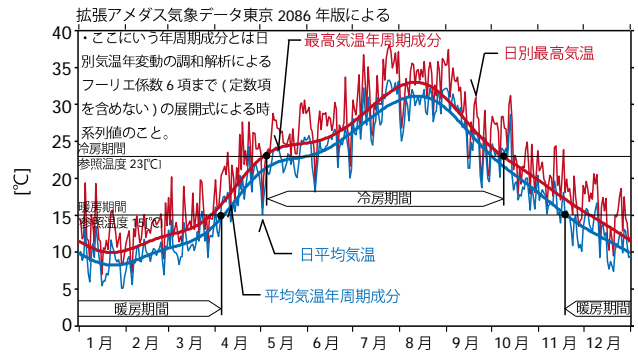


図-1 冷房期間および中間期の選定方法(例:東京)

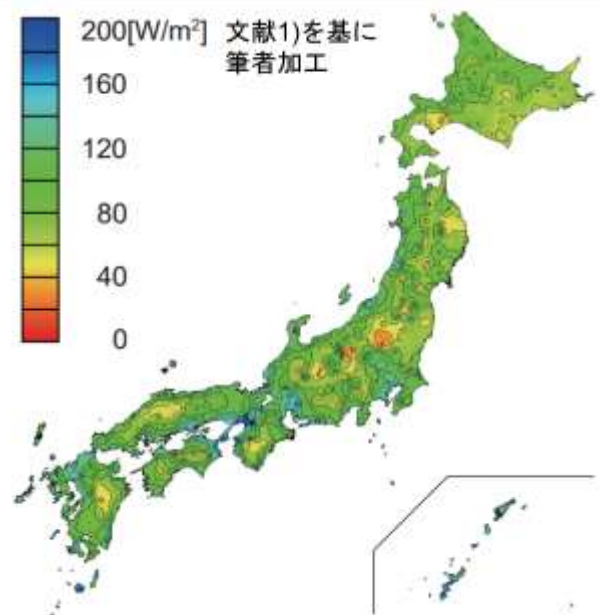


図-2 ECPの分布

旭川に関しては、降雪がある地域の中ではECPが大きく蒸発能力が高いことに加え、気候が東京、那覇と大きく異なることから比較対象として適当であると判断したためである。

3.2 計算条件

室温 $T_i=293.15[\text{K}]$, 日射吸収率 $a=0.7[-]$, 輻射率 $\varepsilon=0.9[-]$, 外気側総合熱伝達率 $\alpha_o=23.3[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ として値を固定する。また、熱貫流率 $U=2.0, 4.0, 6.0[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$, 蒸発比 $k=1.0, 1.5[-]$, と変化させ、24時間屋根を濡らしている状態とする。固定値ではない気象要素に関しては、時刻別に変化するものであるため、その都度計算を行う。対流熱伝達率 α_c に関しては、初めから水平屋根面を前提としているため、風向き

によらず、ユルゲスの実験式^{注3)}より風速 v のみで評価をする。加えて、屋根表面の飽和絶対湿度 X_s に関しては Wexler-Hyland の式^{注4)}より飽和水蒸気圧 P_s を算出し求める。ここで得られた P_s を $X_s=0.622 \cdot P_s \cdot 10 / (1013.25 - P_s)$ [g/kg] によって算出し求める。

3.3 濡れた水平屋根面における熱量の計算結果

図-3 に水平屋根面の受ける熱量を示す。+域は水平屋根面の吸収熱量，-域は蒸発冷却による除去熱量を示す。つまり、グラフが一域にいけばいくほど屋根散水による蒸発冷却によって除去される熱量が多いということである。図より、東京の除去熱量は多いということがわかる。那覇に関しては蒸発冷却によって除去しきれない熱量が多いということがわかる。旭川に関しては、那覇よりはグラフが一域に多く分布しているように見え、除去熱量が多いように見える。

3.4 湿度を考慮した蒸発冷却ポテンシャルの計算結果

表-3 に WECP の算出結果を示す。東京、那覇、旭川ともに正の値を示し、蒸発能力が高いことがわかる。旭川の WECP に関しては蒸発比 $k=1.5$ の時、特にポテンシャル値が大きく蒸発能力が高いことがうかがえる。また旭川は東京、那覇に比べ、外気温は低く、日射量は少ないにも関わらず、十分な WECP があることが確認できる。 $U=6.0$, $k=1.0$ のときの WECP に関してはどの地点も負の値を示し、ポテンシャルとして不適当であると判断したため評価の対象外とした。

おわりに

地域の気候・風土を活かした自然エネルギーを利用する屋根散水において、全国各地での蒸発冷却の効果の違いを明らかにすることを最終目的としたその前段階にあたる研究として、得られた知見に基づき、屋根面が得る正味の熱量の簡易的な計算法と、PSP に倣った水平屋根面を想定した WECP の提案とその計算例を示した。その結果、東京、那覇の WECP が大きくなり、蒸発冷却の効果が高いことが確認できた。旭川の例では蒸発比 $k=1.5$ のとき明らかに WECP が大きくなるこ

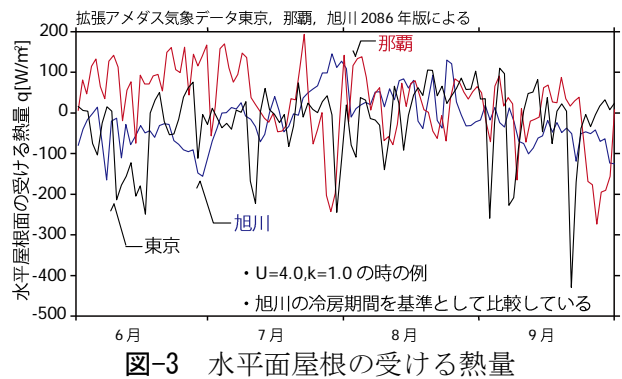


表-3 WECP の算出結果

	U=2.0,k=1.0 [W/m²・℃・h]	U=2.0,k=1.5 [W/m²・℃・h]	U=4.0,k=1.0 [W/m²・℃・h]	U=4.0,k=1.5 [W/m²・℃・h]	U=6.0,k=1.5 [W/m²・℃・h]
東京	30.13	58.03	13.59	35.60	14.62
那覇	28.43	55.12	12.61	33.50	12.77
旭川	21.30	65.32	8.55	47.69	31.88

とが確認できた。今後の展望としては、①旭川の計算例に関して、 $k=1.5$ のときのみ WECP が大きくなる理由を明らかにすること、②全国各地で WECP を算出し、違いを明らかにすることに伴い、ポテンシャルマップを作成すること、③②を進展させ、任意の地点に対して屋根散水が必要であるかという必要度や有効度という指標を作成すること、④WECP の概念応用し、屋根散水における雨水を利用するための貯水槽容量の算定のための設計資料をまとめることに繋げたい。

注釈

- 1) 通常の熱負荷計算では蒸散効果を見ないので、 $k=0$ とし、土などの保水性がある表面を持つ場合は、林らの実測結果に基づいて、 $k=0.6$ 、完全に濡れている場合は $k=1.0$ 以上であると見ればよい。
- 2) 松本らによれば、項数は論理的根拠があって採用したわけではなく、いくつかの地点において、経験的に納得できる期間選定ができることを目視で確認して、決めたものである。
- 3) ユルゲスの実験式： $a_c=5.9+4.1v(v \leq 4.9)$,
 $a_c=7.4 \cdot v^{0.78}(v > 4.9)$
- 4) Wexler-Hyland の式： $\ln(P_s)=-0.58002206 \times 10^4/T_s+0.13914993 \times 10-0.48640239 \times 10^{-1} \times T_s+0.41764768 \times 10^4 T_s^2 -0.14452093 \times 10^{-7} \times T_s^3+0.65459673 \times 10 \times \ln(T_s)$

参考文献・引用文献

- 1) 佐渡谷有希ら：環境設計のための自然エネルギー利用マップの提案，日本建築学会東北支部研究報告集計画系，第 71 号，pp.57-62，2008.6.
- 2) 石川幸雄ら：湿相当外気温度に基づく屋根散水の熱的効果に関する研究，日本建築学会論文報告集，第 334 号，pp.89-100，1983.12.
- 3) 小玉祐一郎ら：AMeDAS データに基づく建築設計用地域気候マップの作成(2)PSP(パッシブ地域係数)による地域気候特性の表示，日本建築学会学術大会学術公演梗概集，pp.1019-1020，1992.8.
- 4) 林徹夫ら：地盤冷熱と自然換気を利用した住宅のパッシブクーリングに関する研究，日本建築学会大会学術公演梗概集(環境工学)，pp.899-900，1987.9.
- 5) S . Matsumoto, H . Akasaka, and, H . Yoshino : A program for Ground Temperature Data Generation Based on Expanded AMeDAS Weather Data CD-ROMs, Proc. of the 6th Int' l IBPSA Conf. (BS99),vol 2, pp.869-876,1999.9.
- 6) 松本真一(日本建築学会編)：地中温度の計算(拡張アメダス気象データ 8.3 節)，日本建築学会(東京)，pp.360-362,2000.1.
- 7) 松本真一ら：拡張アメダス気象データと Milne らの生気候分析図の援用による建築気候区分手法の検討，空気調和衛生工学会大会学術講演論文集,第 5 卷，pp.169-172，2018.9.

A-12

地中熱ヒートポンプ空調システムの稼働と地中温度の相互干渉に関する検討

○佐藤一徹 (秋田県立大学), 竹内仁哉 (秋田県立大学)

長谷川兼一 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学),

Mutual Interference of Ground Temperature between Operation and Non-Operation of Ground Source Heat Pump System

Sato Ittetsu (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University),
Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード : GSHP, 地中温度, スペクトル解析

1. はじめに

東北地方の日本海側地域では、地中冷熱・温熱のポテンシャルが高く、再生可能エネルギーとしての活用が期待されている¹⁾。しかし、地中熱ヒートポンプ空調システム (以降、GSHP) の住宅への適用例は少なく、特に、地中浅層部に埋設する水平採熱方式の省エネルギー性能を適切に評価した研究例は極めて少ない。当研究グループでは、本学構内に建設された実大試験家屋に設置されたGSHPを対象として、異なる採熱方式を比較した暖冷房実験を継続し、GSHPのエネルギー消費効率などの基本性能を評価してきた^{2),3)}。ボアホール方式 (以降、垂直採熱方式) より外界条件の影響を受けやすい水平採熱方式は、特に夏季のエネルギー消費効率の低下に課題はある⁴⁾が、地中断熱や地表面被覆の工夫により、GSHP本来のエネルギー消費効率を維持できると期待される。

本研究では、水平採熱方式のエネルギー消費効率向上を検討するために、長期地中温度測定とスペクトル解析ならびに地表面温度と地中温度との相互相関係数の分析により、GSHPの稼働と地中温度への相互干渉を明らかにする。

2. 文献調査

2.1 文献調査概要

水平採熱方式のエネルギー消費効率を向上させる要因や手法に関する関連研究を対象として文献

調査を行った。

2.2 文献調査結果

(a)水平採熱方式

水平採熱方式は地中深さ約 2m までの浅層部を対象に、スパイラル方式⁴⁾やスリンキー方式⁵⁾、ジグザク対向流方式^{2),3)}などの埋設管が主に採用される。トレンチ深さが同じであれば、埋設管の形状やピッチ幅による埋設密度が採熱量に及ぼす影響は小さい⁴⁾が、夏季の稼働条件が地中温度に及ぼす影響を十分に把握しておく必要がある。

(b)地表面温度に対する地中温度の時間遅れ

松本⁶⁾はスペクトル解析により、地中温度の日周期変動が消滅するのは地表面から 0.3m から 0.6m の間であるとしている。また、地表面温度に対する地中温度の相互相関係数を求めることにより、地中深さ 1m 以下になれば、32 日間以上の日オーダーの遅れが生じることを確認している。

(c)地表面被覆の影響

津谷・藤井ら⁷⁾は、横スリンキー方式の埋設管を深さ 1m に敷設し、地表面にアスファルト、裸地、芝生の 3 条件に対して、長期間の地中温度計測ならびに熱応答試験 (以降、TRT) を行っている。外気温や地表面温度が高温になる夏季において、地中深さ 1.0m の地中温度は芝生、裸地、アスファルトの順に低温となる。一方、寒冷地の冬季では、積雪の影響により地表面被覆の違いによる影響は小さく、各深さの地中温度に大きな差異は見られない。

3. 地中温度の長期実測

3.1 実測概要

図-1 に試験家屋の平面図と測定概要を示す。本学構内の試験家屋には、深さ 0.6~1.3m の浅層トレンチの両側面と底面の計 3 面に架橋ポリエチレン製の全長約 190m のチューブを U 字状に敷設した水平採熱方式の GSHP が導入されている。2 系統のトレンチは、実験条件の熱需要に応じて選択可能な機構としている。試験室内の条件として、実験期間中は 1 階各室の入口ドアは閉鎖し、南北面の窓にはカーテン等の日射遮蔽物は施さない。

1 階の測定対象室では、空間の温湿度やグローブ温度などを測定している。また、GSHP 稼働により影響を受けやすいトレンチ内の深さ 0.15m, 0.3m, 0.6m, 1.3m の 24 点、計 48 点の地中温度（以降、トレンチ内温度）を測定している。比較対象として、GSHP 稼働による影響が受けにくい

地点の地中深さ 0.15m, 0.3m, 0.6m, 1.3m の地中温度をレファレンス温度（以降、レファレンス温度）として、1 分間隔で連続的に測定している。

3.2 地中温度変動の測定結果

図-2 に 2022 年 1 月 1 日~2022 年 12 月 31 日の 1 年間に於ける地中温度変動の測定結果を示す。なお、GSHP は 2022 年 6 月 20 日から連続的に終日稼働しているが、暖冷房期においては各室に設置される FCU の設定温度や GSHP の運転条件を適宜、切り替えて稼働している。地表面温度やトレンチより上部の深さ 0.15, 0.3m の地中温度は外気温の影響を受け、変動しながら推移している。トレンチ内の深さ 0.6m, 1.3m の地中温度は、比較的安定した温度推移を示す。

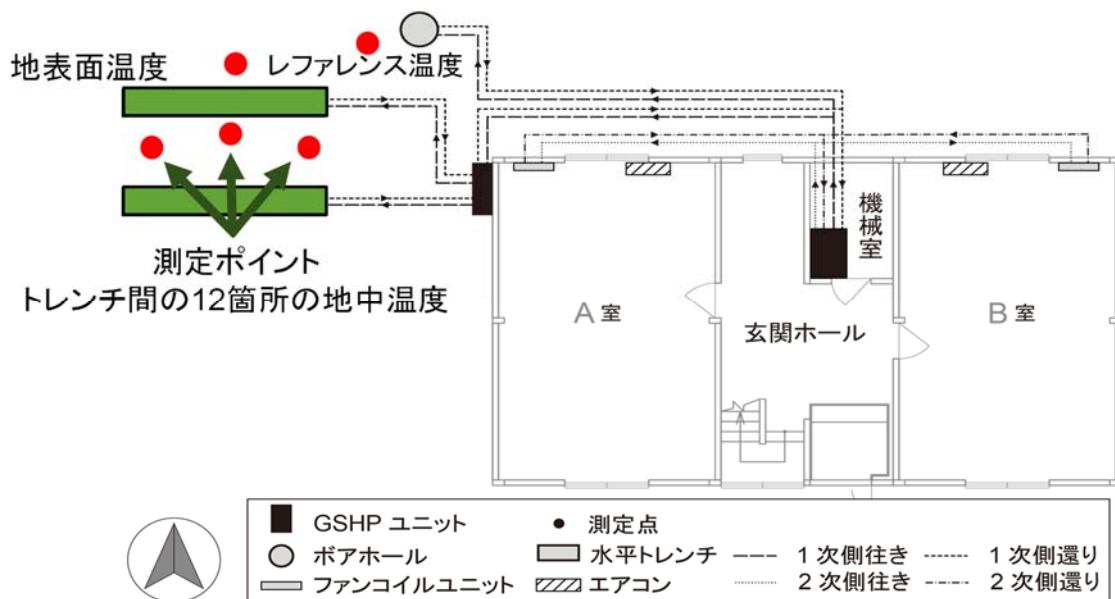


図-1 試験家屋・測定概要

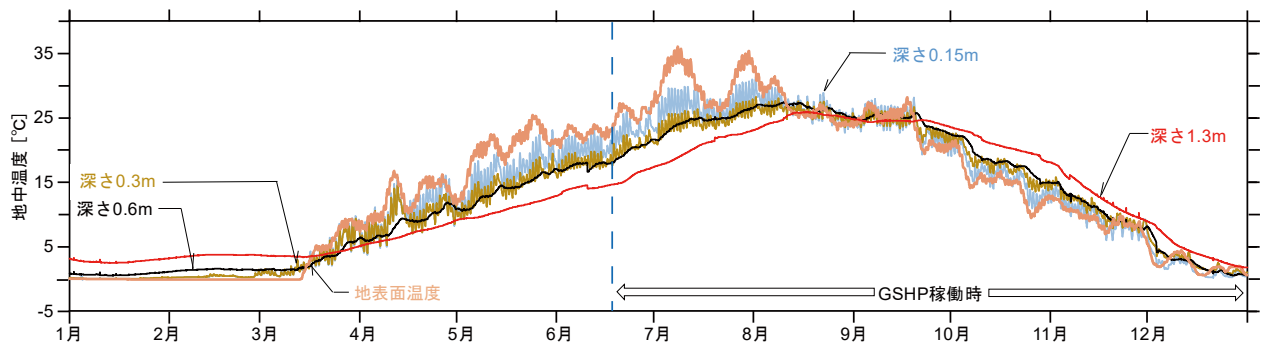


図-2 GSHP稼働時におけるトレンチ内の地中温度の測定結果

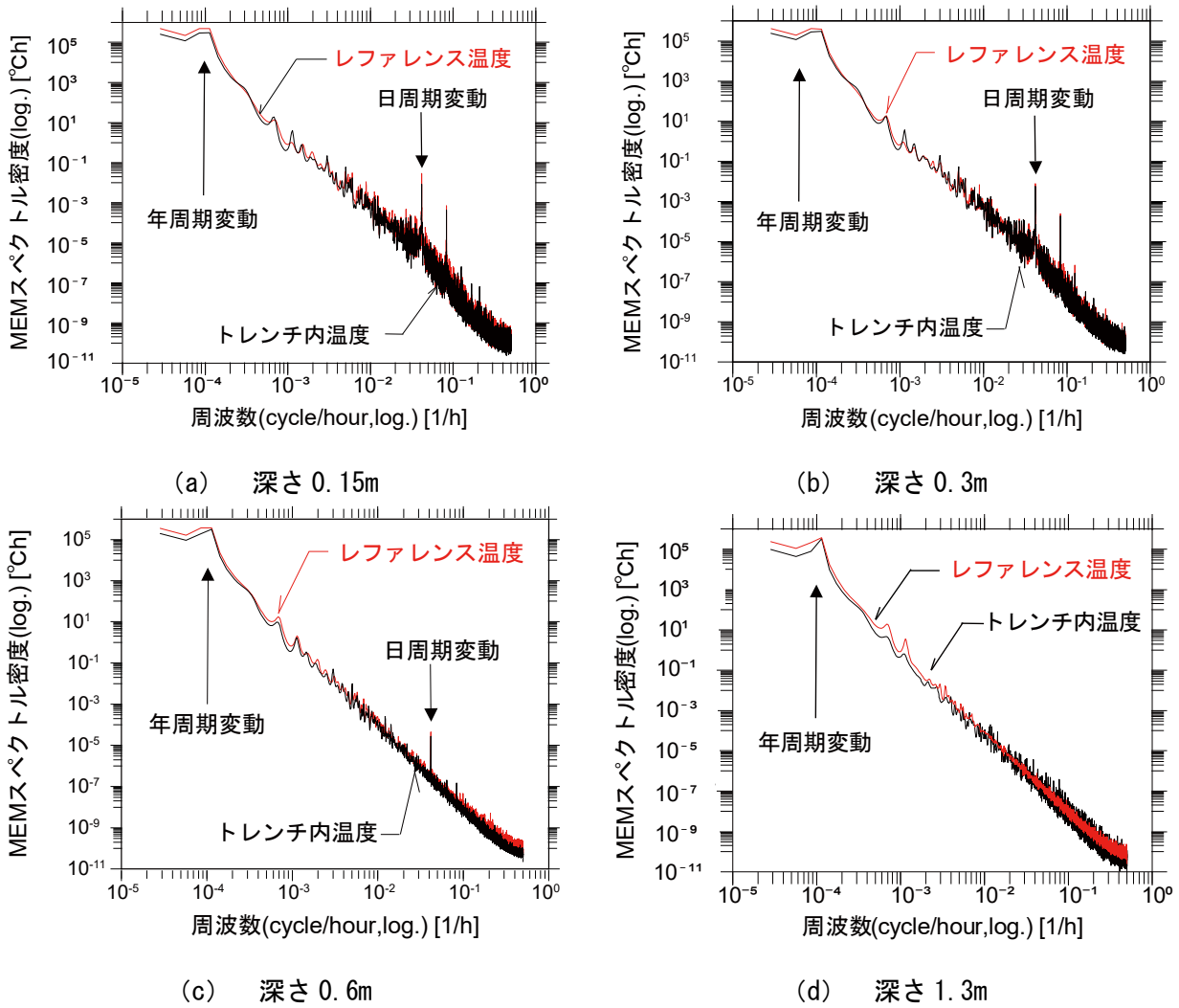


図-3 地中温度変動のMEMスペクトル密度

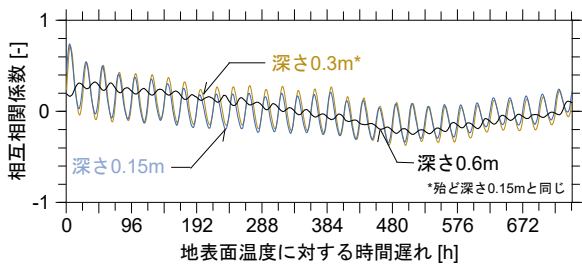


図-4 地表面温度とレファレンス温度の間の相互相関係数(8月)

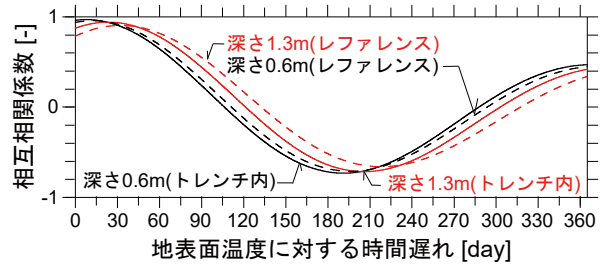


図-5 地表面温度と地中温度の間の相互相関係数(1年間)

3.3 MEM スペクトル密度

図-3に地中深さ0.15m, 0.3m, 0.6m, 1.3mの地中温度の最大エントロピー法(MEM)によるスペクトル解析結果を示す。深さ0.15mの場合、深さ0.3m, 0.6mと同様に日周期変動に該当するピークが観測される。

表-1 地表面温度に対する時間遅れ

深さ [m]	0.15	0.30	0.60	1.30
レファレンス温度の時間遅れ [day]	0.25	0.29	1.67	32.17
トレンチ内温度の時間遅れ [day]	0.17	0.21	1.71	23.29

ークが生じているが、深さ 1.3m 地点ではこのピークが見られない。以上より、外界条件の影響を直接受けにくい深さは、0.6m から 1.3m の間であることが推察される。

3.4 地表面温度に対する地中温度の時間遅れ

図-4、図-5 に地表面温度と地中温度の相互相関係数の計算結果、表-1 に相互相関係数から求めた地中温度の地表面温度に対する時間遅れを示す。図-4 より深さ 0.15m, 0.3m の場合、特に日周期変動が支配的であるが、レファレンス温度とトレンチ内温度から求めた相互相関係数は概ね等しいため、GSHP の稼働による影響よりも外界条件の影響を受けやすいと考えられる。図-5 より、埋設管が敷設される深さ 0.6m, 1.3m の場合、GSHP 稼働による影響を受けやすいトレンチ内温度とレファレンス温度との相互相関係数に差異が見られる。表-1 に示すように、深さ 1.3m の時間遅れは GSHP の稼働による影響を受け、レファレンス温度に対してトレンチ内温度が 9 日間程度と短い間隔で地中温度へ影響を及ぼすことが確認できる。

4. まとめ

本研究では、GSHP の稼働と地中温度への相互干渉を明らかにするために地中温度の長期実測に加え、スペクトル解析や地表面温度と地中温度との相互相関係数を求めた。地中深さにより外界条件の影響や GSHP の稼働による影響が異なり、地中温度変動に差異が見られた。トレンチ内の地中温度は、GSHP の稼働により短い間隔で影響を受けやすくその制御が課題であることを確認できた。

謝辞

本研究は、公益財団法人前川報恩会・令和 3 年度学術研究助成（研究代表者：竹内仁哉）の一環として研究補助を受けて実施している。実験を実施するにあたり、サンポット株式会社の関係各位には多くの貴重なご助言、ご協力をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 松本真一: 25 年間の拡張アメダス気象データに基づく浅層地中温度の計算, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 5 巻, pp. 121-124, 2014.9.
- 2) 竹内仁哉, 長谷川兼一, 松本真一, 小田島賢成: 地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究, その 6 異なる採熱方式の暖冷房実験によるエネルギー消費効率と地中温度分布, 日本建築学会東北支部研究報告集, 第 83 号, pp. 33-36, 2021.6.
- 3) 加藤太一, 竹内仁哉, 長谷川兼一, 松本真一: 地中熱ヒートポンプ空調システムを備えた住宅の省エネルギー性能に関する研究, その 7 実験に基づく水平型埋設管まわりの地中温度の分析, 空気調和・衛生工学会東北支部第 11 回学術・技術報告会論文集, pp. 81-84, 2022.3.
- 4) 長野克則, 半澤久, 落藤澄, 中村卓司, 中村真人, 濱田靖弘, 横山真太郎: 土壤熱源ヒートポンプシステムに関する研究, 第 3 報 水平埋設管による土壤採熱実験, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 第 20 巻, pp.1-11, 1995.6.
- 5) 福島明, 月館司, 立松宏一, 白土博康, 保科秀夫: 寒冷地における水平採熱型地中熱ヒートポンプ暖房システムの検討, (その 1) 地中熱交換性能の実測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.229-232, 2013.9.
- 6) 松本真一, 吉野博, 長友宗重: 半地下空間の敷地内における土壤の熱的特性に関する実測, 日本建築学会計画系論文集, 第 462 号, pp.21-30, 1994.8.
- 7) 津谷駿介, 藤井光, 小助川洋幸: Slinky-Coil 式水平型地中熱交換器における地表面被覆と熱交換能力の関係について, 日本地熱学会誌, 42 巻, pp.15-27, 2020.1.

A-13

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

○西山陽歌 (東北大学), 小林光 (東北大学), 川勝英樹 (東京大学),

小林大 (東京大学), 金井大介 (クレバ(株))

Evaluation of Moisture Absorption and Desorption Properties of Conductive Desiccant Elements for Energized Desiccant Air Conditioner Using an Oscillatory Balance
 Nishiyama Haruka (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
 Kawakatsu Hideki (Tokyo University), Kobayashi Dai (Tokyo University),
 Kanai Daisuke (Create Value Co.,Ltd)

キーワード：デシカント空調, 導電性ポリマー, 水蒸気吸脱着量, 水蒸気吸脱着速度

1. 研究の背景と目的

筆者らは一連の研究で、より簡単で普及しやすいデシカント空調を実現すべく、吸湿性と導電性を兼ね備えた導電性ポリマーPEDOT/PSS を除湿材料として用いた、通電再生型デシカント空調を開発した。弥富、日浦ら¹⁾は、PEDOT/PSS が従来用いられているデシカント材料と同等以上の除湿性能を有する可能性を報告しているが、現時点では期待した性能には全く及んでいない。一方で、これまで除湿エレメントの動的な水蒸気吸脱着性能を正確に測定できる方法が確立されておらず、十分な測定、評価が出来ていなかった。本研究では、PEDOT/PSS の吸脱着性能の評価を目的とし、除湿エレメントの吸脱着性能を評価する測定器の開発を行い、水蒸気吸脱着量、吸脱着速度の測定を行った。

2. 振動式質量測定器の開発

2.1 測定器開発の背景と仕組み

除湿エレメントの評価は、温湿度条件を管理した空気に除湿エレメントを暴露した状況での吸・放湿の測定が基本となる。水蒸気吸脱着量と吸脱着速度の測定は、除湿エレメントに送風しながら1秒程度の間隔で正確な測定を行う必要があるが、従来用いた測定は応答が鈍く本研究の目的には適していないため、振動式質量測定器²⁾(図-1)を開発し、これを測定に用いた。本測定器は、板バネの先端に測定試料を固定し、圧電素子により板バネの振動を検出しながら、これをフィードバックして加振することで試料の質量変化を測定できる。

2.2 分解能測定

本研究で開発した振動式質量測定器の分解能を確認するため、測定器に0.01gの試料を載せた際の周期を測定した(図-2)。0.01g 増えるごとに周期が長くなることが確認でき、本測定器では0.01g まで測定可能と考えられる。時間分解能は固有振動数に依存する。周期の測定は1秒間に10回程度の振動を平均することを意図してバネの調整を行い、10Hz 以上とすることで、1秒間隔での測定を可能とした。

3. 水蒸気吸脱着量の測定及び評価

3.1 実験概要

150S/cm の電気伝導度を発現する粒径の小さいPEDOT/PSS で添着剤を含む分散液をハニカム基材に含浸した除湿エレメント(以降B2と称する)、粒径の大きい150S/cm、10S/cm の分散液による除湿エレメント(以降P/P150、P/P10と称する)と、未含浸のハニカム基材の定常状態での水蒸気吸脱着量を、恒温恒湿槽内に振動式質量測定器を入れて測定した。測定結果から吸着等温線を作成し、調合や含浸による吸脱着量の違いを評価することを目的とする。測定温度は25°C、28°C、33°Cとし、測定湿度は吸着、脱



図-1 振動式質量測定器

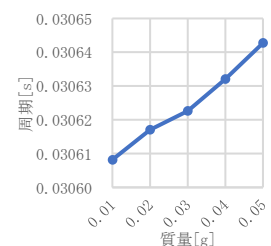


図-2 質量分解能

着共に 30%~70%で 10%ごとに測定した。

3.2 吸脱着量の算出と評価

相対湿度 30%における吸着量を基準として、吸着等温線を作成した。25℃でのポリマー1g 当たりの吸脱着量(図-3)は、粒径が小さくポリマーの含浸量が多い B2 の水蒸気吸脱着量が少なかったことから、基材深部に含浸したポリマーが吸脱着に寄与していないと推定される。既往研究による P/P150 試験体から切り取った微小片³⁾及び、PEDOT/PSS 単体フィルム⁴⁾微小片の吸着等温線測定の結果を吸着の相対湿度 30%を基準として P/P150 と比較する(図-4)。これより、基材に含浸させると本来の吸脱着量が著しく低下することが分かり、含浸基材が吸脱着を妨げている可能性がある。以上より、吸脱着量の向上には含浸基材の検討が重要である。

4. 通電再生による吸脱着速度の測定及び評価

4.1 実験概要

デシカント空調は除湿と再生を絶えず繰り返すため、吸脱着速度はデシカント空調の性能を決める上で重要な指標である。本実験では、試料毎の吸脱着速度の違いの評価を目的とし、除湿空気(33℃、60%)、再生空気(28℃、50%)を振動式質量測定器が入ったチャンバーに送風し、除湿エレメントが定常状態に至る時間とその吸脱着量から平均吸脱着速度[g/s]を算出した。再生は PEDOT/PSS を含浸した除湿エレメントに 5W 通電し、無含浸基材は通電せずに行った。

4.2 吸脱着速度の評価

B2 エレメントは 1g 当たりの吸脱着量は他のエレメントより約 2~3 倍多かった。しかし吸着速度は P/P150 よりも鈍く、P/P10 と同程度である(図-5)。B2 は添着剤によって吸着量が増加するが、吸着速度が

遅くなったと考えられる。また、P/P150 と P/P10 では親水性をもつ PSS の割合が少ない P/P150 の方が吸脱着速度が速かった。現在のエレメントでは単体では吸脱着速度が速い PEDOT/PSS の特性を生かすきれておらず、添着剤、PSS、含浸基材が吸脱着を妨げる作用を有すると考えられ、それらの最適化が吸脱着速度の向上に必要である。

5. 結論

除湿エレメントの動的な性能測定を目的として、振動式質量測定器を開発し、従来不可能だった 1 秒間隔での除湿エレメントの質量変化の測定及び吸脱着特性の評価を可能とした。同測定器による測定から吸脱着量及び吸脱着速度の向上には、分散液の調合や含浸基材が深く関係していると考えられる結果が得られた。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP19H02294 の助成を受けたものです。東北大学工学部・工学研究科技術部 桐越一紀氏、早尾純二氏には測定器の製作に伴う金属加工に於いてご指導いただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 弥富 飛鳥, 小林 光, 日浦 良太, 新たなデシカント材料 (PEDOT/PSS) の動的吸放湿特性に関する研究 第 1 報—吸放湿性能とユニット内素材温度の測定—, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1241-1242, 2016.8
- 2) P. E. Allain, D. Damiron, Y. Miyazaki, K. Kaminishi, F. V. Pop, D. Kobayashi, N. Sasaki, and H. Kawakatsu, Color Atomic Force Microscopy: a method to acquire three independent potential parameters to generate a color image, Applied Physics Letters, Published Online: 20 September 2017
- 3) 松田健太郎, 導電性ポリマーの吸脱着速度に基づく通電再生型デシカント空調の最適設計及び除湿性能評価, 令和元年度東北大学工学研究科修士論文

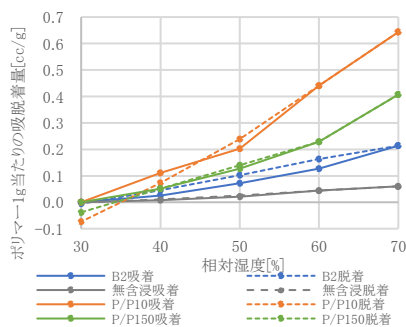


図-3 吸着等温線

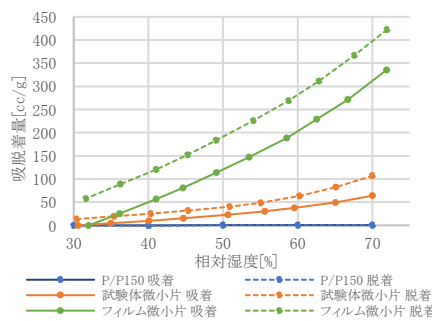


図-4 測定試料の形態による吸着等温線の比較

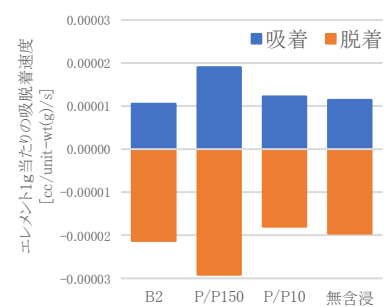


図-5 エレメント1g当たりの吸脱着速度

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），小林光（東北大学），

川勝英樹（東京大学），小林大（東京大学），金井大介（クレバ株式会社）

Development of Energization-Regeneration Desiccant Air Conditioner Using Conductive Polymer PEDOT/PSS -Study of optimal operating method and equipment configuration-
Higuchi Youta (Tohoku University), Kobayashi Hikaru (Tohoku University),
Kawakatsu Hideki (The University of Tokyo), Kobayashi Dai (The University of Tokyo),
Kanai Daisuke (Creva Co.Ltd.)

キーワード：デシカント，PEDOT/PSS，導電性高分子，通電再生

はじめに

建築空調分野における省エネルギー化対策のひとつにデシカント空調の利用がある。デシカント空調は除湿剤の吸着作用で直接湿度処理を行う空調方式で、冷却除湿よりもエネルギー消費量を削減できると考えられているが、デシカント空調に加えて再生熱源等の補器類が発生し、システムの複雑化等の理由から普及が進んでいない。そこで一連の研究では除湿の簡略化を目指し、再生方法は再生方法を見直すことを意図して、吸湿性と導電性を兼ね備えた材料 PEDOT/PSS を用い、通電加熱により除湿エレメントを直接再生する通電再生型デシカントシステムを開発した。再生熱源不要によるシステム、装置の簡略化、低コスト化などが期待される。現状、通電再生型での除湿性能は従来の方式に及ばないものの、通電に係る数多くの課題をクリアして実現に向けた検討が進んでいる。本研究では同方式による実機を計画し、これを小型化した実験装置を作製し通電再生実験により最適な運転方法の検討を行った。

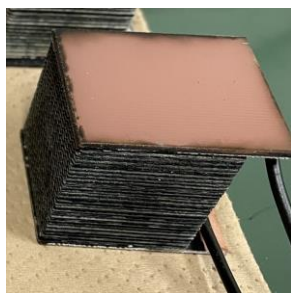


図-1 PEDOT/PSS 含浸エレメント

1. 実験装置の作製

白須らの研究²⁾で除湿エレメントの作製手法の改善や電極部の改善を行ったことにより、除湿エレメントを用いた長時間の電氣的に安定した連続除湿再生実験が可能になった。そこで、より実機に近い実験を行うために、実機の基本仕様を検討し、実験装置を作製した。これまでの実験装置(図2)は除湿エレメント単体の実験ユニットに対して除湿空気・再生空気を交互に通風する形式であった。実用化に向けては連続した除湿再生空気の送風が必要になる。そのため新たな実験装置(図3)では、ユニットを給排の二系統にして流路を切り替えるダンパーを内蔵したバッチ式とした。現時点では PEDOT/PSS を含浸したコアと通電用電極の確実な電氣的接続が課題であることから、ロータ式としなかった。実験用の流路切り替えダンパーは実験に用いる含浸ユニットサイズに合わせて設計し、3D プリンターを用いて作製した。除湿、再生の切り替えは各ダンパーにサーボモーターを持たせ、マイコンで制御した。通電の ON/OFF はソリッドステートリレーを用いてダンパーと連動させることで、プログラム設定のみで正確なタイミング管理を可能とした。従来は切り替えたダンパーから除湿ユニットまでのダクトが長く、除湿・再生空気が混合する等、実験精度への影響も懸念されたが、新たな装置ではダンパーとユニットが最短距離で接続されるため空気の混合は起こりにくく測定精度の向上も期待できる。

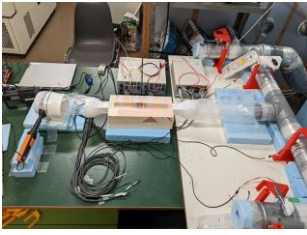


図-2 従来の実験装置

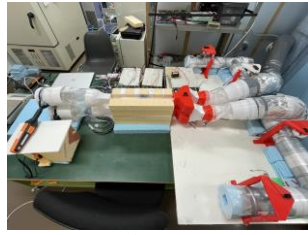


図-3 新実験装置

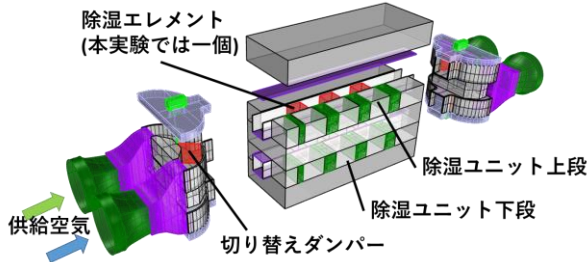


図-4 実験装置イメージ図

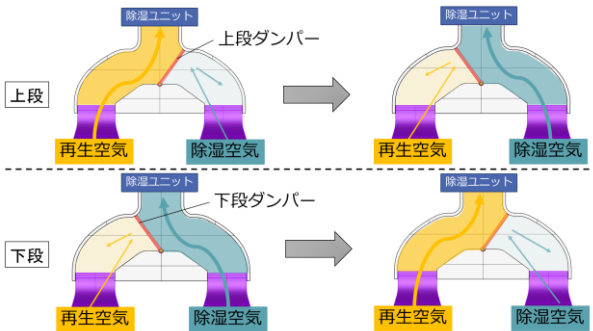


図-5 上流側ダンパーの空気の流れ

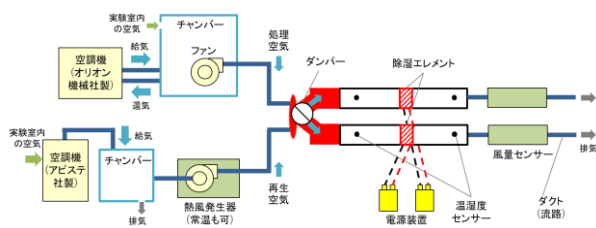


図-6 実験装置の概略図

2. 除湿再生実験による除湿材料の比較

2.1 実験概要

新たに作製した実験装置を用い、様々な除湿材料及び異なる再生方法で除湿性能の評価を目的とした実験を行った。表1に実験 CASE を示す。各 CASE とも実験装置の上段下段に同じ除湿エレメントを各1つ配置し除湿・再生空気を交互に送風した。

2.2 実験結果・考察

図7に各ケースの単位風量当たりの除湿量を、図8に通電再生の上段下段の入口と出口の絶対湿度

度差を示す。上段下段の絶対湿度差の経時変化、切り替わりのタイミングはよくそろっており、ダンパー切り替えと通電の切り替えは共に適切に行われていると判断される。CASEA-1.2.3.5はエレメントがコルゲート状であるのに対し、A-4は粒状のシリカゲルを充填して作製したエレメントでシリカゲルの量が多いことから除湿量が大きくなっていると考えられる。PEDOT/PSSの温風再生のCASEA-2と通電再生のCASEA-5を比較した場合、CASEA-5は2倍程度の除湿量になっていることが分かり、通電により再生が行われることを確認した。

表-1 実験 CASE

実験 CASE	種類	再生方法	再生空気		処理空気		面風速 [m/s]	切替時間 [min]
			温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg]	温度 [°C]	絶対湿度 [g/kg]		
A-1	無含浸コルゲート	温風	50	11.8	33	19.1	2.5	1
A-2	PEDOT/PSS							
A-3	ゼオライト							
A-4	シリカゲル							
A-5	PEDOT/PSS	通電(5W)	28					

上段下段除湿量

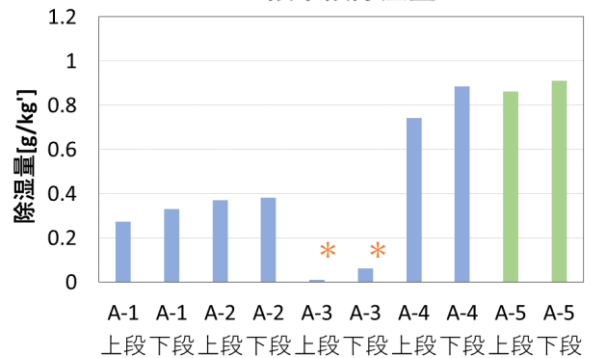


図-7 単位風量当たりの除湿量

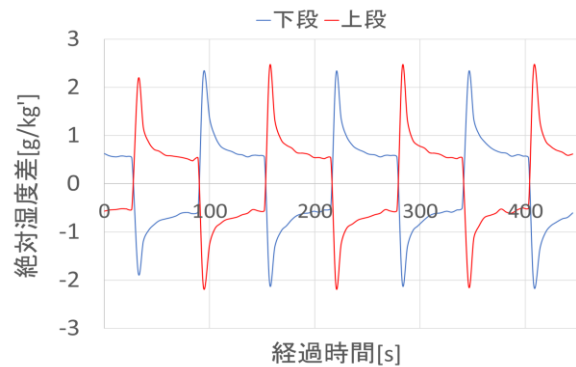


図-8 CASEA-5 入口出口の絶対湿度差

3. パラメータを変えた通電再生実験

3.1 実験概要

運転方法の調整による通電再生デシカントの性能向上を目的として、①再生電力、②面風速、③除湿・再生切り替え時間の3つのパラメータを切り変えた通電再生実験を行った。表2に実験CASEを示す。実験に用いる送風空気は、除湿は関東の夏季外気相当の温湿度条件、再生は標準的な還気空気の温湿度条件を想定している。CASEB-2（電力5W,面風速2.5m/s,切り替え時間60s）を基本とし、CASEB-1は無通電、CASEB-3,4は電力を変更した実験、CASEB-5,6は面風速を変更した実験、CASEB-7,8は切り替え時間を変更した実験である。

表-2 実験 CASE

実験 CASE	電力 [W]	再生空気		処理空気		面風速 [m/s]	切替時間 [sec]
		温度 [°C]	湿度 [g/kg]	温度 [°C]	湿度 [g/kg]		
B-1	0	28	11.8(50%)	33	19.1(60%)	2.5	60
B-2	5						
B-3	2.5						
B-4	7.5						
B-5	5					2.0	60
B-6							
B-7	5					2.5	15
B-8							30

3.2 実験結果・考察

図9に各CASEの単位風量当たりの除湿量を示す。図10,11,12は電力、面風速、切り替え時間を変更したそれぞれのCASEの除湿量を示す。図10より、電力が上昇するにしたがって除湿量の向上が見られる。また、電力の増加による出口空気の温度上昇も確認された。電力を大きくすることで水分吸脱着性能の向上とともに空気の加熱に使われるエネルギーの増加が生じると考えられる。除湿性能とエネルギーとのバランスを検討することで省エネルギーな通電再生を行える可能性が示唆される。図11より、面風速が減少するにしたがって除湿量は増加する傾向がみられる。図13、図14にCASEB-5,B-6の入口と出口の絶対湿度差を示す。サイクルを切り替えた直後の絶対湿度差

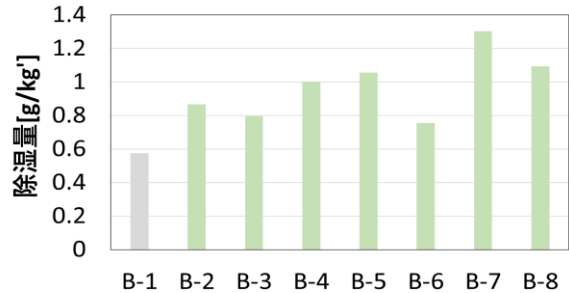


図-9 単位風量当たりの除湿量

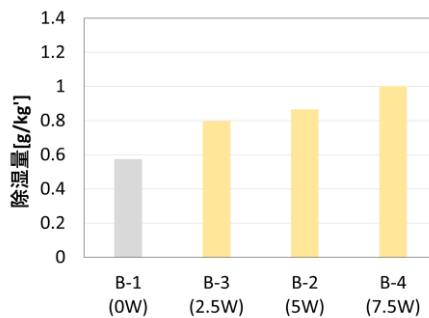


図-10 電力変更による除湿量の比較

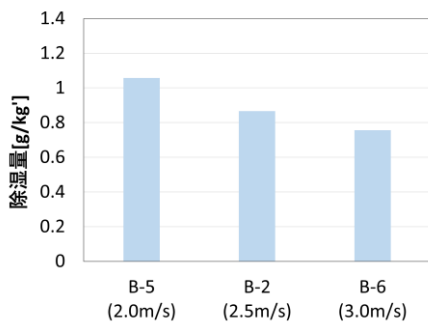


図-11 面風速変更による除湿量の比較

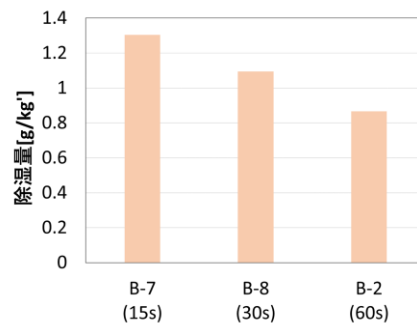


図-12 切り替え時間変更による除湿量の比較

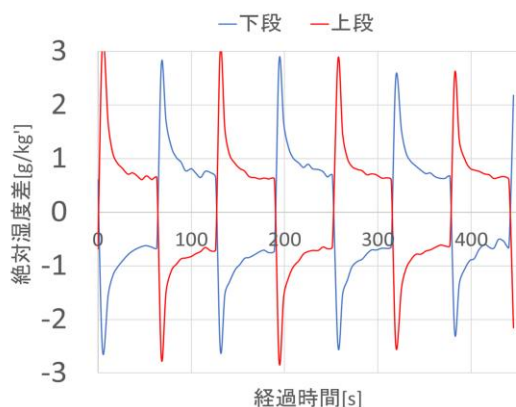


図-13 CASEB-5 絶対湿度差の時間変化

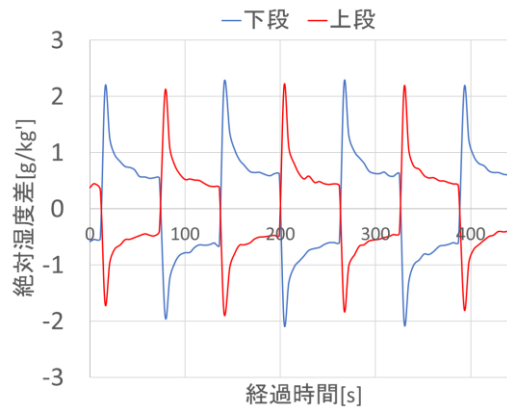


図-14 CASEB-6 絶対湿度差の時間変化

は面風速が小さいほど高い。サイクルが切り替わった直後の吸脱着性能が高いことはこれまでも確認しているが、面風速が小さくなることでその性能が更に向上する結果を得た。これは吸脱着の際の空気と PEDOT/PSS 間の水分移動に起因していると考えられる。一方で、風速を小さく設定して必要風量を得るためにはエレメントの面積を大きくする必要があり、小型化の妨げとなる。今後、各サイクルでそれぞれ面風速を変えた実験を行うことで面風速による影響を分析するとともに小型化を実現させるための装置の検討も必要となる。図 12 より、切り替え時間を変更した CASE では、切り替え時間が短くなるほど性能は向上しており従来の傾向と一致した結果を得られた。最適な電力、面風速との掛け合わせにより大きな性能向上の可能性が示唆された。

4. まとめ

本研究では新たな実験装置を作製し、自動化された平行な二系統の除湿再生実験を可能にした。それにより実験の精度を向上させると共に実機の実現に向けた検討が進んだ。また、除湿再生実験により通電再生の有効性と運転方法の制御による除湿性能の向上を確認した。今後、各パラメータを変えた際の挙動をさらに分析することで除湿・再生のメカニズムを明らかにし、性能の向上を目指す。

謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP19H02294 の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 弥富 飛鳥 他: 日本建築学会大会学術講演梗集 2016 p.1241-1242
- 2) 白須 公二郎: 通電再生に関わる電気的特性の評価及び除湿性能評価に関する研究, 令和 3 年度 東北大学工学部修士学位論文, 2022.2

A-15

コロナ放電を利用した空気清浄装置の開発

○宇田川洋一, 吉田愛里, 高塚 威 (新日本空調株)

Development of Air Purifier with Corona Discharge

Yohichi UDAGAWA, Eri YOSHIDA, Takeshi TAKATSUKA
(Shin Nippon Air Technologies Co., Ltd.)

キーワード：コロナ放電, 電気集塵, 不活化

はじめに

近年、呼吸器感染症による経済的、社会的な影響が非常に大きなものとなっている。また、結核菌等の空気感染する病原体の伝播に空調が影響することが確認されている¹⁾。これらを踏まえ、空調システムに組み込む空気清浄装置が複数考案され、手法も多岐にわたる。その中で活用される技術として比較的多いものが、フィルタ、紫外線、または電気集塵（コロナ放電）である。著者らはコロナ放電の利用に着目し、ダクト接続型の空気清浄装置を開発する目的で試作した実験装置を用いて、風量に対するオゾン(O₃)、窒素酸化物(NO_x)の発生量と、ウイルスへの処理（電気集塵と不活化）効果を確認したので、本報にて報告する。

1. コロナ放電の概要

コロナ放電は放電現象の一種であり、放電とは電極間にかかる電位差によって、間に存在する気体に絶縁破壊が生じることで電子が放出され電流が流れる現象のことを指す。一極を放電電極とした電気集塵では、粒子がコロナ放電領域に達すると一極性に帯電し、クーロン力とイオン風によって集塵電極（+極）に引き寄せられる。この一極を放電電極としたコロナ放電は、安定した放電を維持するため高い電圧を印加することができ、工業用の電気集塵機に広く用いられている。そのため、本実験装置も一極を放電電極としたコロナ放電を用いることとした。

2. 実験装置及び方法

実験装置は、縦 200 mm、横 600 mm の角ダクト状（図-1）である。ダクトは収まりの都合から長さ（流れ）方向の制約が大きいことを考慮し、本実験装置は長さ方向を短くする構造として、空気

の流れに直交²⁾するように電極を配置した。

針状電極は、直径 1.0 mm、長さ 26 mm のステンレス製で、それを縦 15 mm、横 298 mm、厚さ 1.5 mm の基板の上に 21 本設けたものを 1 セットとして、12 セットを実験装置に設置した。平板電極は空気が通過可能なスリットを有するチタン製（縦 100 mm、横 298 mm、厚さ 1.5 mm）のものを、4 枚実験装置に設置し、針状電極の基盤が 3 セットで 1 枚の平板電極と対になるようにした。また印加した電圧は最大で 8 kV であった。

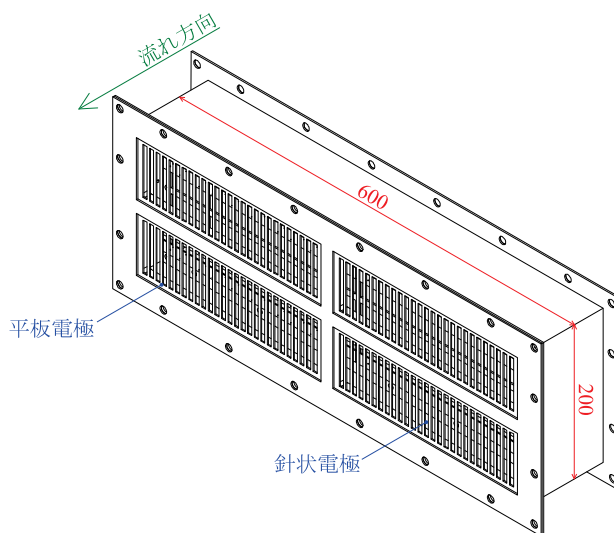


図-1 実験装置全体の模式図

実験はダクトを介してファンと実験装置を接続して行った。O₃とNO_xの濃度は、開放空間において実験装置を通過する風量をファンで調整しながら測定した。測定は実験装置下流 500 mm 位置で行い、分析装置として、O₃は紫外線吸収式オゾンモニタ（荏原実業 EG-3000D）、NO_xは化学発光式微量濃度ガス分析計（堀場製作所 APNA-370）を

用いた。また、ウイルスに対する除去効果の確認は、試験チャンバ (25 m³) 内にウイルス (大腸菌ファージ) 溶液を噴霧し、実験装置を運転した条件としない条件において、風量を調整して所定時間経過した後、試験チャンバ内の空気における感染力を持つウイルスの量を調べることで評価した。同時にレーザー式パーティクルカウンタ (日本カノマックス Model3886) を用い、サイズが 0.3 μm と 0.5 μm の気中粒子数の測定を行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 O₃ と NO_x の風量に伴う濃度変化

図-2 の(a)には実験装置を運転した際の風量に対する O₃ の濃度を、(b)には風量に対する NO_x の濃度を示す。なお、実験装置を運転しない場合には、O₃、NO_x 共に分析装置の測定下限値未満の濃度であった。同図より、いずれの場合でも風量の増加に伴って濃度は低下する結果となった。これは、実験装置から発生する O₃、NO_x の量がほぼ一定で、風量の増加に伴い濃度が減少するという反比例の関係が成立するためである。また実際の使用環境においては、O₃、NO_x 濃度について十分に配慮する必要がある。そこで、O₃ 濃度は室内環境基準を参照し、0.05 ppm 以下³⁾となる風量 (700 m³/hr) 以上とした。NO_x については大気汚染に係る環境基準⁴⁾の 0.04 ppm を十分に下回ることが確認されたため、O₃ 濃度のみで風量を決定した。

3.2 電気集塵の効果

図-3 には、ウイルスに対する除去効果の実験を行った際のパーティクルカウンタによる気中粒子数の測定結果を示す。装置の通過風量は前述の 700 m³/hr で、運転時間は、試験チャンバ内の空気全量が実験装置を 1 回通過 (1 パス) すると想定される時間を基準にして、8 分 34 秒 (4 回通過 (4 パス) 相当) とした。同図より、運転なしの条件では気中粒子数に変化はほとんど見られないが、運転ありの条件では時間経過とともに気中粒子数が低下しており、運転停止後には 0.3 μm の粒子は約 17 %、0.5 μm の粒子は約 47 %が除去された。一般的な電気集塵機と比較すると電極を通過する時間が短いため、空気の 1 パスごとの集塵効果は低いものの、空気を循環させるような使用方法により一定の効果が得られる可能性が示唆された。

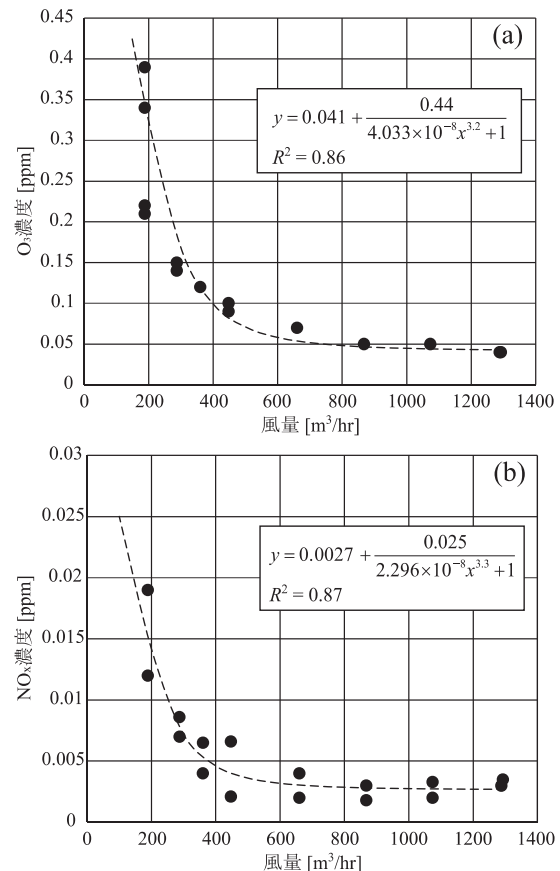


図-2 風量に対する(a)O₃濃度と(b)NO_x濃度の変化

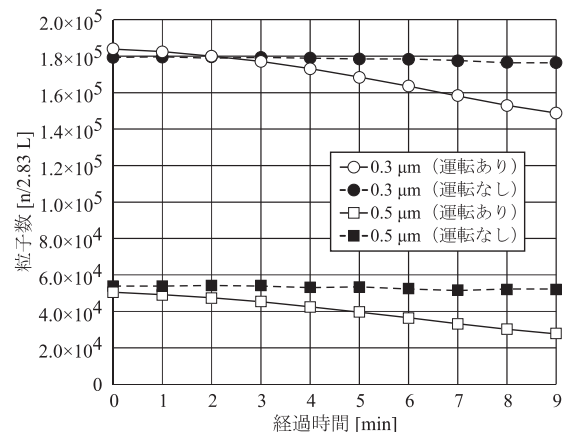


図-3 運転条件に対する粒子数の変化

3.3 電気集塵の理論との比較

ここで、電気集塵の理論から得られる計算結果との比較を行う。まず、粒子表面は帯電しているものとし、その帯電量を計算する。粒子の帯電機構は主にイオンの熱運動に基づく拡散帯電とイオンの衝突による電界帯電に分けられる。粒子の帯電量は拡散帯電量と電界帯電量の和であるが、理

論式はイオンの対流拡散方程式を解く必要があり、煩雑なため、文献⁵⁾から以下の式(1)を当てはめる。

$$q = 150 d^{\frac{3}{2}} e \quad \dots(1)$$

このとき、 q は電荷量[C]、 e は電気素量 (1.6×10^{-19}) [C]、 d は粒子の粒径 [μm]である。

次に、帯電した粒子が電極で捕集される時、粒子には風速による空気流方向の力とクーロン力による電界方向の力の合力によって電極面に到達する⁶⁾。このクーロン力による電界方向への移動速度 W_{th} は以下の式(2)から(4)で示される。

$$W_{th} = \frac{qE}{3\pi\mu_{air}d} C_m \quad \dots(2)$$

$$C_m = 1 + 2.54 \frac{\lambda}{2d} + 0.8 \frac{\lambda}{2d} \exp\left\{-0.55\left(\frac{2d}{\lambda}\right)\right\} \quad \dots(3)$$

$$\lambda = 6.11 \times 10^{-8} \frac{T}{293} \times \frac{1}{P} \quad \dots(4)$$

このとき、 E は電極の電界強度[V/m]、 μ_{air} は空気の粘性係数 (1.81×10^{-6}) [Ns/m²]、 C_m はカニングガム (Cunningham) の補正係数、 λ は分子の平均自由行程[m]、 T は(空気)温度[K]、 P は気圧[atm]である。式(2)から(4)では粒子の粒径は[m]で計算を行なう。なお、カニングガムの補正係数とは、粒子が $1 \mu\text{m}$ 以下の微小径領域において、気体分子による粒子の運動に対する抵抗力が低下することを補正する係数であり、小さな粒子は通常よりも早く移動するようになる。 λ で表す分子の平均自由行程とは、空間中を移動した気体分子が、近隣の分子と衝突し跳ね返り、また空間を移動して分子と衝突し跳ね返る運動を繰り返す中で、近隣分子と衝突してから次に別の分子と衝突するまでに移動する距離の平均値のことである。今回は粒子の粒径を $0.3 \mu\text{m}$ と $0.5 \mu\text{m}$ 、温度を $23 \text{ }^\circ\text{C}$ (296 K)、気圧を 1 atm として検討する。併せて、 E は文献⁷⁾から $6.44 \times 10^6 \text{ V/m}$ とする。以上の条件を当てはめて移動速度 W_{th} を求めると 6.25 m/s ($0.3 \mu\text{m}$ の場合)、 7.4 m/s ($0.5 \mu\text{m}$ の場合) となる。

この電界方向への移動速度を用いた集塵効率(捕集効率) η [-]の算出方法として、ドイツェ (Deutsch) の理論式がある。これは電気集塵機内の同一断面積上において粒子濃度が均一であると

いう仮定に基づくものであり、以下の式(5)から(7)のいずれかで求められる。

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-W_{th}A}{Q}\right) \quad \dots(5)$$

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-W_{th}L}{vb}\right) \quad \dots(6)$$

$$\eta = 1 - \exp\left(\frac{-W_{th}T}{b}\right) \quad \dots(7)$$

このとき、 A は有効集塵面積[m²]、 Q は処理流量[m³/s]、 L 是集塵電極の全有効長さ[m]、 v は処理気体流速[m/s]、 b 是集塵電極と放電電極の電極間隔離[m]、 T は荷電時間[s]である。ここで、本装置の電極部分において電極間の隔離 b を $6.5 \times 10^{-3} \text{ m}$ (針状電極から平板電極までの距離)、 W_{th} を求めた値の 6.25 m/s と 7.4 m/s 、 A を $2.3 \times 10^{-2} \text{ m}^2$ (平板電極の集塵に寄与する面積) とした。これらの計算結果と実験結果とを比較すると図-4 のようになる。同図のとおり、計算結果は、実験結果よりも $2 \sim 5$ 倍程度高い集塵効率を示している。

この理由としては、ドイツェの理論式は、イオン風、放電の局在化による粒子移動速度の変化、粒子濃度、粒子性状、(空気)温度のパラメータが含まれていないこと、集塵に寄与しない部分からの洩れを考慮していないことなどから、対象とする電極の形状や気体性状によって計算値と実験値に乖離が生じてしまうことが原因と考えられる。

3.4 ウイルスに対する処理効果

図-5には実験により得られた運転時間とウイルス除去率の変化の関係を示す。併せて実験結果を基にした計算結果も示した。風量の条件は前述の $700 \text{ m}^3/\text{hr}$ と、 $1300 \text{ m}^3/\text{hr}$ とした。直管のダクトでは単位長さあたりの圧力損失を 1.0 Pa/m 前後 ($0.8 \sim 1.5 \text{ Pa/m}$) として設計するため⁸⁾、その場合に相当する風量として $1300 \text{ m}^3/\text{hr}$ を条件と設定した。ウイルス量の測定は、風量が $700 \text{ m}^3/\text{hr}$ の場合は実験装置を1パス相当時間(2分8秒)と4パス相当時間(8分34秒)、風量が $1300 \text{ m}^3/\text{hr}$ の場合は4パス相当時間(4分38秒)とした。同図より、実験装置を通過する回数が増える(運転時間が長くなる)ほどウイルスが除去され、最大

で約 84 %の除去率となった。また、計算結果から風量の違いによる影響を比較すると、1300 m³/hr では通過回数に対する除去率が悪くなっている。これは風量が多い（風速が速い）ことで実験装置内での滞留時間が短くなるためである。一方で単位時間あたりに空気が実験装置を通過する回数は1300 m³/hr の場合に多くなるので、時間変化に対する両者の差は小さくなる。また、パーティクルカウンタで計測された気中粒子が全てウイルスと仮定すると、気中粒子の除去率以上の値が得られていることから、集塵効果だけではなく発生している O₃ 等による不活化³⁾の影響が考えられた。これら結果より、本実験装置の機構が空気清浄装置として適用できる可能性が明らかとなった。

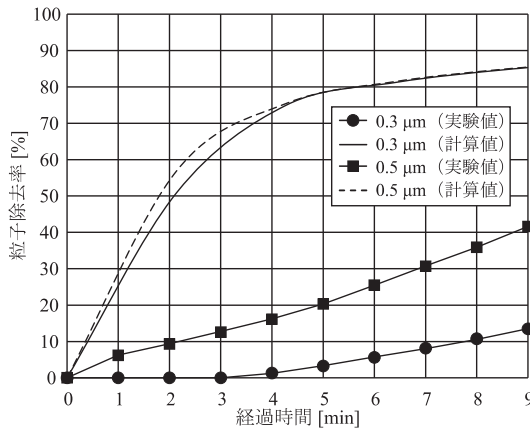


図-4 粒子除去率に対する実験値と計算値の比較

4. まとめ

コロナ放電を利用したダクト接続型の空気清浄装置を開発する目的で、実験装置を製作し実験検討を行った。ここまでで得られた結果は以下のとおりである。

- ① 本実験装置からの O₃ と NO_x の発生濃度曲線を得ることができ、実用範囲内では十分に低い濃度とできることが確認できた。
- ② 電気集塵の効果については、通過風量 700 m³/hr、運転時間 8 分 34 秒の条件で、サイズが 0.3 μm の粒子は約 18 %、0.5 μm の粒子は約 48 %が除去された。これは、計算により求められる値よりも低かった。
- ③ ウイルスの除去率は、粒子の除去率よりも高くなっており、最大で約 84 %となった。これは電気集塵の効果と発生する O₃ 等の効果の双

方が作用した結果であることが示唆された。

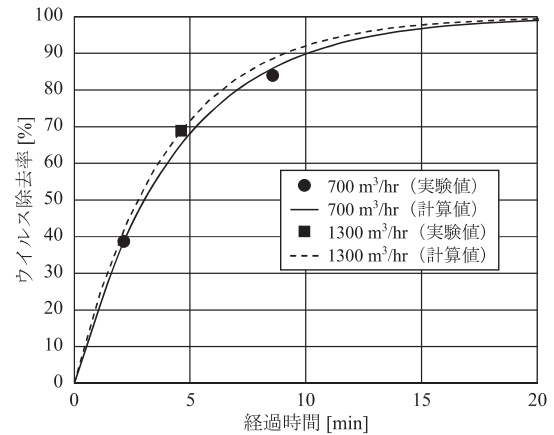


図-5 ウイルス除去率に対する実験値と計算値の比較

参考文献

- 1) Escombe, A. R., Oeser, C. C., Gilman, R. H. Navincopa, M., Ticona, E., Pan, W., Martinez, C., Chacaltana, J., Rodriguez, Moore, R., D. A. J., Friedland, J. S., Evans, C. A., Natural Ventilation for the Prevention of Airborne Contagion, PLoS Medicine, No. 4, Vol. 3 (2007), pp. 309-317.
- 2) 佐野博, 田中一衛, 集塵装置, 日本国特許第 3336452 号 (1997).
- 3) 原嶋寛, 永長久寛, 伊藤一秀, 室内環境除染へのオゾンガス利用に関する現況と課題, 室内環境, Vol. 18, No. 2 (2015), pp. 89-102.
- 4) 環境省, 大気汚染に係る環境基準, available from <<https://www.env.go.jp/kijun/taiki.html>>, (参照日 2023 年 1 月 30 日)
- 5) 中島耀二, エアロゾルを用いた微粒子の静電捕集, エアロゾル研究, Vol. 18, No. 2 (2003), pp. 92-97.
- 6) 江原由泰, ディーゼル排ガス粒子の電気集塵技術, 混相流, Vol. 27, No. 3 (2013), pp. 242-249.
- 7) 林茂宏, 牧野和孝, 井伊谷鋼一, 電気集じん装置の性能推定について, 粉体工学研究会誌, Vol. 12, No. 5 (1975), pp. 271-288.
- 8) 空気調和・衛生工学会編, 空気調和・衛生工学便覧 第 14 版, 3 空気調和設備編 (2010), p. 191, 空気調和・衛生工学会.

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, 佐々木 賢知, 新村 浩一, 福森 幹太 (三機工業株)

Study on consideration of direct expansion system for environmental test laboratory

Junichiro Nagata, Mashanori Sasaki, Koichi Shimmra, Kanta Fukumori
(Sanki Engineering Co.,Ltd)

キーワード：蒸発器，分配，自動制御

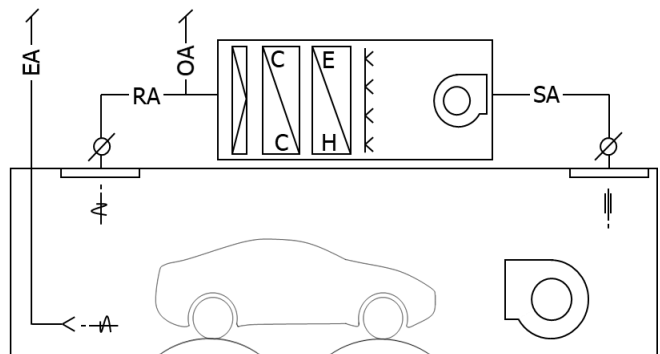
はじめに

近年、国内では自動車分野の研究開発投資が増加し、それに伴い自動車環境試験室の需要が増加している。自動車環境試験室は、様々な走行環境を表現できるよう、室内へ供給する空気を、例えば-50℃から+50℃といった、幅広い温度域から任意に設定できる必要がある(図-1)。

-40℃以下の低温環境が要求される場合、間接膨張方式を用いることはブラインの粘性の問題から困難であり、直接膨張方式(以下、直膨式)が用いられる。同室にて高温環境も要求される場合、電気ヒータ等の加熱機器を併用することで対応するが、蒸発温度を空気側の要求温度に合わせ可変することで、電気ヒータを用いず、直膨式だけでもある程度高温環境まで対応できる。

直膨式における蒸発器は、各伝熱管に冷媒を均等に分配することで適切な冷却能力が得られる。蒸発器に流入する冷媒は通常、気液混相であり、流量だけでなく、気液比も均等に分配する必要がある。均等化を図る手段として、一般的に写真-1のようなディストリビュータが用いられるが、これは細管による抵抗を利用したもので、冷媒流速が小さくなると分配ムラが生じる。冷媒流速は冷却負荷の他、蒸発温度によっても変化する。高温環境をつくるために蒸発温度を上げようとする、膨張弁による減圧量が減り、気相比が小さくなり流速が下がるため、分配ムラが大きくなり、結果として蒸発温度を上げられず、不要な除湿や霜付が生じ、また大きな圧縮機動力を要する。

ここで本報では、幅広い温度設定に対応した、冷媒の分配方式について検討した。



保証点	設定範囲	許容偏差
送風温度	-50 ~ 50℃	±1℃
送風湿度	30 ~ 80%RH	±5%RH

図-1 自動車環境試験室仕様例



写真-1 ディストリビュータ

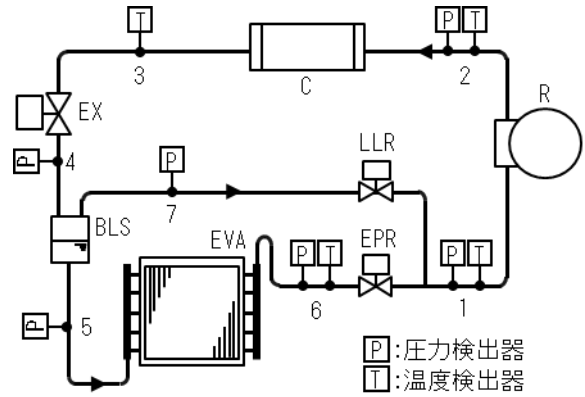
1. 冷媒分配方式の検討

1.1 機器構成

冷媒を均等に分配することを困難としている大きな要因として、膨張弁を通過し蒸発器に流入する冷媒が、気液混相流であることが挙げられる。冷却に寄与するのは専ら液相冷媒であり、伝熱管ごとに気液比の偏りがないように分配する必要がある。検討した分配方式では、気液比分配の課題を解消するため、膨張弁と蒸発器の間に気液分離器を設け、液相冷媒のみが蒸発器に流入し、気相冷媒は蒸発器をバイパスさせる構成を採用した(図-2)。機器は冷凍サイクルを構成する上で基本となる圧縮機、凝縮器、膨張弁、蒸発器、蒸発器の他、バイパス配管に気相バイパス弁を設ける。

1.2 本報における工夫

膨張弁二次側の冷媒の気液比は、膨張弁の減圧量によって変化する。蒸発温度を低くする場合、膨張弁の減圧量は大きくなり、膨張弁二次側の冷媒圧力は飽和圧力を大きく下回り気相比が大きくなる。蒸発温度を高くする場合、膨張弁の減圧量は小さくなり、気相比は小さくなる(図-3)。従って、液相冷媒を全て蒸発器に流入させ、気相冷媒を全てバイパスさせるためには、蒸発器の冷媒流量とバイパスする冷媒流量の比率を蒸発温度に応じて調整する必要がある。蒸発器の冷媒流量は、送風温度制御等を目的とした蒸発圧力調整弁の動作によって変化するため、これと連動して気相バイパス弁を動作させる方法を考える。気相バイパス弁の開度演算方法について図-4に示す。各所冷媒の温度圧力の計測値および蒸発圧力調整弁の開度状況から、気相流量を算出し、気相バイパス弁の定格 Cv 値、前後差圧、および算出した気相流量から気相バイパス弁の開度を決定する。



- | | |
|---------------|---------------|
| 1 : 圧縮機入口 | R : 圧縮機 |
| 2 : 圧縮機出口 | C : 凝縮器 |
| 3 : 膨張弁入口 | EVA : 蒸発器 |
| 4 : 膨張弁出口 | EX : 膨張弁 |
| 5 : 蒸発器入口 | EPR : 蒸発圧力調整弁 |
| 6 : 蒸発器出口 | LLR : 気相バイパス弁 |
| 7 : 気相バイパス弁入口 | BLS : 気液分離器 |

図-2 検討分配方式の機器構成

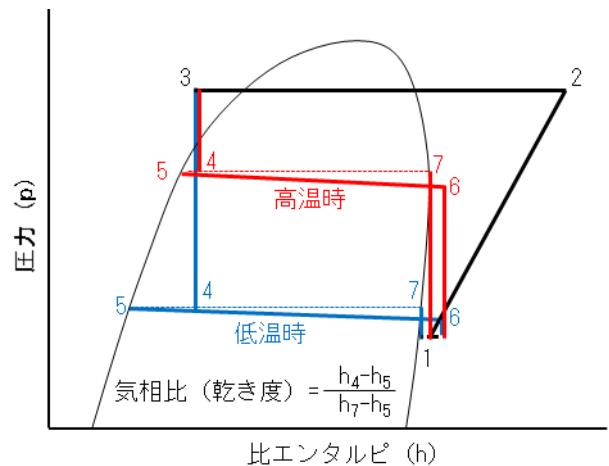


図-3 検討分配方式の p-h 線図上の挙動概念

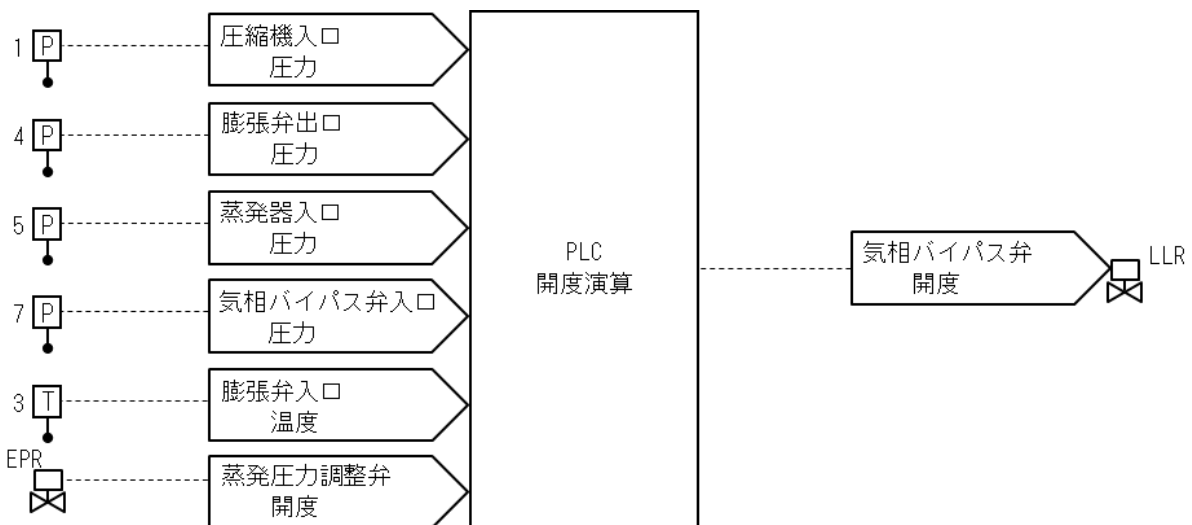


図-4 気相バイパス弁 (LLR) の開度演算方法

2. 実験検証

2.1 検証内容

前述した分配方式（以下、検討方式）の有用性について、実験装置を用いて評価を行った。また比較対象として、ディストリビュータを用いた分配方式（以下、従来方式）についても評価を行った。

2.2 実験装置

実験装置の構成を図-5 に示す。図-2 の構成をベースとし、従来方式の蒸発器を並列に設置する。蒸発器は検討方式、従来方式とも同仕様とする（表-1）。蒸発器は恒温恒湿室に設置し、蒸発器の入口空気温度を任意に設定できる。従来方式のディストリビュータは、本実験における最低温度を設計条件とし、コイルメーカーに設計・製作依頼した。圧縮機と凝縮器は市販のコンデンシングユニットを用いる。なおコンデンシングユニットはその他、インジェクション回路等を有するがここでは省略する。圧縮機回転数下限時に圧縮機バイパス配管およびホットガス弁を設ける。自動制御について表-2 に示す。気相バイパス弁の制御は前述の方法を用いる。冷媒はR410A である。

2.3 実験条件

実験条件について表-3 に示す。空気温度をパラメータとし、蒸発器の空気入口温度を 0℃~30℃まで設定する。その他条件は固定とし、冷媒配管の止弁を切り替え、従来方式と考案方式とを個別に評価する。蒸発器出口に熱電対を配置し（図-6）、出口空気温度分布を測定することで、冷媒分配状況を間接的に評価する。

表-1 蒸発器仕様

項目	単位	仕様
材質		アルミプレートフィン・銅チューブ
有効開口	mm	900×900
奥行寸法	mm	500
伝熱管外径	mm	15.5 (0.8t)
伝熱管列数	列	12
伝熱管段数	段	24
フィンピッチ	mm	3
フィン厚さ	mm	0.15

表-2 自動制御

制御対象	制御機器 (PID演算)
圧縮機吸込圧力	R 圧縮機回転数 (HBP下限時)
	HBP ホットガス弁開度 (R下限時)
蒸発器出口過熱度	EX 膨張弁開度
出口空気温度	EPR 蒸発圧力調整弁開度

表-3 実験条件

項目	単位	設定値			
分配方式	-	従来方式 / 考案方式			
風量	m ³ /h	7200 (v:2.5m/s)			
冷却水温度	℃	32			
圧縮機吸込圧力	kPaG	300 (ET:-20℃)			
蒸発器出口過熱度	K	10			
入口空気温度	℃	0	10	20	30
出口空気温度	℃	-10	0	10	20

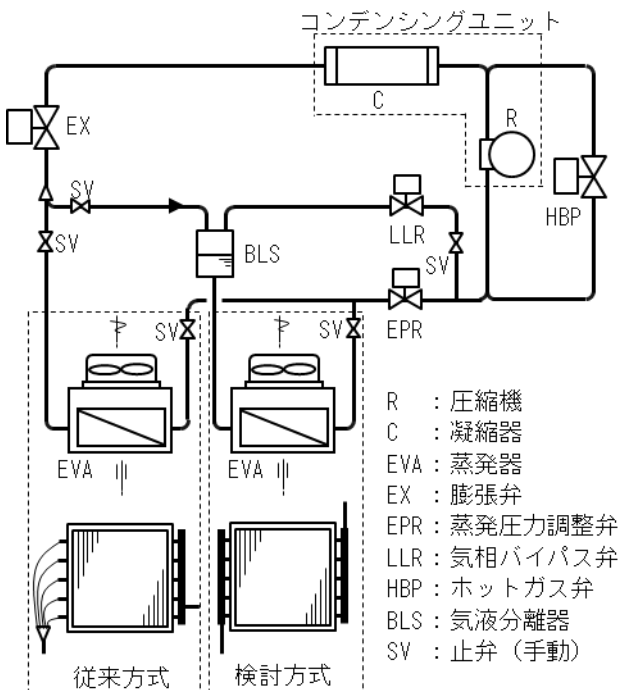


図-5 実験装置

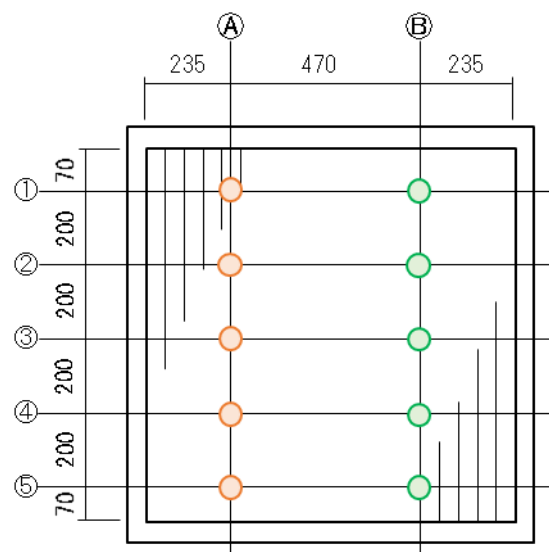


図-6 蒸発器出口の熱電対配置状況

2.4 実験結果

出口空気温度の分布について、例として入口空気 30℃時の結果を図-7 に、各温度条件の結果を図-8 に示す。検討方式の方が偏差は小さく、また、高温時ほどその差が顕著である。出口空気温度と蒸発温度の関係、および圧縮機動力の試算値について図-9 に示す。検討方式の方が高い蒸発温度で所定の空気温度まで冷却できており、伴って圧縮機動力も抑えられる。

気相バイパス弁の効果について図-10 に示す。黒実線は気相バイパス弁開度を手動で設定し、その他の制御機器は自動制御とした場合の、気相バイパス弁開度ごとの出口空気温度の偏差を示している。開度 25%程度に極値が存在し、最も温度偏差が小さくなった。これは、開度が小さすぎると蒸発器に気相冷媒が流入し、開度が大きすぎると液相冷媒までバイパスするためと考えられる。赤丸プロットは気相バイパス弁を自動制御させた場合の結果で、ほぼ極値を示しており、気相バイパス弁制御方法の妥当性が確認された。

3. まとめ

蒸発器の各伝熱管へ冷媒を均等に分配する方式について検討した。液相冷媒のみを蒸発器に流入させ、気相冷媒はバイパスする方法を採用し、バイパス流量の制御方法について工夫を施した。実証試験の結果、従来のディストリビュータを用いた分配方式と比較して分配ムラが小さい傾向が見られ、検討した分配方式の有用性が確認された。

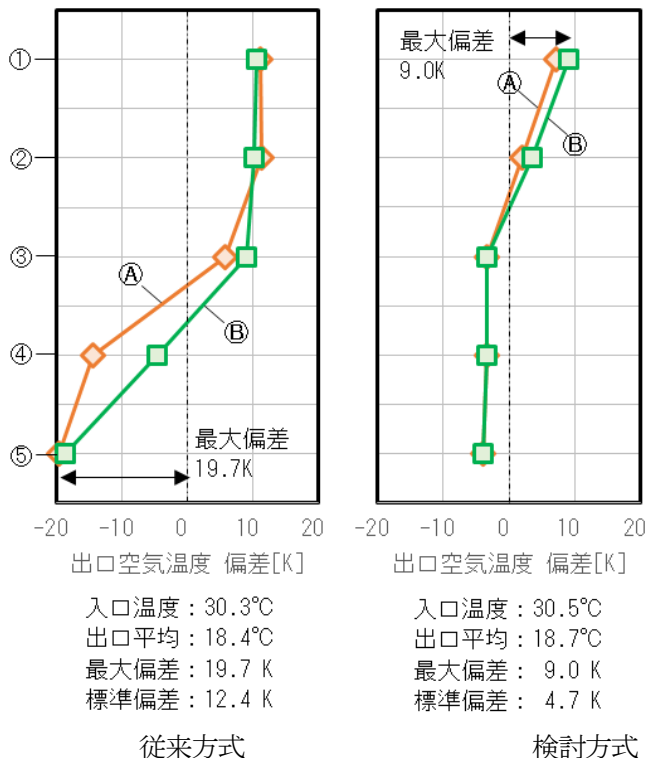


図-7 蒸発器出口の空気温度分布 (20℃目標時)

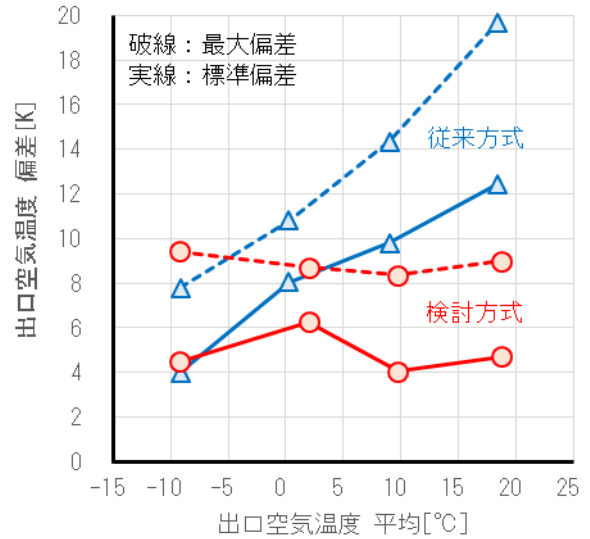
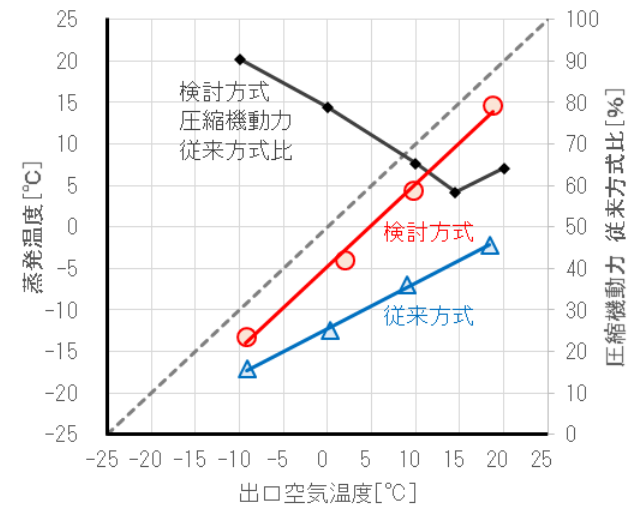


図-8 蒸発器出口の空気温度分布 (温度設定ごと)



圧縮機動力試算条件
冷媒：R410A 凝縮温度：35[℃]過熱度：0[K]
断熱効率：1.0[-] 圧縮機吸入圧上限：10[℃]

図-9 空気温度と蒸発温度の関係

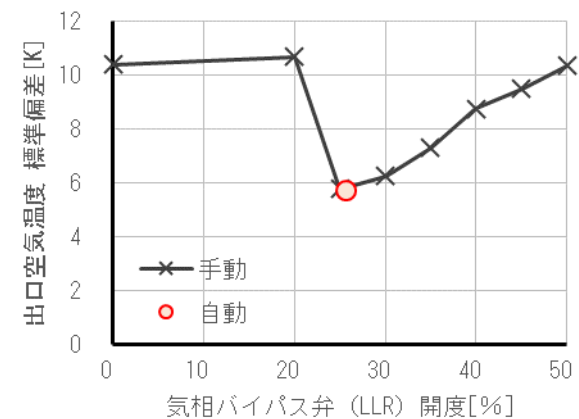


図-10 気相バイパス弁 (LLR) 制御の効果

B-1

秋田県の非住宅建築物のCO₂排出量の将来推計
 - 現状趨勢モデルの精度検証と考察 -

○大和頌 (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)

Future estimation of CO₂ emission
 from non-residential buildings in Akita Prefecture
 - Verification of estimation accuracy in a BAU model -

Yamato Sho (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
 Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード: 非住宅建築物, エネルギー消費量, CO₂ 排出量

はじめに

日本は2050年カーボンニュートラルを宣言し¹⁾, 地球温暖化対策計画²⁾が閣議決定された。これを踏まえて秋田県は2022年3月に「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画(改定版)」³⁾を策定した。推進計画内では、2050年のカーボンニュートラル実現と、2030年に温室効果ガス54%削減(2013年度比)を目標としている。特に、民生業務部門の目標は2030年にCO₂排出量を58%削減(2013年度比)と、部門別で最大であることから、2050年のカーボンニュートラル実現及び2030年の温室効果ガスの削減目標達成には、民生業務部門のCO₂排出量の削減が不可欠である。

本研究グループでは、伊香賀らの研究⁴⁾に基づき、秋田県の非住宅建築物のCO₂排出量を推計している⁵⁾。近年、エネルギー消費を取り巻く環境は変化しており、推計モデルの精度検証が必要になった。そこで本研究では、現状趨勢^{注1)}として秋田県の非住宅建築物におけるCO₂排出量を推計し、推計結果の精度を検証すると共に、課題を明らかにすることを目的とする。

1. ストック床面積の推計

1.1 推計手法

表-1に本研究で対象とする建物用途別の原単位及び数量を示す。原単位と呼ばれる、ストック床面積に関係のある数値に数量を乗じることで推計する。過去の推計には実績値を、将来の推計には将来を想定した値を設定する。

1.2 推計結果

図-1に秋田県の非住宅建築物におけるストック床面積の推計結果を示す。2000年から2050年にか

表-1 建物用途別の原単位及び数量

建物用途	原単位[m ² /円や人など]		数量[円や人など]
	オフィスワーカー1人あたりの床面積[m ² /人]	オフィスワーカー数[人]	オフィスワーカー数[人]
店舗	デパート・スーパーマーケット	年間商品販売額あたりの床面積[m ² /円]	年間商品販売額[円]
	コンビニエンスストア		
	大型店舗		
	その他物販		
飲食店	売上高あたりの床面積[m ² /円]	売上高[円]	
	幼稚園	就学者1人あたりの床面積[m ² /人]	就学者数[人]
小・中学校			
高校			
大学・専門学校			
病院	患者1人あたりの床面積[m ² /人]	患者数[人]	
福祉施設	定員1人あたりの床面積[m ² /人]	定員数[人]	
ホテル・旅館	宿泊収入額あたりの床面積[m ² /円]	宿泊収入額[円]	
劇場・ホール・展示施設	総人口1人あたりの床面積[m ² /人]	秋田県の人口[人]	

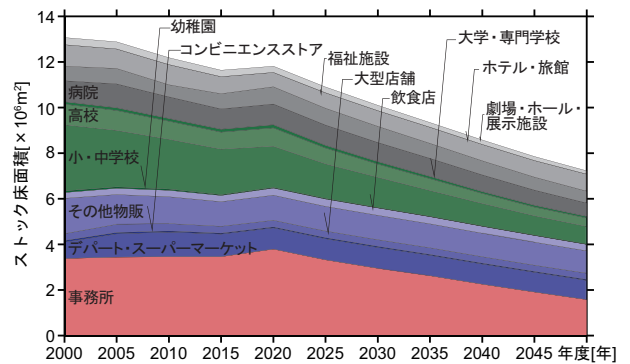


図-1 ストック床面積の推計結果

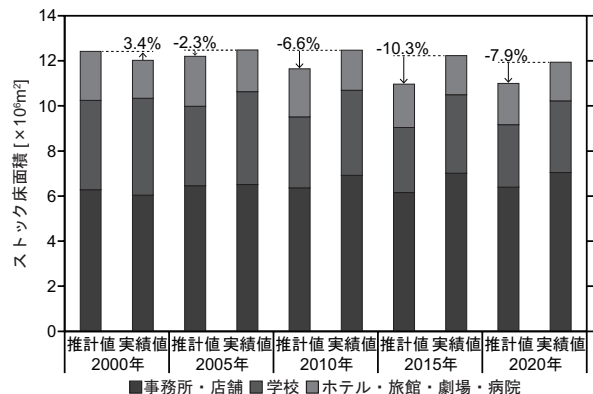


図-2 ストック床面積の推計値と実績値の比較

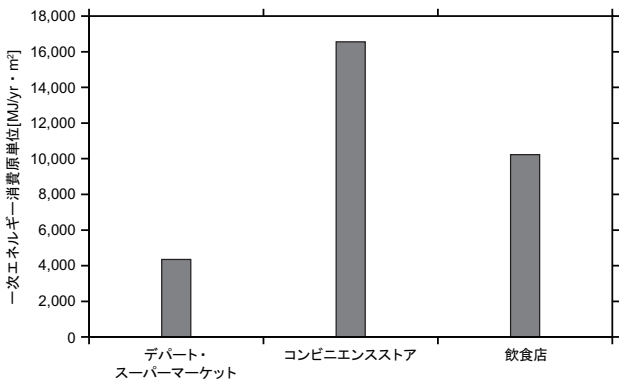
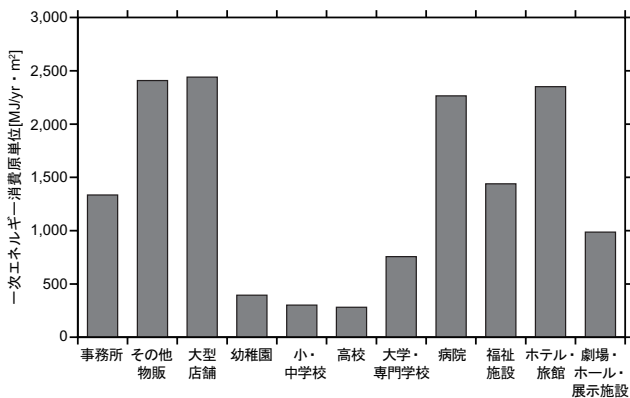


図-3 建物用途別の一次エネルギー消費原単位 (左：デパート・スーパーマーケット，コンビニエンスストア，飲食店以外 右：デパート・スーパーマーケット，コンビニエンスストア，飲食店)

けて減少する結果となった。建物用途別に見ると、学校の減少が顕著であり、2050年には、全体に占める割合も小さくなる。これは、秋田県の人口減少が影響しているものと考えられる。

1.3 実績値との比較と考察

図-2 にストック床面積の推計値と実績値の比較を示す。学校以外の実績値^{注2)}は統計資料⁶⁾の値を引用した。また、学校の実績値は統計資料⁷⁾と既往研究⁸⁾の値を用いて算出した。両者の差は実績値を基準として、2000年から順に3.4%，-2.3%，-6.6%，-10.3%，-7.9%となり、最大で±10%程度の差が見られた。建物用途別で見ると学校の差が大きい。この理由の一つは、推計値が推計年の就学者数の変動に影響されているためである。実績値は人口減少や少子化の影響を受けて時間遅れを伴い変化するため、両者の間に差異が生じていると考えられる。

2. エネルギー消費量の推計

2.1 推計手法

エネルギー消費量は2章で推計したストック床面積にDECC⁹⁾より得られる建物用途別の一次エネルギー消費原単位^{注3)}を乗じることで算出する。図-3に建物用途別の一次エネルギー消費原単位を示す。デパート・スーパーマーケットやコンビニエンスストア、飲食店で値が大きく、反対に学校で値が小さくなった。この要因として、値が大きくなった建物用途では冷蔵のショーケースや調理器具の使用が要因となつて、また、学校では廊下などの非空調空間も延べ面積に含まれていることや、授業の有無によって、空調や照明の切り替えがされていることが考えられる。

2.2 推計結果

図-4に秋田県の非住宅建築物におけるエネ

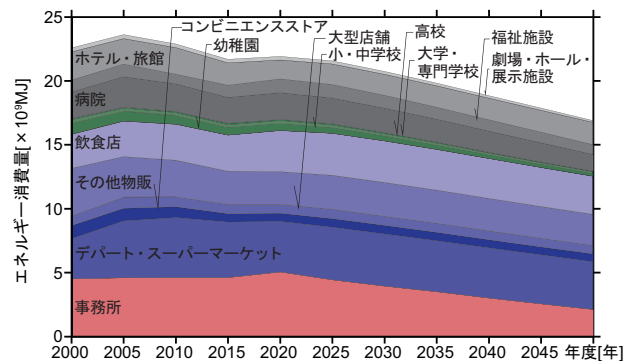


図-4 エネルギー消費量の推計結果

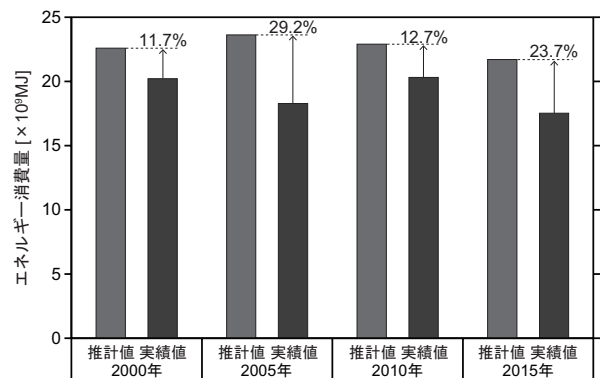


図-5 エネルギー消費量の推計値と実績値の比較

ギー消費量の推計結果を示す。2000年から2020年までは増加と減少が見られるが、それ以降は減少する結果となった。建物用途別に見ると、ストック床面積とは異なり、デパート・スーパーマーケットや飲食店の全体に占める割合が高くなっている。これは、推計に使用した一次エネルギー消費原単位が他の用途と比べて大きいことが要因として挙げられる。

2.3 実績値との比較と考察

図-5にエネルギー消費量の推計値と実績値の比較を示す。実績値には統計資料¹⁰⁾に掲載されてい

る値を引用した。両者の差は実績値を基準として、2000年から順に11.7%、29.2%、12.7%、23.7%となった。また、ストック床面積とは異なり、推計値が実績値を上回る結果となった。このような差異が生じた要因は、推計値は一次エネルギー消費原単位を固定していることにある。図-6に実際の原単位の推移を示す。原単位は2000年以降、減少しており、この減少には省エネ法¹²⁾に基づくベンチマーク制度などの省エネルギーの推進が関与していると考えられる。

3. CO₂ 排出量の推計

3.1 推計手法

CO₂ 排出量は3章で求めたエネルギー消費量にエネルギー種別の構成割合ごとのCO₂ 排出係数を年度毎に乗じることで算出する。電力のCO₂ 排出係数は2020年までは環境省の公表している値¹³⁾を、それ以降は2050年まで2020年の値を使用する。また、電力以外のCO₂ 排出係数は、2000年から2050年にかけて、一定の値¹⁴⁾とする。

3.2 推計結果

図-7に秋田県の非住宅建築物におけるCO₂ 排出量の推計結果を示す。2000年から2015年までは増加と減少が見られる。2020年以降は2050年にかけて減少する結果となった。エネルギー消費量と同様に、デパート・スーパーマーケットや飲食店の占める割合が大きくなる。

3.3 実績値との比較と考察

図-8にCO₂ 排出量の推計値と実績値の比較を示す。実績値は統計資料¹⁵⁾の値を、2030年の推計値は推進計画の改定版³⁾に掲載されている値を引用した。推計値と実績値の差は実績値基準で2005年から順に59.9%、32.4%、54.5%、55.4%となった。エネルギー消費量よりも両者の差が大きいことから、将来推計の確度が低く、トレンドを捉えているとは言い難い結果となった。両者に差が生じた要因として、もともとのエネルギー消費量に差が生じていることが影響していると考えられる。

4. まとめ

現状趨勢モデルの推計値を算出し、実績値と比較することで、推計結果の検証と考察をした。

- ①ストック床面積の推計値は実績値と最大で10%ほど差が生じた。特に学校が顕著である。
- ②エネルギー消費量の推計値は実績値と最大で30%ほど、CO₂ 排出量は最大で60%ほど差が

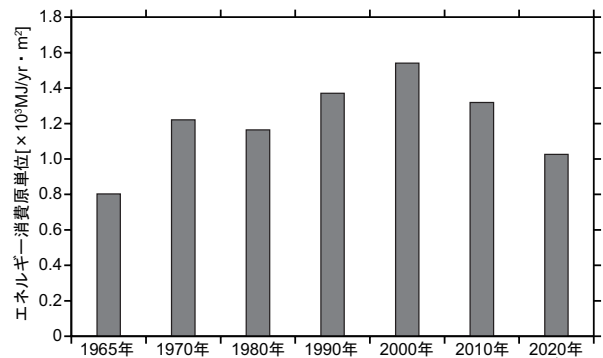


図-6 実際の原単位の推移 ※参考文献¹¹⁾を基に筆者作成

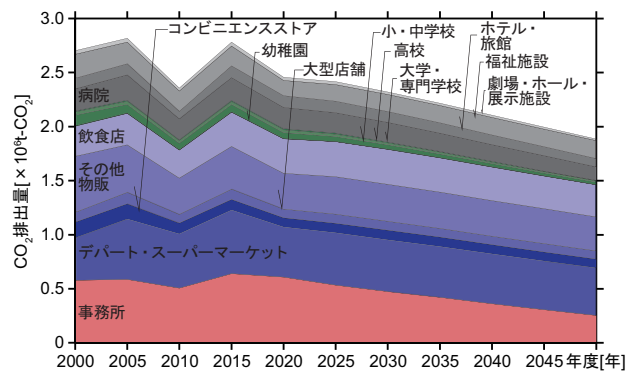


図-7 CO₂ 排出量の推計結果

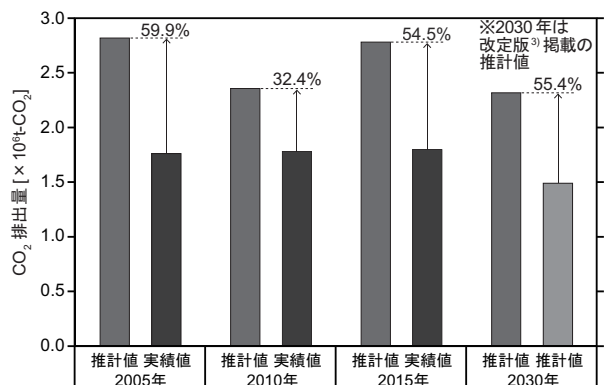


図-8 CO₂ 排出量の推計値と実績値の比較

生じており、実情を捉えているとは言い難い。

- ③特に、原単位の実際の値は減少しており、推計に用いた値には改善の余地がある。今後は秋田県内の建物のみで調査を進めていくことが期待される。

注

- 1) 現状年以上の省エネルギー対策を見込まずに、人口減少などの自然な減少によるもの。
- 2) 固定資産の価格等の概要調査には福祉施設は含まれていないことから、本研究の推計値と実績値の比較では、推計値から福祉施設の床面

積を除いた値を使用した。

3) 延床単位面積あたりの一次エネルギー消費量。

参 考 文 献

- 1) 首相官邸：二百三回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説，https://www.kantei.go.jp/jp/99_suga/statement/2020/1026shoshinhyomei.html, 2022.10.
- 2) 環境省：地球温暖化対策計画，<https://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/211022.html>, 2021年10月22日閣議決定
- 3) 秋田県：第2次秋田県地球温暖化対策推進計画（改定版），2022.3.
- 4) 新谷圭右，伊香賀俊治，村上周三：建築・都市のサステナビリティに関する研究（その6）業務用建築起因CO₂排出量の都道府県別予測，空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集，pp2259-2262, 2008.8.
- 5) 内海禎一，長谷川兼一，竹内仁哉，松本真一：秋田県における非住宅建築物の低炭素化に向けた省エネルギーシナリオの作成，空気調和・衛生工学会東北支部第7回学術・技術報告会論文集，pp113-116, 2018.3.
- 6) 総務省：固定資産の価格等の概要調書（家屋都道府県別表），https://www.soumu.go.jp/main_sosiki/jichi_zeisei/czaisei/czaisei_seido/ichiran08.html.
- 7) 文部科学省：文部科学統計要覧，https://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/002/002b/koumoku.html.
- 8) 日本エネルギー経済研究所：民生部門エネルギー消費実態調査 業務部門編2（2002年）.
- 9) 日本サステナブル建築協会：非住宅建築物の環境関連データベース（DECC），<https://www.jsbc.or.jp/decc/decc.html>.
- 10) 資源エネルギー庁：都道府県別エネルギー消費統計，https://www.enecho.meti.go.jp/statistics/energy_consumption/ec002/.
- 11) 資源エネルギー庁：令和3年度エネルギーに関する年次報告（エネルギー白書2022）第2部エネルギー動向第1章国内エネルギー動向，https://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2022/pdf/2_2.pdf, pp77-78, 2022.6.
- 12) 資源エネルギー庁：省エネ法の概要，https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/enterprise/overview/, 2022.11.
- 13) 環境省：電気事業者別排出係数一覧，https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/r04_coefficient_rev4.pdf.
- 14) 環境省：算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧，https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran_2020_rev.pdf.
- 15) 環境省：部門別CO₂排出量の現況推計，https://www.env.go.jp/policy/local_keikaku/tools/suikai.html.

B-2

戸建住宅の断熱改修前後における LCCO₂ の事例評価

○外館凌 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

竹内仁哉 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学)

LCA Case study of LCCO₂ in Detached Houses
before and after Thermal Insulation Renovation of building envelopes

Todate Ryo (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード: 木造戸建住宅, 断熱改修, LCCO₂

1. はじめに

近年, 建築分野の脱炭素化に向けて, 住宅の高断熱化が推進されている。しかし, 既存住宅の省エネルギー基準適合率は 13% 程度¹⁾であり, 断熱改修による省エネ化が課題である。また, 改修は新規投入資材を減らす要因となり, 建設・廃棄時の CO₂ 排出量を一定量抑制することが可能である。この 2 つの観点から, 既存住宅の断熱改修が脱炭素化にもたらす効果は大きいと考えられる。しかしながら現状では, 断熱改修による環境負荷を検討した例はほとんど見られず, 環境負荷低減の効果は明らかにはなっていない。そこで本研究では, 改修規模の異なる 2 つの戸建住宅を対象に CO₂ 排出量を段階ごとに算出し, 改修工事に伴う CO₂ 排出量を把握する。さらに, 改修の有無を想定した LCCO₂ を比較する

ことで, 断熱改修がもたらす環境負荷の低減効果を評価する。

2. 住宅概要と改修工事の概要

表 -1 に評価対象とする住宅の概要を示す。A 邸は築 20 年経過した 2018 年, ST 邸は築 41 年経過した 2016 年に改修された。

2.1 A 邸 (部分改修事例)

図 -1 に A 邸改修前の平面図および改修範囲を示す。部分改修と共に段差解消工事も行われた。U_A 値は 2.01W/(m²K) から 1.36W/(m²K) まで改善された。改修部のみの U_A 値は 0.78W/(m²K) と, 基準値の 0.75 W/(m²K) に近い値である。

2.2 ST 邸 (全体改修事例)

図 -2 に ST 邸改修前の平面図を示す。車庫は工

表 - 1 評価対象とする住宅の概要

住宅名称	A邸(部分改修)		ST邸(全体改修)	
所在地	山形県鶴岡市		山形県鶴岡市	
構造	在来木造		在来木造	
家族構成	夫婦2人		夫婦+子(3人家族)	
概要項目	改修前	改修後	改修前	改修後
竣工年	1993年	2018年	1975年	2016年
延床面積	153.2㎡	153.2㎡	116.8㎡	120.9㎡
断熱材	天井	GW10K 50mm	GW10K 50mm, HGW16K100+100mm	GW10K 50mm
	壁	GW10K 50mm	HGW16K100mm	GW10K 50mm
窓	床・基礎	なし	XPS 40mm(床)	なし
	サッシ部	アルミ	樹脂, アルミ	アルミ
暖房	ガラス部	単板	Low-e 複層, 単板	単板
	設備	FF式暖房器(居間), ファンヒーター(寝室)	エアコン(居間), ファンヒーター(寝室)	石油ファンヒーター
給湯設備	形態	部分暖房	部分暖房	全館連続
	給湯設備	自然冷媒HP式給湯器	自然冷媒HP式給湯器	瞬間式給湯器
換気設備	換気設備	台所換気扇	第三種	第三種
	給湯	電気	電気	ガス
熱源	暖房	灯油	電気, 灯油	灯油
	調理	ガス	ガス	ガス
C値(cm ² /m ²)	(未計測)	(未計測)	(未計測)	0.9
U _A 値	全体	2.01	1.36	1.50
(W/m ² k)	改修部	2.01	0.78	(未計測)

※GW:ガラスウール, HGW:高性能ガラスウール, PF:フェノールフォーム, XPS:押出法ポリスチレンフォーム, HP: ヒートポンプ

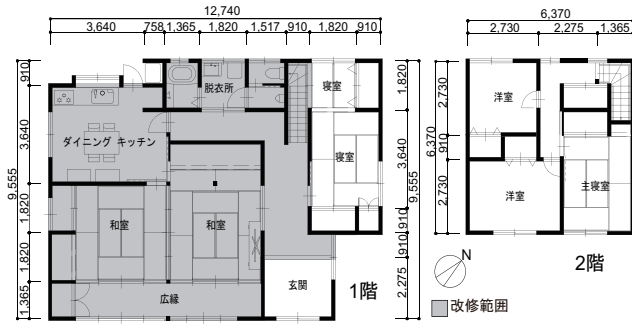


図-1 A邸改修前平面図および改修範囲

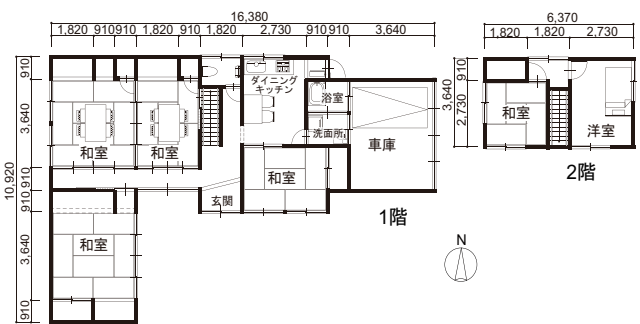


図-2 ST邸改修前平面図

事の際に解体されている。断熱改修の他、耐震補強工事、間取りの変更が行われた。また、設備の交換により熱源が全て電気となっている。U_A値は1.50W/(m²K)から0.62W/(m²K)まで改善された。

3. 各段階のCO₂排出量

3.1 計算範囲

本研究では新築段階、改修段階、改修前後の運用段階、廃棄物の中間処理までの過程を対象とし計算する。

3.2 計算方法

表-2に算出のための情報源を示す。建物のLCA指針²⁾をもとに計算する。以下に各段階の計算方法を示す。

(1) 新築・改修段階

資材の製造、輸送、施工までのプロセスを計算範囲とする。AIJ-LCAツール内のCO₂排出原単位³⁾に投入資材量を乗じて算出する。

(2) 廃棄段階

輸送段階については改良トンキロ法⁵⁾を用いて排出量を算出する。廃棄処理段階は、中間処理に伴う種別CO₂排出原単位⁶⁾に廃棄物量を乗じて算出する。

(3) 運用段階

算出した年間のエネルギー使用量にAIJ-LCAツール内の排出原単位³⁾を乗じて計算する。

3.3 計算結果

(1) 改修段階

図-3に建設段階のCO₂排出量を示す。A邸のCO₂排出量は17.19t-CO₂となり、新築段階に比べ約4割の排出量となった。ST邸は26.26t-CO₂となり、新築段階に比べ約7割の排出量となった。ST邸は躯体改修も行われたため、投入資材の違いがCO₂排出量の差に表れる結果となった。

表-2 LCCO₂算出のための情報源

段階	情報源
新築段階	<ul style="list-style-type: none"> 立面図、平面図から各部面積を求め、物量を概算 資材構成はヒアリング調査から把握 構造材などに用いる製材は別の新築住宅の設計図書から算出した延べ床面積あたりの資材重量を引用
改修段階	<ul style="list-style-type: none"> 改修工事に関する資料や設計図書から投入資材量と資材構成を把握
運用(改修前後)	<ul style="list-style-type: none"> A邸 → 住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム⁴⁾から算出 ST邸 → 電力、ガスは改修前後の実測値を利用 灯油使用量は居住者に対するヒアリング調査から推定
廃棄物輸送	<ul style="list-style-type: none"> 産業廃棄物管理票(マニフェスト)から輸送車種、輸送距離、積載重量などの情報を収集
廃棄処理(中間処理)	<ul style="list-style-type: none"> 産業廃棄物管理票(マニフェスト)から種類別の廃棄物量、処理方法を把握

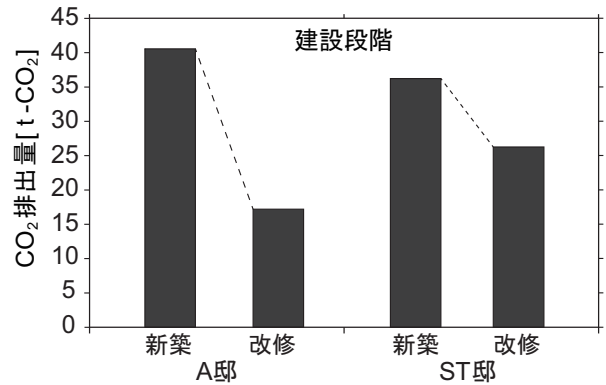


図-3 建設段階のCO₂排出量

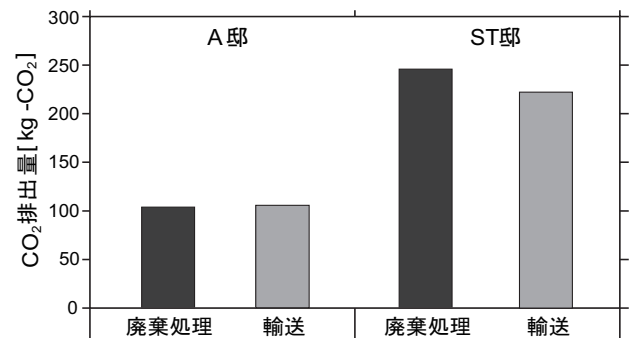


図-4 廃棄段階のCO₂排出量

(2) 中間廃棄処理段階

図-4に輸送段階を含めた廃棄段階のCO₂排出量、図-5, 6に種類別の中間処理に伴うCO₂排出量を示す。廃棄段階のCO₂排出量を示す。A邸は合計で209.26kg-CO₂、ST邸は468.23kg-CO₂であった。ST邸はA邸に比べ2倍以上の排出量となった。どちらも廃石膏ボードの発生が多かったが、ST邸は特にコンクリートくずの発生量が多かったため、排出量に大きく差が出たと思われる。また、輸送に伴うCO₂排出量は中間処理段階に近い値が得られ、無視できない値となっている。

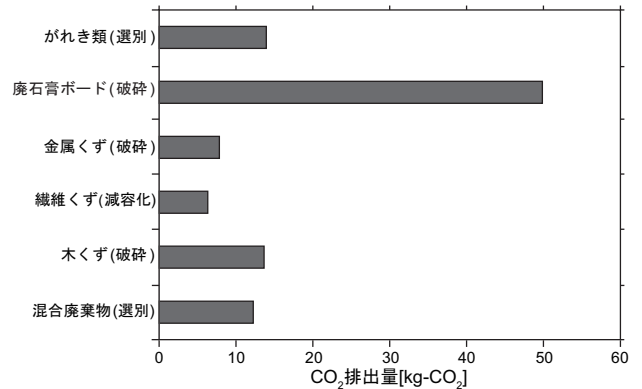


図-5 A邸の中間廃棄処理に伴うCO₂排出量

(3) 運用段階

図-7, 8に運用時の年間CO₂排出量を示す。A邸は灯油の使用によるCO₂排出量が大幅に削減され、約23%の削減効果が見られた。ST邸では電力の使用量が増加したが、LPガスや灯油を使用しなくなったため、改修後は約27%削減されている。断熱性能の向上によって暖房負荷が減少したこと、間取りや設備の更新によって効率的な暖冷房運転が可能になった影響が大きいと考えられる。

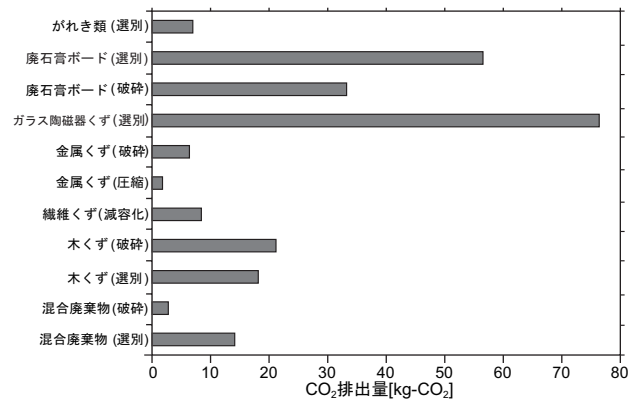


図-6 ST邸の中間廃棄処理に伴うCO₂排出量

4. 断熱改修の有無によるLCCO₂の比較

4.1 評価の方法

算出した各段階のCO₂排出量を用いて、①断熱改修を行わずに住み続けた場合、②断熱改修を実施した場合の2つのシナリオを評価、比較する。電力については年度毎に報告される電気事業者別のCO₂排出原単位⁷⁾を乗じて積算する。なお、建替え・修繕・更新はしないものと仮定する。

4.2 評価の結果と分析

図-9に50年間、70年間のシナリオ別LCCO₂を、図-10に各年のLCCO₂を示す。左から順にそれぞれ新築時、改修年、LCCO₂の大小関係が逆転した年、築90年後の値を示している。A邸は改修から9年後の2027年にシナリオ①と②の大小関係が逆転しており、部分改修においては10年前後でLCCO₂の抑制効果が現れる結果となった。ST邸は、改修から20年後の2036年に大小関係が逆転しており、全体改修は20年前後でLCCO₂の抑制効果が現れる結果となった。断熱改修によって運用時のCO₂排出を抑制することができるが、LCCO₂の低減効果が現れるまでの期間は改修規模によって異なることが分かった。また石川ら⁸⁾によると、ST邸は改修後22年で断熱改修の初期費用を回収できると見

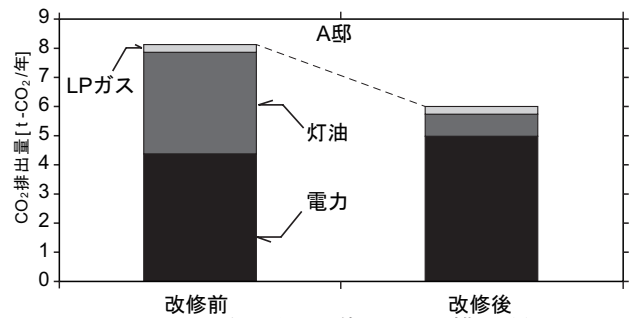


図-7 A邸運用段階のCO₂排出量

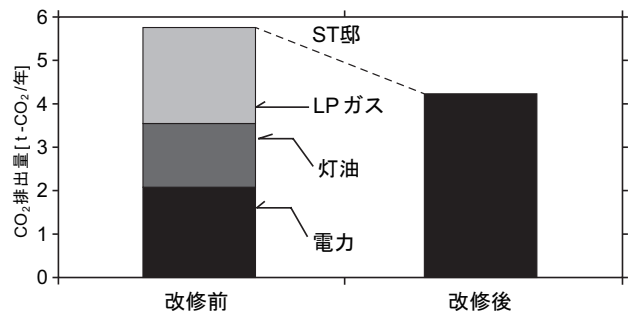


図-8 ST邸運用段階のCO₂排出量

積もられ、建物のライフサイクルにおいてCO₂排出量とコストは類似した傾向にあると考えられる。

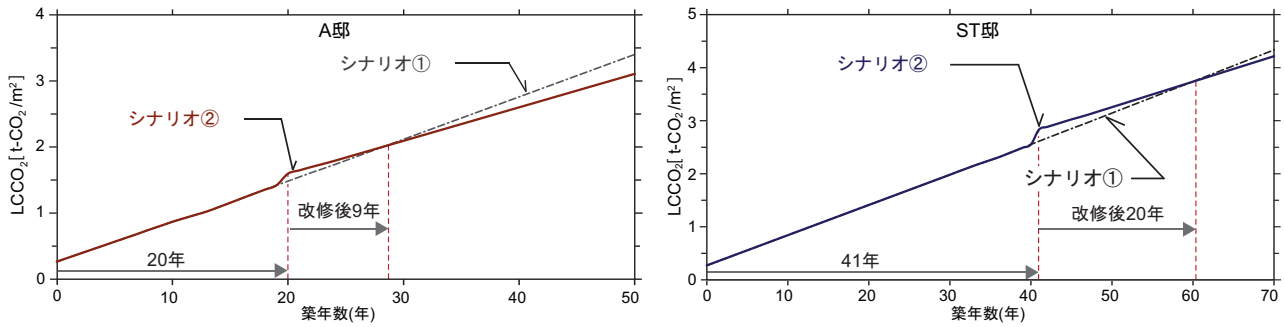


図 - 9 シナリオ別 LCCO₂ の比較

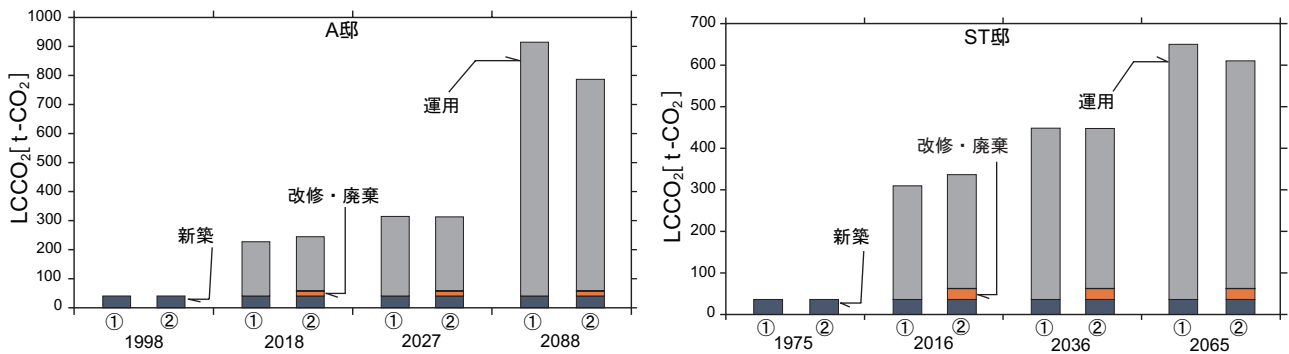


図 - 10 各年の LCCO₂

5. まとめ

本研究では、戸建住宅の断熱改修に係る CO₂ 排出量を算出し、LCCO₂ を評価した。以下に得られた知見を示す。

- ①改修工事に伴う CO₂ 排出量は、新築段階に比べ部分改修で 4 割、全体改修で 7 割程度となり、一定量の削減効果が得られることが分かった。
- ②断熱改修によって LCCO₂ の抑制効果が現れるまで、部分改修で 10 年前後、全体改修で 20 年前後の期間を要することが分かった。

謝辞

本研究における調査を行うにあたっては有限会社親和創建、ならびに対象住宅のご家族の皆様にご理解とご協力をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

なお、本研究に対しては、秋田県立大学・研究倫理審査委員会の承認(承認番号 県大研-467)を得ている。

参考文献

- 1) 国土交通省：住宅生産行政の最近の動向，
<https://www.j-reform.com/web-seminars/pdf/2021sym-1.pdf>

- 2) 日本建築学会：建築の LCA 指針 改訂版，2013 年 2 月。
- 3) 日本建築学会：建物の LCA 指針—温暖化・資源消費・廃棄物対策のための評価ツール。
<https://www.aij.or.jp/jpn/books/lca2013/>
- 4) 一般財団法人住宅・建築 SDGs 推進センター：住宅に関する省エネルギー基準に準拠したプログラム，<https://house.lowenergy.jp/program>
- 5) 経済産業省・国土交通省：ロジスティクス分野における CO₂ 排出量算定方法共同ガイドライン Ver.3.1, pp53-58, 2016 年 3 月。
- 6) 福田俊之・菊池雅史・小山明男・山口善弘：建設副産物の中間処理に伴う二酸化炭素排出量に関する研究，日本建築学会構造系論文集 第 577 号，pp21-27, 2004 年 3 月。
- 7) 環境省：温室効果ガス排出量 算定・報告・公表制度：電気事業者別排出係数の公表について，<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calcdenki>
- 8) 石川武尚・長谷川兼一・竹内仁哉・松本真一：東北地方における戸建住宅の全体改修による環境改善効果に関する事例研究，空調調和・衛生工学会 東北支部 第7回 学術・技術報告会 論文集，pp15-20, 2018 年 3 月 9 日。

B-3

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 —

○村田悠翔（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）

Numerical Analysis of Indoor Thermal Environmental Performance Before and After Thermal Insulation Retrofit in Apartment Houses Case Study of Public housing located in Yurihonjo City

Murata Haruka (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード：集合住宅，断熱改修，数値計算

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。本研究グループでは，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，秋田県で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。

本研究グループでは，由利本荘市の県営住宅団地内にある住宅において冬季(2022年12月22日～2023年2月7日)に実測調査の機会を得た。そこで本研究では，設計図書を参照して断熱改修に関わる数値計算モデルを作成し，改修規模や改修範囲を検討する。得られた計算結果により温熱環境の改善効果について考察する。

1. 公営住宅の現状と既往研究

1.1 秋田県の公営住宅の現状⁴⁾

秋田県では，県営及び市町村営住宅で約12,000

戸の公営住宅を管理しており，県営住宅については247棟，2299戸(令和3年3月時点)を管理している。県営住宅の大半は1985年以前に建設され，多くはRC造3・4階建ての階段室型でエレベーターの設置はない。入居者は世帯主の年齢割合では60歳以上が4割を超え，世帯人員割合では単身や2人世帯が約7割となっており，居住者の高齢化や単身世帯が増加している。

1.2 公営住宅の断熱改修に関する研究^{5),6)}

札幌市都市局や森らは公営住宅で実施された外断熱改修後の住戸の室内温熱環境の改善効果や消費エネルギー量の削減を評価し，以下を報告している。1)各居室の室温上昇および暖房室と非暖房室の室温間温度差が減少する，2)壁，床，天井の表面温度上昇による結露発生の可能性が減少する，3)暖房エネルギー消費量が減少する。一方，4)改修コストの高さや改修仕様の検討について，専門的知見が必要である，ことを課題に挙げている。

2. 対象県営住宅の概要

表-1に対象県営住宅の概要を，図-1に数値計算の対象住戸の平面図を示す。対象県営住宅は1996年から1998年に建設されたRC造3階建ての4棟計50戸の集合住宅である。図-1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。居室において機械換気設備は設置されておらず，24時間換気にはなっていない。そのため，写真-2に示すように洗面室や洋室等で結露やカビが発生している。

数値計算にあたりモデルの妥当性検証のため対象



写真-1 対象住宅外観



写真-2 カビ発生状況

表-1 対象県営住宅概要

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

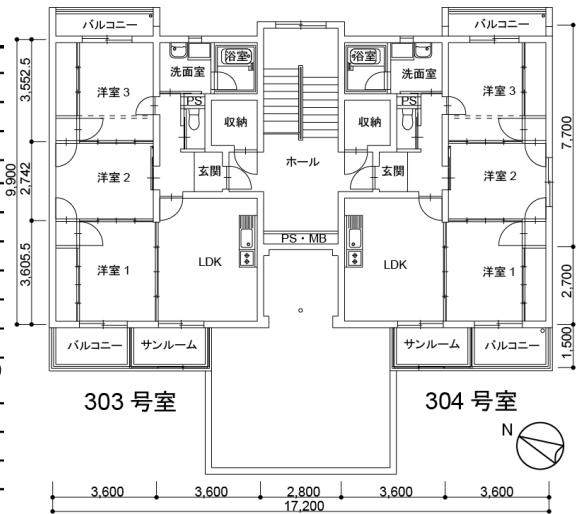


図-1 対象住戸平面図 (一部抜粋)

住戸にて各室の温湿度を測定した。図-2に冬季1週間の各室の温度の実測結果を示す。図-2の上が主な居室であり、下がその他の部屋である。対象住戸は空き住戸だが、居室にて温度が10℃程度あり、下階の住民による暖房の影響を受けている。また、湿度については、測定期間においてカビが発生している洋室3で60%程度を、トイレや洗面室等で70~80%程度を維持していた。換気がなされていないため、湿気がたまりやすく、カビや結露が発生しやすい状況にあったと考えられる。

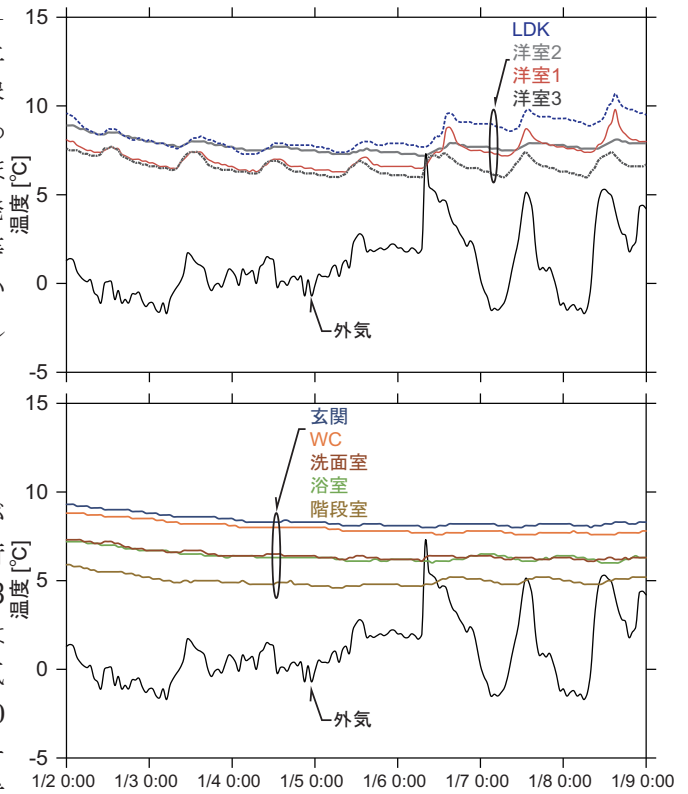


図-2 対象住戸の室温測定結果

3. 室内温熱環境に関する数値計算

3.1 計算概要

現況の室内環境を基に断熱改修すると室内環境がどの程度改善するかを検討するために、動的熱負荷計算プログラム TRNSYS18を用いる。表-2、表-3に数値計算と計算条件の概要を示す。家族構成は1章の文献⁴⁾から高齢夫婦2人世帯を設定した。気象条件は拡張アメダス気象データ⁷⁾の本荘市(2000年版標準年)を用いる。暖冷房条件は生活スケジュール自動生成プログラム SCHEDULE⁸⁾による在室状況の出力により参照し、表-4に示すように在室時運

表-2 数値計算の概要

使用ツール	TRNSYS18
計算対象	303号室
家族構成	高齢夫婦2人
気象データ	拡張アメダス: 本荘(標準年)
発熱機器	過去の事例を参照
暖冷房条件	室 LDK,洗面室,洋室3
	温度 在室時運転
	暖房:20℃
	冷房:26℃
換気回数	0.07回/h

表-3 計算条件の概要

条件	改修内容	窓	建具	LDK	洗面室	洋室1	洋室2	洋室3	浴室	その他	断熱材	間取り変更	
0	現況	アルミ単板 樹脂単板	—	—	—	—	—	—	—	—	XPS 2種 50mm(既存)	—	
1	内窓変更	—	—	—	—	—	—	—	—	—	XPS 2種 50mm(既存)	—	
2	建具断熱	—	○	—	—	—	—	—	—	—	XPS 2種 10mm(建具)	—	
3	居間・洗面室	アルミ単板	○	○	○	—	—	—	—	—	壁:PF 1種 40mm 天井:PF 1種 60mm	—	
4	LDK統合	樹脂	○	○	○	○	—	—	—	—		—	有
5	洋室	+Low-E複層	○	○	○	○	○	○	—	—			—
6	外断熱	—	○	○	○	○	○	○	○	○	壁:(既存)+EPS 3種 100mm 屋根:(既存)+FP 2種 120mm	—	

表-4 暖房スケジュール

		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
LDK	平日							20	20	20	20		20	20	20	20		20	20	20	20	20	20			
	休日							20	20	20	20		20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20			
洋室3 (寝室)	平日											20				20								20	20	20
	休日														20									20	20	20
洗面室	平日																					20	20			
	休日																					20	20			

転とする。発熱機器は本研究グループの過去の事例を参照する。改修方法は単独住戸のみでも改修可能な内断熱改修を採用し、既存断熱材を取り換える。計算では外断熱改修との効果の違いも比較する。本研究では、「現況」(条件0)からどの程度変化したかを評価する。なお今回、隣接住戸の温熱環境や暖房使用を把握することができなかったため、モデルの妥当性の検証は不十分であるが、現行のモデルでも、温度変動は定性的ながら、再現できていることを確認している。

3.2 計算結果

(1) 室温の比較

図-3は303号室モデルの計算結果として冬季最寒日を含む1月の各改修条件の各室室温の箱ひげ図による比較である。外断熱改修である条件6が最も効果が高く、各室の室温が大きく上昇し、それとともに温度の範囲が狭くなっていることがわかる。それに対して、改修条件1~5は改善の効果は小さい。しかしながら、図-4に示すLDKと洋室1を統合する間取り変更と洋室1・2の間に断熱した間仕切り壁を新設し、室内側の断熱境界を明確にした条件4は、LDKの中央値が条件6のLDKの中央値と同様となった。このことから、室内側の断熱境界を明確にすることが本計算では効果的であることがわかった。

(2) 年間暖冷房負荷の比較

図-5に年間暖冷房負荷の計算結果を示す。改修によりわずかながら暖冷房負荷が削減されることが確認され、主な生活空間のLDKで削減効果が高い。室温同様に条件6の外断熱改修が最も効果が高く、LDK以外でも熱負荷が減少しており、暖冷房負荷は現況の69.6%となった。条件4にてLDKの熱負荷が増加するのは、間取り変更による暖房面積増加の影響と考えられる。条件4では洋室3の暖房負荷がわずかに減少しており、断熱境界が明確になり暖房効率が上昇したためと考えられる。

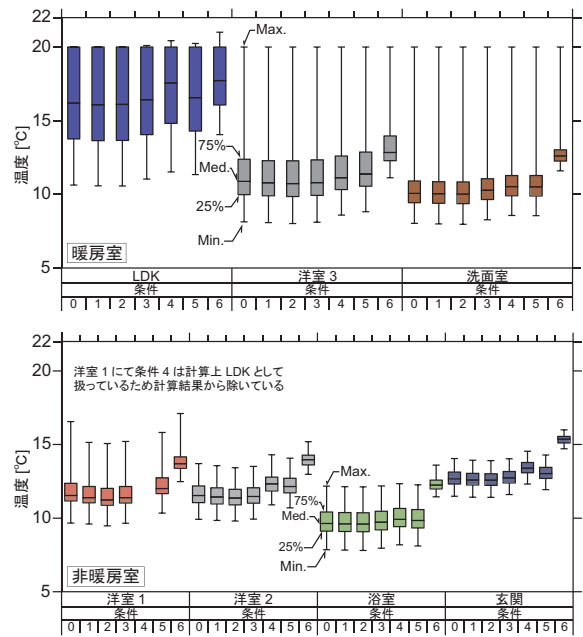


図-3 冬季1カ月の温度の計算結果

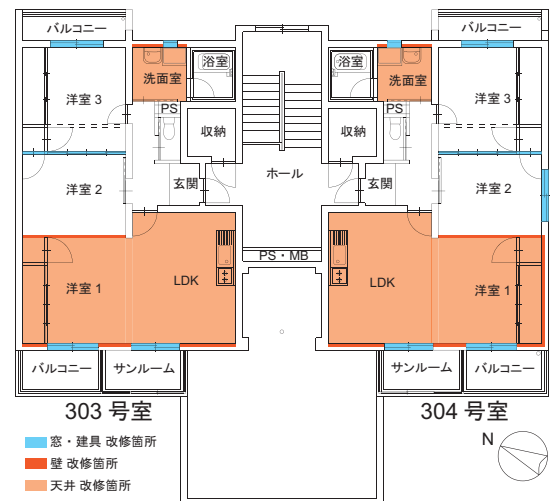


図-4 改修条件4 改修箇所

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、断熱改修に関する数値計算をした。以下にその知見を示す。

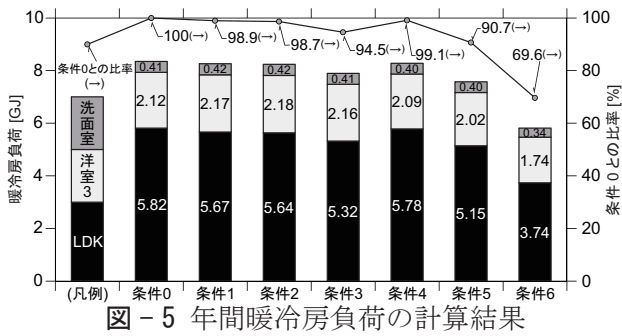


図-5 年間暖冷房負荷の計算結果

- ① 外断熱改修が最も効果が高いが、室内の断熱境界を明確にすることで、内断熱改修でも近い効果を得られる。
- ② 年間暖冷房負荷の減少が確認されたが、本計算における改修条件では、あまり減少しない。
- ③ モデルの精度を高めるにあたり隣接住戸の暖房影響を明らかにする必要がある。

また、本研究では湿度や換気等の検討にまでは至っていない。対象県営住宅では機械換気設備がなく、換気設備の導入による温熱環境や暖冷房負荷、カビ・結露への影響については今後も検討すべきである。

謝辞

本研究における実測調査を行うにあたっては、秋田県建設部建築住宅課にご理解とご協力をいただきました。ここに記して、深甚なる謝意を表します。

注釈

注 1) 室温測定時において電気契約がされておらず、換気がなされていない状態であるため、源城ら⁹⁾による寒冷地の集合住宅を対象とした冬期室内環境およびエネルギー消費量の調査事例より、建設時期や規模、暖房設備等が同様である $C=0.5(\text{cm}^2/\text{m}^2)$ を参照し、風力換気がなされているものとして概算した。

参考文献

- 1) 国土交通省：住宅行政の最近の動向，2021.10.
<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.45-48，2016.3.

- 3) 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) 秋田県：秋田県営住宅等長寿命化計画，2021.3.
- 5) 札幌市都市局市街地整備部住宅課：集合住宅の高断熱化モデル改修効果検証，2019.10. <https://www.city.sapporo.jp/toshi/jutaku/08osirase/koumoku/documents/koudannetukaishuukoukakenshou.pdf>.
- 6) 馬渡龍，森太郎，岩根敦，伊藤年則：宮城県大衡村公営住宅の長寿命化改修による室内環境への影響評価，日本建築学会技術報告集，第27巻，第67号，pp.1402-1407，2021.10.
- 7) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ，1981-2000，2005.8.
- 8) 空気調和・衛生工学会・住宅エネルギーシミュレーション小委員会：生活スケジュール自動生成プログラム，SCHEDULE Ver.2.0 マニュアル，2003.4.
- 9) 源城かほり，松本真一，長谷川兼一：寒冷地における集合住宅の冬期室内環境とエネルギー消費量に関する事例調査，日本建築学会技術報告集，第16巻，第34号，pp1015-1018，2010.10.

B-4

東北地域におけるハウスダスト中におけるマイクロプラスチックの実態調査

— 初動調査として —

○前川原悠 (秋田県立大学), 竹内仁哉 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),
松本真一 (秋田県立大学), イムウンス (東洋大学)

Field Measurement of Micro-Plastic included house dust on the Primary Investigation

Maekawara Haruka (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University),
Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University),
Eunsu Lim (Toyo University)

キーワード：マイクロプラスチック，実態調査， μ -FT-IR 分析

はじめに

全世界でプラスチック類の生産・消費が激増し、環境中に廃棄物として流出した一部のプラスチック類は、力学的・光化学的作用により崩壊・微細化され、ミリメートル (mm) からマイクロメートル (μm) スケール以下の粒子となる。現在、マイクロプラスチック (以降、MPs) による海洋汚染については多くの研究がなされているが、室内には MPs の発生源が多様に存在しているにも関わらず、室内環境中における MPs の有無や粒径などに関する調査は非常に限定的である。一方、人体の血液中から $1.6\mu\text{g}/\text{mL}$ の MPs が検出された報告例¹⁾もあるが、健康影響については現状エビデンスが少なく、不明な点が多い。

本研究では、室内環境中存在する MPs 粒子の実態把握に加え、サンプリングなどの調査法や定性・定量分析法の確立を最終目標としている。その初動調査として、秋田県内の単身世帯住宅におけるハウスダスト内の MPs を対象として、 μ -FT-IR 分析による MPs の成分同定により、ハウスダスト中の MPs の実態を明らかにするとともに発生源の特定を試みる。

1. MPs に関する文献調査

1.1 調査概要

室内環境中の MPs に関する国内外の先行研究の文献を対象として、室内環境中存在する MPs の実態や健康影響について整理した。

1.2 調査内容

屋外の大気中や室内の空气中、床面に存在する MPs を対象とした調査²⁾では、MPs が重力沈降の影響を受け、主に床面に蓄積される傾向が見られ

た。

健康な成人 20 名を対象として血中濃度内の MPs を測定した調査³⁾では、平均 $1.6\mu\text{g}/\text{mL}$ の MPs が検出された。 $1.6\mu\text{g}$ とは $125\sim 150\mu\text{m}$ くらいの粉末状の MPs の重量と同等であるが血中にはさらに微小な MPs が存在すると考えられる。呼吸によって体内に取り込まれる場合、肺に MPs が蓄積し肺炎を引き起こす可能性が指摘されている。

2. 室内 MPs の実態調査対象世帯の環境調査

2.1 調査概要

2021 年 11 月と 2022 年 6 月に秋田県内の単身世帯を対象として、対象住宅の基本属性 (建材の種類、換気方式など) や住まい方に関するアンケート調査を行い、MPs との関連性を調査した。

2.2 アンケート調査結果

表-1 に主な調査結果を示す。壁材にビニルクロスや紙クロス、床材にフローリングやカーペットが主に使用されている。暖房方式としてエアコン、電気こたつ、石油ストーブが主に使用されており、電気こたつなどの暖房器具とエアコンを併用する世帯もある。

電気こたつやカーペットにはプラスチック繊維が使用されており、MPs の発生源となり得る可能性が高く、各住宅の暖房方式や季節によって変化する衣類等から発生する室内の MPs の量が変動する可能性がある。現在、室内に存在している MPs の発生源の特定は難しいため、今回のアンケート調査の結果と実態調査の結果を照合し、日常生活に使われているものと MPs との関連性を明

らかにする必要がある。

3. ハウスダスト中のMPsの実態調査

3.1 実態調査

秋田県内の単身世帯において、2021年11月に9件、2022年6月に11件を対象に、ハウスダスト中に含まれるMPsの実態調査を実施した。季節により使用される衣類が変化することにより、MPsの発生量が変化すると予想されるため、異なる季節にハウスダストを収集した。

本調査では、室内環境中のMPsは重力沈降により床面のハウスダストに混在すると考え、家庭用掃除機を用いて床面から収集したハウスダスト内に含まれるMPsを調査対象とした³⁾。ハウスダストの回収方法として、未使用の集塵パックを掃除機に装着し、約2週間収集したハウスダストをアルミホイルで密閉した状態で回収した。

3.2 調査結果

写真-1、写真-2 にハウスダスト内の繊維状のMPs と粉末状のMPs を示す。ハウスダスト内には繊維状のMPs と粉末状のMPs がみられた。粉末状のMPs は単体の状態や繊維に付着した状態でみられた。粉末状のMPs は比較的小さなサイズで多くみられた。

図-1、図-2 に2021年、2022年の調査で収集したハウスダストを対象として、 μ -FT-IR分析により得られたハウスダスト内のMPsの割合を示す。2021年度(図-1)の結果をみると、全体でCelluloseが62.2%, Polymerが24.3%, Silkが1.1%, othersが14.9%, unknownが1.6%となった。2022年度の結果(図-2)では、全体でCelluloseが52.7%, Polymerが26.7%, Silkが5.8%, othersが14.9%, unknownが0%となった。MPsとなるCelluloseやPolymerは2021年と2022年合わせて79.4%、2021年は86.5%とハウスダスト内に多くのMPsが存在していた。

2021年度と2022年度のCelluloseを比較すると、2022年度の調査結果が10%ほど低い。2021年度と2022年度のPolymerの割合には、大きな差異がみられなかった。Celluloseは主に衣類に用いられており、2021年度(11月)にCelluloseの割合が高い理由として、冬服の着用量が増加していることが原因の一つと推察される。

表-1 実態調査対象の基本属性

ID	調査時期	構造	壁材	床材	暖房方式	
1	2021年11月 2022年6月	木造	ビニルクロス	フローリング カーペット	エアコン	
2	2021年11月 2022年6月	木造	紙クロス	フローリング	石油ストーブ エアコン	
3	2021年11月 2022年6月	木造	ビニルクロス	フローリング	石油ストーブ	
4	2021年11月	木造	紙クロス	フローリング カーペット	電気ストーブ エアコン	
5		木造	ビニルクロス	フローリング カーペット	電気カーペット 電気こたつ エアコン	
6		木造	ビニルクロス	フローリング	電気こたつ エアコン	
7		木造	ビニルクロス	フローリング	エアコン	
8		木造	ビニルクロス	フローリング	石油ストーブ 電気こたつ エアコン	
9		木造	紙クロス, ビニルクロス	フローリング	石油ストーブ エアコン	
10		2022年6月	木造	紙クロス	フローリング カーペット ござ	電気カーペット 電気こたつ エアコン
11			木造	ビニルクロス	フローリング	電気こたつ エアコン
12			木造	ビニルクロス	フローリング	電気ヒーター (パネル) エアコン
13	木造		紙クロス	フローリング カーペット	電気こたつ エアコン	
14	木造		ビニルクロス	フローリング コルク	電気ヒーター (パネル) 電気こたつ エアコン	
15	木造		ビニルクロス	フローリング カーペット	電気こたつ エアコン	
16	木造		ビニルクロス	フローリング カーペット	石油ストーブ 電気こたつ	
17	RC造		ビニルクロス	フローリング カーペット	エアコン	

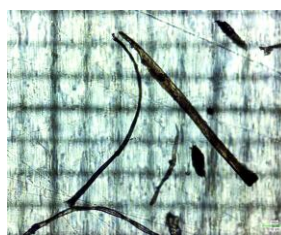


写真-1 繊維状のMPs

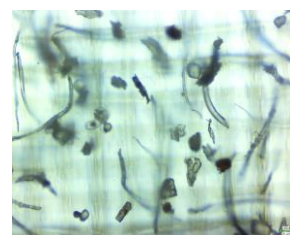


写真-2 粉末状のMPs

3.3 発生源の特定に向けた予備調査

自宅にある衣類をいくつかサンプリングし、成分分析を行い、ハウスダストから検出されたものと比較し、MPsの発生源の特定を試みた。

図-3に2021年11月に調査した調査対象住宅のハウスダスト内のMPsの成分割合(調査ID: 2)、写真-3にハウスダスト内で観察された赤色の繊維、表-2に自宅内の発生源候補となる衣類やタオル類から繊維を採取したリスト、図-4、図-5に発生源候補とハウスダスト内に含まれる繊維のスペクトルを示す。各繊維のスペクトルを比較すると、下着から採取した繊維とハウスダスト内の繊維が類似したスペクトルであったため、同一のものから生成されていると推察される。しかし、図-6に示すようにスペクトルの波形が全く異なる結果が多くみられ、発生源の特定に向けて候補に挙げたもの以外に発生源が存在するものと考えられる。以上より、検出されたスペクトルの波形の比較だけで発生源と断言するには根拠が乏しいため、今後は発生源とされる類や建材からどのようにしてマイクロプラスチックが発生しているか明らかにする必要もある。

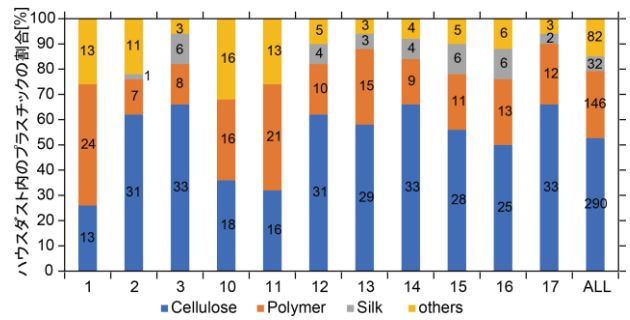
4. まとめ

今回の初動調査では、床面に蓄積されるハウスダストから主に衣類に使用されている Cellulose や Polymer などの MPs が検出された。床面のハウスダスト内には 5.6mm~45µm の大きさの MPs が含まれるが、体内に蓄積される危険性が高いとされるのはナノサイズのものや空气中を漂っている MPs である。ナノサイズや空气中 MPs を分析するには、これまでと異なる分析方法の確立が必須となる。

今後は、ハウスダスト内の MPs の実態調査を継続し、μ-FT-IR 分析の省力化や衣類や壁材、床材の発生源からどの程度の MPs が発生しているかについて明らかにすることを目指す。

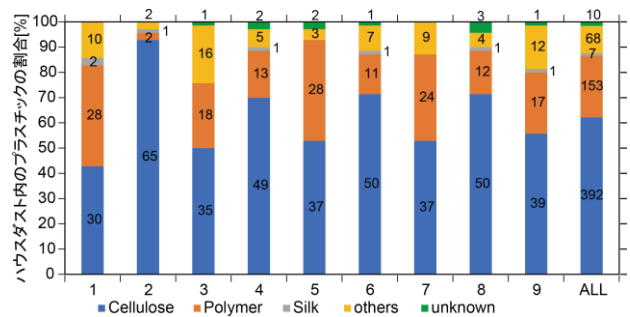
謝辞

本研究は、科学研究費補助金(課題番号: 21H04585)の助成を受けて実施している。μ-FT-IR 分析を実施するにあたり、秋田県立大学・伊藤一志准教授、秋田県産業技術センター・



※グラフ内の数字は検出されたサンプルの個数を示す。

図-1 ハウスダスト内のMPsの割合 (2021年11月調査)



※グラフ内の数字は検出されたサンプルの個数を示す。

図-2 ハウスダスト内のMPsの割合 (2022年6月調査)

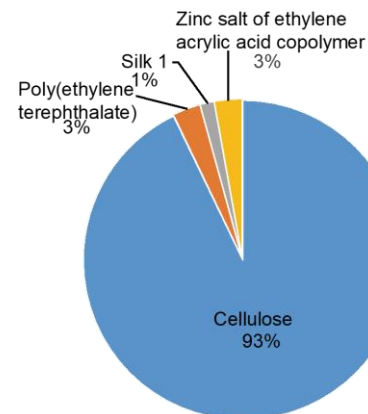


図-3 2021年の対象世帯のMPsの成分割合 (調査ID: 2)

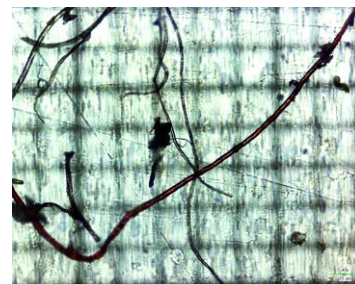


写真-3 ハウスダスト内で観察された繊維

阿部禎也研究員には多くの貴重なご助言，ご協力をいただきました。ここに記して，深甚なる謝意を表します。なお，本調査は秋田県立大学・研究倫理審査会の承認（承認番号：第 21-18 号）を得て実施している。

参考文献

- 1) Heather A. Leslie, Martin J. M. van Velzen, Sico H. Brandsma, DickVethaak, Juan J. Garcia-Vallejo, Marja H. Lamoree: Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood Environment International, 2022.
- 2) Rachid Dris, Johnny Gasperi , Cecile Mirande , Corinne Mandin , Mohamed Guerrouache, ValerieLanglois , Bruno Tassin: A first overview of textile fibers, including microplastics, in indoor and outdoor environments , Environmental Pollution 221, pp.453-458, 2021.12.
- 3) Eunsu Lim, Hirofumi Tanaka, Yuan Ni, Yifan Bai, Kazuhide Ito: Microplastics/ microfibers-in settled indoor house dust—exploratory case study for 10 residential houses in the Kanto area of Japan, JAPAN ARCHITECTURAL REVIEW, pp682-690, 2022.9, <https://doi.org/10.1002/2475-8876.12298>

表-2 発生源候補から繊維を採取したリスト

繊維を抜き取った物	繊維の色	繊維の成分
タオルケット	白, 水色	綿 (Cellulose)
ズボン	黒	
Tシャツ	白	
バスタオル	青	
ぬいぐるみ	緑, 赤	ポリエステル樹脂 (PET)
パーカー	白	
ジャケット	黒	
Yシャツ	白	
下着	赤	ポリプロピレン
マスク	白	

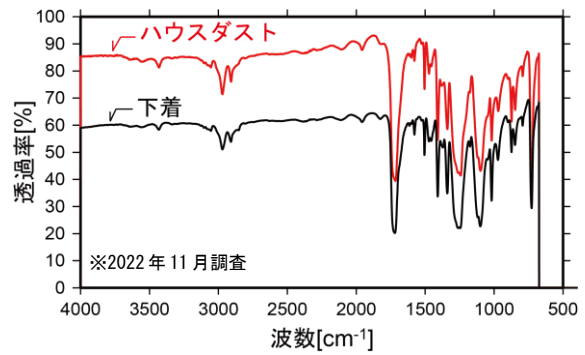


図-4 ハウスダストと下着のスペクトル

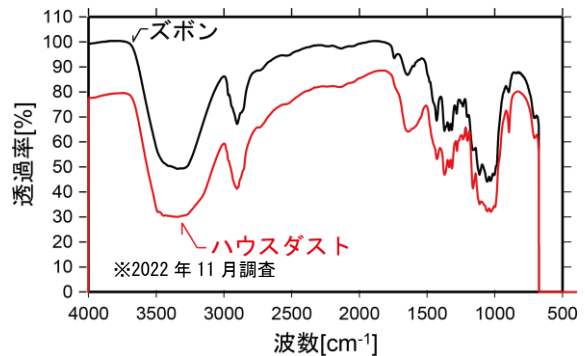


図-5 ハウスダストとズボンのスペクトル

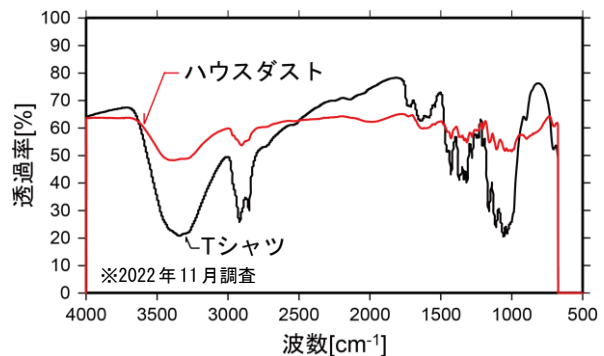


図-6 ハウスダストとTシャツのスペクトル

IFC を活用した給水システムの設計手法に関する提案

その1 給水システムの IFC データの構築

○劉瀛, 劉雨萌, 許雷 (東北工業大学)

Proposal for water supply system design using IFC Part 1 Construction of IFC data

Ying Liu, Yumeng Liu, Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード: BIM, IFC データ, 接続情報, システム構成

はじめに

BIM (建築情報のモデリング) の本質は建築情報の活用である。殆どの BIM ソフトは IFC (BIM の国際規格) への対応ができています。国内では、建築 BIM 加速化事業が始まり、基本設計・実施設計・施工の BIM モデル作成までが支援対象となっている¹⁾。BIM モデルの作成、IFC データの応用がより一層重要になると考える。

そこで、本研究では、給排水設備システムの IFC データの活用に着目し、設備モデルの構築、IFC データの応用策を提案する。本報では、BIM ソフトウェアを用いて、給排水設備システムのモデルの構築と IFC データの出力及びデータ利用方策を中心として紹介する。

1. 給排水設備モデルの構築

1.1 BIM ライブラリの利用

Revit2023 を用いて同梱「サンプル設備」ファイルを参照し、給排水設備システムを作成する。受水槽や増圧給水ユニットなど給水設備は RUG 設備 (MEP) ジェネリックファミリー^{注1)} を利用し、給水管の材質は塩化ビニルライニング鋼管を採用した。衛生器具は同梱設備ファミリーで構築し、給水負荷単位などが含まれている。

1.2 モデル構築の注意点

図-1 に示すように、給水設備と衛生器具が接続されれば、システムが自動的に作成される。「システム検査」の機能により、配管内水の流れ方向、流量及び器具給水負荷単位などが確認できる。設備や衛生器具の接続口が切断されると、切断警告が表示される。配管の流量計算、IFC データの出力にエラーが発生されるため、開口部にキャップを設置する必要がある。給排水設備モデルの一例

を図-2 に示す。衛生器具、給水管、排水管、及び通気管などで構成されている。

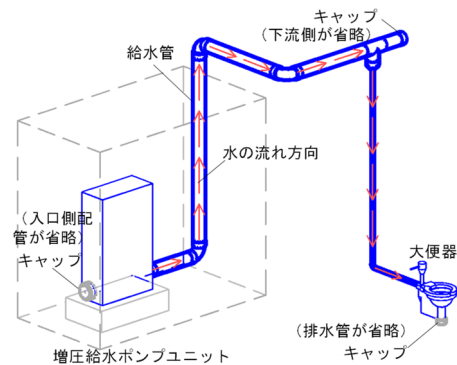


図-1 給水ポンプと衛生器具の接続

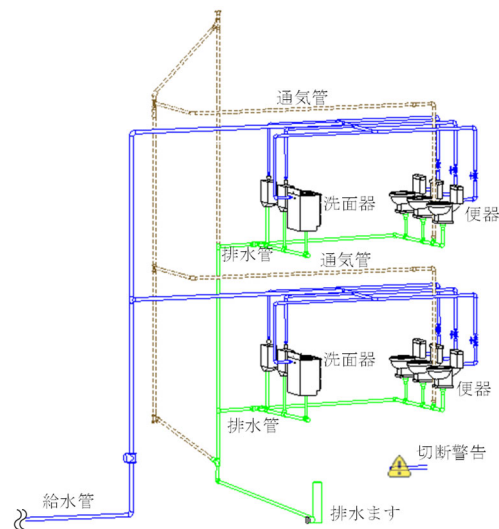


図-2 給排水設備モデルの一例

2. IFC タイプデータの出力

2.1 要素ごとに IFC タイプデータの出力

Revit2022までは、BIM Interoperability Tool (ACMR) を利用することで、個々の設備要素に個別のIFCクラスパラメータが設定できる¹⁾。Revit2023では、ビルトイン機能として、要素ごとにIFCタイプなどの出力が可能である。表-1に示すように増圧給水ポンプユニット (IfcPump) のタイプが“CIRCULATOR”と設定された。

表-1 増圧給水ポンプユニットのIFCタイプ

定義済み IFC タイプ	CIRCULATOR
書き出し IFC クラス	IfcPump
IFC に書き出し	タイプ別
IfcGUID	03hwCZYKD8Akg_t70viNK

2.2 IFC 書き出し設定

下記の IFC 書き出し設定オプションより、作成した給排水設備システムの性能を IFC データとして出力した。

- 1) IFC4 Design Transfer View のバージョン
- 2) Revit プロパティセット, IFC 共通プロパティセットと基本量

3. 給排水設備の IFC データと応用策

3.1 設備の IFC データ

設備モデルは給水・排水系統 (IfcSystem), 衛生器具 (IfcFlowTerminal), 受水槽 (IfcTank), 揚水ポンプ (IfcPump), 給水管 (IfcPipeSegment), 継手 (IfcPipeFitting) 及び仕切弁 (IfcValve) など設備要素で構成されている。

3.2 IFC データの応用

設備要素以外、設備要素の出入口にポート (IfcDistributionPort) が定義されている。ポートの属性が“SOURCE”の場合、流出を意味する。“SINK”の場合は流入である。出力された IFC ファイルに IfcRelNests, IfcRelConnectsPorts など接続関係の IFC クラスを通して、給水管の始点ポンプ (または水槽) から下流側の継手を検索できる³⁾。

図-3 に示すように、継手と接続するポートの属性が“SOURCE”の場合、下流側末端の衛生器具 (例えば、器具1) まで検索し、該当器具の給水負荷単位数は接続された配管 (⑤) の負荷単位となる。チーズ2などの継手に2以上の“SOURCE”ポートと接続しているため、それぞれの分岐配管 (④と⑦) の負荷単位を取得してから、上流側配管 (③) の負荷が計算できる。プログラミングの

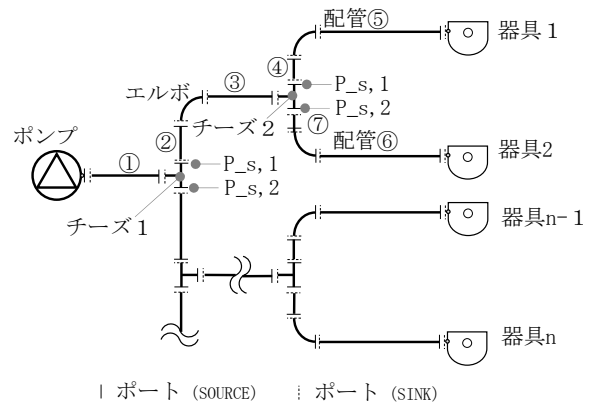


図-3 給水管・継手と衛生器具の接続

再帰処理を行い、配管の接続手順・各配管の給水負荷単位数を取得できる。第2報では、IFC データ解析の結果に基づいて、給水管の流量・管径の設計方法を報告する。

設備の接続口が切断 (未接続) される場合、ポート属性が“SINKANDSOURCE”となり、配管接続情報の解析ができなくなる。

まとめ

本研究では、Revit を用いて、給排水設備モデルの構築を説明した。BIM ツールの「システムチェック」機能を利用し、設備と配管の接続を検査できる。そして、出力される IFC データの正確性を確保できる。さらに、接続関係の IFC クラスを解析することで、配管の始点から下流側へ配管や設備と継手の接続手順・各配管の給水負荷単位数を取得し、配管設計に応用できる。

注 記

注 1) Revit ユーザグループが作成した設備ファミリで、下記 URL にてダウンロードできる。
<https://bim-design.com/rug/library/>

参考文献

- 1) 国土交通省：建築 B I M 加速化事業の概要, <https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001574566.pdf> (参照日 2023/2/2)
- 2) 許 雷, シャフ 愉季：BIM 技術を用いた空調配管システムの設計に関する研究-配管システムの構築及び IFC データの確認, 日本建築学会大会学術講演梗概 2022, p. 2347-2348
- 3) 劉 雨萌, 許 雷：IFC データによる給排水設備システムの情報解析, 空気調和・衛生工学会 論文集 No. 298, p. 17-23

B-6

IFC を活用した給水システムの設計手法に関する提案

その2 配管サイズおよびポンプ揚程の設計

○劉 雨萌 (東北工業大学), 劉瀛 (東北工業大学), 許雷 (東北工業大学)

Proposal for a design methodology for water supply system with IFC

Yumeng Liu, Ying Liu, Lei Xu (Tohoku Institute of Technology)

キーワード: IFC データ, 器具給水負荷単位, 流量, 配管サイズ, ポンプ揚程

はじめに

本研究では, BIM ソフトウェア¹⁾ で出力された給水設備の IFC データを対象として設備の情報を取得し, 前報に続き, IFC4 の仕様書¹⁾ に基づいて, 給水管配管サイズとポンプ揚程の設計に着目して説明する。

1. IFC を用いた給水管の設計手法

1.1 設計手順

配管サイズの設計手順は基本的に図-1 に示すようになる。

(1) 器具負荷単位数の取得

器具給水負荷単位の表を基に Revit で器具給水負荷単位数²⁾ を設定し, 出力された IFC データから, 前報で紹介された器具給水負荷単位の取得方法より各区間の器具給水負荷単位を算出する。

(2) 流量の計算

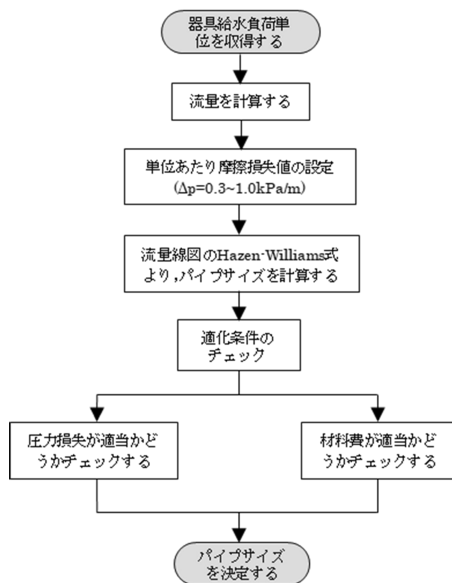


図-1 配管設計手順

SHASE-206 規格に規定されている「器具給水負荷単位による方法」を用いて, 図-2 より同時使用流量³⁾ (瞬時最大流量) を求める。ここでは, プログラムに同時使用流量の似合計算式を入力して算出する。

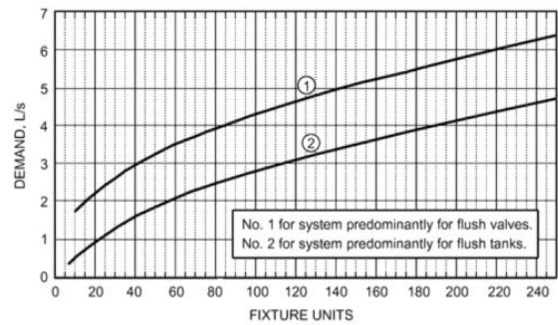
(3) 配管サイズの計算

流量線図よりプログラミングを用いて, 配管サイズを計算する。

(4) 適化条件によって配管サイズの決定

流速・総圧力損失値・総材料費⁵⁾ によって, 最適な配管サイズを選択する。

1.2 配管サイズ設計手順の各プロセスにおける要



曲線①: 洗浄弁の多い場合、曲線②: 洗浄タンクの多い場合に用いる

図-2 給水用器具給水負荷単位による同時使用流量

点

(1) 配管流量の計算

決定しようとする区間を流れる瞬時最大流量を算出し, 硬質ビニルライニング鋼管流量線図³⁾ より決定する。

(2) 管径の計算

ヘーゼン・ウィリアムスの式 (1) より計算する⁴⁾。

$$Q = 4.87C \cdot d^{2.63} \cdot i^{0.54} \times 10^3 \quad (1)$$

ここに、

Q : 給水量[L/min]

C : 流量係数(硬質塩化ビニル管の $C=130$)

i : 単位長さ当たりの圧力損失[kPa/m]

i の値は 0.3, 0.4, 0.5…1.0kPa/m までに変化させて、配管の管径を計算する。

(3) K 係数の取值

使用管材及び必要な管継手・弁類等の K 係数に関しては、硬質ビニルライニング鋼管を使って、継手・弁類の K 係数は ASHRAE の取值を参考する。しかし、ASHRAE の中で、径違いソケットの K 係数値の記載が足りないため径違いソケットの接続口径が 80mm 以下の場合、 K は 0.53 を採用する。

また、継手・弁類などの局部圧力損失の計算には ASHRAE の計算方法に参照する。下記の計算式 (2) を使う。

$$p = K\rho(v^2/2) \quad (2)$$

ここに、

p : 局部損失 (空調便覧を参考) [Pa]

K : 局部損失係数

ρ : 水の密度 (=1000 kg/m³)

v : 流速 (m/s)

(4) 管径の決定と流体許容流速のチェック

管径の決定については総圧力損失と直管の材料費²⁾によって決定する。ここでは、 $i-P$ (総圧力損失=配管摩擦損失+局部損失+水利的最も不利な給水器具の静水圧+水利的最も不利な給水器具の必要圧力損失)曲線図と $i-Y$ (総材料費)曲線図を作って、二つの曲線の交差点の取值を最適化点として管径を決定する。

流体許容流速のチェックに関しては、一般には配管内の流速は流体の種類によって許容範囲が決まるため推奨値を守ることが望ましい⁶⁾。本研究では、管内流速を 2.0m/s 以下に設定した。

2. Revit より給水管の設計

本研究で得られた結果を Revit と比較・検討し、配管システムの設計における最適なアプローチと対策を提案する必要がある。下記に Revit による自動計算に関する要点を紹介する。

Revit には自動で算出された流量要件に従って、配管サイズを自動算出する機能がある。図-3 に示すような設計手順に従う。

(1) ダクト/配管サイズ設定を行う

自動算出するに当たり、[修正 | 配管]タブ、解析パネルから (ダクト | 配管サイズ設定) を選択する。

(2) サイズ設定方法を設定する

サイズ設定方法には等速法と全圧法の二つの方法があり、いずれか又は両方の設定方法を選択して数値を設定する必要がある。本研究では、全圧法を採用する。単位長さ当たりの圧力損失 i の値

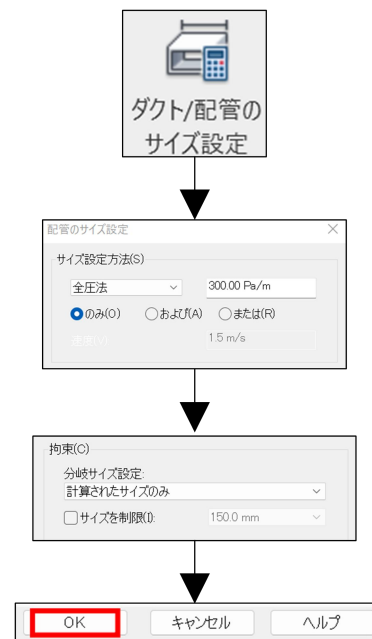


図-3 Revit による配管設計手順

を 0.3, 0.4, 0.5…1.0kPa/m のように設定する。

(3) 拘束 (分岐サイズ設定) を設定する

拘束については、計算されたサイズのみ、コネクタサイズを合わせる又はコネクタと計算値の内大きい方のいずれかを選択できる。ここでは、計算されたサイズのみとして配管サイズを計算する。

3. ケーススタディ

3.1 給水システムの概要

図-4 に示すように、BIM ツール Revit2023 を使用して、地上 3 階の建物において給水設備システムの設計図を作成する。給水システムでは大便器 (洗浄弁)、小便器 (洗浄弁)、洗面器、高架水槽、立形揚水ポンプなどが配置されている。高架水槽方式を採用し、配水管から引き込み、受水槽に貯めてから、揚水ポンプで押水し、以降は重力によって建物内の必要な箇所に給水する。

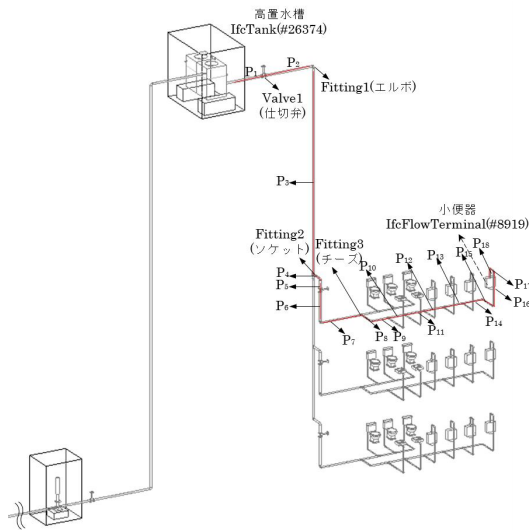


図-4 モデル図の3D図面

3.3 計算結果

高置水槽 IfcTank(#26374)から小便器 IfcFlow-Terminal (#8919)までの配管ルート为例として、プログラミングによる自動計算方法と Revit による自動計算方法を使って、各単位長さ当たりの圧力損失の値より求めた総圧力損失と総材料費をまとめて、図-5、図-6 に示している $i \cdot P$ (総圧力損失=配管圧力損失+局部圧力損失+静水圧+器具必要圧力損失)と $i \cdot Y$ (総材料費) 曲線図を作る。曲線交差点の単位長さ当たりの圧力損失 i は 0.39kPa/m と 0.32kPa/m となる。そこで、プログラミングによる自動計算方法に対して、単位長さ当たりの圧力損失 i が 0.39kPa/m である時に、配管サイズを設計するのが最適である。同様に Revit の自動計算に対して、単位長さ当たりの圧力損失 i は 0.32kPa/m である時に、配管サイズを設計するのが最適である。

単位長さ当たりの圧力損失 i は 0.39kPa/m となる時に、プログラミングによる自動計算方法より求めた一部の配管サイズ・給水負荷単位数・流量・摩擦損失・流速・直管長さは表-1 に示すようになる。

曲線交差点の単位長さ当たりの圧力損失 i は 0.32kPa/m となる時に、Revit の自動計算により求めた一部の配管サイズ・給水負荷単位数・流量・摩擦損失・流速・直管長さは表-2 に示すようになる。

また、配管圧力損失、継手・弁類などの局部圧

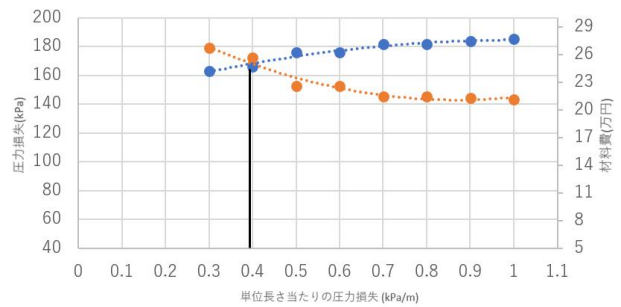


図-5 提案の設計結果

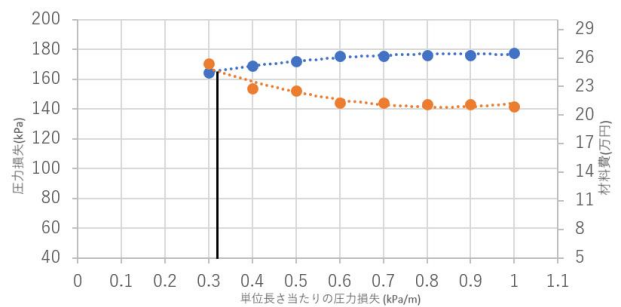


図-6 Revit での設計結果

力損失を表-3 にまとめる。

給水配管設計についてプログラミングの自動計算結果と Revit の自動計算結果を比較すると、表-1 に示すように配管 8 と配管 9 において Revit の計算結果 50A より大きいサイズ 65A となる。配管 15、配管 16、配管 17 及び配管 18 において Revit の計算結果 40A より大きいサイズ 50A となる。他の配管サイズは全部同じである。配管内の水流流速・直管圧力損失も Revit の計算結果より小さい値となる。Fitting2 (ソケット) の局部圧力損失は Revit より大きい値となった。Revit でチーズの局部圧力損失が計算されていないとわかった。

また、表-5 に示すように、Revit の計算結果より総圧力損失が小さく、差値が 157Pa となった。総材料費については、表-4 の配管材料価格表に参照して計算する。Revit の計算結果より大きい値 260627 円である。差値が 10029 円となった。

以上によって、Revit は配管サイズの自動設計を迅速に実現し、配管の接続状態を迅速に検査することができるが、配管サイズの設計では等速法・全圧法・等速法及び全圧法 3 つの方法を提供するだけで、実際の配管材料のコストや圧力損失の最適化を考慮していないため、適切な配管サイズを選択するためには、Revit から出力される IFC データを活用して配管コストと配管の総圧

表-1 提案の計算結果 (i=0.39kPa/m)

NO.	給水負荷 単位	流量 (L/min)	実際の摩擦損失 (Pa/m)	流速 (m/s)	サイズ (A)	直管長さ (m)
P8	24	145	0.11	0.73	65	0.77
P9	24	145	0.11	0.73	65	0.72
P14	5	82	0.136	0.69	50	0.86
P15	5	82	0.136	0.69	50	0.91
P16	5	82	0.136	0.69	50	1.65
P17	5	82	0.136	0.69	50	0.18
P18	5	82	0.136	0.69	50	0.20

表-2 Revit の計算結果 (i=0.32kPa/m)

NO.	給水負荷 単位	流量 (L/min)	実際の摩擦損失 (Pa/m)	流速 (m/s)	サイズ (A)	直管長さ (m)
P8	24	142	0.30	1.21	50	0.77
P9	24	142	0.30	1.21	50	0.72
P14	5	57	0.204	0.81	40	0.86
P15	5	57	0.204	0.81	40	0.91
P16	5	57	0.204	0.81	40	1.65
P17	5	57	0.204	0.81	40	0.18
P18	5	57	0.204	0.81	40	0.20

表-3 直管圧力損失・継手などの局部圧力損失

Name. (提案)	圧力損失(Pa)	Name. (Revit)	圧力損失(Pa)
Pipe8	87	Pipe8	216
Pipe 9	83	Pipe 9	227
Pipe14	120	Pipe 14	176
Pipe15	125	Pipe 15	185
Pipe16	224	Pipe 16	335
Pipe17	25	Pipe 17	38
Pipe18	28	Pipe 18	41
Valve1	80	Valve1	85
Fitting1	455	Fitting1	484
Fitting2	244	Fitting2	89
Fitting3	472	Fitting3	計算されてない

表-4 配管材料価格表⁴⁾

水道用硬質塩化ビニルライニング鋼管 / 長さ 1.0 m 品は
JWWA K 116 規格品

サイズ	定価	
	VA	
	ネジ無	ネジ付
40mm	4902.5	6330
50mm	6680	8412.5
65mm	9402.5	11527.5
80mm	11055	13405

表-5 総圧力損失・総材料費

	プログラミングより (i=0.39kPa/m)	Revitより (i=0.32kPa/m)
総圧力損失	94692Pa	94849Pa
総材料費	260627 円	250598 円

力損失を計算することが必要になると考える。

今後、設定条件に材料費も追加できるようになれば、コストの予算化や最適なコストの選択が素

早く行えるようになると思う。

4. ポンプ揚程の設計

揚水ポンプの全揚程の算定式²⁾ を使って求める計算結果は表-6 にまとめる。

まとめ

建築設備分野において、BIM 応用の重点は建築設備情報の把握である。そのために、国際的に

表-6 ポンプ揚程

	値
H ₁ (実揚程)	19m
P ₁ (圧力損失)	15.2kPa
P ₂ (局部圧力損失)	9.74kPa
H ₂ (相当する高さ)	(P ₁ +P ₂)/ρg=4.06m
V ² /2g(速度水頭)	0.14m
H	H ₁ +H ₂ + V ² /2g =23.2m

採用されている IFC データを活用することが重要なポイントとなる。

本論文では、IFC4 仕様に基づき、給水システムの IFC データを活用し、Python を用いてプログラミングにより給水管サイズの設計手順と手法を説明した。また、本研究で提案した自動計算の結果と Revit による自動計算の結果を比較した。最後は、ポンプ揚程を計算した。

今回は、配管コストを考慮して給水管の管径を設計したが、今後は、継手コスト・配管の施工費用なども入れる。また、IFC データを活用し、空調設備に関する配管サイズを設計する冷媒管・冷熱水管を設計すると考えている。

参考文献

- 1) buildingSMART International: Industry Foundation Classes 4.0.2.1 (Version4.0-Addendum2-TechnicalCorrigendum1), < https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/ > (参考年月日 2023 年 2 月 1 日)
- 2) 大塚雅之：初学者の建築講座建築設備 第四版，(2020)，pp.59～65，市ヶ谷出版社
- 3) 空気調和・衛生工学会：給排水衛生設備計画設計の実務の知識 第四版，(2017-3)，pp.57～74
- 4) ASHRAE：ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS (2009)，pp.22.1～22.10
- 5) キーロン設計積算価格表，(2022 年 4 月版)，pp.3，<<https://www.kyosei.com/>> (参考年月日 2023 年 2 月 1 日)
- 6) 安藤紀雄：空調設備配管設計・施工の事務技術 第二版，(1994-4)，pp.27～29，理工図書株式会社

B-7

BIM 技術を活用した電気設計に関する研究

その1 電気設備システムの構築と IFC データの作成

○山村尚生, 太田恭輔, 許雷 (東北工業大学)

Electrical system using BIM software Part 1 Construction of the system

Yamamura Naoki, Ota Kyosuke, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード：電気設備, 照度計算, BIM, IFC

はじめに

現在建築業界では BIM と IFC が普及している。しかし、設備分野での研究、特に電気設備分野での研究データがあまり見られない。そのため BIM データの連携において IFC データによる照度の計算及び電気設備システムの構成について考えた。

本研究では、建築設備における IFC データの活用に着目し、Autodesk 社が開発した BIM ソフト Revit を使用して電気設備設計に関する研究を行う。

1. BIM による設備設計の流れ

Revit で建物モデルを作成し、電気設備を配置、電気設備システムの作成を行う。設備を配置する際 RUGJPN_MEP_Template2023 ファイルを使用する。RUG とは Revit User Group の略称であり、建設業界において、Revit を中心とした BIM を実務的に活用できるような活動を行い、その普及と展開を務める団体のことである。

2. ケーススタディ

2.1 研究概要

Revit2023 を使用し、建物モデルの作成及び電気設備を配置、電気設備システムの作成を行う。対象は東北工業大学 5 号館地下二階の研究室・教員室・廊下の計 7 室とする。今回使用する電気設備は、配電盤(標準)、分電盤(標準)、20401_SS1_ベースライト形_直付天井灯 LDS2-LSS1-6500LM, 3 連動スイッチ, 6 連動スイッチ, 壁埋め込みプラグソケット(タイプ 1)とする。設備機器の属性はタイププロパティから確認することが出来、表 - 1 に一部分示した。

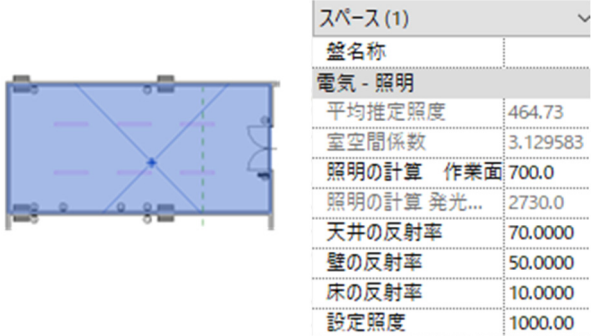
電圧は 100V, 200V とし、配電システムを単相 3 線式 100/200V に編集する。

[解析]タブよりスペースを作成することで部屋

表 - 1 直付天井灯 LDS2-LSS1-6500LM 属性

型番	LDS2-LSS1-6500LM
定格消費電力	50W
負荷分類	照明
定格光束	6500lm
皮相負荷	55W

内部の情報を設定することが出来る。スペースを選択し、[プロパティ]から照度計算に必要な作業面高さ、反射率などを設定する (図 - 1)。



スペース (1)	
壁名称	
電気 - 照明	
平均推定照度	464.73
室空間係数	3.129583
照明の計算 作業面	700.0
照明の計算 発光...	2730.0
天井の反射率	70.0000
壁の反射率	50.0000
床の反射率	10.0000
設定照度	1000.00

図 - 1 部屋の反射率などの設定

2.2 BIM ソフトを用いてシステムの作成

電気設備システムはシステムに加えたい電気設備を選択し、[電力]という項目を選択することで作成される。作成したシステムを選択し、上部の [パネルを選択] から分電盤を選択すると分電盤に接続されたシステムが作られ、図 - 2 のように表示される¹⁾。

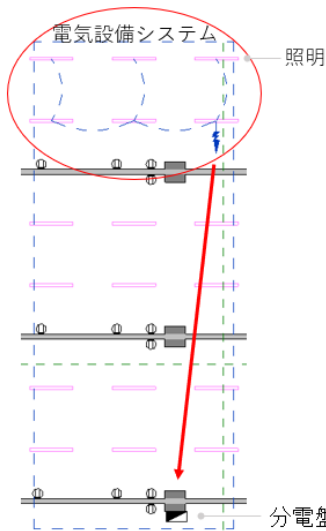


図 - 2 回路と分電盤の接続

3. 照度の比較

3.1 Revit による照度結果

Revit では電気設備システムの作成をすると照度計算書が自動で作成される。[プロジェクトブラウザ]より[集計表]を選択し、表示された[照度計算書]を表 - 2 に示す。

表 - 2 照度計算書

室名	面積 m ²	作業面 高さ m	照明高 さ m	光源との 距離 m	反射率			照度
					床	壁	天井	
教員室	48	0.7	2.73	2.03	10	50	70	465
廊下	57.6	0.76	2.73	1.97	10	50	70	609

3.2 自動計算と手動計による照度の比較

教員室における自動計算と手動計算から照度の比較を行う。使用するベースライト形 直付天井灯 LDS2 LSS1 6500lm についてタイププロパティから確認をする。フォトメトリックの欄から保守率 0.81, 光束 6500lm である (図 - 3)。

フォトメトリック	
カラー フィルタ	RGB 255-128-128
フォトメトリック Web ファイル	LDS2-LSS1-6500LM.ies
保守率	0.81
傾斜角	90.00
初期の色	5000
初期強度	6500.00
線分の長さによって放射	1260.0
調光ランプの色温度変化。	<なし>
光源設定(ファミリ)	線分+フォトメトリック ウェブ

図 - 3 フォトメトリック

照明率を算定していく。今回使用したベースライト形 直付天井灯 LDS2 LSS1 6500lm の表 - 3 から反射率と室指数を読み取り照明率を算定する。室指数の計算は以下の式(1)で行う。

表-3 LED 器具固有照明率 ²⁾

反射率 [%]	天井	70		
	壁	70	50	30
室指数	床	10		
0.6	J	0.5	0.39	0.32
0.8	I	0.59	0.48	0.41
1	H	0.67	0.57	0.49
1.25	G	0.73	0.63	0.56
1.5	F	0.77	0.68	0.61
2	E	0.83	0.78	0.69

$$K = \frac{X \cdot Y}{H(X+Y)} \quad (1)$$

ここに

K:室指数 X:幅

Y:奥行 H:高さ

結果, 室指数は1.5となり,表から照明率は0.68

ということを読み取ることが出来た。これらの値を用いて平均照度を計算する。式については式(2)を使う。

$$E = \frac{F \cdot N \cdot U \cdot M}{A} \quad (2)$$

ここに

E:平均照度, F:ランプ光束,

N:ランプ数 U:照明率

M:保守率 A:床面積

式に先ほどの値を代入していくと 448lx ということが分かる。Revit での自動計算の値は 465lx であり,手動計算との差が僅か 17lx と確認した。

まとめ

Revit で自動作成された照度と手動計算による照度比較を行った。誤差は 17lx と小さいため実用的だと考える。

今後は Revit プラグインソフトを使って照明の自動配置, 及び照度計算の誤差の比較, 配線の太さ, 電気設備容量等の自動計算から求め実用性, 高品質な効率性について考えていく。

参考文献

- 1) 高取 昭浩 : MEP ことはじめ電気, <http://www.revitpeeler.com/2019/06/mep.html>
- 2) 2016 年度 LED 器具固有照明率 : (<https://www.jlma.or.jp/hyotei/koukyou/pdf/2016LEDkiguKoyuShomeiritu.pdf>)

BIM 技術を活用した電気設計に関する研究

その2 IFC データによる設備システムの情報解析

○太田 恭輔, 山村 尚生, 許雷 (東北工業大学)

Electrical system using BIM software

Part 2 Information analysis of the exported IFC data

Ota Kyosuke, Yamamura Naoki, Xu Lei (Tohoku Institute of Technology)

キーワード : BIM, 電気設備, IFC

はじめに

前報に続き, BIM 技術を活用した電気設計に関する研究を進める。作成したモデルの IFC データを出力し, そのデータを対象として電気設備の BIM 情報を解析する。

1. 電気設備要素の IFC 定義

1.1 IFC データ出力

Revit で電気設備を IFC データで出力するにはそれぞれ設定が必要であり, 図-1 にコンセントの出力方法を示す。プロパティの IFC パラメータから名前を付けて IFC に書き出しを選択する。出力したいコンセントの IFC データを選択し, POWEROUTLET にチェックをつけることで出力が可能になる。

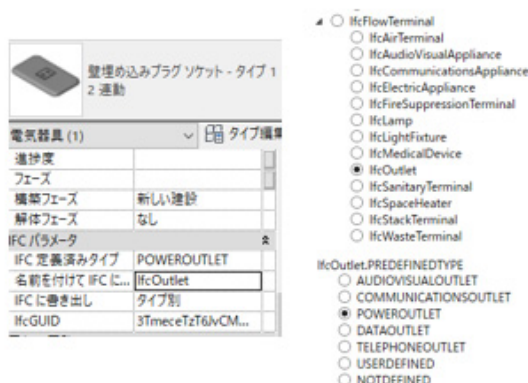


図-1 電気設備 IFC データ出力設定

1.2 電気設備の IFC データ

今回のモデルで配置した電気設備を表-1 にまとめる。建築要素と同様に, 設備要素の属性データは IfcPropertySet クラスで定義している。

表-1 使用する電気設備要素の IFC データ一覧

クラスの例	設備例
IfcSwitchingDevice	スイッチ
IfcElectricDistributionBoard	配電盤, 分電盤
IfcOutlet	コンセント
IfcLightFixture	蛍光灯
IfcCableSegment	配線
IfcCableCarrierFitting	ケーブルラック
IfcCableCarrierFitting	電気配管継手

2. 電気設備システムの IFC データの構成

2.1 電気設備系統のデータ構成

電気設備系統のデータ構成を図-2 に示す。グループ要素 IfcRelAssignsToGroup (#44587) で定義されており, 一室ごとにグループ化されている。システムの Name 属性は“電気”, Predefined タイプが“ELECTRICAL”であるため電気設備系統だと確認した。また, RelatedObjects 属性から分電盤 IfcBuildingElementProxy (#29282), 蛍光灯 IfcLightFixture (#36762) の構成要素を計 7 個確認した。

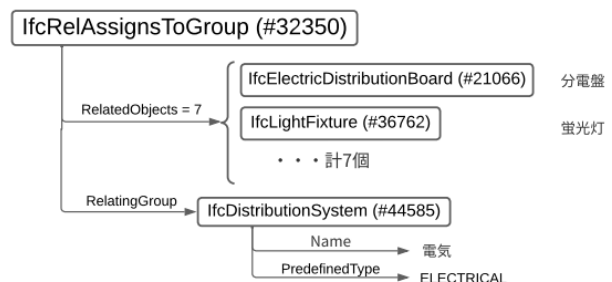


図-2 電気設備システムの IFC データ構成

2.2 設備要素の IFC データ

光源（蛍光灯）は `IfcLightFixture` で定義されており、図-3 に蛍光灯の一例を示す。`IfcLightFixture` (#19463) の `Name` 属性は“20401_SS1_ベースライト形_直付天井灯:LDS2-LSS1-6500LM:37140590”、`ObjectType` 属性は“20401_SS1_ベースライト形_直付天井灯:LDS2-LSS1-6500LM”であることを確認した。

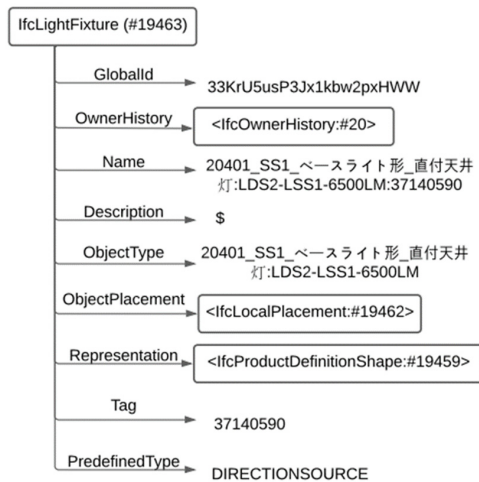


図-3 IfcLightFixture の定義

2.3 電気設備属性とプロパティセット (Pset)

`IfcRelationship` は関係付けを定義するクラスで、設備要素の `Inverse` 属性から設備属性を確認できる。一般的には、`IfcRelationship` の下位クラスである `IfcRelDefines` で具体的な属性を定義している。

図-4 は `IfcLightFixture`(#19463)で定義した蛍光灯の Psets の一例である。`IfcLightFixture` の `INV: IsTypedBy` から `IfcRelDefinesByType`(#23288)を確認することができる。そして、`RelatingType`属性の `IfcLightFixtureType`(#19456)より、`HasPropertySets` にプロパティセット(`IfcPropertySet`)が 15 個あり、それぞれに属性が定義されている。また、ケーススタディで作成したモデルには蛍光灯が計 48 個あることが確認できる。

`IfcPropertySet`(#19610)フォトメトリックには光度や合計保守率、照度などの情報が計 16 個入っており、図-5 に一例を示す。それぞれ `Name` と `NominalValue` のデータがあり、名前と数値を確認できる。

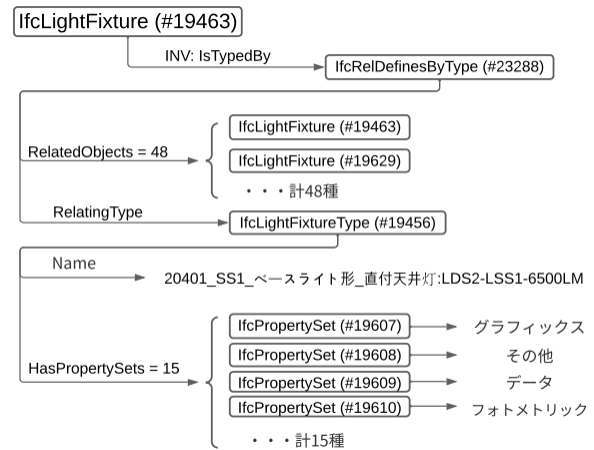


図-4 蛍光灯の Pset

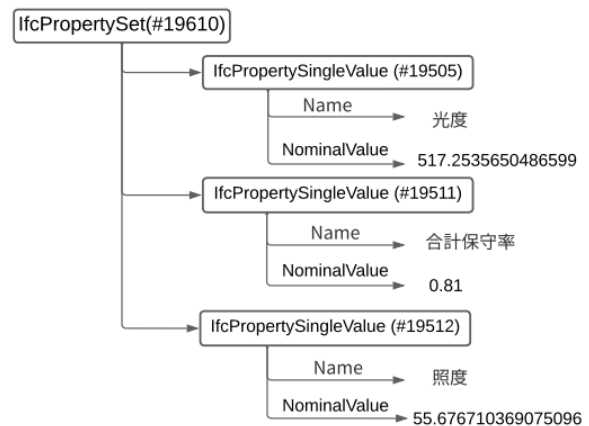


図-5 フォトメトリック Pset の一例

まとめ

本報では、電気設備システムの IFC データの設定と出力方法について確認した。また、IFC4 の仕様書に基づいて、電気設備システムの構成確認、照明器具の光度や照度などの Pset 属性について確認した。今後では、IFC データを活用して電気設備設計に役立てたいと考えている。

参考文献

- 1) buildingSMARTJapan :IFC とは,<https://www.building-smart.or.jp/ifc/whatsifc/> (閲覧日 2023 年 1 月 20 日)
- 2) Dion Moults Blog: Using IfcOpenShell to parse IFC files with Python,<https://thinkmoult.com/using-ifcopenshell-parse-ifc-files-python.html>, 閲覧日 2022 年 12 月 23 日

B-9

VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用

(その9) 需給調整による省エネルギー性の評価

○ 猪俣 海斗(北海道大学), 赤井 仁志(東北文化学園大学),
宮川 卓, 岩田 勝太郎(北海道大学), 天野 雄一郎(四国電力(株)), 藤井 良平((株)四国総合研究所)

Utilization of central hot water supply system including hot water storage as VPP resources

(Part 9) Evaluation of energy conservation by adjusting supply and demand

Inomata Kaito (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Tohoku Bunka Gakuen University),

Miyagawa Suguru, Iwata Shotaro (Hokkaido University),

Amano Yuichiro (Shikoku Electric Power),

Fujii Ryohei (Shikoku Research Institute)

キーワード：再生可能エネルギー VPP 給湯 貯湯 ヒートポンプ 入浴施設

はじめに

現在再生可能エネルギー由来の電力は増加傾向にある。再生可能エネルギー由来の電力は供給量が不安定であることから、需要と供給の不一致が生じている。石炭火力発電所の休停止の影響もあり、電源の出力制御や電力不足に陥る可能性がある。需要と供給の不一致を防止するため、電力の需給バランス調整を行う仕組みである Demand Response(以下 DR と記す)を行うことが有効であると考えられる。本研究では VPP (Virtual Power Plant, 仮想発電所) に給湯システムを組み込み、給湯システムを遠隔操作できると仮定し、DR を行うことによる省エネルギー性の評価を行う。

1. 調査方法

1.1 調査対象施設概要

徳島県に実在する日帰り温浴施設を対象に、DR シミュレーションを行う。本調査対象施設のシステムの簡略図を図-1 に示す。施設の給湯システムには空気熱源ヒートポンプ給湯機が 6 台 (1 台当たりの定格加熱能力 35 kW)、熱交換器 (交換熱量 210 kW)、貯湯槽 (貯湯容量 44,800 L) がある。営業時間は 8:00~22:00 で、火曜日が定休日である。

1.2 シミュレーションモデルの構築

実測データを解析し、実際の運転状況に近い給湯のシミュレーションモデルを作成する。シミュレーションモデルとして、ヒートポンプ給湯機モデル、熱交換器モデルの 2 つを作成する。

給湯機モデルは LCEM ツール¹⁾を参考に構築した。LCEM ツールが対象としているのは空調システムであるため、給湯システムにそのまま適用することができない。そこで、LCEM ツールの多項式の構築方法を参考にし、本研究で用いる実測データを参考にし、給湯機の効率を精度よく再現する多項式を作成した。以下の式(1)から式(4)に COP の推定式を示す。a₁~a₈ の係数は給湯運転、保温運転でそれぞれ実測データと比較し、二乗誤差が最も小さくなる組み合わせを求めた。

$$COP = f_1(q) \times f_2(T_{out}) \times f_3(T_o) \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

$$f_1(q) = a_1 \times q^3 + a_2 \times q^2 + a_3 \times q + a_4 \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

$$f_2(T_{out}) = 1 - a_5 \times (T_{out} - 55) \dots \dots \dots \text{式(3)}$$

$$f_3(T_o) = a_6 \times T_o^2 + a_7 \times T_o + a_8 \dots \dots \dots \text{式(4)}$$

ただし q: 負荷率[-]

T_{out}: 給湯機出口温度[°C]

T_o: 外気温度[°C]

a₁~a₈: 機器固有の特性を表す係数[-]

次に熱交換器モデルだが、熱交換器に関する基礎式により算出した。熱交換器の伝熱に関する基礎式を式(5)、式(6)に示す。熱交換器出入口温度、給湯機流量の実測データを基に、熱交換器の特性を表す伝熱係数 KA を求めた結果、31.596[W/K] と算出された。計算上は給湯機の加熱能力が熱交換器での交換熱量に一致するものとし、貯湯槽側流量は給湯運転時には出湯温度設定により変流量、保温運転時には 4,500[L/h] で一定とした。貯湯槽側入口温度は給湯運転時には上水温度、保温運転時には貯湯槽温度になるものとし、交換熱量、流

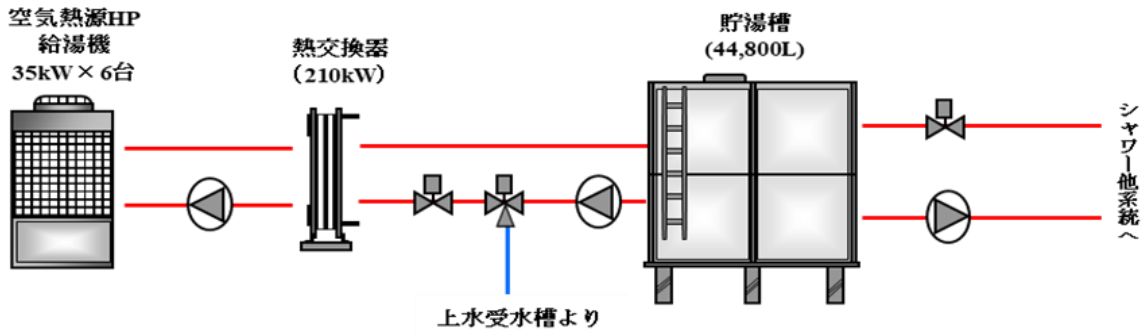


図-1 調査対象施設概要図

表-1 DR 対応判定基準

	運転状態	貯湯槽内湯温	貯湯槽内残湯量
上げ DR	通常運転では DR の時間帯で運転停止を 80%以上 DR を想定した運転で DR の時間帯で給湯運転を 80%以上	基本的に 60℃以上 最低でも 55℃以上	湯切れを生じないこと
下げ DR	通常運転では DR の時間帯で給湯運転を 80%以上 DR を想定した運転で DR の時間帯で運転停止を 80%以上		

表-2 上げ DR 運転スケジュール

		給湯運転			保温運転	
		開始水量 [L]	終了水量 [L]	出湯温度 [℃]	開始水温 [℃]	終了水温 [℃]
通常時	前日 22:00 ～当日 4:00	44,800 (100%)	44,800 (100%)	22:00～ 8:00 : 70℃ その他 : 65℃	60	63
	4:00～8:00	40,320 (90%)	44,800 (100%)			
	8:00～10:00 14:00～ 22:00	17,920 (40%)	35,840 (80%)			
	10:00～ 14:00	13,440 (30%)	22,400 (50%)			
定休日 (火曜)	前日 22:00～ 当日 10:00 14:00～ 22:00	17,920 (40%)	26,680 (60%)			
	10:00～ 14:00	13,440 (30%)	22,400 (50%)			
	上げ DR	10:00～ 14:00	44,800 (100%)			

表-3 下げ DR 運転スケジュール

		給湯運転			保温運転	
		開始水量 [L]	終了水量 [L]	出湯温度 [℃]	開始水温 [℃]	終了水温 [℃]
通常時	前日 22:00 ～当日 4:00	44,800 (100%)	44,800 (100%)	22:00～8:00 : 70℃ その他 : 65℃	60	63
	4:00～8:00	40,320 (90%)	44,800 (100%)			
	8:00～15:00 18:00～22:00	17,920 (40%)	35,840 (80%)			
	15:00～18:00	44,800 (100%)	44,800 (100%)			
定休日 (火曜)	前日 22:00～ 当日 15:00 18:00～22:00	17,920 (40%)	26,680 (60%)			
	15:00～18:00	44,800 (100%)	44,800 (100%)			
	下げ DR	12:00～15:00 15:00～18:00	44,800 (100%) 13,440 (30%)			

量、伝熱係数から残り 3 点の温度を計算する。

$$Q = KAAT_{LMTD} \dots \dots \dots \text{式 (5)}$$

$$\Delta T_{LMTD} = [(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)] / \ln[(T_1 - t_2) / (T_2 - t_1)] \text{式 (6)}$$

$$T_1 - t_2 = T_2 - t_1 \text{ のとき } \Delta T_{LMTD} = T_1 - t_2 = T_2 - t_1$$

ただし Q : 交換熱量[W]

K : 熱通過率[W/ (m²・K)]

A : 伝熱面積[m²]

ΔT_{LMTD} : 対数平均温度差

T_1 : 高温側入口温度 T_2 : 高温側出口温度

t_1 : 低温側入口温度 t_2 : 低温側出口温度

以上のシミュレーションモデルを用いて DR シミュレーションを行う。

1.3 本調査対象施設の DR 対応可能性

作成したシミュレーションモデルをもとに、本調査対象施設の DR 対応可能性について考察を行う。DR 対応可能性については上げ DR、下げ DR がそれぞれ最も生じやすい月の 1 週間 DR に対応することができることを判断基準とする。DR が最も生じやすい月として、上げ DR は 5 月を、下げ DR については 12 月を選定した。DR に対応可能と判断する基準を表-1 に示す。また、DR の運転スケジュールを上げ DR、下げ DR それぞれ表-2、表-3 に示す。上げ DR の指令は 10 時～14 時、下げ DR の指令は 15 時～18 時とした。

表-4 電力料金単価

電気料金と DR 報酬		今年度	
		時刻別電気料金 プラン (プラン 1)	一律プラン (プラン 2)
昼間電気 料金	夏季	21.64[円/kWh]	夏季:15.33 [円/kWh] その他:14.15 [円/kWh]
	その他 季節	20.57[円/kWh]	
ピーク電気料金		23.58[円/kWh]	
夜間電気料金		11.02[円/kWh]	
DR 報酬		3,500 [円/(kW・年)]	

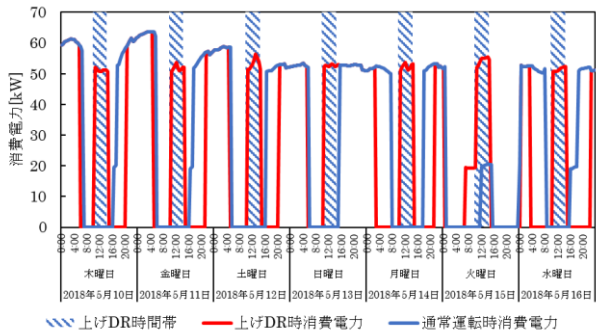


図-2 上げ DR 実施時消費電力

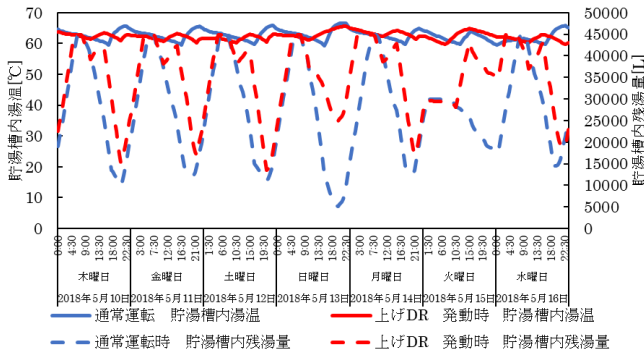


図-3 上げ DR 実施時 貯湯槽内残湯量
貯湯槽内湯温

1.4 DR を行った際のコストメリット

本調査対象施設に DR を行った時のコストメリットについて解析を行う。今回 DR によって得られる報酬は kW 報酬のみを考慮することとする。DR の発生日は、日本卸電力取引所 (JEPX) ②が公表する 2018 年のスポット価格を参考に設定する。また、年間で約 10% 上げ下げ DR がそれぞれ

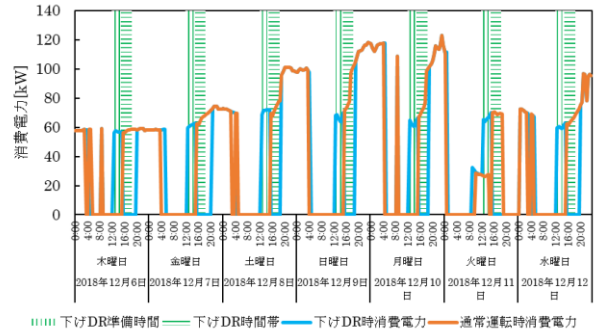


図-4 下げ DR 実施時消費電力

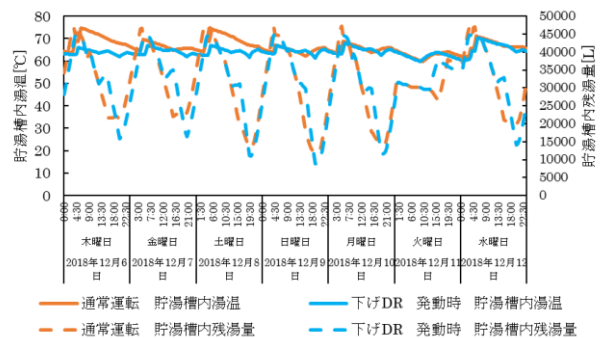


図-5 下げ DR 実施時 貯湯槽内残湯量
貯湯槽内湯温

発生すると仮定する。

上げ DR は 10 時から 14 時でスポット価格が 5 円以下になる日を、下げ DR は 15 時から 18 時の間でスポット価格が 23 円以下になる日をそれぞれ設定した結果、上げ DR は合計で 32 日間、下げ DR は合計で 42 日間となった。

コスト算出の際、四国電力株式会社が公表する電力単価を参考に設定した³⁾。電力料金単価を表-4 に示す。DR 報酬は 3,500[円/kW・年]と設定した。運転スケジュールは「1.3 本調査対象施設の DR 対応可能性」で設定した表-2 と表-3 とする

2. 結果・考察

2.1 本調査対象施設の DR 対応可能性 結果

(1) 上げ DR

図-2 に消費電力の時系列グラフを、図-3 に貯湯槽内湯温と貯湯槽内残湯量の時系列グラフを示す。これらのグラフから、「1.3 本調査対象施設の DR 対応可能性」で示した DR の判定基準を満たしており、本調査対象施設は上げ DR に対応可能であると考えられる。

5 月 15 日に通常運転の際に保温運転が生じた

表-5 上げ DR 金額

	時刻別電気料金プラン (プラン①)	一律プラン (プラン②)
通常運転総金額[円]	4,929,420	4,020,818
上げ DR 総金額[円]	4,840,861	3,897,919
削減金額[円]	88,559	122,899

影響で上げ DR の時間帯に消費電力が生じていた。これは 5 月 15 日が施設の定休日で、上げ DR の時間帯の前に給湯負荷が少なく、運転停止になる時間が長くなったため、貯湯槽内湯温が低下したことが原因として考えられる。

(2) 下げ DR

図-4 に消費電力の時系列グラフを、図-5 に貯湯槽内湯温と貯湯槽内残湯量の時系列グラフを示す。これらの結果から、「1.3 本研究対象施設の DR 対応可能性」で示した DR の判定基準を満たしていることを確認した。したがって本研究対象施設は下げ DR に十分対応可能であると考えられる。

2.2 DR を行った際のコストメリットの結果

「1.4 DR を行った際のコストメリット」で設定した DR のスケジュールを基に、1 年間を通じて上げ DR、下げ DR をそれぞれ行った。金額の算定は表-4 の時間別電気料金プラン (プラン①)、一律プラン (プラン②) でそれぞれ計算を行い、比較する。以下にその結果を示す。

(1) 上げ DR

表-5 に上げ DR を想定した運転を行った時の 1 年間を通じた金額を示す。このグラフから分かるように、総金額は通常運転、上げ DR を想定した運転のどちらもプラン①にて計算を行った場合の方が金額は高くなった。

プラン①とプラン②のどちらも DR 報酬を考慮することでコストメリットが得られた。通常運転と比較したときのコストメリットはプラン②の方が大きかった。これは、プラン①の昼間の電力単価は高く、この昼間に電力使用のピークシフトを行うためであると考えられる。

(2) 下げ DR

下げ DR を想定した運転を行った時の 1 年間を通じた金額を表-6 に示す。このグラフから分かるように、総金額は通常運転と上げ DR を想定した運転のどちらもプラン①にて計算を行った場合の

表-6 下げ DR 金額

	時刻別電気料金プラン (プラン①)	一律プラン (プラン②)
通常運転総金額[円]	5,224,302	4,065,539
下げ DR 総金額[円]	5,054,878	3,922,220
削減金額[円]	169,424	143,319

方が金額は高くなった。

プラン①とプラン②のどちらも DR 報酬を考慮することでコストメリットが得られた。通常運転と比較したときのコストメリットはプラン①の方が大きかった。これは、上げ DR の時とは反対に、プラン①の電力単価の低い夕方にピークシフトを行うためであると考えられる。

3. 結論

本調査対象施設は DR に対応可能であることを確認した。また、DR を行うことでコストメリットが得られることも分かった。上げ DR の場合は電力単価が一律のプランで計算を行った方が DR によるコストメリットは大きく、下げ DR の場合は時間帯で料金に変化するプランで計算を行った方がコストメリットは大きくなった。

現在、昼間の電力よりも夜間の電力料金単価の方が安価であることが原因として考えられる。既往研究⁴⁾にもあるように太陽光発電由来の電力が増加すると、電気料金単価は安価になるため、今後は太陽光発電の発電量が多くなる昼間の電力が安価になることが予想され、上げ DR では時間帯別で料金を算出したほうが安価になる可能性が高い。

参考文献

- 1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部：
https://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcem.html
- 2) 日本卸電力取引所 (JEPX)：
<http://www.jepx.org/market/>
- 3) 四国電力 HP：<https://www.yonden.co.jp/>
- 4) Makishi Sakaguchi, Hidemichi Fujii：The Impact of Variable Renewable Energy Penetration on Wholesale Electricity Prices in Japan Between FY 2016 and 2019. *Frontiers in Sustainability*.2021,vol2

B-10

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 10)

ハイブリッド給湯システム導入による地域ポテンシャルと最適な熱源機器割合の推定

○ 岩田 勝太郎 (北海道大学), 赤井 仁志 (東北文化学園大学), 猪俣 海斗 (北海道大学), 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)

Utilization of central hot water supply facilities including hot water storage as a VPP resource
(Part 10) Estimation of Regional Potential and Optimal Ratio of Heat Source Equipment by Introduction of Hybrid Hot Water System

Iwata Shotaro (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima University/Hokkaido University), Inomata Kaito (Hokkaido University), Miyagawa Suguru (Hokkaido University), Amano Yuichiro (Shikoku Electric Power), Fujii Ryohei (Shikoku Research Institute)

キーワード: VPP, ハイブリッド給湯システム, 余剰電力, 省エネルギー

はじめに

再生可能エネルギー由来の電力需要の増加に伴う電力需給調整や余剰電力の活用のため、ヒートポンプ給湯機が注目されている。しかし燃焼式給湯器と比べた導入費などの面で劣っている。

本報は複数の熱源機器としてヒートポンプ給湯機と燃焼式給湯器を持ち両者の特徴を活かしたハイブリッド給湯システムを VPP (Virtual Power Plant, 仮想発電所) に組み込み、地域ポテンシャルの推定及び最適な熱源機器の割合の検討について述べたものである。

1. 地域ポテンシャルの推定

令和2年10月～令和3年9月の北海道に所在する全病院の病床数と平均満床率の厚生労働省によるデータに基づき、北海道内の全病院における日給湯熱負荷の合計を推定した。使用病床数は 64,180 床/日、給湯負荷は 9,627,105 L/日 (60°C換算)、給湯熱負荷は 636,958 kWh/日と推定した。給湯熱負荷を担うヒートポンプ給湯機と燃焼式給湯器の熱供給割合を 20%ずつ変化させ、6つのパターンでシミュレーションを行う。また、導入するヒートポンプ給湯機の COP は 3.6、燃焼式給湯器の熱効率は 95%とする。太陽光発電の出力が大きい 10:00～14:00 に活用できる余剰電力量及び、1次エネルギー消費量と CO₂ 排出量の削減量の推定を行った。

2. 解析結果①

図1～図3に解析結果を示す。図1は 10:00～14:00 における消費電力量である。最大で 65,000 kWh/日となり、北海道における太陽光発電設置住宅で発生する余剰電力を約 23%活用できることが分かる。図2は1次エネルギー消費量であり、最大で 1015 GJ/日削減でき、これは約 11,000 世帯が消

費する 1 次エネルギー消費量に相当する。図3は CO₂ 排出量であり、最大で 41 t-CO₂/日削減でき、これは約 5,500 世帯が消費する CO₂ 排出量に相当する。すべての割合においてヒートポンプ給湯機による熱供給割合を上げることで効果が高まり、ヒートポンプ給湯機による余剰電力の活用や省エネルギー性を評価することができる。

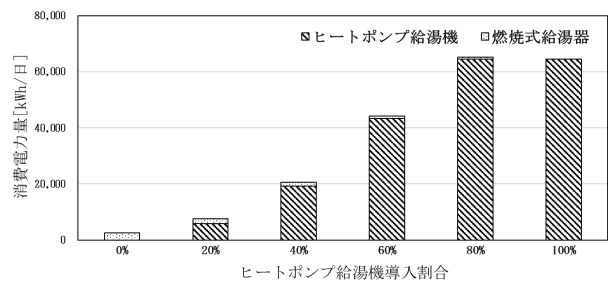


図1 消費電力量の変化

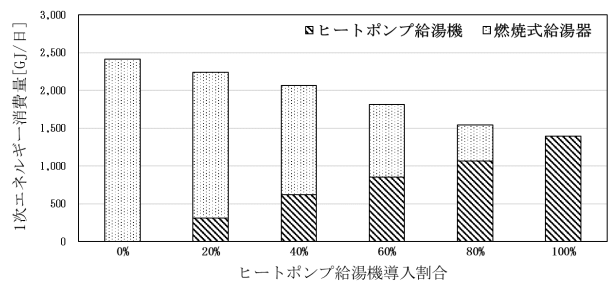


図2 1次エネルギー消費量の変化

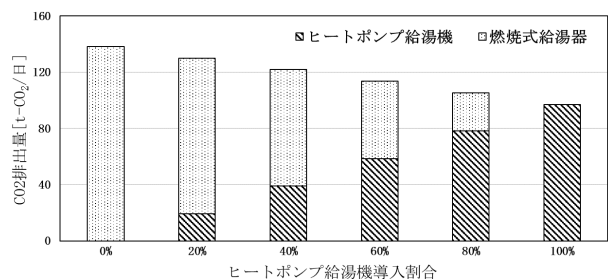


図3 1次エネルギー消費量の変化

3. 最適な熱源機器割合の検討

研究対象施設は北海道にある病床数が 250 床の病院を仮定する。解析に用いるヒートポンプ給湯機の COP は 3.6, 燃焼式給湯器の熱効率は 95% とする。また, 配管方式は貯湯槽をヒートポンプ給湯機と燃焼式給湯器で兼用する並列システムを用いる。シミュレーションも地域ポテンシャルの推定と同様に熱供給割合を 20% ずつ変化させた計 6 パターンで行う。並列型はヒートポンプ給湯機の設置台数を増やすほど稼働率が低くなる。今回のシミュレーションにおける設置台数と熱供給比率は表 1 に示す。

ランニングコストは図 4 に示す各割合の消費エネルギーに, 表 2 に示す各エネルギーの料金単価と基本料金を掛け合わせることで算出する。インシヤルコストは式 (1) で算出する。

$$\begin{aligned} \text{インシヤルコスト} = & \\ & 3,990,000 \text{ [円/台]} \times (\text{ヒートポンプ給湯機設置台数}) \text{ [台]} \\ & + 1,000,000 \text{ [円]} \cdot \dots \cdot (1) \end{aligned}$$

表 1 熱供給比率

ヒートポンプ給湯機設置台数[台]	0	1	2	4	6	9
電力比率[%]	0	22	38	60	80	100

表 2 エネルギー料金

ヒートポンプ給湯機台数[台]	0	1	2	4	6	9
電気基本料金[円]	0	65.46	65.46	65.46	65.46	65.46
電力単価[円/kWh]	0	15.64	15.64	15.64	15.64	15.64
都市ガス基本料金[円]	253.15	66.18	66.18	66.18	47.81	0
ガス単価[円/m ³]	115.94	187.70	187.70	187.70	198.88	0

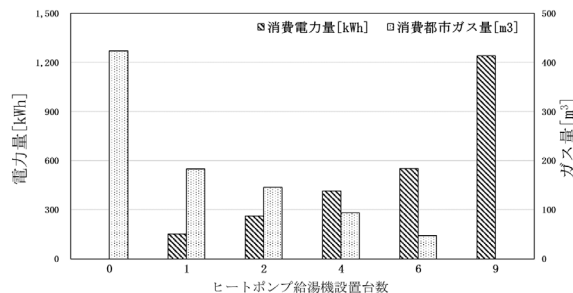


図 4 各割合の消費エネルギー

4. 解析結果

インシヤルコストの回収年はヒートポンプ給湯機の導入台数が 0 台のときのランニングコストを基準値とし, 各割合のランニングコストとの差を日回収費とする。インシヤルコストを日回収費で割ることで回収年数を求める。図 5 にヒートポンプ給湯機設置台数ごとのインシヤルコストとインシヤルコストの回収年を示す。回収にかかる期間はヒートポンプ給湯機の設置台数が多いほど長くなっている。また, 1 台~6 台まではほぼ一定の割合で回収期間が長くなっているが 9 台設置した場合の回収年は 6 台設置したときの 2 倍以上の期間がかかっている。図 6 にインシヤルコスト 100 万円あたりの回収期間を示す。これらの図より最もインシヤルコストの回収効率が良いのはヒートポンプ給湯機の熱供給割合が 80% のときである。

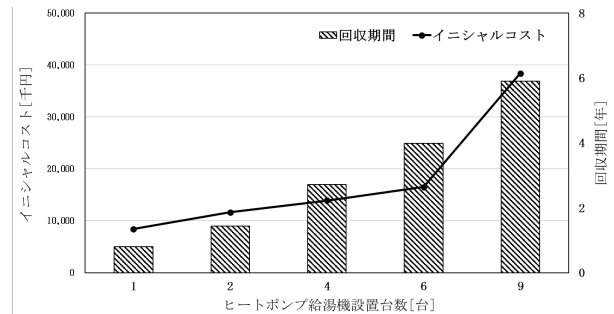


図 5 各割合のインシヤルコストと回収期間

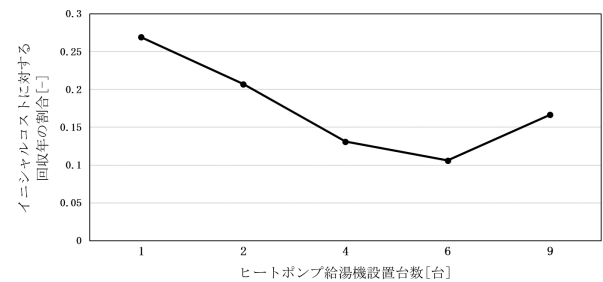


図 6 インシヤルコスト100万円あたりの回収期間

5. 考察

ハイブリッド給湯システムにおいてヒートポンプ給湯機の割合を上げると省エネルギー化や余剰電力の活用に繋がるが, 上げすぎるとインシヤルコストの回収期間が長くなることが分かった。インシヤルコストの回収効率が最も高いのはヒートポンプ給湯機の熱供給割合を 80% にしたときである。基本的にヒートポンプ給湯機が熱供給を行い, ピーク時にのみ燃焼式給湯器を稼働させる運転が有用だと考える。

B-11

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 11) 中央式給湯設備以外の活用の可能性と必要性

○赤井 仁志 (東北文化学園大学), 猪俣 海斗, 宮川 卓, 岩田 勝太郎 (北海道大学),
天野 雄一郎(四国電力(株)), 藤井 良平((株)四国総合研究所)

Utilization of Central Hot Water Supply System Including Hot Water Storage as VPP Resources (Part 11), Possibility and Necessity of Utilization of Surplus Renewable Electricity other than Storage-type Hot Water Supply System

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

キーワード : Demand Response 余剰再エネ電力 貯湯 蓄熱

はじめに

出力が不安定な再エネ電力が増え続ける中、建築設備分野で年間を通して熱需要がある貯湯式給湯システムは有効度が高い。給湯設備以外でのVPPの活用方法の案を提案する。

1. 農業用ハウスでの利用

日本のカロリーベース食料自給率は4割以下で、毎年6兆円の輸入超過になっている。低い食料自給率は、食料安全保障の視点からも課題である。

特定の品目、例えばキクラゲの自給率は1割未満で、大部分が乾物として輸入されており、生キクラゲの国内需要が高い。国内で生産される品目でも、イチゴやトマト、葉菜類や卉類等は、ハウス内を温湿度調整や日射量、CO₂濃度管理・制御することで、収穫時期をずらしたり、収穫量を上げたり、病害虫やカビ等を減少させたりしている。

農業生産環境では、果樹の加温栽培のステージ別昼夜適温範囲、野菜の生育適温・限界温度、局部加温や冷却の有効性等も解明されており、農産物生産の組み合わせにより、年間を通して温熱や冷熱の需要を計画できる。前述したキクラゲの屋内菌床栽培では、菌床培養時期と生育時期等により、冷房と暖房が必要な時期が異なるために、冷暖同時ヒートポンプ(排熱利用)が可能である。

日射を透過させるタイプのハウスでは、時期や栽培作物によって、日中は冷房、夜間は暖房という条件もあり、ヒートポンプによる1日単位の蓄

熱も有効である。

2021年5月、農林水産省がみどりの食料システム戦略を打ち出した。22年4月、みどりの食料システム法(環境と調和のとれた食料システムの確立のための環境負荷低減事業活動の促進等に関する法律)が成立して、同年7月に施行した。みどりの食料システム戦略では、安定的採熱とヒートポンプの利活用、再エネ型施設園芸設備の導入、農山漁村に適した地産地消型エネルギーシステム構築等が挙げられており、追い風と捉えられる。

2. 廃校の遊泳用プールを蓄熱槽に活用

廃校になった学校の水泳プールを水蓄熱槽に転用することを考察する。プールの材料や工法により床面や壁面の外側か内側を選択して断熱を施して、上部に屋根を架ける他、断熱性を有するカバーで水面を覆うなどの処置が必要になる。また、循環ろ過装置と配管等を撤去して、熱源の配管を接続する。水泳プールは、プール内の水流を全体に循環するように設計・施工されていることが多く、有効蓄熱率は高いと予想する。

さらに、廃校になった学校の体育館を、太陽光を利用しない完全制御型植物工場に転用することも可能である。単位面積当たりの収穫量が格段に高いオランダ式農業は、5m以上の高い天井で栽培することがほとんどで、10mを超す場合もあることから適している。

学校体育・スポーツ施設の水泳プール(屋外)

が、国内には約 23,600 ある (図-1)。日本国内に現存する学校体育・スポーツ施設の水泳プール (屋外) を水蓄熱槽として季節利用することで、VPP の需要側リソースに位置づけることが可能である。

水泳プールの寸法を 25.0m × 13.0m × 1.2m、有効蓄熱率 70%、温度差 10℃ とすると有効蓄熱量は 11,428MJ になる。体育館を完全制御型植物工場へ転用するとして、栽培箇所の有効面積を 700 m²、平均空調負荷 70W/m² とすると、65 時間、空調可能になる。

3. 農山村部での地域熱供給

日本で用いられている蓄熱槽は、原子力発電が盛んな時期に、夜間の余剰電力を使いヒートポンプを稼働させ空調熱源として蓄えるのに利用された。貯湯も同様である。いずれも、1 日単位で蓄熱・貯湯を繰り返すものであった。空調は、週末や中間季に稼働させない建物用途が多く、1 日単位の容量では使い切れないことが多い。数週間以上、できれば季節間に近い容量の蓄熱槽であれば、余剰電力の活用が容易になる。

日本の地域熱供給は、エネルギー密度の高い都会に偏在している。欧州では、小規模なものも多く見られる。例えば、オーストリアは、全土で 2,000 箇所以上の地域熱供給が稼働しており、農山村部でも行われ、小さな自治体で自治と活力に繋がっているとされている。

デンマークは、サムソ島北部の北部の 2 つの村 (計 200 世帯) に再エネ熱の地域熱供給プラントを設け 232 の消費者に熱を供給したり、人口 4,000 人程度のログストール町には総延長 60km の熱導管を布設したりしている。ドロニングルン村には、太陽熱を利用した 62,000 m³ の蓄熱槽がある。

欧州の中で、最も地域熱供給での供給量が多いのは、3,000 以上の地域熱供給プラントを持つドイツで、次いでポーランドやスウェーデンである。

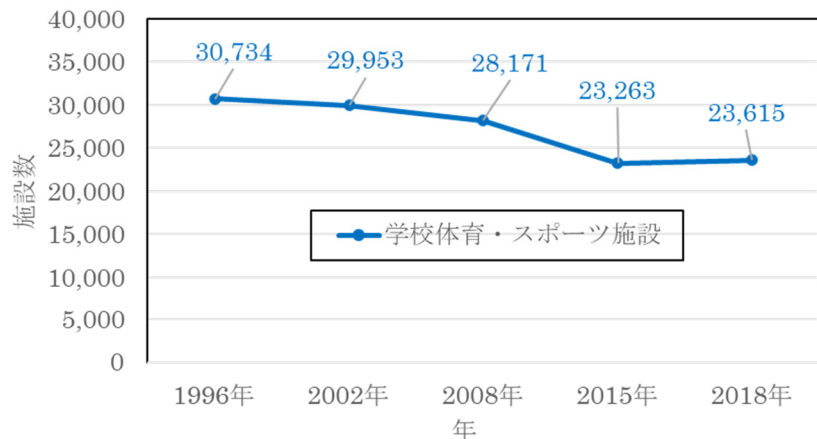


図-1 学校体育・スポーツ施設の水泳プールの推移 (不含、大学・高専体育施設) (体育・スポーツ施設現況調査 / 統計で見る日本 e-Stat)

地域熱供給の普及率 (人口に対する割合) は、アイスランドが 9 割以上、北欧はデンマークが 6 割以上で、スウェーデンとフィンランドも 5 割を超える。

4. 省エネ法の改正等の状況の変化

2022 年 5 月 13 日の第 208 回 通常国会で、省エネ法の改正が可決成立した。正式な法律名も、「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」から、「エネルギーの使用の合理化及び非化石エネルギーへの転換等に関する法律」に変わった。

改正の中で、関係する箇所は下記の 3 点である。

- ①エネルギーの使用の合理化の対象範囲の拡大：エネルギーの定義の見直し
- ②非化石エネルギーへの転換に関する措置：新設
- ③電気の需要の最適化に関する措置

「③電気の需要の最適化に関する措置」には、「上げ DR・下げ DR 促進のための電気の一次エネルギー換算係数の設定」や「電気需要最適化に資する料金体系等の整備を促す仕組みを構築」等が盛り込まれた。

また、2022 年 12 月 26 日に発表された、東京都と東京電力エナジーパートナー(株)による「蓄熱槽を活用した節電マネジメント (デマンドレスポンス) の社会実装事業」も、今後の行き場のない太陽光発電活用の動向の一環である。

B-12

戸建住宅における排水立て管の配管形態が搬送性能に及ぼす影響

○高山拓徳（関東学院大学），大塚雅之（関東学院大学），宮越彪維（関東学院大学）

Effect of Piping Configuration of Drainage Vertical Piping on Transport Performance in Detached Houses

Takayama Hironori (Kanto Gakuin Univ.), Otsuka Masayuki (Kanto Gakuin Univ.), Miyakoshi Torai (Kanto Gakuin Univ.)

キーワード：戸建住宅，排水立て管，搬送性能

はじめに

我が国では、節水形大便器の普及も著しく、大便器使用者が使用するトイレトーパーは国内製に限らず、紙質の異なる海外製¹⁾も広く使用される。それらが混入し流されることにより、**図-1**に示す汚物停滞等の排水管内のトラブル発生が危惧されており、中でも、戸建住宅の排水立て管の配管形態等が及ぼす搬送性能への影響を検討し、論じた研究は非常に少ない。

本研究では、戸建住宅における衛生器具から敷地排水ますまでの排水管を研究対象に、JIS規格²⁾で定めるⅡ形の供試大便器を設置し、汚物の混入排水させた場合の排水立て管の配管形態が搬送性能へ及ぼす影響を検討し、詰まり等によるトラブル防止のための知見を得ることを目的とする。

1. 実験概要

本実験は、2, 3階規模の戸建住宅を対象に、上層階にⅡ形の大便器を設置し、清水排水実験及び汚物混入排水実験を実施し、排水立て管の配管形態が搬送性能へ及ぼす影響について把握する。

1.1 供試排水立て管システム

図-2に供試排水立て管システムを、**表-1**に配管条件を示す。器具排水管と排水横主管を結ぶ排水立て管の落差は、2階規模を想定した2500mm、3階規模を想定した5000mmとし、脚部の継手形状は、**図-3**に示すDL継手と大曲がり形状をもつLL継手を交互に接続した。また、脚部に接続する排水横主管は、**図-2**中に示す「順方向」と「横振り方向」とした。また、実験に用いる排水管は75A配管とし、こう配は、1/100とする。

1.2 供試大便器

図-4に器具排水特性の概要を、**図-5**に供試大便器の器具排水特性値及び排水流量曲線を示す。

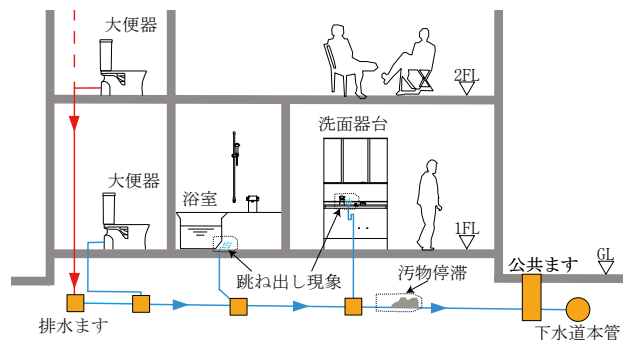


図-1 戸建住宅における詰まり等のトラブル

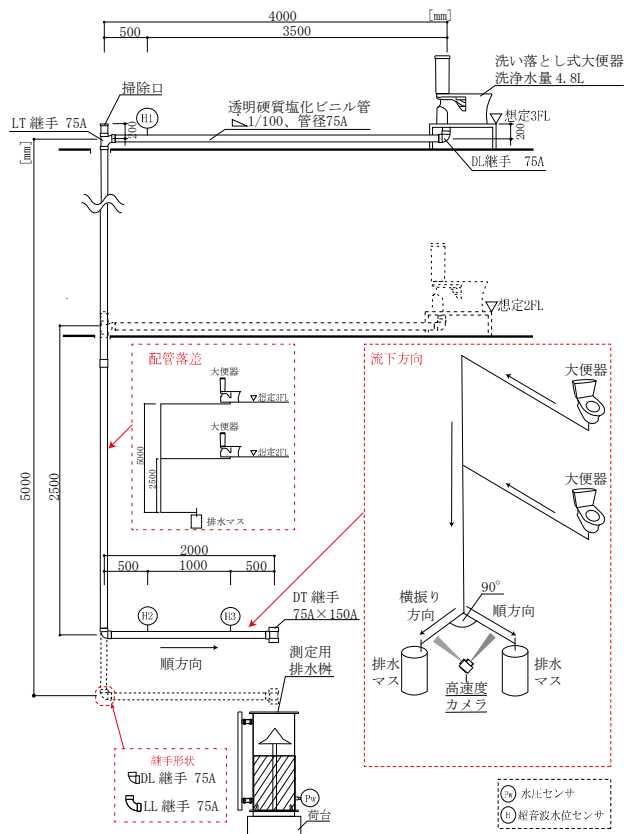


図-2 供試排水立て管システム

供試大便器は、大洗浄の洗浄水量 4.8L の洗い落とし式大便器とし、SHASE-S 220「器具排水特性試験法」³⁾に準拠して測定した結果、器具平均排水流量 qd [L/s]は、1.06[L/s]であり、最大器具排水流量 q_{max} [L/s]は、1.31[L/s]であった。

1.3 供試代用汚物の概要

表-2 に大便器に投入する供試代用汚物の概要を示す。BL 基準⁴⁾での一般的な負荷条件を想定した供試代用汚物 BL、また、BL を作成したペーパーの坪量と比較して、約 2.0 倍と厳しい負荷条件かつ紙質の異なる海外製トイレトペーパーを用いて作成した供試代用汚物 E' の 2 種類とした。

1.4 測定項目及び方法

(1) 器具排水特性

器具排水特性は、排水管接続器具平均排水流量 qd' および排水管接続最大器具排水流量 q_{max}' を排水横主管端部で求める。

(2) 区間流速

図-2 に示す排水横主管上の H2 と H3 の排水の立ち上がり時間差で配管長を除し、算出する。

(3) 管内水位

図-2 中の排水立て管上部の管心から 500mm の器具排水管上の上流部 (H1)、また、排水立て管脚部の管心から 500mm の排水横主管上の下流部 (H2)、末端から 500mm の排水横主管上の上流部 (H3) の位置に超音波水位センサ設置し、排水時の管内水位 H [mm]の経時変化を測定する。

(4) 汚物搬送性能

表-2 に示す坪量の異なる紙で作成した供試代用汚物を供試大便器に投入し、15 秒浸水させた後に大洗浄を行う。測定項目は、汚物の搬送距離とし、試行回数 5 回の平均値を測定値とする。

(5) 排水及び汚物の流下状況

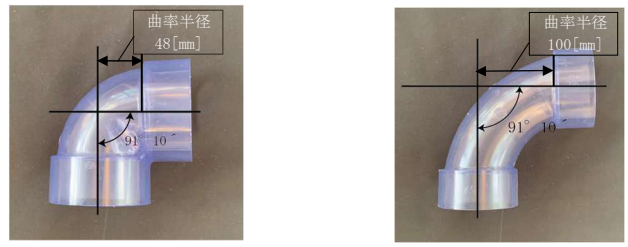
図-2 に示す位置に高速度カメラ (1000FPS) を設置して排水及び汚物の流下状況で記録し、高機能流体解析ソフト (FlowExpert64) を用いて解析する。

2. 実験結果及び考察

2.1 清水排水実験

(1) 器具排水特性

図-6 中に、配管条件ごとの qd' を示す。結果より、配管条件 g、h において qd' は、0.25[L/s]であり、最も大きくなった。また、配管条件 c、d に



(1)DL 継手 (2)LL 継手

図-3 継手形状の詳細図

表-1 配管条件

配管条件	配管落差	継手形状	排水後の流下方向
a	2500 [mm]	DL	順方向
b		DL	横振り方向
c		LL	順方向
d		LL	横振り方向
e	5000 [mm]	DL	順方向
f		DL	横振り方向
g		LL	順方向
h		LL	横振り方向

$$qd, qd' = \frac{0.6 \times W}{td} \dots \text{式}$$

[凡例]
 qd, qd' : (排水管接続) 器具平均排水流量 [L/s]
 W : 排水量 [L]
 td : 平均排水時間 [s]

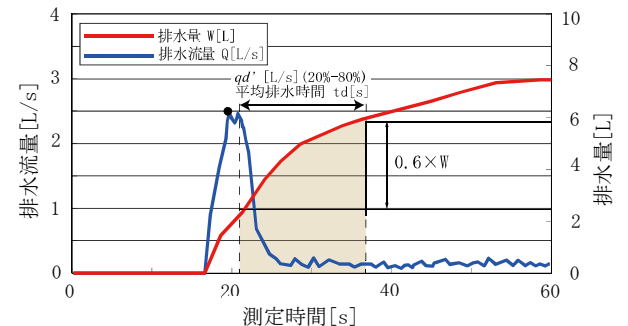


図-4 器具排水特性の概要

器具排水量 W [L]	排水所要時間 T [s]	排水時間 td [s]	qd [L/s]	q_{max} [L/s]
4.9	60	2.8	1.06	1.31

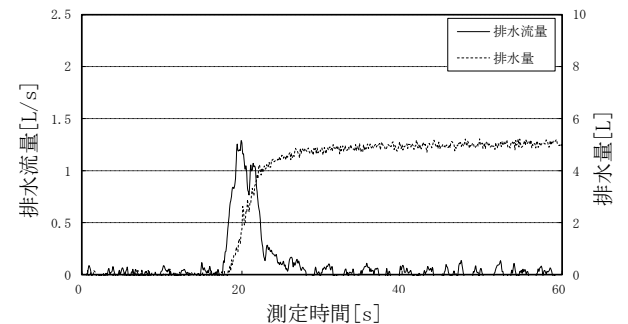


図-5 供試大便器の器具排水特性諸値及び排水流量曲線

においても 0.23[L/s]であり、排水立て管脚部に LL 継手を接続することで大きくなった。また、同図より、全配管条件において、 qd' が、既往⁵⁾にて算出された供試代用汚物 BL の搬送限界器具平均排水流量 qd'_{cp} の 0.15[L/s]を上回っていることを確認できた。

(2) 区間流速

図-6 中に、算出した排水横主管上の H2 から H3 区間の区間流速を示す。結果より、最小値は、配管条件 a、h において 0.83[m/s]となり、SHASE-S 206 規準⁶⁾ の下限値である 0.6[m/s]を上回っていることを確認できた。

(3) 管内水位

図-7 に、配管条件ごとに算出した排水横主管上の H2 の管内水位を示す。管内水位の最大値は、配管条件 f において、27[mm]で、その値に続き、配管条件 d で 26[mm]、配管条件 a、b で 25[mm] となり、いずれも排水管の内径の 1/4 を上回ることを確認でき、排水立て管脚部に DL 継手を接続した方が、管内水位が高くなる傾向も確認できた。

(4) 排水の流下状況

図-8 に排水立管脚部の継手形状が DL 継手と LL 継手を接続した場合の排水の流下状況を記録し、高機能流体解析ソフト (FlowExpert64) で解析した一例を示す。同図より、排水立て管脚部に DL 継手接続した場合、曲がり部が短いため、継手付近において、排水が抵抗を受けやすく、排水の跳水が高くなり、 qd' の低下及び管内水位の上昇に繋がったと考えられる。

(1) ~ (4) の清水排水の検討の結果より、清水排水の流下は、排水立て管脚部の継手形状による影響が大きく、特に、LL 継手の接続の方が、DL 継手よりも、排水横主管に流入後の流れが滑らかになることを把握できた。

2.2 汚物混入排水実験

(1) 汚物搬送性能

図-9 に配管条件ごとの排水横主管内の供試代用汚物 BL と E' の搬送距離を示す。落差 5000mm の場合は、坪量の大きい代用汚物 E' においても搬送距離が 2.0[m]と、完全搬送した。それと比較して、落差 2500mm においては、供試代用汚物 E' の搬送距離が、脚部に DL 継手を接続した配管条件 a において 1.5[m]、配管条件 b において 1.7[m]と、管内停滞を確認できた。

表-2 供試代用汚物の概要

試験品名称	写真	タイプ	供試代用汚物	坪量 [g/m ²]	含水質量 [g]
BL基準 ⁴⁾ (2020.4策定)		BL	平置き状トイレト ペーパー0.9m×4 枚 (シングル仕様)	19	167.5
平重ねダブル		E'	平置き状トイレト ペーパー1.0m×6枚 (ダブル仕様)	40	305.6

配管条件	a	b	c	d	e	f	g	h
qd' [L/s]	0.20	0.20	0.23	0.23	0.20	0.22	0.25	0.25
区間流速[m/s] 最小値	0.83	1.11	1.25	1.11	1.25	0.91	1.00	0.83

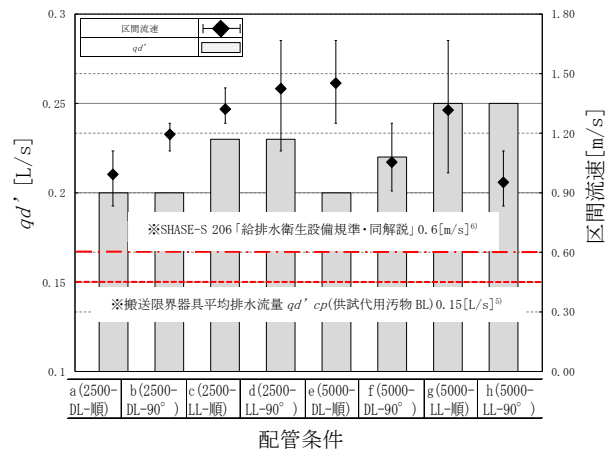


図 6 配管条件ごとの qd' 及び区間流速の比較

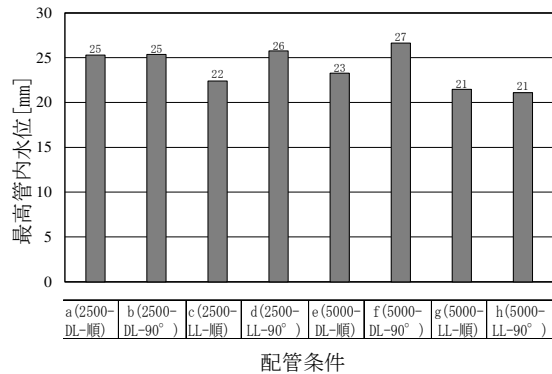


図-7 配管条件ごとの管内水位 (H2)

(2) 汚物の流下状況

図-10 に、排水立管脚部の継手形状が DL 継手と LL 継手を接続した場合の代用汚物 E' の排出時の流下状況を記録し、高機能流体解析ソフト (FlowExpert64) で解析した一例を示す。同図より、排水立て管脚部に DL 継手を接続した場合、LL 継手に比べて、DL 継手の曲率半径が 48mm と短く、代用汚物 E' は排水同様、継手付近で衝突し、跳ね上がることで、汚物が失速するため、搬送距離が低下したと考えられる。また、同図より、

その際に汚物量の多い代用汚物 E' と排水によって、一時的に管内が閉塞することで排水の逆流（バックフロー）が生じたことも確認できた。

(1)、(2) の汚物混入排水の検討の結果より、清水排水時でも述べたように、排水立て管脚部に DL 継手を接続した場合は、継手付近で物理的な抵抗を受けやすく、汚物の搬送性能に影響を与えることも確認できた。

3. 総括

本実験は、2、3 階規模の戸建住宅を対象に、上層階に II 形の大便器を設置し、清水排水の検討及び汚物混入排水の検討を実施した。その結果、落差のある器具排水管において、排水立て管脚部に LL 継手を接続することで、排水及び汚物は滑らかに流下していき、想定した排水横主管より排出することが確認できた。よって、建築的な床下への収まりの検討を要するが、LL 継手を接続することは、汚物の搬送性能上、有効であり、推奨する。今後は、実戸建住宅における敷地内排水を想定した全長 18m 規模の排水管の搬送性能を検証する。

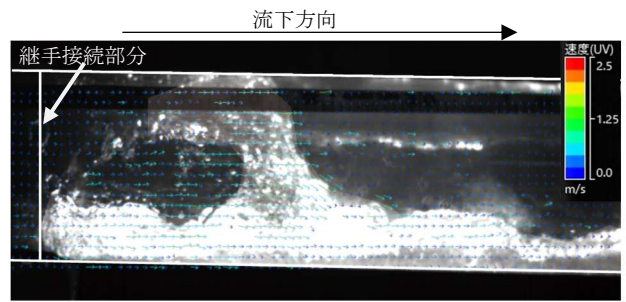
		配管条件及び汚物搬送距離 [m]							
		a	b	c	d	e	f	g	h
供試代用汚物タイプ	BL	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
	E'	1.5	1.7	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

配管条件	配管条件		供試代用汚物	搬送距離 [m]							
	配管落差	継手形状		流下方向	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	
a	2500 [mm]	DL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
b	2500 [mm]	LL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
c	2500 [mm]	DL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
d	2500 [mm]	LL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
e	5000 [mm]	DL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
f	5000 [mm]	LL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
g	5000 [mm]	DL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							
h	5000 [mm]	LL	順	BL							
			順	E'							
			横振り	BL							
			横振り	E'							

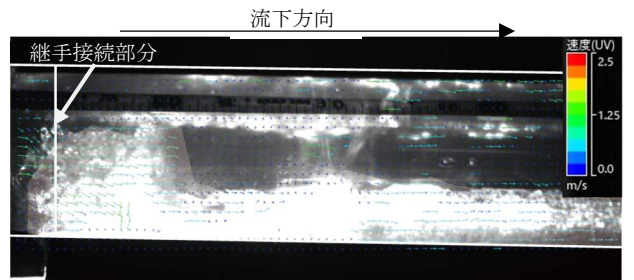
図-9 配管条件ごとの供試代用汚物 BL と E' の搬送距離の比較

参考文献

- 金子昇太他、異種管径の排水横管を用いた節水形大便器の器具排水特性と搬送性能のシミュレーション手法に関する研究、空気調和・衛生工学会中部支部大会学術講演論文集、2022年3月、pp.63-66
- 日本産業規格；JIS A 5207-2022 衛生器具-便器・洗面器類、(2022.6)
- 公益社団法人空気調和・衛生工学会規格；SHASE-S 220-2017「器具排水特性試験法

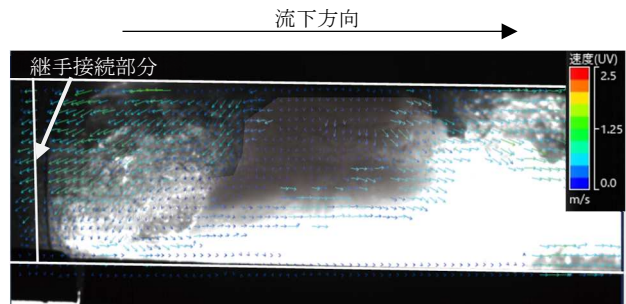


(配管条件 a：落差 2500mm、順方向、DL 継手)

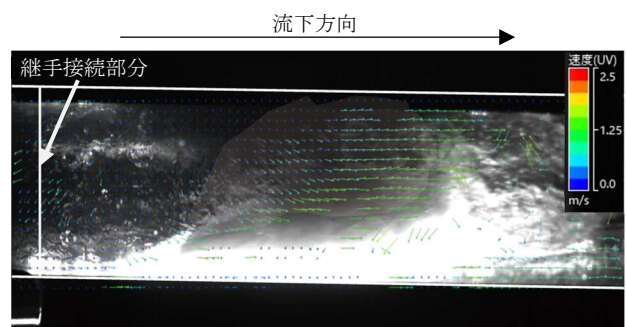


(配管条件 c: 落差 2500mm、順方向、LL 継手)

図-8 排水の流下状況



(配管条件 a: 落差 2500mm、順方向、DL 継手)



(配管条件 c: 落差 2500mm、順方向、LL 継手)

図-10 汚物の流下状況 (代用汚物 E')

- 一般財団法人 ベターリビング；優良住宅部品性能試験方法書 便器 (BLT WC:2020)、(2020.4)
- 久保田雄亮他：排水横管の管径変化に伴う節水形大便器の搬送性能の推定手法の検討その1 器具排水特性と搬送性能の実測結果の検討、日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸)、pp699~700 (2019.9)
- 公益社団法人 空気調和・衛生工学会規格；SHASE-S 206-2019「給排水衛生設備基準・同解説」

浸水被害住宅の真菌汚染と復旧手法に関する調査研究

○石戸脩斗（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）

Investigation of Indoor Fungal Contamination and Environmental Recovery Methods in Flood Damaged Houses

Ishito Shuto (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),
Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University)

キーワード：浸水被害住宅，真菌濃度

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が度々発生しており，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⁾。

本研究は，水害対策を意図した建築設計の考え方や浸水後の室内環境改善のための有効な復旧手法の立案を目的としている。卒業研究では，国内外の浸水被害・浸水対策に関する文献をレビューすることで浸水被害後の室内環境の問題点，被害前後の対応策を把握する。さらに，2021年8月の大雨によって被災した佐賀県大町町の住宅を対象に，真菌汚染の実態を明らかにする。これらを踏まえて，復旧手法の有効性を評価することで，今後の浸水後の復旧マニュアルの整備に資することを目的とする。

1. 日本の水害対策に関する文献調査

1.1 流域治水²⁾

これまでの水災害では，治水・利水の管理といった土木分野が中心となった対策が行われてきた。今後も水災害の激甚化が予想される中で安全度の早期向上，整備の加速と対策手法の充実が必要とされている。総合的かつ多層的に取り組むよう，あらゆる分野の関係者との協働が求められている。特に，今までの対策の加速化に加えて被害対象を減少させるための対策・被害の軽減・早期復旧・復興のための対策が重視され，個々の住宅を対象とした対策も求められている。

1.2 建築物における電気設備の浸水対策ガイドライン³⁾

建築物における電気設備の浸水対策として事前対策と事後対策の2種類に分けて言及されている。浸水リスクを低減するための対策として，①水害リスクの少ない場所への電気設備の設置，②建築物内への浸水を防ぐ対策，③水防ライン内において電気設備等への浸水を防ぐ対策こと，また，浸水した場合の取り組みとして①電気設備の早期復旧のための対策，②非常用電源の設置及び燃料の備蓄等，③在監者に対する支援等が挙げられている。

2. 建築物への浸水対策に関する文献調査

2.1 浸水後の室内環境

浸水被害を受けた建築材料は，復旧後3カ月以上経っても室内空気環境の悪化に関与しており⁴⁾，浮遊真菌濃度は浸水後2年でようやく減少している⁵⁾。浸水被害は，アレルギー，呼吸器系の症状，結露，真菌の発生と関連している。湿気や水の侵入へ迅速に対応することで健康被害を低減することが可能になる⁶⁾。

2.2 復旧手法について^{7),8),9)}

浸水直後の復旧には以下に留意する。

- (1) 家財をそのまま使えるもの，洗浄することで使えるもの，使えないものに分ける。使える家具は，2階や別棟に移動させ，使えない家具は屋外に仮置きし，災害廃棄物として処分する。洗浄して使える家財は，フェノール・非アンモニア洗剤，市販クリーナー等で洗浄し，10%の漂白剤溶

表－1 実測対象住宅における復旧作業の進捗（2021年11月時点）*✓は実施したもの

	復旧作業の進捗																					
	壁					床					床下											
	部分解体	壁内部の洗浄	壁内部の消毒	部分解体した部位の養生	復旧工事完了	室内表面の清掃	室内表面の消毒	床の解体	根太、大引の清掃	根太、大引の消毒	根太、大引の乾燥	解体した部位の養生	復旧工事完了	断熱材撤去	泥の撤去	土間の清掃	土間の消毒	床組の清掃	床組の消毒	送風機設置	乾燥完了	
Ht邸	✓		✓			✓	✓		✓	✓	✓		✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
My邸	✓		✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nto邸	✓			✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nr邸						✓	✓		✓	✓	✓				✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
No邸																		✓	✓	✓	✓	✓

液で消毒することで、真菌の成長を抑制する。

- (2) 浸水から48時間経過すると真菌が発生しやすくなるため、できるだけ早く復旧作業を行う。
- (3) ファンや除湿器などを使用する前に、真菌が付着して拡散しないように確認する。
- (4) 建物内部を完全に乾燥させるには、3カ月ほどかかる。

3. 浸水被害後の住宅を対象とした実測調査

3.1 対象とする住宅

2021年8月の大雨により被災した佐賀県大町町の住宅の13戸を対象とした。表1に対象とした住宅の内5戸の復旧作業の進捗を示す。

3.2 調査方法

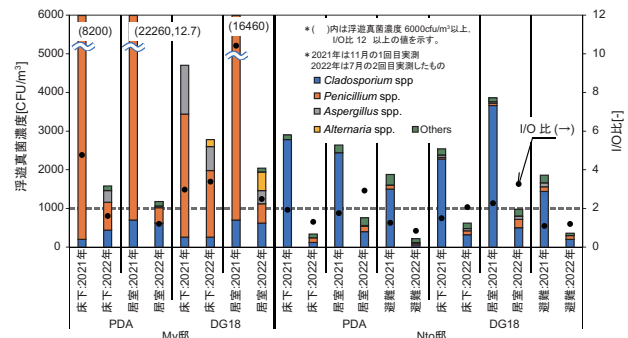
測定では、エアースンプラーを用いて空中浮遊真菌^{注1)}をPDA培地^{注2)}とDG18培地^{注3)}に捕集し、25℃に保たれたインキュベータの中で5日間程度培養し、真菌数を計測した。

3.3 調査結果

床を解体した住宅(My邸・Nto邸)と床を解体しなかった住宅(Nr邸・No邸)の浮遊真菌濃度とI/O比^{注5)}をそれぞれ図1、図2に示す。1回目の実測では、培地によらずMy邸、Nto邸の全ての計測箇所において環境基準値^{注4)}を超える浮遊真菌濃度、I/O比となった。図2に示す床を解体しない住宅(Nr邸、No邸)の1回目の実測では、培地によらずNr邸の全ての計測箇所において環境基準値を下回った。No邸では、両方の培地で床下においてのみ環境基準値を超えた。No邸では、床組の清掃・消毒のみが行われており、土間の清掃・消毒は行われていない。1回目の実測により、床下から耐乾性の*Aspergillus* spp. が大半を占めており、これは、土間の清掃・消毒を行わなかったことが原因と考えられる。つまり、床を解体することにより、床下の真菌が室内へ流入したことが推察される。このことから、床の解体を行わずに復旧作業を行うことが室内への真菌の流入を防ぐことができると考えられる。図3にHt邸の浮遊真菌濃度とI/O比を示す。

表－2 実測対象住宅の概要

	Ht邸	My邸	Nto邸	Nr邸	No邸
構造	鉄骨造	木造	木造	木造	鉄骨造
築年数[年]	24	50	88	25	10
床工法	根太工法	根太工法	根太工法	根太工法	剛床工法
床土間コンクリート	あり	あり	不明	あり	なし
床下換気	換気口	換気口	換気口	換気口	基礎パッキン
断熱材の種類(壁・床)	繊維系・発泡系	発泡系・発泡系	なし	繊維系・発泡系	発泡系・発泡系
床面からの浸水深さ[cm]	70	60	140	100	110
被害判定	半壊	半壊	中規模半壊	中規模半壊	中規模半壊
復旧避難場所	完了在宅	完了在宅	完了在宅	完了在宅	完了在宅
解体(壁・床)	あり・なし	あり・あり	あり・あり	なし・なし	なし・なし
実施した復旧項目数(家財・壁・床・床下)	1・2・6・5	1・3・7・5	1・2・6・5	1・5・5・5	1・0・0・3
含水率・大引き[%]	17.0	24.8	35.5	23.0	11.8
含水率・柱[%]	19.1	18.5	19.3	13.2	18.0
カビ臭・部屋	感じない	時々感じる	感じない	時々感じる	時々感じる
カビ臭・場所	感じない	一部の部屋で感じる	一部の部屋で感じる	一部の部屋で感じる	一部の部屋で感じる



図－1 浮遊真菌濃度とI/O比の測定結果(My邸・Nto邸)

1回目の実測において、両培地とも全ての計測箇所において、環境基準値を超える浮遊真菌濃度となった。しかしI/O比をみると、環境基準値の2以下となっており、屋外の影響を受けている。2回目の測定結果をみると、ほとんどの測定箇所において環境基準値を下回っている。また、図1のNo邸についても、1回目の実測では、Ht邸と同様に浮遊真菌濃度が環境基準値を超えており、I/O比も環境基準値を下回る結果である。2回目の実測では、浮遊真菌濃度は環境基準値を下回っている。これらのことから、浮遊真菌濃度が環境基準値を超えており、I/O比が

下回っている際には、外気真菌濃度も高く、真菌が室内に流入していることが考えられる。

4. まとめと今後の展望

国内外の文献調査を通して、浸水被害に対する国内での取り組みの現状、浸水被害後の室内環境上の問題点や浸水被害への対策を確認した。調査結果から、床の解体を行わずに床下を清掃・消毒をし、十分に乾燥をさせることが室内への真菌の流入を防ぐことにつながると考えられる。そのため、屋内の清掃を十分に行い、真菌が再発しにくい環境を整えることが重要だと考える。被災後の室内環境の調査例は極端に少ないため、今後も継続して被災現場に赴き、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

被災された現地の皆様、非営利団体 風組関東の小林様をはじめスタッフの皆様にご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 県大県-414号）を得て実施している。

注釈

- 注 1) 空中浮遊真菌とは、空気中に浮遊している真菌を指し、多孔板を通して寒天平板培地に定量のサンプリング空気を吹き付け菌を捕集する。
- 注 2) 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 3) 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 4) 環境基準値とは、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。
- 注 5) 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-A0002-2013 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。

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

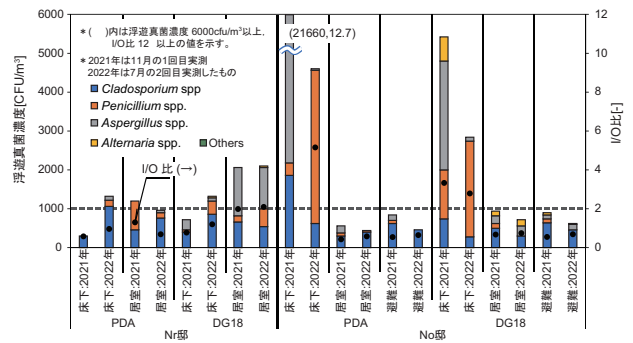


図-2 浮遊真菌濃度とI/O比の測定結果 (Nr 邸・No 邸)

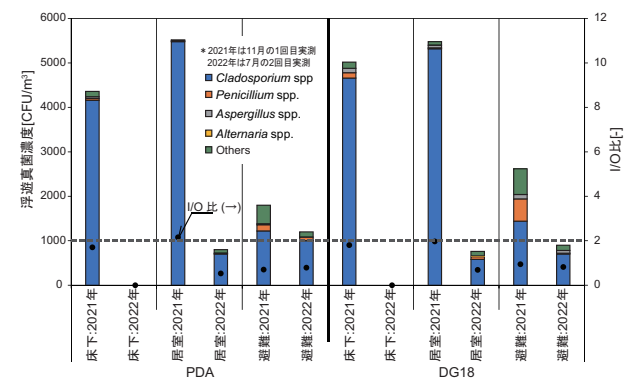


図-3 浮遊真菌濃度とI/O比の測定結果 (Ht 邸)

- 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) 国土交通省 水管理・国土保全局「流域治水」の基本的な考え方 ～気候変動を踏まえ、あらゆる関係者が協働して流域全体で行う総合的かつ多層的な水害対策～ 2020年7月.
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課 経済産業省産業保安グループ電力安全課 建築物における電気設備の浸水対策ガイドライン 2020年6月.
- 4) M. P. Fabian, S. L. Miller, T. Reponen, M. T. Hernandez. Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation, *Aerosol Science* 2005年5月.
- 5) Atin Adikari, Jocelyn Suzanne Lewis, Tiina Reponen, Enjoli C. DeGrasse, L. Faye Grimsley, Ginger L. Chew, Yulia Iossifova, Sergey A. Grinshpun. Exposure matrices of endotoxin, (1->3)-b-D-glucan, fungi, and dust mite allergens in flood-affected homes of New Orleans 2009年2月.

- 6) Eckardt Johanning , Pierre Auger , Philip R Morey , Chin S Yang , Ed Olmsted. Review of for response and recovery workers and volunteers after natural disasters, flooding, and water damage: mold and dampness 2013年11月 .
- 7) 公益社団法人長野県建築士会：令和元年東日本（台風19号）台風災害 復旧に向けたアドバイス資料【全編】，2021年4月 .
- 8) Federal Emergency Management Agency : Homeowner's Guide to Retrofitting 3rd Edition, 2014年6月 . 9) Federal Emergency Management Agency : After the Flood, 2013年1月 .

B-14

R3・R4 年度福島県沖地震による建築設備被害調査に関する研究

その1 調査概要と集計結果

○小林 仁 (仙台高等専門学校), 小林 光 (東北大学), 赤井 仁志 (東北文化学園大学)

Investigation of damage to building facilities caused by the R3 and R4 Fukushima

Prefecture Offshore Earthquake

Part 1 Survey overview and aggregated results

Hiroshi Kobayashi (NIT Sendai College), Hikaru Kobayashi (Tohoku Univ.)
and Hitoshi Akai (Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

キーワード：建築設備、地震被害、調査項目

1. はじめに

H7年の阪神・淡路大震災以降、H16年の新潟県中越地震、H23年の東日本大震災、H28年の熊本地震など、我が国は大規模な地震に見舞われている。今後も、南海トラフ地震、首都直下地震などの大地震の発生が懸念されている。

国土交通省では¹⁾、躯体の耐震化を目指し、H7年に「建築物の耐震改修の促進に関する法律・法律施行令・法律施行規則」など法規を整備している。また、「耐震性が不十分な既存住宅」・「耐震性が不十分な耐震診断義務付け建築物」を対象とした支援も行ってきた。これに伴い、建物の構造的耐震性が向上するなど、躯体の被害は減少している。その一方で、被災後の建物の利用再開の迅速さなど、建物のレジリエンスに関係する、建築設備の耐震性向上への関心が高まっている。

日本建築センターでは²⁾、建築基準法等の法規に応じた建築設備の耐震設計指針や施工方法を整備している。また、国土交通省・国土技術政策総合研究所では、公共建築を中心として震災後の建築設備被害調査も実施されている。然しながら、耐震対策に十分に結びついているとは云えない。

この理由として、躯体被害は全壊・半壊等統計化しやすいのに対し、設備被害は多岐にわたり、ライフサイクルは短く多様であるため、調査・情報共有は難しい。また、SNS等の普及により、不用意な被害情報の発信は風評被害を生みやすい。加えて、被災後の保険での修繕は、現状復帰が基本となり、被害情報発信を繰り返すことも懸念される。この様に、震災による設備被害の調査・情

報共有には制限が多いことが課題となる。

一方、BIM等に基づくIoT・DX化の促進により、建築設備分野でもセンシング・制御・デジタルツインの導入が進み、運用状況はもとより故障・損傷のリアルタイムの把握も実現されつつある。このため震災等の建物設備被害情報の調査・分析・共有は建物のレジリエンスに有用である。

以上鑑みて、本研究では、震災後の建築設備の被害に関する適切な調査・情報共有のための環境整備に資することを最終的な目的としている。

本報では、R3・R4 福島県沖地震の建築設備被災調査を実施した上で、その結果を共有するとともに、適切な調査方法を提案・検討している。


2. 調査方法

本研究での被害調査は、効率化・簡便性の観点から、震災後の建築設備修繕工事記録を基に、電子調査シートに記入する形式とする。

本報では、既往の調査結果³⁾を基に、仮の調査項目を定め、内容の記載は自由記述を基本として、関係機関から提供可能な情報を収集するとともに、情報の公開のレベルも調査している。それを基に、提供された公開条件の中で制限が一番厳しいレベル(無記入を除く)を満足する、分類項目を選定し、関係機関で検討して、調査項目を決定している。

この様に、適切な匿名性を確保できる調査・分類項目を定め、エクセルなど電子シート化することにより、震災後に速やかに情報を調査・分析・共有できる環境を整備することを考える。

表-1 調査シートのサンプル

設備被害調査票														
区分	被害設備	施設名称	所在地	建物用途	竣工年	構造	被害階	被害状況・所見	対応	写真	報告者	公開レベル選択	備考	
例	空調	天井扇	T大研究棟	仙台市青葉区荒巻	研究施設	1990	S	12	天井のずれによってフェースが落下。機能は維持しておりダクト健全。吊ボルト支障なし。一本吊である。	天井補修の上、再取り付けで復旧。		東北大学 小林光	【2】 頭文字+用途+市町村OK	
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														

・わかる範囲で記入ください。わからない場合は凡その情報や空欄でも結構です。
 ・施設名称など、記入者のコメントに応じて建物が特定されないための配慮など公開のレベルについて配慮します。(名称、住所など)

・被害状況と所見、対策が完了している場合には対応欄に記入ください。
 ・所見には、耐震対策などポイントとなる部分があれば記載をお願いします。(わかる範囲で結構です)
 ・可能な限り写真を付けてください。

・公開許可レベル等を記入願います。特別注意がある場合には備考に記載ください
 ・備考欄は、公開レベル以外にも必要な情報があればご記入ください。

・委員会にて追加ヒアリングをお願いする場合がございます。
 ・後日アクセス可能なように、ご所属とお名前を記入ください。

表-2 分類項目

分類項目	分類	公開
所在	①県区分：青森、岩手、秋田、宮城、山形、福島	OK
	②地域区分：宮城北部、宮城中部、宮城南部、福島浜通り、福島中通り、会津	OK
	③市町村区分	NG
	④住所	NG
用途	業務施設、商業施設、宿泊施設、商業系用途複合施設、住宅、共同住宅、店舗等併用住宅、店舗等併用共同住宅、作業所併用住宅、官公庁施設、文教厚生施設、運輸倉庫施設、工場、農林漁業用施設、供給処理施設、防衛施設、その他、空家	OK
設備	電気設備、照明設備、ガス設備、給排水設備、換気設備、空調設備、消火設備、排煙設備、汚物処理設備、煙突設備、昇降設備、被雷設備、自火報設備、その他	OK
箇所	機器・器具、基礎・架台、配管・ダクト・配線、その他	OK
被害	切断、損傷、落下(脱落)、その他	OK
対応	交換、補修、再取付、その他(未対応含)	OK
層階 ²⁾	上層階、中層階、地階・1階、その他(未詳含む)	検討中
耐震 ²⁾	耐震クラスS、耐震クラスA、耐震クラスB、その他(未詳も含む)	検討中
公開レベル	選択式：公開OK、頭文字+用途+市町村OK、用途+市町村OK、その他	

調査で用いたシートを表-1に示す。調査項目は、①区分、②被害設備、③施設名称、④所在地、⑤建物用途、⑥竣工年、⑦構造、⑧被害階、⑨被害状況・所見、⑩対応、⑪写真、⑫報告者、⑬公開レベル選択、⑭備考の14とし、①・⑬のみ選択式、他は自由記述式としている。

調査の結果、公開レベルでは「公開 OK」の建物はなく、全ての建物で「匿名での公開」が要望されている。このため、匿名性に関わる③・④・⑤・⑧・⑪・⑫の内、③・⑪・⑫は項目から外し、④・⑤は適切な分類項目を設定し直し、⑧は分析との関連性も考慮して、今後検討することとする。

分類項目は表-2の通り、所在(県・地区(3分類))、施設(国交省用途⁴⁾19分類)、設備(14分類)、箇所(4分類)、被害(4分類)、対応(4分類)の6である。

3. 分類結果

3.1 件数

R3・R4年度の福島県沖震災を対象とした調査協力件数は、R3年度128件、R4年度117件であった。

3.2 所在

図-1の通り、R3は宮城102件、福島25件、未詳1件、R4は宮城80件(中部74件、南部5件、不詳1件)、福島36件(中通29件、浜通7件)、青森1件である。建物の8割程が宮城中部に在する。

3.3 施設

図-2の通り、R3は、文教厚生90件、商業15件、工場9件、業務6件、宿泊5件、官公庁1件、運輸倉庫1件の順で、不詳1件、R4は、文教厚生38件、工場35件、業務15件、共同住宅10件、運輸倉庫9件、商業8件、供給処理施設2件の順となる。文教厚生等の公共性の高い施設のデータが多く提供されていることがわかる。

3.4 設備

図-3の通り、R3は、空調51件、給排水28件、照明13件、換気12件、電気9件、他9件、消火2件、排煙2件、ガス1件、自火報1件の順である。一方、R4は、空調38件、給排水26件、他21件、電気17件、照明10件、消火2件、ガス1件、換気1件、排煙1件の順となっている。

給排水・空調など質量が大きい(液体内包)設備での被害が多い。R4の「他」は、天井・壁落下(6件)等、規模が大きく、複合した事例がより多く含まれることが特徴である。

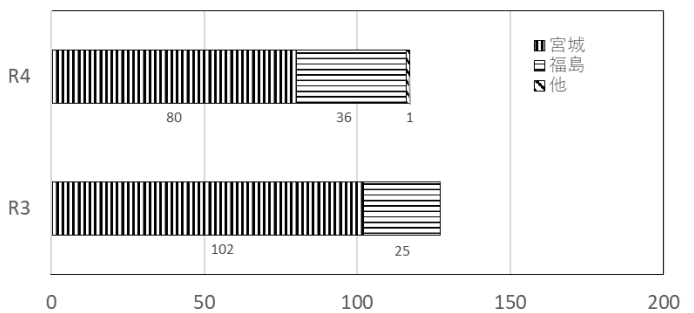


図-1 所在別の件数

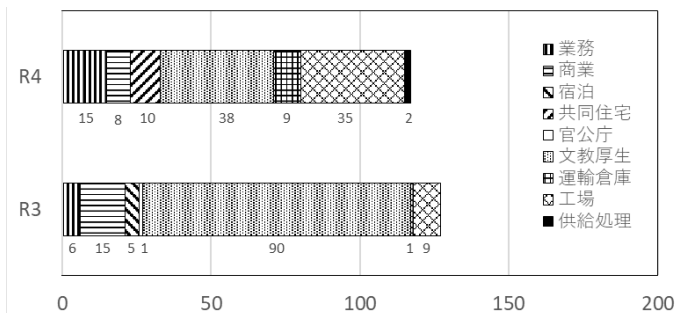


図-2 施設別の件数

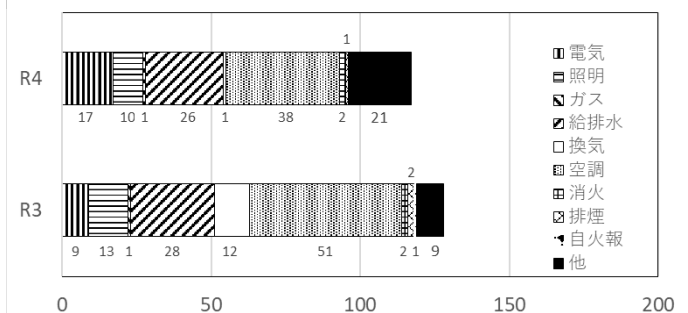


図-3 設備別の件数

3.5 箇所

図-4の通り、R3は、機器・器具60件、配管・ダクト・配線51件、基礎・架台12件、他5件の順、R4は、機器・器具42件、配管・ダクト・配線38件、他19件、基礎・架台18件の順となる。

機器・器具、配管・ダクトなど質量が大きい箇所での被害が大きい。R4の「他」は、天井・壁落下等(10件)の複合事例がより多く含まれる。

3.6 被害

図-5の通り、R3は、損傷55件、落下(脱落)35件、切断26件、他9件、転倒3件の順、R4は、落下(脱落)36件、他32件、損傷31件、切断17件、転倒1件の順となる。R4の方が被害は大きい傾向にある。R4の「他」は「ずれ」が多い。

3.7 対応

図-6 の通り、R3 は、交換 102 件、再取付 11 件、他(未対応含)8 件、補修 7 件の順、R4 は、交換 51 件、補修 27、再取付 22、他(未対応含)17 の順となる。R3・R4 とともに概ね対応が済んでいるが、R3 は相対的に交換した事例が多い。

4. 簡易分析

4.1 R3・R4 地震の特徴⁵⁾

R3 の地震の規模はマグニチュード 7.3、震度は宮城(中部 5 強～5 弱、南部 6 強～5 強)、福島(中通・浜通 6 強～6 弱)、長周期地震動階級は宮城(中部 2、南部 3)、福島(中通 4、浜通 3)であった。

R4 は、マグニチュード 7.4、震度は宮城(中部 6 弱～5 強、南部 6 強～6 弱)、福島(中通 6 強～5 強、浜通 6 強～6 弱)、長周期地震動階級は、宮城(中部 3、南部 3)、福島(中通 3、浜通 3)であった。

4.2 R3・R4 地震と被害の関係

建物の多くが在する宮城中部では、R3 と比して R4 の方が、震度・長周期地震動階級とも大きく、天井壁落下など規模・被害ともに大きい傾向がある。一方、福島中通では、R4 の方が、震度・長周期地震動階級ともに小さい傾向にあるが、被害に顕著な差異は認められない。

これより、件数が十分でなく、建物・所在・施設に差もあるため断定的なことは云えないが、震度 5 弱から 5 強、長周期地震動階級 2 から 3 の間で、被害が大きくなる傾向が認められる。このように今回提案した調査分類でも地震の特性と被害の関係をある程度分析できていると考える。

5. おわりに

本研究では、震災による建築設備被害の適切な調査・情報共有のための環境整備を目的とし、本報では、R3・R4 福島県沖地震の被害調査を行い、調査・分類項目の検討、分類・分析を行った。その結果、震度・長周期地震動階級と被害に関係性が見られるなど、提案した分類で、地震特性と被害の関係がある程度分析できることを確認した。

今後は、表-2 の通り「建築設備耐震設計・施工指針」²⁾等を基に、耐震設計・施工(4 分類)、階数(4 分類)の項目を追加するなど、分析の精度向上を検討した上で、選択式・調査シート等にまとめ、地震被害の統計的データを地震後速やかに共有で

きる調査方法の整備を進めていく計画である。

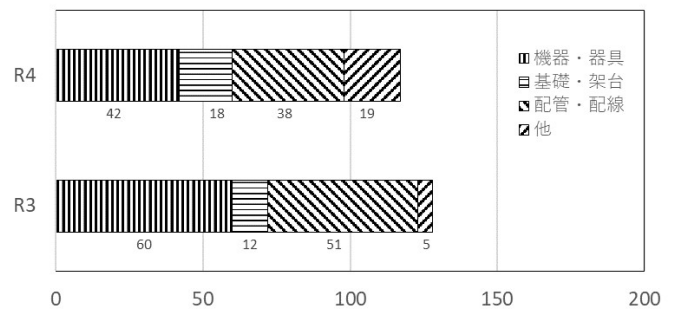


図-4 箇所別の件数

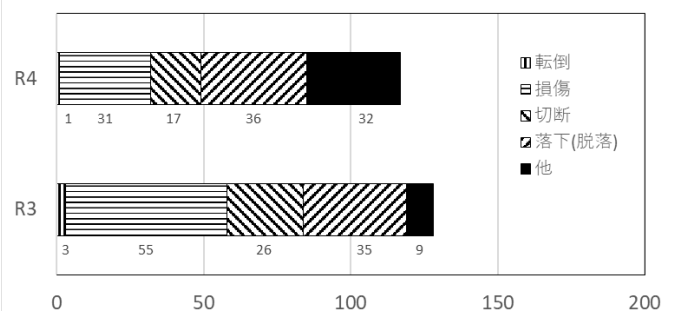


図-5 被害別の件数

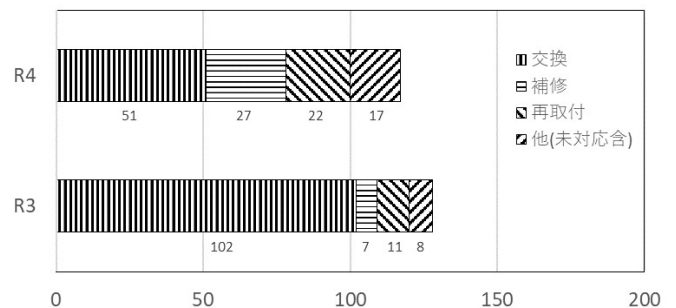


図-6 対応別の件数

参考文献等

- 1) 国土交通省 HP (<https://www.mlit.go.jp/>)
- 2) 日本建築センター:「建築設備耐震設計・施工指針(2014 年度版)」
- 3) 空気調和・衛生工学会東北支部・建築設備技術者協会東北支部の合同委員会:「東日本大震災以後の新築建築物における建築設備の震災等防災対策調査」(2017 年 4 月～2021 年 3 月)
- 4) 国土交通省 HP(<https://www.mlit.go.jp/toshi/tosiko/content/001407542.pdf>)
- 5) 気象庁 HP (<https://www.data.jma.go.jp/multi/quake/index.html?lang=jp>)

R3・R4 年度福島県沖地震による建築設備被害調査に関する研究

その2 貯水槽の崩壊、断水と飲料水の確保

○赤井 仁志 (東北文化学園大学), 平野 廣和 (中央大学),
小林 仁 (仙台高等専門学校), 小林 光 (東北大学)

Investigation of Damage to Building Facilities Caused by the R3 and R4 Fukushima
Prefecture Offshore Earthquake

Part2, Collapse of Water Reservoirs, Cutoff of Water Supply and Securing of Drinking Water

Hitoshi Akai (Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Hirokazu Hirano (Chuo Univ.)
Hiroshi Kobayashi (NIT Sendai College) and Hikaru Kobayashi (Tohoku Univ.)

キーワード：地震被害 貯水槽 飲料水確保

はじめに

この十数年間、東北地方南部の太平洋側で大きな地震が多発している。東北地方では、日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震、宮城県沖地震、長町一利府線断層帯による地震等が予想されている。大地震が発生すると、公共インフラ側の被害により、断水が1週間以上続く。

最低限の衛生的な生活を営むためには、飲料水を含む上水の確保が重要である。2022年3月16日に発生した福島県沖地震でも高置水槽等の貯水槽が破損して、貯めておいた上水が使えなくなった事象が報告された。これまでの地震では、病院の貯水槽が被害に遭い、大量の水が必要な人工透析ができなくなった事例も発生した。

1. 大規模地震による断水と貯水槽の設置状況

東日本大震災までの約半世紀間の大規模地震での各ライフラインの復旧日数を表-1に示す。貯水槽の容量設計は、受水槽が1日の使用水量の1/2、高置水槽が1/10とすることが多い。上水道の復旧には、長い時間を要する。上水道の復旧までの期間中に使用する上水を賄うことは不可能であるが、給水車等による応援までに使用できるように、可能な限り貯水容量を多めにすることが大切である。

便器や水栓等の衛生器具の節水化が進み、施設全体での使用水量の漸減により、貯水槽の水位を下げたり、中仕切りのある貯水槽では片側のみを使用したりする事例があると聞く。残留塩素濃度の低下を招かないための措置ではあるが、望まし

い措置とは言えない。

東日本大震災の後、岩手県、宮城県、福島県の被災3県で新たに建設した公共建築物の震災等防災対策に対するアンケート調査を行った。回答のあった70施設のうち、受水槽のある施設は44(63%)、受水槽を屋外に設置した施設が28、水槽回りに緊急遮断弁を設置した施設が36であった。つまり、受水槽を設けた施設のうち約6割が屋外に設置していた。⁶⁾

2. 貯水槽の崩壊の現象と対策

これまで貯水槽の破損は、スロッシング現象(Sloshing Vibration)によるものが主要因として認識されてきた。比較的長周期の振動により水槽内の水が揺動して、水槽の天井面や側面上部が破壊するものである。スロッシングは、液体が持つ固有振動数と地震による振動とが一致した時に大きな揺動が起き、水槽の上部を破損・損傷させることが多い。スロッシングは、浮体式波動抑制装置を貯水槽内に設置することで現象を大きく減少させることができる。浮体式波動抑制装置は、施工性が容易で、経済性や衛生面でも優れている。

この他、バルジング現象(Bulging Vibration)により、水槽下部を中心とした側板や隅角部が破損する事例が報告されている。側板が、弾性体として変形しながら振動を発生する現象である。バルジングは、貯水槽内の流体が移動することで生じる繰り返し発生する衝撃力が発生時の超震源となる。側板パネルが液体と接して振動して、側板が

弾性体として変形しながら振動する連成振動で、スロッシングとは性状が異なる。写真-1は、2022年3月に発生した福島県沖地震により、側板が損壊した高置水槽の事例である。現行の設計指針が静的な荷重状態として扱い検討してきたため、貯水槽の設計に反映されて来なかったと推察される。

2011年3月の東日本大震災や2016年4月の熊本地震では、スロッシングとバルジングが同時に発生したと考えられる損壊も見られた。

貯水槽の耐震設計基準は、素材の種類に応じて水槽を製造している関連業界ごとに設立された協会です自主的に作成されている。この基準は、FRP水槽耐震設計基準が基本になっており、SUSタンクと鋼板タンクの特徴を加味して基準としている。FRP製貯水槽は、水の浸透や日光への暴露等により物性値が低下するために、耐用年数を15年として設計している。耐震性は、製造各社や各工業会が制定する強度計算・設計に則っており、広くオーソライズされたものではない。バルジングによる損壊を防ぐのには、実証試験により剛性の高い鋼板製一体型が有利であることが分かっている。

3. 水質保全対策を講じた貯水率向上

今後、日本国内で発生が予想されている南海トラフ地震や日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震等により、文教施設や医療施設等が避難所になることを想定すると、貯水槽の高剛性化に併せて、貯水のポーラログラフ方式残留塩素濃度計による残留塩素濃度の自動管理を行い、貯水率を向上させて貯水容量を下げない方向を目指すのが、あるべき姿だと考える。

表-1 各ライフラインの復旧日数³⁾

	発生年月	電気	水道	ガス	
新潟地震	1964.6	5	90	180	
宮城県沖地震	1978.6	2	11	27	
日本海中部地震	1983.5	0.5	19	30	
釧路沖地震	1993.1	1	4	22	
阪神・淡路大震災	1995.1	6	60	90	
東日本大震災	2011.3	4	35	32	75%復旧日数
		7	41	35	90%復旧日数



写真-1 バルジングによる高置水槽側面の損壊(富谷市内)

参考・引用文献

- 1) 赤井仁志, 渡辺武彦: 給排水設備の被害(5月26日)・給排水設備の被害(7月26日), 2003年5月26日宮城県沖の地震災害調査報告書・2003年7月26日宮城県北部の地震災害調査報告書, 日本建築学会, pp.125~129・pp.281~287, 2004年3月
- 2) 赤井仁志, 草刈洋行: 給排水衛生設備、建築編8(建築設備・建築環境)、東日本大震災合同調査報告書, 日本建築学会・土木学会・日本地震学会・地盤工学会など8学会合同, pp.33~40, 2015年5月
- 3) 渡邊浩文: 都市設備被害の概要、建築編8(建築設備・建築環境)、東日本大震災合同調査報告書, 日本建築学会・土木学会・日本地震学会・地盤工学会など8学会合同, pp.57~61, 2015年5月
- 4) 赤井仁志: 建築設備の地震被害から見た防止対応の留意点, 空気調和・衛生工学, 第89巻, 第9号, pp.801~806, 2015年9月
- 5) 平野廣和, 水谷国男: 最近の貯水槽地震被害の特徴とスロッシング・バルジングの影響—巨大自然災害に備えた貯水槽の耐震設計のあり方, 空気調和・衛生工学, 第93巻, 第1号, pp.3~12, 2019年1月
- 6) 空気調和・衛生工学会東北支部, 建築設備技術者協会東北支部合同委員会(委員長:岡田誠之): 東日本大震災以降の新築建築物における建築設備の震災等防災対策調査, 公共建築, 第63巻, 第1号, pp.46~63, 2021年5月
- 7) 赤井仁志, 平野廣和: 地震による貯水槽の崩壊予防と水質保全対策, 第50回建築物環境衛生管理全国大会, pp.86~87, 2023年1月

L-1

温泉ホテル 八幡屋 帰郷邸 温泉設備の源泉の有効利用と排湯の熱利用

空気調和・衛生工学会 第36回振興賞技術振興賞受賞

温泉ホテル 八幡屋 帰郷邸
温泉設備の源泉の有効利用と排湯の熱利用

井口 勉

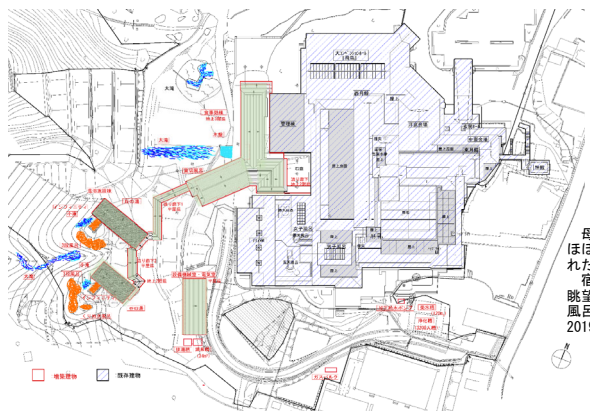
総合設備コンサルタント

2023年3月3日



温泉ホテル 八幡屋 帰郷邸

配置図



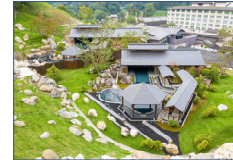
母畑温泉八幡屋全体配置図

母畑温泉八幡屋は、福島県のほぼ中央に位置する里山に囲まれた大規模温泉ホテルである。宿泊客・日帰り客を対象に、眺望のよい斜面を利用した露天風呂・お休み処の温浴施設を2019年7月に増築オープンした。

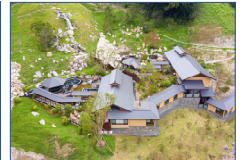
はじめに



八幡屋全景



谷の湯・丘の湯



谷の湯・丘の湯



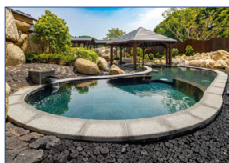
丘の湯



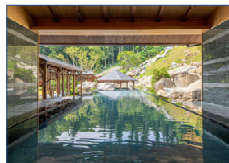
丘の湯



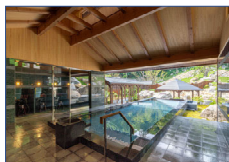
丘の湯



丘の湯 写真-7



インフィニティ 写真-8



インフィニティ 写真-9



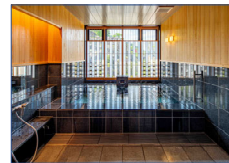
谷の湯テラス 写真-10



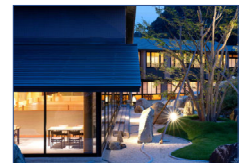
食事処全景



食事処



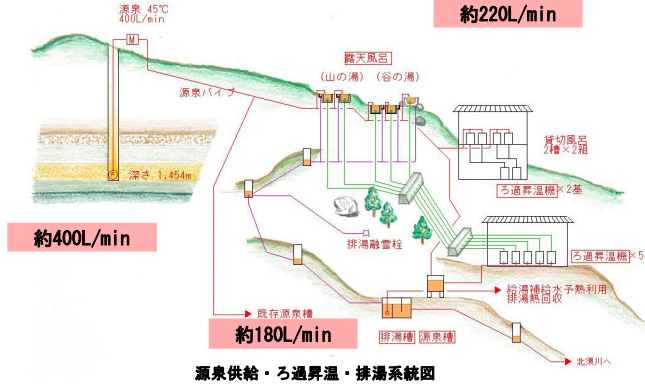
貸切風呂



食事処

温泉ホテル 八幡屋 帰郷邸 温泉設備の源泉の有効利用と排湯の熱利用

1. 露天風呂への源泉供給設備



1. 露天風呂への源泉供給設備

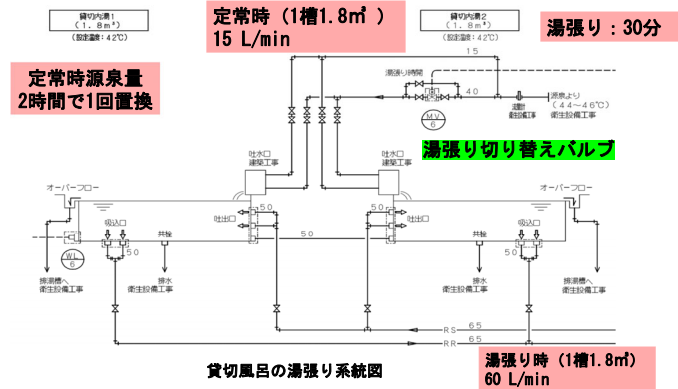
設備名	最高給湯温度 (°C)	水温 (°C)	設備容量 (L/min)	湯水量 (L/min)	源泉量 (L/min)	計算式
山湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	80.0 (L/min)
谷湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	115.0 (L/min)
露天風呂	45.0	32.0	7.5	75.0	3.5 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	5.0 (L/min)
山湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	144.0 (L/min)
谷湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	125.0 (L/min)
露天風呂	45.0	32.0	7.5	75.0	3.5 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	214.0 (L/min)
山湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	2.3 (L/min)
谷湯	45.0	32.0	8	80.0	38.0 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	1.3 (L/min)
露天風呂	45.0	32.0	7.5	75.0	3.5 (45°C×1000 L×1.8m³)÷60min	2.4 (L/min)
源泉量					173.4	
計 (合計)					398.1	

源泉の分配量

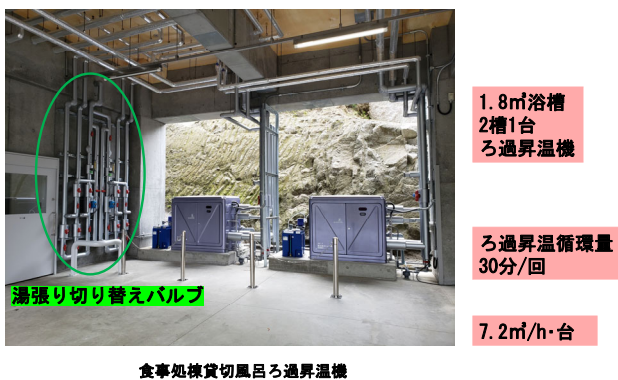
1. 露天風呂への源泉供給設備



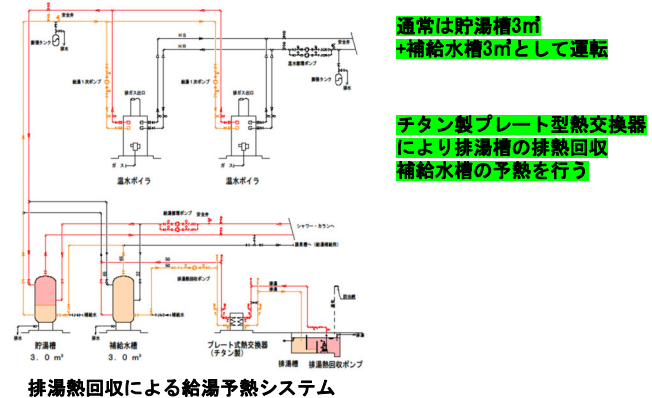
2. 食事処棟貸切風呂への源泉供給設備



2. 食事処棟貸切風呂への源泉供給設備

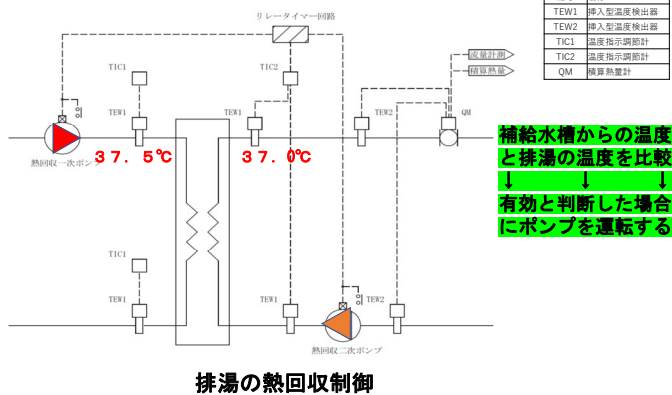


3. 排湯熱回収による給湯予熱システム



温泉ホテル 八幡屋 帰郷邸 温泉設備の源泉の有効利用と排湯の熱利用

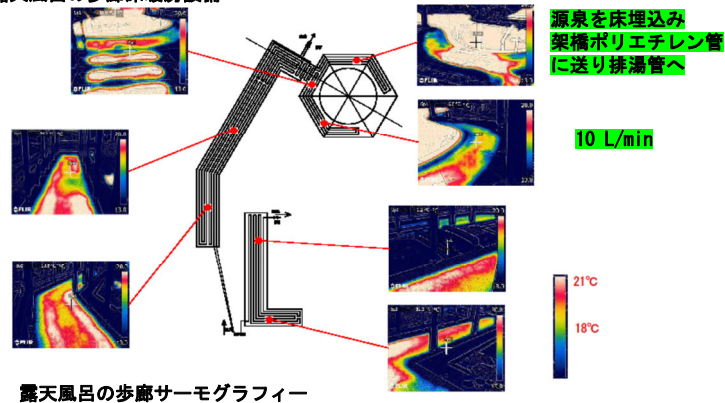
3. 排湯熱回収による給湯予熱システム



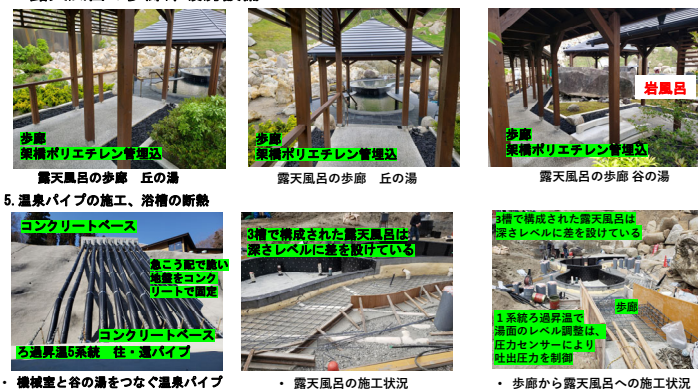
4. 露天風呂の歩廊床暖房設備



4. 露天風呂の歩廊床暖房設備



4. 露天風呂の歩廊床暖房設備



おわりに

温泉地の温浴施設では、豊かな源泉を露天風呂や源泉かけ流しで楽しむことが醍醐味ではありますが、今後カーボンニュートラルな社会の実現を目指す上で、温泉の醍醐味を損なうことなく源泉の持つ熱エネルギーを有効利用し、省エネルギーに配慮した温浴施設を整備していくことは設備技術者の社会的使命と考えられます。本事例では、源泉の持つ熱エネルギーの有効利用により省エネルギーへの貢献を図ると共に、光熱水費の抑制により経営上の改善にも貢献できたと考えます。

L-2

いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

大成建設株式会社 田村 健

発注者：いわき市
 実務設計：大成建設株式会社一般建築工務所
 株式会社祥設計
 建築設計：大成建設株式会社東北支店
 空調・衛生工：新設冷熱工機株式会社
 電気施工：東邦電気工事株式会社
 エネルギーサービス事業者：東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社(TGES)



プロジェクト概要

はじめに

いわき市医療センターは、老朽化した病院(28床)を同敷地に建替えた福島県に立地する700床の総合病院である。新病院は「災害に強く市民に愛される高度先進医療施設」というコンセプトのもと、災害時に医療活動を継続できる建物(災害拠点病院)として計画された。東日本大震災にて原子力発電所の影響を受けたこともあり、**通常の停電、火災に加え除染スペースを設けるなど、原子力災害も想定した点が特徴**である。病院機能の充実や環境性能を向上に注力し、また、省エネルギー運用を見据え、エネルギーサービス(以降ES)事業を導入している。



設備計画

新病院の機能の集約化により、より多くの駐車場のスペースを確保するとともに、敷地内に植栽や緑地を整備することで景観にも配慮した。構内には、敷地北側の国道6号と敷地東側の市道を結び、主軸となる道路を整備することで、利用者の経路が分散され利便性を向上させています。また、将来を見据え、西側への増築や、全面建替が可能な設備計画としている。



02

プロジェクト概要

施設概要

○建築概要

建物名称：いわき市医療センター
 所在地：福島県いわき市内郷御前町久世原16
 基本設計：株式会社祥設計
 実施設計：大成建設株式会社一般建築工務所
 施工：大成建設株式会社東北支店
 建物用途：病院(病床数700床)
 敷地面積：73,036.14㎡
 建築面積：13,110.29㎡
 (うち、新病院棟11,038.76㎡)
 延床面積：64,286.88㎡
 (うち、**新病院棟62,741.46㎡**)
 階数：地上13階(屋上ヘリポート)
 建物高さ：56.68m
 構造：【病院棟】鉄骨造(一部CFT柱)13階(免震構造) 【リニアック治療棟】鉄筋コンクリート造1階(耐震構造)
 工期：2015年9月～2018年9月(病院本体)

○空調設備概要

・熱源設備：
 空冷ヒートポンプ式チリングユニット
 (150kW×17台、冷媒16台・暖専1台)
 ガス焚吸収式冷温水発生機
 (1,125kW(320RT)×2台)
 ・空調換気設備：
 外来共用：外調機+FCU
 外来診察室：外調機+FCU、外調機+空冷PAC
 幹部諸室、医局、事務室等：外調機+FCU
 特殊：全外気空調+FHコイル
 病棟：外調機+空冷PAC
 透析、化学療法
 吹出口一体型天井**連続空調**システム
 講堂：AHU+空気式**床下空調**システム
 食堂、ラウンジ
 冷温水+空気式**床下空調**システム
 ・脱臭設備：**オゾン脱臭装置**
 ・排煙設備：自然排煙、機械排煙
 ・自動制御設備：自動制御+中央監視+BEMS

いわき市医療センター

03

プロジェクト概要

施設概要

○衛生設備概要

- 給水設備
市水、銅板製一体型受水槽+加圧給水方式
- 給湯設備
中央給湯方式
真空式温水機(A重油・中圧ガス切替専焼)
コーゼネレーション排熱、本燃熱パネル
- 給蒸設備：貫流式蒸気ボイラー
- 排水設備：汚水、雑排水、感染、検査、透析、F、H、ホルマリン、厨房、高温
- ガス設備：中圧ガス
- 消火設備：スプリンクラー、屋内消火栓
連結送水管、簡易自動消火、移動式粉末、ハロゲンガス消火
- 衛生器具設備：節水型器具
- 厨房器具設備：電気+ガス冷却、換気天井方式
- 排水処理設備：感染、検査+人工透析、F、H
- 医療ガス設備：酸素、空気、吸引、炭酸ガス、窒素、麻酔ガス排除設備
- 本燃熱利用設備：給湯器適用**

○電気設備概要

- 受変電設備：6.6kV2回線受電
- 発電機設備：非常用6.6kV1250kVA×2(CGS)(ガスタービン)
72時間以上電力供給
常用370kW×1(ガスエンジン)
- 直流電源設備：長寿命型MSE
- 無停電電源設備：医療用計860kVA
- 太陽光設備：結晶系シリコン20kW
- 昇降機：エレベーター
乗用、寝台用、人荷用 15台
非常用 2台
エスカレーター 2台
小荷物専用 3台



建屋外観写真

いわき市医療センター

04

建築計画コンセプト

建築計画のコンセプトと建築概要

■建築計画のコンセプト

以下の4つの設計コンセプトのもと、高度で最先端の医療を提供できる地域の中核病院として計画した。

機能的で使いやすい病院

- 主要な機能の集約化、中央化
- 一般利用者と職員の動線の分離
- 関連する部門の近接配置
- 目的に応じたエレベーターの設置

1

患者中心の病院

- プライバシーに配慮した個室の整備(増床)
- 迷わない動線やサイン計画
- 癒しの環境を創るインテリア計画
- カフェ、コンビニ、食堂などの利便施設の充実

3

災害に強い病院

- 免震構造の採用
- 72時間以上のインフラ途絶対策
- 災害時病床機能や活動スペースの確保
- ヘリポートの設置

2

働く人にとって魅力ある病院

- 図書室、トレーニングラボなどの学術・教育施設の充実
- 保育所など福利厚生施設の充実
- 多目的利用が可能な講堂の設置

4

いわき市医療センター

05

いわき市医療センターの設備計画
～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

建築計画コンセプト

建築計画のコンセプトと建築概要

- 1階平面計画
玄関ホールには、県産の天然木材等を使用し、印象的な仕上げの吹抜けを配置することで、施設全体の清々しいイメージを演出した。また、災害時にはトリアージスペースとしても活用できる広さを確保するとともに、正面玄関近くに多目的利用可能な300人収容の講堂を配置し、災害時やパンデミック時にも利用できるスペースとして整備した。
- 2階平面計画
幅7mのホスピタルストリートや幅3mのサブストリートに隣接して外来部門等を配置することにより、わかりやすい動線を確保している。また、ホスピタルストリートには、災害時に患者収容スペースとして利用できるよう、医療ガス設備や非常用コンセントを計画した。
- 3階平面計画
敷地の高低差を利用し、外部からの出入口を設けるとともに、供給部門を集約配置し、物品の搬出入の効率化を図った。



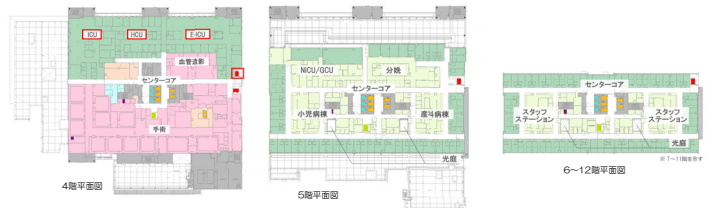
いわき市医療センター

06

建築計画コンセプト

建築計画のコンセプトと建築概要

- 4階平面計画
手術部門と集中治療室（ICU・HCU・E-ICU）を隣接させ、術後のフォローにも配慮した。また、1階の救命救急センターや屋上のヘリポートと専用のエレベーターで接続することにより、迅速な医療活動を可能にした。
- 5階平面計画
地域周産期母子医療センターのフロアとして、産科病棟や分娩室・NICU・GCU及び小児病棟を集約して配置している。産科病棟（分娩）に近接し、NICU・GCUを配置することにより、各部門の連携を図った。
- 6～12階平面計画
6階～11階 一般病棟及び緩和ケア病棟（7階）を配置
12階 一般病棟及び結核・感染症病棟を配置
火災発生時には、防災区画の壁で東西のブロックに分けるとともに、中央に各区画から避難できる安全な区画を設けた。安全区画への誘導により、すべての人の安全な避難を可能としている。

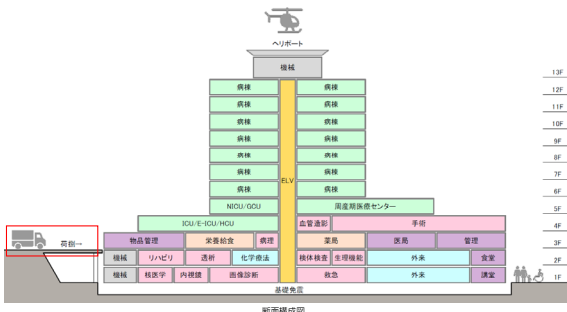


いわき市医療センター

07

建築計画コンセプト

建築計画のコンセプトと建築概要



いわき市医療センター

08

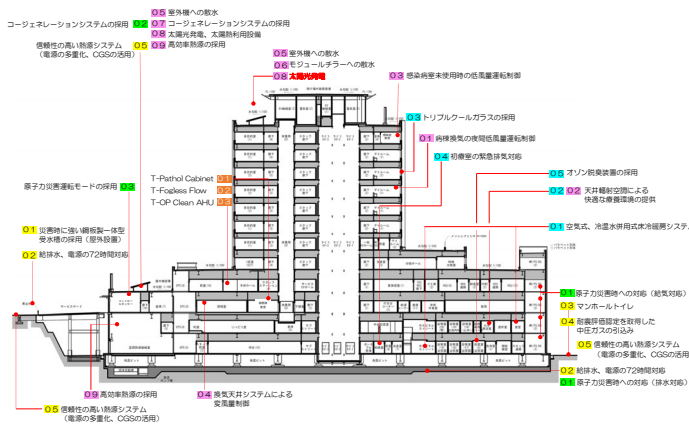
プロジェクト概要

設備のメインテマ

- 1.原子力災害への備え
原子力災害モードの設定、放射性物質流入低減及び漏洩の確保、汚染された排水への対応
- 2.病院機能を高める大成建設オリジナル技術の採用
ケミカルハザードからの脱却 T-Pathol Cabinet（病理検査室に導入）
清掃可能な手術室用空調機 T-OP Clean AHU（OP室13室に26台設置）
線控線の結露防止空調システム T-Fogless Flow（OP室2室に導入）
- 3.快適性、環境性能を向上させるための取り組み
厨房換気天井システム、床冷暖房システム、天井輻射空調システム
快適性向上技術の採用：初療室の緊急排気対応、オゾン脱臭装置、トリフルルオールガラス
病棟変風量制御による省エネルギー運用、超節水病院の実現、CASBEE Sランク認証取得
- 4.東日本大震災の経験によるレジリエンス強化対策
災害に強く信頼性の高いインフラ（72時間を超える事業継続のための取り組み）
信頼性の高い熱源システム（電源の多量化、CGSの活用）、屋外のトイレ対応
- 5.初年度からのチューニングによりエネルギー使用量約8%削減を実現したエネルギーサポート運用
エネルギーサービス事業、エネルギーサポート体制、ベストミックス熱源計画
- 6.エネルギー利用状況の分析
運用時のエネルギー消費状況の分析、コロナウイルス対応時期のエネルギー消費量への影響分析、省エネルギー運用の検証

09

設備計画コンセプト



010

原子力災害への備え

原子力災害の運用方針

- 「原子力災害」とは
放射能物質が大気に拡散かつ全てのインフラが途絶した状態を示す。
- 原子力災害期間中の病院の運用方針
病院の対応としては患者を汚染区域から区域外に避難させるまでの延命運用（約5日間を想定）を行う。その間は原則として新たな外来患者、急患の受け入れないこととする。
↑被災時の患者数、運用部門が異なるため、インフラ途絶時の3日間より長い運用可能となる。

011

いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

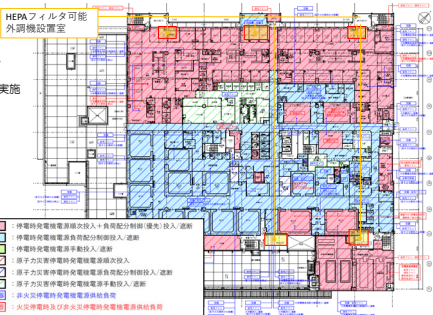
原子力災害への備え

原子力災害時の運転機器の整理と運用方法

■運転機器の整理
災害時に運転する系統や機器は、災害パターン毎に平面図及びエアフローで色分けを実施（図-04-1、2参照）。
図面として整備し、引き渡すことで、災害時にスムーズに運用できるよう配慮した。制御を行う上での災害パターンの優先順位は、**火災＞原子力災害＞停電**として運用を計画した。

原子力災害時の運用方法

ヒューマンエラーによる事故を無くするため、換気設備及び空調設備のOFF/ON運転は、モードの設定により極力自動で運用可能な計画をした。
Step1 中央監視にて原子力災害指令
Step2 原子力災害時の運転に必要な対応を実施
Step3 原子力災害モードで運転開始



012

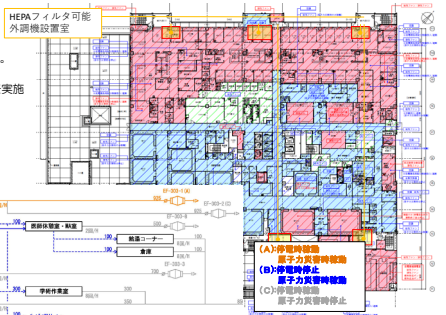
原子力災害への備え

原子力災害時の運転機器の整理と運用方法

■運転機器の整理
災害時に運転する系統や機器は、災害パターン毎に平面図及びエアフローで色分けを実施（図-04-1、2参照）。
図面として整備し、引き渡すことで、災害時にスムーズに運用できるよう配慮した。制御を行う上での災害パターンの優先順位は、**火災＞原子力災害＞停電**として運用を計画した。

原子力災害時の運用方法

ヒューマンエラーによる事故を無くするため、換気設備及び空調設備のOFF/ON運転は、モードの設定により極力自動で運用可能な計画をした。
Step1 中央監視にて原子力災害指令
Step2 原子力災害時の運転に必要な対応を実施
Step3 原子力災害モードで運転開始



013

原子力災害への備え

放射性物質流入低減及び圧圧の確保

■圧圧の確保
原子力災害が発生した際に、空調機にHEPAフィルタを設置可能な計画とした。放射性物質が付着した塵埃等を除去するため、HEPAフィルタでろ過した外気を供給し、排気ファンを停止する。建物全体の圧圧を確保し、除外からの放射性物質の流入の防止を図っている。（図04-2）いつでもすぐに設置できるようにHEPAフィルタの予備品は必要数（1回分）を納めている。

HEPAフィルタの工夫

災害時の繁忙期に手回しかららず、容易にHEPAフィルタを設置できる構造を作り上げた。HEPAフィルタが入り易く（滑り易く）するためステンレス製のフィルタボックスとし、ボックスとフィルタ押さえ枠を一体化することで、フィルタ挿入時のクリアランスを確保し目視スペースを確保した。調整ボルトによるフィルタの締め付け調整を目視しながらできるようにした。（写真04-1、2）

換気の運用手回し

中央監視からの原子力災害指令の元、給排気設備を停止。運転対象の外調機にHEPAフィルタを設置後、原子力災害モードで機器の運転を開始する。
HEPAフィルタ分の圧力損失が増え給気量は減少するが、病院内の確保圧確保が主目的であるため、運用上問題ないと判断した。

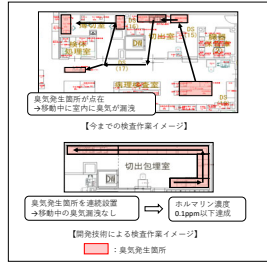


014

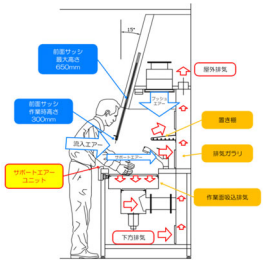
病院機能を高める大成建設オリジナル技術の採用

ホルムリン濃度0.1ppm以下を実現するシステム病理検査台(T-Pathol Cabinet)

■開発経緯
●病院検査室に求められる室内環境
検体の感染防止のために使用するホルムリンは特定化学物質障害予防規則に規定された許容濃度0.1ppm以下とすることが求められている。
●検査方法の課題
多くの病院では検体採取装置や脱臭装置による対策を講じているが、ホルムリン有用箇所が存在しており、作業時の移動の際にホルムリンが濃縮し、安全でない作業環境である状況が散見される。



015



016

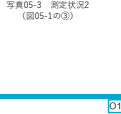
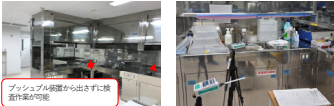
病院機能を高める大成建設オリジナル技術の採用

ホルムリン濃度0.1ppm以下を実現するシステム病理検査台(T-Pathol Cabinet)

■結果と運用改善・評価
●表05-1、図05-1にホルムリン濃度測定ポイントと測定結果を示す。特殊な検体下位の作業室において、0.1ppm以下を確保した。特殊な設備が発生しないよう以下の通り、運用改善を依頼した。
●検体にあたっては本病院の病理検査の技師の協力、助言をいただき、仕様を決定した。運用後のヒアリングにて、満足していることを確認した。
●一時的な大量のホルムリンを流す作業が多く高濃度化（表05-1③）は、運用にて一度に流すホルムリンの量を制限していただくこととした。
●フロン上のホルムリンを拭いたタオル（表05-1④）は装置内に置くよう運用改善を依頼した。

表05-1 ホルムリン濃度測定結果

測定位置	測定日時	測定結果	備考
1	13:16	0.03	検体採取後の検査室
2	13:16	0.01	検体採取後の検査室
3	13:31	0.02	ドラフトフード
4	13:31	0.04	検体採取後の検査室
5	13:31	0.03	検体採取後の検査室
6	13:31	0.03	ドラフトフード
7	13:31	0.02	検体採取後の検査室
8	13:31	0.08	検体採取後の検査室
9	10:05	0.05	検体採取後の検査室
10	10:05	0.05	検体採取後の検査室
11	10:28	0.09	検体採取後の検査室
12	10:28	0.17	検体採取後の検査室
13	15:24	0.05	検体採取後の検査室
14	15:49	0.03	検体採取後の検査室
15	15:49	0.03	検体採取後の検査室
16	15:24	0.05	検体採取後の検査室
17	15:24	0.05	検体採取後の検査室
18	15:24	0.05	検体採取後の検査室
19	15:24	0.05	検体採取後の検査室
20	15:24	0.05	検体採取後の検査室
21	15:24	0.05	検体採取後の検査室
22	15:24	0.05	検体採取後の検査室
23	15:24	0.05	検体採取後の検査室
24	15:24	0.05	検体採取後の検査室
25	15:24	0.05	検体採取後の検査室
26	15:24	0.05	検体採取後の検査室
27	15:24	0.05	検体採取後の検査室
28	15:24	0.05	検体採取後の検査室
29	15:24	0.05	検体採取後の検査室
30	15:24	0.05	検体採取後の検査室
31	15:24	0.05	検体採取後の検査室
32	15:24	0.05	検体採取後の検査室
33	15:24	0.05	検体採取後の検査室
34	15:24	0.05	検体採取後の検査室
35	15:24	0.05	検体採取後の検査室
36	15:24	0.05	検体採取後の検査室
37	15:24	0.05	検体採取後の検査室
38	15:24	0.05	検体採取後の検査室
39	15:24	0.05	検体採取後の検査室
40	15:24	0.05	検体採取後の検査室



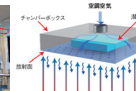
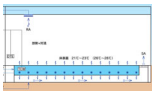
017

快適性、環境性能を向上させるための取り組み

病院機能を高める快適性、環境性能向上技術

■床冷熱システム
床を二重構造とし、二重床上部に冷水水管を埋設し、下部に空調空気を送風するシステムを窓面積の大きい食堂及びカフェに採用。外部負荷の小さい講堂は空調空気の熱のみを利用した床冷熱システムを採用した。冷水水管・空調空気の放射効果と、床下を經由して窓壁や壁際からの空調空気による放射効果と、速度ムラや気流感が少ない環境を創出している。
運用段階のヒアリングにて、省エネ運用による除濕能力不足が課題としてあるが、運転を改善し快適性と省エネ性を両立する運転を試行中である。

■天井放射空調システム
患者が長時間治療を受ける透析室、化学療法室に採用。空調された空気の熱によって冷やされたり、あるいは暖められた天井放射パネルの放射効果を用いた冷熱システムを導入した。
また、天井放射パネルには小さな穴が空いており、そこから空調空気を緩やかに吹き出し、「放射・静流」の2つの効果で室温の温度分布が均一になり、気流感もなく快適な空間を作り出している。
運用後のヒアリングでも、従来の空調方式より気流が気にならないとの高評価を得ている。



018

いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

快適性、環境性能を向上させるための取り組み

病院機能を高める快適性、環境性向上技術

■両側換気天井システム

置換空調の原理を応用し、天井全体で排気を補償し、HAOOPに準じた温湿度環境を提供できる効率的な空調換気システムを導入した。

スチコン周りの一部の改善要望はあるが、作業環境が改善したとの高評価を得ている。



■初期室の緊急排気対応

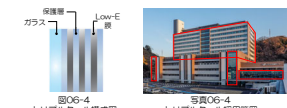
失禁や嘔吐などを誘発した重傷者などが搬送される初期室は常に危険と隣り合わせである。その危険性を低減するため、空気より軽い臭気の天井面からの排気と、空気より重い物質を部屋に拡散させずに床面付近からの排気を切替可能な計画とした。

運用後のヒアリングにて、安全性が増したとの高評価とともに効果の見える化の要望をいただいた。



■トリプルクールガラス

窓面積が大きく、庇による日射遮蔽が期待しにくい病棟及び低階階の北面棟のガラスに一般的なLow-Eペアガラスの1.5倍の日射遮蔽効果を持つLow-E被覆が3層構成のガラスを採用。(Low-Eの構成は図O6-4参照)



■オゾン脱臭装置

マイナスイオン及び低濃度オゾンを用いた脱臭装置を採用。臭気の発生が多い、中央処置室や小児科処置室等に設置した。

運用段階のヒアリングでは、脱臭の効果を体感している部署がある一方、強い臭気に対しては効果を感じにくい傾向がみられた。



いわき市医療センター

018

東日本大震災の経験によるレジリエンス強化対策

東日本大震災の経験によるレジリエンス強化対策

■東日本大震災において

建替前は、電気・水道・都市ガスの主要ライフラインは震災(3月11日)から3日後の3月14日までには全て復旧し、災害拠点病院としての役割を維持した。(記録簿「いわき市・東日本大震災の10年-ふるさとの復旧・復興・創生を未来に紡いで」令和3年3月発行より)

■3日間の病院機能維持

この経験を元に、大地震や停電、断水等の大規模なインフラ途絶を伴う災害に対して、病院機能を3日間以上維持する計画とし、災害拠点病院として、表O6-1に示す通りライフラインをはじめ、医療ガス、滅菌対応、給食を含め信頼性の高いインフラ設備を構築した。

表O6-1 インフラのBCP対応一覧表

対応項目	BCPへの対応	エネルギー源
電力引込	高圧2回線引込	電力
非常用電源	平常時の約80%	A重油、中圧ガス
備蓄燃料	3日分	A重油
給水	3日分(鉄板一体型水槽)	市水、給水車
給湯	供給可能	A重油、中圧ガス
排水	3日分(排水貯留槽)	全系統利用可能
都市ガス	供給可能	中圧ガス 病院専用ガバナ
医療ガス	最低10日分(酸素)	電気(圧空・吸引)
蒸気	3日分(減菌用)	A重油、中圧ガス
給食	3日分の備蓄食(加熱可能)	電気、低圧ガス
空調	平常時の80%	電気、中圧ガス、A重油

019

エネルギーサービスの提供とベストミックス熱源計画

エネルギーサービス事業

■ES事業の導入

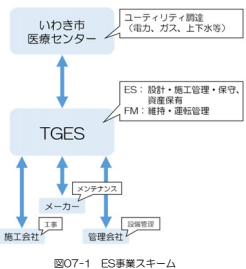
次の3点を目的にES事業を導入した。

- 建設費などインシャルコストの低減
- 省エネルギーやCO2削減の実現によるランニングコストの低減
- 災害時等の安定的なエネルギー確保

■ES事業スキーム

東京ガスエンジニアリングソリューションズ株式会社(TGES)は、エネルギー供給設備の設計・施工管理・保守、資産保有を行うESと、エネルギー利用設備の維持管理・運転管理を行うファシリティマネジメント(FM)を一貫して請け負う。各メーカーや施工会社、管理会社と連携して、ES事業を実施する。

電力、ガス、上下水等ユーティリティは、いわき市医療センターが調達し、TGESへ提供している。(図O7-1)



図O7-1 ES事業スキーム

020

エネルギーサービスの提供とベストミックス熱源計画

ES会議と省エネルギー提案による効果

■ES会議開催

医療センター建設委員会、設計担当者、ES事業者によるES会議を開催し、関係者の知見を活用した省エネルギーへの取組を実施している。

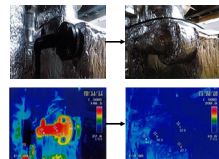
ES会議では、設備運用状況報告と省エネルギー項目の提案を行った。他サイト実績等に基づく省エネルギー率を想定し、2019年度発注までの想定省エネルギー率は合計8.5%となった。(表O7-1)

■省エネルギー提案事例

省エネルギー提案の一環として、次のような取組を実施した。ボイラー室、給湯熱源機械室各機器の放熱状況を赤外線カメラを用いて撮影し、撮影内容を基にファン、バルブ等約20カ所の保温工事を実施した。(写真O7-1)

その結果、熱損失換算で年約365MJ、ガス量換算で約8,600Nm³の省エネルギーを達成した。

No.	省エネルギー項目	想定省エネルギー率	備考
1	除菌機本体塗装(排水・湯水)の強化(空気・水垢・ガラス)	0.8%/年	電気使用量の削減
2	除菌機排水塗装(排水・湯水)の適正化(排熱投入ガス吸込冷却水本機)	0.3%/年	ガス使用量の削減
3	除菌機排水制御部の設定適正化(空気・水垢・ガラス)	1.2%/年	電気使用量の削減
4	除菌機排水制御部の設定適正化(排熱投入ガス吸込冷却水本機)	2.9%/年	ガス使用量の削減
5	ボイラー室の断熱材(排熱投入ガス吸込冷却水本機)	0.3%/年	ガス使用量の削減
6	ボイラー室空調設備の最適化(省エネファン・省エネバルブ)	0.9%/年	ガス使用量の削減
7	空調ファン・機械室ファン等のメンテナンス	0.2%/年	電気使用量の削減
8	空調設備制御システムのメンテナンス(個別空調・空気ヒートポンプシステム)	1.8%/年	電気使用量の削減
9	ボイラー室CGS熱源の高効率利用(温水優先利用)	0.1%/年	ガス使用量の削減
合計	---	8.5%/年	---



写真O7-1 ボイラー室ファン保温工事

021

エネルギーサービスの提供とベストミックス熱源計画

ベストミックス空調熱源の設計

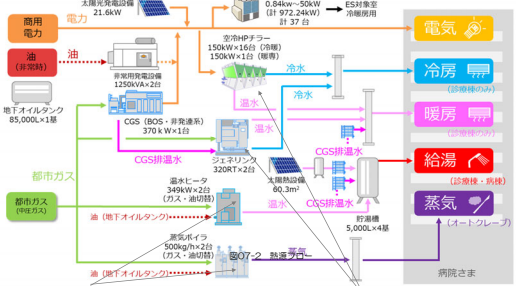
災害時に病院運営を継続するシステムを構築するために、以下4点をポイントとして導入した。

■電源の多様化

- 本線予備線の2回線受電
- 油焚き非常発電設備
- 太陽光発電設備

■CGSの活用

ブラックアウトスタート仕様を採用し、停電時でも電力供給が継続可能



■ガス・油切替式の熱源機の活用

■空調熱源システムのベストミックス

022

熱源のエネルギー運用状況の把握

高効率CGSの活用実績

■CGS稼働実績

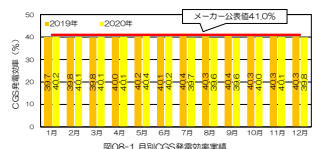
年間総合効率(※発電効率+排熱回収効率)は2019年実績:70.9%、2020年実績:71.0%であった。CGSメーカー公表の総合効率は73.3%(発電効率:41.0% 排熱回収効率:32.3%)であり、本CGSは定格値に近い高効率な運用実績となった。図O8-1、2に月別の発電効率、排熱回収効率を示す。年間を通して高効率な運用を実現した。

※発電効率 = CGS発電電力量 ÷ ガス消費量
排熱回収効率 = 排温水利用量 ÷ CGSガス消費量

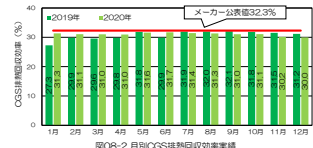
■常駐ESによる運転管理

高効率運転実績の要因の一つとして、ES事業者の常駐管理が考えられる。CGS排熱が有効利用される熱源機器の運転管理を、常駐ESにより実現している。

また、即時的な保守・管理を行うことで、高効率な運転状態を維持している。



図O8-1 月別CGS発電効率実績



図O8-2 月別CGS排熱回収効率実績

023

いわき市医療センターの設備計画 ～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

熱源のエネルギー運用状況の把握

CGSによる契約電力の削減

図08-3に、時間別受電電力量とCGS発電電力量実績合計（2020年8月11日）を示す。2020年夏期受電電力量の最大値は、2,376kW（37.8W/m²）であった。契約電2,500kWに対して、受電電力量とCGS発電電力量の合計は2,746kWとなり、CGSにより、**246kW以上のピーク電力を低減し**、契約電力以下の運用が実現できた。

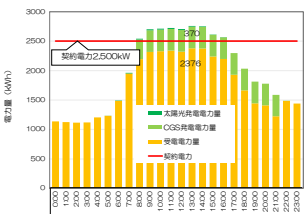


図08-3 夏季受電電力量実績（日）

CGS排温水の活用

CGS排温水の活用用途は大きく3種類である。
 ①冷房：**吸収式冷温水機**へ投入し冷水製造に活用
 ②給湯：**熱交換機**を介して暖房用温水を製造。
 ③給湯：**予熱貯留槽**へ送水し、給湯温水を製造
 年間を通して暖房需要があるため、排熱活用の優先順位と年間の使用割合は次の通り。
 夏期：暖房→冷房→給湯 冬期：暖房→給湯
 暖房：48% 給湯：34% 冷房：18%

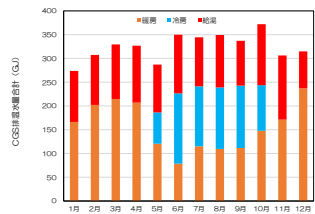


図08-4 2020年排熱活用用途割合

024

省エネルギー・省資源の取り組みとCASBEE Sランク認証取得

病棟の夜間風量制御、感染病棟風量制御による省エネルギー運用

■**病棟の夜間風量制御**
 病室は医療福祉設備協会発行HEACSを準拠した2回/h換気で計画しているが、患者の活動量の減る夜間は25CMH/人程度の換気量まで減らし、省エネルギーを図るシステムを採用した。
 ■**感染病棟の風量制御**
 感染症病棟は多くのコロナなど、パンデミックが発生しない限り病室使用率は1割にも満たない。そのため、利用しない病室の換気量を減らし省エネルギーを図るシステムを採用した。

上記技術により、**約3,000GJ/年の省エネルギー達成**を確認した。（表09-1）

表09-1 病棟風量制御の省エネルギー効果

エネルギー消費削減機器	一次エネルギー削減量
モジュールタイプの動力	2,200 GJ/年
外観機の送風動力	820 GJ/年
合計	3,020 GJ/年

CASBEE Sランク認証取得

本病院は、地域の核を担う病院として、計画に当たっては医療サービスの充実、災害時の病院機能の継続の他に、地域や地球環境への配慮（環境負荷の低減）に重きを置いている。
 また、快適性や景観配慮なども含めた建物品質総合評価システムであるCASBEEの第三者機関の認証による設計段階の評価（BEC：一般財団法人建築環境・省エネルギー機構）で、**最高位の『S』ランク(BEFC値-3.1)を取得している。病院では全国5番目の『S』ランク認証取得**となった。（図09-3）



図09-3 「CASBEE・Sランク認証」

025

病院全体の一次エネルギー消費量内訳と考察

病院全体の一次エネルギー消費量内訳

図09-4に、病院全体の、年間受電電力量、年間ガス消費量、重油消費量をそれぞれ一次エネルギーへ換算した結果を示す。また、空気調和・衛生工学会の負荷原単位と延床面積より算出した想定値との比較を行う。

■想定値と2019年実績の比較

2019年の一次エネルギー換算値は、**想定値と比較して約-8.4%**となった。この数値は2019年度にES会議にて提案した省エネルギー項目の推進省エネルギー率8.5%と同等の値であり、ES会議での提案と、**ES事業によるOGSを始めとした熱源機器の効率的な運転**を実施したため、省エネルギーが推進されたものと推測する。

■2019年実績と2020年実績の比較

2020年の病院全体一次エネルギー消費量は、2019年と比較して、**約3.2%増加**した。電力消費量に限れば、約10%増加している。この要因として、前述した熱源運用パターンの変更以外に、**新型コロナウイルス感染症対応の影響**が考えられる。

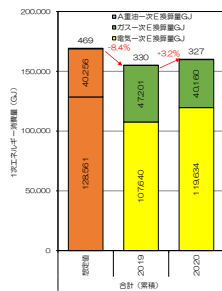


図09-4 電力、ガス、重油消費量一次エネルギー換算値

026

病院全体の一次エネルギー消費量内訳と考察

新型コロナウイルス対応と一次エネルギー消費量影響への考察

主な新型コロナウイルス対応は、①外気導入量の増加 ②感染症病室の使用の二つである。

■①外気導入量の増加

本病院は外観機に夜間モードを導入し、夜間換気量を削減していた。しかし新型コロナウイルス対応として、夜間モードの使用を停止して外気導入量を増加させた。本対応により、外観機の消費エネルギーは**年約820GJ増加**、外観機用熱源（空冷HP）消費エネルギーは**年約2,200GJ増加**したと考えられる。

■考察

①と②の消費エネルギー増加分は合計で年約3,680GJとなり、2019年消費エネルギーの約2.3%に相当する。また、新型コロナウイルスの影響により病院稼働率が上昇したことで、上記対応①、②以外にも、消費エネルギーは増加傾向にあると推測され、図09-4の+3.2%の上昇率となっていると思われる。

■②感染症病室の使用

感染症対応用病室を使用したため、病室の換気ファンコンセント等の消費エネルギー、**年約660GJ増加**したと考えられる。

表09-2 新型コロナウイルス対応と一次エネルギー増加量

新型コロナウイルス感染症対応	一次エネルギー増加量
外気導入増加による、外観機の消費電力量増加	820 GJ/年
外気導入増加による、外観機用熱源の消費電力量増加	2,200 GJ/年
病室使用による消費電力量増加（換気ファン、コンセント等）	660 GJ/年
合計	3,680 GJ/年

027

竣工後のエネルギー消費分析とまとめ

病院のエネルギー利用状況

2019年のエネルギー消費の内訳を図10-1に示す。空調が大半を占めており、約57%、電灯・コンセントで23%、医療、給湯、厨房関係で14%という構成であった。また、2年間のエネルギー消費の内訳を設備用途別に分類したものを図10-2に示す。空調用エネルギーのうち約40%が熱源機での使用、約45%がファンや外観機などの空調動力、約15%がポンプ動力である。

2019年と2020年のエネルギー消費内訳を比較すると、空調機動力、熱源機動力が増加している。**新型コロナウイルス対応である外気導入量の増加により、空調負荷が増大した影響**と考えられる。

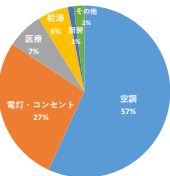


図10-1 消費エネルギー用途別内訳（2019年）

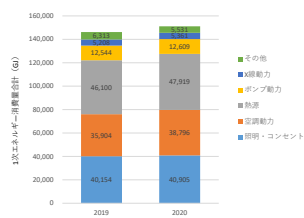


図10-2 設備用途別消費エネルギー割合

028

竣工後のエネルギー消費分析とまとめ

病院全体の年間一次エネルギー評価

年間エネルギー消費量原単位は一次エネルギー換算で2019年は2.427MJ/m²/年、2020年は2.504MJ/m²/年であった。DECCデータから全国及び関東地区の病院の一次エネルギーデータとの比較を延べ床面積当たりの契約電力とのプロットしたものを図10-3に示す。本病院のポジションとしては、全国、関東地区、いずれにおいても平均より**省エネルギーが図れている**ことが分かる。

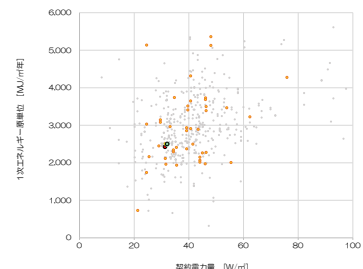


図10-3 DECCデータを使った本施設のエネルギー評価（延床面積30,000m²以上の病院との比較）

029

いわき市医療センターの設備計画
～原子力災害対応と環境性能に優れた設備技術の構築と省エネルギー検証～

竣工後のエネルギー消費分析とまとめ

まとめ

メインテーマ	取り組み内容・効果・まとめ
1. 原子力災害への備え	
原子力災害モードの設定 放射性物質流入低減及び責任の確保 汚染された排水への対応	放射性物質が蔓延し、インフラが途絶している状況を「原子力災害時」と定義し、建物の運用方法、設備システムの稼働方法を整理。災害時の運用に配慮した計画による 建物の責任確保、汚染空気の流入防止、汚染排水対応を実現 した。
2. 病院機能を高める大成建設オリジナル技術の採用	
システム稼働検査台 T-Pathol Cabinet 清掃可能な手術室空調機 T-OP Clean AHU 脱酸機の結露防止空調システム T-Fogless Flow	オリジナル技術の採用により病院の医療環境の向上、低侵襲治療の向上に貢献した。特にT-Pathol Cabinetは製薬単体の開発ではなく、今までの検査動線の見直しから運用方法の改善提案も含め 病院と一体となってシステムを開発 し、運用後も0.1ppm以下を実現しており、 満足いただける環境 を提供できた。
3. 快適性向上のための取り組み	
厨房換気天井システム、床冷却システム、天井放射空調システム、初療室の緊急排気対応、オゾン脱臭装置、トリプルクールガラス、病棟変風量制御による省エネルギー運用、超節水病院の実現、CASBEE Sランク認証取得	換気天井や放射空調などの 温熱環境の快適性 及び臭気対策などの 医療環境の快適性向上に資する技術 を数多く採用し、運用後のヒアリングにより、当初想定していた メリットを多く享受 していることを確認した。また、 ランニングコスト、省エネルギー性能、快適性に優れた技術 を採用し、その効果を検証した。CASBEEの第三機関の認証による設計段階の評価で、病院では 全国5番目の最高位の[S]ランク (BEE値=3.1)を取得した。

030

竣工後のエネルギー消費分析とまとめ

まとめ

主観点	取り組み内容・効果・まとめ
4. 東日本大震災の経験によるレジリエンス強化対策	災害に強く信頼性の高いインフラ（72時間を越える事業継続のための取り組み） 信頼性の高い熱源システム（電源の多量化、CGSの活用）、屋外のトイレ対応 東日本大震災の経験をもとに、給排水、電源、都市ガス、医療ガスなどの ライフラインの3日間以上の確保並びに熱源・電源の多量化 による、安全、安心な信頼性の高い災害拠点病院のインフラを計画した。屋外にはマンホールトイレを用意し、災害時における屋外環境を整備した。
5. 初年度からのチューニングによりエネルギー使用量約8%削減を実現したエネルギーサポート運用	
エネルギーサービス事業、エネルギーサポート体制、ベストミックス熱源計画	経験及びノウハウの蓄積もあり、初年度よりメーカー公表値の上限値に近い 総合効率約71%と高効率なCGSの運転 を確認した。
6. エネルギー利用状況の分析	
一般運用時及びコロナウィルス対応時期エネルギー消費量の分析、省エネルギー運用の検証	一次エネルギー消費量原単位は 2,450～2,500MJ/m²年 であり、DECCデータより一般的な病院より 省エネルギー運用を確認 できた。

031

L-3

「ふくしまZEBからカーボンニュートラルを実現する」 福島県須賀川土木事務所

「福島県須賀川土木事務所
ふくしまZEBからカーボンニュートラルを実現する」



令和5年3月3日

株式会社 土田建築設計事務所
代表取締役社長 飛木 佳奈



1

東北庁舎初「Nearly ZEB認証」



2

はじめに

東日本大震災に伴う原子力災害を受けた当県は、復興に向けて「原子力に依存しない安全・安心で持続的に発展可能な社会づくり」を基本理念に掲げ、再生可能エネルギーの導入拡大とエネルギーの効率的利用による「再生可能エネルギー先駆けの地」の実現を目指している。また、世界的な異常気象の発生などから地球温暖化に対する危機意識は高まっており、二酸化炭素を始めとする温室効果ガスの排出量の削減、消費エネルギーの抑制は、世界共通の重要課題となっており、当県では県民総ぐるみで省エネルギー対策を推進している。こうした状況を踏まえ、日本において消費エネルギーの約35%を占めるといわれる建築物におけるエネルギー使用の抑制に向け、当県では県有建築物における再生可能エネルギー導入拡大とエネルギーの効率的利用を推進するため、建築物整備に関する施策を2017年から段階的に展開し、2019年にはZEBモデル施設を整備した。

施設概要

建設地概要		建築概要	
建物名称	福島県 須賀川土木事務所庁舎	建築面積	375.41 m ²
計画地	福島県 須賀川市大町33番地	延床面積	1階 297.0 m ² 2階 359.46 m ² 合計 656.46 m ²
敷地面積	1,445.84 m ²	階数	地上2階
地域・地区	第一種住居地域	構造種別	1階：RC造 2階：木造軸組 CLT(野地板・間仕切壁)
建ぺい率	60%	基礎種別	直埋基礎 柱状地盤改良工法
容積率	200%	駐車場	26台
防火地域等	指定なし		(車椅子利用者用1台含む)

発注者 福島県中建設事務所
設計者 株式会社土田建築設計事務所

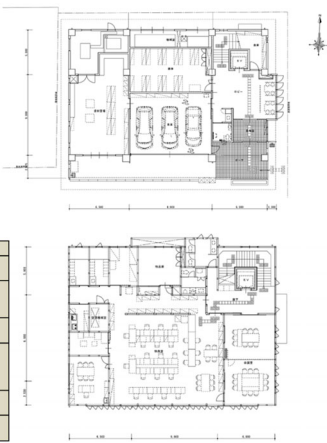


図1 平面図(1, 2階)

3

計画のコンセプト

須賀川土木事務所は、須賀川市、鏡石町、天栄村内の県が管理する土木施設(道路・河川等)の維持管理、災害復旧、除雪に関する業務を行い、災害時には、危機管理対応の業務を行う地域の拠点施設である。施設の老朽化に伴う増建にあたり、当初はZEBとしての計画ではなかったが、全国におけるオフィスの約8割が中小規模であり、汎用性の高い規模であることから、実設計の途中でZEB化に方針を転換し、ZEBモデル施設として整備した。

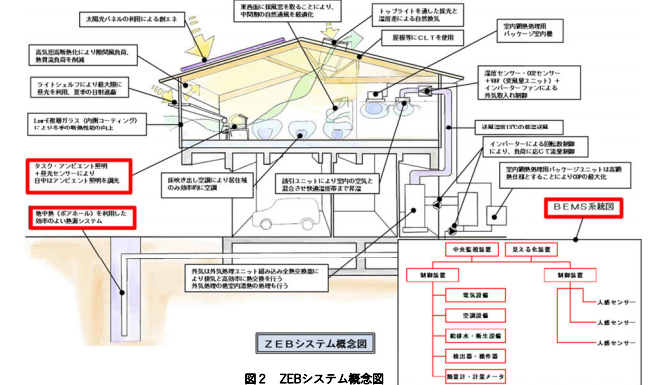


図2 ZEBシステム概念図

4

○設備の効率化(アクティブ技術)

- ・地中熱利用による潜熱顕熱分離空調
- ・タスク・アンビエント照明+昼光センサー
- ・太陽光発電設備(創エネ) 20kW
- ・BEMS(ビル・エネルギー・マネジメント・システム)の導入

○建築計画の手法(パッシブ技術)

- ・高断熱のサッシ(Low-eガラス)、外壁材
- ・トップライト採光・換気
- ・ライトシェルフ(庇)による日射遮蔽

潜熱顕熱分離空調

湿度と温度を別プロセスで処理する空調システム。温度と湿度を別プロセスで処理することにより、部屋の快適性を損なうことなく、省エネルギー性能を向上させることができる。

タスクアンビエント照明

タスク照明(机の上を局部的に照らす)とアンビエント照明(部屋全体を照らす)を組合せ、全体の電気エネルギーを削減する手法。アンビエント照明により天井や壁、床を最低限の明るさで確保し、作業に必要な箇所にはタスク照明を用いることで照明効率が向上。

BEMS(ベムス)

室内環境とエネルギー性能の最適化を図るためのシステム。須賀川土木事務所では、空調機器運転の最適化、設備運転状況の監視、電力量・温湿度等の計測値を収集し、評価を表示するなどの機能を持ち、省力化、省エネ化を支援。

5

導入したZEB技術

①建築計画の手法(パッシブ技術)

ZEBのモデル施設を整備するにあたり、建築計画の手法(パッシブ技術)として、ライトシェルフによる昼光の利用と夏季等の日射遮蔽を行い、トップライトを通した採光と自然換気を採用している。また、東西面に採風窓を取ることで中間期の自然風の最適化を図り、高気密高断熱化により隙間風負荷、熱貫流負荷を削減している。窓にはLow-E複層ガラスを採用し高断熱化を図っている。



写真1 CLT壁とタスク照明

写真2 トップライト

写真3 ライトシェルフによる昼光利用

②設備の効率化(アクティブ技術)

タスクアンビエント照明や、湿度と温度を別プロセスで処理する潜熱顕熱分離空調機を採用している。温度と湿度を別々に制御しているため、部屋の快適性を損なうことなくエネルギー消費を抑えることができる。

③再生可能エネルギーの導入(創エネ技術)

雨面の屋根に設置した太陽光発電システムは(20kW)発電量の全てを自家消費しており、使用目的や維持管理等を勘案し、蓄電池は設置していない。

④BEMSによるデータ化、見える化

各設備の運用データを収集・検証・課題分析することで、エネルギー消費量の傾向をつかみ、効果的な建物運用方法を検討し、室内環境とエネルギー性能の最適化を図ることとしている。エネルギーデータは、ロビーに設置したモニターでリアルタイムに表示し、施設利用者の環境意識の向上に寄与している。



写真4 空調機械室



写真5 デジタルサイネージ(BEMS)

6

「ふくしまZEBからカーボンニュートラルを実現する」 福島県須賀川土木事務所

■ 効果の検証

BEMSにて計測・集計した消費電力量を一次エネルギー消費量に換算し、設計時と運用時のBEI値の比較を行った。(上半期分)
須賀川土木事務所の設計時BEI=0.13(約87%削減)に対して、上半期実績がBEI=0.05(約95%削減)となり、設計時の想定を上回る削減効果となった。
下半期の効果は、年間の検証と更なる性能向上のためのチューニングを実施中であり、さらなるZEBの実現に向け引き続き検証を継続していく。

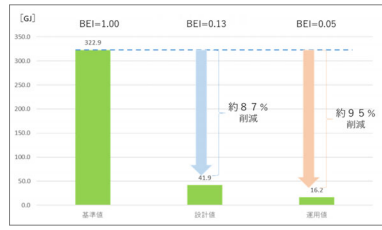


写真6 地中熱配管



写真7 太陽光発電パネル(20kW)



図4 ZEB認証ラベル

■ ふくしまZEB今後の展開

本年度は、更なるカーボンニュートラル実現に向け「ふくしまZEB化ガイドライン」の策定作業を進めており、福島県独自のZEB化を一層推進するとともに、市町村や民間事業者のZEB化促進に向け普及啓発に努めています。
今後は、多くのストックを有する既存建築物の改修について、ZEB改修の検討を進めカーボンニュートラルの実現に積極的に取り組んでいく。

県有建築物の環境・省エネルギー対策

福島県のエネルギー政策への取組

- ① 原子力災害を契機にエネルギー政策を転換
- ② 原子力に依存しない省エネ・再エネを推進
- ③ 建築分野ではZEB化を推進しカーボンニュートラルの実現に寄与



ZEB化のハードルと対策

<ハードル>

- 事業計画の了承
- 予算の確保
- 設計
- 施工

<対策>

- ▶ 庁内におけるZEB意識の醸成
- ▶ 補助制度(環境省、経産省等)の活用
- ▶ プロポーザル提案における課題の設定
▶ 発注者と設計者の意識の共有、連携
▶ 設計者のZEBの理解と姿勢
- ▶ 事業スケジュールと補助制度の整合(これが大変)
▶ 発注区分の決定(長い経験の中で初の試み)
▶ 施工者との良好な関係確保

ZEB実現のキープポイント

<キープポイント>

- 時期
- キーパーソン
- 地中熱利用技術
- BEMS(自動制御)
- その他

<具体的には>

- ▶ 事業の予算化の前年度
- ▶ 建築意匠設計者
・ 事業者から直接設計を受注する立場
・ 省エネ・再エネに対する意識・理解と技術力
- ▶ 地中熱利用関連技術者(土木系)と建築・設備技術者(設計・施工)の相互理解
▶ 過去の採用実績データの整理・分析と公開
- ▶ 施設運用後のチューニングに必要な計測、制御の設定
- ▶ (国等の)新制度開始や従来制度の改正及び新技術等の情報キャッチ

須賀川土木事務所の評価

2022年5月、一般社団法人建築設備技術者協会主催の「第10回カーボンニュートラル賞」を受賞



■ 株式会社土田建築設計事務所の紹介

【本社所在地】〒962-0017 福島県須賀川市西の内町74

TEL: 0248-76-5965 FAX: 0248-72-0669

Email: tsuchida-k@plum.plala.or.jp

ホームページ: 土田設計(<http://tsuchida-sekkei.co.jp>)

昭和55年5月1日 創立

【経営理念】「風土に逆らうことなく、時間の経過とともに人々に愛される建築を創造し、社会に貢献する」

【設計理念】一、空気、水、太陽、土、緑、自然の力を知り、お借りします。
一、先人に学び、先進の技術を求め、取り入れます。
一、常にお客様の未来を考えます。

【実績】1980年5月1日に開設し、今年5月で43周年を迎える。受注先は、国・県他18市町村となる。まちづくりや戸建て住宅、銀行、官舎、学校、クリニック、病院、幼保施設、社会福祉施設など幅広い分野の建築設計を行っている。
民間案件に於いては、補助金公募採択に至るまでの企画立案作業もおこなっている。



一本社事務所と敷地の草木たち



一須賀川信用金庫本館一

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	
14,658 名	30 名	48 名	394 名	15,130 名	485(社)	15,615 名

令和 5 年 1 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4年度(第50期)】

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

■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-1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	仙台市若林区新寺1-3-45 AI.Premium 8F
(株)大気社東北支店	仙台市青葉区二日町12-30
東日本興業(株)	仙台市青葉区一番町3-7-1
弘栄設備工業(株)	山形市大字風間字地藏山下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

令和5年1月現在

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部
過去優秀発表奨励賞受賞者

第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 守頭	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