

---

---

第9回  
学術・技術報告会  
論文集

Collection of Papers of the 9th Conference

---

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)



各位

空気調和・衛生工学会東北支部  
支部長 渡邊 浩文  
第9回学術・技術報告会組織委員会  
委員長 菅原 正則

## 空気調和・衛生工学会東北支部 第9回学術・技術報告会 すべての会合の中止の経緯と論文集発行の趣旨

2019年12月以来、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）が中国武漢から世界中に感染範囲を拡大しています。厚生労働省ウェブサイトによれば、2020年2月29日時点で、国内においてPCR検査陽性者224名（内、死亡者5名、無症状病原体保有者18名）、武漢からのチャーター便帰国者では同陽性者15名（内、死亡者なし、無症状者4名）、クルーズ船ダイヤモンド・プリンセス号内では同陽性者延べ705名（内、死亡者6名、無症状者延べ392名）であったと発表されています。このとき、東北地方では仙台市において1名の感染者が確認されたのみでした。しかし、この感染症には厄介な特徴があります。それは、上記の数値で推測できるように、軽症や無症状で回復する人が多数いる一方、基礎疾患のある人、高齢者など、特定の人には重症化しやすく、現時点で有効な治療法がないため死に至る場合もあるということです。また、潜伏期間が10日前後と長く、発症前でも他者へ感染させることもあるため、自覚症状が無い間に感染が広がる危険性があります。そして、主に飛沫感染や接触感染をするため、手洗いなどの衛生管理のほか、屋内空間での大人数の集会を避けることが、感染拡大防止に効果的と言われています。

このような状況を考慮して、今年度の報告会を中止とすることになりました。口頭発表や技術展示ほか、本報告会にご参加を予定いただいた皆様、関係者の皆様には大変なご迷惑をお掛け致しましたこと、深くお詫び申し上げます。

本報告会のすべての会合は中止いたしました。論文著者の皆様からお寄せ頂いたご意見を踏まえ、「第9回学術技術報告会論文集」を従来の予定通り発行することにいたしました。ただし、投稿論文および技術展示PR原稿は、取り扱い方針を説明した上で、論文著者および技術展示出展者から掲載の意向が確認されたもののみとしました。また、その他の情報は、本報告会の実施予定であった内容を記録として残し、本報告会が中止となったことを注釈に記載しました。

この論文集を発行することによって、論文著者および技術展示出展者の皆様からの建築環境設備に関する学術・技術の知見を広く普及し、関係各位のご発展に寄与することを祈念いたします。

なお、この論文集に掲載された投稿論文および技術展示PR原稿は、大会学術講演論文応募要領（2019.12.13学会本部理事会）等に沿って、下記のように取り扱うことにいたします。

### 記

1. 本報告会の中止により、口頭発表および技術展示においてプレゼンテーションおよび質疑は行われませんでしたが、この論文集に掲載された論文およびPR原稿はその内容が公知となることから、本報告会での発表が成立したものといたします。
2. 若手講演者を対象とした「優秀発表奨励賞」の表彰はいたしません。
3. 論文および技術展示PR原稿の、論文集への掲載料（口頭発表登録料および技術展示出展料を含む）は、徴収いたしません。
4. 論文集の電子ファイル（pdfデータ）は、下記の学術技術報告会専用ページに掲載し、1年を超える掲載期間に、どなたでもダウンロード可能とします。論文集の冊子印刷物は、期日までに予約申し込みされた分のみの販売といたします。

以上



※新型コロナウイルス感染症（COVID-19）拡大に伴い、すべての会合を中止しました。

## 空気調和・衛生工学会東北支部 第9回学術・技術報告会 口頭発表講演者および技術展示募集

空気調和・衛生工学会東北支部では第9回学術・技術報告会を下記の要領にて実施いたします。  
つきましては、空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学一般に関する研究や調査、物件の企画や設計・施工・試験結果等の技術報告、新製品・新素材や試製品の紹介等の口頭発表および技術展示を募集致します。報告会当日には、若手研究者・技術者を対象とした優秀発表奨励賞の表彰も行います。産官学各界よりたくさんのご応募を賜りますよう、お願い申し上げます。また、一般来場者も聴講可能な市民向け講演会を予定する他、交流会も行いますので、ぜひお誘いあわせのうえご参加下さい。

- 主 催 空気調和・衛生工学会東北支部
- 共 催 電気設備学会東北支部、建築設備技術者協会東北支部、日本技術士会東北本部
- 後 援 東北工業大学、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 2020年3月10日（火）8：50～17：00（8：40受付開始）予定
- 会 場 東北工業大学八木山キャンパス  
9号館1F 911教室（受付、技術展示）912・913教室（発表、講演会）  
仙台市太白区八木山香澄町35-1（<http://www.tohtech.ac.jp/access/index.html>）  
アクセス：仙台市営地下鉄東西線「八木山動物公園駅」下車（仙台駅から地下鉄で12分）。東1番出口から徒歩約10分。八木山動物公園駅から無料シャトルバス運行。  
仙台駅西口バスプール11番乗り場より市営バスで「八木山動物公園駅」行（緑ヶ丘三丁目行、八木山南・西高校行を含む）、又は12番乗り場より宮城交通バスで動物公園方面経由のバス（12番乗り場より出発のバス全て）に乗車し、「東北工大八木山キャンパス」下車。（仙台駅からバスで約25分） ※詳細案内 <http://www.tohtech.ac.jp/access/index.html>

### 【口頭発表・技術展示の申し込み】

- エントリー締切 2020年1月10日（金）（口頭発表・技術展示共通）  
※エントリーを受付けた後、後日論文集掲載用原稿を提出頂きます。  
※エントリー用紙は必ず今年度（第9回）版をご使用下さい。
- 応募資格 発表者（連名者）/出展者（紹介者）のうち少なくとも1名が本学会または共催・後援学協会の会員（会員種別不問）であること。
- 申込方法 エントリー用紙を当学会東北支部ホームページからダウンロードし、必要事項を記載のうえ、メールにて件名に“第9回東北支部学術・技術報告会申込み”と標記しお申込み下さい。
- 参加費用 ・**口頭発表登録料**：一題につき3,000円(税込)を当日、受付にてお支払い下さい。連名者は無料です。当日はつり銭のないようご協力ください。  
・**技術展示出展料**：1ブース当り20,000円(税込)を期日までに指定の口座へお振込みください。2月7日(金)頃までに出展者(責任者)宛に請求書を送付致します。  
・**入場・聴講料**：無料
- 論文集 無償のPDF版を空気調和・衛生工学会東北支部HPよりダウンロード可能です(掲載開始時期3月2日頃予定)。また、紙媒体(白黒印刷、1冊4,000円 税込)を予約販売します。希望者はエントリーの際、エントリー用紙の論文購入欄にてお申込み下さい。発表者以外で購入を希望する方は1月10日まで組織委員会 [tohoku.shase@gmail.com](mailto:tohoku.shase@gmail.com) へお申し込みください。

## 【口頭発表】

- 投稿方法 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 ファイルをメールにて提出ください。
- 原稿締切 2020 年 2 月 13 日 (木) 17 : 00
- 講演方法 ・一題につき発表 9 分、討論 3 分程度を予定。  
・各自パソコンと発表データをご持参ください。  
・シリアル端子、HDMI 端子のみ。Mac の方はアダプタをご準備下さい。  
・発表時の諸注意(伝達事項)は、後日当学会東北支部ホームページに掲載します。
- 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。

## 【技術展示】

- 出展内容 ①空気調和・給排水衛生・電気・防災等の建築設備、建築環境工学に関連する研究・調査、技術・機器・システム等を紹介するポスター等や機器・製品・システム等  
②ポスター会場に展示ブース(幅約 180cm×奥行 80cm+テーブル)を予定。  
③午前中に、技術関連展示内容を説明するためのコアタイムを予定しております。  
④騒音や振動の発生する展示物のデモンストレーションがある場合は、実施の可否と時間帯の検討を行いますので、計画内容を事務局までご相談下さい。  
⑤電源を要する機器類の電源は、単相 100V、5A 以内でお願いします。  
※詳細は、後日「伝達事項」として当学会東北支部 HP に掲載いたします。
- 採 否 東北支部学術・技術報告会組織委員会に一任願います。

---

## ■プログラム (予定)

8:40 受付開始

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

8:50 開会

9:00 口頭発表開始

午前 口頭発表、技術展示コアタイム

午後 口頭発表、市民向け講演会

閉会行事、優秀発表奨励賞表彰式

17:00 閉会

- 交流会 当日 18:00～20:00 ホテルグランテラス仙台国分町で行います。会費 6,000 円。参加希望者は、所属・氏名・連絡先(電話番号)を 3 月 3 日 (火) までに下記組織委員会へメールでご連絡下さい。参加費は当日報告会受付または交流会場で申し受けます。
- 連絡先 空気調和・衛生工学会 東北支部第 9 回学術・技術報告会組織委員会

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

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町 3-8 春日町ファインビル 4F

住まいと環境 東北フォーラム内

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

E-mail tohoku.shase@gmail.com 担当：柴田

※@gmail.com からのメールが受け取れるように設定をお願いします。

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

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第9回  
学術・技術報告会  
論文集

Collection of Papers of the 9th Conference

目 次

学術・技術報告〔口頭発表〕	1
学術・技術報告〔技術展示〕	123
空気調和・衛生工学会の概要	127
空気調和・衛生工学会 東北支部 メンバー	128
第1～8回 優秀発表奨励賞受賞者	130

第9回 学術・技術報告会 組織委員会

委員長	菅原 正則	宮城教育大学
委員	許 雷	東北工業大学
	田原 誠	(株)竹中工務店東北支店
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	鈴木 道哉	東北学院大学
	神鳥 博俊	東北地方整備局
	須知 秀行	(株)朝日工業社東北支店
	谷 博之	(株)大気社東北支店
	小林 仁	仙台高等専門学校
事務局	庄司 恒久	空気調和・衛工学会東北支部事務局
事務代行	柴田 まりこ	住まいと環境 東北フォーラム



# 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

## 第9回 学術・技術報告会

### プログラム

※新型コロナウイルス感染症(COVID-19)拡大に伴い、すべての会合を中止しました。

2020年3月10日(火)

東北工業大学八木山キャンパス9号館

## 1. 開会式

<b>【開会式】</b> 8:50~8:55 支部長挨拶	司会: 菅原 正則 宮城教育大学 口頭発表A会場 (1階912教室) 空気調和・衛生工学会 東北支部長 渡邊 浩文 東北工業大学
------------------------------------	--

## 2. 学術・技術報告〔口頭発表〕

<b>【空調システム】</b> 9:00~10:00	司会: 許 雷 東北工業大学 口頭発表A会場 (1階912教室)	掲載 ページ
A-1	※口頭発表の中止により、取り下げられました。	-
A-2	※口頭発表の中止により、取り下げられました。	-
A-3	アルミニウム冷媒配管の施工性と耐食性・耐候性 ○ 内山 聖士 三機工業(株) 植村 聡 三機工業(株)	1
A-4	局所室素置換工法(エルブレイズ工法)の開発・展開 ○ 権田 勝美 高砂熱学工業(株) 込山 治良 高砂熱学工業(株)	5
A-5	アルミ冷媒配管システムの開発 ○ 込山 治良 高砂熱学工業(株) 権田 勝美 高砂熱学工業(株)	9

<b>【排水システム】</b> 10:12~10:48	司会: 菅原 正則 宮城教育大学 口頭発表A会場 (1階912教室)	掲載 ページ
A-6	高層集合住宅の雑排水システムにおける洗濯排水の排水能力への影響 ○ 篠塚 利彦 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学 山崎 信吾 UR都市再生機構 中野 英治 UR都市再生機構	13
A-7	ALC鉄骨造低層住宅の多口管継手を用いた排水システムの排水性能評価に関する研究 ○ 石井 方奈子 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学 大場 涼太 関東学院大学 須永 伸吾 旭化成ライフライン(株) 松村 弘慈 旭化成ライフライン(株)	17
A-8	雨水横主管の最下階合流システムの排水性能評価と設計手法に関する研究 ○ 大場 涼太 関東学院大学 大塚 雅之 関東学院大学 茶木 晶絵 関東学院大学 新井 勘 (株)熊谷組 淵崎 礼奈 (株)熊谷組 佐藤 英樹 三建設備工業(株) 塩谷 正樹 三建設備工業(株)	21

<b>【BIM・画像認識】</b>		司会：小林 光 東北大学	掲載 ページ
11:12～11:48		口頭発表A会場（1階912教室）	
A-9	BIM技術を用いた設備設計に関する研究	○ 齋藤 克哉 東北工業大学 許 雷 東北工業大学	25
A-10	BIM技術を用いた火災安全設計に関する研究	○ 伊藤大智 東北工業大学 許 雷 東北工業大学	27
A-11	建設業における画像認識フィルタの活用	○ 山口 倫明 三機工業(株) 植村 聡 三機工業(株) 吉岡 誠記 三機工業(株) 小林 雅明 三機工業(株)	29

<b>【エネルギー消費・建築環境①】</b>		司会：船木 寮一 三建設備工業(株)	掲載 ページ
13:30～14:18		口頭発表A会場（1階912教室）	
A-12	※口頭発表の中止により、取り下げられました。		-
A-13	※口頭発表の中止により、取り下げられました。		-
A-14	※口頭発表の中止により、取り下げられました。		-
A-15	秋田県のFuel Povertyの実態把握の試み ー平成25年住宅・土地統計調査を用いた評価ー	○ 松浦 瑞季 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	33

<b>【エネルギー消費・建築環境②】</b>		司会：須知 秀行 (株)朝日工業社	掲載 ページ
14:30～15:18		口頭発表A会場（1階912教室）	
A-16	既存建築物の環境リノベーション手法に関する事例調査 ー東北地方の古民家を対象としてー	○ 下嶋 秀明 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	37
A-17	建築環境総合性能評価システムの地域特化に向けた検討 ーCASBEE-建築(新築)の秋田県版の提案に向けてー	○ 工藤 徹 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	41
A-18	秋田県における非住宅建築物のエネルギー消費量の将来予測 ーライフサイクルの環境負荷と省エネルギーシナリオの作成ー	○ 齋藤 真慶 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	45
A-19	アクアマリンふくしま(AMF)の大空間空調システムに関するコミ ッション	○ 本田 ななみ 千葉工業大学 中野 夏輝 千葉工業大学 若山 尚之 千葉工業大学	49

【防災・減災】		司会：谷 博之 (株) 大気社	掲載 ページ
9:00～10:00		口頭発表B会場 (1階913教室)	
B-1	東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その1 概要	○ 岡田 誠之 東北文化学園大学 赤井 仁志 福島大学 前田 信治 (有) 前田衛生興業	53
B-2	東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その2 給排水衛生設備	○ 山崎 悟 エスワイ設備設計 福井 啓太 福井水環境研究所 岡田 誠之 東北文化学園大学	57
B-3	東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その3 空気調和設備	○ 及川 義信 新日本空調(株) 高橋 秀一 (有) 高橋設備設計事務所 岡田 誠之 東北文化学園大学	63
B-4	東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その4 電気・通信設備	○ 大友 准勝 古川電気工業(株) 須藤 諭 東北文化学園大学 佐藤 和弘 (株) ユアテック 岡田 誠之 東北文化学園大学	67
B-5	東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その5 まとめ(津波対策)	○ 船木 寮一 三建設備工業(株) 岡田 誠之 東北文化学園大学	71

【再生可能エネルギー①】		司会：鈴木 道哉 東北学院大学	掲載 ページ
10:12～11:00		口頭発表B会場 (1階913教室)	
B-6	地中熱ヒートポンプをベースロードにしたLNG気化システムの開発と実証 (その1) 開発の主旨とシステムの概要	○ 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 葛 隆生 北海道大学 小司 優陸 北海道大学 査 穎 北海道大学 長野 克則 北海道大学 石川 光浩 北海道電力(株) 深井 則博 北海道電力(株) 佐々木 勇斗 北海道電力(株) 竹内 進 東北電力(株) 宍戸 淳 東北電力(株) 岡田 真武 東北電力(株) 八島 裕一 日本ガス開発(株) 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 斎藤 一成 ゼネラルヒートポンプ工業(株)	75
B-7	地中熱ヒートポンプをベースロードにしたLNG気化システムの開発と実証 (その2) 空気-水熱交換器によるハイブリッドシステムの性能検証	○ 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 斎藤 一成 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 葛 隆生 北海道大学 小司 優陸 北海道大学 査 穎 北海道大学 長野 克則 北海道大学 石川 光浩 北海道電力(株) 深井 則博 北海道電力(株) 佐々木 勇斗 北海道電力(株) 竹内 進 東北電力(株) 宍戸 淳 東北電力(株) 岡田 真武 東北電力(株) 八島 裕一 日本ガス開発(株)	79
B-8	地中熱ヒートポンプをベースロードにしたLNG気化システムの開発と実証 (その3) 気候特性による月別と経年変化予測	○ 岡田 真武 東北電力(株) 竹内 進 東北電力(株) 宍戸 淳 東北電力(株) 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 葛 隆生 北海道大学 小司 優陸 北海道大学 査 穎 北海道大学 長野 克則 北海道大学 石川 光浩 北海道電力(株) 深井 則博 北海道電力(株) 佐々木 勇斗 北海道電力(株) 八島 裕一 日本ガス開発(株) 谷藤 浩二 ゼネラルヒートポンプ工業(株) 斎藤 一成 ゼネラルヒートポンプ工業(株)	83
B-9	自然エネルギーを活用した暖房パネルシステムの提案	○ 門脇 汰晟 東北工業大学 水間 幹也 東北工業大学 阿部 良我 東北工業大学 許 雷 東北工業大学	87

【再生可能エネルギー②】		司会：田原 誠 (株)竹中工務店	掲載 ページ
11:12～11:48		口頭発表B会場 (1階913教室)	
B-10	※口頭発表の中止により、取り下げられました。		-
B-11	再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(その2)	○ 矢崎 稜馬 北海道大学 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 土山 紘平 北海道大学	89
B-12	再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(その3)	○ 土山 紘平 北海道大学 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 矢崎 稜馬 北海道大学	93

【給湯システム】		司会：須藤 諭 東北文化学園大学	掲載 ページ
13:30～14:18		口頭発表B会場 (1階913教室)	
B-13	VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用(その1)再生可能エネルギー由来の電力の状況	○ 藤井 良平 四国電力(株) 天野 雄一朗 四国電力(株) 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 矢崎 稜馬 北海道大学 土山 紘平 北海道大学 安岡 稔弘 (株)四電技術コンサルタント 堀岡 建吾 (株)四電技術コンサルタント 三島 潤也 (株)四電技術コンサルタント	97
B-14	VPPリソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用(その2)気候と季節の違いによる動的給湯負荷と貯湯、電力消費量	○ 矢崎 稜馬 北海道大学 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 土山 紘平 北海道大学 天野 雄一朗 四国電力(株) 藤井 良平 四国電力(株) 安岡 稔弘 (株)四電技術コンサルタント 堀岡 建吾 (株)四電技術コンサルタント 三島 潤也 (株)四電技術コンサルタント	101
B-15	ヒートレサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究(その1)給湯配管系統での熱損失	○ 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 矢崎 稜馬 北海道大学 土山 紘平 北海道大学 岩井 良真 関西電力(株) 上林 由果 関西電力(株) 岡本 茂 (株)東畑建築事務所 小畑 拓未 (株)東畑建築事務所	105
B-16	ヒートレサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究(その2)実験の概要と解析	○ 土山 紘平 北海道大学 赤井 仁志 福島大学 / 北海道大学 濱田 靖弘 北海道大学 矢崎 稜馬 北海道大学 岩井 良真 関西電力(株) 上林 由果 関西電力(株) 岡本 茂 (株)東畑建築事務所 小畑 拓未 (株)東畑建築事務所	107

【温熱環境】 14:30～15:18		司会：渡邊 浩文 東北工業大学 口頭発表B会場（1階913教室）	掲載 ページ
B-17	非接触型放射センサと数値解析を連成させた室内環境リアルタイム表示システムの開発	○ 鈴木 恵 三機工業(株) 鈴木 慎介 三機工業(株) 新村 浩一 三機工業(株) 福森 幹太 三機工業(株)	111
B-18	応急仮設住宅の環境設計ガイドラインの提案 ー熱・空気環境改善に向けた仕様と住まい方の検討ー	○ 千田 涼香 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	115
B-19	東北地方の冬季の住宅内寒冷環境下における人体エクセルギー消費の試算	○ 西川 竜二 秋田大学	119
B-20	機械換気設備のない中学校教室における冷暖房期間の空気環境長期計測	○ 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	121

### 3. 技術展示

【技術展示】 コアタイム 12:00～12:30（展示は8:50～15:30）		司会：後藤 正徳 第一工業(株) 技術展示会場（1階911教室）	掲載 ページ
展示 No.	展示題目	出展者	
T-1	配管材のオールプラスチック化	積水化学工業(株)	123
T-2			
T-3	新型「業務用ロスナイ」のご紹介	三菱電機住環境システムズ(株)	124
T-4	調湿外気処理ユニット(小型デシカント空調機)	クボタ空調(株)	125
T-5	工場用ゾーン空調機	木村工機(株)	126

## 4. 第64回東北環境設備研究会 兼空気調和・衛生工学会東北支部 令和元年度市民向け講演会

厳冬季の大規模災害と長期間の停電等による避難所のLCP対策

司会: 赤井 仁志

15:30～16:30

口頭発表A会場 (1階912教室)

1. 開会

2. 講演

災害時の避難所のLCP対策  
防災教育と避難所運営

森 太郎 北海道大学  
定池 祐季 東北大学

3 閉会

## 5. 閉会式

【閉会式】

司会: 菅原 正則

宮城教育大学

16:30～16:45 口頭発表A会場 (1階912教室)

優秀発表奨励賞 発表 優秀発表奨励賞 選考・表彰委員会委員長 小林 光 東北大学

優秀発表奨励賞 受賞式 空気調和・衛生工学会 東北支部長 渡邊 浩文 東北工業大学

## 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部 第9回 学術・技術報告会 交 流 会

2020年3月10日(火)

ホテルグランテラス仙台国分町  
仙台市青葉区国分町2-2-2

### ★ 交流会

【交流会】

司会: 田原 誠

竹中工務店

18:00～20:00

〔会費:6,000円〕

開会挨拶 空気調和・衛生工学会 東北支部長 渡邊 浩文 東北工業大学

共催・協賛・後援団体代表祝辞 日本技術士会東北本部長 熊谷 和夫様

乾杯 日本設備設計事務所協会連合会北海道・東北ブロック長 関 幸夫 様

【 歓 談 】

閉会挨拶 第9回学術・技術報告会 組織委員会委員長 菅原 正則 宮城教育大学

# A-3

## アルミニウム冷媒配管の施工性と耐食性・耐候性

○内山 聖士（三機工業（株））、植村 聡（三機工業（株））

Evaluation of workability and corrosion characteristics for aluminum refrigerant pipe

Uchiyama Seiji (SANKI Engineering), Uemura Satoshi (SANKI Engineering)

キーワード：アルミニウム，冷媒配管，施工性，耐候性

### はじめに

中小事務所ビルでは大手デベロッパーの空調標準がヒートポンプ型パッケージエアコンとされるなど、パッケージ方式の空調は今後、需要が増加することが予想される。一方で、建設業の就業者数は年々減少しており、建築設備工事においても熟練作業員が減少する中で施工品質の維持と向上を行う必要がある。そこで筆者らは、これまで冷媒配管には用いられてこなかった軽量で安価なアルミニウムに着目し、アルミニウム冷媒配管工法を開発した<sup>1)</sup>。

本報では、アルミニウム冷媒配管工法の固有材料である配管やメカニカル継手の特性、アルミニウム冷媒配管工法の施工性、アルミニウム冷媒配管の耐候性について述べる。

### 1. アルミニウム冷媒配管工法の固有部材

#### 1.1 アルミニウム冷媒配管

アルミニウム冷媒配管は、APEA1001:2018で規定される。APEA1001では、高圧ガス保安法冷凍保安規則関係例示基準（以下：例示基準）に準じて配管仕様を制定している。例示基準では、冷媒配管として使用可能なアルミニウム合金は、JIS H4000 または JIS H4080 で規格化され、Mg（マグネシウム）含有量が 2%未満のアルミニウム合金と規定される。また、管の厚さは例示基準で規定される算出式に基づき算出し、アルミニウム合金では、算出した管の厚さに 0.2 mmの腐れしるを加算すると規定される。市販されているアルミニウム冷媒配管は、配管外径が 6.35mm から 15.88mm までは、アルミニウム合金 A3003-O で製造され、配管外径が 19.05mm から 38.1mm まではアルミニウム合金 A6063-T83 で製造されている。アルミニウム配管と既存の銅配管の管厚さと重量を表-1 に示す。表-1 中の重量は、10mmの

保温材の重量も含んでいる。アルミニウム配管と既存の銅配管を比較すると、アルミニウム配管は銅配管に比べていずれのサイズも管厚が厚くなる。しかしながら、単位長さあたりの重量を比較すると、アルミニウム冷媒配管は銅冷媒配管の約 50%の重量であり軽量である。

表-1 管の厚さと重量

外径	アルミニウム			銅		
	材質	管の厚さ	重量	材質	管の厚さ	重量
	-	mm	g/m	-	mm	g/m
6.35	A3003-O	0.85	58	C1220-O	0.80	124
9.52	A3003-O	1.15	102	C1220-O	0.80	195
12.70	A3003-O	1.50	203	C1220-O	0.80	266
15.88	A3003-O	1.80	292	C1220-O	1.00	416
19.05	A6063-T83	1.05	296	C1220-1/2H	1.00	640
22.22	A6063-T83	1.15	352	C1220-1/2H	1.00	740
25.4	A6063-T83	1.30	414	C1220-1/2H	1.00	830
28.58	A6063-T83	1.45	493	C1220-1/2H	1.00	930
31.75	A6063-T83	1.55	647	C1220-1/2H	1.10	1193
38.1	A6063-T83	1.85	902	C1220-1/2H	1.35	1720

#### 1.2 メカニカル継手

開発したメカニカル継手は、継手本体、インサート、ナットから構成される。既往のアルミニウム冷媒配管用メカニカル継手は鋳鉄製の継手本体、真鍮製のインサート、ナットが別々となっているのに対し、今回開発したメカニカル継手は、インサートとナットは誤接続や建築設備の現場での紛失防止、作業時間短縮の目的で予め継手本体にセットされている。継手本体、ナット、インサートの材質はアルミニウム合金 A6061-T6 である。

ナットには絞り加工がされており、専用の油圧工具でナットを継手本体に押し込むことで、インサートと継手本体に挟まれた配管は、ナット絞り

形状に沿って塑性変形する。この塑性変形が継手から配管が抜け落ちるのを防ぎ、気密性を確保する(図-1)。

継手サイズはビル用マルチエアコンの施工で必要とされるサイズである 6.35mm から 38.1mm の 10 サイズを開発した。ISO14903 Refrigerating systems and heat pumps では、設計圧力の 5 倍以上 (21.5MPa 以上) の耐圧を継手に求めている。開発した継手は全てのサイズにおいて設計圧力の 5 倍の耐圧を有していることを確認済みである。

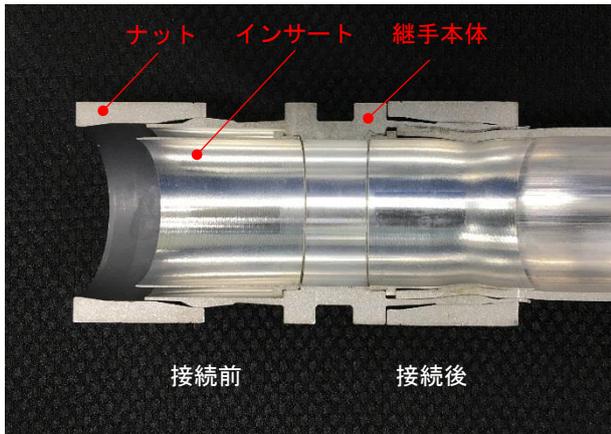


図-1 継手の内部構造

## 2. 事務所ビルにおける施工性の検証

検証は神奈川県大和市にある 4 階建ての事務所ビルで行った。検証の対象とした床置形空冷ヒートポンプの冷房能力は 50kW、暖房能力は 56kW である。対象機の室外機は 2 台であるのに対して室内機は 1 台である。室内機内には熱交換器が 2 機あり、接続する配管は 2 系統ある。配管の外径はガス管が 25.4φであり、液管が 12.7φである。1 系統あたりの配管長さは 75m であり、室内機と室外機の高低差は 12.1m である。検証では 1 系統を銅冷媒配管とし、もう 1 系統をアルミニウム冷媒配管とし、それぞれの系統で継手の接続個数を 26 個 (ガス管で 13 個、液管で 13 個) として施工時間を計測した。銅冷媒配管はメカニカル継手で施工した。

アルミニウム冷媒配管の配管施工時間が 2 時間 49 分に対して銅冷媒配管は 3 時間 20 分であった。配管作業では約 15% の短縮が図れた。銅冷媒配管の保温施工時間は 1 時間 59 分であったのに対してアルミニウム冷媒配管の保温施工時間は 1 時間

16 分であった。保温施工時間は 36% の時間短縮が図れた。

配管工事と保温工事を合わせた施工時間の比較を図-2 に示す。アルミニウム冷媒配管の合計は 4 時間 5 分であり、銅冷媒配管の合計は 5 時間 19 分であった。配管工事と保温工事を合わせて約 25% の施工省力化が図れた。

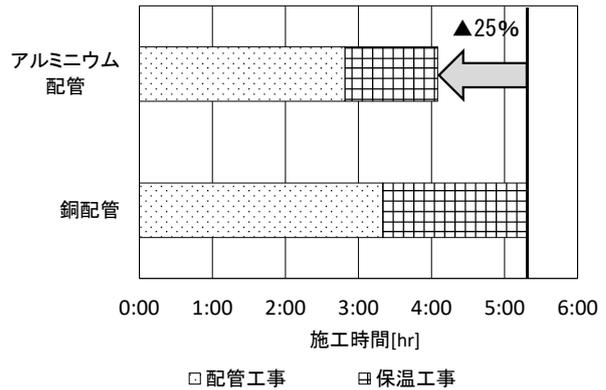


図-2 施工時間の比較

## 3. 耐食性・耐候性

アルミニウムを冷媒配管に用いた場合の耐食性、耐候性を評価するために、配管の内側、配管の外側で腐食要因を整理し、冷媒浸漬試験と促進耐候性試験を行った。試験に使用したアルミニウムは A3003-O、A6063-T83、A6061-T6 であり、銅は C1220-O と C1220-1/2H を使用した。



図-3 試験体

### 3.1 冷媒浸漬試験

配管内側の腐食要因は、冷媒、冷凍機油の水分が考えられるため、冷媒・冷凍機油混合溶液に試験体を浸漬し、腐食・劣化挙動を確認した。

#### (1) 試験方法

耐圧容器内に電子天秤で軽量した試験体及び冷凍機油と冷媒 R410A を同量 (冷媒 10g、冷凍機油

10g) 封入し、空調用冷媒配管の最高使用温度である 120℃ (1.6MPa) まで加温し 21 日間の浸漬試験を行った。(JIS K2211 では 125℃、14 日間の浸漬試験されている。) その後、高温槽内の温度を室温の 20℃に戻し、圧力容器の蓋を開け試料を取り出し、重量測定、外観観察、SEM による表面観察を行った。

(2) 重量測定

浸漬前後の試験体の重量を図-4 に示す。浸漬前後ではいずれの試験体も重量変化は見られなかった。

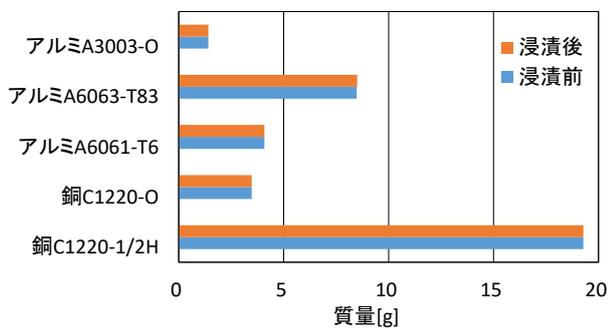


図-4 冷媒浸漬前後の重量

(3) 外観・表面観察

浸漬前後の試験体の外観と SEM による表面観察の結果を図-5 に示す。図中には一例として A6063-T83 の結果を示した。いずれの試験体においても、図-5 と同様に、浸前後で表面上の変化がなく、変色も見られず、表面形状に際立った違いは認められなかった。

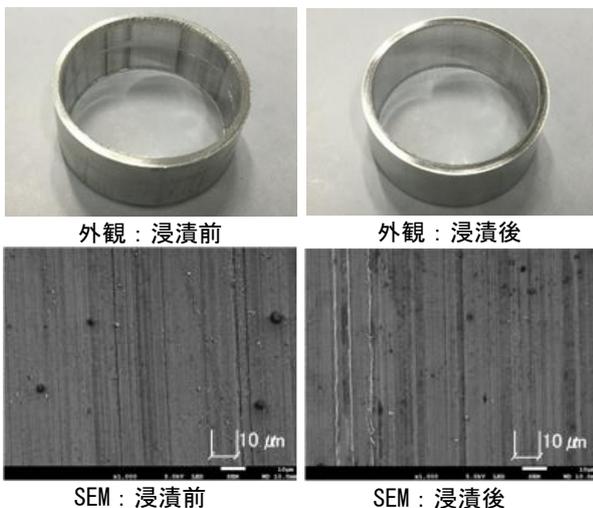


図-5 冷媒浸漬後の表面

3.2 促進耐候性試験

配管外側の腐食要因は、水、酸素、塩化物が考えられるため、自動車技術協会規格化される複合サイクル試験 (JASO M610) により耐候性を確認した。

(1) 試験方法

複合サイクル試験は、①中性塩水噴霧 35℃、pH6.5~7.2、2hr②乾燥 60℃25%RH、4hr③湿潤 50℃95%RH、2hr の①~③の 8hr を 1 サイクルとし 500hr 実施し、経過時間ごとに外観検査、重量測定を行った。複合サイクル試験を行った試験体は酸洗いにより腐食生成成分を除去した後に重量を測定した。なお、複合サイクル試験の 500hr は沖縄の塩害環境で 1 年半相当、愛知県刈谷市で約 20 年に相当するという報告がある<sup>2) 3)</sup>。

(2) 外観観察

経過時間ごとのアルミの外観を図-6 に示す。A3003-O は、24h 以降で配管表面が白色となり、時間経過とともに配管表面の光沢がなくなった。A6063-T83 は 8h 以降で配管表面が部分的に白色となり時間経過とともに配管表面の光沢がなくなり、配管全面が白色となった。A6061-T6 は 8h 以降で表面の光沢がなくなり、384h 以降で全面が白色となった。

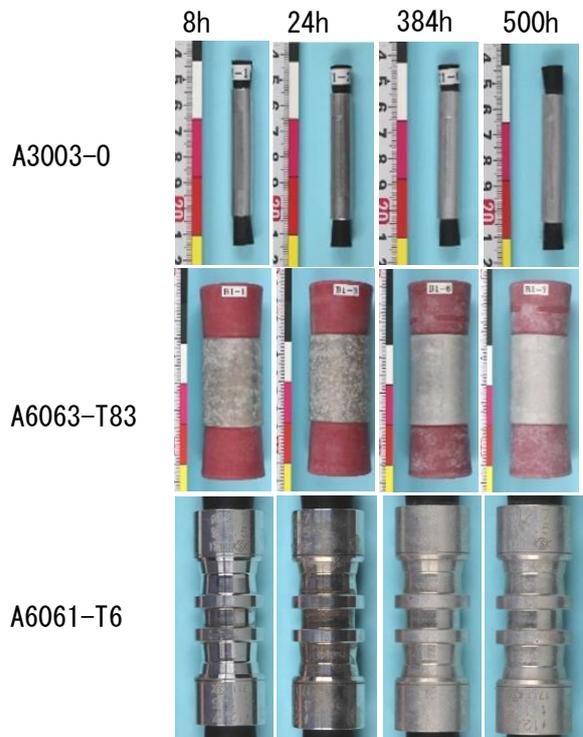


図-6 経過時間ごとの外観 (アルミ)

経過時間ごとの銅の外観を図-6に示す。C1220-Oは、8h以降から配管表面が変色しており、96h以降で配管表面に緑青が見られた。C1220-1/2Hは、8h以降から配管表面の光沢が薄れ変色が見られ、24h以降で配管表面に緑青が見られた。

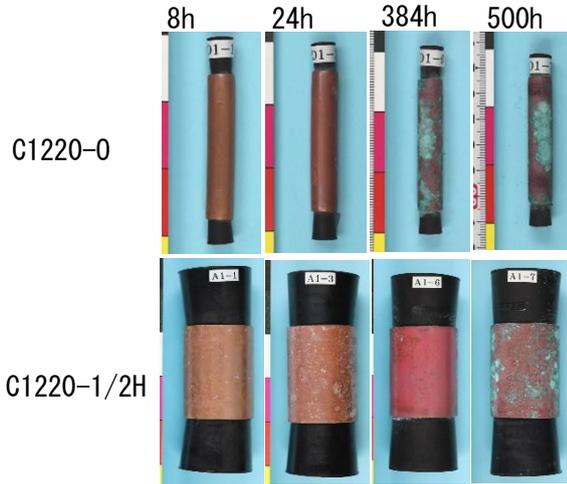


図-7 経過時間ごとの外観（銅）

(3) 重量測定

経過時間ごとのアルミニウムの重量変化を図-8に示す。図の横軸は経過時間であり、縦軸は腐食度である。腐食度は、複合サイクル試験前後の重量からサンプルの表面積を除いて算出した。腐食度はA3003-O、A6063-T83、A6061-T6の順に大きく、熱処理材料であるA3003-O、A6063-T83の方が、非熱処理材料のA6061-T6より腐食度が大きい結果を得た。

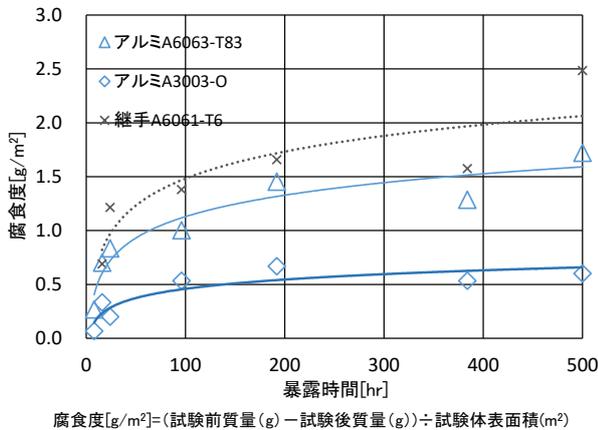


図-8 経過時間ごとの重量変化（アルミ）

またアルミニウムは経過時間96hまでは時間と共に腐食度が増加するが、経過時間96h以降では腐食度の増加は横ばいであり、合金の表面に安定的な不動態皮膜が形成されたと推察される。

経過時間ごとの銅の重量変化を図-9に示す。C1220-1/2H、C1220-Oともに96hまでは、腐食度はほぼ同じである。192h以降では、C1220-Oの腐食度の方がC1220-1/2Hの腐食度よりも多くなった。C1220-Oの方が、192h以降で表面の緑青が顕著であり、酸洗いに緑青が除去されたため、腐食度が増加したと考えられる。

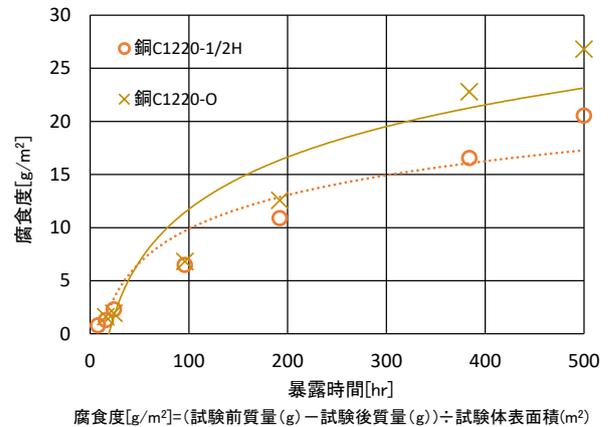


図-9 経過時間ごとの重量変化（銅）

4. まとめ

開発したアルミニウム冷媒配管工法は、従来の銅配管の施工に比べて25%の省力化が図れることを確認した。また、アルミニウム冷媒配管は、銅冷媒配管と同程度以上の耐食性、耐候性を有することを確認した。

参考文献

- 1) 内山ほか、アルミニウム配管を用いた冷媒配管施工の実験的研究、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、2017.9
- 2) 須賀、自動車用材料、部品の腐食試験方法及びその応用による新しい試験方法、防錆管理、pp142-152、1994.4
- 3) 林ほか、複合サイクル試験の腐食促進試験への適用、あいち産業科学技術総合センター研究報告、pp20-23、2013

# A-4

## 局所窒素置換工法（エルブレイズ工法）の開発・展開

○権田 勝美（高砂熱学工業㈱）、込山 治良（高砂熱学工業㈱）

Development of local nitrogen-filling copper piping brazing method  
 Katsumi Gonda (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.), Haruyoshi Komiyama (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.),

キーワード：窒素置換、酸化被膜、省力化、CFD（流体解析）

### はじめに

建築設備の施工現場において冷媒配管（銅管）をろう付接合（写真-1）する際に、酸素が存在する状態で銅管を加熱した場合、銅表面に酸化被膜（酸化銅：CuO）が生成される。特に配管内面に生成された酸化被膜は空調設備を使用中に剥離し、バルブなどのつまりや機器の故障の原因となる。一般的に配管内面の酸化被膜の生成を防ぐために、配管系統全域にわたり窒素をパージした状態でろう付を行う「一括窒素置換工法」が使用されている。

我々は以前開発した工法を改良し、現場での施工省力化・効率化を目的として、軽量な小瓶窒素ボンベで対応可能な「局所窒素置換工法」を開発した。

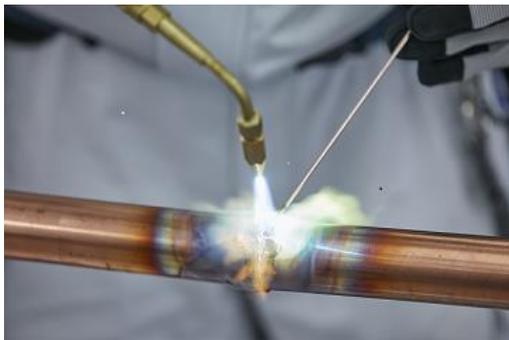


写真-1 冷媒配管のろう付

### 1. 冷媒用銅配管ろう付における課題

冷媒銅配管のろう付施工時には、銅配管の酸化防止策として、窒素ガス置換法を用いる。具体的には、仮組した銅配管に窒素ガスを流しながら、ろう付を行う「一括窒素置換工法」を用いる。

一括窒素置換工法は、一定規模以上の銅配管の仮組をしたうえでろう付作業を行うため、現場において他工種との工程調整が重要となる。実際の

施工現場では“工区ごとに仕上げる”あるいは“小部屋ごとに仕上げる”場合が多く、冷媒配管系統一括で適切なろう付が実施できる場合は少なく、その都度窒素ガス置換の段取り替えを行う必要があり、作業効率が悪い。また、ろう付時に銅配管内全体に窒素を流し続ける必要があるため窒素の消費量が多くなり、大瓶の窒素ボンベが大量に必要となる。

上記の課題解決方法のひとつとして「局所窒素置換型銅配管ろう付工法」を開発した。

### 2. 局所窒素置換工法の概要

局所窒素置換工法は、ろう付個所の銅配管に窒素ガス封入用の小孔を開け、窒素ガス封入口より窒素ガスを銅配管内に封入する。窒素ガスを銅配管内部に充満させ、銅配管内の空気（酸素）を排出することで、ろう付時の酸化被膜の形成を防止する（図-1）。

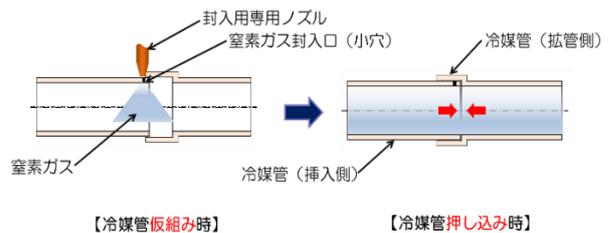


図-1 局所窒素置換工法の手順

ろう付個所ごとに上記作業を行うため、他作業との工程調整が容易であるほか、窒素の消費量も減らすことが可能である。

### 3. 局所窒素置換工法の作業手順

局所窒素置換工法の施工手順は、窒素封入量の設定 → 管端閉止と逃口開口の設置 → 窒素ガス封入口の穴あけ → 配管の仮組みと窒素ガス封入 → 挿入管側の押し込み、ろう付、冷却までとなる。ろう付施工は、窒素封入後 5 分以内に完了するこ

と規定した。以降、各作業工程に関して説明する。

### 3.1. 窒素封入量の設定

窒素ポンペに減圧弁（レギュレータ）を取付ける。窒素ガスの流量が 7.5L/min となるように、二次側圧力を 0.04~0.08MPa に調整する。

### 3.2. 管端閉止と空気逃口開口の設置

銅配管の開放端を配管保護用のキャップやテープを利用して閉止し、管内の空気を逃がすための逃口開口を1個あける（写真-2）。



写真-2 管端閉止と逃口開口の設置

### 3.3. 窒素ガス封入口の穴あけ

専用治具を使用し挿入銅配管側に窒素ガス封入用の穴をあける。専用治具は穴開けした小片を回収する仕組みとなっている。穴あけ後に専用治具に小片が回収されていることを確認する。専用治具によって穴あけは人力で行うことが可能である（写真-3）。



写真-3 窒素ガス封入口の穴あけ

### 3.4. 配管の仮組み、窒素ガス封入

配管を仮組みして、窒素ガス封入口から窒素ガスを専用ノズルにて銅配管内に封入する。銅配管口径ごとに設定された封入時間（表-1）を厳守する。

表-1 配管口径ごとの窒素封入時間

配管口径(mm)	配管の向き	充填時間(秒)
6.35~19.6	横管	10
22.22~28.58		20
31.75~38.15		30
6.35~38.15	縦管	30

### 3.5. 挿入管側の押し込み、ろう付、冷却

挿入銅配管（窒素ガス封入口を穴あけした配管）を拡管側銅配管に押し込み、窒素ガス封入口を隠し、接合部のろう付を行う。

## 4. 銅配管内の窒素ガス滞留変動のシミュレーション

局所窒素置換工法は、ろう付箇所ごとに窒素を銅配管内に封入し酸素を追い出すことで、銅配管内面の酸化を防止する。窒素封入後、一定時間（配管予熱~ろう付~冷却までの間）一定の範囲に、銅配管内の窒素雰囲気保持されていることを、CFD シミュレーションを用いて検証した（表-2、図-2）。

### 4.1. シミュレーション条件

二次元モデルを使用し、窒素の濃度を拡散物質としてモデル化した。空気と窒素の密度差によって生じる浮力は拡散物質濃度より算出した（式-1）。

$$F = \Delta\rho \times 5 \times (C - 0.8) \times g \times SCL \quad (\text{式-1})$$

$\Delta\rho$ : 空気と窒素の密度差  
 $C$ : 拡散濃度(窒素濃度)  
 $g$ : 重力加速度  
 $SCL$ : 要素体積

表-2 シミュレーション条件

項目	概要
境界条件	流入口：流量規定 流出口：圧力規定 管壁面：静止壁 対称面：フリースリップ壁
配管径と取付方向	①25.58φ（横管）③6.35φ（横管） ②28.58φ（縦管）④6.35φ（縦管）
単位時間あたりの窒素封入量	7.5L/分（125mL/秒）
窒素封入時間	300秒（5分）
配管長さ	4m + 4m
封入気体	窒素ガス（非圧縮 20℃）
配管端部逃口開口の大きさ	2mm
計算時間	300秒

### 4.2. シミュレーション結果

表-2、①~②条件におけるシミュレーション結果を以下に示す。

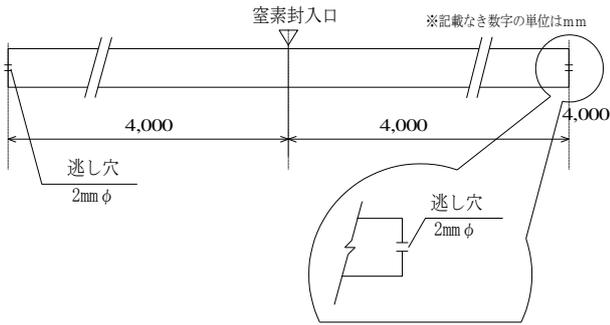


図-2 CFDモデルの概要

(1) 28.58φ、横管

窒素封入 20 秒後には、窒素封入口から 1 m までの銅配管内部は窒素で置換されたことがわかる (図-5)。また、300 秒まで窒素封入口から 1.5 m までの範囲で窒素が置換されたままの状態を保つことがわかる。(図-5 に凡例がある通り、赤が窒素ガス 100%の状態であり、青は窒素ガスが 80%の状態=空気中の状態を表す。)

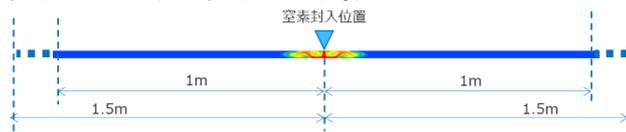


図-3 28.58φ窒素封入直後(1秒)の窒素ガス滞留状況

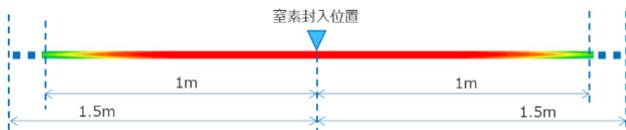
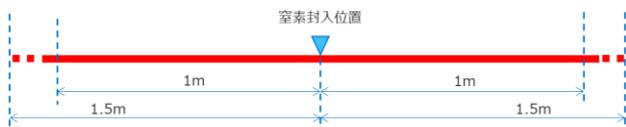


図-4 28.58φ窒素封入後10秒の窒素ガス滞留状況

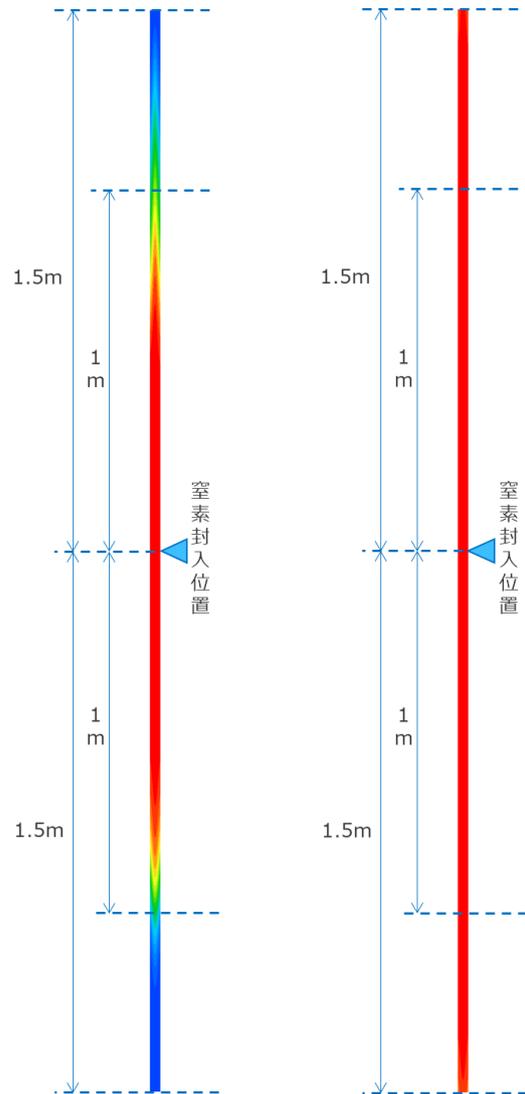


窒素濃度(×100%)  
0.8 1.0

図-5 28.58φ窒素封入後20秒と300秒の窒素ガス滞留状況

(2) 28.58φ、豎管

窒素封入後 300 秒まで、窒素封入口の上方 1.5 m 下方 1.5 m の範囲が窒素で置換されたことがわかる。(図-6)。



(窒素封入後 10 秒) (窒素封入後 300 秒)  
図-6 28.58φ窒素封入後の窒素ガス滞留状況

5. 実際にろう付を行った配管の内面状況

前章で確認した銅配管内の窒素封入状況のシミュレーション結果を検証するために、実際に局所窒素置換工法を用いてろう付を行った銅配管(シミュレーション条件と同条件)を割管し、その内面の状況を確認した(写真-4)。比較対象として、窒素置換を行わずにろう付を行った銅配管の内面写真を示す(写真-5)。

局所窒素置換工法を用いてろう付を行った銅配管内面には酸化被膜の生成は認められなかった。一方、窒素置換を行わずにろう付を行った配管内面は、ろう付部を中心に、剥離性のある酸化被膜が生成しており、窒素置換の重要性を再確認した。



写真-4 局所窒素置換工法でろう付した配管内面



写真-5 酸化防止策せずに行うろう付した配管内面

## 6. 施工要領外条件での品質確認

開発した局所窒素置換工法では、ろう付完了までにかかる時間を窒素封入後 5 分以内と規定している。実際の銅配管を用いて「窒素封入後 5 分放置した後にろう付を行った」ものの銅配管内面状態を確認した。

また、「窒素封入量（封入時間）を既定の 1/2 とする」条件で、実際の銅配管を用いてろう付を実施し、銅配管内面状態を確認した。

表-3 に結果をまとめた。

表-3 施工要領外条件での品質確認

施工条件	状況	結果
窒素封入後 5 分後ろう付	銅配管内部酸化物 生成なし	写真-4 と同じ 問題なし
窒素封入量を 半分	銅配管内部変色 (酸化) あり	酸化しているが 剥離性はない

これにより、銅配管の施工品質確保のためには窒素封入量（封入時間）の厳守が重要であることが分かった。

## 7. 結論

局所窒素置換工法が、一括窒素置換工法と同様に、ろう付け時に銅配管内面の酸化防止に効果的であることを確認した。

以下（表-4）を局所窒素置換工法実施時の作業基準とした。

表-4 局所窒素置換工法 作業基準

項目	内容
窒素ガス封入圧力	0.04~0.08MPa
窒素ガス封入時間 (秒)	6.35~19.6 φ、横管：10 22.22~28.58 φ、横管：20 31.75~38.15 φ、横管：30 6.35~38.15 φ、縦管、30
ろう付施工時間	窒素封入より 5 分以内
ろう付施工 有効範囲	窒素封入口より 1m の範囲
その他	・端部を閉止し逃がし穴をあける ・上記時間内、範囲内であれば分岐管など複数箇所をろう付け実施が可能

局所窒素置換工法を採用することで、小部屋の天井内の配管施工など、個別の銅管溶接作業が簡便に実施可能となり作業の効率化が図れる。

また、局所窒素置換工法では、銅配管径に対する窒素の封入量や、ろう付完了までの時間を明確に規定する（表-4）ことで、ろう付箇所内部の酸素を確実に排除した状態でろう付を行うことができ、銅配管のろう付施工に対して高い水準で品質を確保することが可能となる。2020 年 1 月現在で、現場導入実績は 98 件、作業資格者 527 名、品質管理者 321 名である。

現在、国土交通省の新技术情報提供システム（NETIS）に登録申請中であり、登録されれば、簡単に誰でも閲覧できるので、品質が良いことを認識していただき、広く展開されることを期待する。

## 参考文献

- 1) 近藤ほか、窒素置換不要なろう付け工法「Nフリーブ」の開発、建築設備 Vol.64 No.10, (2013), pp.92~94
- 2) 近藤ほか、窒素置換銅管ろう付け工法に替わる工法の検証、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、Vol.2012 No.3, (2012), pp. 2893~2896

# A-5

## アルミ冷媒配管システムの開発

○込山 治良（高砂熱学工業株式会社）、権田 勝美（高砂熱学工業株式会社）

Development of the aluminum refrigerant plumbing system  
 Komiyama Haruyoshi (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.), Gonda Katsumi (Takasago Thermal Engineering Co., Ltd.),

キーワード：アルミニウム，冷媒配管，機械式継手，PAC，空調設備，おっぞんくん

### はじめに

建設現場における冷媒配管工事でこれまで主流であった銅配管と比べ、重量が3分の1と軽量でリサイクルが容易なアルミ配管の採用について研究を重ねてきた。

このほど、アルミ押出加工メーカーとアルミ冷媒配管（写真-1）の仕様を定めると共に、アルミ配管用の機械式継手を東尾メック株式会社と共同開発（商品名：「アルミおっぞんくん」）した。当社は今後、堅調なリニューアル工事に適するアルミ冷媒配管システムの展開を検討していく。

本報では、アルミ冷媒配管用の機械式継手の開発とフィールド検証、アルミろう付の建設施工現場での実用化について報告する。



写真-1 アルミ冷媒配管

### 1. 背景

近年、新興国の目覚ましい発展や電気自動車(EV)の急速な普及等により、銅の需要が増加している。

アルミの重量単価は、近年では横ばいで推移している。アルミは銅に比べて地球上に豊富にある金属で、今後安定した価格を維持すると推測できる。

### 2. アルミ配管の優位性

アルミ配管は、銅配管と比べて3分の1と軽量なことから作業員の負担を軽減できるとともに、

設備業界でアルミ材のリサイクル率を、仮に飲料用アルミ缶のリサイクル率 85%をベンチマークとすれば、大幅なCO<sub>2</sub>排出量の削減につながる。

表-1 銅・アルミ管再生地金割合別 CO<sub>2</sub> 排出量比較

サイズ (mm)	銅管 (再生地金 45%)	アルミ管 (再生地金 100%)	アルミ管 (再生地金 85%)	CO <sub>2</sub> 排出量 削減率(%)
	①CO <sub>2</sub> 排出量 (kg/m)	CO <sub>2</sub> 排出量 (kg/m)	②CO <sub>2</sub> 排出量 (kg/m)	(1-②/①)×100 削減率(%)
6.35	0.224	0.066	0.123	45.2
9.52	0.351	0.138	0.258	26.4
12.7	0.478	0.235	0.44	7.9
15.88	0.748	0.356	0.665	11.1
19.05	0.908	0.261	0.488	46.2
22.22	1.067	0.344	0.644	39.7
25.4	1.226	0.436	0.816	33.5
28.58	1.387	0.549	1.026	26.1
31.75	1.695	0.662	1.238	27
38.1	2.137	0.926	1.73	19.1
			平均値	28.20%

表-1 に銅管・アルミ管の再生地金割合別 CO<sub>2</sub> 排出量比較を示す。これらを比較すると、銅管(再生地金 45%)をアルミ管(再生地金 85%)に変えることでCO<sub>2</sub>排出量約 28.2%の削減が見込める。

### 3. 機械式継手「アルミおっぞんくん」の開発

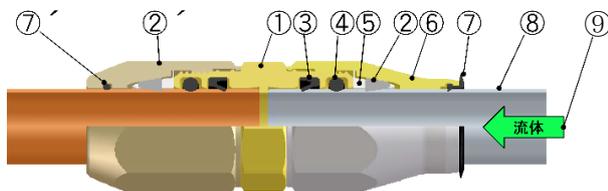
従来の銅配管接続の無火気工法で使用されている機械式継手「おっぞんくん<sup>※1</sup>」は、東尾メックの継手主要製品であり、トップシェアを有する豊富な実績と漏洩事故ゼロの高信頼製品である。当社でもリニューアル工事等の火気を使えない場合には、この「おっぞんくん」を従来から採用している。

※1：「おっぞんくん」は東尾メック株式会社の登録商標



写真-2 「アルミおっぞんくん」  
アルミ+アルミタイプ

■継手外観、構造



部品	材質	備考
① 継手本体	C3771	銅管用おっぞんくんを流用
② アルミ管用ナット	C3771	表面にNiCr鍍金処理
② 銅管用ナット	C3771	銅管用おっぞんくんを流用
③ Vパッキン	ILR	銅管用おっぞんくんを流用
④ Oリング	EPDM	銅管用おっぞんくんを流用
⑤ レバレッジリング	PE-RT	銅管用おっぞんくんを流用
⑥ レバレッジジョーン	SUS410	銅管用おっぞんくんを流用
⑦ 絶縁リング	EPDM	絶縁と結露水の侵入防止
⑦ 端面Oリング	EPDM (NBR)	結露水の侵入防止
⑧ アルミ管	3003, 6063	表面処理無し HFC:R32, R410A, R407C, R404A 冷凍機油:エーテル油, エステル油, ホリオール エステル油, ホリアルキレングリコール油
⑨ 流体	HFC+冷凍機油	

図-1 アルミおっぞんくんの断面構造図

当社との共同開発による「アルミおっぞんくん」(写真-2、図-1)は銅配管用継手の基本構造を踏襲してアルミ配管用に開発したもので、耐食性と強度に優れ、施工もモンキーレンチを使うだけで容易に行える(写真-3)。特長としてアルミと銅の接触部には絶縁リングで電食を防止した。



写真-3 「アルミおっぞんくん」施工状況

#### 4. アルミ冷媒配管のろう付工法の実用化

##### 4.1 ろう付工法の課題

ろう付は金属を接合する方法の一種で、接合する金属よりも低い融点で溶融する「ろう材」を用いる。

金属(母材)を溶融せずに管の隙間にろう材が吸い込まれるのに適した温度になるまで接合部を手際よく昇温させ、ろう材を差して接合する方法である(写真-4)。

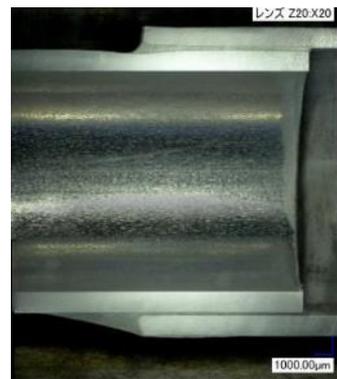


写真-4 ろう付断面(半割切断状態)

これまでアルミの融点は660℃、ろう材の融点が580℃で差が80℃しかないため、ろうを溶融し隙間に吸い込まれるまでに配管温度が上昇して、アルミ管までもが溶融してしまうことがあることが難点であった。

現状の銅管ろう付は、銅とろう材の融点差が約280℃以上あり、ろう付時に銅管が溶融することはない(表-2参照)。また、銅管は加熱すると表面の色が変化するが、アルミ管は表面の色に変化が無く、管の昇温状況が視覚的に把握できないことが更にアルミ管のろう付を難しいものにしていった。

表-2 アルミ管と銅管の溶融温度の比較

	融点(℃)		温度差(℃)
	配管	ろう材	
アルミ	配管	660	80
	アルミ用ろう材	580	
銅	配管	1085	285
	銅用ろう材	800	

一般的なアルミ加工工場等において、加熱量や加熱時間を制御できる環境下では、アルミろう付は実施されてきたが、施工現場ではこのような制

御環境は難しく、今まで非常に困難とされてきた。改めて課題を整理し、以下に示す。

(1) アルミ管とアルミろう材との熔融温度差が小さいため、加熱時にアルミ管表面が溶け出すリスクが高い。

(2) 過熱してもアルミ管表面は色の変化がなく、視覚的にアルミ管表面の温度を確認できない。

これらの課題を解決するために、アルミ管の昇温状況を確認するべく「加熱時間管理手法」を考案した。

#### 4.2 アルミ管のサイズ毎の熔融温度

銅管とアルミ管のろう付作業の決定的な違いは、アルミ管とろう材の熔融温度差が、極端に小さいことである。このため、アルミ管の加熱時間が長いとアルミ管の表面が溶け出す。この溶け出す時間をアルミ管のサイズ毎に計測し、データを収集して検証した。

予熱：ろう材投入前に配管表面温度を昇温させること

加熱：予熱～ろう付完了までの広義の昇温の意

#### 4.3 アルミ管の表面温度

従来工法の銅配管は、予熱すると表面の色が変化するため、ろう材の投入タイミングが分かりやすい(写真-5 参照)。

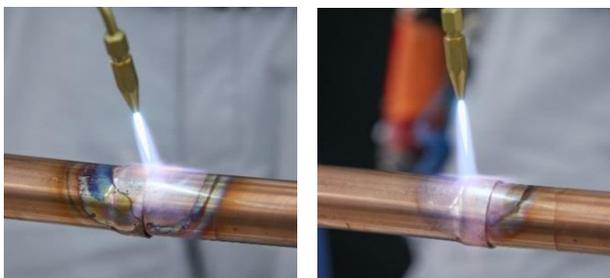


写真-5 銅管の予熱時の銅管表面色の变化

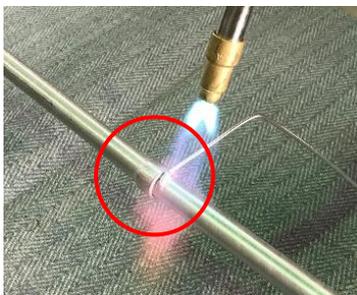


写真-6 アルミ管の予熱時の火炎色の变化

一方、アルミ管は予熱しても管の表面の色は変化せず、予熱している火炎の色のみがオレンジ色になる。このオレンジ色になるときのアルミ管の

表面温度が約 500℃であり、ろう材を投入する目安になっている(写真-6 参照。赤丸内がオレンジ色になっている)。しかし、このオレンジ色の変色は火炎の色なので、特に屋外の場合、アルミ管表面が太陽光の反射を受けると、火炎のオレンジ色の見極めが非常に難しくなる。室内でも照明の具合によって、加熱炎のオレンジ色の識別が困難となる。

#### 4.4 アルミ管の「加熱時間管理」

アルミ冷媒配管は 10 種類ある(表-3 参照)。

表-3 アルミ冷媒配管の種類

##### ■4m 硬質及び半硬質(6 種類)

外径 (mm)	肉厚 (mm)	製品質量 (kg/m)	長さ (m)
19.05	1.05	0.16	4
22.22	1.15	0.205	4
25.40	1.30	0.265	4
28.58	1.45	0.332	4
31.75	1.55	0.396	4
38.10	1.85	0.567	4

##### ■20m 硬質及び半硬質(4 種類)

外径 (mm)	肉厚 (mm)	製品質量 (kg/m)	長さ (m)
6.35	0.85	0.04	20
9.52	1.15	0.083	20
12.70	1.50	0.144	20
15.88	1.80	0.217	20

検証は、10 種類に対して 4 シーズン(春夏秋冬)毎に表-4 の①～④の作業時間のデータを収集した。

表-4 アルミろう付作業毎の時間

①	ろう付過熱(予熱)時間
②	加熱炎がオレンジ色になる時間
③	ろう材を投入する時間
④	完了時間

4 シーズンのデータは、作業場所と季節の温度に影響するため管表面温度別に、以下のようにまとめた。

- 1) 中間期 管表面温度 10～30℃
- 2) 盛夏 管表面温度 31～39℃
- 3) 厳冬 管表面温度 5～9℃

更に、予熱の方法として 1 点だけに集中的に予熱すると、管表面が溶け出すので、最低 2 方向か

ら予熱すれば管表面が溶け出さないことが分かった。よって、予熱はまず初めに下方から行い、そのあと上方を予熱する。下方上方の加熱時間は加熱炎がオレンジ色になる時間の半分とした。これらの検証結果の代表例の一部を表-5に示す(数値は一部のみ)。

表-5 ろう付作業標準時間表の例

中間期管表面温度 10~30℃の場合

サイズ φ	作業標準時間(s)					ろう材 使用量 (mm)	加熱 MAX 時間(s)
	下方 予熱	上方 予熱	炎色 反応	ろう材 投入	作業 完了		
6.35				8			
9.52	0~6				18~30		
12.70		9~16				70	
15.88			27~28				70

※表内の数字は一部割愛

## 5. 全国9か所でフィールド検証を実施

当社では2017年5月より、気象条件や空調機の運転パターンが異なる全国9か所(秋田、山形、埼玉、東京、神奈川、兵庫、鳥取、長崎、沖縄)の地区事務所や現場事務所(写真-7)の空調設備にアルミ配管を導入し「アルミおっぞんくん」の施工実験と空調設備のフィールド検証を実施した。

これらに設置した配管の長さは延べ1,000mを超え、約33ヶ月間(2020年1月時点)においても支障をきたすことなく稼働し続けている。

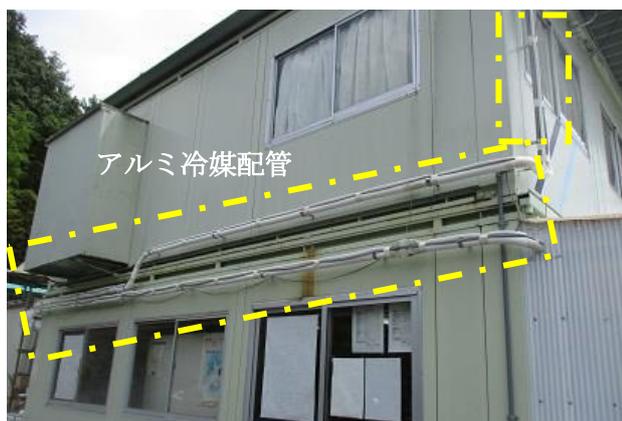


写真-7 建物に設置されたアルミ冷媒配管

## 6. 実建物への導入

2017年10月、当社グループ会社の空調設備更新に合わせて、全ての冷媒管にアルミ配管と「アルミおっぞんくん」を導入した。アルミ管同士の接続には「アルミ+アルミタイプ」を、機器周り

の銅管との接続はアルミ+銅タイプ(写真-8)を採用した。

今後は、本空調設備のモニタリングを通じて、アルミ冷媒配管システムの知見や技術の高度化に取り組んでいくことで、作業員の負荷低減とCO<sub>2</sub>削減を実現する。



写真-8 アルミおっぞんくん「アルミ+銅タイプ」

## 7. 実績と展望

アルミ冷媒配管システムの実績は、4件である(2020年1月時点)。



写真-9 屋上室外機設置状況

アルミ冷媒配管システムの普及によって、作業員の負担軽減とCO<sub>2</sub>削減が期待できる。今後も汎用化に向け、機器メーカーとの協議や施工要領書の整備を実施していく所存である。

## 参考文献

- 1) アルミニウム新地金及び展伸材用再生地金のLICデータの概要, (社)日本アルミニウム協会, (2005-3)
- 2) 各種アルミニウム各信用圧延製品の LCI データの概要, (社)日本アルミニウム協会, (2006-2)
- 3) 成田 暢彦, 匂坂 正幸, 稲葉 敦:銅製品生産システムにおける CO<sub>2</sub> 排出のライフサイクルインベントリ分析, 資源と素材 Vol.117 論文 No.8, (2001-6), pp. 671-676

# A-6

## 高層集合住宅の雑排水管システムにおける洗濯排水の排水能力への影響

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

中野英治（UR 都市再生機構）

Effect of laundry drainage on drainage capacity in waste pipe system of high-rise apartment housing

Shinozuka Toshihiko (Kanto Gakuin Univ.), Otsuka Masayuki (Kanto Gakuin Univ.),

Yamazaki Shingo (Urban Renaissance Agency), Nakano Hideharu (Urban Renaissance Agency)

キーワード：高層住宅ストック，起泡力試験，洗濯洗剤排水

### 1. はじめに

本研究は、主に UR(都市再生機構)管轄の高層集合住宅ストックにおける浴室・洗濯場システムの雑排水立管システムを総合的に改修するための有効な改修方法を提案することを目的としたものである。既往研究<sup>1)</sup>にて、図-1(1)のように洗濯排水専用排水横枝管が設置されていない現状に対し、同図(2)のように既存の排水立管へ接続し、改修対応が可能となることを示し、清水排水時の排水能力の確認も実施した。しかし、実使用では洗濯排水時に、洗濯泡が雑排水立管へ流入し、排水横枝管が洗濯泡により閉塞し、下層階トラップ封水の跳ね出しや、上層階の負圧増によるトラップ封水の吸引作用による破封の危険性が既往研究<sup>2)</sup>から指摘される。

本研究では、図-2 に示すフローの雑排水システムの排水立管システムの排水能力把握を清水及び洗濯排水の両者より行うもので前者は既報で報告した。

本報では実際の洗濯機の同時使用率調査<sup>3)</sup>に基づいて洗濯排水を高層排水システムにおいて実施し、その洗剤排水による排水能力への影響を把握し、合わせて排水負荷に対する安全性を確認する。

### 2. 実験概要

#### 2.1 供試代用洗濯機の器具排水特性値

図-3 に供試代用洗濯機(清水)の器具排水特性を示す。対象とした供試代用洗濯機は容量 30L(防水パントラップ脚断面積比：1.0) である。また、代用洗濯機の排水口部には、流量が実使用に合わせて排水できる開度調節バルブを設置し、バルブの開度変更によって、同図に示すように市販洗濯機の器具平均排水流量  $qd$  を模した値にも可変ができる。今回はバルブの開度を全開にし、市販洗濯機の  $qd$  及び、器具最大排水流量  $q_{max}$  よりも大きくなるように設定し、より厳しい条件下で排水

立管の判定指標となる管内圧力等への影響を把握する。

#### 2.2 投入洗剤の起泡力試験

起泡力試験は SHASE-S218<sup>4)</sup> の「洗剤排水負荷方法の起泡力測定方法」に準拠し、事前に図-4 に示す市販の 5 種の洗濯洗剤(液体)の起泡力の測定を行い、最も起泡力の大きい洗剤 A と小さい洗剤 B を供試洗剤とし、図-5 に洗剤 A・洗剤 B の水温と起泡力関係を示す。同図に既往研究<sup>2)</sup> の洗剤の平均値の範囲も示したが、洗剤 A は  $23 \pm 5\text{mm}$ 、洗剤 B は  $8 \pm 3\text{mm}$  程度と同一洗剤での温度によるばらつきは  $\pm 3 \sim 5\text{mm}$  程度で平均値では、洗剤 A は洗剤 B の約 3 倍の起泡力を有するという結果が得られた。

また、水温の違いにより洗剤の起泡力に顕著な差異が生じなかったのは、以前は粉洗剤が普及しており、粉洗剤の溶解具合が水温によってばらつきがあったが、現在は液体洗剤が主流となっており、水温が低いときにも十分溶解、かくはんされ

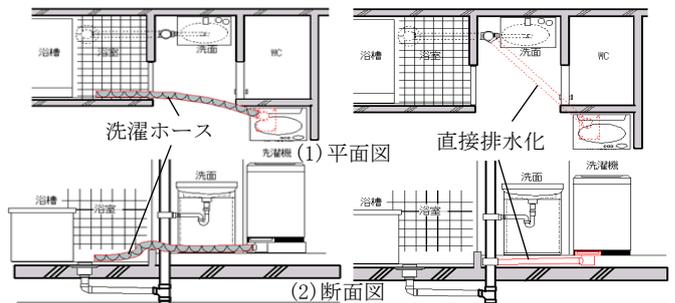


図-1 改修後の浴室系統排水配管イメージ

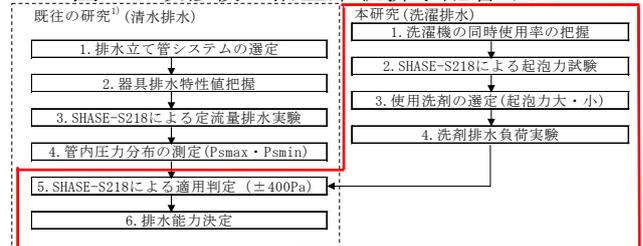


図-2 排水能力検討フロー

ることが要因と推察される。

### 2.3 供試排水立て管システム

図-6に既往研究<sup>1)</sup>と同様に排水能力を検討する各種供試排水立て管システムを示す。図-6(1)に基準排水立て管システムとなる伸頂通気方式を示す。

これらは既存の排水立て管システムを活用し、一部に結合通気管を設置するものとする。なお、伸頂通気端部には、実使用に合わせて埋込み型ベントキャップ（通気抵抗係数:9.9 相当長:26.5 m）を設置し、SHASE-S218<sup>4)</sup>に基づき排水能力の検討を行う。図-6中に示すように排水横主管は長さ11mのストレート配管と、途中に排水立て管基部より、1.2m位置に曲がり設けた、曲がり配管でも実施する。

これらのシステムを用いて排水能力値を把握し、それを洗濯機限界同時排水個数とする。

### 2.4 排水負荷の与え方

排水負荷の与え方は、上層階8.7.6階に2.1にて器具排水特性を把握した供試代用洗濯機を設置し、実使用における同時使用率調査<sup>3)</sup>より、同一排水立て管系統での同時使用率が10~15%であったことから、それを排水個数とみなすと、多くても2台程度と見なすことができ、さらに1台追加し、表-1に示す排水パターンの通り、8.7.6階から3台の合流排水、8.7階から2台の合流排水、8階の単独排水を清水及び同一洗剤2種の条件下で行う。排水負荷は排水横主管の洗浄は無しで5回連続で与え、管内圧力は5回の平均値とし、誤差範囲を表示する。排水時は合流排水の場合、後述のシステム最小値  $P_{smin}$  を指標に、排水能力へ厳しい条件となるタイムラグを検討した結果、8階排水後、下層は1秒のタイムラグとする。

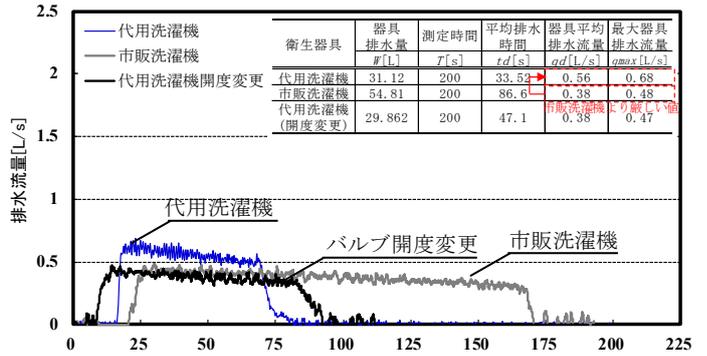


図-3 衛生器具の排水流量曲線の比較

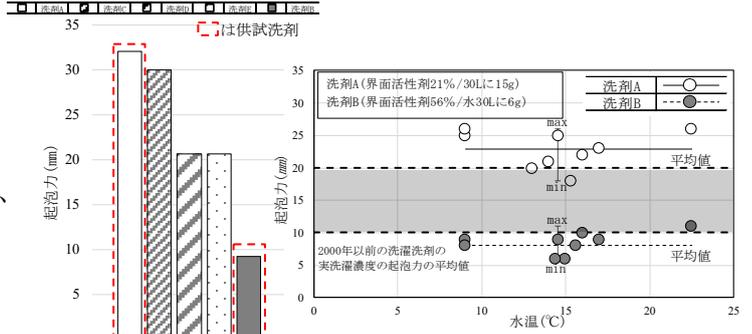


図-4 起泡力試験結果 図-5 起泡力と水温の関係

表-1 排水負荷パターン

排水パターン	排水階			使用洗剤	
	8階	7階	6階	洗剤A	洗剤B
No. 1	○				
No. 2	○	○			
No. 3	○	○	○		
No. 4	○			●	
No. 5	○	○		●	
No. 6	○	○	○	●	
No. 7	○				●
No. 8	○	○			●
No. 9	○	○	○		●

※各排水立て管システムで実施。曲がり配管は伸頂通気、結合通気1箇所のみで実施。  
○は排水箇所、●は使用洗剤を示す。

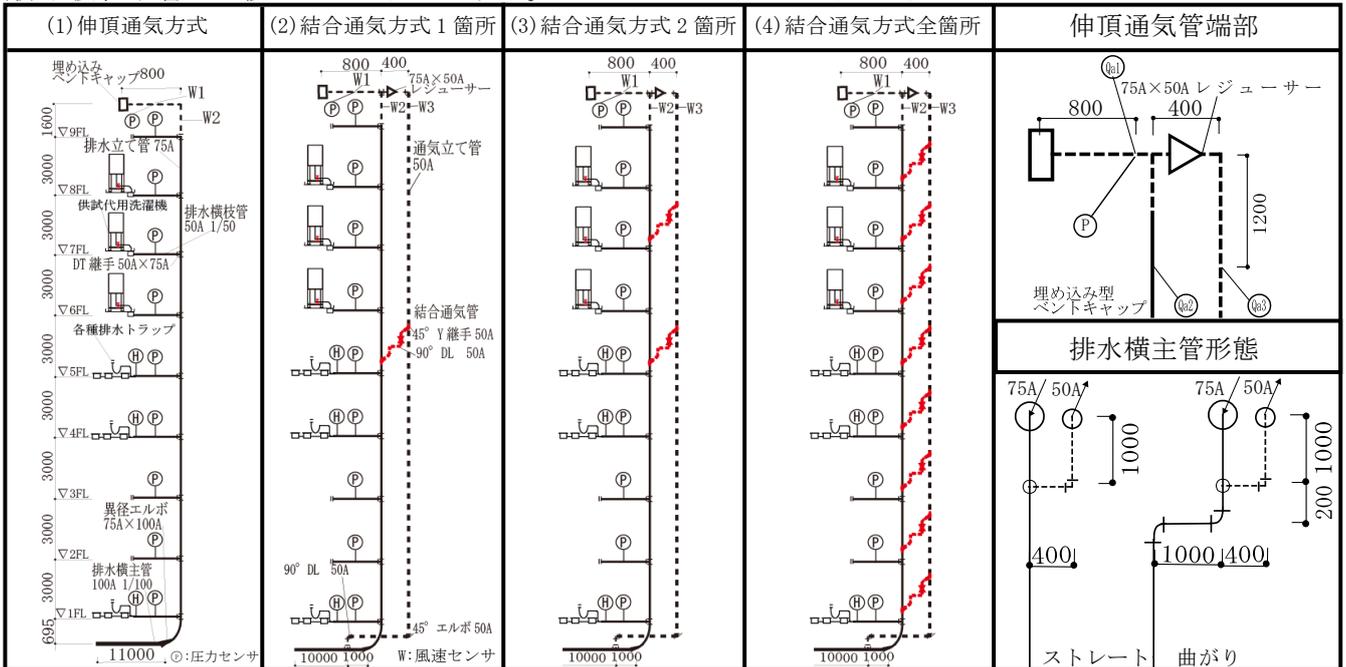


図-6 供試排水立て管システム

2.5 測定項目及び方法

測定項目は、伸頂通気管及び各階排水横枝管での管内圧力変動の最大値・最小値 ( $P_{max}$ ,  $P_{min}$ )、通気立て管及び排水立て管端部での管内中心風速変動とする。中心風速の最大値に断面積を乗じ最大通気流量  $Q_a$  に換算する(本報では省略)。排水立て管システムの排水能力の判定条件は、SHASE-S218 に準拠し、各階の  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  の内より、最高値となるシステムの最大値  $P_{smax}$  と最小値  $P_{smin}$  を求め、両値が判定条件となる  $\pm 400Pa$  以内におさまる最大同時排水個数を決定する。また、1.4.5 階の排水横枝管には写真-1、表-2 に示す①~⑥の供試トラップを設置し、破封の有無、封水損失を測定し、トラップの封水深の 1/2 以内を判定基準とする。

3. 実験結果及び考察

3.1 管内圧力分布図の傾向

図-7(1)~(4)に一例として、最も厳しい条件となる洗濯機 3 台を排水した場合、伸頂通気方式、結合通気方式 1 箇所、2 箇所、全箇所における排水横主管ストレートの場合の管内圧力分布を示す。伸頂通気方式は  $P_{smin} - 500Pa$  と  $P_{smax} + 500Pa$  となり両判定基準値  $\pm 400Pa$  を超える結果となった。結合通気方式 1 箇所、2 箇所では、結合通気管設置階で  $P_{smin}$  が  $100 \sim 250Pa$  程度緩和されたが、洗剤 A において、1 階部分で  $450Pa$  程度と  $400Pa$  を超え、 $P_{smax}$  の緩和は見られない。結合通気全箇所においては、 $P_{smax}$  も緩和され、洗剤 A において 5 回の平均値では判定基準値である  $+400Pa$  以内におさまった。また 1 階は、一般に上階の排水立て管系統と別系統であるので 1 階を除くと全方式で  $390Pa$  程度となり  $+400Pa$  以内におさまったため、厳しい負荷条件にも対応できる。

3.2 各種排水立て管システムの排水能力の把握

3.1 で求めた圧力分布図をもとに図-8(1)、(2)に各種排水立て管システムの合計排水器具数とシステム最大値・最小値の関係を示す。

同図(1)(2)は、排水横主管ストレート及び曲がりの場合を示す。これより、代用洗濯機を 3 台排水した際に、伸頂通気方式では排水横主管ストレート、曲がりの両者にて  $P_{smax} \cdot P_{smin}$  は  $550Pa$ ,  $-500Pa$  程度となり、判定基準値  $\pm 400Pa$  を超える結果となった。結合通気方式 1 箇所、2 箇所、全箇所では、 $P_{smax}$  において  $450Pa$  程度となり、判定基準値  $400Pa$  を超え、結合通気管を増設した際も顕著に正圧が緩和されることはなかった。よって、今回の供試排水立て管システムの排水能力はすべて、代用洗濯機 2 台までという結果となった

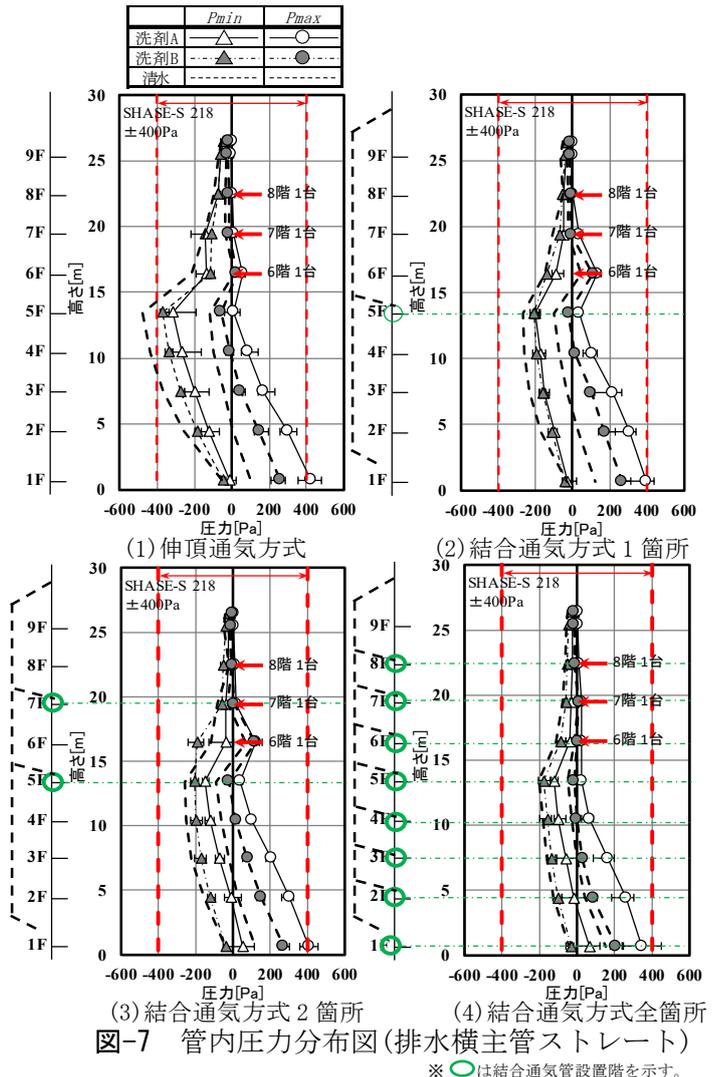
が、2.4 にて述べた通り、同一排水立て管系統での同時排水個数は多くても 2 台以内となるため、支障はないと考える。また、図中に 1 階を別系統とした際の  $P_{smax}$  も示したが、伸頂通気方式以

表-2 供試排水トラップ仕様の詳細

設置トラップ			
名称	洗濯トラップ①	洗濯トラップ②	洗濯トラップ③
封水深(mm)	50	50	50
脚断面積比	1.04	0.85	1.0
名称	Pトラップ④	Pトラップ⑤	わんトラップ⑥
封水深(mm)	60	60	50
脚断面積比	1.0	1.0	0.56



写真-1 供試排水横枝管システム



外ではすべて 350~390Pa と+400Pa 以内におさまり、結合通気方式 1、2、全箇所排水能力は 3 台という結果が得られた。

3.3 排水横枝管システムの封水損失の比較

図-9 に一例として写真-1 及び表-2 中の 1.4.5 階に設置したトラップ③、⑤、⑥の排水横主管曲がり時の管内圧力  $P_{min}$ 、 $P_{max}$  と封水損失  $\Delta h$  の関係を示す。これより、洗濯トラップ③(脚断面積比 1.0)と P トラップ⑤(脚断面積比 1.0)を比較すると負圧域では概ね同じ値を示し、判定基準値となるトラップの封水深の 1/2 の 25mm、30mm を超えることはなかった。これより、脚断面積比が大きいほど封水損失は少ないという関係は確認された。しかし、正圧域では洗濯トラップ③では跳ね出し破封等の現象は確認されなかったが、P トラップ⑤にて  $P_{max}$  約 550Pa 時に跳ね出し破封が確認された。また、わんトラップ⑥(脚断面積比 0.56)においては正圧域において  $P_{max}$  約 390Pa を超えると、跳ね出し破封現象が見られた。負圧域では判定基準値の -400Pa を超えるとトラップの封水深の 1/2 の 25mm を超え、近似直線も他のトラップに比べ傾きが大きく、封水強度は小さいことが確認できた。よって、設置トラップの封水強度によって留意が必要である。

以上の結果より、洗濯洗剤排水での危険性がないので、図-2 のフローの通り、清水排水時の排水能力は洗濯機の洗剤排水を考慮しても確保できる。

4. まとめ

本研究において、洗濯機の直接排水化による洗剤排水が既存の排水立て管システムに及ぼす影響を把握した結果、今回の排水立て管システムは標準的な洗濯機の使用による洗剤排水負荷において、

概ね安全ということが確認でき、清水排水時の排水能力が設計に活用できる。また、トラップ封水損失から、脚断面積比が 1.0 に近ければ、洗濯機システムの器具のトラップの封水強度(耐正圧)は約 +550~+600Pa 程まで対応できるという知見も得られた。

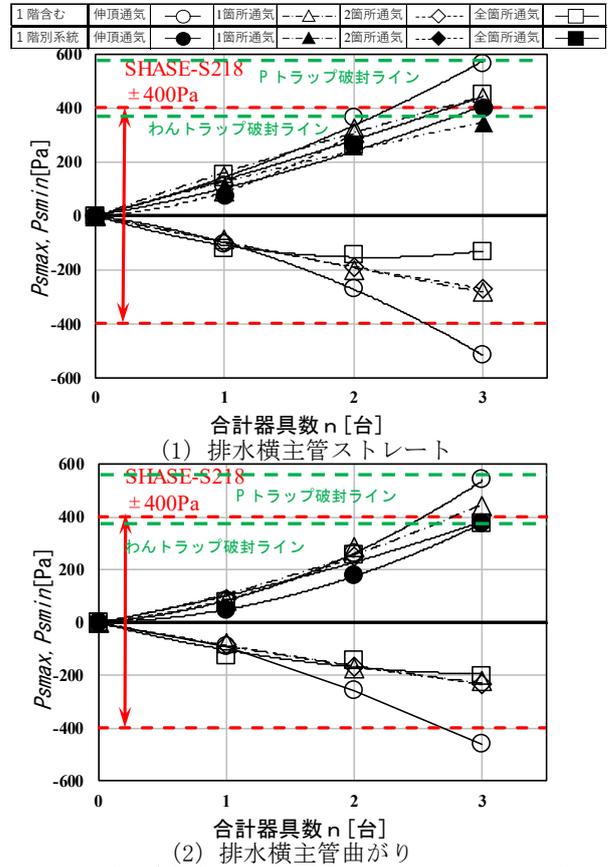
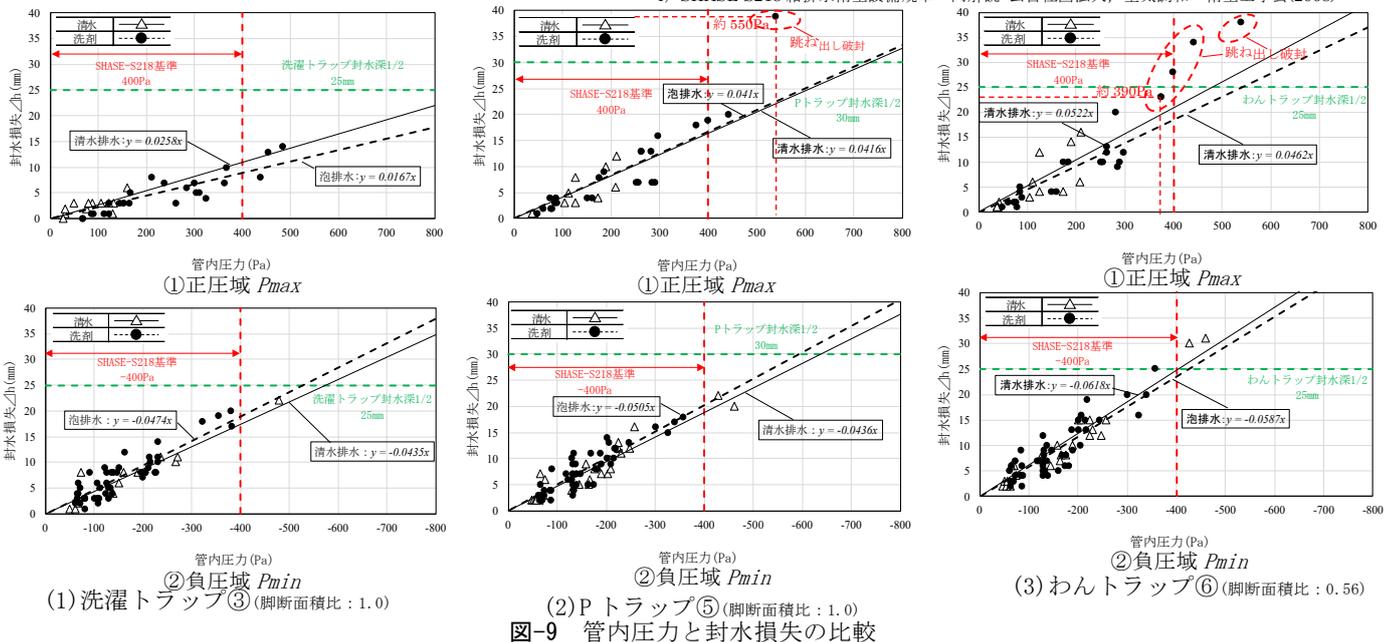


図-8 合計排水器具数と  $P_{max}$ ・ $P_{min}$  の関係  
 [参考文献] 1) 既存高層ストック集合住宅における浴室系統雑排水管の排水性能に関する実験研究(その2) 結合通気管等の設置による排水性能向上の検討 (2019.9)  
 2) 集合住宅排水システムにおける洗濯洗剤排水負荷影響に関する実験研究(その1 洗濯機排水負荷の基本特性の把握) 日本建築学会計画系論文集第527号 61-68(2000年1月)  
 3) 洗濯機排水設備の設置に関する調査研究住宅・都市整備公団管理部 財団法人住宅管理協会(1998年3月)  
 4) SHASE-S218 給排水衛生設備標準・解説 公営社団法人、空気調和・衛生工学会(2008)



2020.3.25

A-7

ALC 鉄骨造低層住宅の多口管継手を用いた排水システムの  
排水性能評価に関する研究

○石井 方奈子 (関東学院大学), 大塚 雅之 (関東学院大学), 大場 涼太 (関東学院大学),  
須永 伸吾 (旭化成ライフライン(株)), 松村 弘慈 (旭化成ライフライン(株))

A Study on the Drainage Performance Evaluation of a Drainage System for Application to the  
ALC Steel Framed Low-rise House

Ishii Kanako (Kanto Gakuin University), Otsuka Masayuki (Kanto Gakuin University),  
Oba Ryota (Kanto Gakuin University), Sunaga Shingo (Asahi Kasei Lifeline Co.),  
Matsumura Koji (Asahi Kasei Lifeline Co.)

キーワード：ALC 鉄骨造低層住宅, 排水性能評価, 排水横枝管

はじめに

現在、ALC 鉄骨造の低層住宅用排水システムの住戸内排水横枝管の設置方法は、ALC 板の床材とするその下階に床下配管とするのが一般的だが、現状の排水横枝管システム(従来方式)は、多数の衛生器具が接続される。排水横枝管では大口径となる場合が多く、構造上、鉄骨梁を貫通させて施工することが困難である。よって、表-1 中の①の様に鉄骨梁をかわしたり、同表中の②の様に衛生器具排水管を分散し、排水立ち下がり管部で複数の継手を用い合流させる配管を行っているのが現状である。

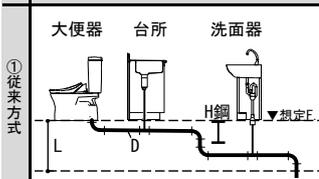
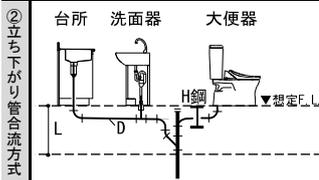
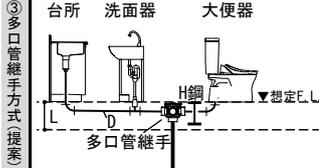
また、生活スタイルの変化により、2 世帯が同居する住宅も増加しており、大便器等の衛生器具を同一フローに増設される場合も増えてきている。既往文献<sup>1)</sup>では、寝室等に容易に設置可能な介護用の圧送大便器も検討されてきている。

以上の背景より、本研究では、施工性の向上と排水性能の確保の2つの視点より鉄骨梁を貫通可能な口径の排水横枝管を集約できる多口管継手を使い、汚水系統と雑排水系統を分流した同表中の③の排水横枝管システムを提案し、その排水性能及び搬送性能評価を行い、有効性を検討した。また、本システムに、前述の背景より重力式大便器と圧送大便器を増設し厳しい排水負荷の条件にて、排水性能及び搬送性能評価を行うことで、適用バリエーションの範囲の拡張の可能性も検討した。

1. 実験概要

本実験では、多口管継手を使用した排水システムと、当該システムに重力式大便器または圧送排

表-1 ALC 鉄骨造低層住宅の排水横枝管概要

	排水横枝管システム	おさまり[L]	管径[D]
①従来方式		大	大
②立ち下がり管合流方式		大	小
③多口管継手方式(提案)		小	小

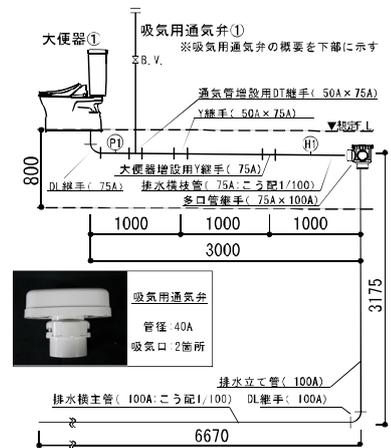


図-1 供試排水システム系統図(大便器系統図)

水式大便器を増設した3種類のシステムの排水性能評価を実施する。

### 1.1 供試排水システム

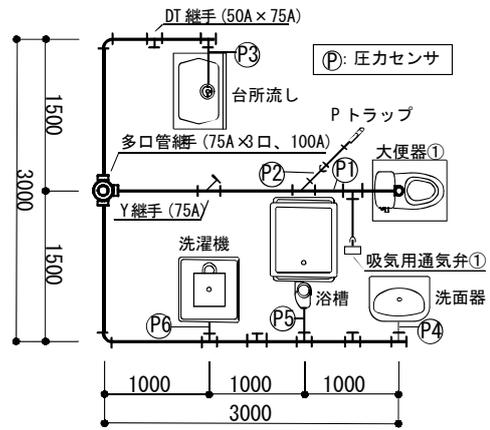
供試排水システムの排水立て管系統図を図-1に、配管平面図を図-2示す。同システムは、一般的な低層住宅の2階に大便器、台所流し、洗面器、浴槽、洗濯機の5器具を配置することを想定している。図-2中の(2)に重力式大便器(大便器②)を増設したシステムの平面図を、同図中の(3)に圧送式大便器(大便器③)を増設したシステムの平面図をそれぞれ示す。住戸内において、汚水系統と雑排水系統の分流式とするため、写真-1に示した供試多口管継手(一般排水ますを加工)を使用し、排水横枝管と器具排水管の接続継手はDT継手とした。なお、各部位の管径及びこう配は、図1中に示す。さらに、通気方式の検討を行うため同システムには、管径40A通気管用の通気弁を大便器①直近(図1中通気弁①)と洗濯機直近(図1中通気弁②)に設置した。これらの通気弁は通気条件に則って有効・無効とする。通気条件は、無通気時を通気Ⅰ、通気弁①を有効とした時を通気Ⅱ、通気弁①と通気弁②を有効とした際を通気Ⅲとした。

### 1.2 供試衛生器具概要

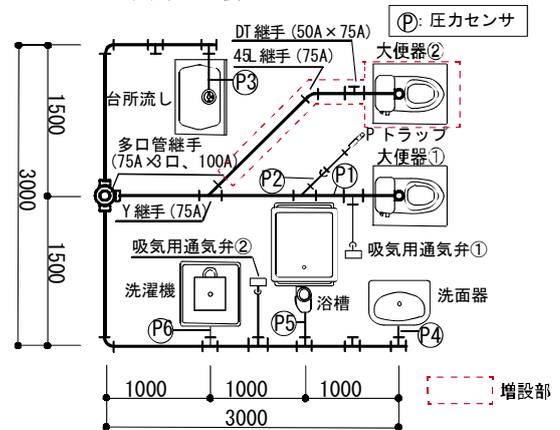
図-3に本実験に用いた各供試衛生器具の排水流量曲線及び器具排水特性諸値を示す。それらを用いた排水負荷パターンを表-2に示す。同表中の排水負荷パターンにおいて、No.1~No.8は上流から順次合流台数を増やし最大5器具とするパターン、No.9~No.11は実使用を想定した2~3器具の排水パターンである。また、No.12~No.15は大便器を除いた雑排水衛生器具の排水能力影響を把握するためのパターンである。排水負荷パターンNo.1~No.5、No.9~No.11では、大便器排水時にベターリビング基準の供試代用汚物 BL<sup>2)</sup>より排水負荷の大きい供試代用汚物 D'(平置き型トイレットペーパー1m×6枚(ダブル仕様))<sup>3)</sup>を投入する。また、供試代用汚物は便鉢内に投入し、溜水面に浸してから15秒間放置した後に排水する。

### 1.3 測定項目及び判定基準

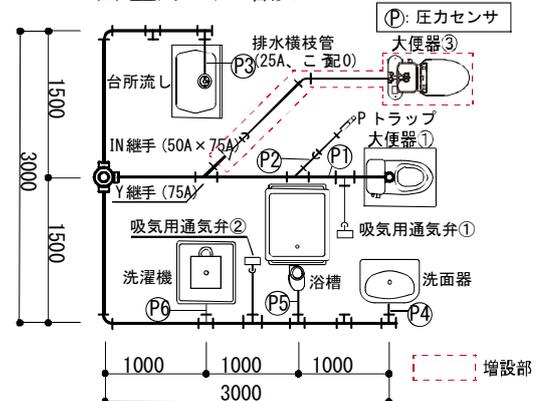
測定項目は、①排水横枝管管内圧力[Pa](図1に示したP1~P6)の内最大・最小となるシステム最大値  $Phs_{max}$  と最小値  $Phs_{min}$ 、②供試排水トラップ(大便器、洗面器、浴槽、洗濯機)の封水損失[mm](破封の有無)、③供試代用汚物の搬送距離



(1) 供試排水システム



(2) 重力式大増設システム



(3) 圧送大便器増設システム

図-2 配管平面図



写真-1 供試多口管継手

[m](汚物の停滞、排水横管への詰り)の3つとする。また、この①、②はSHASE-S 218<sup>4)</sup>に準拠し、以下の判定基準より判断する。

- (1)管内圧力は、±400[Pa]以内
- (2)封水損失は、排水トラップの深さ(封水深)の25mm 以内

## 2. 実験結果及び考察

### 2.1 排水能力影響

#### (1) 供試排水システム

図-4に排水負荷パターン No.1~No.8、図-5に排水負荷パターン No.9~No.15における通気条件毎の管内圧力値を示す。同図より、通気条件Ⅰでは大便器排水を含む排水パターンにて

SHASE-S 218 の判定基準値である±400Pa を超える管内圧力が生じた。一例として、図-5のNo.4では、*Phsmin* が-710Pa となり、瞬時的に洗濯機排水トラップが破封したが封水損失は37mmとなった。そこで、通気条件Ⅱにて排水した結果、過酷な排水負荷を想定したNo.1、No.4、No.5においては、*Phsmin* は-410~-580Pa となり判定基準±400Pa を超えたが、破封は生じなかった。また、実使用負荷を想定したNo.9~No.11においては、No.10を例に挙げると、*Phsmin* は-420Pa であったが、概ね-400Pa 程度に納まり、破封も生じなかった。以上より、当該システムは、通気を有効に確保することで実使用上は問題なく使用可能であると考えられる。

#### (2) 重力式大便器増設システム

供試排水システムに重力式大便器を増設し、通気条件Ⅰでは増設前に管内圧力が判定基準を超えていたため、通気条件Ⅱにて実験をした。また、排水負荷パターン No.12~No.15は大便器を除いた清水排水のため、当該システムにおいては、No.1~No.11までを行った。図-6に管内圧力と封水損失の結果を示す。同図より、管内圧力は、No.1、No.4、No.5、No.11の際に*Phsmin* は-410~-480Pa となり判定基準±400Pa を上回ったが、洗濯機排水トラップにて破封は生じなかった。前述(1)の大便器1台のシステムと比較すると、管内圧力は全体的に増加している傾向が見られたが、破封は生じなかったため、重力式大便器を増設したシステムにおいても通気を有効に確保することで実使用上は問題なく、使用可能であると考えられる。

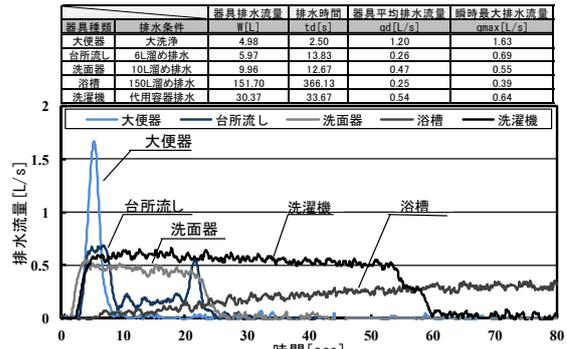


図-3 各衛生器具の排水特性諸値及び排水流量曲線

表-2 排水負荷パターン

排水条件	衛生器具	併設衛生器具					汚物の溜り排水	清水排水	qd値 [L/s]
		大便器	台所流し	洗面器	浴槽	洗濯機			
汚水・雑排水合流想定	No.1	●	-	-	-	-	-	-	1.20
	No.2	●	○	-	-	-	-	-	1.46
	No.3	●	○	○	-	-	-	-	1.93
	No.4	●	○	○	○	-	-	-	2.18
	No.5	●	○	○	-	○	○	-	2.72
	No.6	○	○	○	-	-	-	-	1.93
	No.7	○	○	○	○	-	-	-	2.18
	No.8	○	○	○	○	○	○	-	2.72
系統分流通想定	No.9	●	-	-	○	-	-	-	1.45
	No.10	●	-	-	○	○	-	-	1.99
	No.11	●	○	-	○	-	-	-	1.71
	No.12	-	-	○	-	-	-	-	0.26
	No.13	-	-	-	○	-	○	-	0.73
	No.14	-	-	-	○	-	○	-	0.98
	No.15	-	-	○	○	○	○	-	1.52

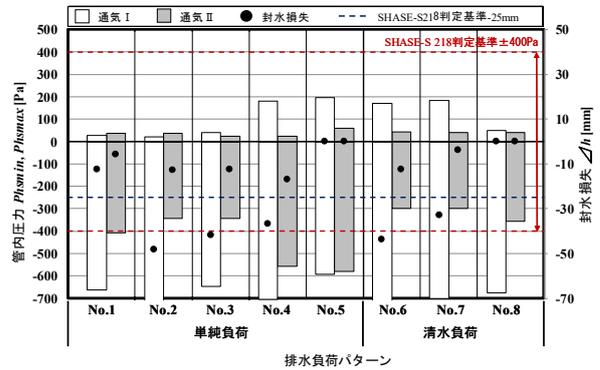


図-4 通気条件毎の管内圧力比較図

(単純負荷: No.1~No.5、清水負荷: No.6~No.8)

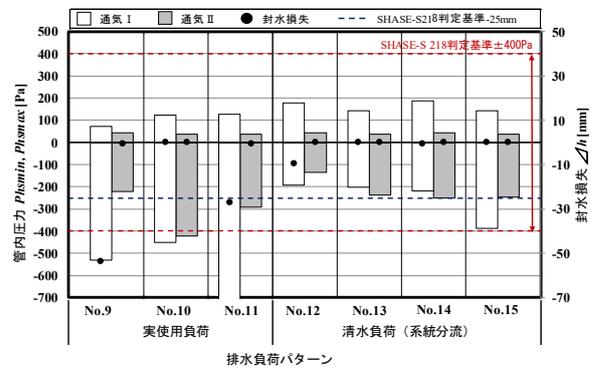


図-5 通気条件毎の管内圧力比較図

(実使用負荷: No.9~No.11、清水負荷: No.12~No.15)

(3) 圧送大便器増設システム

供試排水システムに圧送大便器を増設し、通気条件Ⅱ、通気条件Ⅲにて検討した。また、排水負荷パターンは過酷な負荷条件である No.4、No.5、No.8、No.10 を行った。図-7 に通気条件毎の管内圧力の結果を示す。同図より、通気条件Ⅱでは、実施したすべての排水パターンにて  $Phsmin$  は -450~-650Pa となり判定基準±400Pa を超過した。しかし、通気条件Ⅲでは、管内圧力は緩和され、 $Phsmin$  は -270~-340Pa となり±400Pa におさまった。また同図より通気条件Ⅱでは洗濯機排水トラップにて破封が生じたが、通気Ⅲにおいては、破封は見られなかった。以上より、当該システムにおいては、2ヶ所通気を設けることで、実使用上問題のないシステムと考えられる。

2.2 搬送性能

供試排水システム及び圧送大便器を増設したシステムにおいては、汚物混入排水を行ったパターンでの供試代用汚物の停滞は見られなかった。しかし、重力式大便器を増設したシステムにおいては、下流側からの大便器による排水によって上流側からの大便器排水がせき止められ、供試代用汚物の停滞が見られた。図-8 に重力式大便器を増設したシステムにおける供試代用汚物の搬送距離の比較を示す。同図より、排水負荷パターン No.1~No.5、No.11 において汚物の停滞が確認された。しかし停滞後、大便器①からの一回排水によってすべて完全搬送されたため、実使用上は問題ないと考えられる。

3. まとめ

本研究では、多口管継手を使用し、汚水系統と雑排水系統を分流した排水システムを提案し、排水性能及び搬送性能評価を行った。大便器1台のシステムにおいては、大便器近傍の通気弁を有効とすることで、管内圧力は緩和された。圧送排水により流速が早くなる傾向のある圧送大便器を増設したシステムにおいては、2ヶ所通気弁を有効とすることで、安全に使用できると考える。

謝辞

本研究では、科研費(18K04468、研究代表者、大塚雅之)の助成によったものである。ここに記して、感謝の意を表します。

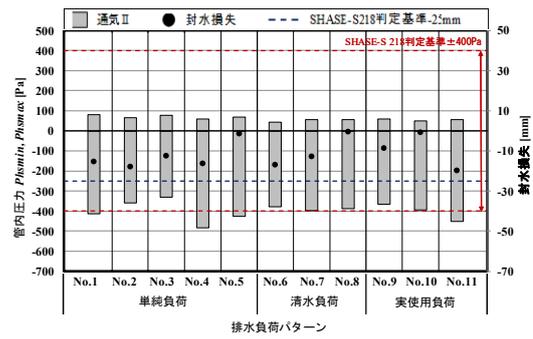


図-6 通気条件Ⅱの管内圧力比較図  
(単純負荷:No.1~No.5、清水負荷: No.6~No.8  
実使用負荷:No.9~No.11)

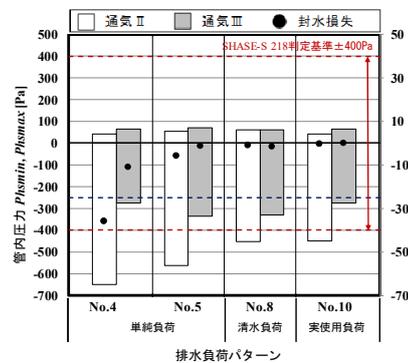


図-7 通気条件毎の管内圧力比較図  
(単純負荷:No.4、No.5、清水負荷:No.8、  
実使用負荷:No.10)

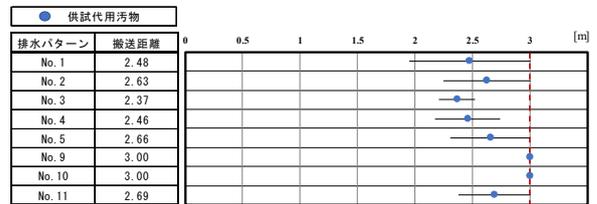


図-8 排水負荷パターン毎の汚物搬送距離

参考文献

- 1) 本村雄大 他: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、空気調和・衛生工学会東北支部 学術・技術報告会論文集、pp.9~12、(2019.3)
- 2) (一財)ベターリビング、BLE WC:2018
- 3) 川口俊哉 他:節水型連立トイレシステムの排水特性と搬送性能に関する研究 その1 単独排水時の性能評価、日本建築学会学術講演会、pp.649~650、(2017.8)
- 4) 社会法人 空気調和・衛生工学会規格:SHASE-S 218-2014「集合住宅の排水立て管システムの排水能力試験法」

A-8

雨水横主管の最下階合流システムの排水性能評価と設計手法に関する研究

○大場 涼太 (関東学院大学), 大塚雅之 (関東学院大学), 茶木晶絵 (関東学院大学),  
 新井勘 ((株)熊谷組), 淵崎礼奈 ((株)熊谷組), 佐藤英樹 (三建設備工業 (株)),  
 塩谷正樹 (三建設備工業 (株)),

Study on the Drainage Performance Evaluation and Design Method of  
 Combining a Building Drain System for Rainwater on the Bottom Floor  
 Ryota Oba (Kanto Gakuin Univ.), Masayuki Otsuka (Kanto Gakuin Univ.),  
 Chaki Akie (Kanto Gakuin Univ.), Kan Arai (Kumagai Gumi Co., Ltd.),  
 Ayana Fuchizaki (Kumagai Gumi Co., Ltd.), Hideki Sato (SANKEN SETSUBI KOGYO Co.,  
 Ltd.), Masaki Shioya (SANKEN SETSUBI KOGYO Co., Ltd.)

キーワード：雨水排水，集中豪雨，雨水立て管，雨水横主管，許容流量，ルーフドレン

はじめに

現在、集合住宅の建物内雨水排水システムの管径決定手法や配管設計は、空気調和・衛生工学会規準である SHASE-S 206-2019<sup>1)</sup>「給排水衛生設備規準・同解説」に則っているが、その根拠となる実験データが少なく、実務では独自の経験的な知見を加え、設計・計画を行っているのが現状である。また、従来の雨水排水システムは、同規準の排水系統配管と同様に、一般的に最上階（屋上など）と各階バルコニーなどの上階系統と最下階バルコニーや専用庭の最下階系統の雨水横主管は、別々の配管で排水桝まで接続する設計手法を採用している。そのため、最下階の雨水横主管と基礎梁を貫通するスリーブ孔が多数必要となり、他の配管類も交錯するため、施工上の課題が多い。

以上の背景より、本報は、上階系統（図-1 中 A1 及び A2）と最下階系統（図-1 中 A3 及び A4）を同一の雨水横主管部にて接続することで、前述の課題を改善した最下階合流システム（図-1 参照）を提案し、システムの排水性能評価を実施することで、その実用性の検討をすることを目的とする。加えて、その設計への展開も検討した。

1. 実験概要

本報では、提案システムの排水性能を把握するため、SHASE-S 206 で定められた雨水立て管(75A:5.48L/s)及び雨水横主管(125A:10.9L/s、100A:6.01L/s)の設計用許容流量を目安に高層雨

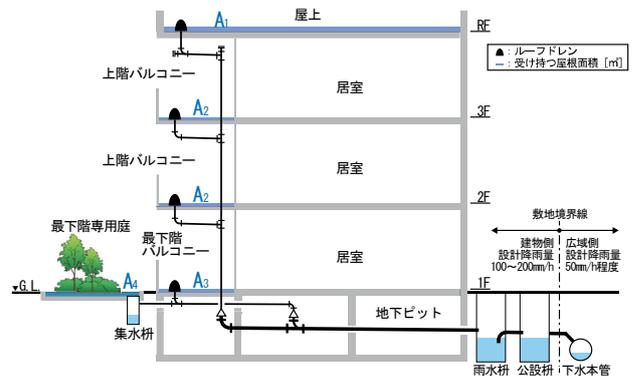


図-1 最下階合流雨水排水システム概要

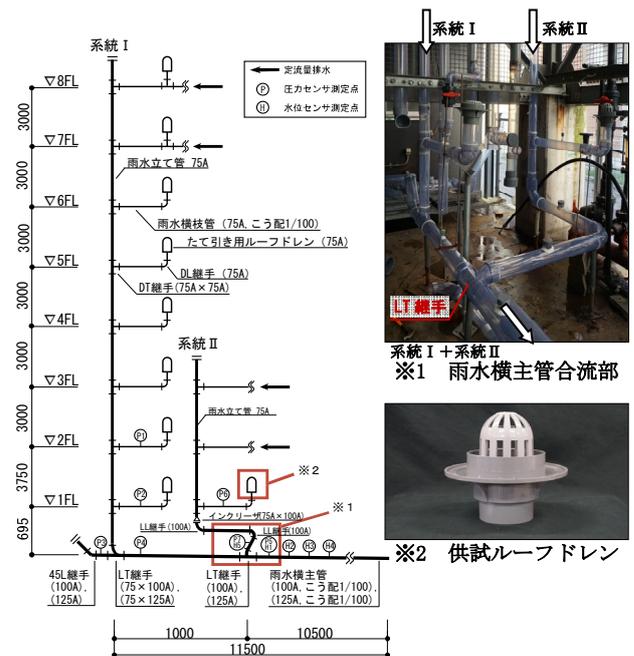


図-2 最下階合流雨水排水システム概要

水排水システムに排水負荷を与え、設計用許容値の妥当性を検討する。

### 1.1 供試雨水立て管システム

供試雨水立て管システムの系統図を図-2に、配管平面図を図-3に示す。本システムは、最上階及び各階バルコニーからの雨水排水を想定した上階系統（以降、系統Ⅰと呼称）及び最下階のバルコニー及び専用庭からの雨水排水を想定した最下階系統（以降、系統Ⅱと呼称）が最下階雨水横主管部で合流したシステムである。塩化ビニル透明配管を使用し、雨水立て管管径75A（実内径78mm）に対して、雨水横主管の管径による排水性能の違いを把握するため、雨水横主管管径125A（実内径130mm）と100A（実内径103mm）の双方のシステム（共にこう配1/100）にて定流量排水実験を実施する。また、Ⅱ系統からの排水は、LT継手を用いて雨水横主管に合流させる。LT継手の流入角は、図-4に示す、水平と45°の2種類にて検討を行ったが、本報は、合流時の逆流水が危惧されるため、厳しい排水負荷条件となる前者のシステムの結果について述べる。また、ベランダ等の呼び樋を想定した75A対応のたて引き用ルーフドレン（図-2※2参照）を各階雨水横枝管に設置した。

### 1.2 排水負荷方法

供試雨水立て管システム中の屋上やバルコニーを想定した8,7階、最下階を想定した3,2階から定流量排水を行う。排水負荷パターンを表-1に示す。同表中の雨水立て管管内充水率は、式(1)のワイリー・イトン式を用い、立て管の断面積Aは実内径を代入して算出した。SHASE-S 206より、雨水立て管75Aの許容流量は5.48[L/s]であるが、排水能力を把握するため、一系統の最大排水負荷流量を5.5[L/s]、雨水横主管合計排水流量11.0[L/s]とし、試行回数2回にて測定したその平均値を測定値とする。

$$Q_p = \frac{(117730aA)^{5/3}(1/D)^{2/3}}{60} \quad \dots \text{式(1)}$$

【凡例】

$Q_p$  : 立て管の許容流量[m<sup>3</sup>/s]      A : 立て管の断面積[m<sup>2</sup>]  
a : 充水率[%]                              D : 立て管の管径[A]

### 1.3 測定項目及び判定基準

測定項目は、下層階での管内圧力(P<sub>1</sub>)~(P<sub>7</sub>)（全測定点のシステム最小圧力P<sub>smin</sub>及び最大圧力P<sub>smax</sub>）、雨水横主管部の管内水位変動(H<sub>1</sub>)~(H<sub>5</sub>)

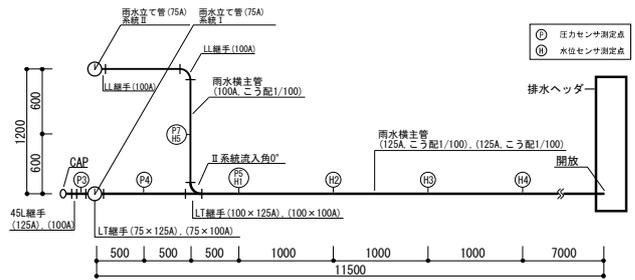
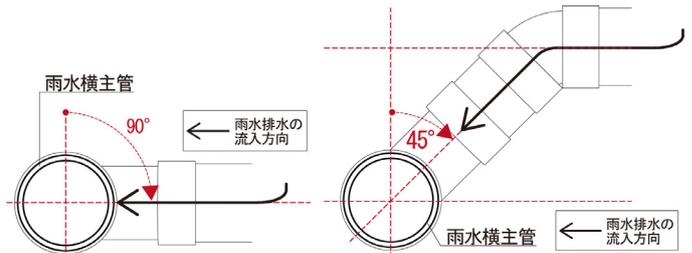


図-3 配管平面図



(1) 流入角：水平                              (2) 流入角：45°  
図-4 系統Ⅱ合流部（図-1中※1部）断面図

表-1 排水負荷パターン  
（上階系統及び最下階系統等流量排水実験）

排水No.	排水負荷流量 [L/s]				合計排水負荷流量 (雨水横主管部) [L/s]		
	系統Ⅰ（上階系統）		系統Ⅱ（最下階系統）				
	8階	7階	雨水立て管 管内充水率	2階	1階	雨水立て管 管内充水率	
No. 1	0.5	-	8%	-	-	0%	0.5
No. 2	1.0	-	12%	-	-	0%	1.0
No. 3	1.5	-	15%	-	-	0%	1.5
No. 4	2.0	-	18%	-	-	0%	2.0
No. 5	2.5	-	21%	-	-	0%	2.5
No. 6	2.5	0.5	23%	-	-	0%	3.0
No. 7	2.5	1.0	25%	-	-	0%	3.5
No. 8	2.5	1.5	27%	-	-	0%	4.0
No. 9	2.5	2.0	29%	-	-	0%	4.5
No. 10	2.5	2.5	31%	-	-	0%	5.0
No. 11	2.5	3.0	33%	-	-	0%	5.5 <sup>※1</sup>
No. 12	2.5	3.0	33%	0.5	-	8%	6.0
No. 13	2.5	3.0	33%	1.0	-	12%	6.5
No. 14	2.5	3.0	33%	1.5	-	15%	7.0
No. 15	2.5	3.0	33%	2.0	-	18%	7.5
No. 16	2.5	3.0	33%	2.5	-	21%	8.0
No. 17	2.5	3.0	33%	2.5	0.5	23%	8.5
No. 18	2.5	3.0	33%	2.5	1.0	25%	9.0
No. 19	2.5	3.0	33%	2.5	1.5	27%	9.5
No. 20	2.5	3.0	33%	2.5	2.0	29%	10.0
No. 21	2.5	3.0	33%	2.5	2.5	31%	10.5
No. 22	2.5	3.0	33%	2.5	3.0	33%	11.0 <sup>※2</sup>

※1: No. 11は、SHASE標準の雨水立て管（75A）の許容流量5.48L/sを目安  
※2: No. 22は、SHASE標準の雨水横管（125A）の許容流量11.0L/sを目安

（測定点の平均水位Have）、1階ルーフドレンからの噴出しの有無の3つとする。また、実験値より得られたHave値を用いて、SHASE-S 206で使用されている Manning式(式(2))より算出した管内平均流速v<sub>m</sub>と、実験値より得られた管内充水断面積と実排水流量を用い、式(3)より算出した実流速v<sub>r</sub>を比較した。また、それらの判定基準として、①雨水横主管の呑み込み状況、②下階ルーフドレンからの雨水排水の噴出しの有無、さらに、同規準において、雨水立て管の許容流量は騒音と振動の発生限界を考慮して設定されていることから、③雨水立て管などの異常騒音・振動の3つを設け、主に目視・観察により判断した。

$$v_m = \frac{1}{n} \cdot \delta^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad \dots \text{式 (2)}$$

$$Q = A \cdot v_r \quad \dots \text{式 (3)}$$

【凡例】

$Q$  : 流量[m<sup>3</sup>/s]                       $n$  : 粗度係数  
 $A$  : 流水断面積[m<sup>2</sup>]                 $\delta$  : こう配  
 $v_m$  : 管内平均流速[m/s]         $R$  : 径深(流水断面積)  
 $v_r$  : 実流速[m/s]

## 2. 実験結果及び考察

図-5 に排水負荷流量に伴う管内圧力  $P_{smin}$  と  $P_{smax}$  の比較図を示す。同図より雨水立て管 75A の許容流量値 5.48L/s まで雨水横主管管径 125A 及び 100A システム共に十分排水可能であった。さらに、雨水横主管管径 125A での最大排水流量 11.0L/s 時の  $P_{smax}$  は 1600Pa 程度生じたが、雨水横主管は呑み込み可能であり、ルーフドレンからの噴き出しはみられなかった。一方、雨水横主管管径 100A では 7.0L/s の排水にて  $P_{smax}$  が約 2900Pa 生じ、系統 II の 1 階ルーフドレンから排水が噴き出した。これは、管径 100A (許容流量 6.01L/s) に対して多量の排水が合流し、円滑に排水されなかったことが原因と推察する。また、双方のシステムにおいて  $P_{smax}$  が顕著に生じたが、雨水立て管部における異常騒音・振動などは確認されなかったため、現行規準の許容流量以上の雨水が流入しても実使用上は問題ないと推察する。

図-6 に図-2 及び図-3 中の水位の安定した (H<sub>4</sub>) 地点の管内充水率の比較図を示す。同図より、管径 125A において 11.0L/s 時に管内充水率は 60% 程度であった。SHASE 規準では、雨水横主管 125A の許容流量 (10.9L/s) での許容水深は 95% (充水率換算：98%) としているが、本実験における充水率は 60% となり、規準値の 2/3 程度であったことから、雨水横主管に許容流量以上の雨水が流入しても充水率を見れば余裕がみられた。

以上より、最下階合流システムの適応において、雨水立て管 75A に対して雨水横主管を 125A とすれば、許容流量値 (10.9L/s) 以上の雨水が雨水横主管に流入しても呑み込み可能であったことから、同口径が推奨され、その条件にすれば最下階系統だけでなく、他系統を雨水横主管部での合流排水の可能性もある。また、100A の場合、許容流量値 (6.01L/s) 以上の呑み込み能力がある。その際、系統 II の合流は約 1.5L/s (屋根面積 54 m<sup>2</sup> に相当) 未滿に計画するのを推奨する。

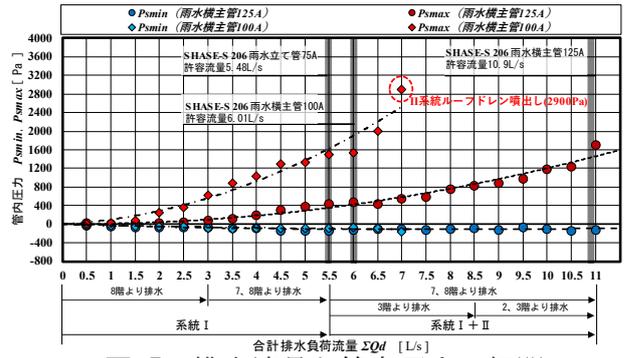


図-5 排水流量と管内圧力の相関

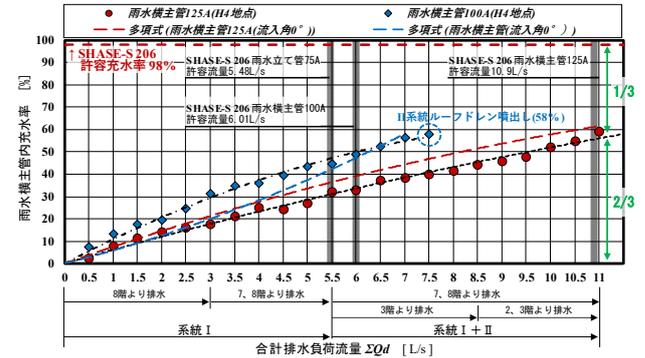


図-6 排水流量と管内充水率の相関

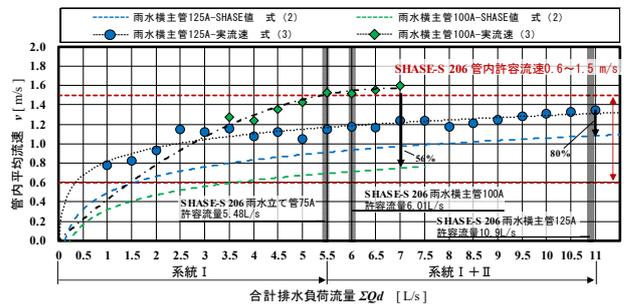


図-7 排水流量と管内平均流速の相関

表-2 モデル建物の各部分の雨水集水面積

雨水集水部	雨水集水面積	図-8 該当部
屋根面積	120m <sup>2</sup>	A <sub>1</sub>
バルコニー部分の開口面積	11.2m <sup>2</sup> /1階	A <sub>2-1</sub> ~A <sub>2-4</sub> , A <sub>3</sub>
専用庭	24m <sup>2</sup>	A <sub>4</sub>
最下階集水樹 (中庭など)	150m <sup>2</sup>	A <sub>5</sub>

図-7 に排水負荷流量に伴う管内流速の比較図を示す。同図より、SHASE 規準値と比較し、雨水横主管管径 125A では実験値の 80%、100A では実験値の 56%の数値となっており、マンシング式より算出した規準値と実流速に顕著な乖離が生じた。よって、SHASE 規準の設計用管内流速と実流速は一致せず、同規準は実流速を示していないことがわかった。



# A-9

## BIM 技術を用いた設備設計に関する研究

○齋藤 克哉 (東北工業大学) , 許雷(東北工業大学)

MEP Design by Using BIM Technology

Saito Katuya(Tohoku Institute of Technology) , Xu Lei

キーワード : BIM 設備設計 抵抗

### 1. はじめに

BIMとは Building Information Modeling の略称であり、コンピューター上に作成した 3 次元の建物のデジタルモデルに、コストや仕上げ、管理情報の属性データを追加した建築物のデータベースを、建築の設計、施工から維持管理までのあらゆる工程で情報活用を行うためのソリューションである。

また、それにより変化する建築の新しいワークフローである。意匠上の表現のためのモデルだけではなく、構造設計や設備設計情報のほか、コストや仕上げなど、付随する情報もすべて 1 つのデータで管理することができる<sup>1)</sup>。

### 2. 研究内容

#### 2.1 研究の概要

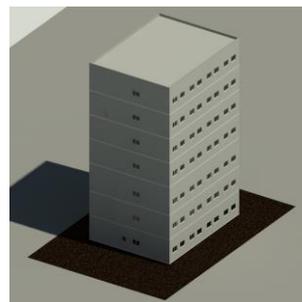
本研究では、BIM ツールを用い設備設計することを目指している。使用するソフトは Revit と呼ばれる AUTODESK が開発した BIM ツールである。このソフトを使ってオフィスビルを作図し建築設備を付設するためのモデルを作成する。建築設備を付設する際、風量・流量などを決定することが可能である。さらに、圧力損失と呼ばれる建築設備内に流れる風量・流量とダクト・パイプ内部との間に起こる摩擦抵抗に勝る力を求める。また、BIM ソフト内で算出した抵抗計算と手動計算により算出した抵抗計算を比較する。

#### 2.2 研究の目的

現在建築業界で注目されている、BIM を用いることで今までの設計との違いを、この研究を通して比較を行っていく。また、自ら設計を行い、使用する BIM ソフトが業務する上で実用性あるのかどうかを試していく。建築物は建物内に建築設備を付設することで、建物として機能し人が生活することができる。今までの設計では建物のみ設計してきたが、そこから建築設備を付設し設備設計を行い、設備設計に挑戦し、現在建築業界で注目されている BIM ソフトを用いて設計することを目標とする。

### 3. 建物概要

まず、はじめに平面図を作図すると、壁、開口部、床、屋根の数値を読み取り、図 1 の 3D モデルが自動的に作成される。Revit では設計しながら建物を 3D で見ることができ、より完成した建物を想像しながら、設計することが可能になる。この点だけでも、BIM ツールの利便性が十分にわかる。



・建物概要  
 高さ:27.7m  
 階数:7階  
 延べ床面積:  
 3,024 m<sup>2</sup>

図 1 オフィスビル

### 4. 設備機器紹介

Revit で作図した平面図に建築設備機器を配置する。空気を加熱または冷却をするので設備機器に加熱・冷却能力 W を決め、その後モデル図面に配置して配管ルートを決める。

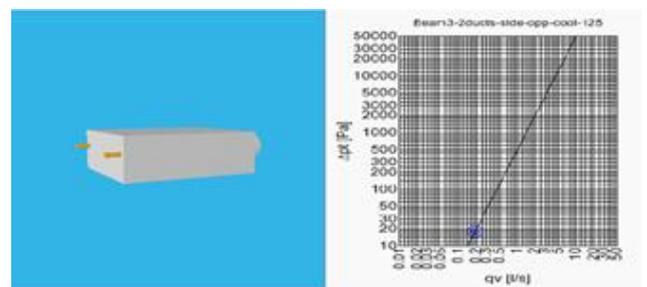


図 2 ファンコイルユニット

ファンコイルユニットとは、ファンとコイルをひとつの箱に収めた空調機で、室内の空気を吸いこんで、エアフィルターでちりなどを取りのぞいた後、コイルで温度と湿度を調節して、また室内に戻すものである<sup>2)</sup>。

5. 設備機器配置・ルート決定

図3は、Revitで作図した平面図にファンコイルユニットを配置して、配管ルートを決めた図面である。配管の材質は冷水管・温水管ともに鋼管を用いて設計しており、配管ルート決定後は配管内径を決める。

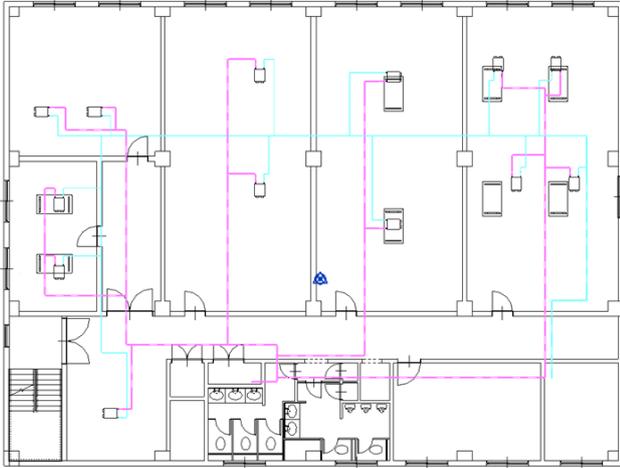


図3 配管ルート

6. 抵抗計算

配管の抵抗計算は以下の式を用いて求める。

- 直管配管抵抗計算式<sup>3)4)5)</sup>

$$\Delta p = \lambda \frac{L}{d} \times \frac{v^2}{2} \rho \tag{1}$$

- 局部配管抵抗計算式<sup>3)4)5)</sup>

$$\Delta p = \zeta \times \rho \times \frac{v^2}{2} \tag{2}$$

$\Delta p$ : 圧力損失

$\lambda$ : 管摩擦係数

$L$ : 配管長さ (m)

$d$ : 配管内径 (m)

$\rho$ : 流体密度  $\div 1.2\text{kg/m}^3$

$v$ : 配管内流速 (m/s)

$\zeta$ : 局部損失係数

また、 $\zeta$ : 局部損失係数は下の表1により求める。

表1 局部損失係数

局部損失係数			$\zeta$
エルボ90°	配管内径	r/d=	
	25mm	0.5	1.0
	20・40mm	1.0	0.35
	10mm	1.5	0.3
		2	0.2

以上の条件から、一部配管の計算結果をまとめたもの

を表2に示す。また、各階で算出した抵抗計算3にまとめる。

7. 結論

表2 一部配管 抵抗計算結果

種類	材質	製品名	管内径 [mm]	長さ [m]	加熱・冷却能力 [W]	管内平均流速 [m/s]	管内温度 [°C]	MAGI CAD [Pa]	手動 [Pa]	$\lambda$	レイノルズ
パイプ1	鋼管	MAGI-FE-40	40	1		0.29	70	23.3	20.3	0.1608	30368.1
エルボ1	鋼管	MAGI-FE-B1-40	40			0.29		19.8	15.1		
パイプ2	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.1		0.29	69.9	2	2		
プランク1	鋼管	MAGI-FE-T1-40-40	40/40			0.29		40.6	40.6		
パイプ3	鋼管	MAGI-FE-40	40	10.6		0.09	69.9	31.1	21.4	0.161	9344.03
エルボ2	鋼管	MAGI-FE-B1-40	40			0.09		1.9	1.5		
パイプ4	鋼管	MAGI-FE-40	40	8.3		0.09	68.1	24.5	16.8		
プランク2	鋼管	MAGI-FE-T1-40-40	40/40			0.09		3.8	3.8		
パイプ5	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.9		0.02	66.8	0.2	0.1	0.1618	2336.01
エルボ3	鋼管	MAGI-FE-B1-40	40			0.02		0.1	0.1		
パイプ6	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.1		0.02	66.2	0	0		
パイプ7	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.2		0.02	66.1	0	0		
FCU1		Beam3-2ducts-side-opp-cool-125	40		4000			66	18.3	18.3	
パイプ8	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.4		0.07	66.8	0.7	0.5	0.1611	7008.02
プランク3	鋼管	MAGI-FE-T1-40-40	40/40			0.07		2.2	2.2		
パイプ9	鋼管	MAGI-FE-40	40	1.2		0.02	66.7	0.3	0.1	0.1618	2336.01
エルボ4	鋼管	MAGI-FE-B1-40	40			0.02		0.1	0.1		
パイプ10	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.5		0.02	65.9	0.1	0.1		
パイプ11	鋼管	MAGI-FE-40	40	0.2		0.02	65.5	0	0		

表3 各階抵抗計算まとめ

	圧力損失(MagiCAD)[Pa]	圧力損失(手動)[Pa]	圧力損失誤差[Pa]
1階	1887.8	1689.2	198.6
2階	526.1	468.3	57.8
3階	432.8	300.1	132.7
4～7階	224.5	197	27.5
合計	3071.2	2654.6	416.6

1～7階までの抵抗計算比較結果は MagiCAD 3071.2Pa、手動 2654.6Pa、誤差 416.6Paとなった。誤差率を出すと、1～7階までが13.6%、一番誤差が大きかった3階の誤差率が30%となった。大きく誤差が生じたのがエルボなのだが、建築基準法により管内径によって局部損失係数値が決まっており、MagiCAD内ではすべて局部損失係数値が0.48で統一されていることから、誤差が生じたと考えられる。また、3階の誤差率が大きかったのは、3階は他の階と比べ直管に対してエルボの数が多かったのが要因だと考えられる。そのため、実務として使用する際には、MagiCAD内から求められる値と実際に求められる値を比較しながら慎重に設計を行う必要がある。

参考文献

- 1) BIMとは? BIM Design
- 2) (URL:<http://bim-design.com/about/index.html>)
- 3) ファンコイルユニットの仕組みや特徴
- 4) (URL:<https://www.gijutsushikaku-guide.net/fan-coil-unit-mechanism>)
- 5) 空気調和衛生工学便覧 14版 3 空気調和設備
- 6) (P181,235～238)
- 7) 建築設備設計マニュアル(改訂二版) I 空気調和編 (P137,138)
- 8) ダクト式換気扇の圧力損失計算(等圧法)の解説と摩擦抵抗線図の見方
- 9) (URL:<https://architerial.jp/touatsuhou/>)

# A-10

## BIM 技術を用いた火災安全設計に関する研究

○伊藤大智(東北工業大学), 許雷(東北工業大学)

Fire Safety Design by using BIM Technology

Ito Daichi (Tohoku Institute of Technology), Xu Lei(Tohoku Institute of Technology)

キーワード：BIM, 避難時間, ルート B

### 1. 研究目的

日本では、避難安全検証法という建物内で発生する火災から避難者が安全に避難できることを計算により確かめることができる性能設計がある。従来の仕様規定に加え、性能評価による規定が追加されたものである。また、現在 BIM (Building Information Modeling) が注目されており、BIM で作成したデータを用いて火災避難のシミュレーションを行うことがよくある。

本研究では、建築業界で注目されている BIM と火災・避難のシミュレーションの連携を目指し、避難安全検証法との比較を確認しながら、シミュレーションの効率化を図る。

### 2. 研究内容

#### 2.1 火災避難解析ソフトウェア

本研究で使用した PyroSim<sup>1)</sup> と Pathfinder<sup>1)</sup> は、アメリカの Thunderhead Engineering 社が開発した火災シミュレーションソフトと避難シミュレーションソフトである。

FDS と CFD(数値流体力学)の利用により火災安全性を確かめる為に必要な煙降下時間、避難時間などが計算できる。計算結果は付随の smokeview によって可視化することが可能である。

#### 2.2 避難安全検証法との比較

避難安全検証法<sup>2)</sup>には 3 つの方法がある。本研究では、階避難安全検証として、告示に示された算出方法を用いるルート B と比較を行う。ルート B では室の避難終了時間 < 煙降下時間となることを検証する。煙降下時間  $t_s$ 、出口通過時間  $t_{queue}$ 、煙発生量  $V_s$  の式(1)~(3)を以下に示す。

$$t_{queue} = \frac{\sum pA_{area}}{\sum N_{eff}B_{eff}} \quad (1)$$

$$t_s = \frac{A_{room} \times (H_{room} - 1.8)}{\max(V_s - V_e, 0.01)} \quad (2)$$

$$V_s = 9 \left\{ (\alpha_f + \alpha_m) A_{room} \right\}^{1/3} \left( H_{low}^{5/3} + (H_{low} - H_{room} + 1.8)^{5/3} \right) \quad (3)$$

ここに

$pA_{area}$ : 在館者密度 (人/m<sup>2</sup>) × 居室面積 (m<sup>2</sup>)

$N_{eff}$ : 有効流動係数 (人/分・m),  $B_{eff}$ : 有効出口幅 (m)

$H_{room}$ : 天井高 (m),  $H_{low}$ : 平均天井高 (m)

$A_{room}$ : 床面積 (m<sup>2</sup>),  $V_s$ : 煙発生量 (m<sup>3</sup>/分)

以上の計算に示した数値の他、用途別の積載可燃物の発熱量など数多くの計算が必要になる。そのためルート B による計算は膨大な時間を要する。そこで、IFC 対応の BIM ソフトでモデルデータを作成し BIM ソフトでは対応していない火源の設定や避難者、避難者の設定などは、PyroSim や Pathfinder といったソフトを使い設定を行う。図面の作成からシミュレーションを行うまでの間を短くでき、時間短縮につながる。

PyroSim や Pathfinder の結果と避難安全検証法のルート B 計算結果との比較を行う。対象とするのは出口通過時間および煙降下時間である。ルート B では、煙降下時間の定義を火災発生後、煙層が避難上支障の起こる床面から 1.8m 地点まで降下するまで時間としているため、PyroSim では Z=1.8m の位置に煙が降下する様子を視覚的に表現する。

### 3. ケーススタディ

BIM 対応 CAD でモデルを作成したのち、PyroSim で火源の発熱量や位置、燃焼の情報などを入力し、火災シミュレーションを行う準備をしていく。Pathfinder では、避難口の設定、避難者の情報などを入力し、避難シミュレーションの準備をしていく。

#### 3.1 モデル作成

作成したモデルは、天井高 5m、252.0m<sup>2</sup>の床面積の部屋と 2.0m の廊下がある。避難口が 1 つのケース (CASE1) と 2 つの避難口があるケース (CASE2) の比較を行う。また、モデル概要を表 1 に示す。図 1 は 3DCAD で作成したモデルである。

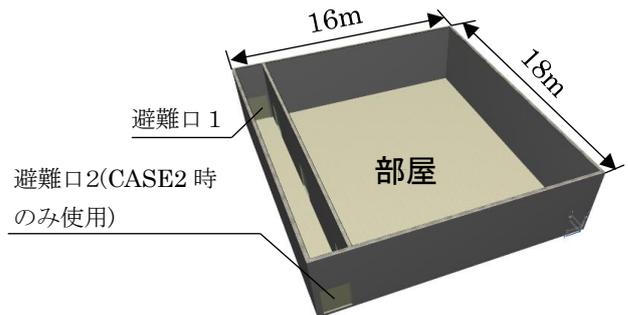


図 1 作成モデル

表1 モデル概要

部屋の床面積	252m <sup>2</sup>
部屋の用途	教室
ドアの幅	1.5m
天井高	5.0m
廊下幅	2.0m
火源の発熱量	1000kW/m <sup>2</sup>
内装材	石膏プラスター仕上げ(不燃)
避難者数	177名

### 3.2 BIMデータの連携

3DCADで作成したデータをIFCファイルで保存することでFDSに建物データを出力することが可能である。建物の情報の出力は可能な部分と不可能な部分があり、不可能な部分は自分で情報を入力する必要がある。

## 4. 結果・考察

### 4.1 煙降下時間の比較

部屋におけるルートBでの煙降下時間の計算結果は125.8秒となった。

一方、PyroSimでは、117秒でZ=1.8m地点に降下した。煙降下の様子を図2に示す。ルートBとPyroSimでの結果には、8.8秒の誤差が生じたが許容範囲内であると考えられる。実際の火災での出火の正確な位置の把握は難しいため、火災の拡大の仕方・煙層降下の様子は変化すると考えられる。

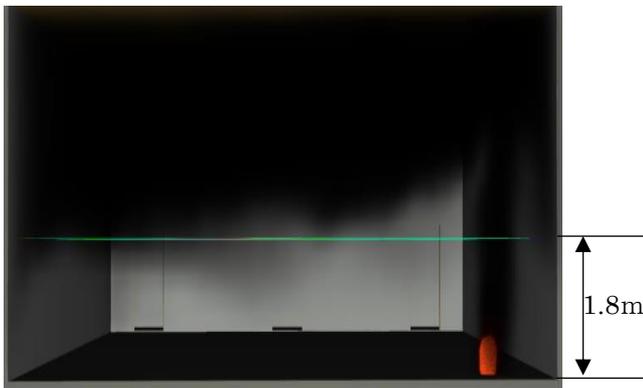


図2 煙降下の様子

### 4.2 避難解析結果

火災発生後、CASE1では3秒後1人目の避難者が避難を終え、78.8秒で全員が避難終了となった。CASE2では3秒後1人目の避難者が避難を終え、44.3秒で全員が避難終了となった。CASE2では両方向に避難者が流れることで迅速な避難が可能となった。

ルートBとの比較に関しては、Pathfinder上でCASE1の避難終了時間は78.8秒となったが、ルートB計算での避難終了時間は107秒であった。28.2秒の差

が生じているが、差異が生じた理由として考えられる理由はルートBでの階避難計算の時は火災室に設置された最も大きな出口を利用できないものとして出口通過時間を算定したが、Pathfinderでのシミュレーション時では、火災室のすべての出口を使用したため、このような結果になったと考えられる。図3にPathfinderでのシミュレーション結果を示す。

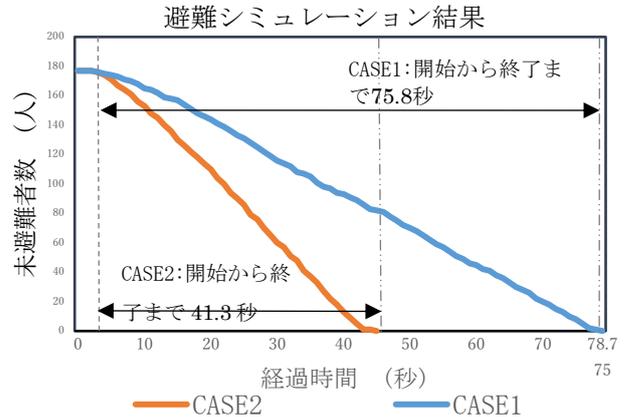


図3 避難人数の推移

## 5. まとめと展望

本研究では、BIMと火災・避難のシミュレーションソフトを統合させることでシミュレーションの効率化と避難安全検証法との比較によるシミュレーションの信用性の確認を目的とした。FDSでのシミュレーション結果と避難安全検証法の比較はルートBの判定が厳しいこともあり誤差を生んだもののいずれも許容範囲内の誤差であり、シミュレーションの信用性を評価することができた。

本研究では、FDSによるシミュレーションの信用性が確認できた。しかしながら避難安全検証法の結果との誤差は許容範囲内とはいえ大きい。今回より詳細な数値を入力することで誤差を少なくすることができると考えられ今後の課題である。

今回の研究では火災の火元が範囲によって決められており、それ以上拡がることは無かった。今後の展望としては、より現実的な避難解析を実現するには火災の延焼解析をしたいと考えこの研究の展望とする。

### 参考文献

- 1) 株式会社 CAE ソリューションズ:PyroSim -火災シミュレーション, <https://www.cae-sc.com/products/pyrosim.html> (参照日 2019.11.27)
- 2) 株式会社イズミシステム設計:避難安全検証法とは, <https://www.izumi-bousai.jp/about/> (参照日 2019.12.13)

# A-11

## 建設業における画像認識フィルタの活用

○山口 倫明(三機工業株), 植村 聡(三機工業株), 吉岡 誠記(三機工業株),  
小林 雅明(三機工業株)

### Utilization of image recognition filter in construction industry

Tomoaki Yamaguchi(Sanki Engineering), Satoshi Uemura(Sanki Engineering),  
Masaki Yoshioka(Sanki Engineering), Masaaki Kobayashi(Sanki Engineering)

キーワード：機械学習，画像認識

#### はじめに

総務省の労働力調査のデータを基に国土交通省が算出した建設業就労者数の推移<sup>1)</sup>を見ると、平成9年度の685万人から減少が始まり、平成22年度から平成28年度にかけてはおおよそ500万人で推移している。また、建設業就労者の年齢構成を見ると平成28年度のデータでは、55歳以上が約34%、29歳以下が約11%となっており、高齢化が進行している業種であることがわかる。この高齢化の状況は全産業の中でも顕著であり、高齢化における次世代への技術承継は大きな課題とされている。また、昨今の働き方改革においては時間外労働の削減、休暇取得の奨励など限られた時間の中で質の高い仕事をこなさなければならぬ。

筆者らは、これらの労働環境の変化の中で、効率良く業務を遂行するための手法の調査、検討を実施し、OJT (On the Job Training) や技能承継を促進するシステムの開発に着手したので報告する。

#### 1. システムに求められる機能

システムの使用対象者は、経験、知識が乏しい建設現場に従事する若手の施工管理業務者とした。若手施工管理業務者は、日々変化する施工現場の中で発生する問題に対して、その場で判断し、解決することが求められる。ただし、問題解決のために必要な知識、経験が十分でないためその場での解決が困難となり、その対応として各種仕様書や施工要領書などの多くの資料を持ち歩く状況に置かれる。これらの資料の電子化が進んでいても問題解決に繋がる資料をその場で探し出す知識、経験が少ないため有効に活用できないといった問題が発生する。さらに、日々のこれらの業務に忙殺される中では、致命的な欠陥や事故に繋がる問題点への気づきが生まれず大きなトラブルが発生する可能性もある。

一般的に生産工場での製品の組立て作業や建物の設備管理業務などではHMD (Head Mounted Display) を活用した取組みがなされている。これら

は、熟練技術者の作業のトレースや決められた管理項目での点検作業など、定型作業や定型業務に対して効果を上げている。

しかし、施工現場においては先に述べたように日々状況が変化するため、決まった場所での決まった作業が存在し難い。これらの非定型業務において、実際の施工現場の中がどういった状況であるかの把握のためには、時間、場所、工程、モノなどの情報を取込み、判別する必要がある。

本報では、建設現場の状況把握に必要な情報の内、モノの判別に必要な技術を検討し、機械学習を利用した画像認識フィルタが有効であると判断したため検証を実施した。

#### 2. 画像認識フィルタの構築

施工現場の状況を判断するシステムの構築のため、取得した画像情報から対象物が何かを判別する技術が必要となる。今回は、建設設備工事に特化した画像認識フィルタを構築した。

##### 2.1 認識対象物の選定

画像認識の技術は様々な分野で広く活用されているが、建設設備工事に特化したものはみられない。そこで、施工現場でよく使用される29項目を認識対象として選定し、表-1に一部抜粋した写真とまとめる。

表-1 画像認識フィルタの認識項目

角アネモ	ターボ冷凍機
丸アネモ	吸収式冷凍機
温度ゲージ	水冷チラー
熱交換器(水-水)	Y型ストレーナ
チャッキ弁	ヘッダ配管
圧カゲージ	ボール弁
バタフライ弁	ファン

ポンプ・片吸込	膨張タンク
フレキダクト	ラインポンプ
ひと	測温抵抗体
ゲート弁	角ダクト(保温なし)
動力盤	配管(保温あり)
角ダクト保温あり	照明
配線	配管(保温なし)
配線ラック	



照明 配管(保温なし)

これら選定した認識項目の画像認識を実施するにあたり、各項目、100枚から500枚の画像データの取得をおこなう。画像の取得には、スマートフォンのカメラ機能を使用した。取得した画像は学習機で取り込み可能な画角処理とラベリング作業を実施し、学習を実施する。

## 2.2 画像認識の学習モデルの比較・検討

画像認識における学習モデルは、代表的なもので、NIN、AlexNet、GoogleNet、VGG16、ResNet50、ResNet152などが上げられる。それぞれの学習モデルの概要を表-2に示す。

表-2 画像認識フィルタの学習モデルの比較

学習モデル名	階層数	パラメータ数
NIN	13層 畳込層：4 全結合層：9	7.6M
AlexNet	13層 畳込層：4 全結合層：9	7.0M
GoogleNet	22層 畳込層：21 全結合層：1	61M
VGG16	8層 畳込層：5 全結合層：3	138M
ResNet50	16層 畳込層：13 全結合層：3	25.5M
ResNet152	152層 畳込層：151 全結合層：1	25.5M



世界規模で開催される画像認識の競技会(ILSVRC)において、AlexNetは2012年大会、GoogleNetは2014年大会、ResNet50は2015年大会の優勝モデルである。

これらの学習モデルで29項目のうち、ダクト(保温なし)、角アネモ、丸アネモ、照明の4項目の学習結果を用いて、認識精度の評価を実施した。各項目ともに学習回数は500回とし、教師データの枚数は、ダク

ト(保温なし): 200 枚、角アネモ: 369 枚、丸アネモ: 172 枚、照明: 157 枚とした。認識精度の評価結果を図-1 に示す。



図-1 学習モデル別の正答率

画像認識フィルタが判定する一致率の閾値を 60% と設定し評価した。

図-1 より、ResNet152 の認識率が他モデルと比較して 10%程度正答率が低くなったが、その他の各学習モデルごとの各認識対象の正答率に大きな差はみられなかった。この結果より、今回のモデル内、構造が最もシンプル(層とパラメータ数)で精度も担保できる NIN での検証を進めた。

### 2.3 画像認識の学習モデルの再考

2.2 で比較検討した学習モデルは認識対象の画像に対して何が写っているかを判別する画像判別のモデルである。本システムの運用では、様々な物体が写った画像から、物体を検知する必要がある。そこで、どこに何があるかを判別可能な、物体検出に適したモデルを再選定した。

物体検出のモデルは、R-CNN、FastR-CNN など様々あるが、その内、処理速度が高速で高精度な検出が可能な、SSD(Single Shot Multibox Detector)を選定した。

2.2 で選定した NIN と今回の SSD で検出精度の比較を実施した。両モデルの検証は、検証用画像内に描画した鏡面状のボール、ドーナツを学習させ(図-2)、NIN は何が写っているかの判定結果、SSD はどこに何が写っているかの検知結果で比較した。背景と合成したボールとドーナツが写っている画像はそれぞれ 40 枚、また、何も写っていない背景だけの画像も 40 枚の計 120 枚の画像で実施した。

検証結果を表-3 に示す。表-3 より、NIN は全項目 100%の認識であった。一方、SSD は背景のみの場合

にボールが存在するという誤検出が 4 件あった。ただし、未認識の項目はなかったことと、正答率 90%を達成していることから、一致率の閾値の調整で実用に耐え得ると判断した。

施工現場での運用を想定した際に、検出対象物の位置の把握までが可能な物体検出モデルが必須であるため、SSD での検証を進めた。



図-2 ドーナツとボールの合成

表-3 NIN と SSD の検出精度比較

		結果			
		ドーナツ	ボール	背景のみ	合計
NIN	ドーナツ	40	0	0	40
	ボール	0	40	0	40
	該当なし	0	0	40	40
SSD	ドーナツ	40	0	0	40
	ボール	0	40	0	40
	背景のみ	4	0	36	40

### 2.3 学習に必要な教師データの加工

NIN での学習時では、教師データの作成は対象画像の画角調整とその画像が何の画像であるかのラベリングの作業が必要であるが、SSD の場合は追加の作業として、アノテーションを実施する必要がある。アノテーションとは、学習画像に対して認識対象部分を矩形で指定し、その指定された部分が何であるかとのラベリングをする作業である。このアノテーションによって、画像認識の際に対象物が何であるかに加えて、「どこにあるか」までを検知することができる。

図-3 は、配線のアノテーション作業の例である。アネモやバルブといった形が決まっている場合は対象の範囲を矩形で指定するのは容易であるが、配線やダクト、配管といった一般的に形が不定形な対象物に対しては、細かく矩形で区切り、学習させる必要がある。この細かくアノテーションを実施することで不定

形物に対しても精度良く検知が可能となる。



図-3 アノテーション例(配線の場合)

また、今回の SSD での学習に使用した教師データ数を表-4 に示す。1 枚の画像であっても、図-3 のように複数の教師データが得られる場合は、その各々をカウントしている。そのため、不定形物の教師データ数が多くなっている。

表-4 認識項目ごとの教師データ数

認識項目	教師データ数	認識項目	教師データ数
角アネモ	192	ターボ冷凍機	67
丸アネモ	145	吸収式冷凍機	49
温度ゲージ	192	水冷チラー	120
熱交換器(水-水)	131	Y型ストレーナ	80
チャッキ弁	143	ヘッダ配管	168
圧力ゲージ	124	ボール弁	147
バタフライ弁	139	ファン	111
ポンプ(片吸込)	111	膨張タンク	57
フレキダクト	132	ラインポンプ	27
ひと	285	测温抵抗体	826
ゲート弁	208	角ダクト(保温なし)	94
動力盤	144	配管(保温あり)	616
角ダクト(保温あり)	368	照明	403
配線	781	配管(保温なし)	510
配線ラック	230		

## 2.4 SSD での認識結果

SSD での認識状況を図-4 に示す。今回の認識対象 29 項目のうち、角ダクト(保温あり)、フレキダクト、角アネモ、ポンプ(片吸込)、温度ゲージ、圧力ゲージ、Y 型ストレーナ、バタフライ弁、照明の 9 項目の結果を示す。学習した対象物に対して、精度よく認識できており、ダクトなどの不定形なものも認識も良好であることが確認された。



図-4 SSD での認識結果

## 3. まとめ

本報では、若手施工管理業務者が現場において施工上の問題解決を促すために必要な情報の内、モノの識別に必要な技術である画像認識システムについて報告した。今回検討した SSD では、取得した画像の中から検知対象項目を精度良く検知することが確認された。

ただし、教師用データの取得や教師用データの加工など労力を要する部分も多くあるため、これらの作業の効率化は課題となる。

今後は、上記課題に加え、施工現場の状況を取得するために必要な要件の整理と画像認識の適用場面の選定を含めて研究を進めていく。

## 参考文献

- 1) 国土交通省:「建設産業をめぐる現状と課題」2018 年
- 2) 中島貴春,他:深層学習を用いた 2 次元図面からの情報モデル構築に関する研究-オブジェクトおよび文字情報の認識と抽出, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)2018 年 9 月。

# A-15

## 秋田県の Fuel Poverty の実態把握の試み — 平成 25 年住宅・土地統計調査を用いた評価 —

○松浦瑞季（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）

### Estimation of Fuel Poverty in Akita from the statistical values of the Housing and Land Survey in 2013

Matsuura Mizuki (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：Fuel Poverty, 住宅・土地統計調査, エネルギーコスト

#### 1. はじめに

英国では、適切な室内温度を維持するために、年間の水道・光熱費が収入の10%以上を占める世帯を Fuel Poverty または Fuel Poverty 世帯(以降、FP または FP 世帯)と定義している<sup>1)</sup>。特に、FP 世帯では、十分な暖房環境が得られずに寒さに曝露される生活を強いられることが懸念されるため、健康リスクが高くなる。我が国では、森ら<sup>2)</sup>が、北海道でのアンケート調査および住宅・土地統計調査を用いて FP の実態に迫っている。

本研究では、秋田県の各市町村の FP の割合を推定し、秋田県の FP の実態を把握するとともに、FP と健康の関連性について考察する。

#### 2. Fuel Poverty の計算方法

##### 2.1 Fuel Poverty の計算の概要

秋田県の 25 市町村の FP の割合を既往の研究を基に推定する。使用するデータは平成 25 年住宅・土地統計調査<sup>3)</sup>および拡張アメダス気象データ<sup>4)</sup>である。その際、データが入手できない市町村においては、近隣の市町村のうち FP の割合が高い市町村からデータを引用した。

##### 2.2 Fuel Poverty の計算手順

図-1 に FP の計算フローを示す。計算手順は以下となる。

(1) 年間暖房負荷 拡張デグリーデイ法を用いて年間暖房負荷を算定<sup>5)</sup>する。拡張デグリーデイ法

とは、建物の暖房負荷を簡易に予測する手法であり、建物の断熱性能を表す熱損失係数と暖房デグリーデイを乗じることにより暖房期間中の暖房負荷を求めることができる。また、年間暖房負荷を算定するにあたり、暖房を全室終日暖房ではなく間欠暖房とするための補正係数<sup>6)</sup>を用いて算定した。

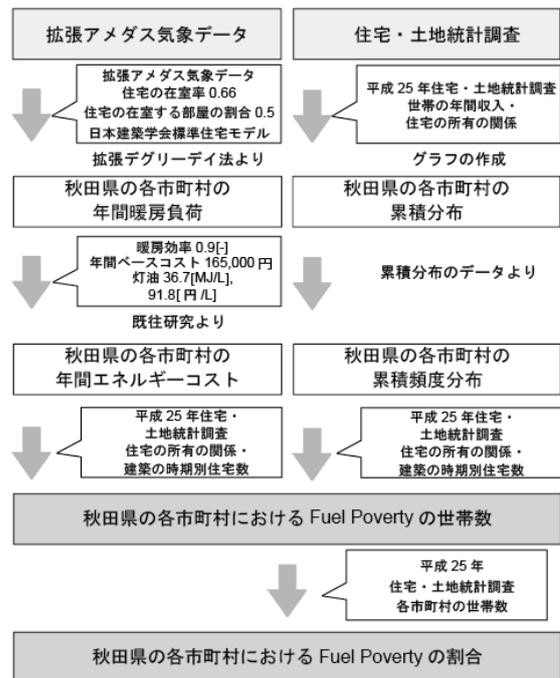


図-1 秋田県の Fuel Poverty に関する  
計算フロー

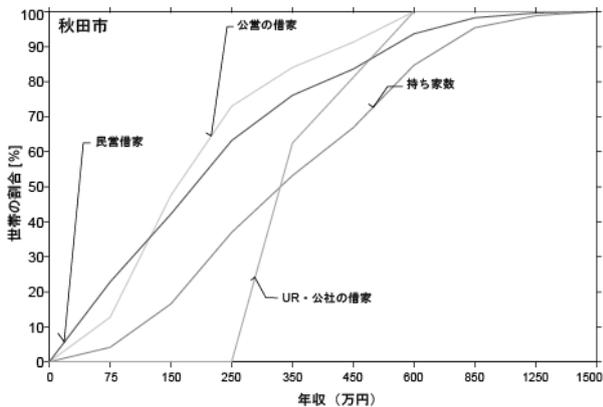


図-2 秋田市の累積頻度分布

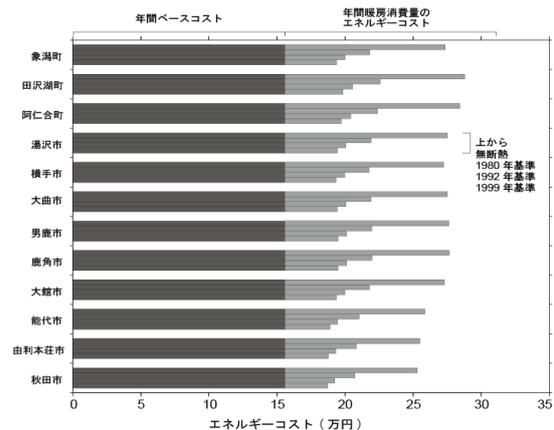


図-3 秋田県の12市町村の年間エネルギーコスト

(2) 年間エネルギーコスト (1)で求めた計算結果を基に、各市町村の住宅の断熱性能ごとに年間のエネルギーコストを算定する。その際、暖房効率を0.9[-]、燃料を灯油(36.7[MJ/L], 91.8[円/L]<sup>7)</sup>、年間のベースコストを165,000円(家庭用エネルギー統計年報<sup>8)</sup>より)と仮定し、算定した。

(3) 累積頻度分布 住宅土地統計調査を基に、所有形態別の年収累積頻度分布を作成する。その際、住宅土地統計調査での、所有形態別の年収分布のデータを用いた。一例として、図-2に秋田市の累積頻度分布を示す。

(4) 各市町村の Fuel Poverty の割合 (2)で算定した年間エネルギーコストおよび(3)で作成した累積頻度分布を用いて、各市町村の年代別・所有形態別のエネルギーコストが10倍となっている割合を求める。この割合を各市町村の年代別・所有形態別の住宅数に乗じることで、各市町村のFPの世帯数を推定する。FPの世帯数を全世帯数で除すことで、各市町村のFPの割合を推定する。

### 2.3 年間エネルギーコストの計算結果

図-3に、秋田県の12市町村の年間エネルギーコストを示す。図3より、全ての市町村において、無断熱、1980年基準、1992年基準、1999年基準という順で年間暖房消費量が少なくなることが確認できる。

市町村ごとにみると、田沢湖町(仙北市)が最も年間エネルギーコストが高く、無断熱において285,574円、1980年基準では228,988円、1992年基準では210,499円、1999年基準では200,288円であった。一方、秋田市が最も年間エネルギー

コストが少なく、無断熱では253,834円、1980年基準では212,144円、1992年基準では198,522円、1999年基準では193,775円であった。

年間エネルギーコストに対する年間暖房消費量のエネルギーコストの割合では、1999年基準で15~20%、1992年基準で17~22%、1980年基準で22~28%、無断熱で35~40%であることが確認できた。

### 3. Fuel Poverty の計算結果

図-4に秋田県の各市町村におけるFPの割合<sup>9)</sup>

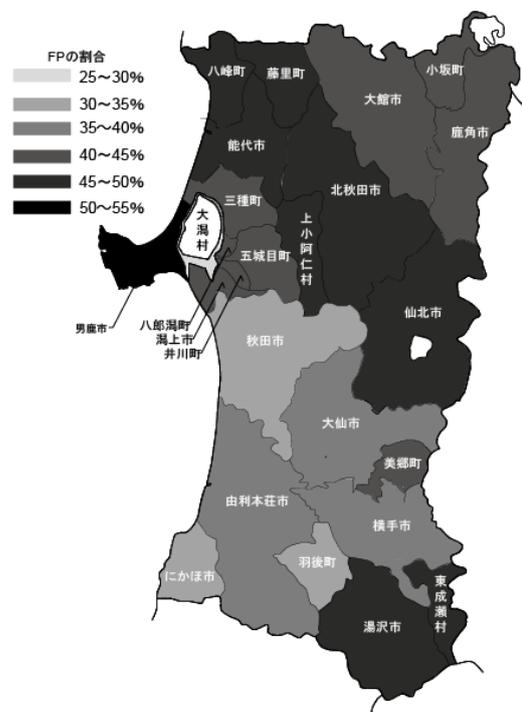


図-4 秋田県の各市町村の Fuel Poverty の割合

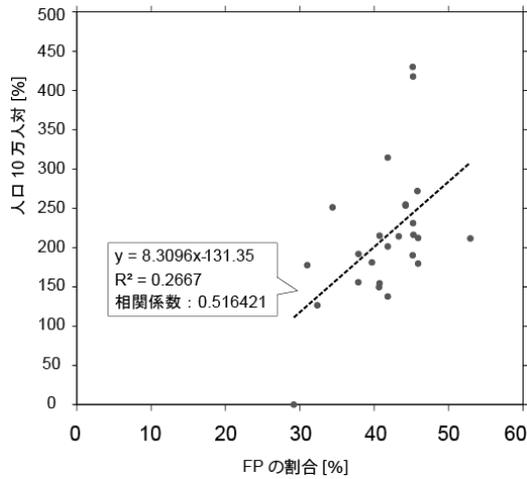


図-5(a) FP と心疾患による死亡率との関係性

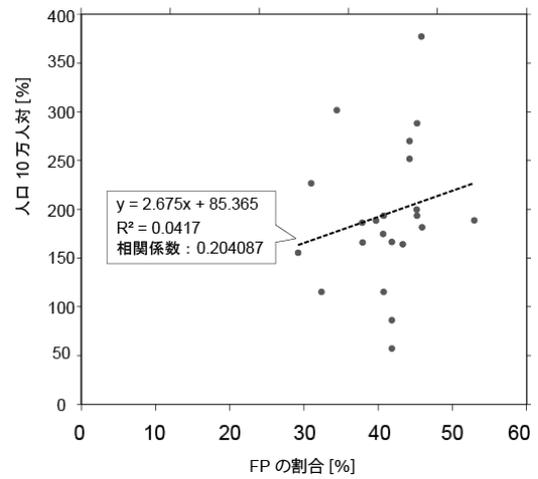


図-5(b) FP と脳血管疾患による死亡率との関係性

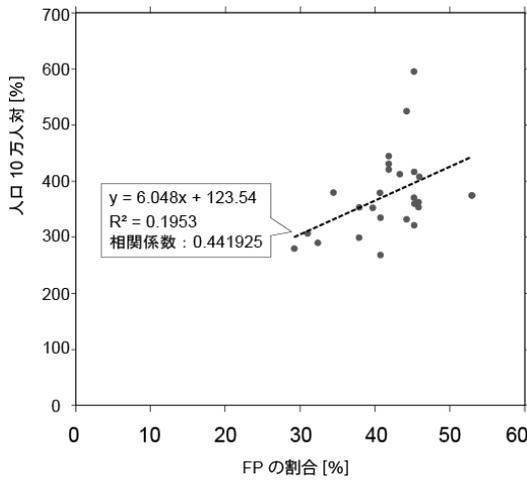


図-5(c) FP と悪性新生物による死亡率との関係性

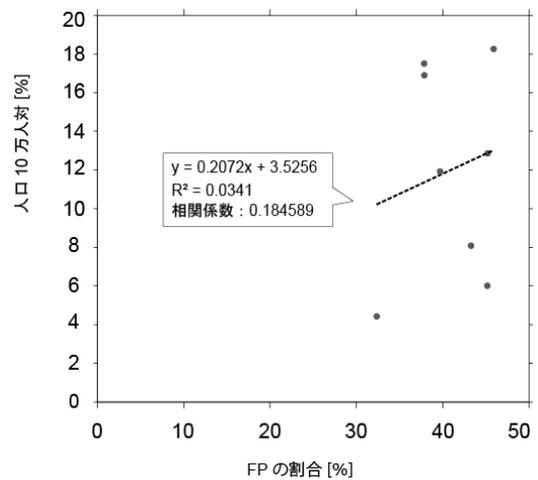


図-5(d) FP と不慮の溺死および溺水による死亡率との関係性

を示す。秋田県の各市町村における FP の割合は、全体として 30～46%の市町村が多く、北海道の実態<sup>2)</sup>と類似している。秋田県では北部の方が割合が高く、南部が低い傾向があり、男鹿市が 53%で FP の割合が最も高く、大潟村が 29%で FP の割合が最も低い。

住宅の所有形態別に各市町村の FP の割合の分布をみると、持ち家では、どの市町村も無断熱および 1980 年基準の断熱性能の低い住宅に住む FP 世帯が全体の 50%以上を占めることが確認できた。このことから、FP と住宅の断熱性能には関係性があるといえる。公営の借家および民営の借家は、市町村ごとに傾向が異なり、全体で同様な傾向を確認できなかった。秋田県内には、UR・公社

の借家に住む世帯数が少ないため、データそのものが少ない市町村が多い。

#### 4. Fuel Poverty と健康との関連性

秋田県の各市町村の FP の割合から健康との関連性を確認する。今回、平成 25 年住宅・土地統計調査および人口動態統計<sup>10)</sup>から、各市町村の心疾患および脳血管疾患、悪性新生物、不慮の溺死および溺水のデータを用いた。

図-5(a)から(d)に、FP と心疾患、脳血管疾患、悪性新生物、不慮の溺死および溺水による死亡率との関係性を示す。

図-5(a)より、心疾患には若干の相関が見られたが、その他は関係は希薄である。秋田県の各市町

村には人口の少ない市町村が多く含まれているため、1人の死亡数の差で死亡率が大きく変化してしまうことが影響している。

## 5. まとめ

秋田県の各市町村のFPの世帯数および割合を推定し、FPと健康の関連性を確認した。FP世帯の割合は30～46%と試算されたが、健康との関連性は、明確ではなく、FPの定義を含めて課題を残している。

### 参考文献

- 1) Louise Sunderland & Darryl Croft, Energy poverty-risks, conflicts and opportunities in the development of energy poverty alleviation policy under the umbrella of energy efficient and climate change, eceee2011, Summer Study Proceedings Thomas, 2011
- 2) 森太郎ら：北海道における Fuel Poverty の実態に関する研究，住総研，研究論文集・実践研究報告集 No.44, pp.729～734, 2017年
- 3) 統計局ホームページ/住宅・土地統計調査 調査概要  
<http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2013/2.html#midashi1> 閲覧 2019.12

4) 日本建築学会：拡張アメダス気象データ，2016年

5) 長谷川兼一，松本真一，細淵勇人：秋田県を対象とした住宅内エネルギー消費量の将来推計，日本建築学会技術報告集，第25巻第59号，pp267～270，2017年

6) 齋藤正浩：秋田県における民生家庭部門の低炭素化シナリオの提案-家庭内エネルギー消費量と二酸化炭素排出量の将来推計-秋田県立大学卒業論文，2016年

7) 日本経済新聞

<https://www.nikkei.com/article/DGXMZO52945560U9A201C1X93000/> 閲覧 2019.12.8) 住環境計画研究所，家庭用エネルギー統計年報 2012年度，2013年

9) 国土地理院

[https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOH0/gappei\\_index.htm](https://www.gsi.go.jp/KOKUJYOH0/gappei_index.htm) 閲覧 2019.12

10) 厚生労働省/人口動態統計 調査概要

<https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/81-1b.html> 閲覧 2020.1.

# A-16

## 既存建築物の環境リノベーション手法に関する事例調査

### － 東北地方の古民家を対象として －

○下嶋秀明（秋田県立大学）、長谷川兼一（秋田県立大学）、

竹内仁哉（秋田県立大学）、松本真一（秋田県立大学）

### Case Study on Environmental Renovation Methods of Existing Building for Old Traditional Housing in Tohoku Region

Shitashima Hideaki (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University), Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：古民家、環境リノベーション、事例調査

#### 1. はじめに

地球環境負荷を示す指標の1つにエコロジカルフットプリント（以下EF）がある。人間活動に伴う自然ストックの消費を土地面積に変換したもので、地球の再生産能力をどれほど超過しているかを示す。EFによれば、現在の活動を維持するには地球が1.7個必要<sup>2)</sup>であり、私たちが地球の有限な資源を大幅に超過しながら生活していることは明らかである。

EFの観点から見ると、建築分野では環境負荷を低減させる必要がある。特に、新築に対する配慮のみならず、積極的な既存ストックの改修に期待がされる。また、現在では既存ストックの改修・

転用に関する法整備も進んでおり、社会的需要は高まりつつある。

本研修では、既存ストックの改修と同時に環境性能の向上が図られた改修を「環境リノベーション」と定義し、改修手法の分析からその有用性を考察することを目的として、東北地方の古民家を対象に事例調査を行う。

#### 2. 調査住宅概要と外皮性能評価

##### 2.1 調査方法

実際に改修された事例を文献<sup>3)~10)</sup>より収集する。全ての事例は同じ設計者によって手掛けられており、改修前の調査から設計・施工内容の記録

表-1 調査事例概要

名称	H邸	O邸	Y邸	SA邸	SE邸	T邸	SY邸	
所在	山形県遊佐町杉沢集落	宮城県気仙沼市下八瀬	宮城県登米市中田町石森二木	岩手県東磐井郡藤沢町平蔵	宮城県亶理郡山元町鷺足	宮城県仙台市宮城野区原町	宮城県仙台市宮城野区原町	
構造	在来木造	在来木造	在来木造	在来木造	在来木造	在来木造	在来木造	
規模	203.34m <sup>2</sup>	189.71m <sup>2</sup>	174.89m <sup>2</sup>	145.63m <sup>2</sup>	169.45m <sup>2</sup>	171.91m <sup>2</sup>	165m <sup>2</sup>	
建築年代(推定)	1703年(口伝)	1905年頃	17世紀末頃	1914年(再建)	17世紀末頃	1874年(再建)	1874年(再建)	
改修竣工年	2003年3月3日	2004年4月12日	2005年5月2日	2006年6月12日	2007年7月11日	2008年8月11日	2014年12月24日	
H25年省エネ区分(H11区分)	IV(Ⅲ)	IV(Ⅲ)	IV(Ⅲ)	Ⅲ(Ⅱ)	IV(Ⅲ)	IV(Ⅲ)	IV(Ⅲ)	
壁面熱貫流率	0.47	0.53	0.54	0.51	0.54	0.35	0.29	
施主要望	用途変更に伴う温熱環境の向上(事業方針)	寒い家を暖かくバリアフリーの確保	古さと暮らしやすさの両立 バリアフリーの確保 バリアフリーへの配慮 便利な水回り	寒くない家で過ごしたい	古民家を高気密高断熱にして住みたい	先祖の遺産の保存ではなく共存	当主の遺志を尊重し、暖かく住み続けたい	
断熱材	屋根	フェノールフォーム80mm	(熱的外部)	フェノールフォーム50mm	垂木に発泡ポリウレタン55mm吹つけ	硬質ウレタンフォーム50mm	硬質ウレタンフォーム50mmに付加断熱で同50mm	フェノールフォーム100mm
	天井	—	フェノールフォーム30mm	—	—	—	—	—
	壁	フェノールフォーム35mm	フェノールフォーム30mm	フェノールフォーム30mm	発泡ポリウレタン35mm吹付	硬質ウレタンフォーム30mm おおむね外張り	硬質ウレタンフォーム50mm	フェノールフォーム50mm
地盤・基礎	壁と連続させないでスカート断熱、押出發泡ポリスチレン30mm	押出發泡ポリスチレン30mm 基礎立ち上がり50mm	建物周辺900mmに押出發泡ポリスチレン30mm	ベリメータ900mmに押出發泡ポリスチレン 基礎回りはスカート断熱部含め50mm	ベリメータ900mmに押出發泡ポリスチレン50mm	土間下及びベリメータ900mmに押出發泡ポリスチレン30mm	ベリメータ部に押出發泡ポリスチレン50mm	
暖房	輻射型パネルヒーター(低温水利用)	輻射型パネルヒーター(灯油ボイラ熱源)を1階各部屋に	FF式ストーブ2基	FF式ストーブ2基 こたつ	FF式ストーブ	輻射型パネルヒーター(電気熱源)	2.8kWのエアコン2台	
換気	第三種換気	第三種換気	第三種換気	第三種換気	第三種換気	第三種換気	第三種換気	
開口	木製サッシ 低放射高断熱複層ガラス アルゴンガス封入	当時のⅡ地域に準拠	アルミサッシ、ガラス層12mm 天窓:アルミサッシ (室内側木製サッシ)	普通複層ガラス (空気層12mm)と カーテンや障子との組み合わせ	木製断熱サッシ 普通複層ガラス (空気層12mm)	プラスチックサッシ 低放射型複層ガラス アルゴンガス封入	プラスチックサッシ トリプル低放射ガラス アルゴンガス封入	

が残されている。それらの文献から、改修の際に採用された手法と、それらの手法が選択された経緯・根拠等を抽出し、改修部位ごとにまとめることで知見を得る。

### 2.2 事例概要

表1に調査した7つの事例を示す。全ての事例は東北地方に位置しており、規模は200m<sup>2</sup>前後である。築年数は100~300年程度と長く、その歴史的価値の高さから改修後に国の登録文化財に登録された事例も存在する。

## 3. 調査結果

### 3.1 改修手法の分類

表2に各事例に用いられた改修手法をカテゴリごとに示す。各事例に共通して見られる手法と、事例特有の手法がある。例としてO邸とSE邸の環境リノベーションに用いられた改修手法を図1~4に示す。O邸では環境リノベーションの他にバリアフリーへの配慮が、SE邸では裏庭との関係や柱の細かな意匠への配慮などがそれぞれ考慮された。

以下に、調査事例に見られる改修部位や平面形

式など、各部位の改修手法ごとに特徴を示す。

#### (1) 屋根

既存家屋の屋根は鉄板もしくは瓦葺であることがほとんどである。当初の姿の復原のために茅葺とするには居住性や葺き替えのコストなど、現代に適応しづらいため、原則既存のままとしている。一部の事例では、軒裏を茅にすることで意匠的な価値の復原を試みている。

#### (2) 天井

築年数が長い古民家では、すでに一度改造が行われている場合がある。それらの改造では寒さに対応するために天井を張り、気積を小さくしている。天井を張ることで小屋組みが隠れてしまうため、調査事例では天井をはがし小屋組みを現す手法がとられる。高い環境性能と空間の魅力を同時に成立させるために、屋根の断熱性能の向上と適切な暖房計画との組み合わせに工夫が見られる。例に示したO邸は、調査した事例の中で唯一天井断熱としている。

#### (3) 壁

屋根や床の部位との取り合い部分は断熱材を貼付することが難しいため、注意深い断熱気密施工

表-2 改修手法一覧

分類	番号	選択手法	選択要因・根拠	該当事例							
				H	O	Y	SA	SE	T	SY	
屋根	1	ヨシズを用いた屋根裏仕上げ	内部空間の復原を行うためにヨシズを用いることで茅葺の雰囲気近くに近づける。天井断熱とする事例では行わない。	○	○	○	○	○	○	○	○
	2	勾配に則した内張り断熱	屋根裏の大空間を現すという目的に合わせ、天井ではなく屋根内側で断熱する。既存が瓦葺の事例では手を加えないようにすることも要因の1つである。	○	○	○	○	○	○	○	○
	3	天窗の設置	平面的に外と接しておらず採光が期待できない場合や、換気との関係から選択されることが多い。	○	○	○	○	○	○	○	○
	4	鉄板葺の施工	メンテナンスや断熱性能に配慮した上で、茅葺に復原せず鉄板葺に変える。	○	○	○	○	○	○	○	○
	5	既存の瓦葺屋根を踏襲	改修前に瓦葺だったものに限る。既存家屋の特徴を継承するという方針に則している。	○	○	○	○	○	○	○	○
天井	6	天井を剥がし、小屋組みを露出	古民家の大きな特徴である立派な小屋組みを、居住部から最大限享受できるようにする。	○	○	○	○	○	○	○	○
	7	天井を剥がし、気積を増幅	気積を大きくすることは、古民家特有の荘厳な梁組を現すことと一体的に暖房で効率的であることの2点から有効である。天井断熱をとる事例では行わない。	○	○	○	○	○	○	○	○
壁	8	内壁及び柱の塗装	新設壁と既存壁の違いを最小限にとどめ、内部空間の雰囲気を復原するため。	○	○	○	○	○	○	○	○
	9	外張りによる断熱	温熱性能の向上は必須であるため、妥協をせずに行う。最低限行う手法である。	○	○	○	○	○	○	○	○
	10	土壁による蓄熱	既存土壁は熱容量が高いため、積極的に残し蓄熱に期待する。	○	○	○	○	○	○	○	○
床下地盤	11	内張りによる断熱	妻側の壁に真壁で小屋組みが現れている部分など既存外観を残すために内張りの方が都合がよい部分は、一部例外的に内断熱とする。				○	○			
	12	床下を内部空間として断熱	地熱利用や床面からの冷気を防止する。	○	○	○	○	○	○	○	○
	13	地盤外周900mmに断熱材を敷込	熱の流出防止を意図する。基礎立ち上がりも同様に施工する。	○	○	○	○	○	○	○	○
	14	風除室を設けずに玄関を配置	玄関から立派な梁組を見られるよう、風除室の重要度が高くない場合に行われる。	○	○	○	○	○	○	○	○
平面	15	空間(室と室)の統合	建築当初の空間復元のために骨格は残しつつ、居住性に合わせて適宜行う。	○	○	○	○	○	○	○	○
	16	縁側・棚の取込みによる室の拡張	空間の拡張を図る。				○	○			
	17	減築	改修に伴う設備の新設・交換に合わせて、既存の風呂・便所があった部分を適宜解体する。		○						○
	18	テラスなどによる平面の復原	特徴的な平面形式を残すため、復元可能性や現代の居住性を加味した上で行う。	○		○					
開口	19	空間(室と室)の分割	室の統合時と同様、既存平面の骨格は残しつつ居住性も考慮して建具などで分割する。								
	20	サッシの取り換え、開口面積の縮小	熱的に弱点となる開口の面積を最小限にしつつ、眺望を妨げないようにする。	○	○	○	○	○	○	○	○
建具	21	既存建具の積極的な利用	古民家当初の空間の復元とコスト削減が大きな要因である。		○	○	○	○	○	○	○
	22	便所・風呂洗面の新設	既存の風呂や便所が外にある場合は、改修時に新設する。バリアフリーも同時に考慮し、寝室の近くにするなどする。	○	○	○	○	○	○	○	○
設備	23	水回りの集約・独立	復原平面への余分な影響を最小限にとどめるための手法である。機器の更新を同時に行い、現代の住まいへ適応させている。						○		
	24	大黒柱の独立	空間の復元が目的であるため、梁組とともに現す。あくまで独立柱の痕跡がある場合に限る。				○	○	○		
内部	25	構造材の転用・復原	意匠復元と同様に既存柱の痕跡から構造材を復原する。繫梁を復原した事例が見られた。								○
	26	細かい意匠の再現	古民家の価値保存のためには重要な手法である。解体時の柱についている穴や傷と年代を照合し、復原する。格子や浮彫など、特に装飾が顕著な場合には積極的にを行う。					○			○
外部	27	縁側下の束やはめ板を踏襲	この部分が特徴的な事例はそれを活用する。それに合わせて基礎の断熱などの方法が変わる。	○	○	○	○	○	○	○	○

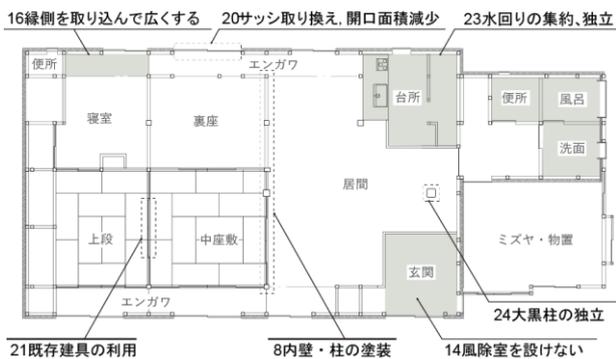


図-1 SE 邸平面の環境リノベーション手法

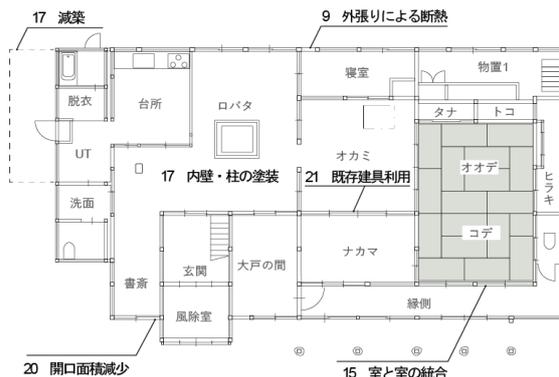


図-3 O 邸平面の環境リノベーション手法

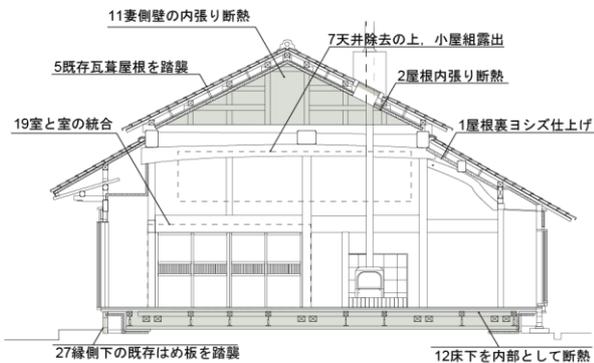


図-2 SE 邸断面の環境リノベーション手法

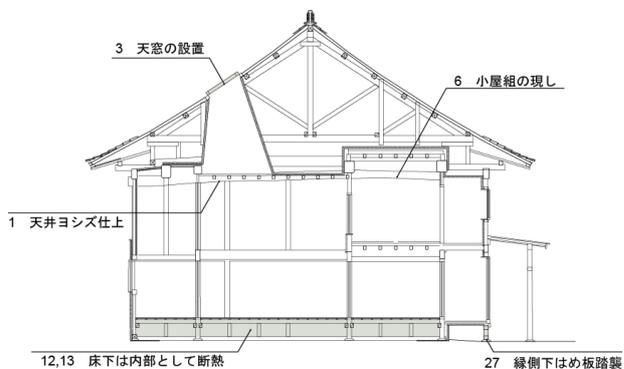


図-4 O 邸断面の環境リノベーション手法

が必要である。また、内壁や新設柱に適切な塗装を施し、古民家が持つ独特の雰囲気や損なわれない

ように配慮する。SE 邸の上手側妻面の壁が真壁であり、その部分を内張り断熱としているのがその例である。

#### (4) 床下・地盤

床下は内部空間として扱い、地盤側に断熱材を施工する。床下からの冷気を防ぐなど、温熱環境の向上には重要な手法である。

#### (5) 平面形式

事例ごとに選択する手法が異なるのが平面形式である。既存の平面形式の骨格は残しつつ、現代の居住性に対応した間取りの変更が目指されている。室の分割ないし統合に加え、既存の縁側や棚などを室内として取り込むことで空間を拡張する。また、熱的に弱点になる部分を減築した事例も見られる。

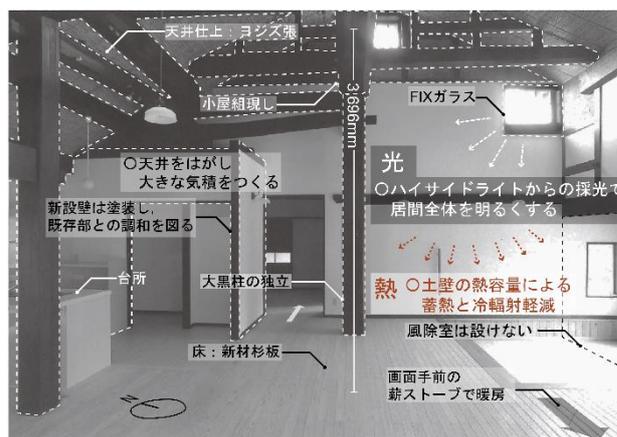


図-5 環境リノベーション手法の可視化 (SE 邸居間)

### 3.2 壁面の熱貫流率の計算

環境リノベーションの効果を確認するために各事例における壁面の熱貫流率を簡易的に求めた。結果を表1に示す。現行の平成28年省エネルギー基準を満たしていない事例が多いが、竣工当時の平成11年省エネルギー基準における基準性能を満たしている。古民家の環境リノベーションではその文化的価値の保存と環境性能の向上の両立が求められ、制約が多くなる。コストとの兼ね合いから最低限の性能としたうえで他の手法を積極的に用いている。SA邸で断熱材が唯一発泡ウレタン吹付であるのがその例である。

### 3.3 施主による住み心地の感想

各事例の資料に記載された施主による改修後の住み心地に対する記述内容から、改修効果を確認した。施主の要望は事例によって様々だが、古民家の温熱環境を改善して住み継ぎたいという要望は共通しており優先度も高い。実際に改修された古民家に住んだ感想には「1月の寒さの中で建具を開放しても暖かい」、「想像以上の空間が現れた」などが得られている。調査事例では環境リノベーションが適切になされ、断熱性能の向上と古民家に特有の内部空間の復原が両立されていることが窺える。

## 4. まとめ

既存ストックの価値と温熱環境の向上を同時に実現した環境リノベーションの事例を調査した。古民家の場合は、歴史的価値への十分な理解とそれを妨げない範囲での改修が求められるため難易度が高い。今回、調査を行った東北地方に位置する各事例では質の高い暖房環境の獲得を優先事項とし、手法の選択と現場の状況に則した適切な改修が行われていた。

既存ストックは、その用途や状況によって改修の手法が異なる。今後の活用が見込まれる既存ストックに対して適切な環境リノベーションの手法を選択するとともに、その有用性をいかに広く啓発していくかが課題である。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、安井妙子あとりえの安井妙子氏には事前訪問を快く受け入れてくださり、調査対象事例のデータの提供にご協力頂いた

ばかりでなく、激励のお言葉を数多く頂戴した。ここに、感謝の意を表す。

## 参考文献

- 1) マーティス・ワケナゲルら:エコロジカル・フットプリント-地球環境持続のための実践プランニングツール-,合同出版,2004年.
- 2) World Trends Global Footprint Network 2019:<http://data.footprintnetwork.org>, 2019年10月閲覧.
- 3) 安井妙子,御船達雄,二宮健樹,宮澤智士:遊佐町指定文化財平津榊原家住宅保存修復活用工事報告,ぶなの木塾,2004年.
- 4) 宮澤智士,安井妙子:長寿命住宅小野寺家 100年の大空間,住まいと環境 東北フォーラム,2005年.
- 5) 宮澤智士,安井妙子:長寿命住宅遊佐家三百年の風格,住まいと環境 東北フォーラム,2005年.
- 6) 宮澤智士ら:相互扶助で建てた家-岩手県東磐井郡藤沢町の佐々木家-,阿部和建築文化研究所,2007年.
- 7) 宮澤智士ら:端正な千石家住宅をまもり伝える人々,阿部和建築文化研究所,2008年.
- 8) 宮澤智士ら:仙台原町の鳥山米穀店修復記録,阿部和建築文化研究所,2009年.
- 9) 宮澤智士ら:登録文化財遊佐家住宅宮城県登米市修理復原記録,阿部和建築文化研究所,2010年.
- 10) 宮澤智士,安井妙子:仙台市原町庄司家住宅の断熱気密工事,阿部和建築文化研究所,2015年.

# A-17

## 建築環境総合性能評価システムの地域特化に向けた検討

### — CASBEE-建築(新築)の秋田県版の提案に向けて —

○工藤徹 (秋田県立大学), 長谷川兼一 (秋田県立大学),

竹内仁哉 (秋田県立大学), 松本真一 (秋田県立大学)

#### Case Study of Localization of CASBEE

#### Proposal of Local Version of CASBEE for New Construction (CASBEE-NC) in Akita Prefecture

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

キーワード : CASBEE, 地域特化, 自治体の重点施策

### 1. はじめに

近年, 循環型社会の実現に向けて, 建築物での環境配慮がより一層求められている。また, 設計者や建物ユーザーを対象に, 環境配慮を促すコンテンツとして環境評価ツールの作成も国際的に行われている。日本において, この動向をいち早く捉えた先駆的な環境評価ツールとして, 建築環境総合性能評価システム(以後, CASBEE<sup>注1)</sup>がある。CASBEEは, 多様化する建築用途へ柔軟に対応することができるよう, 目的に応じた評価項目の変更や新しいツールの作成を可能としている。さらに, 地域特性への配慮が可能であり, 既存の評価基準を地域独自の基準へと変更し, 地域特化を行う事例も増加傾向にある。

こうした背景を受け, 本研究では, 秋田県における建築物の環境配慮を推進するために主に設計者への働きかけを目的として, CASBEEの評価基準を秋田県版に地域特化させたモデルを検討する。基本となるCASBEEの評価基準はあくまで全国平均的なものであり, 秋田県においては, 高齢化や豪雪地帯等の地域的課題・特性への配慮を含め, 設計者の環境配慮がより適切な評価を受けるよう, ツールの最適化を図る。

## 2. CASBEEの地域特化

### 2.1 CASBEEの概要

CASBEEとは評価対象建築物を対象に, 敷地を含む仮想閉空間を定め, 閉空間内部の環境品質(Q)と閉空間外部への環境負荷(L)を評価し, 両側面か

ら求められる環境効率(BEE=Q/L)のランクにて評価対象をラベリングする環境評価ツールである。

CASBEEは地方自治体での建築行政に利用する為に, 地域特性に配慮したツールへ適用させることが可能である。既に全国24の自治体(名古屋市, 大阪市, 横浜市等)では各自の届出制度にCASBEEを導入・活用<sup>注2)</sup>している(2018年4月時点)。

### 2.2 地域特化の方針

24自治体の活用事例を参考に地域特化の具体的手法をまとめる<sup>注2)</sup>と, 既存ツールに対し, a)評価基準・重み係数の変更, b)各自治体の重点施策と関連する評価項目の評価結果を表記するシート(以後, 重点項目シート)の作成, の2つが挙げられる。従って, 先行事例に習い, CASBEE-建築(新築)2016年版<sup>注2)</sup>(以後, 基本ツール)を地域特化させた秋田県版(以後, CASBEE-秋田県)を作成することを方針とする。

作成にあたり, 「秋田県における公共建築物整備の手引き<sup>注3)</sup>」(以後, 手引き)を参照する。手引きに記載されている「建築物の整備にあたっての検討事項」の内, 秋田県の独自性が反映された事項を重点施策とし, 評価基準・重み係数の変更と重点項目シートを作成することにより, 地域特化を行う。

## 3. 秋田県の重点施策

### 3.1 バリアフリー社会形成への対応

安全性の確保の為, 「秋田県バリアフリー社会

の形成に関する条例<sup>4)</sup>を遵守するとともに、案内板とその設置位置や介護者を含めたスペース、配置計画等のユニバーサルデザインに配慮した施設計画が求められている。

### 3.2 県産材の活用

「公共建築物の木造化及び内装木質化の推進に関する基準<sup>5)</sup>」(法令による制限から木造化が困難な場合を除き、原則として木造化を図り、木造化が困難な場合も含めた全ての公共建築物を対象に、原則として内装木質化を図る。)を遵守し、県産材の使用、普及・啓発に努めることが求められている。

### 3.3 リサイクル製品の使用

秋田県リサイクル製品認定制度<sup>6)</sup>による認定製品を適材適所に使用することにより、廃棄物の抑制、再利用の処分費用、処分場建設費の削減につながる意義を県民に周知することが求められている。

### 3.4 地球温暖化対策

自然エネルギーの活用や「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画<sup>7)</sup>」より、建築物の高断熱化と断熱材のノンフロン化に取り組むことで、地球温暖化防止に寄与することが求められている。

### 3.5 気候・風土への対策

冬期において雪処理スペースの確保、屋根雪落下の防止等の雪対策や、結露対策として木材の腐朽、湿気カビ対策への配慮が求められている<sup>3)</sup>。

## 4. 地域特化の具体的手法

### 4.1 重点施策反映手法の検討

本研究では、学校を評価対象用途として選定<sup>注</sup><sup>3)</sup>し、地域特化検討のモデルケースとする。初めに、基本ツールの全評価項目から秋田県の重点施

策が関連する評価項目を抽出する。結果を表-1に示す。次に、抽出した評価項目に秋田県の重点施策を反映する手法の検討として、12自治体<sup>注4)</sup>の内、抽出した項目を重要視している自治体が行っている手法を調査する。各項目に関し、該当する自治体の手法として、基本的には重点項目シートへの反映のみであるが、一部の自治体では、さらに、評価基準の変更や内容の追加を行っている。自治体毎に、重点施策の反映度合いが異なる為、各自治体の手法を、重点施策を反映する手法A(評価基準の変更)、B(評価項目内容の追加)、C(重点項目シートへの反映のみ)、に分類し、具体的な反映手法を分析する。結果を表-2に示す。

### 4.2 CASBEE-秋田県の提案に向けて

表-2より、バリアフリーに関する項目、リサイクル製品の使用に関する項目、気候・風土への対策に関する項目には、重点施策を反映する手法AやBがみられた。これらに習い、評価基準の変更や内容の追加を行う。また、重み係数に関しては抽出項目を重要視している全ての自治体において、基本ツールの重み係数を引用していた為、CASBEE-秋田県についても同様とする。

重点施策を反映する手法Cがみられた項目及び基本ツールの評価項目との関連がない施策に関しては、重点項目シートにて反映する。

表-1 秋田県の重点施策と関連する基本ツールの評価項目一覧

秋田県の重点施策	関連する基本ツールの評価項目
バリアフリー社会形成への対応	Q 2-1.1.3 バリアフリー計画
県産材の活用	
リサイクル製品の使用	LR2-2.3 躯体材料におけるリサイクル材の使用 LR2-2.4 躯体材料以外におけるリサイクル材の使用 Q 1-2.1.2 外皮性能
地球温暖化対策	LR1-1 建物外皮の熱負荷抑制 LR2-3.2.2 発泡剤(断熱材等) Q 3-3.1 地域性への配慮、快適性の向上
気候・風土への対策	LR3-2.2 温熱環境悪化の改善 LR3-2.3.4 廃棄物処理負荷抑制

表-2 12自治体の各重点施策反映手法の分析

秋田県の重点施策が関連する基本ツールの評価項目	参考とする12自治体											
	名古屋 市	大阪 市	横浜 市	京 都 市	神 戸 市	川 崎 市	札 幌 市	埼 玉 県	愛 知 県	新 潟 市	広 島 市	柏 市
Q 2-1.1.3 バリアフリー計画			A	A	C					C		C
LR2-2.3 躯体材料におけるリサイクル材の使用				C		C	C					C
LR2-2.4 躯体材料以外におけるリサイクル材の使用				C		C	C		B	C		C
Q 1-2.1.2 外皮性能		C	C			C	C					C
LR1-1 建物外皮の熱負荷抑制		C	C			C	C			C		C
LR2-3.2.2 発泡剤(断熱材等)		C	C			C	C					
Q 3-3.1 地域性への配慮、快適性の向上								B				
LR3-2.2 温熱環境悪化の改善								C				
LR3-2.3.4 廃棄物処理負荷抑制								B				

重点施策を反映する手法 A: 評価基準の変更, B: 評価項目内容の追加, C: 重点項目シートへの反映のみ

5. CASBEE-秋田県の提案

5.1 秋田県独自の基準

本提案では基本ツールに表-3 に示す変更を加えることで秋田県独自の基準とする。

バリアフリーに関する項目については、京都市が条例を評価基準に反映する手法<sup>8)</sup>をとっており、これに習い、「秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例」を評価基準に反映させた。リサイクル製品の使用に関する項目については、愛知県の手法<sup>9)</sup>に習い、評価基準内の対象と品目名の項目を追加した。また、気候・風土への対策に関する項目については、札幌市の手法<sup>10)</sup>に習い、評価基準内の項目と内容を追加した。

5.2 重点項目シートの作成

図-1 に提案する CASBEE-秋田県の重点項目シートを示す。重点項目シートは、建築主の重点施策に対する取組み度合いが一目で分かるようにすることを作成の意義としている。これまでの検討から評価項目を変更しなかった項目や基本ツールの評価項目との関連がない施策も含め、秋田県の施策を重点項目シートの作成時に反映させた。

CASBEE - 秋田県		重点項目 評価結果	
■使用評価マニュアル：CASBEE-建築（新築）2016年版 ■使用評価ソフト：CASBEE-秋田県 2016年版			
1. 建物概要			
建物名称		BEE	BEE ランク
建物用途			
建物面積	m <sup>2</sup>		
2. 重点項目への取組み			
設計上の配慮事項			CASBEEの スコア
バリアフリー社会形成への対応			
Q 2-1.1.3	バリアフリー計画		
〈配慮した内容を記述〉			
リサイクル製品の使用			
LR2-2.3	躯体材料におけるリサイクル材の使用		
LR2-2.4	躯体材料以外におけるリサイクル材の使用		
〈配慮した内容を記述〉			
地球温暖化対策			
Q 1-2.1.2	外皮性能		
LR1-1	建物外皮の熱負荷抑制		
LR2-3.2.2	発泡剤（断熱材等）		
〈配慮した内容を記述〉			
気候・風土への対策（雪対策）			
Q 3-3.1	地域性への配慮、快適性の向上		
LR3-2.2	温熱環境悪化の改善		
LR3-2.3.4	廃棄物処理負荷抑制		
〈配慮した内容を記述〉			
設計上の配慮事項			
県産材の活用			
	木造化率		%
	木質化率		%
〈配慮した内容を記述〉			
気候・風土への対策（結露対策）			
〈配慮した内容を記述〉			

図-1 重点項目シート

表-3 CASBEE-秋田県における評価項目の変更箇所一覧

<b>Q 2-1.1.3</b>	<b>バリアフリー計画</b>
京都市に習い、秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例を反映し、評価基準を以下の通りに変更。	
レベル3：秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例の生活関連施設整備項目を満たしている。	
レベル4：秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例の生活関連施設整備項目及びバリアフリー新法の建築物移動等円滑化基準（最低限のレベル）を満たしている。	
レベル5：秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例の生活関連施設整備項目及びバリアフリー新法の建築物移動等円滑化誘導基準（望ましいレベル）を満たしている。	
<b>LR2-2.4</b>	<b>躯体材料以外におけるリサイクル材の使用</b>
愛知県に習い、評価対象、品目名の項目を追加。	
評価対象 「秋田県認定リサイクル製品」	
評価品目名 「秋田県認定リサイクル製品Webサイトをご参照ください。」	
<b>Q 3-3.1</b>	<b>地域性への配慮、快適性の向上</b>
札幌市に習い、評価する取組み II-1)空間提供による地域貢献に以下の内容を追加。	
「集雪場の確保など、冬期の活動上のアメニティ向上に貢献している。」	
<b>LR3-2.3.4</b>	<b>廃棄物処理負荷抑制</b>
札幌市に習い、評価する取組みに以下の評価項目、内容を追加。	
評価項目	「N効率的な除排雪のための空間整備や設備の設置。」
評価内容	「N-7)除排雪のための経路の確保等、冬期の除排雪に配慮した配置計画がされている場合。」
	「N-8)ヒーティングや堆雪スペースの確保等により、敷地外へ雪を出さない計画とされている場合。」

## 6. まとめ

本研究では、CASBEE の地域特性を反映できる特徴に着目し、秋田県に特化したモデルを提案した。今回は「学校」をモデルケースとして検討したが、他の建築用途においても同様の手順による検討が必要である。

今後の展望として、実際の建築に対し、基本ツールである CASBEE-建築(新築)と CASBEE-秋田県とで評価を行い、今回提案した CASBEE-秋田県の妥当性を検証することが必要である。

### 注 釈

注 1)Comprehensive Assessment System for Environment Efficiency の略。

注 2)24 自治体の各ウェブサイト进行参考とした。

注 3)建築用途毎に評価基準・重み係数が異なる為、秋田県の重点施策との関連が深く、かつ評価が簡易な学校をモデルケースの用途として選定した。

注 4)CASBEE を導入している 24 の自治体の内、基本となるツールに対し評価対象用途に限らず、評価基準・重み係数の変更を行っている自治体(名古屋市、大阪市、横浜市、京都市、神戸市、川崎市、札幌市、埼玉県、愛知県、新潟市、広島市、柏市)のみを参考事例として抽出した。参考にあたり、12 自治体の各ウェブサイトにて公開されている評価マニュアル及び評価ツールを用いた。

環境・省エネルギー機構(IBEC)ウェブサイト  
[http://www.ibec.or.jp/CASBEE/CASBEE\\_outline/local\\_cas.html](http://www.ibec.or.jp/CASBEE/CASBEE_outline/local_cas.html)

- 2)一般社団法人日本サステナブル建築協会(JSBC)編集, 一般財団法人建築環境・省エネルギー機構(IEBC)企画・発行: 建築環境総合性能評価システム CASBEE-建築(新築)評価マニュアル(2016年版), 2016.7.
- 3)秋田県建設交通部営繕課, 秋田県教育庁総務課施設整備室, 秋田県警察本部警務部会計課: 秋田県における公共建築物整備の手引き, 2005.12.
- 4)秋田県健康福祉部地域・家庭福祉課: 秋田県バリアフリー社会の形成に関する条例, 2016.3.
- 5)秋田県農林水産部林業木材産業課: 公共建築物の木造化及び内装木質化の推進に関する基準, 2018.6.
- 6)秋田県認定リサイクル製品 Web サイト, 秋田県生活環境部環境管理課調整・環境企画班ウェブサイト [common3.pref.akita.lg.jp/recycle](http://common3.pref.akita.lg.jp/recycle)
- 7)秋田県生活環境部温暖化対策課: 第2次秋田県地球温暖化対策推進計画, 2017.3.
- 8)京都市: 京都市建築環境総合性能評価システム利用マニュアル, 2018.4.
- 9)愛知県: CASBEE あいち(2016年度版)届出の手引き, 2019.4.
- 10)札幌市: CASBEE 札幌 2016年版評価マニュアル編(全編), 2017.12.

### 参 考 文 献

- 1)自治体による CASBEE の活用のページ: 自治体による CASBEE の活用, 一般財団法人建築

秋田県における非住宅建築物のエネルギー消費量の将来予測

－ ライフサイクルの環境負荷と省エネルギーシナリオの作成 －

○齋藤真慶（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）

Future Estimation of Building Energy Consumption in Akita Prefecture  
Environmental Load of Life Cycle and Energy Saving Scenarios

Saito Masayoshi (Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード：エネルギー消費量，ライフサイクル，省エネルギーシナリオ

1. はじめに

近年，温室効果ガスを原因とする地球温暖化問題が顕在化している。国内のCO<sub>2</sub>排出量は増加傾向にあり，住宅及び業務用建物を含む民生部門のCO<sub>2</sub>排出量が全体の約4割を占めている。

秋田県は2017年に「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画」<sup>1)</sup>を策定し，各種対策の実効性を高め，確実にCO<sub>2</sub>排出量を削減することが期待される。そのためには，確度の高い将来予測を行い，人口動態や建物用途に対応できるマクロモデルによる推計が有効である。本研究では，伊香賀らの手法<sup>2)</sup>を参考に既往研究<sup>3)</sup>で提案した，マクロモデルの予測精度の向上に取り組み，秋田県における民生業務部門の低炭素化シナリオの削減効果を検討した。

2. 非住宅建築物のエネルギー消費量の推計方法

非住宅建築物のエネルギー消費量推計モデルを構築するにあたり，伊香賀らの手法<sup>2)</sup>を参考にした。図-1に建設・運用・改修・解体段階における推計方法の概要を示す。非住宅建築物には様々な業種が含まれるが，本研究では事務所，デパート・スーパー，コンビニ，大型店舗，家電量販店，その他物販，飲食店，宿泊施設，幼稚園，小・中学校，高校，大学，病院，福祉，劇場・展示の15用途を対象とする。エネルギー消費量は，図-1のように，各段階の原単位に床面積を乗じて算出する。最終的に，全てを合計すれば，非住宅建築物のエネルギー消費量となる。

3. 運用段階のエネルギー消費量

3.1 ストック床面積の推計

表-1に建物用途別の原単位と数量を示す。運用段階の建物用途別ストック床面積は「原単位」に

「数量」を乗じることで算出する。原単位とは，例えば事務所では，「オフィス人口1人あたりの床面積」，学校施設では，「就学者1人あたりの床面積」といった，各建物用途のストック床面積に関する。数量は，事務所・学校施設・医療施設・文化施設では，将来人口の推移に，商業施設・宿泊施設では，日本のGDPの推移に関連するとして推計する。

図-2に秋田県における運用段階のストック床面積を示す。各建物用途を合計した秋田県全体のストック床面積の推移は，2045年の時点で2000年比0.58倍まで減少する。割合が高い建物用途は，主に事務所，商業施設，学校施設などが挙げられる。事務所は，2000年時に全体の26%を占めており，2045年には21%まで年々減少している。商業施設は，全ての小分類で割合が増加傾向だが，特にデパートの増加率が高い。商業施設全体では，2000年時に22%を占めていたが，2045年時には33%を占めており，11ポイント増加している。学校施設は，少子化に伴い小・中学校の割合は減少傾向にあり，2000年には22%を占めているのに対し，2045年には約11%にまで減少する。同様に高校も2045年には2000年の半分ほどの割合に減少している。

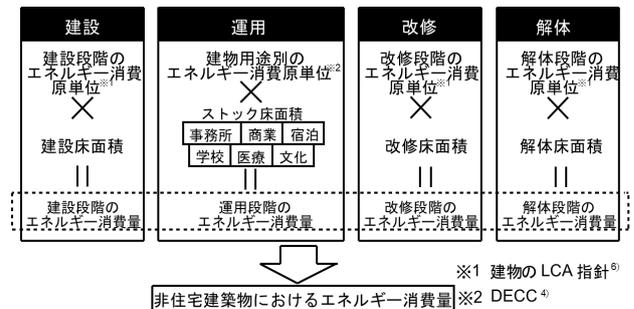


図-1 建設・運用・改修・解体段階における推計方法

逆に、高齢化率の上昇に伴い病院・福祉施設の割合は増加傾向にあり、2045年には病院・福祉施設合わせて14%を占めるほどになっている。

### 3.2 エネルギー消費原単位の推計

図-3に建物用途別エネルギー消費原単位を示す。エネルギー消費原単位は、DECCの公開用データベース<sup>4)</sup>「地域別・建物用途別・面積区分別単位床面積当たりの年間一次エネルギー消費量」より推計した。建物用途の中でもコンビニエンスストアにおけるエネルギー消費原単位が16,532MJ/m<sup>2</sup>と大きく、24時間営業により電力消費が多いことが影響していると考えられる。飲食店においても昼から深夜にかけての長時間営業が影響しエネルギー消費原単位が大きくなったと考えられる。逆に、学校施設におけるエネルギー消費原単位は、1,000MJ/m<sup>2</sup>より小さくなる結果となった。

### 3.3 エネルギー消費量の推計結果

図-4に運用段階におけるエネルギー消費量の推移を示す。運用段階におけるエネルギー消費量の推移は、2005年から2045年にかけて徐々に減少し、2045年時には、2000年比で0.77倍となる。また、商業施設のエネルギー消費量は、各年全体の4～5割を占めており、学校施設のエネルギー消費量は、各年1割にも満たない結果となった。

## 4 建設・改修・解体段階のエネルギー消費量

### 4.1 床面積の推計

建設・改修・解体床面積は運用段階のストック床面積を基に算出する。建設床面積のうち2018年までは「建築統計年報」<sup>5)</sup>の実績値を利用し、それ以降は当年のストック床面積と前年のストック床面積、解体床面積の差より算出する。解体床面積は当年のストック床面積に解体率<sup>注1)</sup>を乗じることで算出する。改修床面積は20年周期で改修工事が行われると仮定し、毎年の改修床面積を推計した。

図-5に建設・改修・解体段階の床面積の推移を示す。各段階の床面積は、2045年までに緩やかな減少傾向となる。

### 4.2 エネルギー消費量の推計

建設・改修・解体段階におけるエネルギー消費量は、日本建築学会の建物のLCA指針<sup>6)</sup>よりエネルギー消費原単位を算出し、各段階の床面積を乗じて推計する。本論文で評価に用いた建物は、日本建築学会の標準オフィスモデル(RC造、延べ床面積7,583m<sup>2</sup>)である。事務所ビルの部材構成や使用に関しては、一般的な使用を想定し、建物のLCA指針のデフォルト値を用いた。

表-1 建物用途別の原単位と数量

建物用途		原単位	数量
大分類	小分類		
事務所	事務所	ワーカー1人あたりの床面積[m <sup>2</sup> /人]	オフィスワーカー[人]
商業	デパート	年間販売額あたりの床面積[m <sup>2</sup> /円]	年間商品販売額[円]
	コンビニ		
	大型店舗		
	家電量販店		
	その他物販		
宿泊	飲食店	飲食売上高あたりの床面積[m <sup>2</sup> /円]	飲食売上高[円]
	ホテル	宿泊収入額あたりの床面積[m <sup>2</sup> /円]	宿泊収入額[円]
学校	幼稚園	就学者1人あたりの床面積[m <sup>2</sup> /人]	就学者数[人]
	小・中学校		
	高校		
	大学		
医療	病院	患者1人あたりの床面積[m <sup>2</sup> /人]	患者数[人]
	福祉施設	定員1人あたりの床面積[m <sup>2</sup> /人]	定員数[人]
文化	劇場・展示	人口1人あたりの床面積[m <sup>2</sup> /人]	総人口[人]

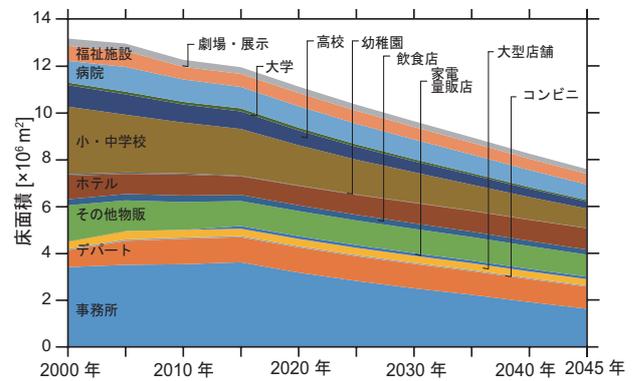


図-2 運用段階のストック床面積

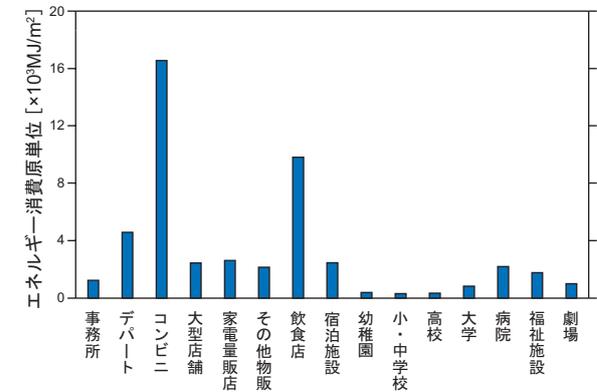


図-3 建物用途別エネルギー消費原単位

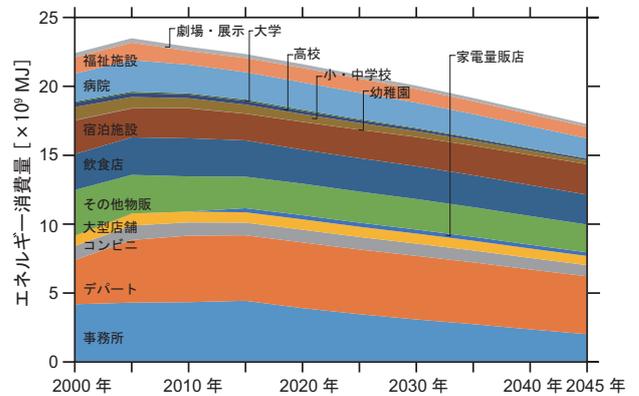


図-4 運用段階のエネルギー消費量

図-6 に建設・改修・解体段階におけるエネルギー消費量の推移を示す。全体の傾向として 2000 年以降、減少傾向にあり、各段階の内訳を見ると、建設段階の占める割合が最も大きい結果となった。

## 5. 省エネルギーシナリオの作成

### 5.1 BAU

図-7 に建設・改修・解体・運用段階の対策をしない基準ケース（以降、BAU）におけるエネルギー消費量の推移結果を示す。BAU のエネルギー消費量は、2000 年から減少傾向にあり、2045 年時には 2000 年の 0.58 倍となる。フェーズ別の割合に関して、2000 年時に運用段階が 6 割を占め、建設・改修・解体段階が 4 割を占める。一方、2045 年時には、運用段階が 8 割を占め、建設・改修・解体段階が 2 割を占めると結果となった。このことから、長期的に見た場合、運用段階におけるエネルギー消費量の削減が必要であると言える。そこで、省エネルギーシナリオにより、運用段階のエネルギー消費量の削減効果を検討する。

### 5.2 省エネルギーシナリオの設定

表-2 に各シナリオの内容を示す。秋田県では「第2次秋田県地球温暖化対策推進計画」<sup>1)</sup>を策定し、温室効果ガス排出抑制に関する施策を立てている。主に高効率照明、高効率空調機器の導入や BEMS 活用、空調のインバータ制御、高断熱化等の対策を設定している。この取組を参考に LED 照明導入シナリオ、空調運用改善シナリオを設定した。また、国はエネルギー基本計画<sup>12)</sup>で ZEB の実現・普及を目標としている。そこで、この計画を参考に新築 ZEB Ready 化シナリオ、改修 ZEB Ready 化シナリオ、ZEB 複合シナリオを設定した。

### 5.3 省エネルギーシナリオによる将来推計

図-8, 9 に各シナリオの運用段階におけるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量<sup>注2)</sup>、図-10, 11 に 2013 年時の実績値、BAU と 2030 年時の各シナリオの推計値を示す。

ZEB 複合シナリオでは、エネルギー消費量が、2045 年時に 2000 年比で 0.61 倍となった。2030 年時における CO<sub>2</sub> 排出量は、2013 年比で 24.9% 減となり、秋田県の削減目標 21% 減を上回る結果となった。また、新築 ZEB Ready 化シナリオに比べ改修 ZEB Ready 化シナリオの方が削減率は大きい。新築件数の増加が見込めない現在、ストックへの環境配慮が重要となることが示唆される。

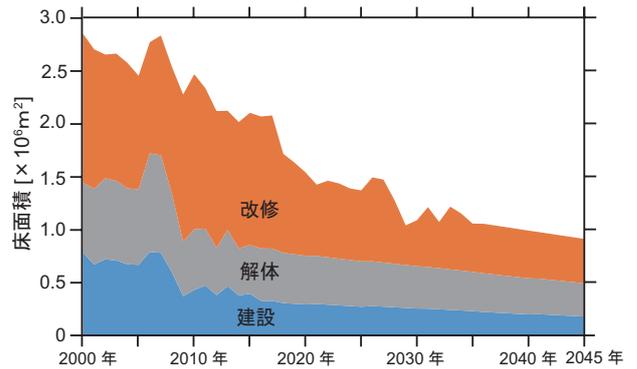


図-5 建設・改修・解体段階の床面積

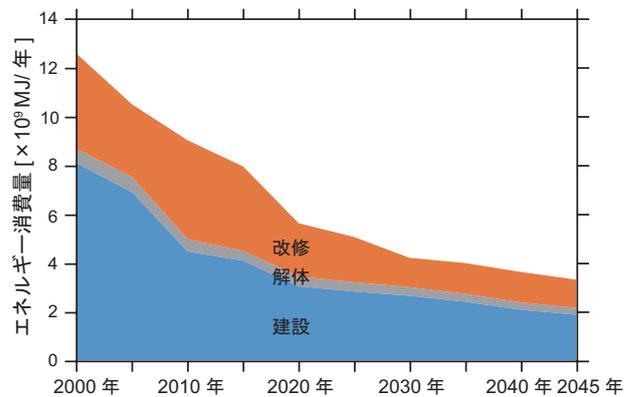


図-6 建設・改修・解体段階のエネルギー消費量

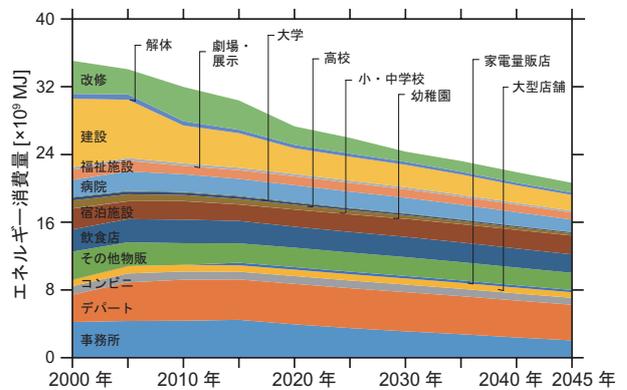


図-7 BAU のエネルギー消費量

表-2 省エネルギー対策の内容

番号	対策項目	対象建物用途	内容	文献No
(1)	LED照明導入シナリオ	事務所、スーパー、大型店舗、その他物販、幼稚園、小・中学校、高校、大学、病院	エネルギー消費原単位8%削減 (事務所、スーパー、大型店舗、その他物販) エネルギー消費原単位22%削減 (幼稚園、小・中学校、高校、大学、病院) 導入率: 2030年時100%(全床面積に導入)	7) 8) 9) 10) 11)
(2)	空調運用改善シナリオ	事務所、スーパー、大型店舗、その他物販、幼稚園、小・中学校、高校、大学、病院、福祉施設	エネルギー消費原単位12%削減 (事務所、スーパー、大型店舗、その他物販) エネルギー消費原単位22%削減 (幼稚園、小・中学校、高校、大学、病院) エネルギー消費原単位13%削減 (福祉施設) 導入率: 2030年時100%(新築以外の床面積に導入)	7) 8) 9) 10)
(3)	新築ZEB Ready化シナリオ	全て	エネルギー消費原単位50%削減 導入率: 2030年時100%(新築の床面積に導入)	12)
(4)	改修ZEB Ready化シナリオ	全て	エネルギー消費原単位50%削減 導入率: 2030年時100%(改修の床面積に導入)	12) 13)
(5)	複合シナリオ	(3)(4)の対象建物	(3)(4)の対策を行った場合の削減効果を反映	

6. まとめ

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を、構築したマクロモデルで検討した。特に、ZEB 複合シナリオでは、秋田県の削減目標に達した。今後、非住宅建築物の新築やストックを対象に、一層の ZEB 化が取り込まれることを期待する。

注釈

- 1) ストック床面積に対する解体床面積の割合。
- 2) 燃料別 (電力・都市ガス・LPG・A 重油・BC 重油・灯油) のエネルギー消費量に燃料別の CO<sub>2</sub> 排出係数を乗じる。CO<sub>2</sub> 排出係数は単位エネルギー消費量あたりの CO<sub>2</sub> 排出量である。

参考文献

- 1) 秋田県生活環境部温暖化対策課：第2次秋田県地球温暖化対策推進計画,2017年。
- 2) 新谷圭右, 伊香賀俊治, 村上周三：建築・都市のサステナビリティに関する研究 (その6) 業務用建築起因 CO<sub>2</sub> 排出量の都道府県別予測, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp.2259-2262,2008年。
- 3) 内海禎一：秋田県における民生部門の低炭素化に関する研究 (その2) 非住宅建築物のエネルギー消費量の推計モデルの作成, 日本建築学

- 会, pp.801-802,2017年。
- 4) 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), <http://www.jsbc.or.jp/decc/index.html>.2019年11月閲覧。
  - 5) 国土交通省：建築着工統計調査,2018年。
  - 6) 日本建築学会：建物の LCA 指針,2006年。
  - 7) 一般社団法人 ESCO・エネルギーマネジメント推進協議会, [http://www.jaesco.or.jp/legacy/2019/case/?sbp\\_redirect=ok](http://www.jaesco.or.jp/legacy/2019/case/?sbp_redirect=ok),2019年12月閲覧。
  - 8) 大阪府, [http://www.pref.osaka.lg.jp/koken\\_setsubi/esco/](http://www.pref.osaka.lg.jp/koken_setsubi/esco/),2019年12月閲覧。
  - 9) 社団法人大阪 ESCO 協会, <http://www.osakaesco.jp/jireishu/hospi2.html>,2019年12月閲覧。
  - 10) 一般社団法人 関西 ESCO 協会, <http://www.osakaesco.jp/>,2019年12月閲覧。
  - 11) 経済産業省：夏季の電力需要対策について。
  - 12) エネルギー基本計画 (2018年7月閣議決定), [https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic\\_plan/](https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/),2019年12月閲覧。
  - 13) 空気調和・衛生工学会「ZEB (ネット・ゼロ・エネルギー・ビル) の定義と評価方法」の公開について, <http://www.shasej.org/base.html?oshirase/1506/ZEB/zebteigi.html>,2019年12月閲覧。

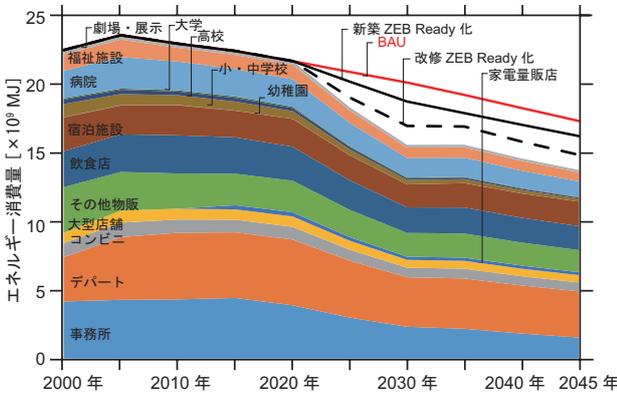


図-8 エネルギー消費量の推移 (ZEB 複合)

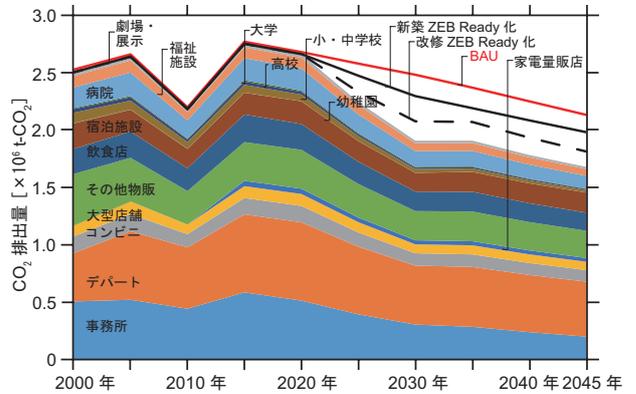


図-9 CO<sub>2</sub> 排出量の推移 (ZEB 複合)

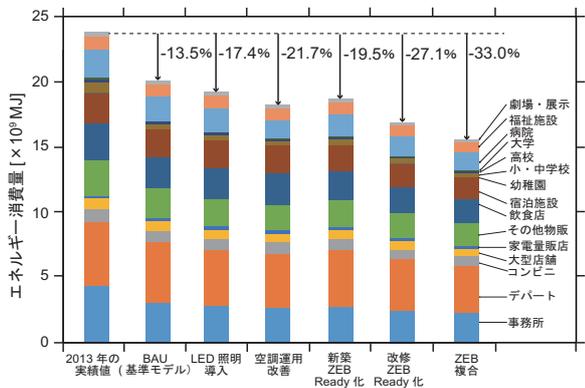


図-10 2030年時点のエネルギー消費量の比較

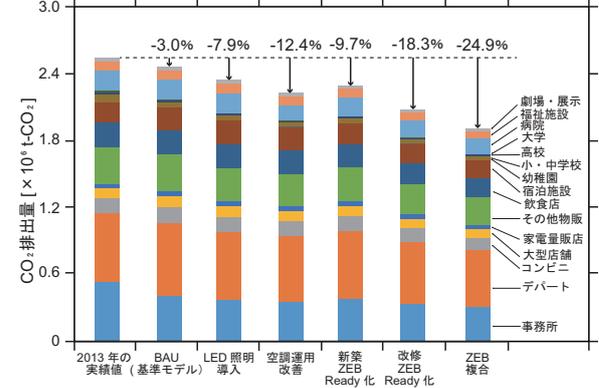


図-11 2030年時点の CO<sub>2</sub> 排出量の比較

# A-19

## アクアマリンふくしま(AMF)の大空間空調システムに関するコミッショニング

○本田 ななみ (千葉工業大学), 中野 夏輝 (千葉工業大学), 若山 尚之 (千葉工業大学)

### Commissioning on large space air conditioning system of Aquamarine Fukushima (AMF)

Honda Nanami (Chiba Institute of Technology), Nakano Natuki (Chiba Institute of Technology), Wakayama Hisasi (Chiba Institute of Technology)

キーワード： 大空間 温熱環境 コミッショニング CFD 解析

#### はじめに

水族館のエントランスホールは来館者が必ず通過する空間である。今回研究対象としたアクアマリンふくしま(AMF)のエントランスホール(EH)は、夏季において温熱環境が過酷な状態であるということであった。

表-1 AMF 面積

	面積 (m <sup>2</sup> )
総建築面積	約 56,189
ふくしま海洋科学館延床面積	約 12,935
エントランスホール延床面積	約 496



図-1 AMF 本館北側出入口



図-2 AMF 1階 EH 内部

AMFは竣工から満19年が経過している。そのため、空調システムなどの経年劣化が原因の可能性であると推定された。

本研究では、EHの空調系統性能確認及びEH全体の温熱環境実測調査によるコミッショニングを実施し、温熱環境悪化要因を明確にするとともに現在の暑熱状態の改善に繋げることを目指す。

#### 1. EH 温熱環境測定

##### 1.1 測定概要

EHの温熱環境を調査するにあたり、(1)EH居住

域、(2)EH上部の測定を行った。

##### (1) EH 居住域 測定概要

EH居住域の温熱環境に関する計測機器を4箇所配置した(図-3)。それぞれの位置における測定項目を表-2に示す。居住域におけるPMVの計算については、設計当初にも使われていた数値である代謝量0.8met及び着衣量0.5cloとして計算を行った。

表-2 温度測定位置・項目

設置高さ	中央付近		入口付近
	①インテリア	②ペリメータ	③インテリア ④ペリメータ
1.6m	温度・湿度	温度・湿度	温度・湿度
1.1m	温度・湿度	温度・湿度・風速・放射	温度・湿度
0.1m	温度・湿度	温度・湿度	温度・湿度

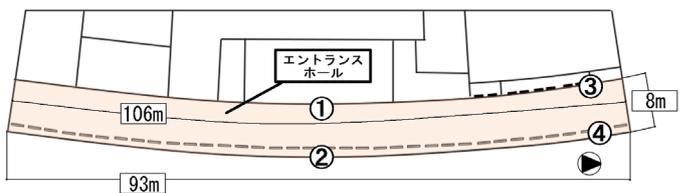


図-3 測定位置 平面図

##### (2) EH 上部 測定概要

EHにおける上部熱だまりの環境調査のために、EHペリメータ側中央高所4箇所に計測器を設置した(図-4)。測定項目は温度と湿度のみである。測定期間は居住域、EH上部空間どちらも8月5日の12時から行い、温度と湿度は約13日間(約312時間)計測した。放射と風速は約1日間(約27時間)の計測を行った。点検口の面積は0.26m<sup>2</sup>であった。竣工当時の換気量が100,080m<sup>3</sup>/hr、南

側換気窓のみでの換気量が  $500,040 \text{ m}^3/\text{hr}$ 、点検口を解放した場合の換気量が  $502,849 \text{ m}^3/\text{hr}$ であった。

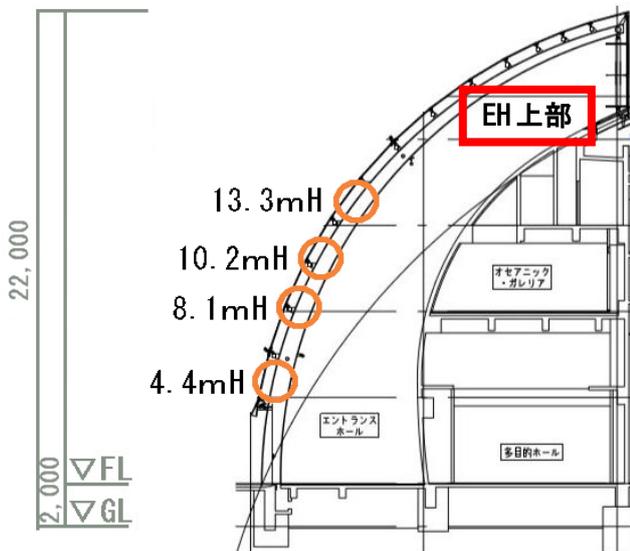


図-4 測定位置 断面図

## 1.2 測定結果

### (1) EH 居住域 測定結果

全測定地点の EH 居住域の営業時間内における平均温度は  $33.2^\circ\text{C}$  (図-5)、平均湿度は  $46.7\%$ 、平均放射  $32.9^\circ\text{C}$ 、平均風速は  $0.17\text{m/s}$  であった。

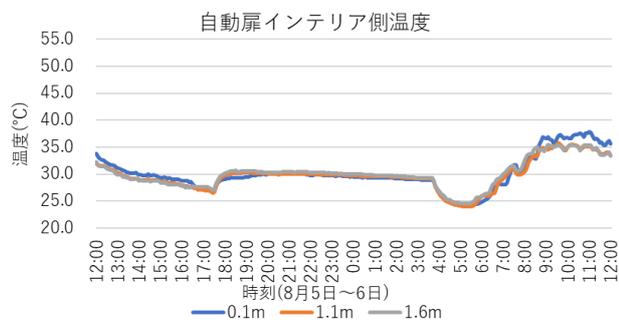


図-5 居住域温度 自動扉インテリア側 測定結果

EH 居住域の全測定地点における平均 PMV は、 $+1.96$ 、平均 PPD は  $60.2\%$  であった。最も快適性が低下した地点における平均 PMV は  $+2.64$ 、平均 PPD は  $76.1\%$  であった。そのため、同じ EH 居住域内においても測定地点によって大きく測定結果が異なっていた。この実地測定により、一般的に快適でない空間であり、EH 居住域の中央付近において通気性が悪いことが確認できた。

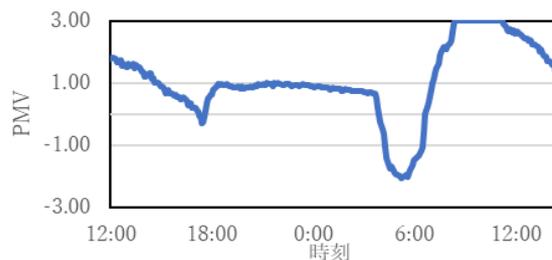


図-6 居住域 PMV 計算結果

### (2) EH 上部 測定結果

EH 上部には  $6.95\text{m}^2$  を有する換気窓が北及び南に存在していたが、測定時点では北側の換気窓が故障していた。計測 2 日目の正午時点で EH 上部点検口を追加で解放し、南換気窓と点検口で換気を行っている状態となった。計測の結果、点検口を解放する前の  $13\text{mH}$  地点での平均温度は  $49.6^\circ\text{C}$ 、点検口を解放した後の平均温度は  $37.9^\circ\text{C}$  であった。また、点検口を解放する前の  $4\text{mH}$  地点での平均温度は  $31.6^\circ\text{C}$ 、点検口を解放した後の平均温度は  $30.5^\circ\text{C}$  であり、 $13\text{mH}$  地点に比べ温度低下の幅は小さかった。

## 2. 空調機器測定

### 2.1 測定概要

空調システムの測定対象は、EH 東側に設置されている(1)床吹出し空調(30 箇所)、(2)空調機が南北系統で分岐した給気(SA)・還気(RA)ダクトである。風速器と温湿度計を使用し、各箇所の風速、風量温度を求める。測定日は 8 月 5 日の 13 時、8 月 6 日の 9 時と 13 時のエントランスにおいて日射量が多く、館内温度が上昇する時間帯に測定した。

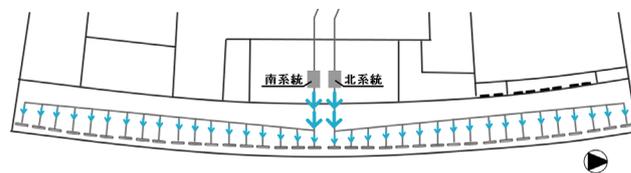


図-7 床吹出し空調 系統図

### 2.2 測定結果

図-8 より床吹出し空調(空調機 AC-1)の合計送風量は、空調吹き出し口で平均  $15,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  であった。設計時の合計送風量は、RA 風量  $16,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  に外気の取入れ  $4,000 \text{ m}^3/\text{hr}$  を合わせた  $20,000$

m<sup>3</sup>/hr (南北系統各 10,000 m<sup>3</sup>/hr) であったが、実測当時の想定風量は、外気を取り入れておらず RA 風量である 16,000 m<sup>3</sup>/hr のみを SA 風量として扱っており、合計送風量が 16,000 m<sup>3</sup>/hr (南北系統各 8,000 m<sup>3</sup>/hr) となっている。

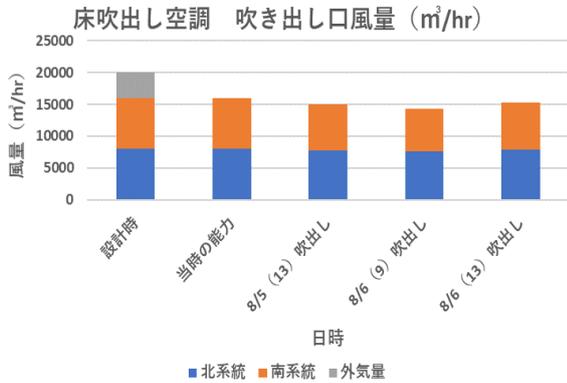


図-8 床吹出し口温度・風量

実測時平均風量を開業当時の風量と比較した場合、実測時の吹出し口全体の平均風量は 8% の風量不足が確認できた。風量の低下量としては 8% 程度に収まっていることから、空調機内の経年劣化は小さいと考えられる。また、空調機から吹出し口までの空調空気の温度上昇が、実測の結果 0.3°C 程度であったことから、ダクト断熱性能の劣化は認められなかった。

空調制御としては外気取入れカットが行われていた。それにより実測時の風量が設計当初の風量に届いていない要因であることが判明した。外気取入れ及び取入れカット時の比エンタルピーを比較してみると、外気取入れカットを行っている場合は比エンタルピーの値が 15% 程度低下していた。このことから、比エンタルピーの高い外気をカットすることで空調機におけるコイル負荷を低減させ、消費エネルギー削減に寄与していると推定される。

### 3. CFD 解析

#### 3.1 CFD 解析概要

2 節において、EH 内における空調機の機能低下やその要因、快適性の低下を示した結果、温熱環境は悪化しているという結論となった。そこで、CFD 解析を用いて EH での温熱環境解析を行い、改善案とその有用性を示していく。解析結果をよ

り詳細に比較しながら考察していくため、運営初期である 2000 年時環境条件解析パターン、現在環境において換気窓や空調システムを改善した解析パターンを設定した。各解析パターンにおける空調機的能力、換気窓などの開口条件は表-3 の通りである。

表-3 各解析パターンでの空調、換気条件

条件		初期	改善
床吹出し空調	送風量 (m <sup>3</sup> /hr)	20,273	16,005
	送風温度 (°C)	18.0	21.0
壁上部空調	送風量 (m <sup>3</sup> /hr)	5,198	3,465
	送風温度 (°C)	18.0	21.0
最上部流出口	換気窓 (m <sup>2</sup> )	13.38	13.38
	×2	×2	×2
	点検口 (m <sup>2</sup> )		0.3

#### 3.2 CFD 解析結果

解析結果を提示するにあたり、図-9 のように北側出入口から +15.9m 地点の温度分布、PMV 分布の断面図を提示する。

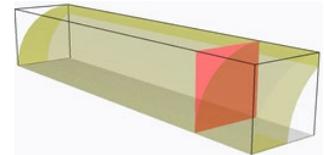


図-9 解析結果 断面位置

運営初期条件での解析結果では、居住域の空気温度は 28.0~32.0°C で、PMV+1.0~2.0 と評価されている。EH 北側から南側に進むにつれて居住域の空気温度は 32.0~36.0°C に上昇していたが、現在の温熱環境や改善条件での解析結果に比べると上昇幅は小さい。

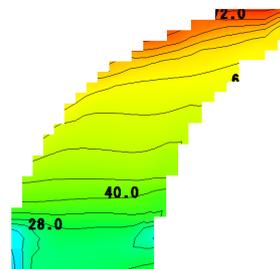


図-10 初期温度解析 断面図

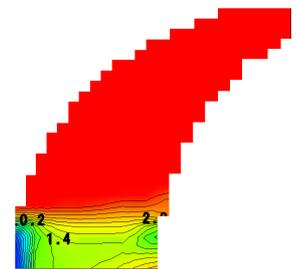


図-11 初期 PMV 解析 断面図

改善環境条件の解析では、居住域に拡大している空気温度は 28.0~32.0°C であった。改善条件で

も EH 南側に向かって徐々に温度上昇していた。EH 中心部は PMV+0.5~1.8 と PMV がやや上昇した状態となっている。運営初期と比較すると、温度分布では空気温度の拡大範囲、PMV 評価分布では空調機付近や居住域全体における PMV 低下などの差が存在した。

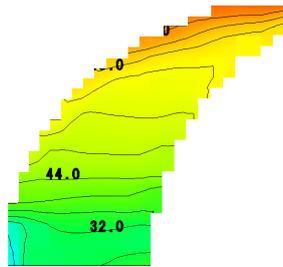


図-12 改善温度解析  
断面図

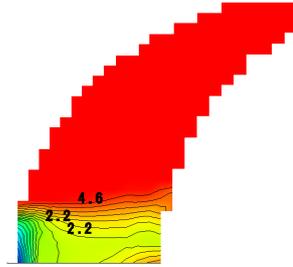


図-13 改善 PMV 解析  
断面図

#### 4. 温熱環境改善とその影響について

AMF は、他水族館と比較して一次エネルギー消費量が抑えられている施設である。竣工当時の EH は通過空間として設計されていたため、PMV は+2.0 程度を想定された空間であった。設立当初はコージェネをはじめとするガス熱源と、ターボ冷凍機の電気熱源を併用していた。その後、平成 22 年に熱源の大規模改修を実施し、平成 23 年 2 月に冷温熱源とも全て電気熱源に切り替える工事を完了させた。

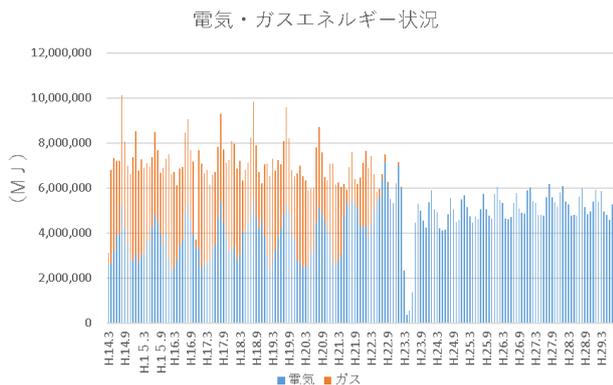


図-14 一次エネルギー消費状況

しかしながら、その直後である平成 23 年 3 月に東日本大震災が発生し被災した。その後、仮復旧が図られ、各設備の能力は半減しているものの、その年の 7 月に仮オープンが実現した。AMF は能力不足の対処策として熱源機については、冷水温度の調整、空調機における外気取入れカットな

どの手段を取った。仮復旧状態での運営では、全ての設備が消費電力を抑えた運用のため、約 2 割消費が低減されていた。全ての設備が完全復旧した後も、エネルギーを抑えた運営方法を継続している。結果として、震災後のエネルギー消費量は震災直前の約 12% 削減された状態である。温熱環境改善のために冷水温度を 7℃ に低くする方法が考えられるが、この一次エネルギー消費量を増大させる手法がこの水族館にとって正しい選択なのかについては改めて議論が必要と思われる。

#### 5. まとめ

EH 居住域内の快適性改善を行うにあたり、実地ではその場で上部熱だまりの点検口の開放を実施し、若干改善した。一方で、CFD 解析では更に北側換気窓を開放してシミュレーションを行った。計測結果から、上部の換気が南側及び点検口で行われる場合、EH 上部熱だまりの温度は下がるが、4m 以下の居住域における温度は大きな影響はないと推定された。CFD 解析では、改善条件である上部換気口を最大限開放した場合、現在環境に比べ温度低下、PMV 評価とも向上した。しかし、温熱環境向上の基準としている運営初期環境には届かないことから、上部換気口のみでの改善では十分でないとして推定された。現在の運営方法は消費エネルギー低減に成功しているため、空調性能を向上させた場合、消費エネルギーの増加は避けられない。環境水族館を標榜している AMF としては、一概に空調機の性能向上を行えば良いわけではなく、AMF 運営方針との整合が求められる。

#### 謝辞

本研究に取り組むにあたって、千葉工業大学 森川泰成教授からのご指導・ご助言並びに公益財団法人ふくしま海洋科学館 水谷精一様、渡辺清一様、助川孝夫様及び職員の方々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) 株式会社 日本設計：福島県海洋文化学習施設 温度・気流解析 結果報告書(1996)
- 2) 日本設計 エルゴテック旭ガラスアメニテック：アクアマリンふくしま温熱環境測定報告書(2001)

## B-1

### 東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その1 概要

○岡田誠之(東北文化学園大学), 赤井仁志(福島大学), 前田信治((有)前田衛生興業)

Investigation of Disaster Prevention Measures for Building Service in new Buildings  
after the Great East Japan Earthquake part 1 Outline

Okada Seishi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Akai Hitoshi(Fukushima Univ.),  
Maeda Nobuharu (MAEDA CLEAN SERVICE INC.)

キーワード：東日本大震災，津波洪水対策，防災対策，アンケート調査

#### はじめに

2011年東日本大震災時には建築設備に甚大な被害が生じたことは記憶に新しいことである。その後、特に被害があった岩手県、宮城県、福島県の被災3県で新しく建設されている建物は、復旧・復興事業のなかで、どのようにBCP(事業継続計画)やLCB(生活継続建築)の概念を取り入れているかについては関心の高いところである。そこで(公社)空気調和・衛生工学会東北支部及び(一社)建築設備技術者協会東北支部が合同で「建築設備における震災等防災対策調査委員会」を立ち上げて、東日本大震災後、新たに建設された建物がどのような防災対策を施しているかについて、下記の対象建物と設備内容に焦点を絞って調査を進めた。

#### 1. アンケート調査

##### 1.1 施設の設定

対象建物は東日本大震災後に、設計に着手した次の防災拠点公共施設とする。

- ① 指定緊急指定場所
- ② 指定避難所
- ③ 指定応急対策の実施拠点
- ④ 医療救護施設
- ⑤ その他考慮すべき施設

##### 1.2 設備分野

- ① 給排水設備
- ② 空気調和設備
- ③ 電気・通信設備

#### 1.3 アンケート先及び回収率

福島県は59の市町村、宮城県は39の市町村、岩手県は33の市町村に、合計131の県、市、町、村の地方公共団体に郵送し、管内の該当施設について複数回答していただき、返送は東北文化学園大学須藤研究室に電子データで返信する方式とした。

委員会でアンケート内容を作成し、2機関に予備アンケートを行い、その結果をアンケート内容に反映して正式なアンケートを作成した。回収率は33件で70施設であった。ただし、有効回収率は各報告で記述する。

#### 2. アンケート調査の建物概要

##### 2.1 竣工年度

竣工年度の質問枠に対して、図-1に示すように、70施設について、回答記載があった。年度の内訳は24年度が2施設、25年度が8施設、26年度が23施設、27年度が10施設、28年度が8施設、29年度が13施設、30年度が3施設、31年度が3施設であった。

##### 2.2 建物用途

11種類の建物用途の質問枠に対して、表-1に示すように、38施設について回答記載があった。文教施設(校舎、体育館)が16施設、県民会館・公民館等が9施設、文教施設(体育館)が3施設、庁舎2施設、その他(集会所)2施設、他の1施設は文教施設(校舎)、避難タワー、体育館、社会福祉施設、その他(商店街活性化施設)、その他(子育て支援施設)であった。

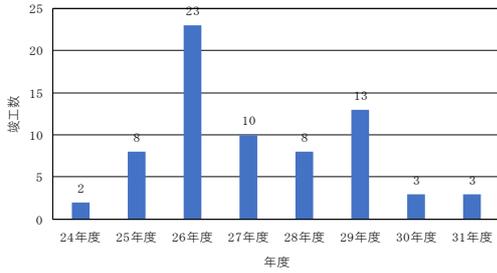


図-1 竣工年度

表-1 建築用途

文教施設(校舎、体育館)	16
県民会館、公民館等	9
文教施設(体育館)	3
庁舎	2
文教施設(校舎)	1
避難タワー	1
体育館	1
社会福祉施設	1
その他(集会所)	2
その他(商店街活性化施設)	1
その他(子育て支援施設)	1

### 2.3 防災拠点と位置づける施設区分

4種類に区分した70施設の回答結果を図-2に示す。指定緊急避難場所又は指定避難所に指定の施設は38施設で54%、災害応急対策の実施拠点施設は22施設で31%、地域防災計画に医療救援施設として位置づける施設は2施設で3%、回答無しが8施設で12%であった。

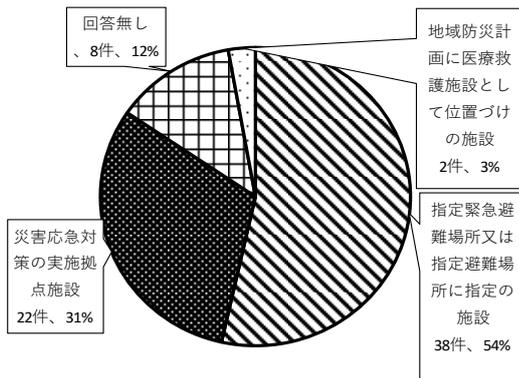


図-2 防災拠点と位置づける施設区分

施設として位置づける施設が2施設で3%、回答無しが8施設で12%であった。当然ながら新設建物は何らかの防災拠点と位置づけられて建設されている。

### 2.4 災害応急対策の実施拠点施設

防災拠点と位置づける施設の中の災害応急対策の実施拠点施設の建物の種類をみると表-2に示す。消防本部、消防署が3施設、1施設が防災ヘリコプター管理事務所、庁舎・社会教育施設、道の駅、防災倉庫、その他(道の駅)、その他(防災倉庫)である。

表-2 災害応急対策の実施拠点施設

消防本部、消防署	3
防災ヘリコプター管理事務所	1
庁舎、社会教育施設	1
防災倉庫	1
その他(道の駅)	1
その他(防災倉庫)	1

### 2.5 建物構造

図-3に建物構造について示した。回答無しを除いた31施設の中で23施設に耐震構造を実施している。耐震構造が15施設、免振構造が5件、制振構造が1施設であった。残り8施設は在来工法、在来軸組であった。

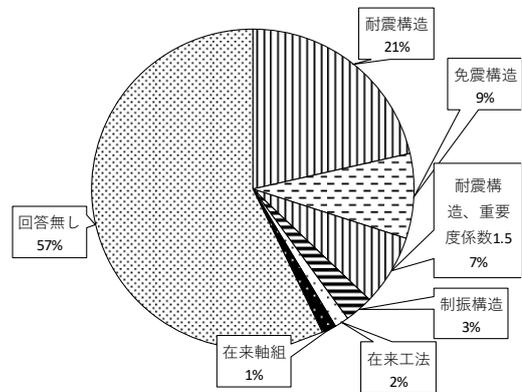


図-3 建物構造

### おわりに

アンケートで得た建物の建築概要をまとめることができた。以後、各論のまとめを報告する。

アンケートの内容

(1) 建物概要

建築設備における震災等防災対策調査アンケート

・御記入頂ける範囲で記載をお願い致します。(不明な部分は空欄のままです。)  
 ・該当箇所に○印の記載をお願い致します。

御 回 答 者	記入年月日	2018年 月 日		調査ID	《※ 》※この欄は記入しないでください。		
	御 所 属			御住所	〒 -		
	フリガナ 御 氏 名		電話	FAX		E-mail	
建 物 概 要	建物名称						
	建物住所						
	竣工年度	年度竣工					
	建物用途	・社会福祉施設 ・文教施設(校舎・体育館) ・庁舎 ・県民会館、公民館等 ・体育館 ・診療施設 ・警察本部、警察署等 ・消防本部、消防署 ・公営住宅等 ・職員公舎 ・その他( )					
	防災拠点と位置 づける施設区分	・指定緊急避難場所又は指定避難所に指定の施設 ・災害応急対策の実施拠点施設 ・地域防災計画に医療救護施設として位置づけの施設					
	敷地面積	㎡					
	建築面積	㎡					
	延床面積	㎡					
	階 数	地下 階、地上 階、塔屋 階					
	建物構造	・鉄筋コンクリート造 ・鉄骨鉄筋コンクリート造 ・鉄骨造 ・木造 ・その他( )					
	耐震構造	・免震構造 ・制震構造 ・その他( )					
	防災対策の種類	・津波、洪水対策(・浸水域外への移転 ・敷地をかさ上げ) ・地盤改良 ・特に無し ・その他( )					
	在館想定人員	・通常時 人 ・非常時 人					

(2) 機械設備・電気設備アンケート用紙

1) 給排水衛生設備

給 排 水 衛 生 設 備	受水槽の有無	・有 ・無し	
	受水槽有の場合の容量	・飲用・雑用兼用( ㎡) ・飲用専用( ㎡) ・雑用専用( ㎡)	
	飲用受水槽の設置場所	・屋外(地盤面より m) ・屋内( 階)	
	高置水槽の有無	・高置水槽有り(飲用 ㎡、雑用 ㎡) ・高置水槽無し	
	水槽廻りに緊急遮断弁の有無	・緊急遮断弁無し ・緊急遮断弁有り	
	受水槽廻りに緊急水栓の有無	・緊急水栓無し ・緊急水栓有り	
	緊急時用の専用受水槽の有無	・緊急受水槽無し ・緊急受水槽有り(容量 ㎡)	
	雑用水の飲用化用ろ過装置の有無	・ろ過装置無し ・ろ過装置有り(ろ過能力 ㎡/時)	
	飲料用受水槽へ外部から給水できる配管	・無し ・有り	
	災害用井戸の設置	・設置無し ・設置有り(・常時利用 ・非常時のみ利用)	
	井戸がある場合の利用先	・飲用水 ・雑用水 ・屋外散水	
	井戸の非常時対応	・井戸ポンプへの非常電源供給(・有 ・無し)、・手動ハンドル式ポンプ設置の有無(・有 ・無し)	
	屋内外間の給水管に可とう継ぎ手設置	・無し ・有り	
	非常用汚水槽の有無	・非常用汚水槽無し ・非常用汚水槽有り(汚水槽容量 m3)	
	マンホールトイレの有無	・マンホールトイレ無し ・マンホールトイレ有り( 箇所)	
	大便器の洗浄方式	・洗浄タンク式 ・フラッシュバルブ式 ・その他( )	
	大便器の洗浄水量	L/回	
	屋内外間の排水管に可とう継ぎ手設置	・無し ・有り	
	雨 水 利 用 設 備	雨水利用設備設置の有無	・設置無し ・設置有り
雨水利用がある場合の利用先		・トイレ洗浄水 ・屋外散水 ・その他( )	
雨水集水場所		・屋上屋根面 ・その他( )	

2) 空気調和設備

空気調和設備	熱源機器の構成	・パッケージエアコン ・電動式冷凍機 ・ボイラー（・油焼き ・ガス焼き） ・冷水発生機（・油焼き ・ガス焼き） ・吸収式冷凍機 ・その他（ ）
	熱源燃料途絶に備えての燃料マルチ化	・熱源燃料は2種類以上としていない
		・熱源燃料は2種類以上としている（・電気 ・油 ・LPG ・都市ガス） ・その他（ ） ・その他の燃料途絶対策（ ）
	設備機器の故障時バックアップ対策	・設備機器のバックアップ対策は特にしていない
		・設備機器の故障を考慮し複数台設置している （システム名、又は機器名： ） （機器容量： ・予備機無しで複数台分割 ・予備機 %） ・その他の機器バックアップ対策（ ）
	設備機器の津波、洪水対策	・津波、洪水対策は特にしていない
・重要な設備機器は水害の恐れのない場所に設置場所している （機器名： / ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） （機器名： / ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） ・その他の津波、洪水対策（ ）		
再生可能エネルギー等の利用	・特に無し ・太陽熱利用 ・バイオマス ・地中熱利用 ・温度差熱利用 ・雪氷熱利用 ・その他（ ）	

3) 電気・通信設備

電気・通信設備	商用電力受電方式	・1回線受電 ・本線・予備線2回線受電 ・平行2回線受電 ・ループ受電 ・スポットネットワーク受電 ・その他（ ）
	商用電力停電対策	・特に停電対策はしていない
		・停電対策を行っている ・非常用発電機設置（ k VA、燃料オイル 日分貯蔵） ・無停電電源装置設置（ k VA） ・太陽光発電パネル設置（ Kw） ・その他の停電対策（ ）
	受変電設備、発電機の津波、洪水対策	・津波、洪水対策は特にしていない
		・受変電設備、発電機等の重要機器は水害の恐れのない場所に設置している （機器名： / ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） （機器名： / ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） ・その他の津波、洪水対策（ ）
	受変電設備、発電機機器の故障、バックアップ対策	・受変電設備、動力盤等の機器のバックアップ対策は特にしていない
		・受変電設備、動力盤等の故障を考慮し複数台設置している （複数台設置機器名： ） （機器容量： ・予備機無しで複数台分割 ・予備機 %） ・移動電源車等外部電源受け入れ体制（・無し ・有（電源容量： k VA ）） ・その他の電源バックアップ対策（ ）
	通信、無線設備等の津波、洪水対策	・津波、洪水対策は特にしていない
・通信、無線設備等の重要機器は水害の恐れのない場所に設置している （電話設備： ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） （多重無線設備： ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） （衛星通信設備： ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） （その他設備： / ・屋外 ・屋内 階設置 ・屋上設置） ・その他の津波、洪水対策（ ）		
通信、無線設備等の故障時バックアップ対策	・通信、無線設備等のバックアップ対策は特にしていない ・通信、無線設備等の故障を考慮し複数台設置している （複数台設置機器名： ） （機器容量： ・予備機無しで複数台分割 ・予備機 %） ・その他のバックアップ対策（ ）	

## B-2

### 東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その2 給排水衛生設備

○山崎悟(エスワイ設備設計), 福井啓太(福井水環境研究所), 岡田誠之(東北文化学園大学)

Investigation of Disaster Prevention Measures for Building Service in new Buildings after the Great East Japan Earthquake part 2 Plumbing System

Yamazaki Satoshi (SY Mechanical Design for Building), Fukui Keita (Fukui Water Environment Laboratory), Okada Seishi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

キーワード：東日本大震災，震災対策，防災対策，給排水衛生設備

#### はじめに

アンケート調査を基に、災害時に多数の被災者が避難して来ることが想定される公共施設において、東日本大震災後新たに建設された建物がどのような設備となっているか、給排水・衛生設備での防災対策の調査分析を行う。

#### 1. 給排水設備の分析

##### 1.1 受水槽の設置の有無

建物用途別に受水槽設置の有無を回答件数で分析すると、文教施設、庁舎においては大半の建物に受水槽が設置されている。

また、表-1のように県民会館・公民館においては、受水槽の設置は無かった。

表-1 受水槽設置の有無  
(回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	22	5	0	27
庁舎	11	3	0	14
診療施設	2	0	0	2
消防本部・消防署	1	2	0	3
社会福祉施設	1	1	0	2
県民会館・公民館等	0	7	4	11
警察本部・警察署等	3	0	0	3
その他	4	3	1	8
合計	44	21	5	70

次に、調査全体において受水槽の設置割合を分析する。

図-1のグラフで表されるように、大半の調査建物で受水槽が設置されていることがわかる。

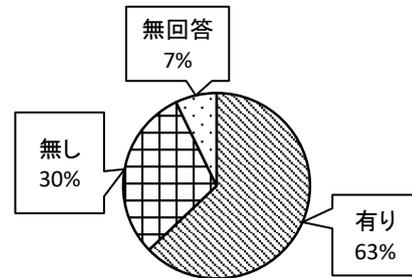


図-1 受水槽設置の有無

##### 1.2 飲料用受水槽の設置

東日本大震災においては津波により、多くの生活必要物資が破壊、流出されてしまった。

この生活において大変重要となる飲料水を貯めておく、飲料用受水槽の設置場所についての調査分析を行う。

表-2のように建物用途別分析では、庁舎を除く大半の建物で受水槽を屋外設置としている。

表-2 飲料用受水槽設置の設置場所  
(回答件数)

建物用途	屋外	地下	1階	2階	受水槽無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	18	0	3	1	5	0	27
庁舎	4	4	1	2	3	0	14
診療施設	1	0	1	0	0	0	2
消防本部・消防署	0	0	0	0	2	1	3
社会福祉施設	1	0	0	0	1	0	2
県民会館・公民館等	0	0	0	0	7	4	11
警察本部・警察署等	2	0	1	0	0	0	3
その他	2	0	2	0	3	1	8
合計	28	4	8	3	21	6	70

調査全体では図-2 のように受水槽設置場所は屋外が大半を占めている。

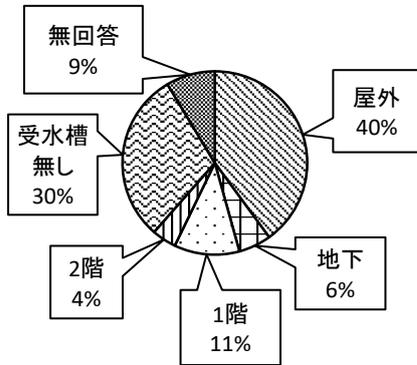


図-2 飲料用受水槽設置場所

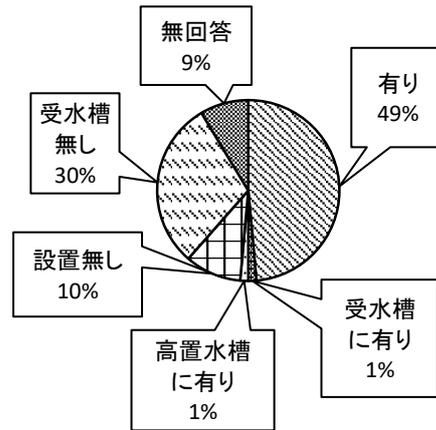


図-3 水槽廻りに緊急遮断弁設置の有無

### 1.3 水槽廻りに緊急遮断弁設置の有無

地震により給水配管が破損し、水槽内の貴重な水が漏水して使用出来なくなる恐れがある。

これを防ぐ為、水槽廻りに自動的に地震を感知し、給水供給を遮断して配管破損による漏水を防ぐ緊急遮断弁がある。この設置状況を調査分析する。

表-3 に建物用途別の緊急遮断弁設置の有無調査分析表を示す。

この結果、一部の用途の建物を除き、多くの建物で緊急遮断弁が設置されていることが確認できる。

表-3 水槽廻りに緊急遮断弁設置の有無 (回答件数)

建物用途	受水槽		設置無し	受水槽無し		無回答	計
	有り	高置水槽に有り		有り	無し		
文教施設(校舎・体育館)	15	1	1	4	5	1	27
庁舎	11	0	0	0	3	0	14
診療施設	1	0	0	1	0	0	2
消防本部・消防署	0	0	0	1	2	0	3
社会福祉施設	1	0	0	0	1	0	2
県民会館・公民館等	0	0	0	0	7	4	11
警察本部・警察署等	3	0	0	0	0	0	3
その他	3	0	0	1	3	1	8
合計	34	1	1	7	21	6	70

調査全体での緊急遮断弁設置の有無を図-3 グラフに示す。

この結果、水槽設置の建物では大半の建物で緊急遮断弁が設置されていることが確認できる。

### 1.4 屋内外間給水管に可とう継手設置の有無

地震による振動で建屋と屋外地盤間で異なる揺れが生じ、これにより、この区間を通過する配管が破損してしまい、使用不能となる恐れがある。

この問題を回避するため、地震による屋内外間の異なる揺れを吸収し、配管の破損を防ぐことにより断水を防ぐ可とう継手を設置する。

この設置状況を表-4 で調査分析する。

分析結果、比較的多くの設置件数がある文教施設においても件数割合は半数以下となっている。

庁舎建築において、設置件数は2割程度に留まっている。

表-4 屋内外間給水管に可とう継手設置の有無 (回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	10	16	1	27
庁舎	2	8	4	14
診療施設	0	2	0	2
消防本部・消防署	0	2	1	3
社会福祉施設	0	1	1	2
県民会館・公民館等	1	6	4	11
警察本部・警察署等	0	2	1	3
その他	1	6	1	8
合計	14	43	13	70

調査全体での給水管の可とう継手設置調査分析を図-4 グラフに示す。

調査全体でも給水管の可とう継手設置割合が低いことが確認できる。

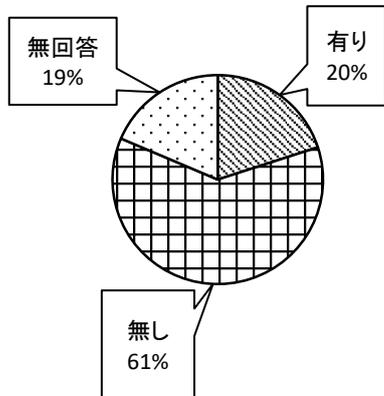


図-4 屋内外間給水管に可とう継手設置の有無

### 1.5 飲料用ろ過装置設置の有無

災害時、飲料水の不足事態発生が想定される。この対策として、河川等の雑用水をろ過し、飲料水を製造する飲料用ろ過装置の設置が考えられ、この設置有無の分析を表-5に示す。

調査分析の結果、飲料用ろ過装置はいずれの用途の建物でも設置件数はわずかとなっている。

表-5 雑用水の飲料用ろ過装置設置の有無 (回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	1	26	0	27
庁舎	1	13	0	14
診療施設	1	1	0	2
消防本部・消防署	0	3	0	3
社会福祉施設	0	1	1	2
県民会館・公民館等	0	6	5	11
警察本部・警察署等	0	3	0	3
その他	0	7	1	8
合計	3	60	7	70

調査全体での飲料用ろ過装置の設置状況を図-5グラフに示す。

調査の結果、ろ過装置設置の割合は非常に少ないことが確認できる。

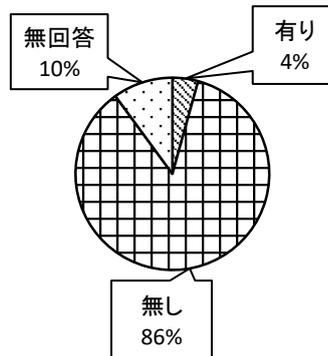


図-5 雑用水の飲料用ろ過装置設置の有無

### 1.6 災害用井戸設置の有無

災害で市水断水時等、様々な用途で重宝される井水利用の調査分析を表-6に示す。

この結果、一部の庁舎、診療施設を除くとほとんどの建物で井戸は設置されていない。

表-6 災害用井戸設置の有無 (回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	0	27	0	27
庁舎	3	11	0	14
診療施設	1	1	0	2
消防本部・消防署	0	3	0	3
社会福祉施設	0	2	0	2
県民会館・公民館等	0	7	4	11
警察本部・警察署等	0	3	0	3
その他	0	7	1	8
合計	4	61	5	70

調査全体での分析を図-6に示す。

調査全体でも井戸設置割合は大変少ないことが確認出来る。

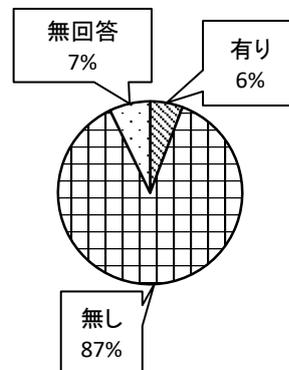


図-6 災害用井戸設置の有無

1.7 雨水利用の有無と利用用途

断水時に限らず、通常時においてもいろいろな用途で利用出来、節水対策となる雨水利用の有無と利用用途調査分析を表-7で行う。

分析の結果、井水利用同様、一部の建物を除き大多数の建物で雨水利用は行われていない。

表-7 雨水利用の有無と利用用途  
(回答件数)

建物用途	雑用水に利用	雑用水、散水利用	利用無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	0	0	27	0	27
庁舎	2	1	11	0	14
診療施設	1	0	1	0	2
消防本部・消防署	0	0	3	0	3
社会福祉施設	0	0	2	0	2
県民会館・公民館等	0	0	7	4	11
警察本部・警察署等	0	0	3	0	3
その他	0	0	7	1	8
合計	3	1	61	5	70

全体調査での分析を図-7に示す。

全体においても雨水利用割合は大変少なく、利用している建物においてはその利用先は雑用水利用が多い。

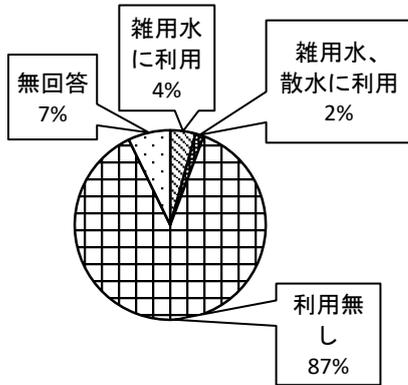


図-7 雨水利用の有無と利用用途

2. 排水関係の分析

2.1 非常用汚水槽設置の有無

図-8のように、震災等で屋外排水管が破損し、屋内排水が屋外に放流出来なくなる事態を想定し、一定期間、屋内排水を建屋内に留め置き、屋内排水設備を使用出来るようにする非常用汚水槽設置の有無調査分析を行う。

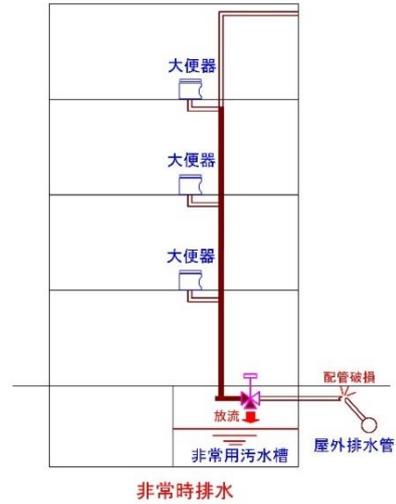


図-8 非常用汚水槽設置要領図

表-8 に建物用途別の非常用汚水槽設置の有無を示す。

分析結果、庁舎建築においては比較的多くの建物で非常用汚水槽が設置されているが、庁舎建築以外ではほとんど設置されていない。

表-8 非常用汚水槽設置の有無  
(回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	1	26	0	27
庁舎	6	8	0	14
診療施設	0	1	1	2
消防本部・消防署	0	3	0	3
社会福祉施設	0	2	0	2
県民会館・公民館等	0	7	4	11
警察本部・警察署等	1	2	0	3
その他	1	6	1	8
合計	9	55	6	70

図-9 に調査全体での非常用汚水槽設置割合分析グラフを示す。全体に設置割合は非常に少ないことが確認出来る。

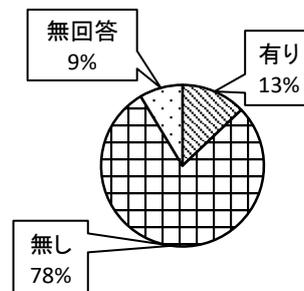


図-9 非常用汚水槽設置の有無

## 2.2 マンホールトイレ設置の有無

震災等で屋内トイレが使用不能となった非常時、屋外排水管の点検用マンホール蓋を開け、この上に簡易トイレを設置し使用するのがマンホールトイレである。

このトイレ設置の有無を表-9で調査分析する。建物用途別では県民会館・公民館に比較的多く設置されているが、その他の多くの建物では設置件数は少ない。

表-9 マンホールトイレ設置の有無 (回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	3	24	0	27
庁舎	3	11	0	14
診療施設	1	1	0	2
消防本部・消防署	0	3	0	3
社会福祉施設	0	2	0	2
県民会館・公民館等	4	7	0	11
警察本部・警察署等	0	3	0	3
その他	0	7	1	8
合計	11	58	1	70

図-10に調査全体でのマンホールトイレ設置割合調査分析グラフを示す。

全体においても設置割合は20%に満たない状況となっている。

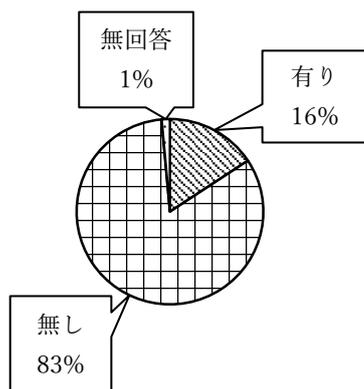


図-10 マンホールトイレ設置の有無

## 2.3 大便器の洗浄方式

表-10に建物用途別に大便器の洗浄方式分析調査表を示す。

分析の結果、建物用途別では文教施設では大半

がフラッシュバルブ式、県民会館・公民館では洗浄タンク式が多く設置されている。

表-10 大便器洗浄方式 (回答件数)

建物用途	フラッシュバルブ式	洗浄タンク式	フラッシュバルブ+洗浄タンク	フラッシュタンク式	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	14	5	7	1	0	27
庁舎	6	7	1	0	0	14
診療施設	1	0	1	0	0	2
消防本部・消防署	1	1	0	0	1	3
社会福祉施設	1	1	0	0	0	2
県民会館・公民館等	1	6	0	0	4	11
警察本部・警察署等	3	0	0	0	0	3
その他	1	4	1	0	2	8
合計	28	24	10	1	7	70

図-11に調査全体での大便器洗浄方式を示す。調査全体ではフラッシュバルブ、洗浄タンクはほぼ同じ程度の設置割合となっている。

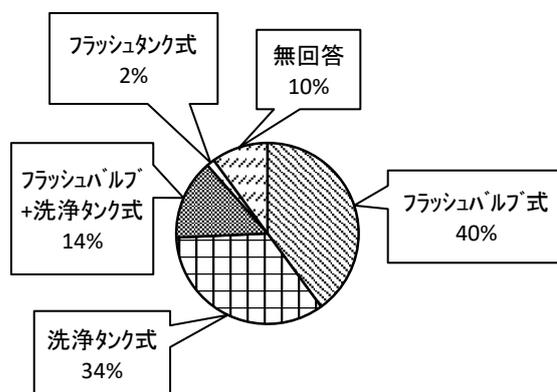


図-11 大便器洗浄方式

## 2.4 大便器の洗浄水量

水は限られた資源で、通常時では当然のことながら災害時に特に不足事態が想定され、非常に貴重となる。このため、近年、少量の洗浄水で洗浄出来る節水型便器が多く設置されてきている。

表-11に建物用途別に大便器の洗浄水量の分析調査表を示す。

分析の結果、特に庁舎、県民会館・公民館で洗浄水量が5L/回以下が多く、節水を考慮していることがうかがえる。

表-11 大便器洗浄水量 (回答件数)

建物用途	5L/回以下	8L/回以下	10L/回以下	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	6	9	3	9	27
庁舎	4	3	2	5	14
診療施設	0	0	0	2	2
消防本部・消防署	0	0	0	3	3
社会福祉施設	0	1	1	0	2
県民会館・公民館等	3	0	0	8	11
警察本部・警察署等	0	1	0	2	3
その他	3	0	2	3	8
合計	16	14	8	32	70

調査全体での大便器洗浄水量調査分析表を図-12に示す。この結果、洗浄水量の少量な便器ほど設置割合が多いことが確認出来る。

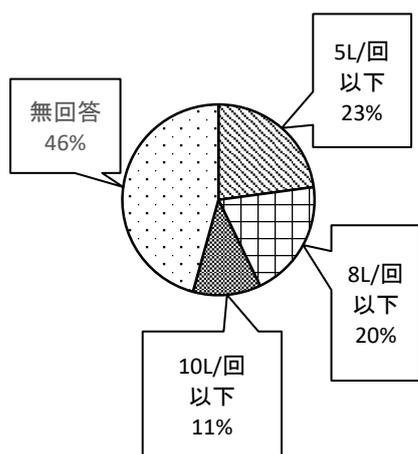


図-12 大便器洗浄水量

## 2.5 屋内外管の排水管に可とう継手設置の有無

地震による振動で建屋と屋外地盤間で異なる揺れが生じ、これにより、この部分を通過する配管が破損してしまい、屋内排水設備が使用出来なくなる恐れがある。

給水管同様、この問題を回避するため可とう継手を設置し、配管破損による排水障害を防ぐ。

この可とう継手の設置状況を表-12で調査分析する。

分析の結果、給水管同様、比較的多くの設置件数がある文教施設においても、その件数は非常に少ない。

庁舎建築において設置件数は2割以下に留まっている。

表-12 屋内外間に排水管可とう継手設置の有無 (回答件数)

建物用途	有り	無し	無回答	計
文教施設(校舎・体育館)	6	21	0	27
庁舎	2	10	2	14
診療施設	0	2	0	2
消防本部・消防署	0	2	1	3
社会福祉施設	0	2	0	2
県民会館・公民館等	0	6	5	11
警察本部・警察署等	0	2	1	3
その他	1	5	2	8
合計	9	50	11	70

調査全体での排水可とう継手設置の有無割合調査分析を図-13グラフに示す。

給水管可とう継手同様、排水管可とう継手設置割合は非常に少ない。+

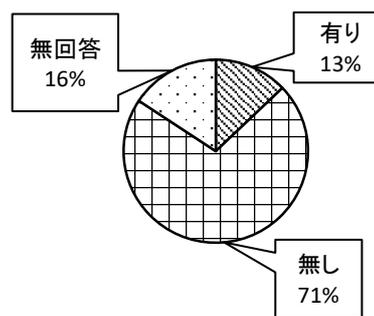


図-13 室内外間排水管に可とう継手設置の有無

## おわりに

衛生設備のアンケート調査において、特に下記項目の設置割合が低い状況が判明した。

- ① 飲料用ろ過装置設置 (有りは回答数の4%)
- ② 災害用井戸設置 (有りは回答数の6%)
- ③ 非常用汚水槽設置 (有りは回答数の13%)
- ④ マンホールトイレ設置 (有りは回答数の16%)

震災はいずれまた再度発生することが予想される。この震災に備え、今後計画、建設する建物においては、その建物用途、地域性、重要性等の建物特性を十分考慮し、上記設備を含め、いろいろな災害対策設備の採用を検討されることが望まれる。

# B-3

## 東日本大震災以後の新設建物における建築設備の震災等防災対策調査 その3 空気調和設備

○及川義信（新日本空調(株)），高橋秀一（(有)高橋設備設計事務所），  
岡田誠之（東北文化学園大学）

### Investigation of Disaster Prevention Measures for Building Service in new Buildings after the Great East Japan Earthquake part3 Air-Conditioning System

Oikawa Yoshinobu (Shin Nippon Air Technologies Co.,Ltd) Takahashi Hidekazu (Limited Company Takahashi Facility Design Office) , Okada Seishi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.,)

キーワード：東日本大震災, 津波洪水対策, 再生可能エネルギー

#### はじめに

その3としてアンケートに基づいて70施設の空気調和設備について報告する。

#### 1. 熱源機器の構成の分析

##### 1.1 熱源等の種類

熱源はパッケージエアコン単独が31施設で44.3%、パッケージエアコンと、その他空調方式の組み合わせが29施設で41.4%、回答無しが10施設で14.3%であった。回答のあった施設全てにパッケージエアコンが含まれている(図-1)。

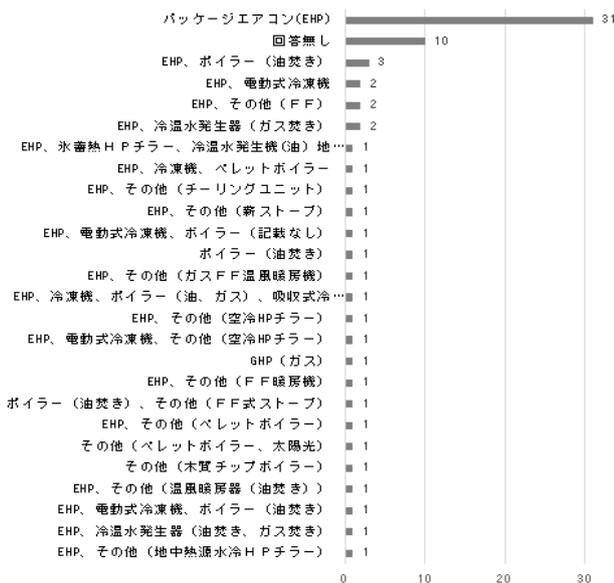


図-1 熱源機器の構成

##### 1.2 調査対象施設の建物用途

文教施設が22施設で31.4%、庁舎が14施設で

20.0%、回答無しが10施設で14.3%、県民会館・公民館等が5施設、消防本部・消防署、社会福祉施設、警察本部・警察署等が各3施設、体育館、診療施設が各1施設であった。文教施設と市庁舎で51.4%を占める(図-2)。

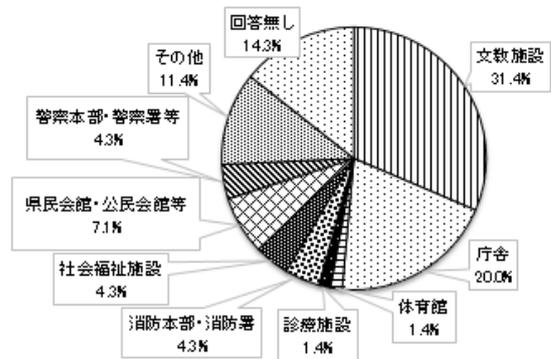


図-2 調査対象建物の用途

#### 2. 熱源多重化の分析

##### 2.1 熱源のエネルギー源の多重化状況

冷温熱源に用いるエネルギー源が、1種類のみであるのが48施設で68.6%、回答無しが10施設で、14.3%、2種類以上は12施設で17.1%にとどまった(図-3)。

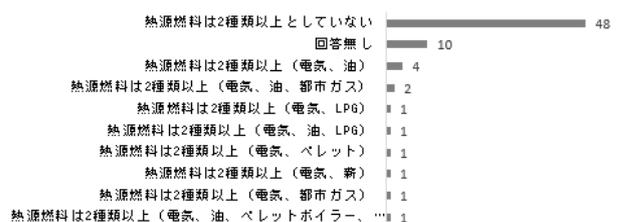


図-3 熱源の使用エネルギー

## 2.2 エネルギー多重化を導入した施設

エネルギー供給の途絶に備えて、熱源のエネルギー多重化を行っている12施設のうち、庁舎が4施設で33.3%、文教施設（校舎・体育館）が3施設で25.0%、その他が2施設で16.7%、商業施設・消防本部・警察本部が各1施設であった。庁舎・文教施設で58.3%を占めた（図-4）。

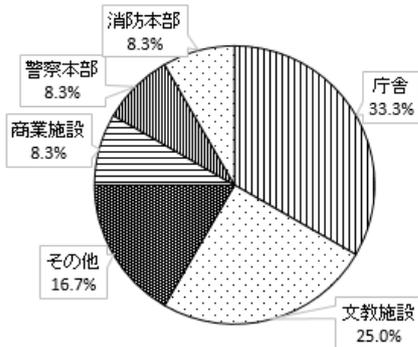


図-4 エネルギー多重化を導入した建物の用途

## 3. 設備機器のバックアップ対策の分析

### 3.1 設備機器のバックアップ状況

設備機器のバックアップ無しが55施設で78.6%、回答無しが9施設で12.9%、バックアップを考慮して複数台設置しているのが6施設で8.6%であった（図-5）。

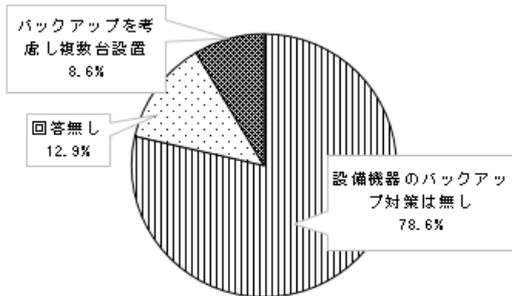


図-5 設備機器のバックアップ状況

### 3.2 バックアップ対策の実施施設

バックアップ対策のあった6施設の内訳は庁舎が4施設で66.7%、社会教育施設、診療施設各1施設16.7%であった。庁舎のバックアップ対策が多い結果を示した（図-6）。

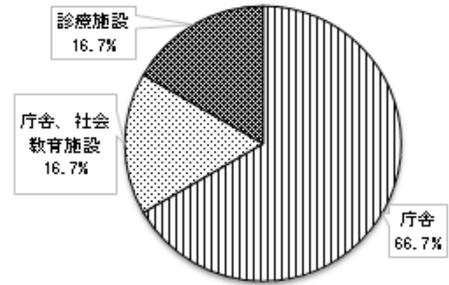


図-6 バックアップ対策実施施設の建物の用途

### 3.3 バックアップ対策内容

バックアップ対策のあった6件のうち5件は、複数設置で全停止を回避している。1施設の災害対策室のみ空調機停止時給気ファンにてバックアップを行っている。

### 3.4 バックアップ対象機器

バックアップ対象となる機器は、パッケージエアコンが5施設、その他は1施設であった。パッケージエアコンとの組合せで設置されている、他の機器の種類としては9種類であった（図-7）。



図-7 バックアップ対策実施系統毎の機器種類

## 4. 津波洪水対策の分析

### 4.1 津波洪水対策の状況

津波洪水対策を行っているのが14施設で20.0%にとどまり、対策無しが51施設で72.9%、回答無し5施設で7.1%であった。対象ありの内訳は水害の恐れのない場所に設置されているのが13施設、山の斜面に立地しており、津波洪水の恐れ無しが1施設であった（図-8）。

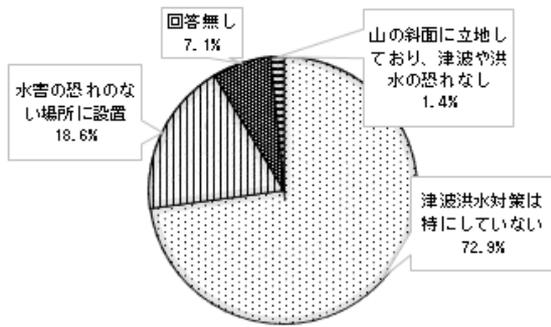


図-8 津波洪水対策の実施状況

#### 4.2 津波洪水対策の実実施施設

庁舎が7施設で50.0%、文教施設が4施設で28.6%、警察本部、社会福祉施設、庁舎格納庫が1施設で7.1%となり、庁舎と文教施設で78.6%を占める結果となった(図-9)。

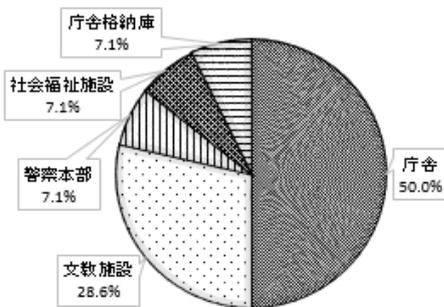


図-9 津波洪水対策の実実施施設

#### 4.3 津波洪水対策の対象機器

津波洪水対策対象機器はパッケージエアコン屋外機が10施設で62.5%、空冷ヒートポンプチャラーは3施設で18.8%、地中熱利用ヒートポンプチャラー、外調機、ファンヒーター (FF) が各1施設で6.3%であった。パッケージエアコン等が多数を占める結果となっている(図-10)。

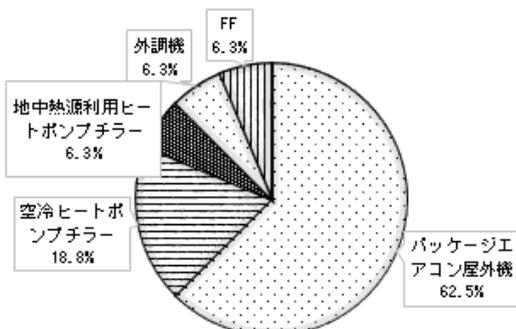


図-10 津波洪水対策機器名

#### 4.4 津波洪水対策対象機器の設置場所

津波洪水対策を行った機器の設置場所は屋上設置が11施設で61.1%、2階設置が5施設で27.8%、3階設置、1階設置が各1施設で5.6%であった。パッケージエアコンの採用が多い為、屋上設置が多数を占める結果となっている(図-11)。

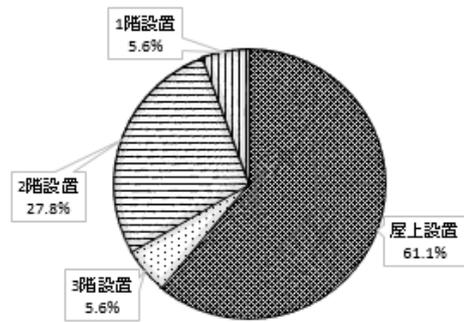


図-11 津波洪水対策対象機器の設置場所

### 5. 再生可能エネルギーの利用分析

#### 5.1 再生可能エネルギーの利用状況

再生可能エネルギー等の利用については、利用無しが40施設で57.1%を占めた。太陽光発電、回答無しが各8施設で11.4%、太陽熱利用が6施設で8.6%、地中熱利用・太陽光発電、バイオマス・太陽光発電が各3施設で4.3%、バイオマス・太陽熱利用、地中熱利用・太陽熱利用が各1施設で1.4%であった(図-12)。

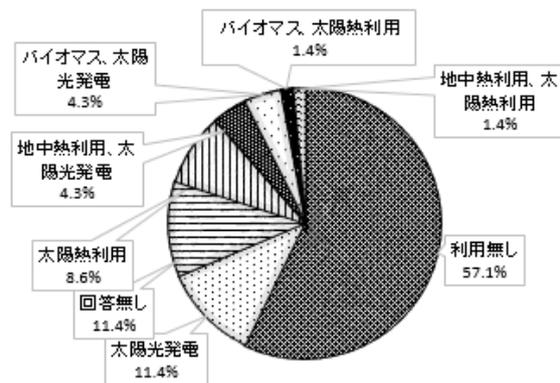


図-12 再生可能エネルギーの利用状況

#### 5.2 再生可能エネルギーの採用施設

再生エネルギー利用を行っている22施設の内訳は、文教施設(校舎・体育館)が6施設で27.3%、庁舎5施設が22.7%、県民会館・公民館等が3施設で13.7%等となっており、文教施設と庁舎で

50.2%を占めた（図-13）。

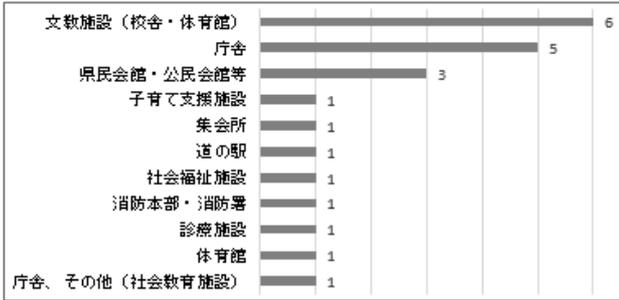


図-13 再生エネルギー利用を実施した施設

### 5.3 再生可能エネルギーの利用形態

再生可能エネルギーを利用している 22 施設の  
内訳は、空調機器系統数で 30 系統になっている。  
内訳は太陽光発電が 14 施設で 46.7%、太陽  
熱利用が 8 施設で 26.7%、地中熱利用、バイオ  
マスが 4 施設で 13.3%であった。太陽光発電、  
太陽熱利用で 73.3%を占めている（図-14）。

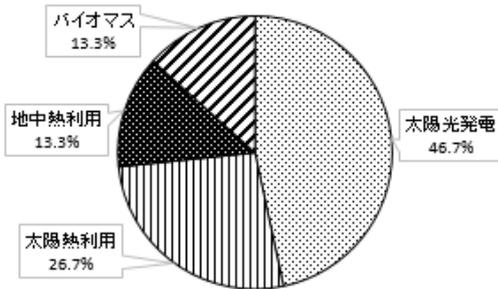


図-14 再生可能エネルギーの利用形態

### 5.4 再生可能エネルギー利用施設の設置年

再生可能エネルギー利用施設の設置年度は、平  
成 26 年度は 11 施設で 50%、28 年度は 3 施設で  
13.6%、27 年度、29 年度は各々 2 施設で 9%であ  
った。24 年度、25 年度、30 年度、31 年度は各 1 施  
設で各 4.5%となり、震災後 3 年目が最も多い結果  
となった（図-15）。

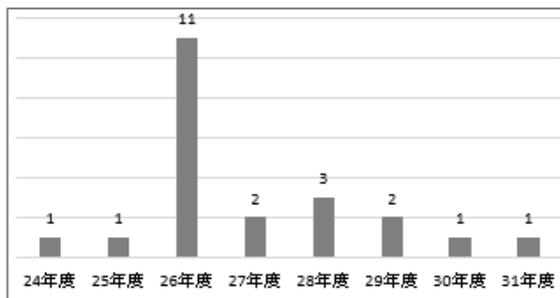


図-15 再生可能エネルギーの利用設備の設置年

### 5.5 平成 26 年度設置の再生エネルギー施設

26 年度の設置の内訳は文教施設が 4 施設で  
36.4%、庁舎が 3 施設で 27.3%、体育館・診療施設・  
社会福祉施設・子育て施設は各 1 施設で 9.1%であ  
った（図-16）。

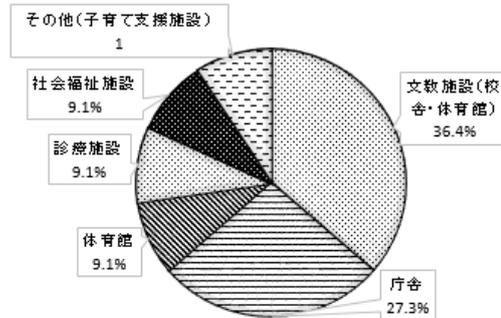


図-16 26 年度設置の再生可能エネルギー  
利用施設

### おわりに

今回調査した 70 施設のうち、空調用エネルギ  
ーの多重化を実施しているのは 17.1%、空調機  
の複数台設置を実施しているのは 8.6%、また、  
津波洪水対策を実施しているのは 20%にとどま  
った。地震・津波の災害時に於ける被害の軽  
減、ライフラインが途絶した場合の空調機能確  
保に対しては、来たるべき災害を想定した対策  
が望まれる。また、再生可能エネルギー利用施  
設の設置も 31.4%にとどまった。再生可能エネ  
ルギーは温室効果ガスを排出せず、エネルギー  
安全保障にも寄与できる重要な国産エネルギー  
源であり、利用拡大が望まれる。今回のアンケ  
ート調査項目には無いが、災害応急対策活動が  
必要な施設では、災害応急対策活動上必要とな  
る監視制御機能を確保することで、安全性、保  
全性、拡張性等を確保できる施設にすることも  
重要である。

B-4

東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査  
その4 電気・通信設備

○大友准勝(古川電気工業(株)), 須藤諭(東北文化学園大学),  
佐藤和弘((株)ユアテック), 岡田誠之(東北文化学園大学)

Investigation of Disaster Prevention Measures for Building Service in new Buildings  
after the Great East Japan Earthquake part 4 Electric and Communication System

Ootomo Norikatsu (Furukawa Electric Co., Ltd.), Sudo Satoshi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.), Sato Kazuhiro (Yurtec Corporation), Okada Seishi (Tohoku Bunka Gakuen Univ.)

キーワード：東日本大震災，津波洪水対策，停電対策

はじめに

本報は前報その1、その2、その3に引き続き、東日本大震災後、新たに建築された建物がどのような防災対策を施しているか、電気・通信設備の津波洪水対策、停電対策の調査結果を報告する。

1. 建物用途による電気・通信設備等の分析

1.1 建物用途（庁舎・警察施設等）

建物用途が庁舎・警察施設等について、21施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-1、図-2、図-3に示す。

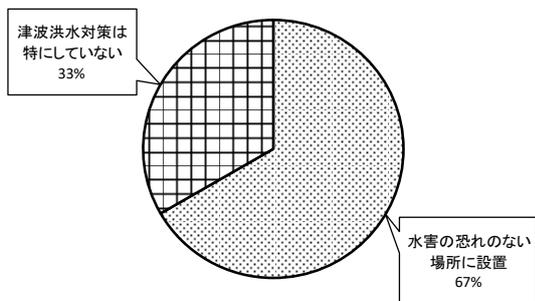


図-1 受変電設備・発電機の津波洪水対策

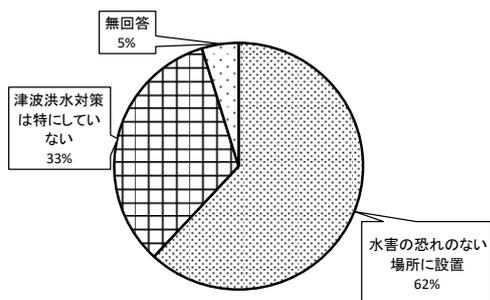


図-2 通信・無線設備の津波洪水対策

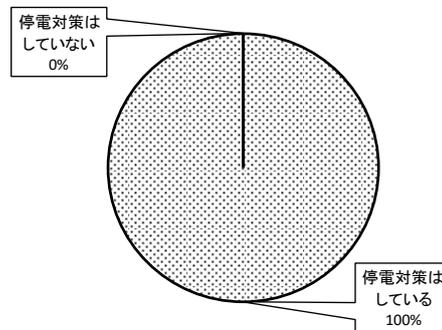


図-3 停電対策（非常用発電機等）

受変電設備・発電機と通信・無線設備の水害の恐れがない場所への設置が67%と62%であった。停電の対策をしている施設は100%で、全ての施設は非常用発電機の設置であった。

1.2 建物用途（文教施設等）

建物用途が文教施設等について、26施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-4、図-5、図-6に示す。

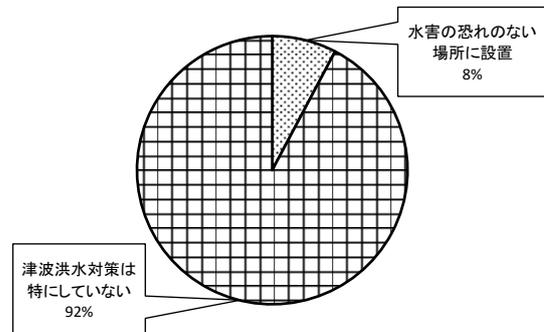


図-4 受変電設備・発電機の津波洪水対策

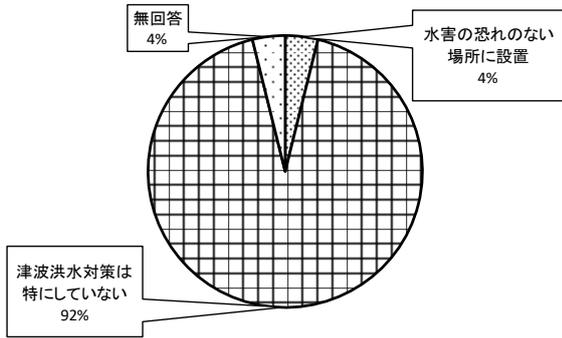


図-5 通信設備の津波洪水対策

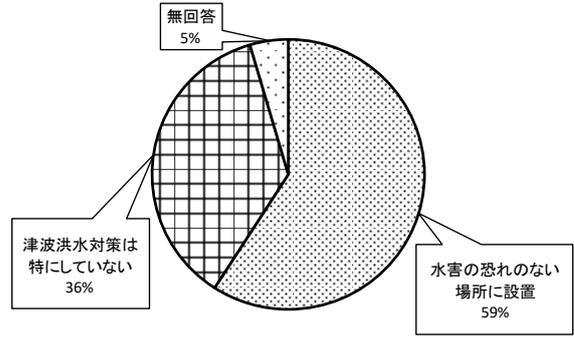


図-8 通信・無線設備の津波洪水対策

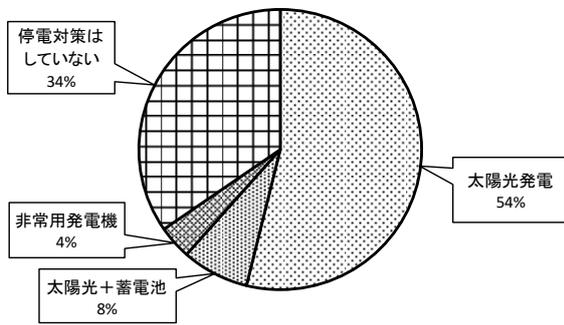


図-6 停電対策（太陽光発電等）

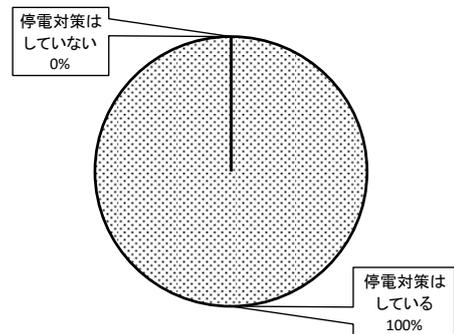


図-9 停電対策（非常用発電機等）

受変電設備・発電機と通信設備の水害の恐れがない場所への設置が 8%と 4%であった。停電の対策をしている施設は 66%、ほとんどの施設は太陽光発電で、蓄電池の併設は 8%であった。非常用発電機の設置が 4%であった。

受変電設備・発電機と通信・無線設備の水害の恐れがない場所への設置が 55%と 59%であった。停電の対策をしている施設は 100%で、全ての施設は非常用発電機の設置であった。

## 2. 防災拠点による電気・通信設備等の分析

### 2.1 防災拠点（災害応急対策施設）

災害応急対策施設（庁舎・警察施設等を含む。）について、22 施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-7、図-8、図-9 に示す。

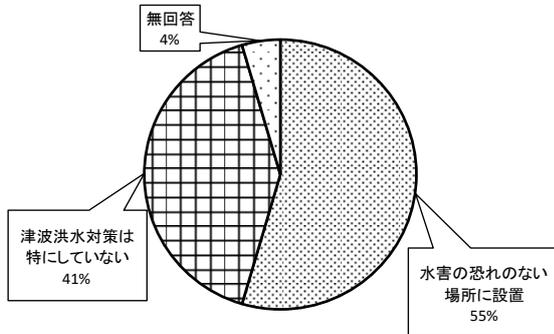


図-7 受変電設備・発電機の津波洪水対策

### 2.2 防災拠点（指定緊急避難場所等）

指定緊急避難場所等（文教施設等を含む。）について、38 施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-10、図-11、図-12 に示す。

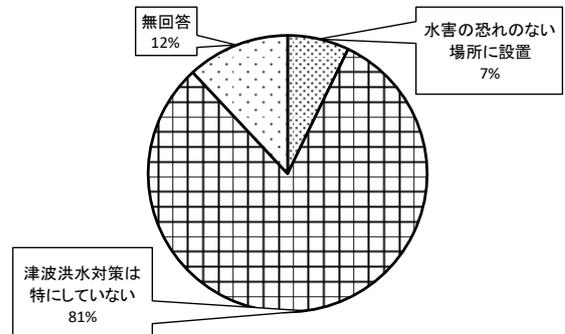


図-10 受変電設備・発電機の津波洪水対策

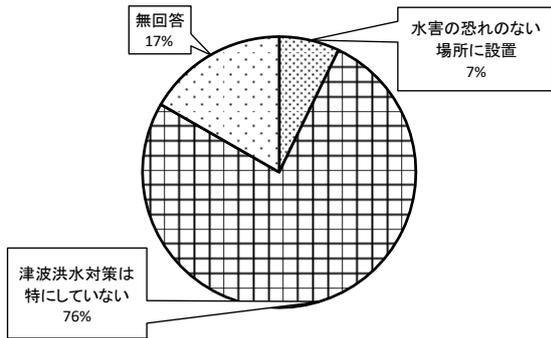


図-11 通信設備の津波洪水対策

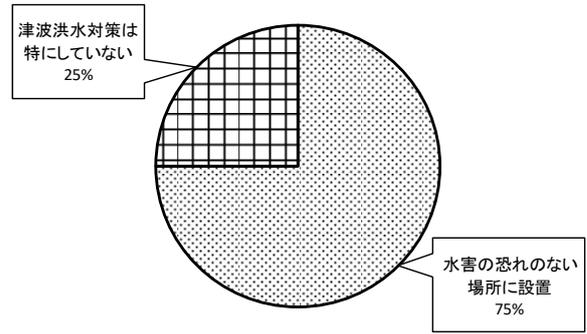


図-13 受変電設備・発電機の津波洪水対策

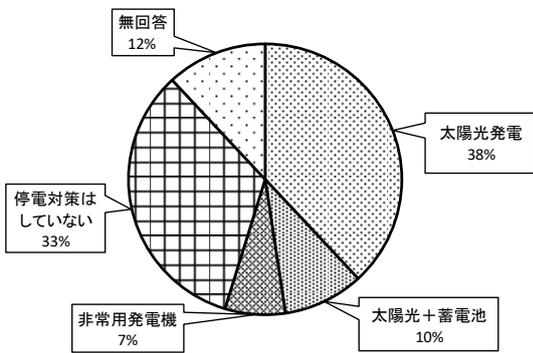


図-12 停電対策（太陽光発電等）

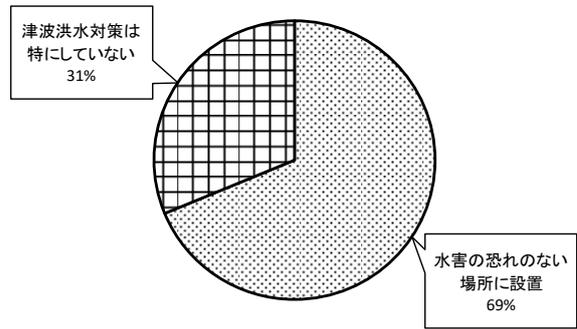


図-14 通信・無線設備の津波洪水対策

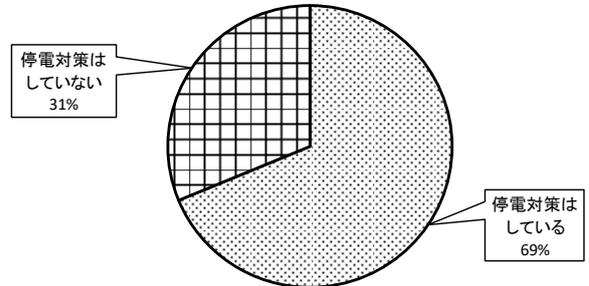


図-15 停電対策（非常用発電機等）

受変電設備・発電機と通信設備の水害の恐れがない場所への設置が7%と7%であった。停電の対策をしている施設は55%、ほとんどの施設は太陽光発電で、蓄電池の併設は10%であった。非常用発電機の設置が7%であった。

### 3. 施設位置による電気・通信設備等の分析

#### 3.1 施設位置（津波浸水エリア等）

施設位置が震災時は津波浸水エリアにあり、新たに津波浸水区域外へ移転、津波浸水エリアにかさ上げ及び津波浸水エリア（以下、津波浸水エリア等という。）へ新築した16施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-13、図-14、図-15に示す。

受変電設備・発電機と通信・無線設備の水害の恐れがない場所への設置が75%と69%であった。停電の対策をしている施設は69%で、全ての施設は非常用発電機の設置であった。

#### 3.2 施設位置（津波浸水エリア）

新たに建築に際し、津波浸水エリアにかさ上げ、津波浸水エリア（以下、津波浸水エリアという。）へ新築した6施設の受変電設備・発電機と通信・無線設備の津波洪水対策、停電対策の質問枠に対する回答を図-16、図-17、図-18に示す。

受変電設備・発電機と通信・無線設備の水害の恐れがない場所への設置が100%と83%であった。停電の対策をしている施設は100%で、全ての施設は非常用発電機の設置であった。

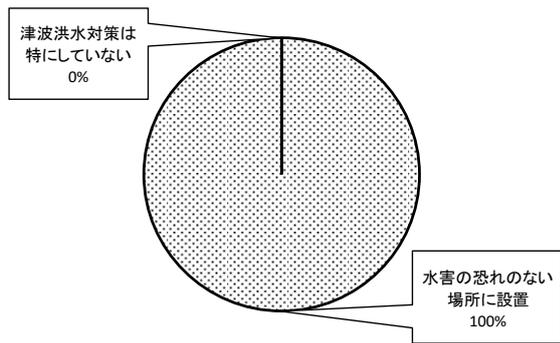
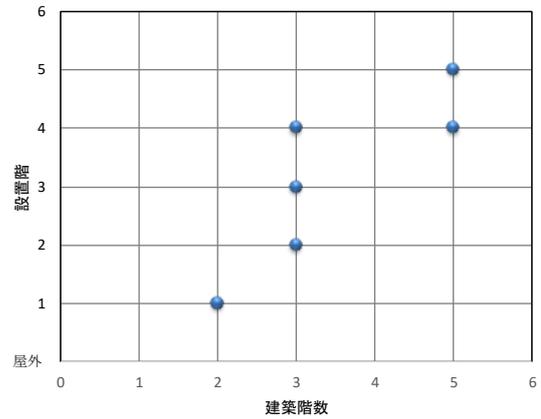


図-16 受変電設備・発電機の津波洪水対策



注)「建築階数」<「設置階」は屋上を示す。

図-19 受変電設備・発電機の設置階

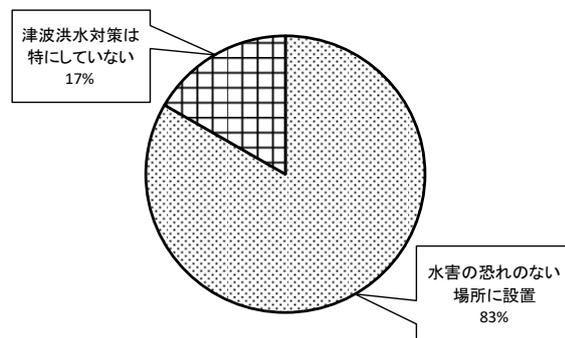


図-17 通信・無線設備の津波洪水対策

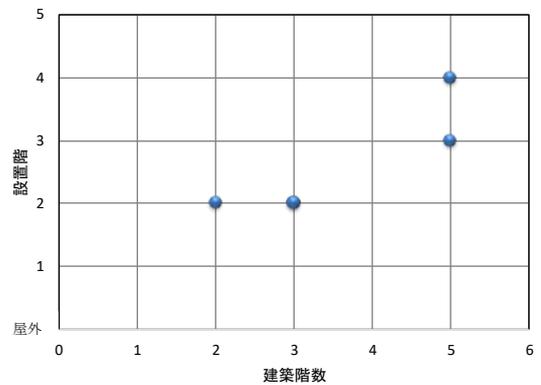


図-20 通信・無線設備の設置階

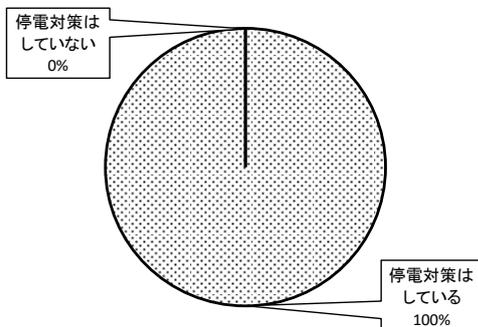


図-18 停電対策（非常用発電機等）

### 3.3 電源設備・通信設備等の設置階

新たに建築に際し、津波浸水エリアへ新築した建物の建築階数と受変電設備・発電機及び通信・無線設備の設置階の相関を図-19、図-20に示す。図-19 受変電設備・発電機の設置階に1階とある施設は、敷地をかさ上げしているため、図-16で水害の恐れのない場所に設置の回答であった。また、図-17で津波洪水対策は特にしていないと回答した施設は、通信・無線設備の設置階の回答は無かった。

### おわりに

本報告では、電気・通信設備の津波洪水対策、停電対策の状況について調査結果をまとめた。その結果、災害応急対策施設は津波洪水対策と停電対策の取り組みを進めていることが分かった。また、指定緊急避難場所等は津波洪水対策と停電対策の取り組みを進めている建物が少ないのが現状であった。一方、津波浸水エリアは津波洪水対策と停電対策の取り組みを進めていることが分かった。今後の課題として、指定緊急避難場所等の停電対策の見直しが必要であるといえる。

## B-5

### 東日本大震災以後の新築建物における建築設備の震災等防災対策調査 その5 まとめ (津波対策)

○船木寮一(三建設備工業(株))，岡田誠之(東北文化学園大学)

Investigation of Disaster Prevention Measures for Building Service in new Buildings  
after the Great East Japan Earthquake part 5 Conclusion (Tsunami Measures)

Funaki Ryoichi (SANKEN SETSUBI KOUGYO CO.,LTD) , Okada Seishi (Tohoku Bunka  
Gakuen Univ.)

キーワード：東日本大震災，津波対策

#### はじめに

アンケート調査を基に、その2(給排水衛生設備)、その3(空気調和設備)、その4(電気・通信設備)の設備分野において分析したが、最後に津波対策について分析する。

2011年東日本大震災の大きな特徴は甚大な津波被害であることは誰もが認識している。

ここでは復旧・復興によって新しく建設されている建物で、アンケート回答建物を建替え前に、津波被害があった施設と津波被害が無かった施設に分類して、建替え後の津波対策について分析する。

#### 1. 津波被災施設の分析

アンケートで回答いただいた70施設の内、建て替え前に津波被害があった施設は16施設であった。

津波被害16施設中、建替え後の敷地状況は、図-1に示すとおり浸水域外に移転した施設数は10施設、現状の敷地をかさ上げた施設数は3施設、敷地は現状のままの施設数は3施設であった。

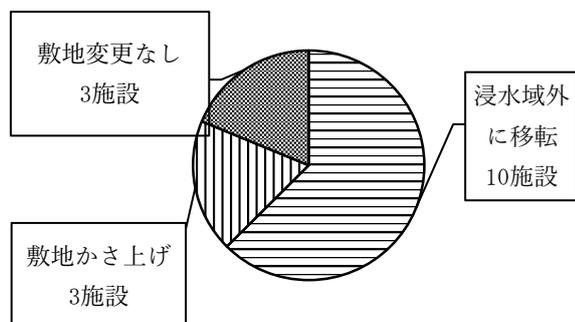


図-1 津波被災施設の建替え後の敷地状況

#### 2. 給排水衛生設備の津波対策

給排水衛生設備において、津波対策として飲料用受水槽の設置高さが津波浸水高さを考慮して設置したと思われる施設数は70施設中5施設であった。

5施設は全て津波被災施設であり、現状の敷地をかさ上げた施設が2施設(3施設中)、現状の敷地のままの施設は3施設(3施設中)であった。

津波被災施設中、浸水域外へ移転しないで、被災した敷地に建て替えをした施設はほとんどが飲料用受水槽の設置高さが津波浸水高さを考慮して設置されている。(6施設中5施設)

防災拠点公共施設において、大震災等のライフライン途絶対策として、特に飲料水の確保に関しては重要性が認識されていると類推される。

#### 3. 空気調和設備の津波対策

空気調和設備において、津波対策としてエアコン屋外機、熱源機器等の設置高さが津波浸水高さを考慮して設置したと思われる施設数は70施設中10施設であった。

10施設の内訳は、津波被災施設は6施設(16施設中)、津波被災の無かった施設は4施設(54施設中)であった。

津波被災施設において、図-2に示すとおり空気調和設備の津波対策を考慮した6施設の内訳は、浸水域外に移転した施設でも考慮した施設が2施設(10施設中)、敷地をかさ上げた施設でも考慮した施設が1施設(3施設中)現状の敷地のままの施設では考慮した施設が2施設(3施設中)であった。

また、津波被災の無かった施設でも4施設が空気調和設備の津波対策を考慮しており、防災拠点公共施設では空気調和設備の機能確保も必要性がある程度認識されていると類推される。

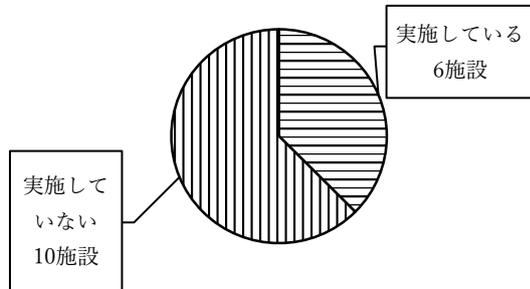


図-2 空調設備の津波対策（津波被災施設）

#### 4. 電気・通信設備の津波対策

##### 4.1 受変電・発電設備

受変電・発電設備の設置高さが津波浸水高さを考慮して設置したと思われる施設数は70施設中18施設であった。

18施設の内訳は、図-3に示すとおり津波被災施設は11施設（16施設中）、津波被災の無かった施設は7施設（54施設中）であった。

津波被災施設において、受変電・発電設備の津波対策を考慮した11施設の内訳は、浸水域外に移転した施設でも考慮した施設が6施設（10施設中）、敷地かさ上げした施設でも考慮した施設が2施設（3施設中）、現状の敷地のままの施設が3施設（3施設中）であった。

また、津波被災の無かった施設でも7施設が受変電・発電設備の津波対策を考慮しており、防災拠点公共施設では受変電・発電設備の機能確保の必要性が重要であると認識されていると類推される。

今回のアンケート回答で特に着目されたのは非常用発電機の油ポンプの設置に関する回答である。

非常用発電機の油供給系統は一般的には、地下油タンク→油ポンプ→油サービスタンク→発電機であり、油ポンプは吸込み揚程により地盤面（GL）又は建物の1階FLに設置される。

この油ポンプが津波浸水で機能不全となり、油サービスタンクへの供給停止にならないように建て替えた防災拠点公共施設においては対策されている。表-1の赤字部参照

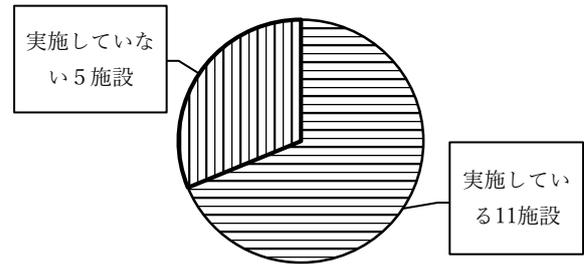


図-3 受変電・発電設備の津波対策（津波被災施設）

##### 4.2 通信・無線設備等

通信・無線設備等の設置高さが津波浸水高さを考慮して設置したと思われる施設数は70施設中17施設であった。

17施設の内訳は、図-4に示すとおり津波被災施設は11施設（16施設中）、津波被災の無かった施設は6施設（54施設中）であった。

津波被災施設において、通信・無線設備等の津波対策を考慮した11施設の内訳は、浸水域外に移転した施設でも考慮した施設が6施設（10施設中）、敷地かさ上げした施設でも考慮した施設が2施設（3施設中）、現状の敷地のままの施設が3施設（3施設中）であった。

また、津波被災の無かった施設でも6施設が通信・無線設備等の津波対策を考慮しており、防災拠点公共施設では通信・無線設備等の機能確保の必要性が重要であると認識されていると類推される。

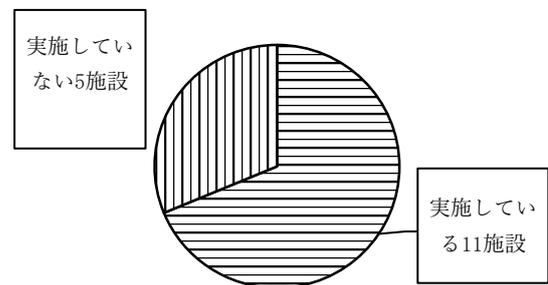


図-4 通信・無線設備等の津波対策（津波被災施設）

表-1 東日本大震災における津波被災建物の建て替えにおける津波対策一覧表

建て替え後の敷地状況	建物名称	空調設備機器の津波対策	受変電・発電設備の津波対策	通信・無線設備等の津波対策
浸水域外へ移転	A 消防署	エアコン屋外機を屋上に設置	受変電設備・非常用発電設備を5階に設置（発電機用油ポンプは1階設置だが、浸水対策として1階レベルには開口を設けてなく、出入り口は2階レベルに設けている。）	電話設備、多重無線設備は4階に設置、衛星通信設備は屋上に設置
	B 小中学校	特にしていない。	特にしていない。	特にしていない。
	C 警察署	特にしていない。	受変電設備・非常用発電設備を2階に設置	電話設備、多重無線設備は4階に設置
	D 小中学校	特にしていない。	特にしていない。	特にしていない。
	E 役場庁舎	特にしていない。	受変電設備は3階、非常用発電設備は屋上に設置	電話設備、多重無線設備、衛星通信設備は2階に設置
	F 合同庁舎	空冷ヒートポンプチャラー、エアコン屋外機を屋上に設置	受変電設備・非常用発電設備を2階に設置	電話設備、多重無線設備、衛星通信設備は5階に設置
	G 合同庁舎	特にしていない。	受変電設備・非常用発電設備を浸水の恐れのない屋外に設置	電話設備、多重無線設備、衛星通信設備は5階に設置
	H 警察署	特にしていない。	非常用発電設備を浸水の恐れのない屋内に設置、受変電設備は非常用発電室の屋上に設置	電話設備は1階に設置、その他の通信、無線設備は3階に設置
	I 高等学校	特にしていない。	特にしていない。	特にしていない。
	J 高等学校	特にしていない。	特にしていない。	特にしていない。
浸水域外へ移転した施設数 10施設	空調設備機器の津波対策実施施設数 2施設	受変電・発電設備の津波対策実施施設数 6施設	通信・無線設備等の津波対策実施施設数 6施設	
敷地かさ上げ	K 小学校	特にしていない。	受変電設備・非常用発電設備を屋上に設置	特にしていない。
	L 事務所	特にしていない。	特にしていない。	電話設備、多重無線設備、衛星通信設備は2階に設置
	M 事務所	エアコン屋外機を屋上に設置	受変電設備・非常用発電設備を3階に設置（非常用発電設備の燃料は地下タンクに貯蔵して1階が浸水しても燃料供給可能とするため油中ポンプを採用している。）	電話設備は2階に設置
敷地かさ上げた施設数 3施設	空調設備機器の津波対策実施施設数 1施設	受変電・発電設備の津波対策実施施設数 2施設	通信・無線設備等の津波対策実施施設数 2施設	
現地建替え（敷地変更無し）	N 小学校	エアコン屋外機を2階に設置	受変電設備・非常用発電設備を2階に設置	電話設備は2階に設置
	O 合同庁舎	エアコン屋外機を屋上に設置	受変電設備・非常用発電設備を5階に設置（非常用発電設備の燃料は地下タンクに貯蔵して1階が浸水しても燃料供給可能とするため油中ポンプを採用している。）	電話設備、多重無線設備は3階に設置
	P 合同庁舎	地中熱源水冷ヒートポンプチャラー、空冷ヒートポンプチャラーを2階に設置している。	受変電設備・非常用発電設備を4階に設置（非常用発電設備の燃料は地下タンクに貯蔵して1階が浸水しても燃料供給可能とするため油中ポンプを採用している。）	電話設備、多重無線設備は4階に設置
現地建替えの施設数 3施設	空調設備機器の津波対策実施施設数 3施設	受変電・発電設備の津波対策実施施設数 3施設	通信・無線設備等の津波対策実施施設数 3施設	
アンケート集計				
津波被災建物の建て替えの施設数合計 16施設	空調設備機器の津波対策実施施設数 6施設	受変電・発電設備の津波対策実施施設数 11施設	通信・無線設備等の津波対策実施施設数 11施設	
津波被災の無かった建物の建て替えの施設数合計 54施設	空調設備機器の津波対策実施施設数 4施設	受変電・発電設備の津波対策実施施設数 7施設	通信・無線設備等の津波対策実施施設数 6施設	

## 5. 津波被災施設の特徴

防災拠点公共施設の施設建て替え時における各建築設備の津波対策を実施するかの判断は、その施設の用途、特徴等を勘案して津波対策の採用による費用対効果により決定されると考えられる。

今回のアンケート調査では、東日本大震災で津波被災した防災拠点公共施設はその被災経験により、施設建て替え時において、浸水域外に移転した施設又は敷地をかさ上げた施設であっても給排水衛生、空気調和、受変電・発電、通信・無線等の各建築設備において、津波被災の無かった施設に比較して津波対策がより考慮されている。

## おわりに

今回、東日本大震災以降の防災拠点公共施設の建築設備の防災対策についてアンケート調査、集計、分析を実施して報告書にまとめた。

この報告書が今後の防災拠点公共施設の建築設備の防災対策策定の一助になれば幸いである。

## 謝辞

ご多忙中に関わらずアンケート調査でご協力いただいた岩手県、宮城県、福島県の行政機関の皆様、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) 官庁施設の総合耐震・対津波計画基準（平成 25 年版）
- 2) 官庁施設の津波防災診断指針（平成 25 年 4 月版）
- 3) 建築設備計画基準（平成 30 年版）
- 4) 防災拠点等となる建築物に係る機能継続ガイドライン  
（令和元年 5 月・追補 6 月）
- 5) 建築設備耐震設計・施工指針（2014 年版）
- 6) 官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説（平成 8 年版）
- 7) 建築設備設計基準（平成 30 年版）

## B-6

### 地中熱ヒートポンプをベースロードにした LNG 気化システムの開発と実証

#### (その1) 開発の主旨とシステムの概要

○赤井仁志 (福島大学 / 北海道大学), 葛隆生, 小司優陸, 査穎, 長野克則 (北海道大学), 石川光浩, 深井則博, 佐々木勇斗 (北海道電力) 竹内進, 宍戸淳, 岡田真武 (東北電力), 八島裕一 (日本ガス開発), 谷藤浩二, 斎藤一成 (ゼネラルヒートポンプ工業)

Research and Development, Experimental Study of LNG Vaporization System with Ground Source Heat Pump and Air-Water Heat Exchanger, Part 1, Outlines of system and experimental proof of vaporization in field

Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University),  
Katsura Takao, Shoji Yutaka, Zha Ying, Nagano Katsunori (Hokkaido University),  
Ishikawa Mitsuhiro, Fukai Norihiro, Sasaki Yuto (Hokkaido Electric Power Co., Inc.),  
Takeuchi Susumu, Shisido Jun, Okada Manamu (Tohoku Electric Power Co., Inc.),  
Yashima Hirokazu (NIPPON GAS DEVELOPMENT CO., LTD),  
Tanifuji Koji and Saitou Kazunari (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., LTD)

キーワード：地中熱利用ヒートポンプ, LNG 気化, 再生可能エネルギー, 省エネルギー, 脱炭素

#### はじめに

近年、都市ガスが供給されていない地域に設置された、工場や工業団地などのガスの需要が大きい施設や用途で、LNG 受け入れ基地よりローリー車で LNG を輸送し供給を行う LNG サテライト基地の採用事例が増えてきている。サテライト設備では、気化ガスを自己消費してガス焚温水ヒータ (ボイラ) により温水を生成して気化するシステムが、気象条件に左右されずに気化できることから普及している。この場合、気化した天然ガスの 3~5%が燃焼に使用されるため、これを減らすことが省エネルギーとランニングコスト削減の観点から重要となる。LNG を気化する際に、大気を熱源としたエアフィン式気化器を用いることも可能であるが、気化能力が気象条件に左右される。

旧一般電気事業者 (いわゆる電力会社) の都市ガス供給事業への参入や、近年の再生可能エネルギー熱利用の動向などから、ランニングコスト、CO<sub>2</sub>排出量や原油換算量などで大幅な低減が見込める地中熱利用ヒートポンプ (以下、GSHP と記す) を活用したシステム構成や制御方法、性能評価などに基づく実用化が標榜されるようになった。LNG の気化は、通常使用されている温水の温度 (60℃程度) より低温でも可能であるため、GSHP を用いることで省エネルギー化を図ることが可能となる。GSHP システムは、デフロスト運転による出力低下が発生しないことから導入効果的が得られやすい。

しかし、GSHP システムを LNG 気化のような年間を

通じて温熱負荷が発生するような施設に導入した場合、採熱の過多による地中温度の低下が生じることが想定される。そこで、空気-水熱交換器 (以下、AWHEX と記す) を併用したハイブリッド GSHP システムを採用することとした。

本報は、システムの概要と特長、システムのフィールド試験装置による気化の実証試験結果の報告を行う。

#### 1. 気化システムの概要と特長

図-1 は、ハイブリッド GSHP を用いた LNG 気化システムの構成である。システムはヒートポンプ (HP) とその熱源となる地中熱交換器 (GHEX)、AWHEX、HP の二次側に接続される LNG 気化器 (熱交換器) で構成している。外気温度の条件により GHEX 単独か、AWHEX との併用を熱源として選択して、HP により LNG 気化器に温水供給を行い、LNG 気化を行う。なお、LNG 気化器は従来の温水温度 (60℃程度) よりも低温水でも凍結しない設計をしている。

ハイブリッド GSHP を用いた LNG 気化システムの特長は、つぎの通りである。

- ① 大気を熱源としたエアフィン式気化器と比較して、年中安定した熱量を供給することができる。
- ② 地中熱を利用することで、空気熱源ヒートポンプと比較して、冬季にデフロストにより出力や COP が低下することがない。
- ③ 夏季に高温の外気を熱源とすることが可能で、高効

率な運転を実現できる。さらに、余剰熱を地中に放熱して、地中温度を回復することができる。

- ④ LNG の気化は低温でも可能であり、水（もしくは不凍液）が凍結しない範囲であれば、ヒートポンプからの低温送水が可能となる。具体的には 25℃ の温水の送水も可能なため、一般的に 35~45℃ で送水する暖房設備よりも高い省エネルギー効果が得られる。

2. 気化システムのフィールド試験概要

2.1 試験装置概要および計測概要

札幌市北区の北海道大学の構内に、図-2 のハイブリッド GSHP を用いた気化システムのフィールド試験装置

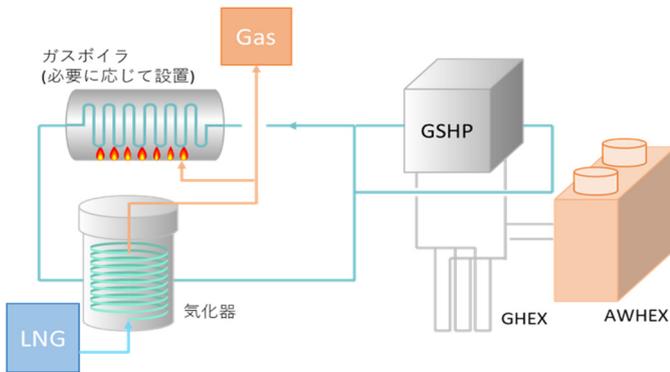


図-1 GSHP を用いたハイブリッド熱源 LNG 気化システム

を設置して実証試験を行った。試験装置は実際のシステムを縮小したもので、実験では LNG の代わりに液体窒素 N<sub>2</sub> を用いた。HP は、定格出力 13.6kW、定格電力消費 4.2kW で、インバータ圧縮機を 2 台持つ。

HP を 100m×2 本の GHEX に接続、HP の二次側には気化装置と模擬負荷のファンコイルユニットと冷却塔を接続した。AWHEX は、GHEX と GSHP の間に接続されており、GHEX の単独運転と、AWHEX との併用によるハイブリッド運転の切り替えを可能とした。

表-1 は、主な計測項目である。HP の一次側、二次側それぞれの出入口温度と循環流量を測定して、熱出力や採熱量を計算した。また、気化したガスの流量と気化前後の温度・圧力を計測して、HP の熱出力と気化熱量の

表-1 主な計測項目

機器(機器番号)	測定項目	単位
温度計TIA1-1	GHEX出口温度	℃
温度計TIA1-2	HP一次側入口温度	℃
温度計TIA1-3	HP一次側出口温度	℃
温度計TIA1-4	外気温度	℃
温度計TIA2-1	HP二次側出口温度	℃
温度計TIA2-2	負荷通過後温度	℃
温度計TIA2-3	HP二次側入口温度	℃
温度計TIA4-1	液体窒素温度	℃
温度計TIA4-2	窒素ガス温度	℃
流量計FM-1	HP一次側流量	L/min
流量計FM-3	HP二次側流量	L/min
流量計FM-4	窒素ガス流量	Nm <sup>3</sup> /h
電力計WH-1	ヒートポンプ電力量	kWh
電力計WH-2	空気水熱交換器+熱源水ポンプ電力量	kWh

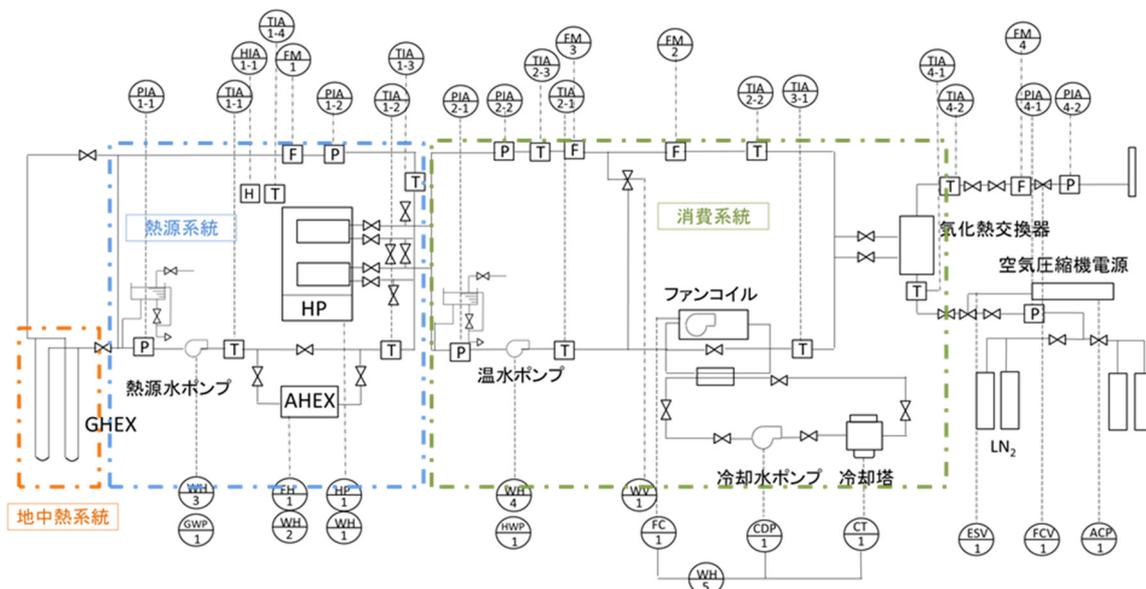


図-2 GSHP を用いたハイブリッド熱源 LNG 気化システムのフィールド試験装置系統図

整合性を確認できるようにした。さらに、ヒートポンプや循環ポンプの消費電力を計測して、COP や SCOP の評価も行った。

### 2.2 GSHP を用いた気化試験の条件

GSHP システムを用いた気化の実証試験の結果を紹介する。表-2 に、試験条件も記す。V1-1～V1-5 は、冬季に熱源を地中のみとした場合の試験で、送水温度や負荷率を変更して実施した。V2-1～V2-3 は、夏季のハイブリッドGSHP を用いた試験で、負荷率(窒素の流量)を変更して実施した。

### 3. 試験結果および考察

試験結果の例として、V1-3～V1-5 と V2-1～V2-3 の結果を示す。

図-3 は、試験 V1-3～V1-5 の二次側送水・還水温度と循環流量、窒素ガス温度と窒素ガス流量である。ガス流量は設定通りの循環流量が得られており、ガス温度は10～20℃程度で推移していることがわかる。試験時間帯の液体窒素の温度は約-170℃であったため、これより窒素の気化が問題なく行われていることを確認した。

図-4 は、試験 V1-3～V1-5 の一次側の出入口温度と循環流量および外気温度の変化である。最大負荷に対して地中熱交換器長さが多少不足しているため、一次側入口温度については低下しているが、急激な低下はなく、外気温度を上回っていることがわかる。従って、適切な地中熱交換器長さを設計することで、安定した入口温度となることが予測できる。

図-5 は、試験 V1-3～V1-5 の HP 熱出力、HP 採熱量、システム (HP+一次側ポンプ) 消費電力の変化である。HP 熱出力は12 kW 程度、システム消費電力は2.2 kW 程度で推移している。これよりシステム COP (SCOP) は5.5 程度と推測される。このように25℃の温水を送水することで冬季も高い効率で運転できている。

図-6 は、試験 V2-1～V2-3 の二次側送水・還水温度と循環流量、窒素ガス温度と窒素ガス流量である。この実験でも窒素ガス流量は概ね一定で推移している。窒素ガス温度が10～25℃で推移していることから、安定した気化が行われていることを確認した。

図-7 は、試験 V2-1～V2-3 の一次側の出入口温度と循環流量および外気温度の変化である。冬季と比較して HP 一次側の入口温度 T1-2 が20℃以上と高いことが伺える。これはAWHEX の採熱の効果である。

図-8 は、試験 V2-1～V2-3 の HP 熱出力とシステム

(HP+一次側循環ポンプ+AWHEX ファン) 消費電力の変化である。図-9 は、HP と GHEX、AWHEX の採熱量である。HP 一次側温度が冬季の試験より高く、出力が大きくなるため、HP が運転・停止を繰り返している。しかし、V2-1 の出力はV1-3 と同等で、消費電力は運転・停止の繰り返しにより小さくなっていることが伺える。これより夏季は冬季よりもさらに高効率でHP が

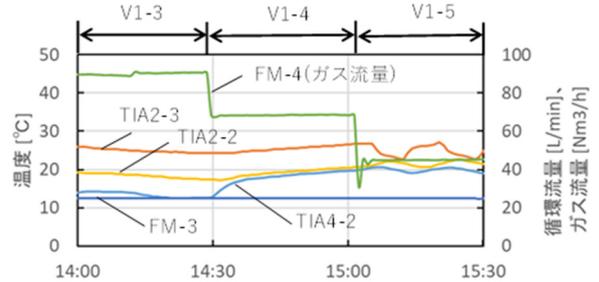


図-3 試験 V1-3～V1-5 の二次側送水・還水温度と循環流量、窒素ガス温度と窒素ガス流量の変化

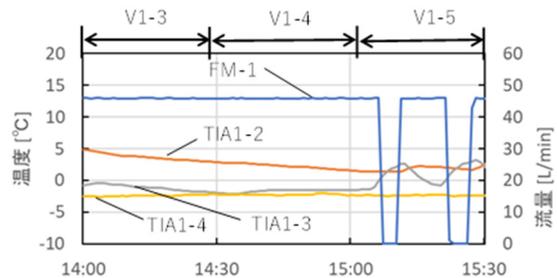


図-4 試験 V1-3～V1-5 の一次側の出入口温度と循環流量および外気温度の変化

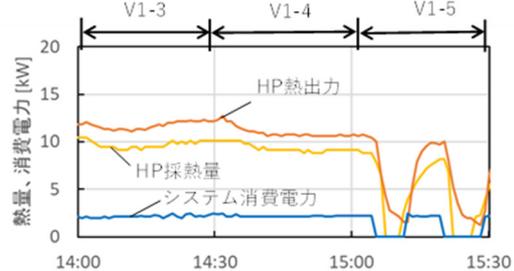


図-5 試験 V1-3～V1-5 の HP 熱出力、HP 採熱量、システム(HP+一次側ポンプ)消費電力の変化

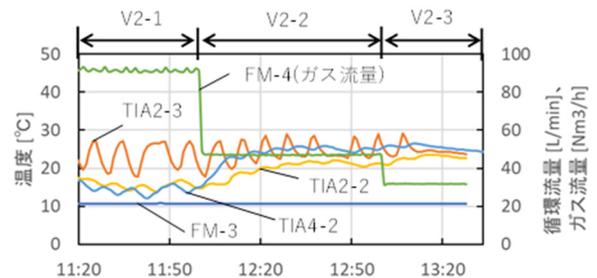


図-6 試験 V2-1～V2-3 の二次側送水・還水温度と循環流量、窒素ガス温度と窒素ガス流量の変化

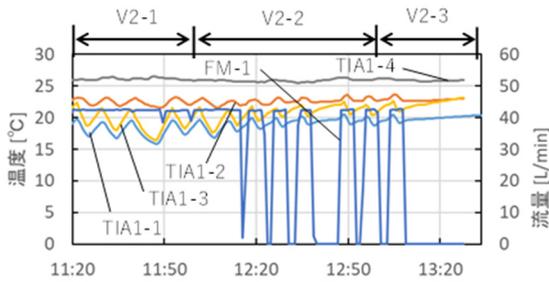


図-7 試験 V2-1～V2-3 の一次側の出入口温度と循環流量および外気温度の変化

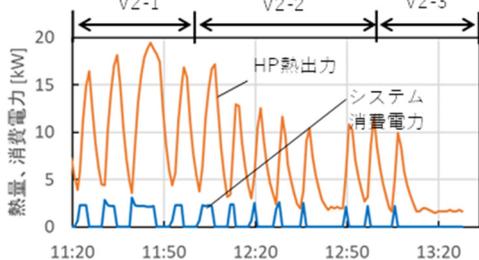


図-8 試験 V2-1～V2-3 の HP 熱出力、システム (HP + 一次側ポンプ + AWHEX ファン) 消費電力の変化

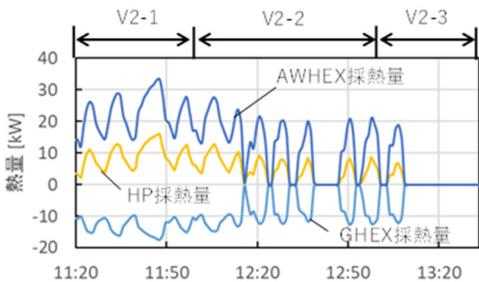


図-9 試験 V2-1～V2-3 の HP および GHEX、AWHEX の採熱量の変化

運転できると考えられる。採熱量は、AWHEX の採熱量が HP の採熱量を上回り、余剰分が GHEX に放熱されていることを確認した。

表-2 は、各試験の HP 熱出力、気化熱量、システム消

費電力、SCOP のまとめである。HP 熱出力と気化熱量は ±10% 程度の差がみられるものの、ほぼ同等の値で、HP からの熱出力が気化に用いられていることを確認した。また、送水温度の異なる V1-1～V1-3 の SCOP を比較すると送水温度が 25℃ の V1-3 (SCOP=5.4) は送水温度 45℃ の V1-1 (SCOP=3.2) よりも 1.7 倍の値となり、低温水の供給による SCOP の向上効果を確認した。さらに、夏季に AWHEX を併用した V2-1～V2-3 は 10 を超える SCOP の値を得ることを確認できた。

この結果もとに HP からの熱出力をガス温水器 (効率 0.85) で加温することを想定して、一次エネルギー消費量を比較した。電力の一次エネルギー消費量を 9.76 MJ/kWh とすると、V1-3 では約 57%、V2-1 では約 76% の削減効果を得た。

まとめ

本報のまとめは、つぎの通りである。

- 1) ハイブリッド GSHP を用いた気化システムのフィールド試験装置を用いて、窒素の気化試験を実施した。結果として、ヒートポンプからの温水の送水温度が 25℃ でも窒素の気化が問題なく行われることが確認できた。また、冬季に送水温度を 25℃ とした場合の SCOP は 5.4 となり、送水温度を 45℃ とした場合の 1.7 倍となることがわかった。
- 2) 夏季に AWHEX を併用した V2-1～V2-3 は 10 を超える SCOP の値を得ることができた。
- 3) HP からの熱出力をガスボイラ (効率 0.85) で処理する場合を想定して、一次エネルギー消費量を比較した。HP の送水温度 25℃ とした場合には、GHEX 単独熱源となる冬季は約 57%、AWHEX と併用運転となる夏季は約 76% の削減効果を得られた。

表-2 気化試験の条件と結果のまとめ

試験番号	実施年月日	熱源	送水温度 [°C]	設定ガス流量 [Nm <sup>3</sup> /h] (負荷率%)	HP 熱出力 [kW]	気化熱量 [kW]	システム消費電力 [kWh]	SCOP
V1-1	2019.1.23 冬季	地中	45	90 -100%	13.3	13.6	4.2	3.2
V1-2			35	90 -100%	12.6	13.1	2.9	4.3
V1-3			25	90 -100%	11.9	12.6	2.2	5.4
V1-4				68 -75%	11	10	2.4	4.6
V1-5				45 -50%	5.5	6.5	1.1	5
V2-1	2018.8.8 夏季	地中 + 空気	25	90 -100%	11.4	12.4	1.1	10.8
V2-2			45 -50%	6.7	6.2	0.5	13.4	
V2-3			30 -33%	3	3.5	0.2	15	

## B-7

### 地中熱ヒートポンプをベースロードにした LNG 気化システムの開発と実証

#### (その2) 空気-水熱交換器によるハイブリッドシステムの性能検証

○谷藤浩二, 齋藤一成 (ゼネラルヒートポンプ工業), 赤井仁志 (福島大学 / 北海道大学), 葛隆生, 小司優陸, 査穎, 長野克則 (北海道大学), 石川光浩, 深井則博, 佐々木勇斗 (北海道電力) 竹内進, 宍戸淳, 岡田真武 (東北電力), 八島裕一 (日本ガス開発)

Research and Development, Experimental Study of LNG Vaporization System with Ground Source Heat Pump and Air-Water Heat Exchanger, Part 2, Improvement of Efficiency by Combination Ground Source with Air Source

Tanifuji Koji, Saitou Kazunari (GENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., LTD), Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University), Katsura Takao, Shoji Yutaka, Zha Ying, Naga No Katsu Nori (Hokkaido University), Ishikawa Mitsuhiro, Fukui Norihiro, Sasaki Yuto (Hokkaido Electric Power Co., Inc.), Takeuchi Susumu, Shishido Junekada Manamu (Tohoku Electric Power Co., Inc.), and Yashima Hirokazu (NIPPON GAS DEVELOPMENT CO., LTD),

キーワード : LNG、気化器、地中熱ヒートポンプ、空気-水熱交換器、地中温度回復

#### 1. はじめに

企業における環境意識の定着により、産業用の熱源は重油焚きからより省エネ性の高いガス焚きへの転換が進んでいる。特に LNG は CO<sub>2</sub> 排出原単位が重油や LPG と比較して小さく、環境にやさしい燃料として認知されている。北海道においては 2018 年 7 月に札幌近郊の石狩 LNG 基地内に、地上式としては国内最大級 (23 万 kL 貯蔵) の LNG タンクが完成するなど、LNG 供給環境がこれまで以上に整備されつつあり、LNG 焚き熱源の一層の普及が見込まれる。

一方で、LNG 供給は都市部を中心としたガス導管敷設エリアが中心で、エリア外では依然として重油、LPG 等が主流であるが、近年 LNG をローリー輸送するサテライト基地の導入が進みつつある。

サテライト基地を用いた LNG 供給では LNG の気化が必要となり、海水、大気、温水など各種熱源により加熱されるが、北海道のような寒冷地域においては、特殊な熱源環境 (海岸エリアなど) にない限り、温水加熱による気化が主流となる。一般に LNG の温水加熱式では燃料として LNG のボイルオフガスを用いることが多く、この場合の消費ガス量は気化ガス全体の 3~5% となる。LNG への燃料転換による一層の省エネルギー化、省コスト化には気化時に消費されるガス量の低減が求められる。

本実証研究では、通年で高効率運転が可能な、地中熱ヒートポンプ (HP) を用いた LNG 気化システムを開発し、

省エネルギー性能、運転特性の把握やシミュレーションによる地中温度への影響を評価した (第 1~3 報)。第 1 報では、液体窒素の気化試験により、25°C の低温水 (通常の温水加熱式では 60°C が一般的) においても安定した気化が可能なること、気化器の健全性 (温度変化による割れ等)、地中熱と空気熱のハイブリッドによる性能向上について報告した。

本報では、開発システムの 1 次側熱源に空気熱を組み合わせることによる効果を比較的長期間 (2 日程度) 評価した結果を報告する。また、空気熱による地中温度回復の検討 (第 3 報で報告) で用いる空気-水熱交換器 (AWHEX) のモデル化について説明する。

#### 2. 実験方法

表-1 に実証試験条件を示す。AWHEX を用いた試験は端境期の 6 月に実施した。実証試験は熱源を地中のみ、地中と空気のハイブリッドの 2 パターン、送水温度は 25、35、45°C の 3 パターン、負荷割合は HP の定格出力に対して 30~100% で実施した。図-1 に実証試験システムの模式図を示す。地中熱源と空気熱源を組み合わせる場合は、地中熱交換器 (GHEX) と AWHEX を直列で接続し、GHEX 単体の場合は AWHEX をバイパスした。2 次側循環水は HP 往還流量 (F2-1) を 21L/分 に固定し、所定の負荷割合となるよう、HP 往還温度 (T2-1、3) を監視しながら、3 方弁で負荷側流量を制御した。LNG の気化潜熱に相当する熱負荷はファンコイルユニット、クーリ

ングタワーにて模擬した。図-2 にモデル化した AWHEX の外観を示す。

表-1 実証試験条件

試験番号	開始日-終了日 (2018-2019)	熱源 (地中/空気)	送水温度 (°C)	負荷割合 (%)
No.0	01.30-02.01	地中	35	50
No.1	04.19-04.23	地中+空気	25	100
No.2	04.23-04.27	地中+空気	35	100
No.3	04.27-05.01	地中+空気	45	100
No.4	05.23-05.24	地中+空気	35	80
No.5	05.30-06.01	地中+空気	35	70
No.6	06.04-06.06	地中+空気	45	100
No.7	06.06-06.08	地中+空気	45	100
No.8	06.08-06.10	地中+空気	45	100
No.9	06.11-06.13	地中+空気	35	50
No.10	06.18-06.20	地中+空気	25	30
No.11	06.20-06.22	地中+空気	30	50
No.12	06.22-06.24	地中+空気	35	50
No.13	06.25-06.27	地中+空気	45	100

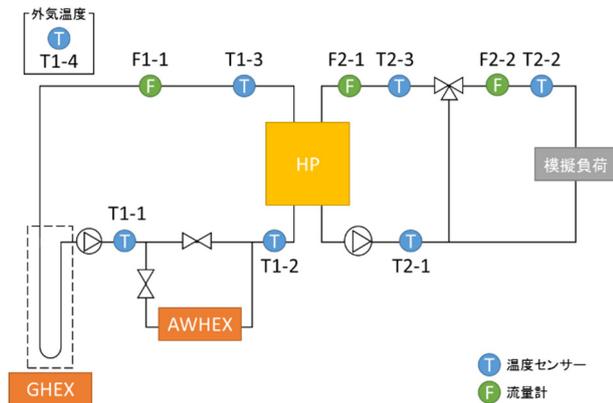


図-1 模擬負荷を用いた実証試験システム



図-2 空気-水熱交換器の外観

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 送水温度と COP の関係

図-3 にNo.1~13の各送水温度における出力と COP の関係を示す。出力と COP の関係は不明確なもの、送水温度が低い条件ほど、高い COP となる傾向は、第1報の結果と符合した。

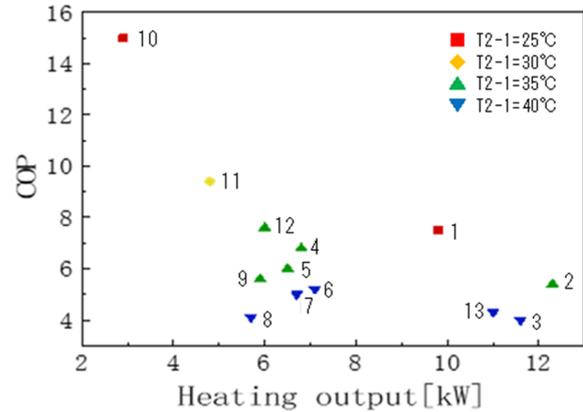


図-3 各送水温度における出力と COP

#### 3.2 熱源ハイブリッド化による性能向上

熱源が地中のみの場合 (No.0, 図-4~図-6) と地中と空気のハイブリッドの場合 (No.9, 図-7~図-10) の性能比較を行った。図-4 に示すとおり、熱源を地中のみとすると GHEX 出口温度 (T1-1)、HP 入口温度 (T1-2) に差は生じないが、図-7 に示すとおり、ハイブリッドでは AWHEX 出口温度 (T1-2) > GHEX 出口温度 (T1-1) となり、地中からの採熱に加えて空気からの採熱が確認された。No.9 の1次側循環水温度がNo.0と比較して高い理由は、GHEX からの採熱 (Qghex) が小さく、地中に対する負荷が限定的であったためと考えられる (札幌市中央区の不易層温度は10°C程度)。図-8 に示すとおり、地中、空気の双方から採熱されており、それぞれの和が HP 採熱 (Qhplin) となるようバランスしていた。

図-5、図-9 のとおり、2次側循環水については、No.0、9ともに HP 出口温度 (T2-1) と入口温度 (T2-3) の差はおおよそ5°Cであり、熱源によらず所定の負荷割合50%を満足していた。なお、No.0、9ともに模擬負荷として設置したファンコイルユニットからの放熱が大きいため、2次側循環水は3方弁により模擬負荷をバイパスした。

図-6、図-10 のとおり、COP はNo.0で3.4、No.9で5.6であり、空気からの採熱による効率向上が認められた。No.9は外気温度が7~15°C程度の端境期に実施しているため、外気温度の高い夏期には更なる性能の向上が期待された。

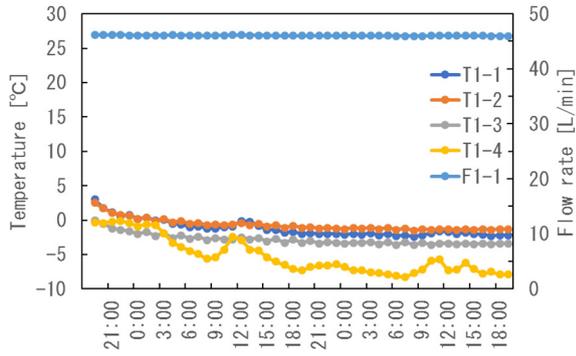


図-4 1次側循環水の温度と流量 (No.0)

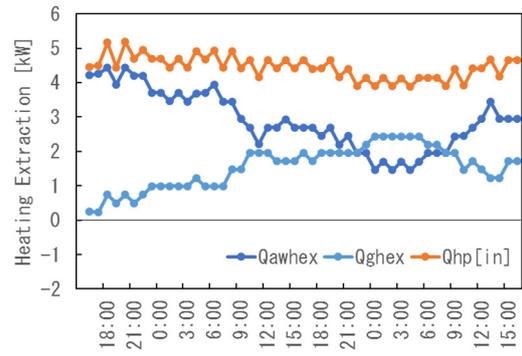


図-8 地中、空気、HPからの採熱 (No.9)

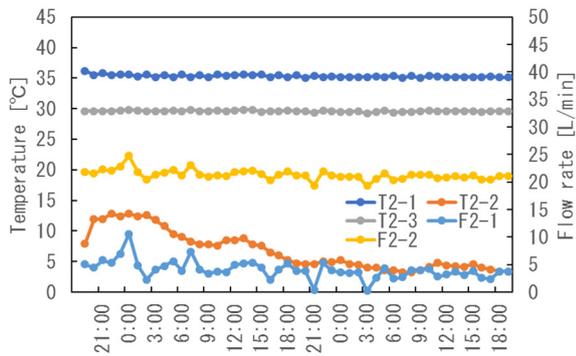


図-5 2次側循環水の温度と流量 (No.0)

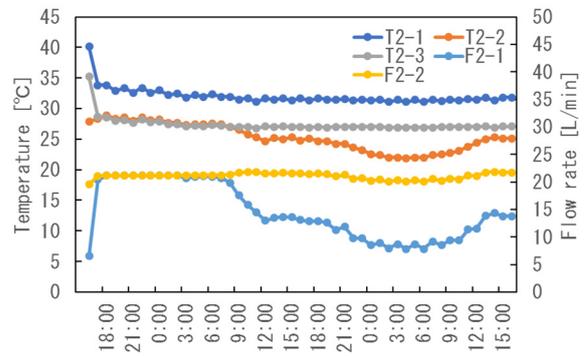


図-9 2次側循環水の温度と流量 (No.9)

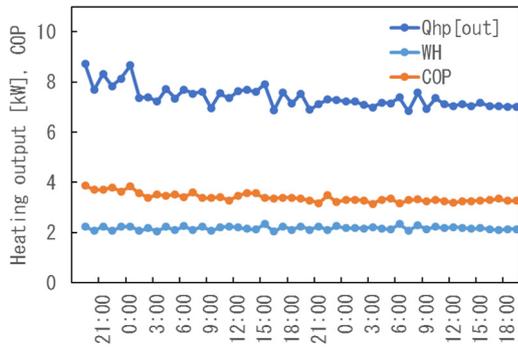


図-6 入出力と COP (No.0)

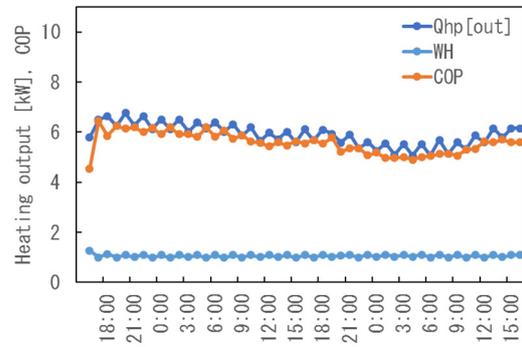


図-10 入出力と COP (No.9)

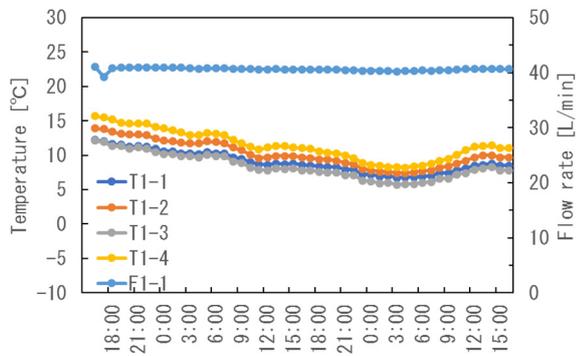


図-7 1次側循環水の温度と流量 (No.9)

### 3. 3 空気熱源による地中温度回復

図-11 はNo.9 と同条件で、外気温度がより高いNo.12 の1次側循環水トレンドである。外気温度の上昇する日中を中心に HP 出口温度 (T1-3) > GHEX 出口温度 (T1-1) となり、1次側循環水が地中で冷却 (地中を加熱) されていた。また、図-12 のとおり  $Q_{awhex}$  (空気からの採熱) は  $Q_{hp[in]}$  を上回り、余剰分を地中に放熱 (地中熱の回復) していた。LNG ガス化器は通年温熱負荷が必要となるため、地温の低下 (熱枯れ) が懸念されるが、AWHEX を組み合わせることによって、地中温度の回復効果が確認された。

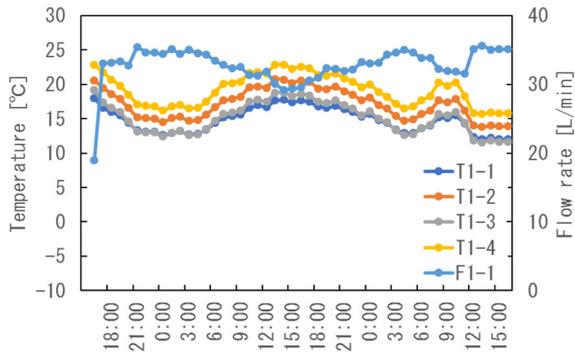


図- 11 1次側循環水の温度と流量 (No.12)

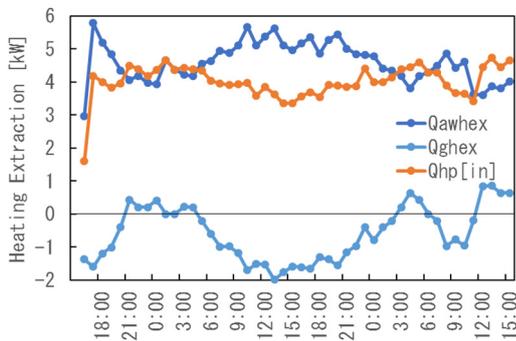


図- 12 地中、空気、HPからの採熱 (No.12)

### 3. 4 空気—水熱交換器のモデル化

表-2の条件で行った模擬負荷試験により、AWHEXのモデル化を行った。当該機は上部のファンが強制対流を促すことによって空気と流体との熱交換を行う。この熱交換のモデル化について熱移動経路は、管内流体と管との対流熱伝達、管内部の熱伝導、および管と空気との対流熱伝達があり、これらを総括した熱管流現象を扱うことでモデルが再現可能であるとする。従って、管内部流体温度と外気温度の差が AWHEX での採熱量と線形であるとして、線形回帰モデルを作成した。No.2-1の1次側循環水と外気温度差と採熱の関係を図-13に示す。No.2-1~3で得られた回帰直線の傾きと流量の関係から、流量、1次側循環水温度、外気温度をパラメータとするAWHEXの採熱推定式を得た(図-14)。なお、回帰分析に関して、温度差0で熱交換はなされないとし、切片は0とした。

表- 2 モデル作成用の試験条件

試験番号	平均熱媒流量 (L/分)	試験期間 (2018)
No.2-1	19.12	11.13-11.20
No.2-2	42.95	11.06-11.13
No.2-3	47.32	11.20-11.27

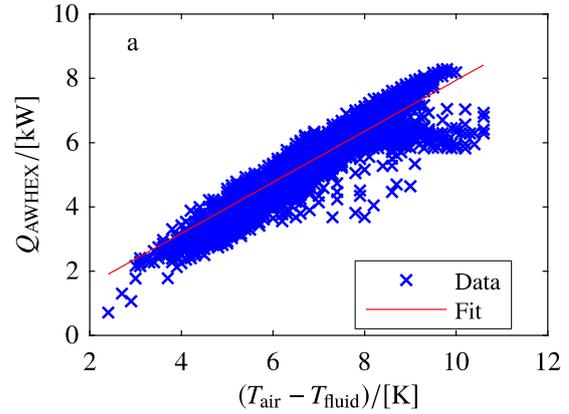


図- 13 空気-水の温度差と採熱量の関係 (No.2-1)

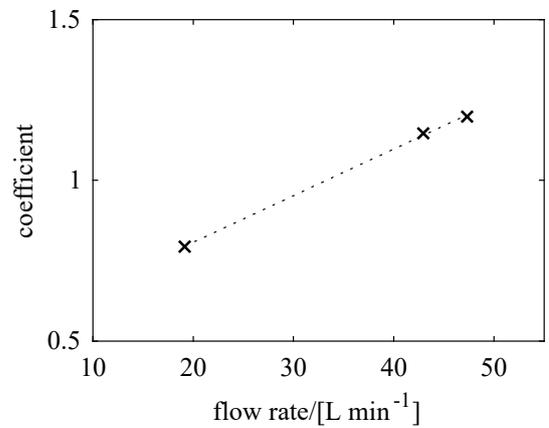


図- 14 流量に対する回帰モデル式係数

### 4. まとめ

通年で高効率運転が可能な地中熱ヒートポンプを活用した、LNG サテライト基地向けの気化システムを開発し、模擬負荷を用いた実証試験により以下を得た(空気-水熱交換器を用いた試験は端境期に実施)。

- ・気化用温水の低温水化による効率向上を確認した。
- ・熱源のハイブリッド化(地中、空気)による性能向上を確認した(COP:地中のみ 3.4→ハイブリッド 5.6)。
- ・外気温度が高い場合(〜25°C)、空気-水熱交換器からの採熱が大きくなり、地中への余剰分の放熱が確認された(熱枯れ防止効果)。
- ・実証試験をもとに、空気-水熱交換器の採熱推定式を作成した。

### 5. 参考文献

- 1) 濱田靖弘・長野克則・中村真人ほか: 積雪地における地下熱利用のための地中温度の予測に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.68, pp.361-370 (1998)

地中熱ヒートポンプをベースロードにした LNG 気化システムの開発と実証

(その3) 気候特性による月別と経年変化予測

○岡田真武, 竹内進, 宍戸淳 (東北電力), 赤井仁志 (福島大学 / 北海道大学), 葛隆生, 小司優陸, 査穎, 長野克則 (北海道大学), 石川光浩, 深井則博, 佐々木勇斗 (北海道電力) 八島裕一 (日本ガス開発), 谷藤浩二, 斎藤一成 (ゼネラルヒートポンプ工業)

Research and Development, Experimental Study of LNG Vaporization System with Ground Source Heat Pump and Air-Water Heat Exchanger, Part 3, Regional Characteristics of Ground Temperature Recovery by use of Hybrid Ground Source Heart Pump

Okada Manamu Takeuchi Susumu, Shishido Jun, (Tohoku Electric Power Co., Inc.), Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University), Katsura Takao, Shoji Yutaka, Zha Ying, Nagano Katsunori (Hokkaido University), Ishikawa Mitsuhiro, Fukai Norihiro, Sasaki Yuto (Hokkaido Electric Power Co., Inc.), Yashima Hirokazu (NIPPON GAS DEVELOPMENT CO., LTD), Tanifuji Koji and Saitou Kazunari (ZENERAL HEATPUMP INDUSTRY CO., LTD)

キーワード：地中熱利用ヒートポンプ, LNG 気化, 空気-水熱交換器, 再生可能エネルギー, 省エネルギー

1. はじめに

第1報及び第2報で述べたように, 液化天然ガス (LNG) の利用には, 一般に気化したガスを自己消費することにより再ガス化工程の温熱供給を行っており, 省エネルギー・省コスト化の観点からガスの自己消費量低減が求められている。本実証研究 (第1報~第3報) は再生可能エネルギーとして知られる地中熱ヒートポンプ (GSHP) を活用した気化システムを構築し, 高効率な LNG 気化を目指したものである。

GSHP は年間を通して温度が安定した地中を, 地中熱交換器 (GHEX) を介して熱源として利用するが, 大気のような対流は起こらないため温度分布の不均一が生じやすい。しかしながら LNG の気化では温熱のみが必要される。そのため, これを GSHP で熱供給する場合, 採熱過多により地中温度の低下, それに伴う運転効率の減少が懸念されるが, 空気-水熱交換器 (AWHEX) を導入したハイブリッド GSHP システムとすることで地中温度の回復が図れることを前報までに述べている。

本報ではシステムを複数の都市へ設置することを想定し, 各都市における導入効果について年間シミュレーション評価を行なった。

2. シミュレーション概要

シミュレーションツール<sup>1)</sup>を用いて AWHEX を導入した GSHP システムの年間シミュレーションを行い,

その結果をもとに必要な GHEX 本数と AWHEX の必要台数の算出を行った。また GHEX の採放熱量, AWHEX の採熱量, 地中温度や GSHP システムの性能の経年変化についての考察を行った。図-1 に計算対象とするシステムの概要を示す。GSHP からの供給温水温度は, 第1報にて 25°C程度の低温水でも十分に気化が可能であることが示されたため 25°Cと設定した。GSHP の定格出力は 50 kW と設定した。GHEX はボアホールシングル U チューブ型を使用するものとして, 長さは 100m とした。AWHEX は 100 L/min まで循環できるものとし, 採熱量は前報で紹介したモデルにより計算を行った。さらに制御について, 外気温度が GHEX 還り温度より低い

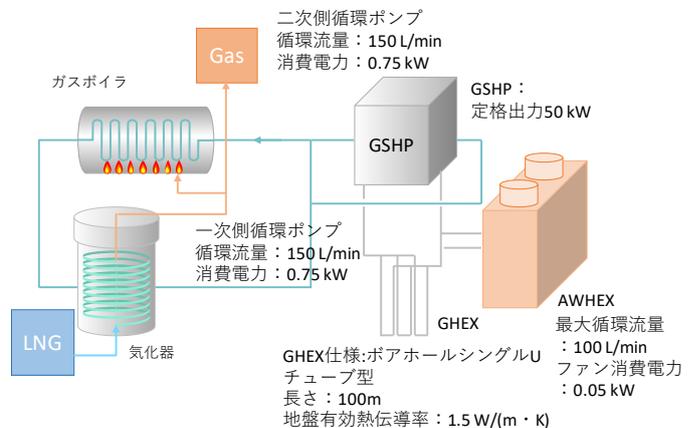


図-1 計算対象システムの概要

場合と、外気温度が5℃未満の条件ではAWHEXを介さず全流量がバイパス回路を通ることとした。一方で、気化の熱負荷が発生しない場合でも、外気温度がGHEX還り温度よりも高く、かつ5℃以上の場合には、地中温度を回復させるために、AWHEXを運転させることとした。

図-2に計算に用いたLNG気化の熱負荷とGSHPシステムの負荷を示す。熱負荷については実際の工場におけるLNG気化の熱負荷を用い、そのうち50kWまでをGSHPシステムにより賄うこととした。図-2に示す通りGSHPシステムの全負荷は、LNG気化の全負荷のうち約9%となる。LNG気化システムは表-1に示す5都市への設置を想定し、表-1に示す地中温度を与えた。外気温度は気象庁が公開する2018年の時刻別気象データを用いた。シミュレーションは5年間行い、熱媒の最低温度が表-1に示した許容値を上回り、さらに計算された全ボアホールの平均表面温度について、5年目の平均値が4年目の平均値と比較して、低下が0.1℃未満に収まるGHEXの本数とAWHEXの台数を決定した。計算結果の一例として、仙台における熱媒温度の時刻毎の変化を図-3に示す。

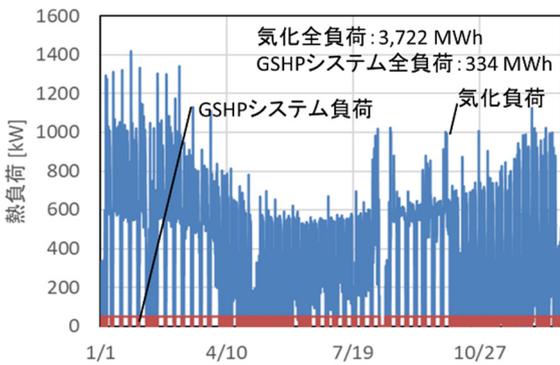


図-2 LNG気化とGSHPシステムの時刻別負荷

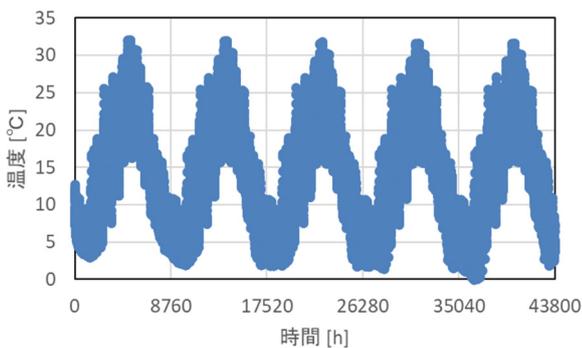


図-3 仙台における熱媒温度の時刻別変化

### 3. シミュレーション結果および考察

各都市におけるGHEXの本数とAWHEXの台数は表-1に示す通りであり、地中温度の高い都市GHEXの必要本数は少なくなった。一方で地中温度の高い都市ではAWHEXの必要台数が多くなる結果がみられた。

次に各都市における全ボアホールの平均表面温度(地中温度)の経年変化を図-4に、地中採熱量の経年変化を図-5に、AWHEXの採熱量の経年変化を図-6に示す。まず全ボアホールの平均表面温度については3年目まで低下しているが、それ以降の温度は安定し、運転5年目における温度は、札幌で約5.8℃、仙台で約10.6℃、新潟で約11.5℃、高松・福岡で約14.5℃となった。これは図-5に示す地中採熱量が1年目では大きいものの、地中温度の低下に伴い、図-6にAWHEXの採熱量が増大す

表-1 各都市の地中温度およびGHEX, AWHEX必要数

地域	ヒートポンプ入口温度許容値 [°C]	地中温度 [°C]	地中熱交換器必要本数	空気-水熱交換器必要台数
札幌	-5	10.40	18	10
仙台	0	14.00	18	10
新潟	0	15.00	17	10
高松	0	17.80	13	12
福岡	0	18.50	12	12

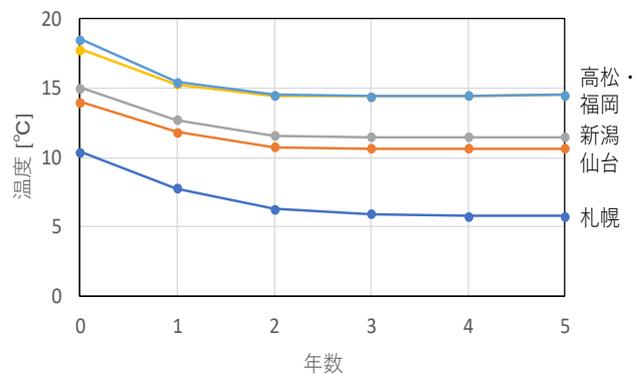


図-4 各都市におけるボアホール表面温度の経年変化

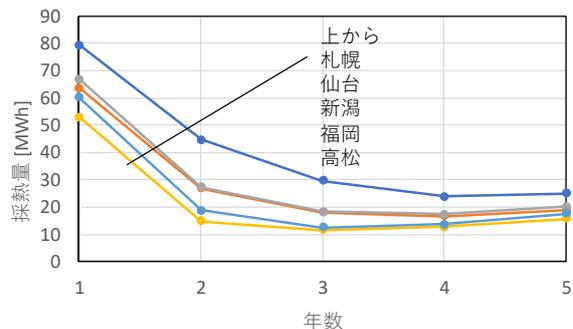


図-5 各都市における地中採熱量の経年変化

ることで、地中採熱量が減少していくためである。ここで、運転5年目における全ボアホールの平均表面温度の初期温度からの変化(A)と、5年目の年間採熱量をGHEX長さで除したもの(B)、さらにはそれらの比(A/B)をまとめたものを表-2に示す。表-2に示す通りA/Bの値は0.3前後となることが分かり、年間採熱量から温度変化をある程度予測できることが伺えた。

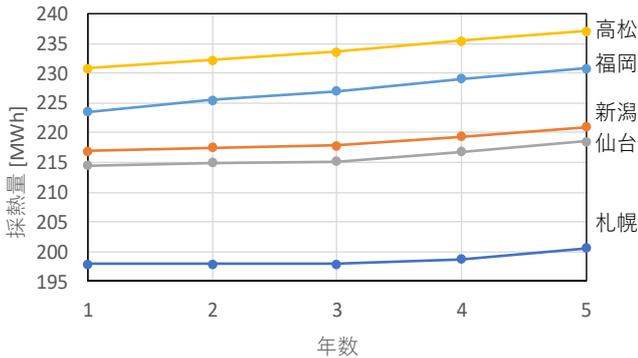


図-6 各都市におけるAWHEX採熱量の経年変化

表-2 ボアホール表面温度変化, 地中熱交換器採熱量

	札幌	仙台	新潟	高松	福岡
A. ボアホール表面温度変化(5年目) [°C]	4.64	3.36	3.54	3.30	3.98
B. 地中熱交換器採熱量(5年目) [MWh/m]	13.90	10.53	11.81	12.01	14.58
A/B	0.33	0.32	0.30	0.27	0.27

さらに札幌、仙台、福岡の三都市を対象として、月別の全ボアホールの平均表面温度(地中温度)、地中採熱量、AWHEXの採熱量の変化について考察を行った。それらを図-7~図-9に示す。まず、ボアホールの平均表面温度の変化については全都市で同じ傾向が見られ、冬に低下し、夏に上昇することが分かる。また、夏のボアホールの平均表面温度は初期地中温度よりも高くなる結果となった。これは図-8に示す夏季の地中採熱量がマイナス、つまりは放熱に転じるためである。図-8より夏季の放熱量は冬季の採熱量とほぼ同等となり、これにより地中温度の低下が抑制されているといえる。図-9のAWHEXの採熱量については、札幌・仙台は冬季にほぼ0となるが、福岡については1月でも5MWhの採熱量が得られており、GHEXの採熱量と合わせた全体の採熱量のうち約20%を占める結果となった。福岡は仙台と比較してGHEX総長が約33%削減できる結果となったが、初期地中温度が高いことに加えて、冬季のGHEXの採熱量が減らせることが理由と考えられる。最後に図-10に札幌、

仙台、福岡の三都市の月別のSCOP(=GSHP負荷/(GSHP消費電力+一次側循環ポンプ消費電力+AWHEXファン消費電力))の変化を示す。SCOPは冬季でも4.8~5.1の値が得られ、第1報のフィールド試験で得られた冬季の値(5.4)と同程度の値が得られる結果となった。また、年間平均では札幌で5.2、仙台で5.5、福岡で5.7といずれの都市でも高い値が得られ、本気化システムの低温送水による高い省エネルギー効果が期待できる結果を得ることができた。

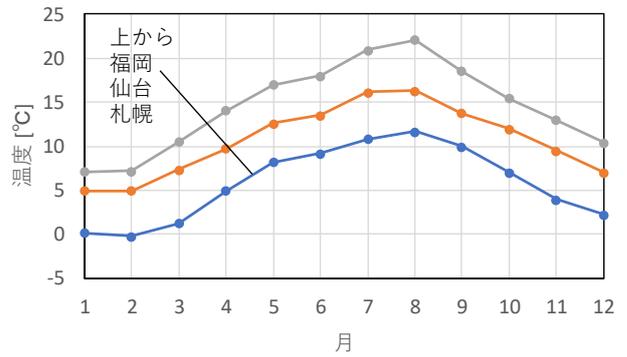


図-7 各都市におけるボアホール表面温度の月別変化

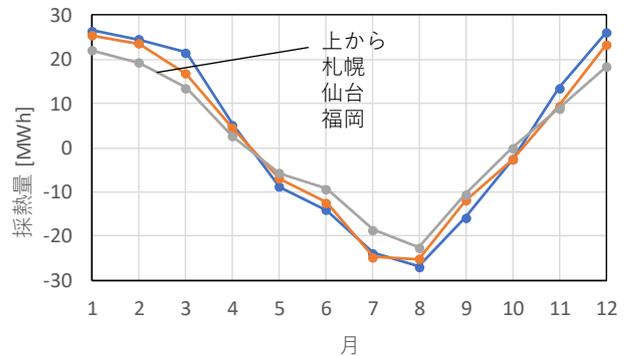


図-8 各都市における地中採熱量の月別変化

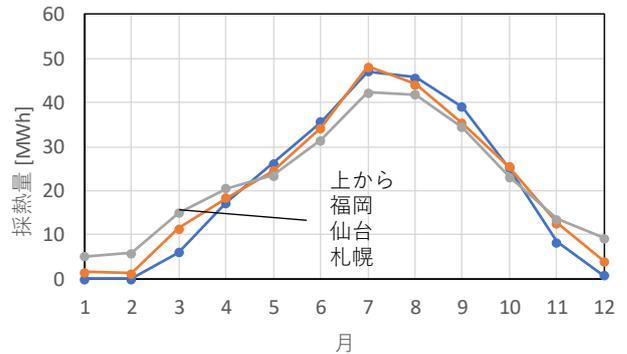


図-9 各都市におけるAWHEX採熱量の月別変化

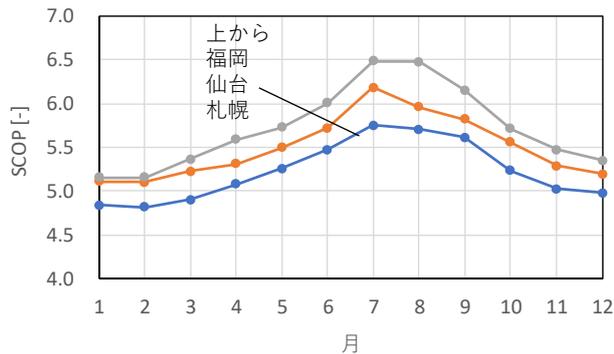


図-10 各都市におけるSCOPの月別変化

#### 4. まとめ

AWHEXを導入したGSHP気化システムについて、複数の都市への設置を想定した年間シミュレーションを行った結果、以下のことが分かった。

- ・ 地中温度によって必要なGHEX本数, AWHEX台数は異なり, 地中温度が高ければ必要なGHEX本数は少なく, AWHEX台数が多くなった。
- ・ 地中温度の低下に伴いAWHEXの採熱量が増大し, 地中採熱量が減少していく。また年間採熱量から地中温度の変化についてある程度の予測をすることが期待できる。

- ・ 夏季は冬季の採熱量と同等の放熱量が地中に対して発生し, 地中温度の低下が抑制される。
- ・ SCOPの年間平均は札幌で5.2, 仙台で5.5, 福岡で5.7といずれの都市でも高い値が得られた。

#### 参考文献

- 1) 長野克則・葛隆生葛隆生: 土壤熱源ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールに関する研究, 第1報, 単独垂直型地中熱交換器の設計・性能予測ツールの開発 空気調和・衛生工学会 論文集, No.101, pp.11-20 (2005)
- 2) 葛隆生・長野克則・武田清香: 土壤熱源ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールに関する研究, 第2報, 複数埋設管への設計・性能予測ツールの拡張 空気調和・衛生工学会 論文集, No.111, pp.43-51 (2006)
- 3) 葛隆生・長野克則・金田一清香・中村靖: 土壤熱源ヒートポンプシステム設計・性能予測ツールに関する研究, 第3報, 地中熱交換器の配管仕様に応じた温度計算手法とその応用 空気調和・衛生工学会 論文集, No.134, pp.1-10 (2008)
- 4) 濱田靖弘・長野克則・中村真人・永坂茂之・横山真太郎・落藤澄: 積雪地における地下熱利用のための地中温度の予測に関する研究, 空気調和・衛生工学会論文集, No.68, pp.361-370 (1998)

# B-9

## 自然エネルギーを活用した暖房パネルシステムの提案

○門脇汰晟（東北工業大学），水間幹也（同），阿部良我（同），許雷（同）

Proposal of Heating Panel System Using Renewable Energy Utilization—

Kadowaki Taisei (Tohoku Institute of Technology), Mizuma Mikiya, Abe Ryoga, Xu Lei

キーワード：自然エネルギー，暖房，パネル

### はじめに

近年、床暖房システムが多く使われている。主に新築やリフォーム時の工事に組み込むことで床暖房システムの初期費用が抑えられるが、後付け工事の際には費用がかかるほか、使用時の電気代或いはガス代もかかるのは現状である。また、災害時や非常時エネルギーの供給が困難になる場合、床暖房システムの利用が難しいと思われる。そこで、本研究では、自然エネルギーの活用を考え、暖房パネルシステムを提案する。

### 1. 研究内容

#### 1.1 研究提案

図1に暖房パネルシステムの構成を示す。暖房パネルシステムは主に、パネル、循環システム、ヘッダー、エネルギー源となっている。ポンプを使用した循環システムを用いて温水を循環させる。循環システムを動かすエネルギー源としてソーラーパネル付きモバイルバッテリーを使用する。温水の循環による放熱で暖房を行う。

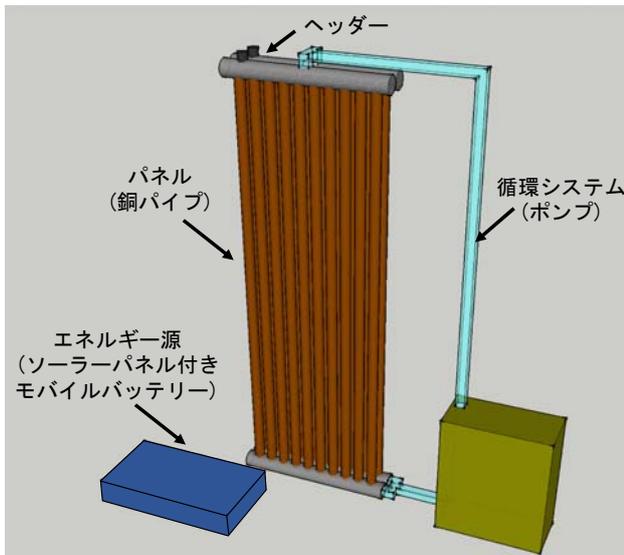


図-1 暖房パネルシステムの構成

#### 1.2 暖房パネルシステムの仕様

パネル部分は、銅パイプ（1000mm・φ22.22mm）10本が2層となっている。ヘッダーには塩ビ管、下部にはアクリル管を使用している。エネルギー源のソーラーパネル付きモバイルバッテリーは10W単結晶のソーラーパネルが2枚付属している。循環システムとしてはDCウォーターポンプ、ホース、一斗缶を使用する。太陽エネルギーの活用で温水を製造することを考えている。

#### 1.3 実測概要

##### 1.3.1 実測内容

ソーラーパネル付きモバイルバッテリーの冬季における日射量と充電量、循環システムのポンプ稼働時の放電時間、脱衣所における暖房パネルの室内温度変化を計測する。

##### 1.3.2 計測ポイントの分布と計測機器

モバイルバッテリーの計測には、日射計、温湿度計を使用し、10分間隔で計測する。暖房パネルシステムの計測には、脱衣所内に熱電対を北、中央、南の高さ方向3点（0m、1m、2m）の9地点設置し、1分間隔で計測した。データロガーにてデータを保存する。計測ポイントの分布を図2に示す。

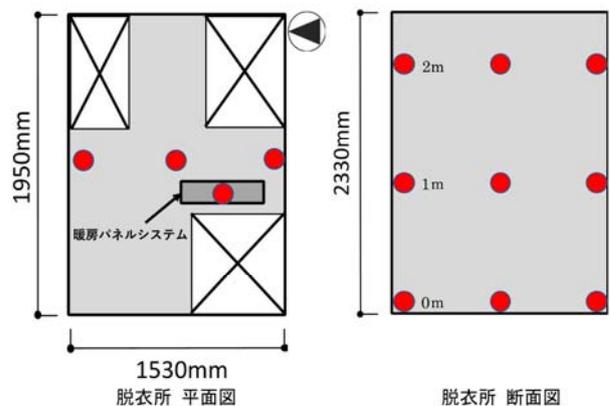


図-2 計測ポイントの分布

2. 実測結果

2.1 モバイルバッテリーの充放電量

実測期間中季節ごと1日の実測データを抽出し、モバイルバッテリーの実測結果を表1に示す。

表-1 日射量とモバイルバッテリーの充電量

	11月	12月	1月
水平面の平均全天日射量 W/m <sup>2</sup>	273	206	260
充電量(1時間あたり)	3.2%	1.6%	1.8%
1日の充電量	19%	10%	11%

モバイルバッテリーの充電残量 0%から開始し、計測時刻10時から16時までの充電量を計測した。

12月、1月の充電量は11月の約半分程度となっている。日射量が少ない冬季に太陽光で充電するとなると、限られた日照条件でしか充電できないことが分かった。

また、ポンプ稼働時の放電時間は充電量 100%からポンプを稼働させ、9時間30分となった。室内で連続使用は可能であることが分かった。

2.2 暖房パネルシステム

脱衣所では、0m、1m、2mと高さが上がっていくごとに温度が高くなっている。温水温度40℃の最高温度は0m平均で18.3℃、1m平均で21.1℃、2m平均で23.7℃となっている。室内温度は計測開始時から平均2.1℃上がった。

温水温度50℃の最高温度は0m平均で19.5℃、1m平均で22.8℃、2m平均で26.2℃となっている。室内温度は計測開始時から平均2.7℃上がった。脱衣所での実測結果を図3~4に示す。

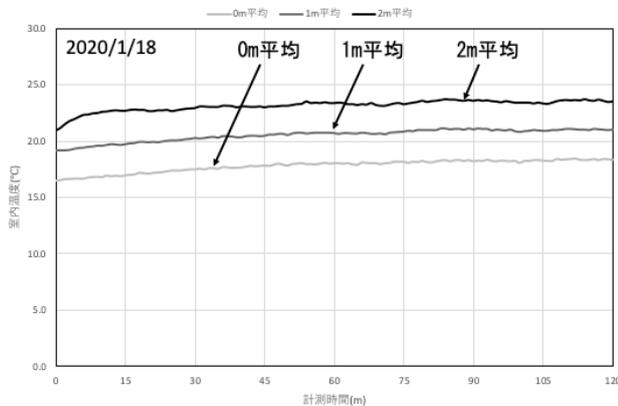


図-3 脱衣所(温水温度 40℃)の温度推移

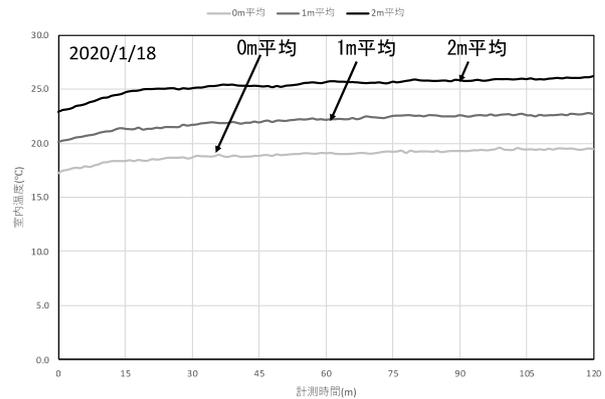


図-4 脱衣所(温水温度 50℃)の温度推移

3. まとめと今後の展望

ソーラーパネル付きモバイルバッテリーの実測は自然エネルギーでポンプを稼働できることが分かったが充電までに時間がかかるため、外付けソーラーパネル等を活用した方が良いと感じた。暖房パネルシステムの実測から、脱衣所のような狭い空間における暖房パネルシステムの利用は可能であると考えられる。

展望として、暖房パネルシステムは災害時などに使用する段ボールで区切られた空間などに応用可能であると感じられた。また、安全性を考慮して、温水の温度を現在より低くした状態で室内環境を快適にする方法を考える必要がある。

また、温水を自然エネルギーで作成可能にすることで、自然エネルギーを活用できる。その方法として、太陽熱温水器やヒートパイプ<sup>2)</sup>を活用できると考えられる。ヒートパイプは一端を加熱すると低温部へと作動液の蒸発により低温部が温められるものである。このような機能を持ち合わせたものを太陽光などと組み合わせれば、熱源として利用できるだろうと思われる。

参考文献

- 1) RENOGY JAPAN 株式会社, RENOGY PHOENIX, <https://www.renogy.com/the-phoenix-portable-solar-generator-with-built-in-20w-solar-panel/> (2019/10/10 参照)
- 2) 株式会社 エヌ・テック: ヒートパイプの性能について, <http://www.ntec-fec.com/product/heatpipe.html> (2019/10/13 参照)

## B-11

### 再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保（その2）

○ 矢崎 稜馬（北海道大学）、赤井 仁志（福島大学 / 北海道大学）、

濱田 靖弘（北海道大学）、土山 紘平（北海道大学）

#### Discussion about Ensure Safety and Sanitation of Potable Water for Renewable Energy Heat Utilization, Part 2

Yazaki Ryoma(Hokkaido University)

Akai Hitoshi(Fukushima University/Hokkaido University)

Hamada Yasuhiro, Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University)

キーワード：クロスコネクション、「再使用の禁止」

#### はじめに

RE100の影響を受け、建築設備分野でも石油や石炭による熱の生成から、再生可能エネルギー由来の電力によるヒートポンプの利活用にシフトしている。再生可能エネルギーの進んだドイツでは、電力を熱に転換して利用する Power to Heat が進んでいる。

供給側の原子力や火力発電所は稼働・停止に時間を要するし、太陽光や風力発電は制御しづらい。スマートグリッドやデマンドレスポンスの技術を活用することで、需要側で運転制御と稼働・停止の柔軟性が高いヒートポンプや電気ヒータの積極的な導入により、再生可能エネルギー由来の電力の出力制御を回避できることに繋がる。

ヒートポンプ熱源として、空気熱から排熱・余熱・太陽熱・ヒートポンプ等を組み合わせた多熱源の利用に進んでいることから、クロスコネクションや給湯の「再使用の禁止」に抵触するシステムの導入が懸念される状況にある。

前報で、材料からの有害物質の侵出や逆圧・逆サイホン等を含めた上水の汚染に対する文献調査と考察を行った。本報と次報で、上水汚染に対する規準・規程等の背景を考察するとともに、文献や書籍等に記載された抵触すると考えられる「再使用の禁止」やクロスコネクションを中心としたシステムを提示して、大会で論議したいと考えた。また、前報<sup>1)2)</sup>の内容がわかりにくいと指摘されたことから、新たに解説を試みたい。

#### 1. 『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』と『内線規程』との認知度の格差

『空気調和・衛生工学』に掲載になった小川正晃著「知られざる規準 SHASE-S 206」<sup>3)</sup>の通り、空気調

和・衛生工学会規格『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』は、空気調和設備や給排水衛生設備分野の実務者・研究者の中の限られた方にのみ知られているように予想する。これに対して、同じ建築設備分野の『内線規程』<sup>4)</sup>は、建築電気設備に携わる多くの方に認知され、活用されている。まず、この格差を、制定の背景と経緯から推測と考察を行う。

#### 1.1 『内線規程』制定の概要、背景と経緯等

##### (1) 『内線規程』の概要

『内線規程』は、建築電気設備工事の標準化や安全な施工に関する民間の自主規格である。電気事業法に基づく経済産業省省令『電気設備に関する技術基準を定める省令』に則り、具体的な指標を示した工事方法や維持、実務などについて定めている。電気需要場所での電気設備の保安を確保することを目的として作成されたもので、設計、施工ならびに調査（検査）についての技術的な事項を包含している。『内線規程』は、電気工事者の施工マニュアルとして広く活用されている。

##### (2) 『内線規程』制定の背景と経緯

『内線規程』の前身は、1888年（明治21年）に東京電燈會社が『取付規則』を作成したことに始まる。その後、東邦電力や日本電力などの電力会社が、個々の規則として定めて運用してきたとされている。1924年（大正13年）5月1日に、東京電燈株式會社の『内線規程 初版』（東京電燈出版）が発行する。これは、『電気工作物規程』を制定してから5年後に、電気工事の社内基準として発行した。

第二次世界大戦後、1949年（昭和24年）12月29日に、『電気工作物規程』（通信省令第76号）が大幅に改訂した。1952年（昭和27年）頃に、各電力会社

の『内線規程』の統合が始まる。1954年(昭和29年)4月1日に、『電気工作物規程』(通商産業省令第13号)を新規に制定する。

1964年(昭和39年)7月、新たに電気事業法が制定する。これを受け、『電気工作物規程』は廃止となる。1965年(昭和40年)6月15日、『電気工作物規程』の大部分を継承して、『電気設備に関する技術基準を定める省令』(通商産業省令第61号)を制定する。

1968年(昭和43年)11月25日に、社団法人日本電気協会が『内線規程 第1版 JEAC 8001-1968』を発行する。これ以後の編纂等は東京電力㈱から、社団法人日本電気協会 電気技術基準調査委員会に移管して、1996年(平成8年)まで継続する。日本電気技術規格委員会規格として、最新版は、一般社団法人日本電気協会 需要設備専門部会の編纂で、電気技術規程使用設備編『内線規程 第13版 JEAC8001-2016』として、2016年(平成28年)9月30日付けで発行している。旧・一般電気事業者(電力会社)ごとに、別の付録が付いている。

### (3) 『内線規程』の法的な根拠

これらの法的な根拠は、電気事業法(昭和39年法律第170号)である。一般住宅家庭や小規模な店舗、事務所などの他、受電能力50kW未満の一般用電気工作物は、電気事業法第57条で、保安の最終責任は所有者または占有者に存在していることに併せて、電気を供給する者または登録調査期間に調査する義務を課している。50kW未満を除く高圧と特別高圧で受電する電気事業用以外の電気工作物は、自家用電気工作物に分類される。自家用電気工作物に対しては、技術基準に定めるところに従い、電気工作物を正常な状態に維持しなければならない義務を電気事業法第42条で課している。<sup>4)</sup>

## 1.2 『給排水衛生設備規程・同解説』制定の背景と経緯等

### (1) 米国での Plumbing Code 制定の背景と経緯

1870年(明治3年)、アメリカ合衆国ワシントン市で『給排水設備規程』(Plumbing Code)が、単独の法規として制定する<sup>5)</sup>。1923年(大正12年)、後に第31代大統領に就く Herbert Clark Hoover が第3代商務長官のときに、『BH-2 住宅および類似の建物の給排水設備に関する勸奨最低要項』を発表する。この序文で Hoover は、「建物内の給排水は必ずしも一定の規格は造り得ないにしても、その最小限度を規定して市民の生活の安全を期することは必要欠けべからず問題であ

る」と記した<sup>6)</sup>。

商務省は再度委員会を設置して、完成したものが1928年(昭和3年)の『BH-13 給排水設備に関する勸奨最小要項』で、最終的に1932年(昭和7年)に最終報告書として、本文と補足文をまとめた。この一連のものが“Hoover’s(Plumbing) Code”と呼ばれる。これが、アメリカ合衆国各州と大都市の建築条例の規程となる。1930年(昭和5年)に Hoover は、「一般建築を対象とする”Hoover’s Building Code”も作成した。

### (2) “Hoover’s Code”の日本への紹介

日本では、1927年(昭和2年)に早稲田大学建築学科の大澤一郎助教授が、日本建築学会誌『建築雑誌』(第42巻第515号)に「住宅及びこれに類する建物に対する衛生工事条例」を執筆した。これは、“Hoover’s Code”の原形を衛生設備の設計・施工の規程として日本に初めて紹介、多くの技術者に活用された。また、翌1928年(昭和3年)には「フーバースコードに表れたる小住宅の衛生工事標準配管」を『建築雑誌』(第42巻第516号)に発表している。「住宅及びこれに類する建物に対する衛生工事条例」は、1928年(昭和3年)8月の『衛生工業協会誌』(第2巻第8号)にも掲載になった。

空気調和・衛生工学会の前身・社団法人衛生工業協会の『衛生工業便覧(初版・昭和8年版)』は、1934年(昭和9年)3月20日に刊行した。大澤一郎氏は、“Hoover’s Code”の全文の翻訳文を1942年(昭和17年)刊行の『衛生工業便覧(第3版・昭和17年版)』と、1948年(昭和23年)発行の『衛生工業便覧(第4版・昭和23年版)』に掲載した。

### (3) 日本での Plumbing Code 制定の背景と経緯

Plumbing Code に関して、日本では、空気調和・衛生工学会の前身・衛生工業協会が、法的な規程がないとは言え、無法のままに衛生設備を放置するのは忍びないとして、国情に即した規程の必要性を痛感する。1934年(昭和9年)9月、米元晋一氏を委員長に、衛生工事施工取締規定立案委員会を発足する。1939年(昭和14年)7月12日に『衛生設備施工規程および同解説』を制定して、同年11月に『衛生工業協会誌』(第13巻第11号)に発表した。

この規程と解説の全文を、1942年(昭和17年)の『衛生工業便覧(第3版・昭和17年版)』と、1948年(昭和23年)の『衛生工業便覧(第4版・昭和23年版)』に掲載する。

1931年(昭和6年)5月、米元氏は、大澤一郎氏と

の共著で、「排水通気及び洗滌用鉛管規格制定について」を『衛生工業協会誌』（第5巻第5号）で発表した。1933年（昭和8年）には、土木学会副会長に就いたこともあり、衛生工業協会の衛生工事施工取締規定立案委員会委員長に任ぜられたと推測する。

このことは、例えば『衛生工業便覧（第5版・昭和27年版）』は7編・43章で構成されているが、第2編は衛生（給水、給湯、消火汚水処理、器具設備）、第4編は上下水道である。第二次世界大戦後でも『衛生工業便覧』に上下水道の章立てがされており、衛生工業協会が上下水道分野も包括していたと推察する。このことから、土木技術者として著名な米元氏を、衛生工業協会が立案しようとした日本版 Plumbing Code の委員長としたことに不自然さはないと考えられる。

### 1.3 考察

#### (1) 電力会社の電気供給約款の一部としての『内線規程』

電気設備でも、例えば、防火区画貫通部のケーブルの処理は建築基準法、危険物取扱所や消防設備は消防法などの関連法規を遵守する必要がある。しかし、法的な根拠の大部分は経済産業省の法令に基づく。『内線規程』は、電力会社が規則を定めたことから進展した。現在でも、民間の自主規格でありながら、旧・一般電気事業者（電力会社）の電気供給約款の工事や保守の部分は、『内線規程』に基づくように運用されている。

#### (2) アカデミック・スタンダードとしての『給排水衛生設備規準・同解説』

『給排水衛生設備規準・同解説』の原点は、空気調和・衛生工学会の前身・衛生工業協会が制定した『衛生設備施工規程および同解説』に辿り着く。『内線規程』同様、民間の規準である。『SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説』<sup>5)</sup>の「序」にあるように、法的な拘束力はない。このことが、『給排水衛生設備規準・同解説』が、世に知られていない要因の一つとも予想する。

『給排水衛生設備規準・同解説』が、法的根拠が希薄なのは、水道本管に直結する部分は水道法、直結しない受水槽以降は建築基準法という二つの法律に跨がっていることも要因と考えられる。水道法は厚生労働省、建築基準法は国土交通省が所管する法律であることも、法的な拠り所になりにくかったとも予想する。

1975年（昭和50年）の給排水設備の技術基準に関する建設省告示第1597号の制定を受けて、翌1976年（昭和51年）に財団法人日本建築センターが『給排

水設備技術基準・同解説』を編集、発行した。『給排水設備技術基準・同解説 2006年版』<sup>7)</sup>には、建築基準法施行令第129条の2の5（給水、排水その他の配管設備の設置及び構造）の解説もある。『給排水設備技術基準・同解説』の発行により、空気調和・衛生工学会の『給排水衛生設備規準・同解説』は、アカデミック・スタンダードという位置づけになった。

## 2. 「再使用の禁止」からクロスコネクションへ

### (1) 「再使用の禁止」に対する考察

前報を発表した際、再使用の禁止に対して様々な質問や意見が寄せられた。『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』の2009年版の上水給水設備と給湯設備の解説文の「装置の冷却、加熱、洗浄及びその他の一定目的に使用された水は、既に上水としての必要条件を満たしていないおそれが強い場合、上水の給水系統への再使用を禁じたものである。」に洗浄が含まれている。このことから、解説文は閉回路での再使用を指しているのではなく、水栓等から大気に放出して、洗浄に使った水を回収して給水や給湯に再使用していると読み取られるという指摘を受けた。いったん給水や給湯の回路から開放した水を収集して、そのまま再使用するの、当然、禁止すべきで理にかなっていないという見解もあった。

SHASE-S206の2000年版の解説文では、「装置の冷却・加熱などのコイルを通過した水は、コイルの材質の溶出やコイルに穴が開いた場合、汚染のおそれがある。このように一定目的に使用された水は、すでに上水としての必要条件を満たしていない可能性が強いため、主に飲用に用いられる上水の給水系統への再使用を禁じたものである。」と記してある。このことから、再使用の禁止の解説文は、密閉回路のことを指していると説明した。これに対して、2009年版の洗浄は、どのような状況やシステムを指すのかという再質問があった。2009年版に洗浄を入れたことで、事例はあるにしても、わかりにくくなった。

### (2) クロスコネクション

水道法第16条で「水道事業者は、当該水道によって水の供給を受ける者の給水装置の構造及び材質が、政令で定める基準に適合していないときは、供給規程の定めるところにより、その者の給水契約の申込を拒み、又はその者が給水装置をその基準に適合させるまでの間その者に対する給水を停止することができる。」と定めている。これを受けて、水道法施行令（昭和32年政令第336号）第5条で「法第16条の規定による

給水装置の構造及び材質は、次のとおりとする。」として、第6号で「当該給水装置以外の水管その他の設備に直接連結されていないこと。」として、クロスコネクションを禁止している。

建築基準法による建築基準法施行令(昭和25年政令第338号)第129条の2の5第2項で、「建築物に設ける飲料水の配管設備(水道法第3条第9項に規定する給水装置に該当する配管設備を除く。)の設置及び構造は、前項の規定によるほか、次に定めるところによらなければならない。」とあり、第1号で「飲料水の配管設備(これと給水系統を同じくする配管設備を含む。この号から第3号までにおいて同じ。)とその他の配管設備とは、直接連結させないこと。」としている。建築基準法施行令の解説書として位置づけられている『給排水設備技術基準・同解説 2006年版』には、「『直接連結させないこと』とは、単に流体力学的に間接的であることを要求しているのではなく、水の逆流に足る措置が講じられていることを要求している」とある。

『SHASE-S206-2009』では、「1. 基本事項」や「2. 用語の分類と定義」でクロスコネクションを記述している。クロスコネクションの用語の定義として、「上水の給水・給湯系統とその他の系統が、配管・装置により直接接続されることをいう。」と記載している。

### 3. 事例による「再使用の禁止」を「クロスコネクション」の適応への置き換え①

前報に記した通り、「再使用の禁止」は、空気調和・衛生工学会刊行の書籍でも『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』のみに記載があるだけである。前報で、「再使用の禁止」をクロスコネクションに当てはめることを検討したと記したので解説する。「知られざる規準 SHASE-S 206」<sup>3)</sup>でも分けて記載している通り、「再使用の禁止」とクロスコネクションは別ものという捉え方が基本であり、原則と考えている。クロスコネクションは、熱交換器等を介さない飲料水の配管設備とそれ以外の配管設備を直接連結すること。「再使用の禁止」は、熱交換器等を介して他の目的に使用した水を上水系統の配管設備に連結する概念だと解釈する。

図-1と図-2は、同じ図である。この図を「再使用の禁止」の概念で、図-1を使い説明すると、「床暖房や浴槽昇温装置の加熱の目的のために使用された温水①を、上水の給湯系統②に再使用した。」となる。同じシステムを使ってクロスコネクションの概念で、図-2を使い説明すると、「上水の給湯系統とその他の系統である温水系統が、給湯系統の装置の貯湯槽でその他の系

統の温水管と直接接続されている。」となる。

『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』のみに記載のある「再使用の禁止」の概念でなく、水道法や建築基準法の法令違反となるクロスコネクションとして判断することは、ひとつの提案であって正論ではない。

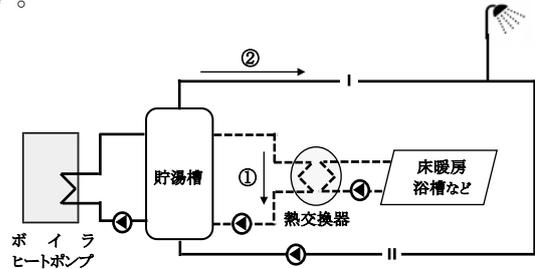


図-1 「再使用の禁止」で説明するための図 8)を編集

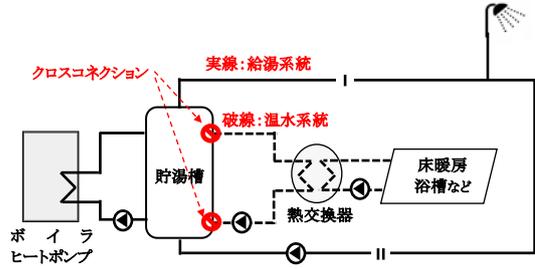


図-2 クロスコネクションで説明するための図 8)を編集

### 参考文献

- 1) 赤井仁志・長谷川巖・土井章弘・中島 一義ほか: 再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(第1報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第1巻、pp.41~44、(2018-9)
- 2) 赤井仁志・長谷川巖・土井章弘・中島 一義ほか: 再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(第1報)、空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集、pp.117~120、(2019-3)
- 3) 小川正晃: 知られざる規準 SHASE-S 206、空気調和・衛生工学、pp.29~33、(2016-10)
- 4) 日本電気協会 需要設備専門部会(編): 内線規程 第13版 JEAC8001-2016、pp.3~11、日本電気協会、(2016)
- 5) 空気調和・衛生工学会(編): 空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説、序、pp.3~4、pp.18~24、pp.62~63、p.77、pp.299~303、丸善、(2009)
- 6) 大澤一郎先生生誕百年記念会(編): 橄欖の若葉かざして、建築設備工学のパイオニア・大澤一郎、序、p.48、pp.53~56、pp.79~82、pp.88~97、pp.104~109、pp.204~211、pp.219~223、関東学院大学燎葉建築設備会、(1992)
- 7) 建築研究所 日本建築行政会議(編): 給排水設備技術基準・同解説 2006年版、まえがき、pp.33~36、p.109、日本建築センター、(2006)
- 8) 土井章弘: 給湯の「再使用の禁止」、給湯設備の計画・設計法、空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会報告書、pp.5~7、(2019-3)

## B-12

### 再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保（その3）

○ 土山 紘平（北海道大学）、赤井 仁志（福島大学/北海道大学）、  
濱田 靖弘（北海道大学）、矢崎 稜馬（北海道大学）

#### Discussion about Ensure Safety and Sanitation of Potable Water for Renewable Energy Heat Utilization, Part 3

Tschiyama Kohei (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima / Hokkaido University),  
Hamada Yasuhiro (Hokkaido University), Yazaki Ryoma (Hokkaido University)

#### はじめに

前報で、空気調和・衛生工学会規格『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』独自の「再使用の禁止」の概念を、法律で規制されているクロスコネクションに置き換えて、システムの違反を判断する方法を提案した。賛否はあるものの一つの事例を用いて説明したが、さらに本報で、1事例を挙げる。

家庭用ヒートポンプ給湯機（エコキュート）の製品と類似したシステムを組んだ場合、「再使用の禁止」、あるいはクロスコネクションに抵触すると考えられることもあり、解説を行う。また、同様の事例を提示して、大会で論議することにしたい。

#### 1. 事例による「再使用の禁止」を「クロスコネクション」の適応への置き換え②

第1報で、同じシステムであっても目的が異なると、「再使用の禁止」に抵触する場合と、必ずしも抵触すると言い切れない場合があることを記載した<sup>1)2)</sup>。前報の「3. 事例による『再使用の禁止』を『クロスコネクション』の適応への置き換え①」同様、第1報の記述ではわかり難いという指摘があり、新たに解説を試みる。前報の主旨の通り、この適応の置き換えは法的な根拠を求められた場合の苦肉の説明の仕方、「再使用の禁止」とクロスコネクションは別ものという捉え方が基本であり、原則と考えている。

図-1～図-4は、同じ図で、空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会の成果報告書『給湯設備の計画・設計法』からの引用である<sup>3)</sup>。何れも、熱交換器1次側に70℃の温泉水があり、これを冷却して40℃で浴槽に供給する。熱交換器2次側では、5℃の給水を温泉源泉水で予熱してボイラに供給するシステムを構成している。

給湯系統に給水する上水を使って温泉温度調整槽を冷却することを、「再使用の禁止」の概念で図-1を説

明すると、つぎのようになる。「70℃の温泉源泉を冷却の目的のために使用された冷却水①を、上水の給湯系統②に再使用した。」となる。

同じシステムを使ってクロスコネクションの概念で、図-2を使い説明する。「上水の給湯系統とその他の系統である冷却水系統が、貯湯槽の入口手前で給湯系統の配管と直接接続されている。」となり、クロスコネクションを形成している。

このように、『SHASE-S206 給排水衛生設備規準・同解説』のみに記載のある「再使用の禁止」の概念でなく、水道法や建築基準法で違反としているクロスコネクションに置き換えることもできなくもない。

つぎに、同じシステムでも熱交換器の2次側からの視点からだと、問題にならないと考えている。「再使用の禁止」とならないことを図-3で説明すると、「5℃の受水槽内の上水の給水①を、同じ上水の給湯系統②に使用した。」となる。

同じシステムを使ってクロスコネクションとならないことを、図-4を使い説明する。「上水の給湯系統と同じ上水の給水系統が、貯湯槽の入口手前で直接接続されている。給湯系統も給水系統も上水であるので、クロスコネクションとはならない」となる。

このように、法令に抵触しないことも、クロスコネクションの捉え方で説明できるようにも考えている。

しかし、捉え方次第で、「再使用の禁止」やクロスコネクションになったり、ならなかったりする。このような事例の場合、どのように判断すべきか、意見や見解、知見をいただきたい。

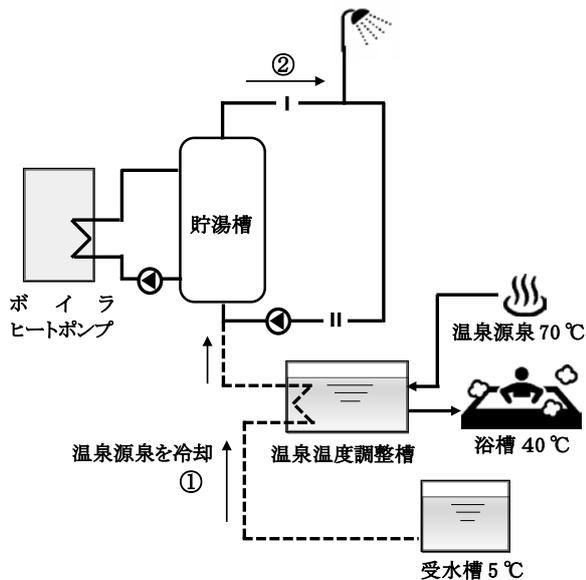


図-1 温泉源泉を冷却した水を給湯に使用することを「再使用の禁止」で説明するための図 <sup>3)</sup>を編集

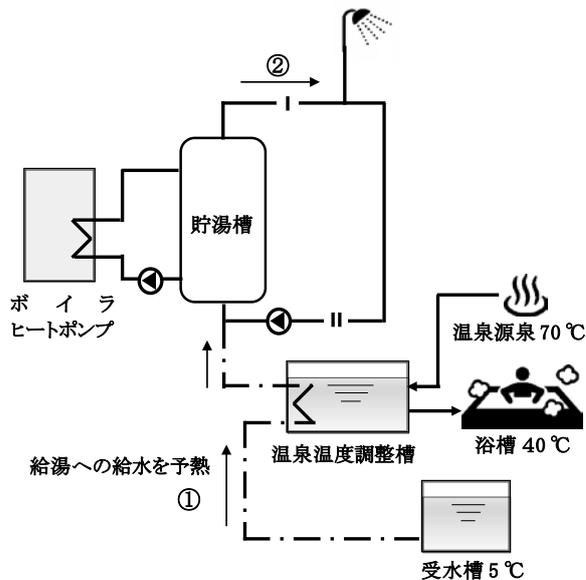


図-3 温泉温度調整槽での予熱が「再使用の禁止」に抵触しないことを説明するための図 <sup>3)</sup>を編集

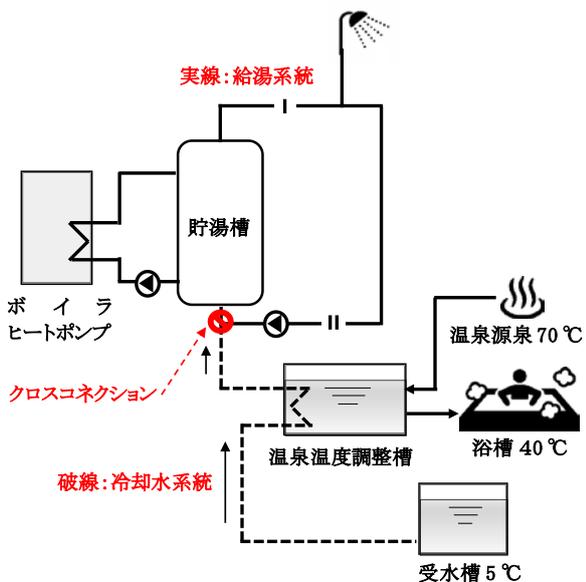


図-2 温泉源泉を冷却した水を給湯に使用することをクロスコネクションで説明するための図 <sup>3)</sup>を編集

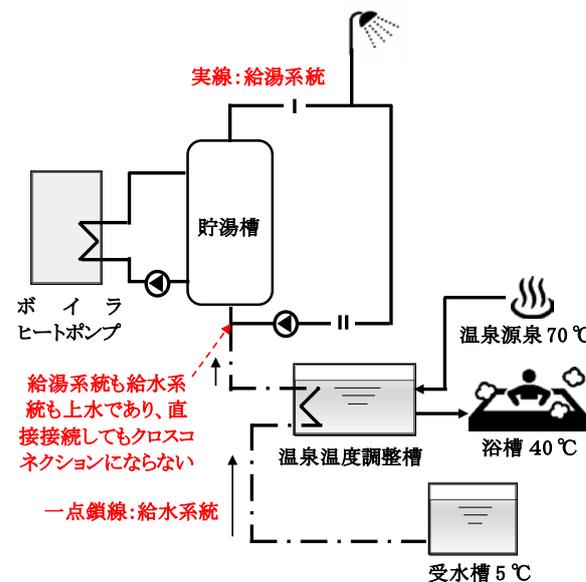


図-4 温泉温度調整槽での予熱がクロスコネクションに抵触しないことを説明するための図 <sup>3)</sup>を編集

## 2. 浴槽・クアプールの加熱熱源を給湯にしたシステム

本項と次項は、原則である「再使用の禁止」の捉え方でなく、窮余の策としてのクロスコネクションとして解説する。

本システムは、ある業務用給湯システムの設計ガイドブックに掲載されたものである(図-5)。

空気熱源ヒートポンプで加温された湯が、貯湯槽に貯まる。貯湯槽の湯は、シャワーや水栓等の一般給湯に供給されている。一方で、貯湯槽の湯を温水管で男子浴槽と女子浴槽、クアプールの熱交換器に循環させて昇温している。「上水の給湯システムとその他のシステムであ

る浴槽・クアプールを昇温する温水システムが、給湯システムの装置の貯湯槽でその他のシステムの温水管と直接接続されている。」ことから、クロスコネクションを形成するシステムと捉えることもできる。

2018年1月に出版した設計ガイドブックの第4改訂版を上梓する前の2017年8月の草稿には、いったん図-6が掲載されていた。この時点で、クロスコネクションを解消したシステムが載っていた。しかし、翌年1月に出版した設計ガイドブックでは、第3改訂版までの図を継承した図-5に差し替えられて掲載になった。

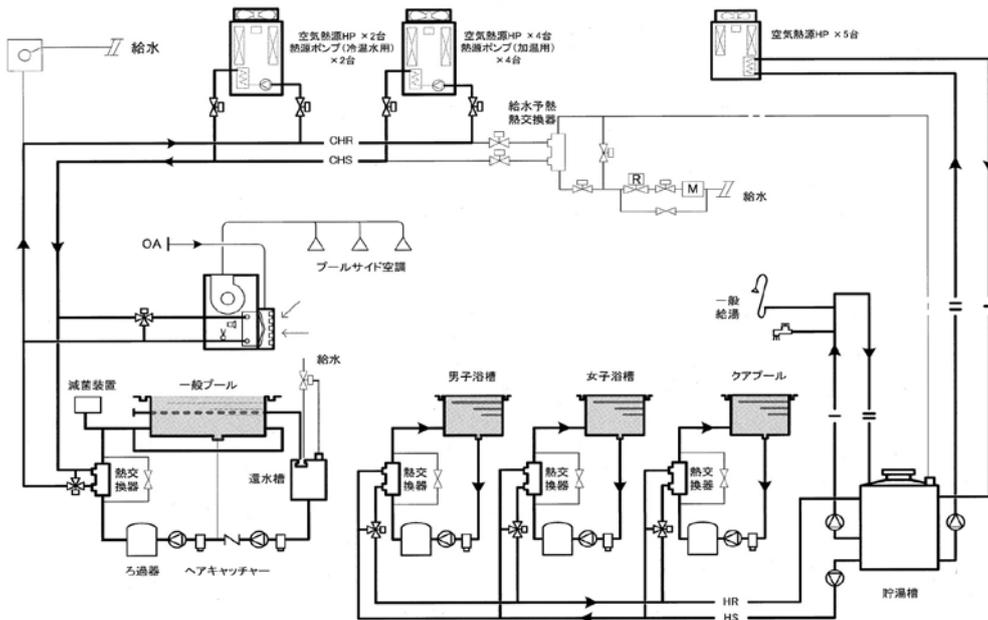


図-5 クロスコネクションに抵触する浴槽・クアプールの加熱熱源を給湯にしたシステム 7)8)9)

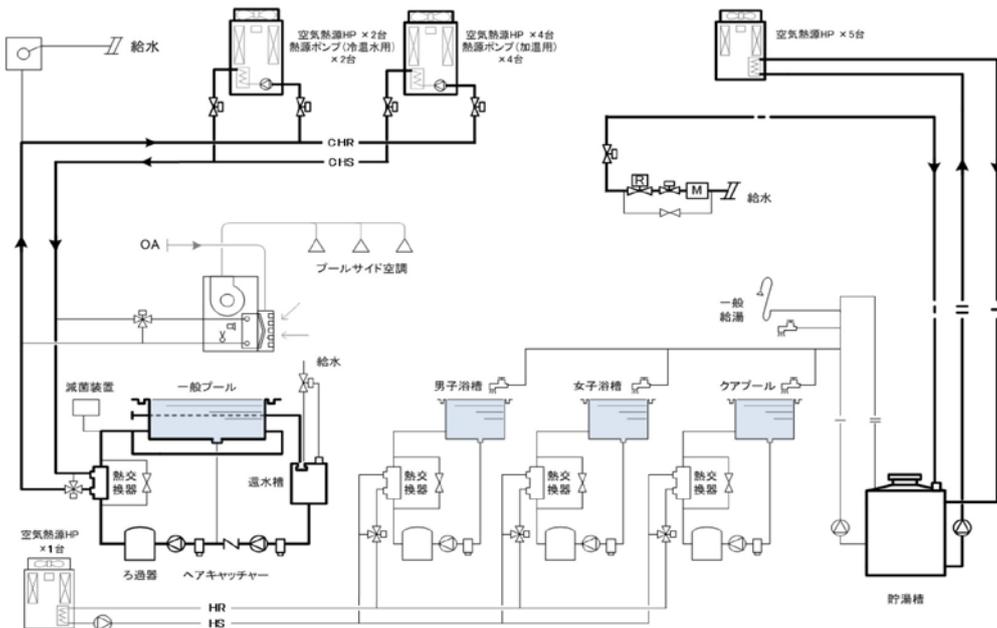


図-6 クロスコネクションを解消した浴槽・クアプールの加熱熱源システム

### 3. 住宅用ヒートポンプ給湯機（エコキュート）に類似した業務用の給湯システム

住宅用ヒートポンプ給湯機（エコキュート）は、自然冷媒（二酸化炭素）を使った空気熱源によるヒートポンプ給湯機である。第三者認証機関等により認証を得た基準適合品の給水装置で、法的な拠り所は、つぎによりになると考える。水道法第 16 条により、水道法施行令第 5 条で構造と材料を規定しており、厚生省令（給水装置の構造及び材質の基準に関する省令）で技術的細目を定めている。

住宅用ヒートポンプ給湯機と類似したシステムを、建築設備技術者が業務用として設計や施工すると規準や法令等に抵触すると考えられる。『空気調和・衛生工

学』に掲載になった小川正晃著「知られざる規準 SHASE-S 206」<sup>4)</sup>で、24 時間ふろ用エコキュート給湯設備システムを例に「再使用の禁止」としての捉え方から、上水に対して汚染の危険性を論じているので本報では省略する。

本報では、住宅用ヒートポンプ給湯機を例に、類似したシステムをクロスコネクションとしてのアプローチから説明したい。

図-7 の破線は、追焚機内循環システムの配管（温水管）で、上水ではない。この配管と上水の給湯システムの装置の貯湯槽が直接接続されている。このことから、クロスコネクションを形成していると捉えることができる。住宅用ヒートポンプ給湯機の中には、図-5 をベースに、

給湯と給水が装置内でミキシングバルブを使い混合する機種もある。

図-8 は、住宅用ヒートポンプ給湯機の機器では独特のものである。追焚熱交換器が貯湯槽に挿入されていてクロスコネクションの有無が判別しに難い。しかし、図-7 と図-8 は、熱交換器部分が貯湯槽の外部に取り出しているか、内包されているかの違いで、基本的には同じシステム構成と考えられる。よって、図-8 もクロスコネクションと捉えることができ、法令に抵触すると考えられる。

図-9 は、解消策のシステム例である。上水の給湯システムの貯湯槽とその他の系統のフロ追焚系統が分離している。上水としての安全面と衛生面で、さらに向上させるためには、HP ユニットと貯湯槽・蓄熱槽を循環する温水管(加熱管)の熱媒を水でなく、R-134aのような60℃以上に加熱できる冷媒を使用する方法もある。

エコキュートは、90℃まで加温できる自然冷媒(二酸化炭素)を熱媒とすることで、狭小な日本の住宅事情に合わせてコンパクトな体積と運転重量を実現している。一方で、高い運転圧力のためにユニット外に冷媒管を配管することに馴染みにくい。HP ユニットと貯湯槽間の配管を冷媒管にすることで、凍結防止が容易にできたり、配管と維持管理も簡便になったりする。とくに、寒冷地では、厳冬季に大規模災害で長期停電が発生した場合の利点は大きい。何れにせよ、上水の安全と衛生を担保できるシステムが重要と考える。

### 参考文献

- 1) 赤井仁志・長谷川巖・土井章弘・中島 一義ほか：再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(第1報)、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、第1巻、pp.41~44、(2018-9)
- 2) 赤井仁志・長谷川巖・土井章弘・中島 一義ほか：再生可能エネルギー利用拡大のための上水の安全と衛生の確保(第1報)、空気調和・衛生工学会東北支部学術・技術報告会論文集、pp.117~120、(2019-3)
- 3) 土井章弘：給湯の「再使用の禁止」、給湯設備の計画・設計法、空気調和・衛生工学会 給湯設備の計画・設計法小委員会報告書、pp.5~7、(2019-3)
- 4) 小川正晃：知られざる規準 SHASE-S 206、空気調和・衛生工学、pp.29~33、(2016-10)
- 5) 濱田靖弘・村川三郎・永廣健太郎ほか：CO<sub>2</sub>ヒートポンプ式給湯機の基本性能と除霜・追焚運転の評価に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、34巻、143号、pp.47~59、(2009)

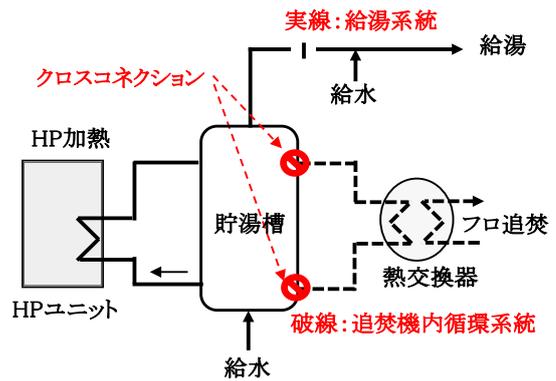


図-7 住宅用ヒートポンプ給湯機類似のクロスコネクションに抵触するシステム(熱交換器外部設)

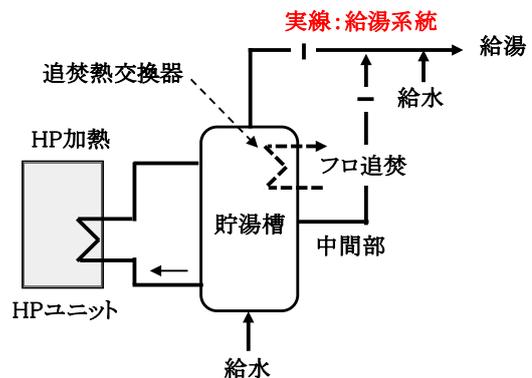


図-8 住宅用ヒートポンプ給湯機類似のクロスコネクションに抵触するシステム(熱交換器内包)

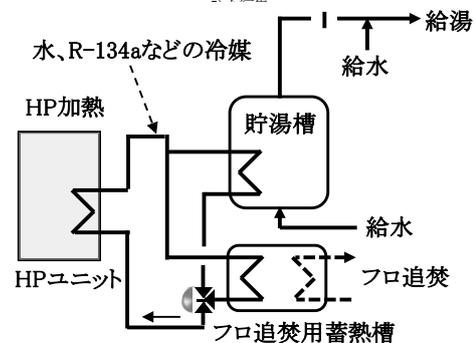


図-9 住宅用ヒートポンプ給湯機類似のクロスコネクションを解消するシステムの例

- 6) 空気調和・衛生工学会(編)：空気調和・衛生工学会規格 SHASE-S206-2009 給排水衛生設備規準・同解説、序、pp.3~4、pp.18~24、pp.62~63、p.77、pp.299~303、丸善、(2009)
- 7) ヒートポンプ・蓄熱センター(編)：業務用ヒートポンプ給湯システム設計ガイドブック、第2改訂版、pp.202~207、(2012-3)
- 8) ヒートポンプ・蓄熱センター(編)：業務用ヒートポンプ給湯システム設計ガイドブック、第3改訂版、pp.202~207、(2014-2)
- 9) ヒートポンプ・蓄熱センター(編)：業務用ヒートポンプ給湯システム設計ガイドブック、第4改訂版、pp.198~203、(2018-1)

## VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用

### (その1) 再生可能エネルギー由来の電力の状況

○藤井良平, 天野雄一郎 (四国電力), 赤井仁志 (福島大学/北海道大学)

濱田靖弘, 矢崎稜馬, 土山紘平 (北海道大学)

安岡稔弘, 堀岡建吾, 三島潤也 (四電技術コンサルタント)

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

(Part1) Current state of Electricity derived from renewable energy in power supply/demand

Fujii Ryohei, Amano Yuichiro (Shikoku Electric Power)

Akai Hitoshi(Fukushima University/Hokkaido University)

Hamada Yasuhiro, Yazaki Ryoma, Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University)

Yasuoka Toshihiro, Horioka Kengo, Mishima Junya (Yonden Consultants)

キーワード：VPP, 再生可能エネルギー, 給湯

#### はじめに

東日本大震災に伴う電力需給のひっ迫を契機とし、国策として再生可能エネルギーの普及・拡大が推進された。2012年7月にスタートした「電気事業者による再生可能エネルギー電気の調達に関する特別措置法 (FIT 法)」等の経済的インセンティブ付与もあり、再生可能エネルギーは急速な普及・拡大を見せた。しかし、太陽光・風力といった天候次第の再生可能エネルギーによる発電は供給量が制御しづらいという性質を有しており、それらの導入量が増えるにつれ、電力需給における大きな課題として顕在化するようになった。

現在、再生可能エネルギーの更なる普及・拡大や電力需給の安定化を図る手法として、需要家側のエネルギーリソースを制御し、電力需要パターンを変化させることを Demand Response (以下、DR) と言う。DR により、需要家側のエネルギーリソースをあたかも一つの発電所のように機能させて電力の需給バランス調整に用いる Virtual Power Plant(以下、VPP) の概念が提唱され、システム構築に向けた実証事業が進められている。

これらを背景とし、本研究では貯湯槽を有する中央式給湯設備を VPP に資するエネルギーリソースの1つとして捉え、その活用についての検討を行う。本報では、現在の電力需給における再生可能エネルギー由来の電力の位置づけや、VPP や



図-1 再生可能エネルギーの普及状況 1)

DR といった電力需給調整手法の概念を踏まえた本研究の主眼点について述べる。

#### 1. 再生可能エネルギーの現状

##### 1.1 普及・拡大の状況

再生可能エネルギーの普及拡大を目的とし、国策として制定された FIT (固定価格買取制度) を背景に、日本国内における太陽光発電の容量は飛躍的に上昇していった (図-1)。この傾向は日射量が多い九州地方や四国地方においてより顕著であり、九州電力管内では管内の最大需要電力約 1,700 万 kW に対して系統接続された太陽光発電の容量は約 850kW であり半数を占める 2)。四国電力管内においても同様であり、最大需要電力約

500 万 kW に対して、太陽光発電の容量は 259 万 kW である<sup>3)</sup>。

### 1.2 出力制御

太陽光発電や風力発電といった再生可能エネルギー由来の電力の特徴として、発電量を制御しにくいことが挙げられる。電力需給のバランスを取るため、電力会社が太陽光・風力の発電業者に稼働停止を求める行為を出力制御と呼び、2018 年 10 月 13 日には、九州電力において日本国内（離島除く）で初となる出力制御が行われた。その後、その頻度は増え、2019 年 4 月から 5 月中旬にかけて、30 回もの出力制御が実施されるなど、冷暖房が不要で電力需要が下がる時期には、出力制御が常態化するまでになった。

四国電力管内においては出力制御の実績はないものの、2019 年 5 月 5 日に連休で電力需要が落ち込むなか、太陽光発電が最大出力 197 万 kW を記録し、電力需要の約 90% を占めた。この時は、火力発電所の出力抑制や揚水発電所の昼間運転、連携線を活用した他エリアへの送電により、需給バランスを確保したが、更に太陽光発電の普及が進めば、出力制御が必要となる見込みである（図-2）。また、その他の旧一般電気事業者（北海道電力、東北電力、北陸電力、沖縄電力）でも、再生可能エネルギー電力事業者に対して、出力制御への準備を促している状況である。

このように、発電量を制御しづらいという再生可能エネルギー由来の電力の特性は未だ解決されておらず、需要と供給のタイミングの不一致による出力制御という形で電力需給における問題として顕在化しており、再生可能エネルギーの更なる普及拡大に向けた課題となっている。

## 2. 電力需給調整 (VPP, DR)

### 2.1 VPP と DR

これまで電力需給システムは、需要に合わせて供給を行う考え方を基本としていたが、近年の IoT 技術の急速な発展により、需要家側のエネルギーリソース（コージェネレーションシステムや、蓄電池、電気自動車など）を制御し、発電所のように機能させることで需給バランスを調整するという VPP の概念が登場した（図-3）。また、電力需要パターンを変化させることを DR といい、上げ DR、下げ DR に 2 分される（図-4）。前者は、

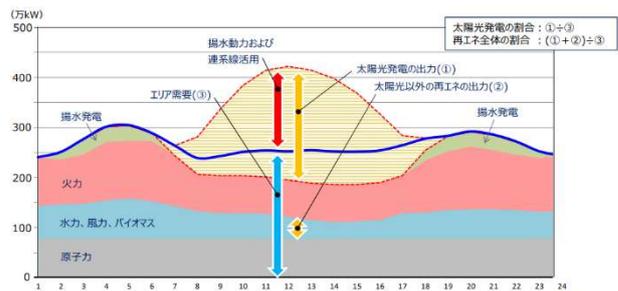


図-2 四国電力管内における 1 日の需給バランスイメージ

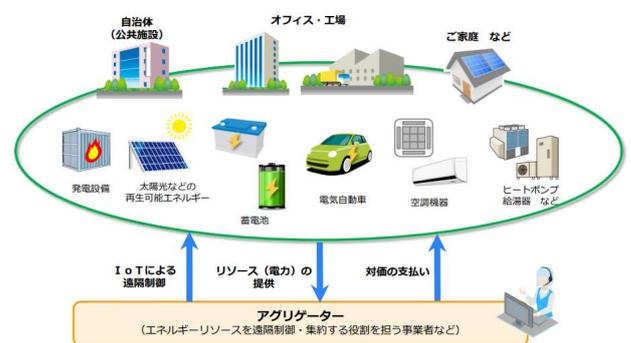


図-3 VPP の概念<sup>4)</sup>

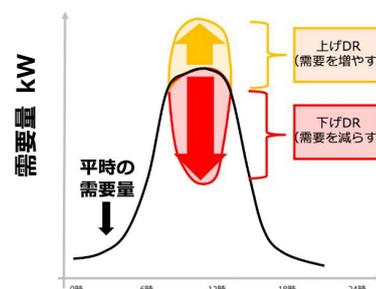


図-4 DR の概念<sup>5)</sup>

機器の稼働や蓄電・蓄熱等で電力需要を常時よりも上昇させることを指し、再生可能エネルギーの系統への受入可能量を増やすことが期待される。後者は機器の停止や出力低下により常時よりも需要を下げることを指し、電力不足時の需給バランス維持に役立てられる。

ここで、エネルギーリソースの遠隔制御や集約といった役割を担う事業者等をアグリゲーターと呼ぶ。

### 2.2 国内における VPP の取り組み

資源エネルギー庁では、平成 28 年度より 5 年間の計画で「需要家側エネルギーリソースを活用

したバーチャルパワープラント構築実証事業費補助金」として、複数の事業者に対して VPP の実証事業のための助成を行っている（表-1）。

この中には、建築設備がリソース対象となる実証事業も含まれ、実際の需要家リソースを対象とした制御把握やフィードバックの実証実験を行っている。各リソースには、反応時間や継続時間などの特性やポテンシャルに応じて、調整力のレベル分けがなされており、実証実験ではそれらを加味したフィールド実証がなされている。現在は、リソース対象として比較的制御しやすい蓄電池が実証で多く用いられているが、今後はエコキュートや電気温水器、業務用給湯設備、蓄熱空調設備、家庭用太陽光発電設備などの建築設備全般をリソースとするための検討が進むと考えられる。各リソースは面的に広がっているため、これらの設備を適正に制御する技術の開発が求められている。なお、四国電力管内では、家庭用電気温水器を対象とした遠隔制御実証試験を実施している。これは、気象予報に基づき翌日の四国域内の太陽光発電量を予測し、四国電力と四国総合研究所が開発した 920MHz 帯 Lora 放送型通信による DR 技術を利用する VPP であり、家庭用電気温水器をリソースとして活用できることが期待される（図-5）。

これらの実証実験に並行して、発電・小売全面自由化による送配電の分離・中立化のもとでの、VPP に関する需給調整市場における取引メニュー（スポット・容量など）や需要家に対するインセンティブの検討が進む予定である。

### 3. VPP リソースとしての中央式給湯設備

#### 3.1 貯湯槽を有する中央式給湯設備

宿泊施設や医療施設、社会福祉施設、スポーツ施設等の湯を多く使う業務用給湯システムの多くは、貯湯槽を有している。貯湯槽を有することで、給湯の需要と熱の生成を時間的に一致させなくともよくなり、給湯設備容量の低減が図れるうえ、電気式の給湯熱源であれば、比較的安価な深夜電力の有効活用によるランニングコストの低減が可能である。

時間帯別の電気料金の例として、四国電力の「業務用季節別時間帯別電力（契約電力 500kW 以上）」の主契約料金条件（令和 2 年 4 月 1 日実施）を表-2 に示す。

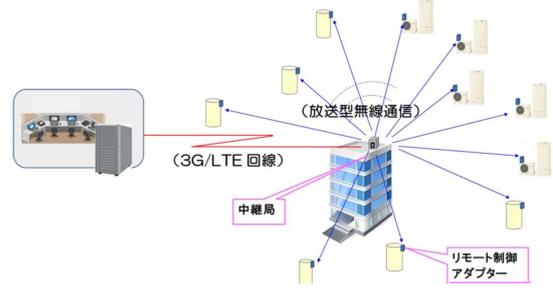


図-5 家庭用温水器を対象とした VPP イメージ<sup>3)</sup>

表-1 平成 31 年度 VPP 実証補助事業分類<sup>5)</sup>

事業名	事業内容
分類：A VPP 基盤整備事業	B-1 事業で採択された VPP アグリゲーターの実証を支援し、事業課題等の調査・分析及び必要なシステム開発を行う事業。
分類：B-1 VPP アグリゲーター事業	VPP 基盤整備事業者からの DR 指令を受けて、VPP 実証を行い、VPP 構築に向けて技術実証、制度的課題の洗い出しを行う事業。
分類：B-2 V2G アグリゲーター事業	電気自動車等（EV/PHV）を活用し、V2G※1 実証を行い、V2G 構築に向けて技術実証、制度的課題の抽出を行う事業。
分類：C VPP/V2G リソース導入促進事業	B-1, B-2 事業で採択された VPP/V2G アグリゲーターが制御を行う蓄電池等のリソースや制御装置等の導入を支援する事業。

※1 V2G：Vehicle to Grid

表-2 時間帯別料金単価の例

時間帯区分	料金単価 円/kWh
①ピーク時間 夏季の午後 1 時から午後 4 時までの時間（休日除く）	23.58
②昼間時間 午前 8 時から午後 10 時までの時間（①および休日除く）	21.64（夏季） 20.57（その他季）
③夜間時間 ①②以外の時間	11.02

#### 3.2 VPP リソースとしての可能性

給湯の熱需要と熱の生成を時間的に一致させなくともよいという性質から、電気料金単価の低い夜間に貯湯運転を行うというこれまでの常識に拘

らず、コストメリットの高い時間帯に柔軟な貯湯運転を行うことで VPP リソースとして活用することが期待できる。例えば、太陽光の発電量増加に合わせて昼間に貯湯運転を行うことで、上げ DR への対応を行うことや、下げ DR の発動時間が予め把握できている場合に、貯湯運転を前倒しすることで、指定時間への下げ DR に対応することも考えられる (図-6)。

前述した通り、需給調整による需要家へのインセンティブは今後整備されていく予定であるが、これによって、運用の仕方により更なるコストメリットが生じる可能性があり、貯湯槽を有する中央式給湯設備に新たな価値が付与されるといえる。

なお、蓄熱式の空調設備、特に水蓄熱方式のものについては、同様の性質を有するといえるが、通常の業務建物における空調には中間期と称されるように空調負荷が小さい時期が存在し、出力抑制が発生する時期と重なるため、下げ DR 時のリソースとしての利用は期待されるが、安定した VPP リソースとして利用するためには工夫が必要である。しかし、水蓄熱槽の暖房から冷房への切り替え運転時の予熱利用や、太陽光発電設備の更なる普及により、出力抑制回数が拡張されるという可能性もあるため、水蓄熱方式も VPP リソースとしての利用が期待される。一方、給湯負荷は年間通じて発生することから、給湯設備は年間通じて安定した稼働が見込まれ、この点において VPP リソースとして有利であるといえる。

貯湯槽容量が大きいほど、上げ DR・下げ DR へ対応できる時間が長くなり、また、給湯熱源容量が大きいほど、その電気容量 kW が大きくなる。これまでの給湯設備の計画手法においては、これらの容量の差によるイニシャルコスト・ランニングコストを比較検討することで設計の適正化が図られてきたが、将来的に VPP に対する需要家インセンティブ制度が確立されれば、これがランニングコストの一要素になると考えられ、これら知見の醸成が求められている。

## まとめ

本報では電力需給における再生可能エネルギー由来の電力の位置づけやその課題、VPP リソースとしての貯湯槽を有する中央式給湯設備への期待について述べた。以下に要点をまとめる。

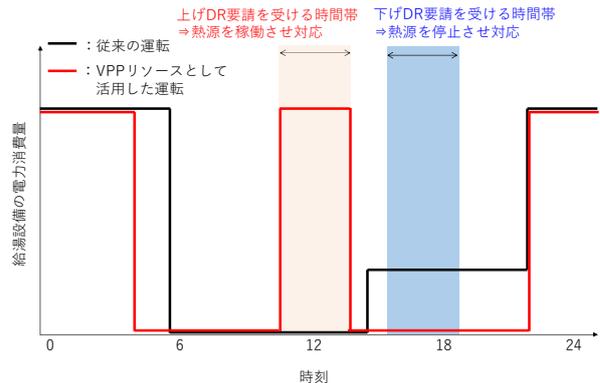


図-6 貯湯槽を有する中央式給湯設備の VPP 適用イメージ

- ・東日本大震災後に国策として再生可能エネルギーが普及・拡大された。その結果、再生可能エネルギー由来の電力の特徴である発電量が制御しづらいという点が、電力需給における問題として顕在化している。
- ・電力需給バランスの調整手法として、需要家側のエネルギーリソースを活用する VPP という概念が登場し、現在国内で実証事業が進められている。
- ・貯湯槽を有する中央式給湯設備は、その性質から VPP に資するエネルギーリソースとして活用できる可能性がある。

次報ではシミュレーション手法により、建物規模や給湯設備の容量など複数パターンケーススタディを行い、貯湯槽を有する中央式給湯設備を VPP リソースとして活用することを検討した結果について述べる。

## 参考文献

- 1) 「平成 30 年度エネルギーに関する年次報告」, エネルギー白書 2019, 資源エネルギー庁
- 2) 九州電力株式会社  
<https://www.kyuden.co.jp/>
- 3) 四国電力株式会社 HP  
<https://www.yonden.co.jp>
- 4) 東北電力株式会社 HP  
<http://www.tohoku-epco.co.jp>
- 5) 資源エネルギー庁 HP  
<https://www.enecho.meti.go.jp>

B-14

VPP リソースとしての貯湯を含む中央式給湯設備の活用

(その2) 気候と季節の違いによる動的給湯負荷と貯湯、電力消費量

- 矢崎 稜馬 (北海道大学), 赤井 仁志 (福島大学 / 北海道大学), 濱田 靖弘, 土山 紘平 (北海道大学), 天野 雄一郎, 藤井 良平 (四国電力), 安岡 稔弘, 堀岡 建吾, 三島 潤也 (四電技術コンサルタント)

Utilization of central hot water supply system including hot water storage as VPP resources  
(Part 2) Dynamic hot water supply load, hot water storage and power consumption due to differences in climate and season

Yazaki Ryoma(Hokkaido University)

Akai Hitoshi(Fukushima University/Hokkaido University)

Hamada Yasuhiro, Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University)

Amano Yuichiro, Fujii Ryohei (Shikoku Electric Power)

Yasuoka Toshihiro, Horioka Kengo, Mishima Junya (Yonden Consultants)

キーワード：再生可能エネルギー、VPP、貯湯

はじめに

再生可能エネルギーの更なる普及・拡大や電力需給の安定化を図る手法として、需要家側のエネルギーリソースを制御し、電力需要パターンを変化させることを Demand Response (以下、DR) と言う。DR により、需要家側のエネルギーリソースをあたかも一つの発電所のように機能させて電力の需給バランス調整に用いる Virtual Power Plant(以下、VPP) の概念が提唱されている。

給湯は、通年使用することや貯湯により給湯の熱需要と熱の生成を時間的に一致させなくてもよいという性質から VPP リソースとしての活用が期待される (図-1)<sup>1)</sup>。本報では、宿泊施設を対象として、DR への対応を想定し、貯湯槽を有する中央式給湯設備を VPP リソースとして活用することを検討した結果について述べる。



図-1 VPP にヒートポンプ給湯機を組み込んだ例<sup>1)</sup>

1. 解析概要

DR への対応を想定し、ヒートポンプ給湯機を稼動し貯湯を行う解析における消費電力量・コストを試算し、地域特性を考察した。解析概要を図-2 に示した。加熱容量は、大中小の3パターンを用意し、上げ下げ DR によるインセンティブを加味して、イニシャルコストを含めた経済性評価を行った。

国内各地点として、札幌、仙台、東京、高松、那覇を選定した。給湯負荷は、宿泊施設の年間実測データを使用し、解析を行った。さらに高松での解析結果をもとに四国全体での上げ下げ DR による電力需要創出・抑制量を kW で試算した。

1.1 水温・気温データの利用

気温は気象庁のデータから過去 20 年間の平年値を算出した。水温は建築物の省エネルギー基準

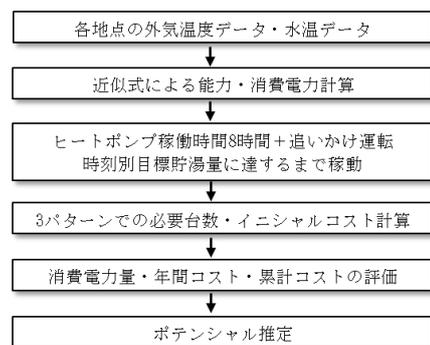


図-2 解析フローチャート

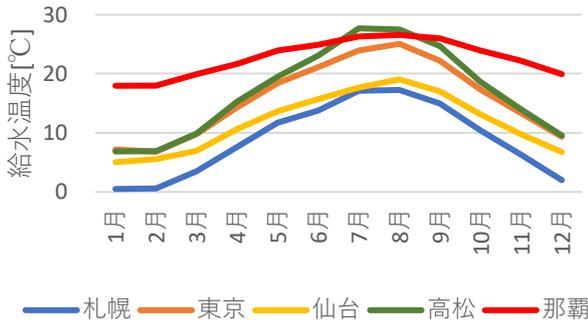


図-3 各地域の月別給水温度

表-1 時刻別目標貯湯量  
(左：CO<sub>2</sub>冷媒 右：HFC冷媒)

時間帯 (時台)	目標貯湯量[L]	目標貯湯量[L]
8:00	20,600	29,500
}	}	}
15:00	20,600	29,500
16:00	20,600	29,500
17:00	19,300	27,700
18:00	18,000	25,900
19:00	16,700	24,100
20:00	15,400	22,300
21:00	14,100	20,500
22:00	12,800	18,700
23:00	11,500	16,900
0:00	10,200	15,100
1:00	8,900	13,300
2:00	7,600	11,500
3:00	6,300	9,700
4:00	5,000	7,900
5:00	3,700	6,100
6:00	2,400	4,300
7:00	1,100	2,500

と計算の手引<sup>2)</sup>を参考に算出した。各地点の月別給水温度を図-3に示した。

### 1.2 業務用ヒートポンプ給湯機

CO<sub>2</sub>冷媒ヒートポンプ給湯機とHFC冷媒ヒートポンプ給湯機の2種類を解析に用いた。CO<sub>2</sub>冷媒は出湯温度90℃、必要貯湯槽容量は25,000Lであった。HFC冷媒は65℃出湯、必要貯湯槽容量は35,000Lであった。またヒートポンプ給湯機の性能線図から、近似式を作成し、外気温度に対応する加熱能力と消費電力を求め、解析に使用した。

表-2 必要台数

	CO <sub>2</sub> 冷媒①	CO <sub>2</sub> 冷媒②	CO <sub>2</sub> 冷媒③	HFC冷媒①	HFC冷媒②	HFC冷媒③
札幌	10	7	4	10	7	4
仙台	9	6	3	10	7	4
東京	8	5	3	8	6	4
高松	8	5	3	10	7	4
那覇	7	5	3	7	5	3

表-3 イニシャルコスト (千円)

	CO <sub>2</sub> 冷媒①	CO <sub>2</sub> 冷媒②	CO <sub>2</sub> 冷媒③	HFC冷媒①	HFC冷媒②	HFC冷媒③
札幌	40,800	30,465	20,130	41,825	31,925	22,025
仙台	37,355	27,020	16,685	41,825	31,925	22,025
東京	33,910	23,575	16,685	35,225	28,625	22,025
高松	33,910	23,575	16,685	41,825	31,925	22,025
那覇	30,465	23,575	16,685	31,925	25,325	18,725

### 1.3 時刻別目標貯湯量

給湯負荷最大日の給湯負荷から逆算し、各時間帯に必要な貯湯量を算出した。1日を8:00～翌日7:00までとし、時刻別目標貯湯量に到達した時間帯で、ヒートポンプ給湯機を停止するという制御を考えた。CO<sub>2</sub>冷媒、HFC冷媒での時刻別目標貯湯量を表-1に示した。

### 1.4 ヒートポンプ給湯機台数・イニシャルコスト

各冷媒でのヒートポンプ給湯機の台数を、以下の3パターンで求めた。

- ① 常に8:00～15:00時台の8時間以内で給湯負荷を賅える台数
- ② ①と③の間
- ③ 最低限給湯負荷を賅える台数

必要台数を表-2に、イニシャルコストの結果を表-3に示した。

### 1.5 上げ下げDRと契約kW

今回の試算のために、DRの最低稼働時間を3h、上げ下げDR共にkW報酬単価を4,000円/kWと仮定した。

DRの発動条件について説明する。上げDRは、使用率(エリア需給/総発電量)が70%以下かつ再生可能エネルギーが65%以上の昼間(9:00～14:00)とした。年間の発動時間は、上げDRは4、5月に発動し、合計39時間となった。下げDRは、使用率が97%以上の15:00～18:00に発動するとした。下げDRは、6、7月に発動し、合計24時

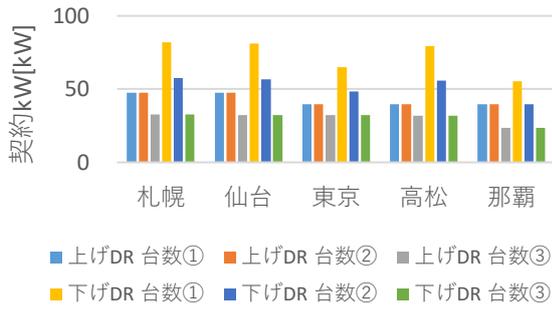


図-4 契約 kW HFC 冷媒

表-4 電気料金単価

名称	時間帯 (時台)	単価[円/kWh]		
		新規	現行	VPP
昼間時間	8:00~12:00	21	15	9
ピーク時	13:00~17:00	23	15	9
昼間時間	18:00~21:00	21	15	9
夜間時間	22:00~7:00	11	12	7

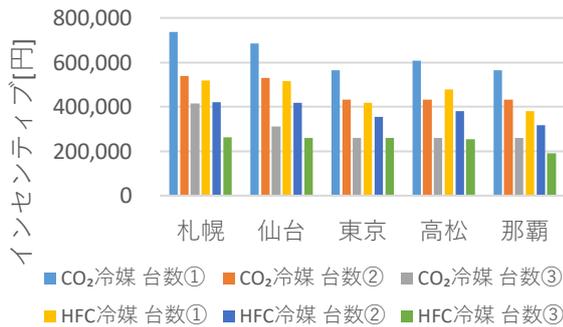


図-5 年間インセンティブ

間となった。上げ下げ DR の発動時間が予め把握できている状態を仮定し、DR 指令にすべて対応できるような稼働を検討した。

その際の契約 kW(上げ下げ DR 可能消費電力)を求め、図-4 に示した。上げ DR の契約 kW は、最低稼働時間 3h と貯湯槽容量の影響で、上げ DR 可能な kW に上限が見られ、台数①の場合も台数②と同じ程度に留まった。一方、下げ DR の契約 kW は、台数①においても最大出力の kW で下げ DR に対応できたことから、台数に比例する結果になった。kW 報酬単価の 4,000 円/kWh を乗ずることで kW 報酬が計算できる。

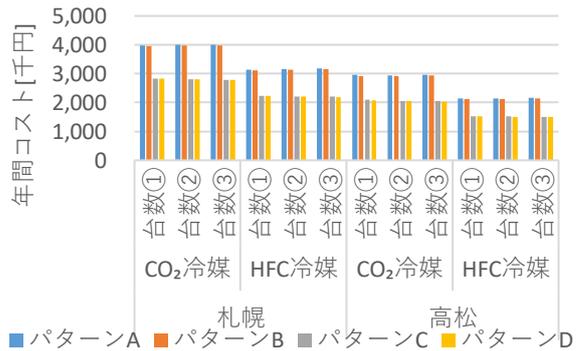
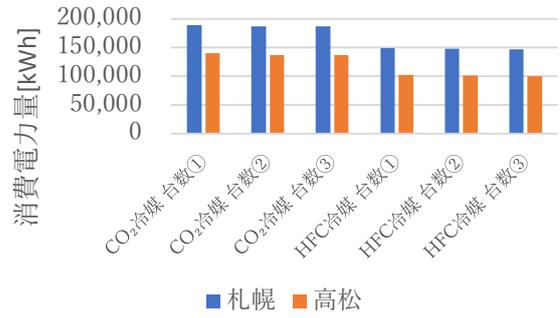


図-6 消費電力量・年間コスト比較(札幌・高松)

## 1.6 電気料金単価

四国電力の電気料金<sup>3)</sup>を参考に、kWhあたりの託送料金などを仮定し作成した電気料金単価を表-4に示す。パターンA~Dの4パターン作成し、パターンAは新規、パターンBは新規とVPPの組み合わせ、パターンCは現行、パターンDは現行とVPPの組み合わせとした。パターンB、Dは上げDR発生時にVPPの単価で電力の使用が可能となる。パターンAとBで算出したコストの差分及びパターンCとDで算出したコストの差分が上げDRによるkWh報酬にあたる。

## 2. 解析結果・考察

### 2.1 kW・kWh 報酬

上げDRのインセンティブは、kW報酬とkWh報酬が考えられ、現在制度設計中であるため、本検討においては金額の大きなどちらか一方を得ることができると仮定した。解析の結果、上げDRのkWh報酬は、年間数万円程度であったのに対し、kW報酬は数十万円と大きくなっていったためkW報酬をインセンティブとした。下げDRはkW報酬のみであり、必要台数に比例したkW報酬を得られることが分かった。各地域での合計インセンティブを図-5に示した。

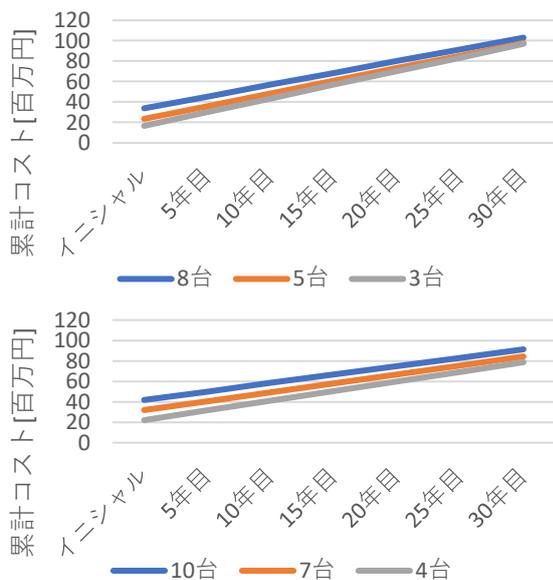


図-7 高松 累計コスト  
(上：CO<sub>2</sub>冷媒、下：HFC冷媒)

2.2 消費電力量・年間コスト

結果として札幌と高松の消費電力量及び年間コストを図-6に示した。各地点での年間COPを比較すると、常にHFC冷媒でCOPが高くなっていた。各地域の気温・水温・COPの影響で消費電力量と年間コストに大きな影響を与えることが確認できた。

2.3 累計コスト

求めたインシヤルコストとインセンティブ額を差し引いたランニングコストを合計することで累計コストを求めることができる。なお、熱源機器の耐用年数は通常15~20年程度で試算を行うことが多いが、本検討では設備更新については検討に含まない条件で試算を行った。電気料金単価パターンBを用いた際の高松の累計コストを図-7に示した。CO<sub>2</sub>冷媒ではインシヤルコストの差分の回収が約30年かかること、冷媒の違いによる累計コストの差が大きく出ることが示唆された。そのほか4地点についても同様の結果が得られた。

2.4 ポテンシヤル推定

高松の解析データをもとに、四国全体での上げDRと下げDRでの電気需要創出量及び電気需要抑制量をkWで試算した。四国全体の宿泊施設の総延べ床面積の1/3が電気式給湯を使用している

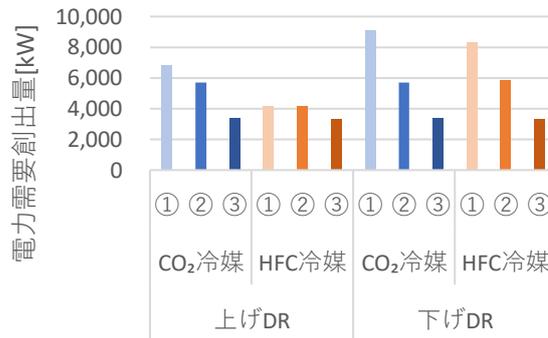


図-8 VPPでの電力需要創出・抑制効果試算結果

と仮定して、DR可能延べ床面積を求めた。DR可能延べ床面積は、本研究の対象施設の約105倍となったことから、上げ下げDRにより、図-8の電力需要創出・抑制効果(kW)を生む計算となった。

3. 結論

本報では上げ下げDRを想定し、業務用ヒートポンプ給湯機を稼働させ貯湯を行うという解析を行い消費電力量やコストを試算し、地域特性を比較した。解析の結果から、貯湯槽を有する中央式給湯設備のVPPリソースとしての活用の可能性について述べた。以下に要点をまとめる。

- ・気温、水温、COPの影響を受け、消費電力量や年間コストに地域差が生まれた。
- ・インシヤルコストの差分の回収に、CO<sub>2</sub>冷媒では約30年かかることが分かった。
- ・DRによる四国全体での電気需要創出量及び電気需要抑制量の試算から、電力需給バランス調整設備としての活用の可能性を示した。
- ・検討結果より、VPPリソースとしての活用とDRのインセンティブによる需要家のコスト削減に寄与できる可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 東北電力株式会社 HP  
<http://www.tohoku-epco.co.jp>
- 2) 建築環境・省エネルギー機構(編): 建築物の省エネルギー基準と計算の手引、pp302、303
- 3) 四国電力株式会社 HP  
<https://www.yonden.co.jp>

## B-15

### ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究

#### (その1) 給湯配管系統での熱損失

○赤井 仁志 (福島大学 / 北海道大学), 濱田 靖弘, 矢崎 稜馬, 土山 紘平 (北海道大学),

岩井 良真, 上林 由果 (関西電力㈱), 岡本 茂, 小畑 拓未 (㈱東畑建築事務所)

Experimental Study on Basic Characteristics of HWAT Hot Water Supply System,  
Part1, Heat Loss in Hot Water Supply Piping System  
Akai Hitoshi (Fukushima University / Hokkaido University), Hamada Yasuhiro,  
Yazaki Ryoma, Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University),  
Iwai Yoshimasa, Kambayashi Yuka (The Kansai Electric Power Co., Inc.),  
Okamoto Shigeru, Kobatake Takumi (Tohata Architects & Engineers)

#### はじめに

宿泊施設、医療施設や社会福祉施設等で用いられている中央式給湯システムは、シャワーや水栓類を操作して、極めて短時間に出湯することが求められている。また、レジオネラ症対策として、「貯湯槽内の湯温が 60℃以上、末端の給湯栓でも 55℃以上」とある。しかし、中央式給湯システムは、機器や配管等から多くの熱が損失したり、系統ごとの循環流量がアンバランスになったりする課題がある。

通常の中央式給湯システムは、貯湯槽から出る湯温と貯湯槽に戻る湯温の温度差を 5℃以内になるように循環流量を決定している。循環を止め、自己制御式のヒータを装着して配管系の湯温を維持する方式として、ヒートトレーサ・HWAT 給湯システムがある。このシステムは、給湯還り配管（返湯管）が不要なることから、配管系全体の熱損失が削減できる効果が期待できる。

このような背景から、ヒートトレーサ給湯システムの有効性の実証を行うことになった経緯を報告する。

#### 1. ヒートポンプ給湯方式での配管からの熱損失

FIT (Feed-in Tariff、固定価格買取制度) の影響で急増した太陽光発電や風力発電等の再生可能エネルギー由来の電力は、出力制限により有効に利用されていない事象が増えようとしている。太陽光発電の新設は失速したが、今後、RE100 や ESG 投資、SDGs 目標達成への加速等が予測されることから、今後も出力制限が顕著になると考えられる。

このような状況の下、年間を通して熱需要のある給湯は、とくに中央式給湯システムが貯湯槽を有することが多いことから、ヒートポンプによる給湯の加温が、上げ Demand Response や VPP (Virtual Power Plant) のリソースとして有望視されている。また、再生可能エネルギーの利用では RE100 に続き、2019 年に策定された再生可能エネルギー熱の長期的なビジョン RHC100 (Renewable energy-based Heating and Cooling、注：Heating and Cooling は加熱と冷却を指す) でも、ヒートポンプの活用がクローズアップされている。

ヒートポンプによる給湯システムでは、水から湯に大きな温度差で昇温するために用いられるヒートポンプと、給湯配管系統から放熱した熱を小幅度な温度で昇温するヒートポンプを分けた方が高い COP を得られやすい。後者の昇温には、給湯循環系統に電気ボイラ (ヒータ) を設ける場合もある。電気ボイラを循環系統に組み込む場合、返湯管を設ける必要があることから、返湯管からの熱損失が生じる。給湯管 (往管) にヒートトレーサ・HWAT を添わせることで、返湯管が不要なることから、返湯管からの熱損失がなくなる。また、わずかであるが、給湯 2 次側ポンプの搬送動力も不要になる。

既往の調査や研究で、実際に給湯として使われる熱に対して、配管<sup>1)~5)</sup>や装置<sup>6)~9)</sup>等からの損失熱量の割合が多いことが課題になっている。課題の主要因として、国土交通省大臣官房官庁営繕部

監修『公共建築工事標準仕様書(機械設備工事編)』〔以下、国土交通省標準仕様書と称する〕の仕様が挙げられている。この標準仕様書の給湯管の保温材(保温筒)や、つぎに触れる保温不要箇所等の仕様に弱点があると、一般財団法人建築環境・省エネルギー機構の『業務用建築の給湯設備省エネルギーガイドライン』<sup>12)</sup>で指摘している。

## 2. 実証試験の条件と実施工の差異

本実証試験では、ヒートトレーサ・HWATの仕様や要求事項に従って計画した。このことから、国土交通省標準仕様書と異なる保温厚さで実験装置の保温厚さを選定した。また、国土交通省標準仕様書では保温筒となっているが、民間工事では断熱性能の低いロールタイプのアルミクラフト紙貼り(ALK貼り)を用いることもある。

給湯管の支持部は、国土交通省標準仕様書では、冷温水管や冷水管のような特別な仕様はない。本実証試験では、実験装置を置く必要があることから、冷温水管で使用することの多い硬質ウレタンフォーム製の支持受けを用いた。

国土交通省標準仕様書では、給湯管は、屋内と暗渠内の配管の弁、伸縮継手、防振継手、フランジ、伸縮管継手、防振継手、フレキシブルジョイント等を保温不要としている。今回の実証試験では、弁類やフランジ等はなく、配管のみの試験装置とした。ヒートトレーサ・HWATは、弁類やフランジ等の仕様や要求事項があることから、今後研究と評価を進める上で、国土交通省標準仕様書との乖離をどのように扱うかなども検討の余地がある。

さらに、これらの条件の違いから、実際の施設に置き換えた場合の適応も考慮する必要があると考えている。

### 参考文献

- 1) 生沼亜澄：給湯用エネルギー消費量の計算事例、空気調和・衛生工学会大会(札幌)ワークショップ『中央式給湯設備の課題と動向』配布資料、北海道大学(2012-9)
- 2) 増田喜憲・銚井修一・森本研二・五井努：ビジネスホテルにおける給湯システムからの熱損失と保温改修、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、第42号、pp.5～

- 8(2013-3)
- 3) 増田喜憲・銚井修一・五井努・吉田修・近藤修平：宿泊施設における給湯配管熱損失の測定、空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集、第41号、pp.167～170(2012-3)
- 4) 増田喜憲・銚井修一：ビジネスホテルの給水システムにおける熱損失の評価と保温改修—給湯配管および貯湯槽の電熱解析と熱損失低減方策—、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.627-628、(2014-9)
- 5) 銚井修一：保温仕様の違いによる配管・貯湯槽からの損失熱量、空気調和・衛生工学会中央式給湯設備設計方法検討小委員会報告書、pp.36～42(2014)
- 6) 銚井修一：屋外設置貯湯槽からの熱損失の実態と改善事例、空気調和・衛生工学会給湯設備の計画・設計法小委員会報告書、pp.57～64(2017)
- 7) 山崎森、赤井仁志、濱田靖弘、小原雄輝、豊貞佳奈子、沈瓊、銚井修一、伊庭千恵美、竹内進：貯湯槽の断熱性能に関する研究(第1報)FRP製と鋼製貯湯槽の断熱強化による損失熱量の変化、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp.133-136(2017-9)
- 8) 豊貞佳奈子、韓佳星、赤井仁志、濱田靖弘、山崎森、銚井修一、伊庭千恵美、竹内進：貯湯槽の断熱性能に関する研究(第2報)断熱強化および水濡れによる損失熱量の変化、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集(2018-9)
- 9) 赤井仁志：断熱材内蔵FRP製密閉型貯湯槽、空気調和・衛生工学会給湯設備の計画・設計法小委員会報告書、p.65(2017)
- 10) 赤井仁志：屋外給湯配管・機器、建築設備の凍結・雪対策 計画設計施工の実務の知識、空気調和・衛生工学会、pp.73～76(2018)
- 11) 村田博道：給湯循環ポンプの運転方法とヒートトレーサの利用、空気調和・衛生工学会中央式給湯設備設計方法検討小委員会報告書、pp.121～122(2014)
- 12) 建築環境・省エネルギー機構：保温、業務用建築の給湯設備省エネルギーガイドライン(セミナー版)、pp.94～96(2019-2)

# B-16

## ヒートトレーサ給湯システムの基礎的特性に関する実験的研究

### (その2) 実験の概要と解析

○土山紘平 (北海道大学), 赤井仁志 (福島大学/北海道大学),

濱田靖弘, 矢崎稜馬 (北海道大学),

岩井良真, 上林由果 (関西電力(株)), 岡本茂, 小畑拓未 (株東畑建築事務所)

Experimental study on basic characteristics of HWAT hot water supply system

Part2, Experimental summary and analysis

Tsuchiyama Kohei (Hokkaido University), Akai Hitoshi (Fukushima /Hokkaido University),

Hamada Yasuhiro, Yazaki Ryoma (Hokkaido University),

Iwai Yoshimasa, Kambayashi Yuka (The Kansai Electric Power Co., Inc.),

Okamoto Shigeru, Kobatake Takumi (Tohata Architects & Engineers)

#### はじめに

在来型の給湯配管系においては、給湯負荷が存在しない時間帯においても配管内の湯を循環させる必要があり、熱損失が発生する。自己制御ヒータを用いた HWAT 給湯システムは、給湯行き配管に装着することで配管内の温度を維持できるため、給湯還り配管が不要であることから、熱損失の削減が期待できる。一方で、本給湯システムの発熱量や消費電力の特性を調査した既往研究はないことから、本システムの省エネ性、経済性を判断することができない。そこで、本研究では、自己制御ヒータを用いた HWAT 給湯システムに関する各種運転特性を実験から明らかにすることで、本システムの導入可能性評価や省エネルギー性能の評価を行ううえで、広く設計資料として資することを目的とする。

#### 1. 研究概要

##### 1.1 自己制御ヒータの特性

本実験で使用した自己制御ヒータは、コントローラに制御設定温度を入力することで、配管表面温度(給湯温度と近似値とみなす)が制御設定温度の $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内で収まるような制御を行う。なお、自己制御ヒータは、安全のため予め約 60 分間通電後に 5 分間程度停止する制御が組まれている。また、配管表面温度が制御設定温度 $+2^{\circ}\text{C}$ を超過すると停止し、その後、制御設定温度が $-2^{\circ}\text{C}$ 未満になるまで停止し続ける特性を持つ。

##### 1.2 実験装置・測定項目

実験装置と測定項目をそれぞれ表-1 と表-2 に

示す。薄肉ステンレス加工管の長さは 3,600mm で両端 300mm を直角に上向きに曲げた。配管表面温度測定用の熱電対を図-1 の赤点として示す。熱電対は、断熱材と配管表面の間と断熱材表面に、自己制御ヒータは、配管と隙間ができないように設置した。図-2 に環境制御室内の平面図を示す。図の赤点は、熱電対による配管温度、室温の測定点を示す。橙点は自己制御ヒータの温度制御を行うコントローラ、自己制御ヒータの温度測定点(サーモ)を示す。サーモは熱電対と同様、断熱材と配管表面の間に設置した。

#### 1.3 実験方法

環境制御室の室温を  $10^{\circ}\text{C}$  に設定する。室温が  $10^{\circ}\text{C}$  で安定してから 120 分間測定して、次に、室温を  $5^{\circ}\text{C}$  上げ  $15^{\circ}\text{C}$  で安定してから 120 分間測定を行う。これを、室温  $30^{\circ}\text{C}$  まで繰り返す。配管温度と自己制御ヒータの消費電力は室温上昇中を含む全ての時間で測定した。コントローラの制御設定温度は  $60^{\circ}\text{C}$  とした。なお、自己制御ヒータの「停止含む」時間と「停止除く」時間とで分けて評価した。

表-1 実験装置

品名	仕様		
薄肉ステンレス加工管	25SU(20A)	40SU(32A)	60SU(50A)
断熱材	仕様	グラスウール保温筒	
	厚さ	20mm	30mm
自己制御ヒータ	出力12.7W/m( $60^{\circ}\text{C}$ )		

表-2 測定項目

測定項目	使用機器	計測点
配管温度	熱電対	配管あたり6点
室温	熱電対	2点
消費電力	クランプロガー	配管あたり1点

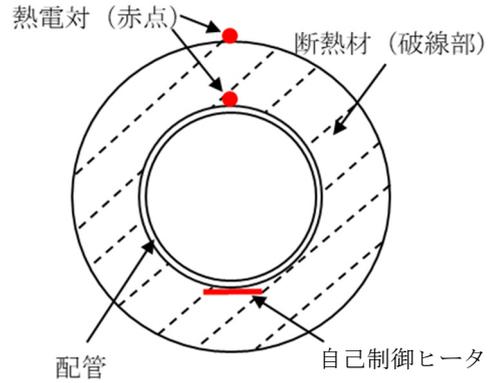


図-1 配管の測定点と各装置の関係

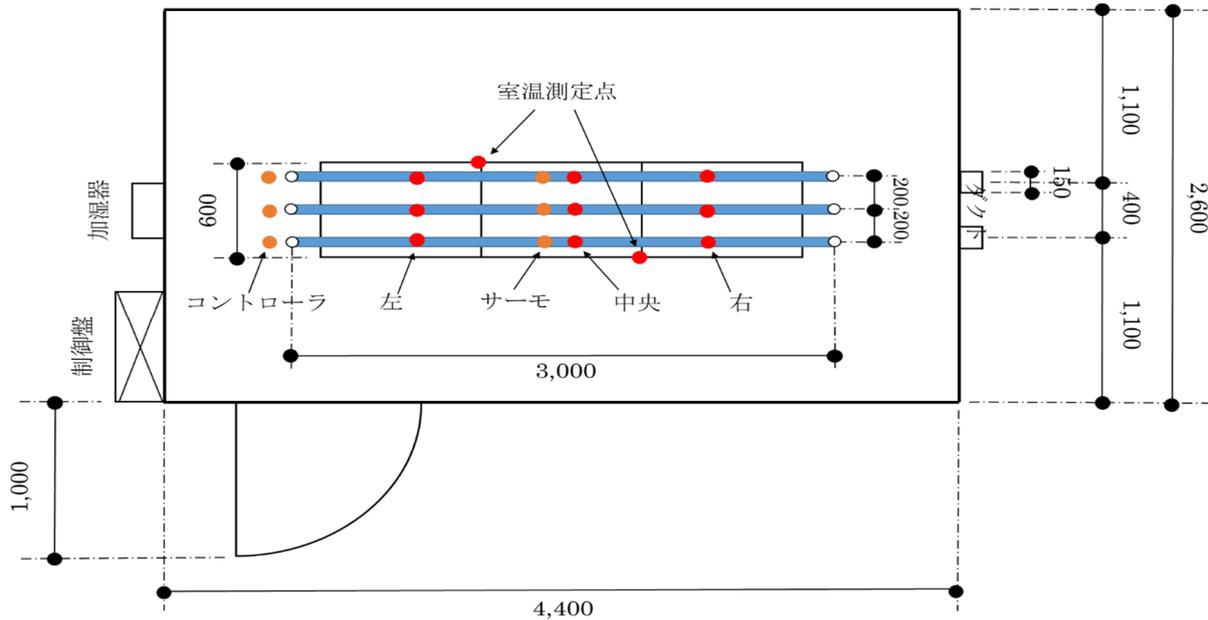


図-2 環境制御室内における実験装置の概要図

## 2. 室温を変動した実験結果

### 2.1 各配管での配管温度と消費電力の経時変化

配管温度はサーモに一番近い断熱材と配管表面の間にある中央の熱電対の測定温度を、室温は室温測定に用いた 2 点の熱電対の平均値を使った。

60SU で、環境制御室内の室温を変化させたときの、配管温度と消費電力の経時変化を図-3 に示す。図-3 から、自己制御ヒータの動作直後は消費電力が一時的に上昇し、室温が高いほど自己制御ヒータの停止時間が比較的に長くなる傾向が見られた。この傾向は、20, 40SU でも見られた。

また、40SU で制御設定温度の上限に達することでの自己制御ヒータの停止運転の現象が見られず、120 分間では上限温度まで上昇しなかったと

考えられる。

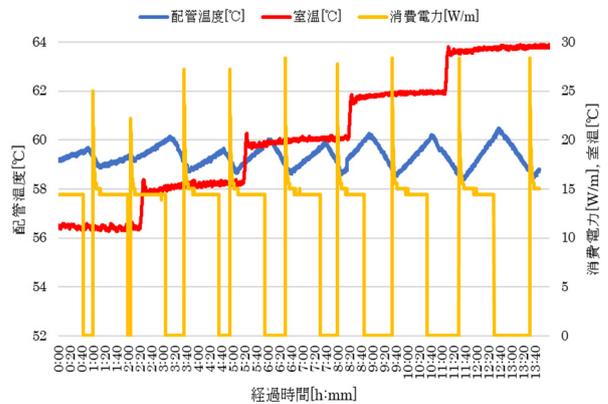


図-3 60SU での経時変化

表-3 各配管での平均温度と平均消費電力

25SU					
環境制御室の設定温度[°C]	10	15	20	25	30
ΔT (配管温度-室温) [°C]	46.68	42.77	38.74	-	30.54
消費電力(停止含む)[W/m]	11.53	10.50	9.53	-	7.28
消費電力(停止除く)[W/m]	13.45	13.51	13.43	-	13.31
40SU					
環境制御室の設定温度[°C]	10	15	20	25	30
ΔT (配管温度-室温) [°C]	46.69	43.67	41.03	36.53	-
消費電力(停止含む)[W/m]	12.85	12.53	11.87	9.89	-
消費電力(停止除く)[W/m]	13.92	13.57	12.85	13.02	-
60SU					
環境制御室の設定温度[°C]	10	15	20	25	30
ΔT (配管温度-室温) [°C]	44.92	40.75	36.62	-	-
消費電力(停止含む)[W/m]	11.70	11.37	10.03	-	-
消費電力(停止除く)[W/m]	14.82	14.94	14.96	-	-

## 2.2 各配管での平均温度と平均消費電力

表-3 に、室温が安定してから 120 分間の環境制御室の設定温度に対して、自己制御ヒータの動作直後から停止終了までの ΔT(平均配管温度-平均室温) および平均消費電力を示す。なお、平均消費電力(停止含む)は、自己制御ヒータが停止し、次にそれが動作するまでの停止時間も含まれている。

120 分間において、自己制御ヒータの動作・停止タイミングで、平均消費電力のばらつきが発生するため、自己制御ヒータの動作直後から停止終了までを一山として計算した。なお、120 分間でその特徴がみられなかったものは、ブランクとして、表では「-」とした。

すべての配管で、ΔT が小さくなるにつれて、消費電力(停止含む)は小さくなっている。しかし、消費電力(停止除く)は ΔT による差がほとんど見られなかった。

## 2.3 配管温度と自己制御ヒータの停止時間

図-4 は、自己制御ヒータが動作した瞬間の配管温度と、自己制御ヒータが動作するまでに停止していた時間をプロットした。40SU では、自己制御ヒータが制御設定温度の上限に達して停止しなかったデータは除いた。図-4 から、自己制御ヒータの停止時間が長いほど配管温度は低くなること

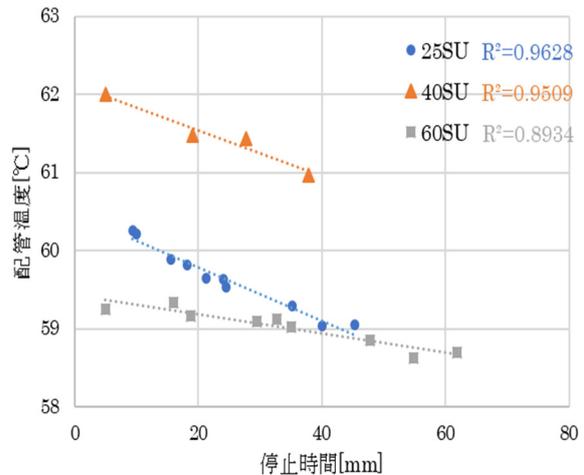


図-4 自己制御ヒータが動作した瞬間の配管温度と直前の停止時間の関係

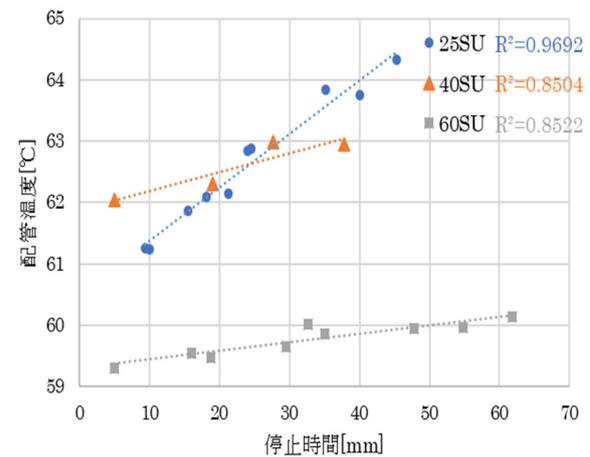


図-5 自己制御ヒータが停止した瞬間の配管温度と直後の停止時間の関係

がわかる。

図-5 は、自己制御ヒータが停止した瞬間の配管温度と、その後の自己制御ヒータの停止時間をプロットした。40SU のデータは図-4 同様、一部除いた。図-5 から、配管温度が高いほどその後の自己制御ヒータの停止時間が長くなることわかる。

図-6 は、自己制御ヒータが停止した瞬間の配管温度と、自己制御ヒータが次に動作した瞬間の配管温度との差、そして、その間に自己制御ヒータが停止していた時間をプロットした。管径が太いほど、自己制御ヒータ停止時の配管温度変化が小さいことわかる。

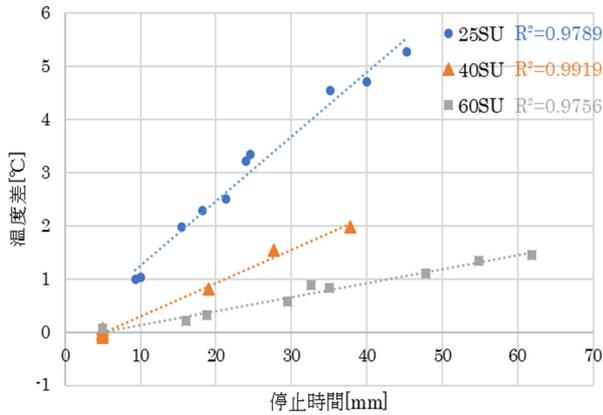


図-6 自己制御ヒータが停止した瞬間の配管温度と動作した瞬間の配管温度の差と停止時間の関係

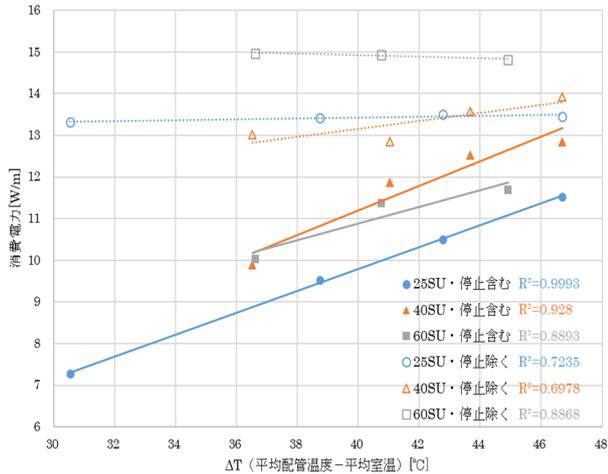


図-7 管径ごとの温度と消費電力の関係

### 3. 考察

表-3 を管径ごと、室温ごとにそれぞれグラフ化したものを、図-7、図-8 に示す。

図-7 で、自己制御ヒータの停止時間を含めた場合は、 $\Delta T$  の大小による消費電力の違いが見られるのに対し、停止時間を含めない場合は、それがほとんど見られない。動作中の自己制御ヒータは、図-3 から配管温度の上昇に伴い微小な消費電力の低下が見られるものの、ほとんど一定の出力であり、消費電力の大小はヒータの停止時間が大きく影響していると考えられる。

図-8 で、自己制御ヒータの停止時間を含めた消費電力は、すべての室温で 40, 60, 20SU の順に大きかった。40SU に消費電力のピークがあらわ

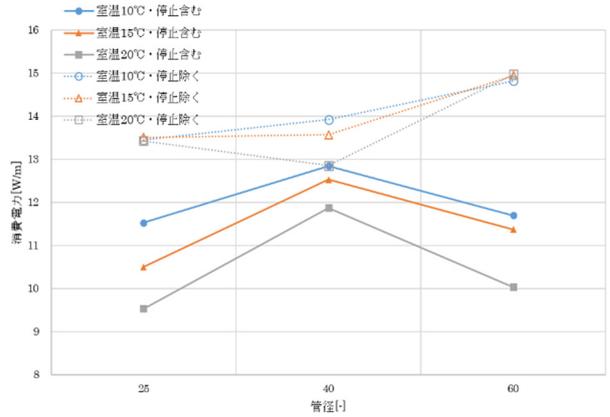


図-8 室温ごとの管径と消費電力の関係

れた理由として、20, 60SU は室温が 10℃から 20℃で、ヒータの停止時間が 5 分より長かったのに対して、40SU は制御設定温度の上限に達しておらず、ヒータの停止時間が 5 分間であったことが要因と推測した。

### おわりに

本実験では、配管温度と消費電力を測定することで、自己制御ヒータの各種運転特性を明らかにした。運転方法については、おおむね事前調査通りの結果を得た。

自己制御ヒータの停止時間が自己制御ヒータの消費電力に影響すると考えられる。また、 $\Delta T$  (配管温度-室温) が大きくなる、つまり、配管の放熱量が増加するにつれて、消費電力が大きくなることから、自己制御ヒータを用いた HWAT 給湯システムの最適な運転のために配管の断熱性や环境温度が重要になると考えられる。

一方で、一部の配管では、自己制御ヒータの制御範囲 (配管温度=制御設定温度 $\pm$ 2℃) を超えた配管温度を計測した。これは、熱電対と配管表面に隙間があったことが理由として考えられる。

今後は、自己制御ヒータ側での測定温度と熱電対での実測値のずれを是正し、解析を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) 村田博道：給湯循環ポンプの運転方法とヒートトレーサの利用、空気調和・衛生工学会 中央式給湯設備設計方法検討小委員会報告書、pp.121~122 (2014)

# B-17

## 非接触型放射センサと数値解析を連成させた室内環境リアルタイム表示システムの開発

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

Development of a real-time display system for indoor environment  
 combining non-contact radiation sensor and numerical analysis

Suzuki Megumi, Suzuki Shinsuke, Shinmura Kouichi, Fukumori Kanta (Sanki Engineering Co., Ltd.)

キーワード：温度分布、数値解析、リアルタイム表示

### はじめに

室内の温熱環境を確認するためには、センサを設置して測定する手法が考えられるが、設置個所に限りがあるため室内の特定地点の温熱環境を出力するのみであり、室内全体について温熱環境の平面分布や断面分布を把握できない。本報では、オフィスなどの室内空間において、中央監視のデータや各種計測機器から自動収集したデータを数値解析ソフトに自動的に取り込んで計算することで、10分程度の比較的短い周期で温度や気流などの空間分布を提示するシステムを検討した。

### 1. システム概要

従来の室内環境把握手法を図-1に示す。従来の手法では、センサによる特定地点の測定温度のみである。従って、室内の負荷の偏りや居室内の執務者近傍の温度を把握できないという問題点があった。

本報のシステムフローを図-2に示す。室内負荷を把握する機器として非接触式放射センサを天井に複数設置し、投影面の表面温度分布を一定周期でサーバPCに取り込み、出力用PCに表示するシステムを構築した。さらに、その値を用いて数値解析を行うことで、リアルタイムに室内の空間温度分布を確認する。この解析では、表面温度データから換算した発熱負荷

と、空調吹出条件の測定値を与え、解析PCにて気流シミュレーションを一定周期で行う。

### 2. 表面温度分布の表示システム

#### 2.1 放射センサの概要

複数の機種種の分解能や設置の容易さなどを総合的に検討し、半導体サーモパイル型の非接触式放射センサを選定した。概要を表1および図-3に示す。このセンサは約13m<sup>2</sup> (3.6m×3.6m、設置高さ2.0mの場合)の対象面を256分割し、その放射温度を数秒間隔で測定するものである。これをS社執務室(491m<sup>2</sup>、在籍者53人)の天井部に48台設置した。センサの配置と配線の平面を図-4に示す。

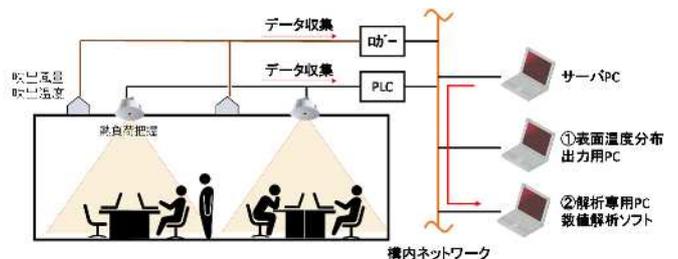


図-2 システムフロー

表-1 非接触式放射センサ概要

電源電圧	12.0~24.0 VDC
画素数(縦×横)	256 画素(16×16)
視野角	82°
検知範囲	3.6 m×3.6 m (センサから2 mの位置)
温度検出範囲	5~50°C
温度出力分解能	0.45°C

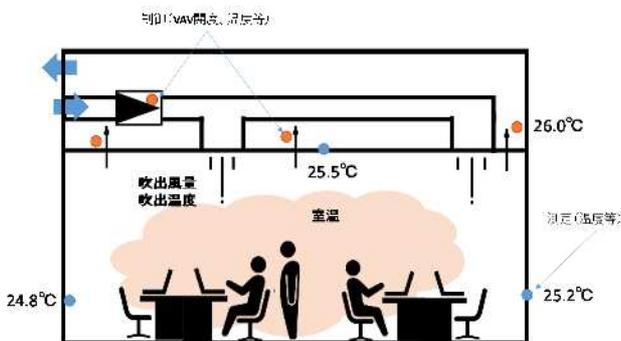


図-1 従来の室内環境

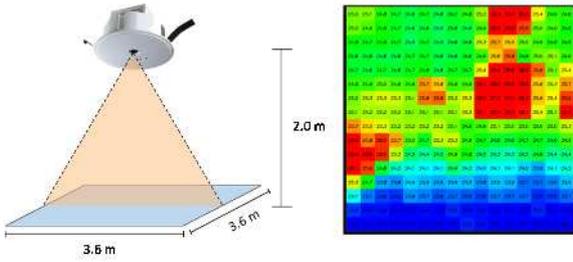


図-3 センサ測定概要

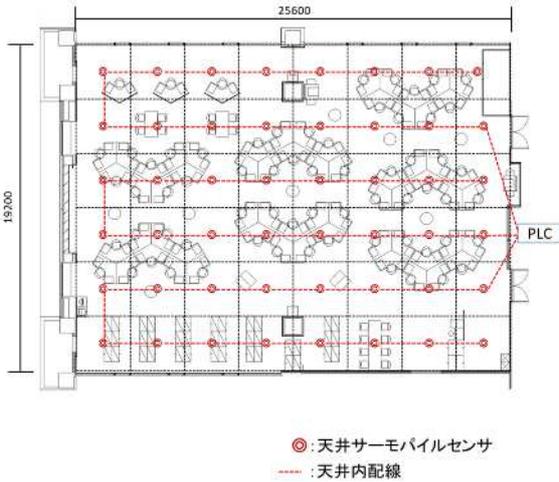


図-4 センサ設置点

## 2.2 表示ソフトの概要

複数のセンサからの信号を統合し、平面図上に表示できるソフトウェアを開発した。1月某日の温度分布の表示画面を図-5に示す。同図より、ペリメータ部である南側の窓近傍は日射の影響により表面温度が高くなっており、日射が当たらない外壁の室内側である東側では低くなっている。インテリア部においては、人が在席している箇所やPC等の発熱機器が設置されている箇所の温度が高くなっている。以上の点より、表面温度を測定することで、ペリメータおよび人や機器などの発熱状況を把握することができる。

また、サーバPC上で任意の表示点(最大16点)を設定することで、図-6のような温度変化が数秒間隔で表示できるようにした。

## 3. 発熱負荷量の推定

非接触式放射センサによる測定値を発熱負荷として数値解析に与える際、表面温度を境界条件として設定する方法では、実際の負荷に比べて不足する。その理由は、あくまでセンサ投影面の表面温度であるため、立体面からの発熱分が反映されないからである。そこで、機器発熱およびペリメータからの負荷を詳細に測定し、センサ測定値との相関を調べた。

ペリメータ負荷は、窓ガラス室内側表面に熱流センサを設置して測定した。また、熱電対も併せて設置し、

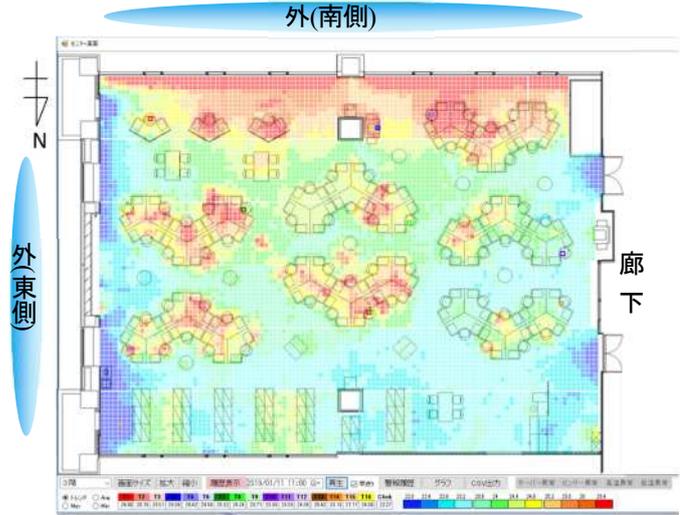


図-5 温度分布表示ソフト画面

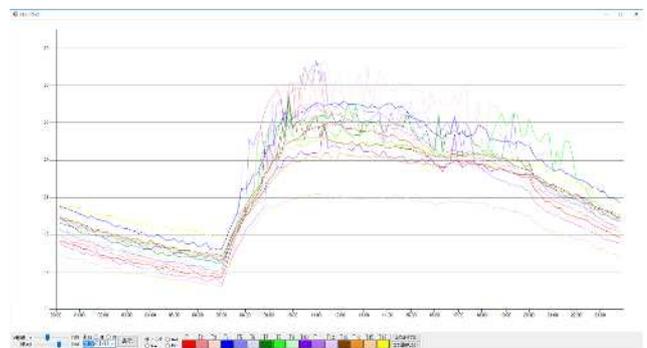


図-6 トレンド表示画面

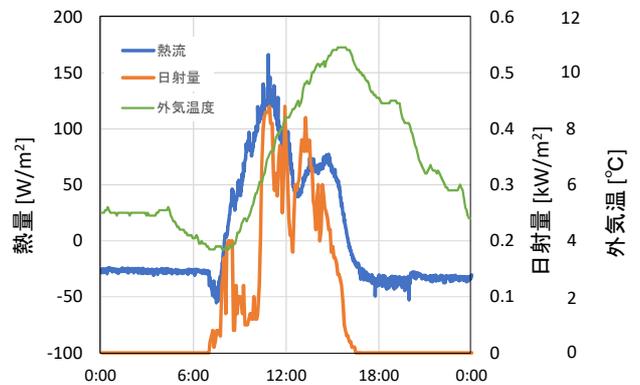


図-7 熱流および日射量、外気温の経時変化

ガラス表面温度を測定した。図-7に、熱流および日射量、外気温の経時変化を示す。同図より、夜間は熱流が安定してマイナスであり、昼間は日射により熱流が変動している。室内側にも日射計を設置し、直達日射がほとんどないことを確認した上で、同図の熱流値に窓面積を乗じて窓面からの負荷とみなした。

図-8に示す2つのエリアを対象に、調査を進めた。ペリメータ部では、窓面からの負荷にプリンタの消費電力を加えて総合熱負荷とした。インテリア部では、

人体は1人当たり60Wとし、ノートPCとデスクトップPCは消費電力を計測して、1台当たり23Wと50Wとした。この単位負荷に、目視にて確認した人数と稼働機器を乗じたものを合計し、総合熱負荷とした。対象期間は、各エリアともに冬期であり、4時間の平均値を整理した。

温度差(各エリアの平均温度-居室全体の平均温度)と発熱量の関係を図-9に示す。同図より、表面温度差と熱負荷は、概ね単調増加の関係にあることが分かる。また、ペリメータ部とインテリア部は、より広い範囲でのデータを拡充する必要はあるものの、本報では両者同一の式にまとめられるものとみなした。この算定式を次式に示す。

$$Q = C \times A \times \Delta T$$

但し、Q: 負荷 [W]、C: 係数 (40 [W/(m<sup>2</sup>・°C)])

A: エリア面積 [m<sup>2</sup>]、ΔT: 表面温度差 [°C]

#### 4. 空間温度分布の解析システム

##### 4.1 解析モデルおよび条件設定

解析モデルは、前章で導出した発熱条件と別途測定した空調吹出条件を与え、什器の無い室内空間とした。この空調システムを図-10に示す。同システムは、参考文献1)で検証評価しているものであり、ユーザが任意に風量調整できるファン付き吹出口(FDU, 48台、定格200m<sup>3</sup>/(h・台))を天井給気チャンパ下部に備え、床面(96ヶ所)にて吸込む方式である。

吹出温度は吹出口近傍に設置した熱電対により測定し、風速(風量)は、空調制御情報を用いて設定した。また床下にも熱電対を設置し、吹出温度と床下温度の差および空調風量から空調処理熱量を算出し、室内全体に与えた。

##### 4.2 解析結果

数値解析結果を図-11に示す。各種吹出条件と発熱条件を設定することで、室内の温度ムラが表現できることがわかる。

今回の計算条件(発熱負荷48台×256=12288個、面積491m<sup>2</sup>)における数値解析時間は約5分半であった。このことから、10分間隔毎の解析によるリアルタイム表示が可能であることが示唆される。

##### 4.3 実測値との比較

数値解析結果と実際の温度との比較を行うために、室内の温度測定を行った。測定点は図-8に示すように6系統とした。各系統における高さFL+600、FL+1100、FL+1700の測定値を用いて比較をした。なお、対象時刻は9時から17時までとし、1時間ごとの瞬時値を用いた。

インテリア部である地点①と地点②における実測値と解析値を比較したものを図-12に示す。結果のほ

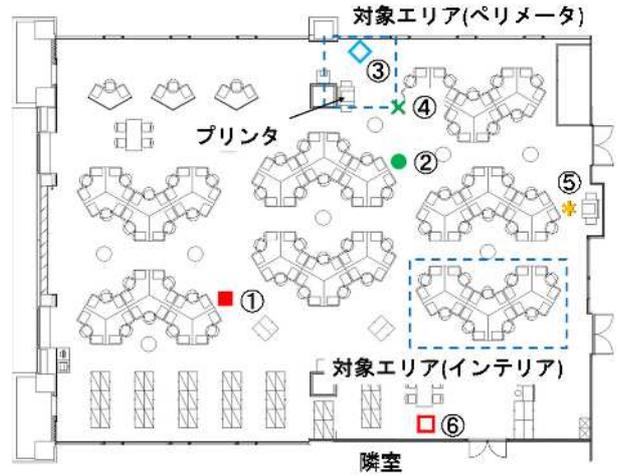


図-8 発熱負荷の比較対象エリアおよび空気温度測定点

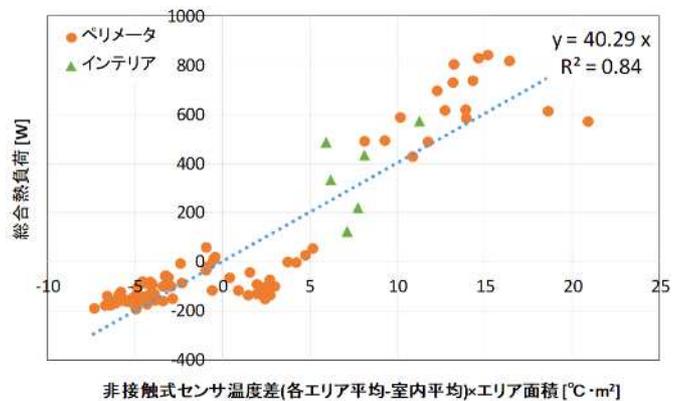


図-9 表面温度差と熱負荷の関係

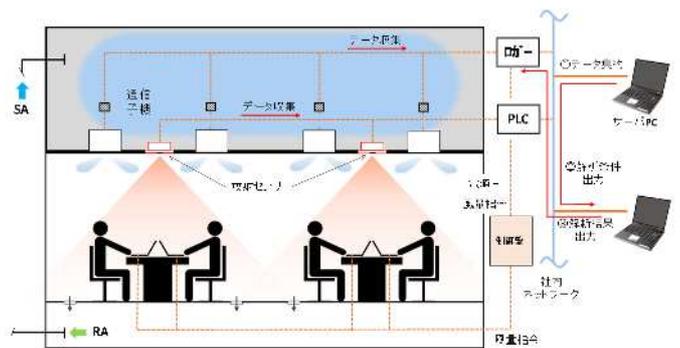


図-10 解析対象の空調システム

とんどが誤差±1°C以内に収まっていることから、このエリアでは実用上の範囲内であることが確認できた。

ここ以外の実測値と解析値を比較したものを図-13に示す。同図より、誤差±1°Cから外れている点が多いことがわかる。不整合の理由として、ペリメータ部の地点③とそれに近い地点④は、ファンコイルユニットの運転状態を正確に条件設定できていないためと考えられる。地点⑤は、センサ設置の都合上、表面温度が一部欠損しており、ここにあるプリンタや廊下からの熱負荷が計算に反映できていないためと考えられる。

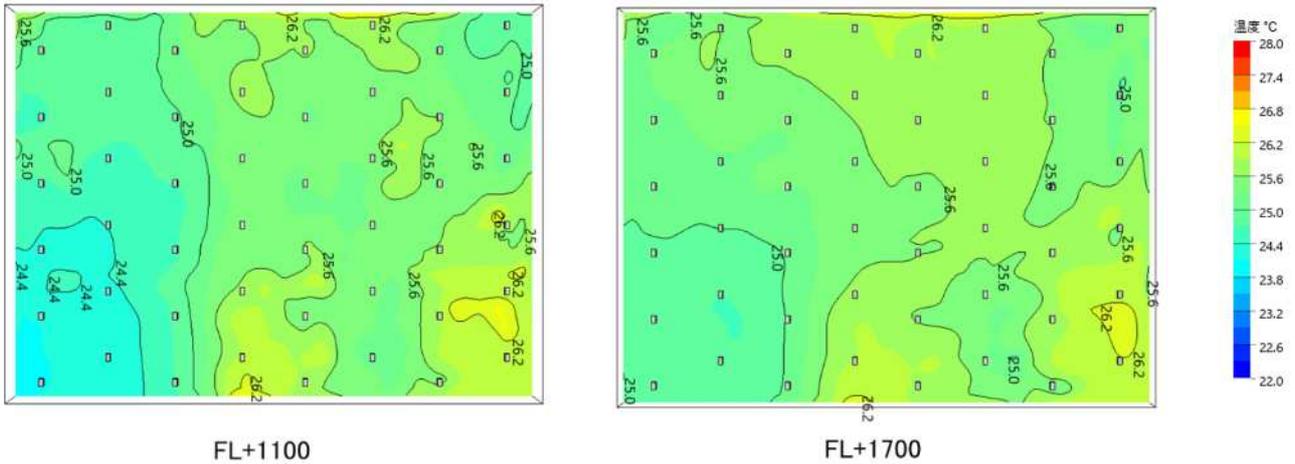


図-11 解析結果例 (3月某日 15時)

地点⑥では、インテリアといえ隣室からの入退室に伴う空気流通の影響が考えられる。

### 5. まとめ

本報では、詳細な室内環境をリアルタイムで確認するシステムを検討した。その1つとして、選定した非接触式放射センサにより数秒間隔で温度を測定し、表面温度分布を表示するシステムを開発した。

さらに、センサの測定結果から室内の発熱負荷を推定する式を導出し、得られた発熱負荷を用いて空間温度分布の数値解析を試みた。解析と実測を比較することで多くの課題が抽出でき、インテリアの一部において実用可能な程度の結果を得ることができた。

今後は、この解析精度を高めるとともに、放射センサを用いた、より快適な空調システムの構築も目指す予定である。

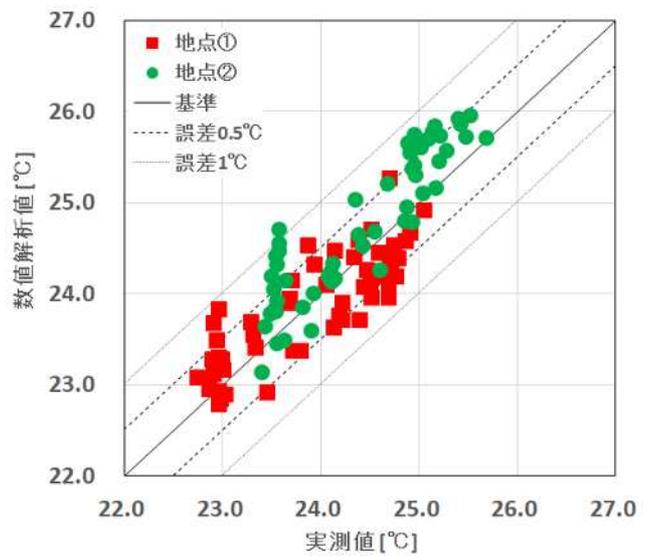


図-12 地点①と②の実測値と解析値の比較

### 参考文献

- 1) 鈴木、福森、新村、土屋：天井吹出口毎に風量制御する空調システムの開発(第1報)ファン付吹出口の基本性能とシステム検討、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp 193-196、2018.9
- 2) 原山、太宰、本田、田村：赤外線アレイセンサを用いたオンデマンド環境(空調・照明)制御システムの研究と開発(第2報)表面温度計測地から推定する顕熱負荷に基づく室温制御の開発・検証、空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集、pp 457-460、2017.9

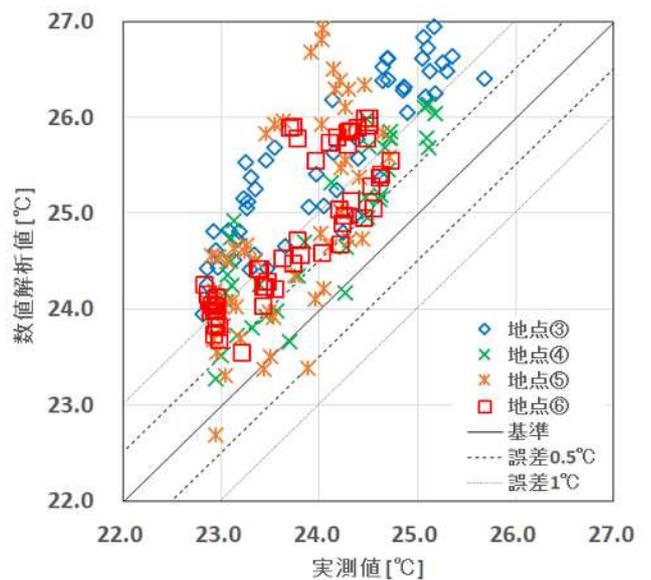


図-13 地点③～⑥の実測値と解析値の比較

応急仮設住宅の環境設計ガイドラインの提案

－ 熱・空気環境改善に向けた仕様と住まい方の検討 －

○千田涼香（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学），

竹内仁哉（秋田県立大学），松本真一（秋田県立大学）

Proposal of Environmental Design Guidelines for Temporary Housing  
 Consideration of House Specification and Living Style for Improvement  
 For Improvement of Indoor Thermal and IAQ

Chida Suzuka(Akita Prefectural University), Hasegawa Kenichi (Akita Prefectural University),  
 Takeuchi Jinya (Akita Prefectural University), Matsumoto Shin-ichi (Akita Prefectural University)

キーワード： 応急仮設住宅，環境設計ガイドライン，数値計算

1. はじめに

近年，自然災害によって多くの被災者が応急仮設住宅(以後，仮設住宅とする)での生活を余儀なくされている。仮設住宅は災害救助法に基づき供給されるものであるが応急的な処置に留まるため一般住宅よりも性能が劣り，その多くは十分な居住環境が確保されていない。建築環境工学の観点から見ると，断熱性能の不足による夏季の暑さや冬季の寒さ，結露やカビの発生，気積の小さな空間での居住密度の高い生活による換気不足などが懸念されている。

本研究では，室内の熱・空気環境に関する数値計算により仮設住宅の環境改善に向けた仕様と住まい方を検討し，環境設計ガイドラインの提案への一助とすることを目的とする。

2. 熱空気環境の数値計算による住宅仕様の検討

2.1 計算概要

図1に数値計算モデルの作成に用いた仮設住宅(1DK, 3K)の平面図を示す。宮城県仙台市に立地するものとし，仮設住宅の大規模を占める中間住戸を想定する。計算には動的熱負荷計算プログラム TRNSYS18 を用い，これに換気計算のための計算モジュール TRNFLOW を組み込み，熱と空気を連成させる。本研究では，1DK, 2DK, 3Kの3つの数値計算モデルを作成し，寒冷地における断熱仕様と換気方式を検討する

2.2 計算条件

表1に計算条件，例として表2に3Kの断熱水

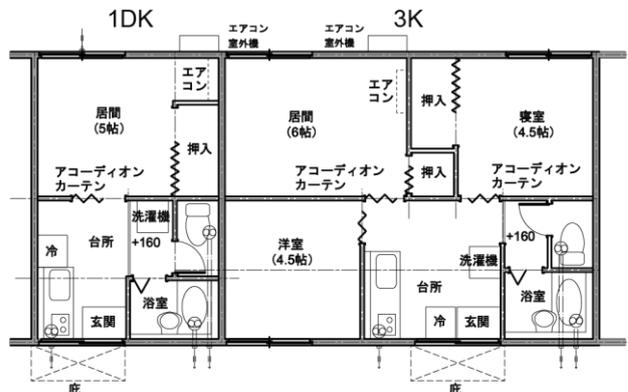


図-1 計算モデルに用いた仮設住宅の平面図

表-1 計算条件

断熱水準	Q1	Q2	Q3
C値 [cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	5.88	2.00	1.00
暖房	設定温度 20℃		
換気設備	台所	風量 450 m <sup>3</sup> /h ， 間欠運転	
	浴室	風量 85 m <sup>3</sup> /h ， 終日運転	
	トイレ	風量 75 m <sup>3</sup> /h ， 終日運転	
	居間	なし	熱交換換気扇 風量 64 m <sup>3</sup> /h ， 熱交換効率 77%
小屋裏	給気口	第二種機械換気 (風量 75 m <sup>3</sup> /h )	
二酸化炭素発生量	安静時	0.013 m <sup>3</sup> /(h・人)	
	平常時	0.020 m <sup>3</sup> /(h・人)	

準とそれに対応する断熱仕様を示す。居住者は，勤め人・男性，勤め人・女性，小学生，中学生の4人世帯を想定し，冬季における人体と家電等の機器からの発熱と呼気による二酸化炭素の発生を考慮する。二酸化炭素は安静時で0.013m<sup>3</sup>/(h・人)，平常時で 0.020m<sup>3</sup>/(h・人)発生しているとする。計算期間は2月とし，温度と二酸化炭素濃度は厳

寒期である2月5日から2月9日までの5日間の結果を評価に用いた。

計算条件として、断熱水準を Q1, Q2, Q3 の3つに分類し、東日本大震災時の仮設住宅の標準仕様(Q1, 省エネルギー基準 2)(以後、省エネ基準とする)の4地域レベル(Q2), 省エネ基準の1地域レベル(Q3)とする。また、断熱水準と対応して相当すき間面積(以後、C 値とする)を設定し、Q1 で 5.88cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, Q2 で 2.00cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>, Q3 で 1.00cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>とする。

暖房時は、設定温度を 20℃として在室時のみ運転しているとする。換気設備としては台所、浴室、トイレに第3種機械換気設備を設置し、東日本大震災時に供与されたものと同性能のものとする。運転状況は既往研究 ③を参考に台所を間欠運転、浴室とトイレを終日運転とする。また、小屋裏換気に第2種機械換気設備の設置と給気口の設置を条件に加えた。

仮設住宅の居住環境の特徴として換気不足による室内空気汚染が懸念される。しかし、現状の換気設備の換気風量を増加させた場合、二酸化炭素濃度を低下させることは可能であるが、その反面、室内の温度が著しく低下することにより、暖房負荷が増加する可能性が考えられる。そこで、居間への熱交換換気扇の設置を検討する。熱交換換気扇は顕熱交換効率を 77%とし、在室時のみ運転しているものとする。

### 2.3 計算結果

計算条件の略称として V1 を現状の換気設備、V2 を熱交換換気扇を設置した場合とし、AS1 を小屋裏換気扇の設置、AS2 を小屋裏への給気口の設置とする。計算結果より、吉野のグレード評価値 ⑤と暖房負荷を算出し、室内空気環境の評価には居間の二酸化炭素濃度を用いる。

図2に3Kにおける温熱環境グレード評価結果、図3に居間の二酸化炭素濃度の結果、図4に2月の暖房負荷の結果を示す。二酸化炭素濃度の計算結果より現状の仮設住宅の換気設備では 75%タイル値が 1300ppm を超えている。V1 の計算結果によると、すべての計算ケースにおいて 75%タイル値が基準値である 1000ppm を超えていることが確認できる。このことから、現状の換気設備では換気不足となることが予測される。しかし、熱交換換気扇を設置した場合ではすべての計算ケー

表-2 3Kにおける断熱水準と断熱仕様

断熱水準		外壁	開口部	天井	床
Q1 標準仕様	材料	GW10K	単板+単板 (アルミサッシ)	GW10K	GW10K
	厚さ [mm]	100		100	50
	中空層		6mm		
	U値 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0.42	3.62	0.45	0.79
Q2 省エネ基準 (4地域)	材料	GW10K	複層ガラス (樹脂)	高性能GW16K	GW10K
	厚さ [mm]	100		150	100
	中空層		10mm		
	U値 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0.42	2.66	0.24	0.44
Q3 省エネ基準 (1地域)	材料	高性能GW16K	Low-E 複層ガラス (樹脂)	高性能GW48K	高性能GW24K
	厚さ [mm]	100		200	100
	中空層		12mm		
	U値 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	0.33	1.86	0.16	0.33

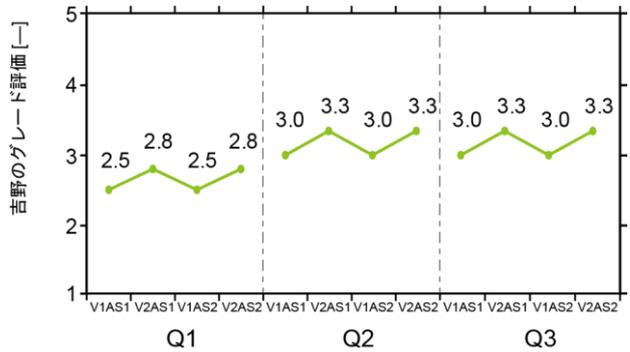


図-2 3Kにおけるグレード評価の結果

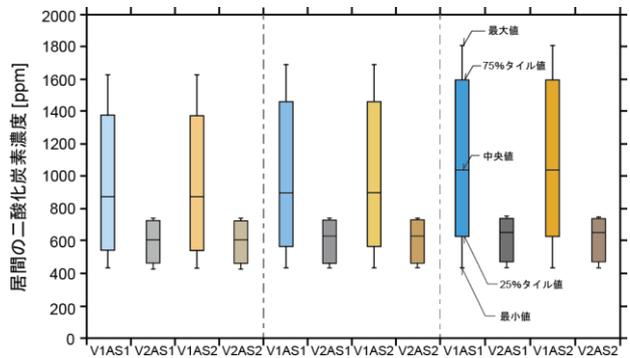


図-3 3Kにおける居間の二酸化炭素濃度

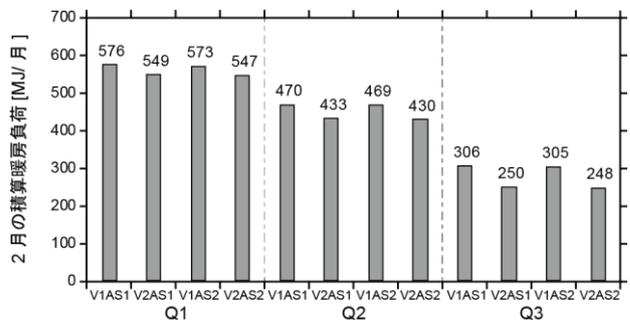


図-4 2月の暖房負荷

スにおいて二酸化炭素濃度は基準値を下回り、居間における換気不足が解消されている。

次に、グレード評価値と暖房負荷を比較する。現状の仮設住宅の仕様では、明け方の居間の最低室温は 10℃を下回る結果となりグレード評価値は 2.5 と低く、2 月の暖房負荷も 570MJ/月を超えている。しかし、Q2, Q3 と断熱性能を向上させることでグレード評価値は 3.0 となり、暖房負荷も低下していることから温熱環境が改善されているといえる。

また、熱交換換気扇を使用することにより設置前よりもグレード評価値が高くなり暖房負荷が低下していることも確認できる。

小屋裏換気に関しては、小屋裏換気扇と給気口の設置による違いはほぼないといえる。

### 3. 環境設計ガイドラインの提案

#### 3.1 数値計算からみた仕様の提案

数値計算の結果より、現状の仮設住宅の換気設備では全ての計算ケースにおいて居間の二酸化炭素濃度の 75%タイル値が基準値を超えているのに対して、いずれも熱交換換気扇を設置すること

で基準値を下回ることが確認できた。従って、現在の換気設備に加えて居間に熱交換換気扇を設置することで温熱環境を維持しつつ室内空気汚染のリスクを低下させることが可能であるといえる。

また、グレード評価結果より Q2V2 と Q3V2 ではいずれも評価値は 3.3 であるが、明け方の最低温度は 2℃程度の差がある。仮設住宅は災害時に応急的に供給される役割を担っているが、断熱水準としては最低限として地域の省エネ基準レベルを確保することが望ましいといえる。

小屋裏換気設備としては、換気扇と給気口の設置の違いによる居室への熱・空気環境の影響は確認できなかった。よって、新潟中越地震の小屋裏での結露被害を教訓に、小屋裏の結露を着実に防ぐためにも小屋裏換気扇の設置が望ましいといえる。

#### 3.2 住まい方による対処法の提案

表 3 に住まい方による対処法の一例を示す。温熱環境に関しては、夏季はすだれや緑のカーテンの使用による日射熱の侵入の防止や扇風機等の使用による冷気の循環、冬季は厚手のカーテンの使

表-3 住まい方による対処法

	住まい方による対処法		具体的対処法
温熱環境	夏季	日射熱の侵入の防止	すだれ, カーテン, 緑のカーテン 小屋裏に熱気が籠らないよう, 小屋裏換気扇を運転
		クーラーの使用	扇風機やサーキュレーターと組み合わせた空気の循環
		良好な風通し	南北に通風経路の確保 換気扇の運転により, 室内を負圧へ
	冬季	暖房器具の使用	空間を暖めることを優先(こたつのみでなく)
		床の冷たさの緩和	カーペットやホットカーペットの使用
		小型ヒーターの使用	トイレ, 浴室, 台所で使用し極端な寒さを緩和
		開口部の断熱性能の向上	開口部のドラフトを解消するため, 厚手のカーテンを使用
結露とカビ	空気の滞留の緩和	壁や床と家具・衣類との隙間を確保 扇風機やサーキュレーターを利用による空気の循環	
	発生した湿気を速やかに排気	入浴後の換気扇の長時間運転 調理時に換気扇を運転 在室者が多い時は換気扇(浴室, トイレ)を運転	
	結露被害の抑制	結露水のコマメな拭き取り 除湿器の使用	
室内空気環境	在室時の換気の確保	換気扇の運転	
	防虫剤等の適度な使用	過度な使用を禁止	
	こまめな掃除	床に真菌などが堆積しないように掃除	

用による開口部の断熱性能の向上やサーキュレーター等を使用することによる室内の温度差の緩和やホットカーペットの使用による床の冷たさの緩和などが挙げられる。また、結露やカビ、ダニに関しては換気扇を有効に使用することや結露水をこまめに拭き取る、扇風機やサーキュレーターの使用により空気を循環させることが挙げられる。室内空気環境に関しては、在室時は浴室やトイレの換気扇を常時運転させる、防虫剤等の過度な使用を控える、給気口を開けることが挙げられる。

- 5) 長谷川 房雄, 吉野 博: 東北地方の各種住宅における冬期の室温に関する調査研究, 日本建築学会計画系論文報告集, No.371, pp18-26, 1987年.

#### 4. まとめと今後の展望

プレハブ建築協会が供給する仮設住宅の数値計算モデルを作成し、断熱水準と換気設備の仕様を提案した。3Kにおいて、断熱水準としては現行の省エネ基準レベルが望ましく、熱交換換気扇の設置により温熱環境を維持しつつ室内空気汚染のリスクを低下させることが可能といえる。

本研究では、熱・空気環境に関する数値計算であり建設コストや湿気環境を考慮していない。よって、今後はそれらを考慮し、より現実的な提案をする必要がある。

#### 謝辞

本研究は日本建築学会東北支部・環境環境工学部会内に設置されている「応急仮設住宅の環境設計・住まい方ガイドライン作成WG」の活動の一括として行った。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会東北支部環境工学部会震災関連住宅における健康影響の低減対策に対する緊急研究委員会: 震災関連住宅研究成果報告書, pp66-68, 2015年.
- 2) 平成28年省エネルギー基準解説書編集委員会: 平成28年省エネルギー基準に準拠した算定・判断の方法及び解説, pp4,20-4,22, 2017年.
- 3) 小野田 知矢: 応急仮設住宅における熱・空気環境の実態および数値計算, 平成24年度本秋田県立大学卒業論文, 2012年
- 4) 間 義規, 長谷川 兼一, 吉野 博: 応急仮設住宅を対象とした熱湿気環境に関するシミュレーション, 日本建築学会学術講演梗概集, 2013年.

東北地方の冬季の住宅内寒冷環境下における人体エクセルギー消費の試算

○西川竜二 (秋田大学)

Human-body Exergy Consumption in the Thermal Environment of dwelling house in Winter  
Nishikawa Ryoji (Akita University)

キーワード： ヒートショック，人体エクセルギー消費，血圧，温冷感覚

1. はじめに

住宅内の大きな室温温度差は、ヒートショックを引き起こし、脳血管疾患や心疾患を誘発する原因となる。冬季に寒冷で、断熱性能が低い築年数の経った木造戸建て住宅で一室間欠暖房が多い東北地方では、暖房室と非暖房室の温度差が大きく、特に冬季の入浴時に高齢者がヒートショックを起こしやすい。

筆者は、既報<sup>1)</sup>にて、秋田県内の住宅熱性能に違いのある3世帯の高齢者・中年・青年の同居家族を対象に、冬季の入浴行為に伴う温熱環境・生理量(血圧・心拍数等)・心理量の実測調査を行い、住まい方の工夫として容易な脱衣所での赤外線ストーブの利用の効果と電気代などを検証した。

本報では、既報の実測調査のデータの一部を用いて、冬季の入浴時の人体エクセルギー消費速さの試算と簡単な考察を行った結果を述べる。人体エクセルギー消費速さは、ヒトの熱的ストレスや温熱快適性、環境調整行動をより深く理解するのに有用な概念として研究が行われている<sup>2)3)</sup>。

2. 実測データ及び分析方法

表-1に、ここでの分析に関する実測データの概要を示す。秋田市にある2002年築の木造一戸建て住宅(窓仕様は新省エネ基準レベル)に居住する48歳の女性のデータを用いた。

人体エクセルギー収支は、環境4要素、人体2要素から求まるコア温・シェル温・着衣温度に、環境外気温湿度を用いて計算する。今回は、定常の計算モデルを用いた<sup>4)</sup>。表-2に計算概要を示す。ただし、現在は非定常で、人体エクセルギー消費の内訳を分析する方法が開発されており、ヒートショックの現象理解にも非定常での扱いと人体内のエクセルギー消費過程の内訳の省察(コアとシェルでの熱拡散の種類と速さ)が有効と考えるため、次のステップと考えている。

表-1 使用した実測データの概要

【対象住宅】	既報1)のC家
	秋田市にある2002年築の持家・木造2階一戸建て。窓は全て複層ガラスの一重サッシ(脱衣所・浴室も)。部分間欠暖房で、居間はFF式石油ストーブで起床～就寝まで暖房。非居室は暖房設備なし。浴室はユニットバス。
【世帯】	7人家族。実測では3名に協力してもらったが、ここでは、うち48歳・女性の実測データの分析結果を示す。高血圧や降圧剤の使用などはなかった。
【実測期間】	2012年の3期間、各3日間のデータ(毎日入浴)。 ①11月(11/20, 21, 22)、②12月(通常時: 12/8, 9, 10)、③12月(対策時: 12/11, 12, 13)。※対策時は入浴時に脱衣所で400Wの赤外線ヒーターを使用してもらった。電気代は月1200円程度。
【室温データ】	居間・脱衣所の温湿度・グローブ温度、浴室温度、など。データロガーで1分または2分間隔で連続測定。
【生理データ】	血圧(手首式血圧計)、など。血圧は一度に2～3回測ってもらい、1回目は分析に使用しない方法とした。
【心理データ】	温冷感、温熱性快不快感、など。
【行動データ】	着衣量、入浴時の行動記録、ヒートショック予防の工夫の実践度と今後の継続の意向、など。

表-2 人体エクセルギー収支の計算条件

【計算モデル】	定常計算モデル
【環境4条件】	室内気温・湿度は実測値。気流速度は0.1m(静穏)とした。MRTは、室内気温とグローブ温度の実測値から気流0.1mとして算出。
【人体2要素】	クロ値は居住者の着衣の記録から、0.75cloとした。代謝量は、居間では1.0met、脱衣所1.2metとした。
【環境外気温湿度】	秋田市内のアメダス観測データを使用

3. 結果と考察

図-1に、①～③期の計9日間の入浴時の居間(入浴前に居間で安静にし血圧測定)、脱衣所(入浴前/入浴後)を示す。外気温は約0℃で、数日の暖かい日で約5℃である。11月は脱衣所の温度は15℃前後あり、居間との温度差は約8℃だった。12月(通常)は、脱衣所の温度が約12℃に低下する日もあり、室温温度差が10℃を超えた。12月(対策)では、赤外線ヒーターの放射の影響を含めて脱衣所の気温・MRTは約18℃になり、居間との室温温度差が3～5℃に軽減し、3期の中で居間と脱衣所の室温温度差は最も小さくなった。

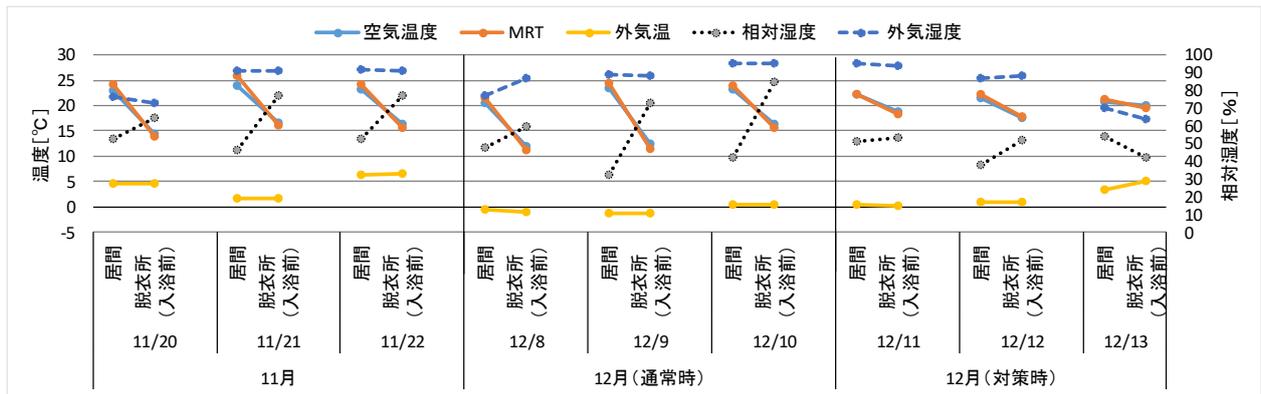


図-1 入浴行為時の滞在場所の温湿度の実測値、及び外気温湿度

図-2 に入浴行為（脱衣）に伴う収縮期血圧を、図-3 に全身温冷感覚の申告値を示し、図-4 に対応する人体エクセルギー消費速さの計算値を示す。収縮期血圧は居間で 120～130mmHg で、脱衣時で最大 140～150 になり、平均 15～20 程度上昇した。最高血圧では、①～③期では明確な違いは見られなかった。一方、全身温冷感申告では、12 月（通常時）が寒さの訴えと強さが多く、12 月（対策時）は心理的・自覚的な寒さは軽減されている。人体エクセルギー消費速さは、居間では 2.4～2.6W/m<sup>2</sup> で、冬季に暑くも寒くもないとされる約 2.5W/m<sup>2</sup> 付近である。それが脱衣により増大しているが、11 月は 2.89～3.7W/m<sup>2</sup>、12 月（通常時）は 2.88～4.25W/m<sup>2</sup> まで上昇したのに比べ、12 月（対策時）は 2.77～2.94W/m<sup>2</sup> に抑えられており、温熱環境の緩和の効果として捉えられているようである。今後は、分析のデータ人数やバリエーションを増やすとともに、人体エクセルギー消費の内訳を検討できる新しい計算モデルにより、ヒートショックによる血流量の変化の影響などがエクセルギーの観点でどのように説明できるかの省察を課題と考えている。

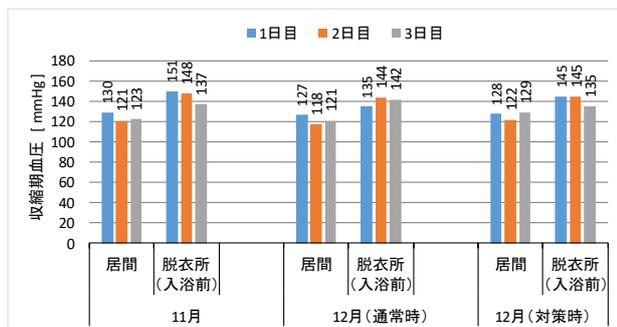


図-2 入浴行為に伴う収縮期血圧の測定値

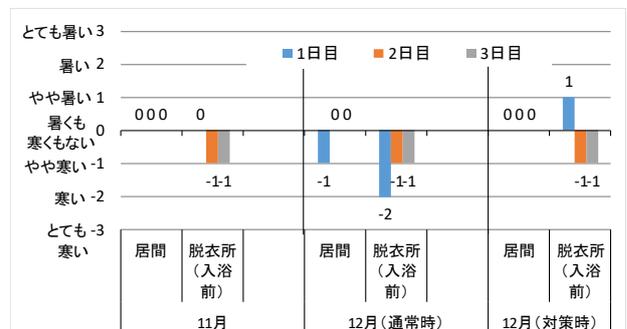


図-3 入浴行為に伴う全身温冷感の申告値

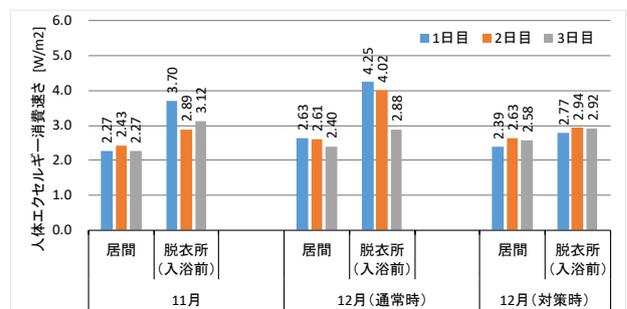


図-4 入浴行為に伴う人体エクセルギー消費

### 謝辞

人体エクセルギーの解析には、浅田秀男氏（愛知淑徳大学）にプログラムを提供頂きました。謝意を表します。

### 参考文献

- 1) 西川竜二・大阪絵美: 冬季における自宅での入浴行為にともなうヒートショックの実態と対策に関する事例調査, 建築学会東北支部研究報告集計画系第 76 号, 2013-6, pp.19-26
- 2) 宿谷昌則: 人体エクセルギー収支における消費内訳にかんする考察, 日本建築学会大会梗概集, 環境工学Ⅱ, 2017-8, pp.1-4
- 3) 宿谷昌則編著: エクセルギーと環境の理論(改訂版), 井上書院, 2010-9
- 4) 浅田秀男ほか: 人体および建物・暖房システムのエクセルギー計算ツールの構築, 日本建築学会大会梗概集, 環境工学Ⅱ, 2008-9, pp.584-585

## B-20

### 機械換気設備のない中学校教室における冷暖房期間の空気環境長期計測

○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）

A Long-Term Measurement including Cooling/Heating Seasons  
in Junior High School Classrooms with No Mechanical Ventilation Equipment

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

キーワード：CO<sub>2</sub>濃度，中学校，窓開け，自然換気，年間計測

#### はじめに

冬季の暖房期間中、在室者が過密である学校教室内の空気汚染解消のために、機械換気設備のない教室では、授業間の10分休みなどを利用した窓開けが推奨される。しかし、窓からの冷気侵入による不快感があるため、十分に窓開けがなされず、換気不足に陥る現状が見られる。それは窓開けによる換気効果が実感できないことが主な理由であり、窓開けの適切な時間や位置、幅について現場での戸惑いがある。このような換気不足は、冷房設置率が急増している昨今<sup>1), 2)</sup>では、夏季の問題にもなり得る。

そこで本報では、冷暖房既設で機械換気設備のない仙台市内中学校教室における空気環境の長期計測に基づいて、その実態把握を行う。

#### 1. 空気環境計測した期間、項目、対象建物

2019年1月30日～2020年1月9日のおよそ1年に渡り、気温（精度±0.5℃）、湿度（精度±5[計測箇所の一部で2.5]%RH at 25℃、50%）、CO<sub>2</sub>濃度（精度±[50ppm+読み値の5%] at 5,000ppm以下）を10分間隔で連続計測した（計測は継続中）。

計測対象は、仙台市市街域にある中学校（1学年=4クラス、157～158名在籍）の3学年全教室およびそれらの出入口が面しているホール、および中庭にある百葉箱内（気温、湿度のみ）である。学校建物はRC造3階建てで、教室棟は図-1のような平面構成であり、計測した教室は1階にある。窓はすべて南面しているが、教室c1とc4（以降、外側教室）はセットバックしているため、日照条件が不利である。また、窓の方向とホールに面する出入口の方向との関係が、教室c2とc3（以降、内側教室）では向かい合うのに対し、外側教室では隣り合うので、通風においても不利と考えられる。

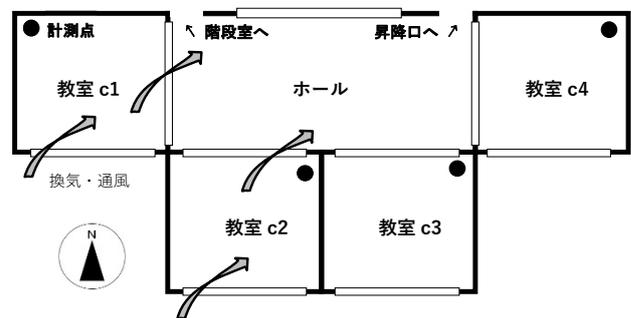


図-1 計測対象教室の平面構成

#### 2. 計測結果

図-2にすべての計測値を示す。計測器の調達の遅れ、計測中の電源不足、データ回収時期の遅れなどにより、1日以上欠測が2019年1月30日～2月19日、3月7日～5月8日、6月19日～7月2日、7月21日～8月28日、9月9日に生じた。

空調機の稼働状況は計測していないが、継続的に（室温－外気温）> 5℃である状態から、計測期間中の暖房使用は2019年1月30日～4月12日、11月11日～2020年1月9日と推測できる。また、継続的に（室温－外気温）< 3℃である状態から推測できる計測期間中の冷房使用は、2019年7月2日～9月17日（ただし、断続的）である。

相対湿度は、全般的に外気よりも室内空気は低めであるが、日中、教室が使用されている時間帯は外気よりも高まることもある。

CO<sub>2</sub>濃度が計測期間において1000ppmを下回る時間は、内側教室は85～86%なのに対し、外側教室が87～88%とやや大きく、ホールでは95%であった。しかし、一時的に3000ppmを超える濃度は、年間通して発生している。4000ppmを基準としてみると、教室平均で1ヵ月あたり30分を超えるのは、2、4、8、1月（ただし、4月15日に

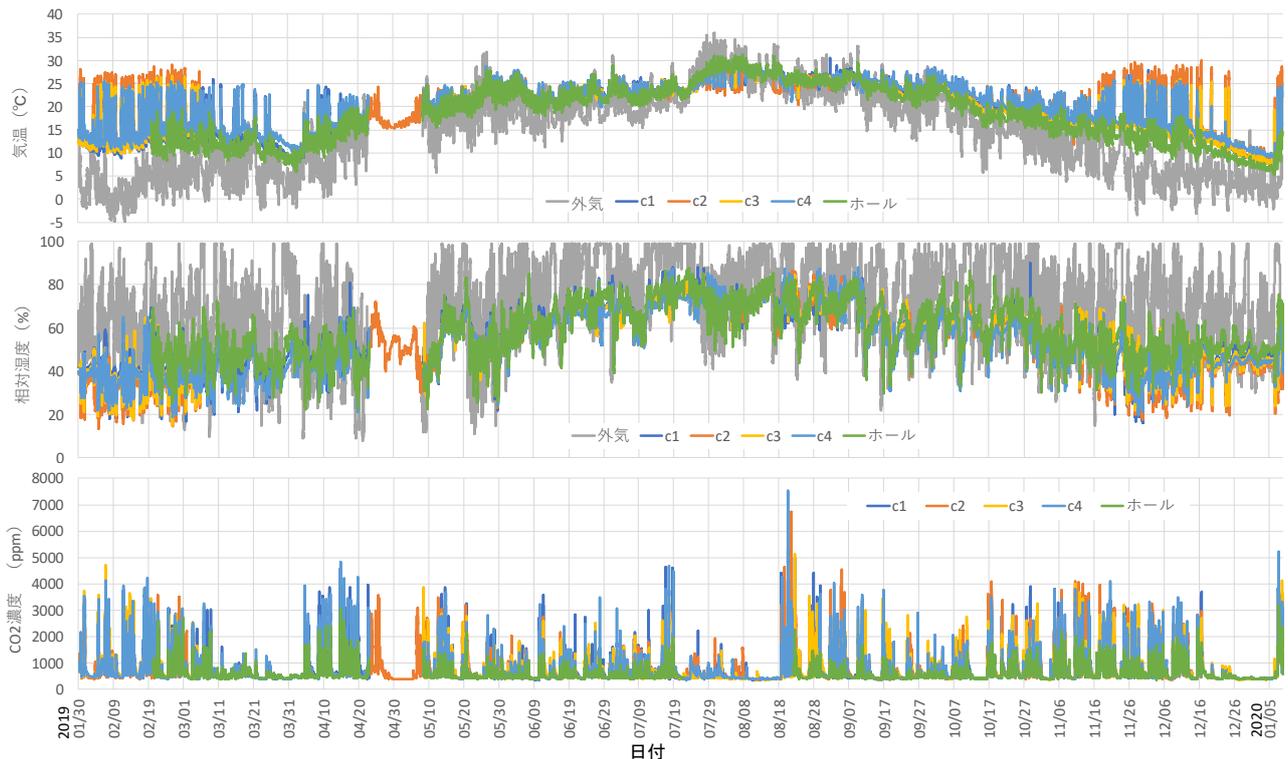


図-2 計測結果

1 教室で長時間の基準超過があった)であった。つまり、高濃度になりやすいのは夏季と冬季と言える。なお、内側教室と外側教室の差はなく、ホールでは4000ppmを超えることがなかった。

### 3. 教室の換気量推定など今後の展望

ある経過時間  $t$  [s] において室換気量  $Q$  [m<sup>3</sup>/s] が一定だと仮定できると、CO<sub>2</sub> の発生量  $k$  [mg/s] と濃度変化を下式(1)に与えることにより、 $Q$  を求めることができる。

$$C(t) = C_o + \frac{k}{Q} + \left( C(0) - C_o - \frac{k}{Q} \right) e^{-\frac{Q}{V}t} \quad (1)$$

ただし、 $C(t)$  :  $t$  秒後の室内 CO<sub>2</sub> 濃度 [mg/m<sup>3</sup>]、  
 $C_o$  : 屋外 CO<sub>2</sub> 濃度 [mg/m<sup>3</sup>]、 $V$  : 室容積 [m<sup>3</sup>]

$k$  の実態は計測できないが、日課表という、毎時間割の実施記録と出欠票により概算することは可能である。今後、教室ごとに換気量の時間変化を求め、冷暖房期間における窓開けの実態把握を試みる。

また、筆者ら<sup>3)</sup>がこれまで仙台市内の小学校を対象に実施してきた、室内空間の細菌・ウイルスからなるマイクロバイーム(微生物叢)の実態調査と同様の調査を、中学校教室において2019年1月30

日、3月6日、8月29日、10月8日に実施した。空気・衛生環境と窓開け行動、および出欠票から分かる健康実態との関係を分析し、暖冷房設備管理や業間窓開けの指導法開発につなげる予定である。

### 謝辞

本研究遂行にあたり、中学校の先生および生徒の皆様には多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表します。なお本研究は、宮城県公衆衛生研究振興基金による研究助成を受けました。

### 参考文献

- 1) 文部科学省:公立学校施設の空調(冷房)設備の設置状況について、報道発表 [https://www.mext.go.jp/b\\_menu/houdou/31/09/\\_icsFiles/afieldfile/2019/09/19/1421285\\_1.pdf](https://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/31/09/_icsFiles/afieldfile/2019/09/19/1421285_1.pdf) (2020.2.13 参照), (2019-9-19)
- 2) 仙台市:全ての市立学校にエアコンを設置します(発表資料), <http://www.city.sendai.jp/sesakukoho/gaiyo/shichoshitsu/kaiken/2018/10/30eacon2.html> (2020.2.13 参照), (2018-10-30)
- 3) 小林光・菅原正則:建築環境における呼吸器系病原体モニタリング法の確立に関する研究 その3 小学校におけるマイクロバイームの実態に関する調査研究, 日本建築学会大会(東北)学術講演梗概集 D-2, (2018-9), pp. 867-870

# T-1, T-2

T-1, T-2 : 配管材のオールプラスチック化

積水化学工業 (株)

**新製品**

建物用耐火性  
硬質ポリ塩化ビニル管用継手  
(建物排水・通気用)

エスロ耐火プラAD継手  
「HG」「SG」

遮音・防振性を追求!

耐火プラAD継手  
HG (ハイグレード)

進化版!

耐火プラAD継手  
SG (スタンダードグレード)

経済性を追求!

**耐火プラAD継手の  
各種性能を  
大幅リニューアル!**

**遮音性 UP!**

遮音性能が大幅アップ!

遮音設計を一新。非常に高い遮音性を実現します。

品名	遮音性能 (dB)
耐火二重管 + ADスリム	45
VPIパイプ + 耐火プラAD継手 HG	43

**コスト削減 UP!**

更に経済的に!

VPI管との認定を取得。経済的な配管が可能です。

品名	コスト (円)
耐火二重管 + ADスリム	100
VPIパイプ + 耐火プラAD継手	80
耐火二重管 + ADスリム	100
VPIパイプ + 耐火プラAD継手	80

**コンパクト・軽量 UP!**

施工性も更に進化!

継手重量はADスリムの約1/3。簡単に持ち運びできます。

品名	重量 (kg)
ADスリム	16.0
耐火プラAD継手 HG	5.5
耐火プラAD継手 SG	5.5

※VPI管では別途異なる場合は耐火入りP管で実測してください。

水道用耐震型  
高性能ポリエチレン管

建物給水管用  
エスロハイパーAW

マンション等の給水管を  
耐食性・耐震性に優れた  
**オール樹脂管に!**

給水立て管 埋設配管 ヒット天井配管

エスロハイパーAWの特長

**1 耐食性**

高性能ポリエチレン(PE100)の使用で  
**錆びなし! 漏れなし!  
赤水なし!**

サビや汚れ ぬめりが付かない 汚れが落ちにくい 腐食しない きれいな水

従来の配管内 エスロハイパーAW

**2 耐震性**

埋設配管で実績をつんだ  
水道用耐震型  
高性能ポリエチレン管を採用  
30cmの強制変位も  
クリアで耐震性確保!

耐震試験 軽ん新試験

**3 省力化**

信頼のEF接合、軽量・柔軟な管材、  
保温レス可能により  
**施工工数の省力化と  
トータルコスト削減**

配管作業量 接合が1箇所のみ 保温レスが可能 鋼管の約1/6の軽さ

**新登場! エスロハイパーAWかんたんクランプ**

コンパクトで取外し不要なクランプ付EF継手で施工のスピードアップに貢献!!

汎用工具で施工が可能!

パイプシャフト内などの狭小スペースでも施工可能!

簡単装着で時間短縮!

クランプ形状	取外し	取外し不要
標準型	000710	000710
コンパクト型	000710	000710

空調用配管資材

クワチョウハイパーCH  
エスロACDレンパイプ・継手

オール樹脂配管で**錆や腐食の心配なし!**

冷温水管  
空調配管用高性能ポリエチレン管  
**クワチョウハイパーCH**

- 50~200Aをラインアップ
- 冷温水管に水道管路で豊富な実績があるポリエチレン配管で**耐久性・耐食性アップ**
- 2色展開で調接続防止に貢献!!

NETIS (新技術情報 登録システム) 登録品

新技術名称: 空調配管用高性能ポリエチレン管・継手  
登録番号: 昭和三十九年03-A  
これまでに以上に公共物件の空調設備工事に施工省力化で貢献します。

空調ドレン配管

空調ドレン用結露防止層付硬質塩化ビニル樹脂継手

エスロACDレンパイプ・継手

工数削減! 継手も発泡樹脂で成形され、保水材の機能も有しているため

配管と同時に保温工事が完了!

結露防止層付継手と発泡層

継手

ACDレンを不要

ドレン工事 冷線工事 保温工事

空調ドレン立で管もオール保温レス!

立て管用伸縮処理継手 立て型トラップ

T-3

T-3：新型「業務用ロスナイ」のご紹介

三菱電機  
住環境システムズ(株)

# 業務用ロスナイ 天井埋込形

全熱交換形換気機器「ロスナイ」  
誕生 50周年記念モデルを発売

省エネ

快適な換気

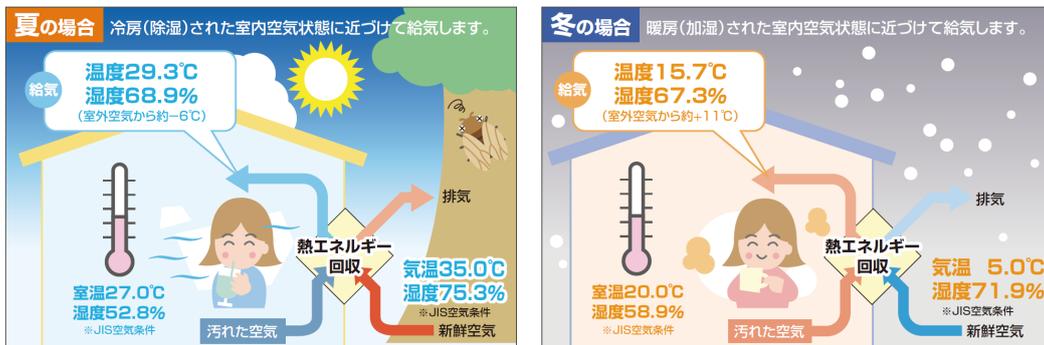
あなたのビルの省エネ・快適性向上に貢献します。

## ■ 特長

- **熱エネルギーの回収で快適かつ省エネな換気が可能**  
排気する室内空気の熱エネルギーを回収し、外気を室内空気状態に近づけて給気できるため、快適な換気や空調エネルギーロスの抑制が可能です。  
(50周年記念モデル 2020年7月発売予定)
- **「DCブラシレスモーター」を搭載し、省エネ性や設計自由度がさらに向上**  
・ AC モーター搭載の現行品と比べ、ロスナイ単体で約 39% の省エネを実現します。  
・ 現行品と比べて全機種で機外静圧がアップし、換気送風性能が向上しました。
- **施工性が向上**  
定风量制御\*が可能になり、換気設計や機種選定の手間を軽減します。  
\*ロスナイが既設ダクトの圧力損失を判定し、モーターの回転数を自動で調節することで、一定の換気風量を確保する制御です。
- **リプレース専用機が新登場**  
既設吊りボルトや既設当社業務用ロスナイ(スタンダードタイプ)のコントロールスイッチが流用可能で、省施工・工期短縮に貢献します。

## ■ 概念図

《ロスナイは「快適で省エネ」を実現する縁の下の力持ち!》



T-4

T-4：調湿外気処理ユニット（小型デシカント空調機）

クボタ空調（株）

For Earth, For Life  
Kubota

クボタ空調株式会社

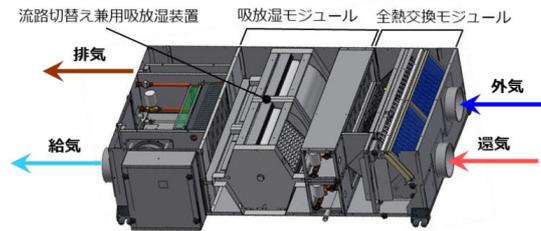
天吊型デシカント空調機「調湿外気処理ユニット」

～ZEBの普及に貢献する全熱交換器搭載小型デシカント空調機～

エネルギー消費の少ないビル、ZEB（ネット・ゼロ・エネルギービル）の普及のために、高効率な外気の処理及び居室内の調湿を行う、小型デシカント空調機「調湿外気処理ユニット」です。



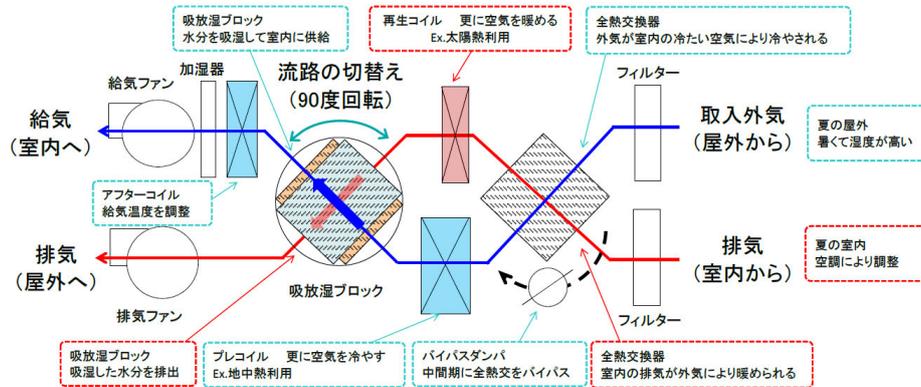
ユニット外観



基本構造

■ 調湿外気処理ユニット内の空気の流れ（夏期除湿運転時）

吸放湿ブロックは取り入れ外気の水分を吸収し、太陽熱や排熱などを利用し 45～65℃の温水で効率よく再生しながら除湿します。



冬期運転時は排気から水分を吸湿し、効率よく取り入れ外気に放湿することで加湿します。

■ 調湿外気処理ユニットの特徴

- ・ 空調機の断面形状に追従する吸放湿ブロックを採用、空調機内のスペース最適化により機器の高さを450mmに抑え、天井内設置が可能になりました。
- ・ 高分子吸着剤を使用し低温再生で優れた能力を有する吸放湿ブロックと、新構造の流路切り替え装置により、高い除湿性能を発揮します。
- ・ 全熱交換器に高分子吸着剤を使用した特殊透湿膜を採用、全熱交換効率 60%以上を達成しました。
- ・ 自社開発の制御ユニットコントローラにより、安定した湿度制御を行います。

## T-5

T-5 : 工場用ゾーン空調機

木村工機 (株)



### 工場用ゾーン空調機

広いエリアをカバーできるダクトレス空調機  
パンカーラーバーで吹き出し方向を調整  
オイルミストフィルター対応

### 4つの特徴

#### 1 ゾーン空調

広範囲に作業者がいる工場や、移動を伴う作業に最適。人のいる空間を効率よくパワフルに空調。

#### 2 ダクトレス

クレーン操作や設備改修の妨げにならないダクトレス空調機。天吊型、壁掛型、床置型をラインナップ。

#### 3 結露防止設計

吹出口には独自のパンカーラーバーを装着し、結露を防止。開放型工場にも最適な安心設計。

#### 4 簡単操作

エアコン感覚の簡単操作でスケジュール運転にも対応。吹き出し方向の調整、フレキダクトの取り付けも可能。

## 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	
14,469 名	29 名	32 名	353 名	14,883 名	482(社)	15,365 名

### 【創立】

1917 年（大正 6 年）7 月 28 日、“暖房冷蔵協会”として創立（会員数約 150 名）

### 【本部】

〒162-0825 東京都新宿区神楽坂 4-8 神楽坂プラザビル 4F

### 【会長】

田辺 新一（早稲田大学・教授）

### 【ホームページ】

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

2019 年 3 月末現在

空気調和・衛生工学会東北支部 メンバー

■ 東北支部運営委員 【2019年（第47期）・2020年（第48期）】

役 職	氏 名	所 属
支部長	渡邊 浩文	東北工業大学
副支部長	小林 光	東北大学大学院工学研究科
	田原 誠	(株)竹中工務店 東北支店
事業幹事	赤井 仁志	福島大学
	石島 和明	大成建設(株)
	菅原 正則	宮城教育大学
	須藤 諭	東北文化学園大学
総務幹事	金田 清満	新菱冷熱工業(株)東北支社
	及川 義信	新日本空調(株)東北支店
	荒川 博之	高砂熱学工業(株)東北支店
会計幹事	庄司 恒久	空気調和・衛生工学会東北支部
	小林 照和	(株)興盛工業所
	牧野 泰弘	ダイダン(株)東北支店
事業委員	岩淵 克也	(株)ユアテック
	岡田 誠之	東北文化学園大学
	小山 琢	三建設備工業(株)東北支店
	神鳥 博俊	東北地方整備局
	許 雷	東北工業大学
	小林 仁	仙台高等専門学校
	後藤 正徳	第一工業(株)東北支店
	佐々木 修	(株)アトマックス
	鈴木 道哉	東北学院大学
	須知 秀行	(株)朝日工業社 東北支店
	谷 博之	(株)大気社 東北支店
	月野 智弘	(株)ピーエーシー仙台支所
	早瀬 訓	東北電力(株)
	山田 英明	東洋熱工業(株)東北支店
	渡邊 東一	三機工業(株)東北支店

■ 賛助会員

社 名	郵便番号	住 所
北関東空調工業(株)	970-8026	いわき市平字柳町 3
(株)興盛工業所	983-0035	仙台市宮城野区日の出町 1-1-35
新日本空調(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 3-7-1 電力ビル
新菱冷熱工業(株)東北支社	980-0803	仙台市青葉区国分町 3-6-1 仙台パークビル
高砂熱学工業(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 2-4-1 興和ビル
第一工業(株)東北支店	980-0812	仙台市青葉区片平 1-5-20Ever-I 片平丁ビル 4階
(株)東北開発コンサルタント	980-0804	仙台市青葉区大町 2-15-33 大町電力ビル新館
東北電力(株)	981-0952	仙台市青葉区中山 7-2-1
(株)ユアテック	983-8622	仙台市宮城野区榴岡 4-1-1
大成建設(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 3-1-1 仙台ファーストタワー
三建設備工業(株)東北支店	980-0014	仙台市青葉区本町 1-13-22 仙台松村ビル 5F
ダイダン(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 1-15-17
(株)朝日工業社東北支店	980-0821	仙台市青葉区春日町 3-21
(株)竹中工務店東北支店	980-0803	仙台市青葉区国分町-4-33
三機工業(株)東北支店	980-0811	仙台市青葉区一番町 2-8-10
東日本旅客鉄道(株) 東北工事事務所	980-0811	仙台市青葉区一番町 1-3-1TMビル
サンポット(株)	025-0301	花巻市北湯口第2地割 1-26
(株)アークズ会津	965-0817	会津若松市千石町 4-50
東北エネルギーサービス(株)	980-0804	仙台市青葉区大町 2-2-25
ジョンソンコントロールズ(株)東北支店	984-0852	仙台市若林区新寺 1-3-45AI.Premium 8F
(株)大気社東北支店	980-0802	仙台市青葉区二日町 12-30
東日本興業(株)	980-8534	仙台市青葉区一番町 3-7-1
弘栄設備工業(株)	990-0821	山形市北町 1-7-2
(有)トータルライフプラン	971-8172	福島県いわき市泉玉露 7-11-10 サンハイツ泉 103
(公財)ふくしま海洋科学館	971-8101	福島県いわき市小名浜辰巳町 50
東洋熱工業(株)東北支店	980-0014	宮城県仙台市青葉区本町 1-12-7
(株)ユアテック秋田支社	010-0941	秋田市川尻町 233-9
北関東空調工業(株)	970-8026	いわき市平字柳町 3

2020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管の排水性能に与える影響の検討	本村 雄大	関東学院大学
B-4	熱環境からみた冬期の居住性能に関する36年間の推移 —東北地方都市部における地域特性の分析—	増田早也花	秋田県立大学
B-3	乳幼児と高齢者の体温調節反応の特性に関する文献調査 —主として暑熱環境と寒冷環境について—	小林 集地	秋田県立大学

第7回

平成30年3月9日(金) 東北文化学園大学

講演 No.	講演題目	発表者	所属
B-11	災害時の避難所の飲み水とトイレに関するガイドライン その1 避難所の概要と飲み水	福井 啓太	東北文化学園大学
B-3	寒冷地における庁舎建築の環境性能に関する実態調査 —熱源機運転実績と省エネルギー性の評価—	山口 拓真	秋田県立大学
B-10	原発事故後の建築空間における空間線量率の予測手法に関する研究 その3 原発事故被災地における 空間放射線ベクトル場の特性に関する研究	中島 主策	東北大学
A-12	屋外歩行者を対象とした人体熱生理モデルの精度検証と実市街地を対象とした都市温暖化適応策の評価	大場 優作	東北大学

第6回

平成29年3月14日(火) 東北学院大学多賀城キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-2	都市部オフィスビルにおける緑陰形成効果と空気熱源機器効率向上に関する研究	土屋 茂樹	三機工業(株)
A-10	住宅のダンプネスの経年変化が小児・児童の呼吸器系症状に及ぼす影響に関する研究	佐藤 愛美	秋田県立大学
B-15	ゼオライト/水系を用いた一体型吸着蓄熱槽の性能試験	佐々木 賢知	三機工業(株)
A-9	住宅のダンプネスとアレルギー疾患の因果構造の解明に向けた基礎研究	佐藤 有希	秋田県立大学

第5回

平成28年3月11日(金) 東北工業大学八木山キャンパス

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-4	脳卒中死亡と住環境要因との関連性に関する調査研究	貝沼 拓哉	秋田県立大学
A-6	住宅のダンプネスの評価法の構築と子供の健康影響に関する統計分析	竹鼻 紫	秋田県立大学
A-19	浅層土壌による螺旋状地中熱交換器の埋設工法の開発と評価 その2:改良後の実証試験計画・結果	瀬川 和幸	東北電力(株)
A-21	太陽光発電を用いたエネルギー自給型まちづくりの検討	菅野 智之	東北学院大学

**公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部  
過去優秀発表奨励賞受賞者**

第4回

平成27年3月10日(火) 東北大学 人間・環境系校舎

講演 No.	講演題目	発表者	所属
A-3	集合住宅への介護用圧送トイレシステムの適用の可能性	松尾 隆史	関東学院大学
A-9	PCMを利用したパッシブ温度管理型グリーンハウスの開発	澤田 真吾	東北大学
A-23	東日本大震災後の避難施設に関する研究 -防災システムの概要と稼働状況-	村上 美穂	仙台高等専門学校
A-24	避難者が製作できる段ボールルームの提案	相澤 華絵	宮城教育大学
B-7	サーバ室におけるラック型前面吹出しユニットの評価	岩崎 守顕	三機工業(株)

第3回

平成26年3月18日(火) 株式会社ユアテック 本社

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

第2回

平成25年3月12日(火) 東北文化学園大学

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

第1回

平成24年3月14日(水) 東北工業大学 八木山キャンパス

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

公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

第9回 学術・技術報告会 論文集

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

Collection of Papers of the 9<sup>th</sup> Conference

---

2020年（令和2年）3月25日 発行

編集・発行所 公益社団法人 空気調和・衛生工学会 東北支部

**事務局**

〒980-0014 宮城県仙台市青葉区本町 3-5-22

宮城県管工事会館 3階

TEL : 022-224-7091 FAX : 022-797-2486

**事務代行機関**

〒980-0821 宮城県仙台市青葉区春日町 3-8 春日町ファインビル 4階

住まいと環境 東北フォーラム内

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

定 価 4,000円（税込）

表紙デザイン 松本若菜 赤井仁志

---