A-5

雨水利用施設の二酸化炭素排出量に関する研究

○福井啓太（福井水環境研究所），岡田誠之(東北文化学園大学)

Study on Carbon Dioxide Emissions of Rainwater Utilization Facilities

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

キーワード：雨水利用施設，二酸化炭素排出量，温室効果ガス

はじめに

1965 年頃から渇水が頻繁に発生するようになり，便所洗浄水の確保や災害時の水確保としても雨水利用が重要視され，普及するようになってきた。さらに,「雨水の利用の推進に関する法律」も 2014 年 5 月に施行され，これからますます雨水利用が増加することが予想される。現在では公共施設や事務所ビル等の雨水利用を行っている施設は 2018 年度末時点で 3593 か所 [1] 設置されているといわれている。設計の基準については雨水利用・排水再利用設備計画基準 [2] や雨水活用建築ガイドライン [3] があり，これらの基準やガイドラインに基づいた設計事例が多く,実態の調査例としては設計 [4] や維持管理 [5] の報告例がある。雨水利用施設の建築物への導入の目的や効果は，水資源の有効利用，河川・下水道への流出抑制，環境負荷削減，非常時対応，節水等が挙げられ，上記の一つ若しくは複数の理由で，雨水利用施設を設置している。この雨水利用施設において，二酸化炭素排出量に関する評価があると考えられるので，これらについて既往の調査結果を通して記述する。

1. 調査概要

1.1 対象とした施設

対象とした施設は雨水利用を目的とした建築物で,雨水施設に差異があり,設計諸元と水量の実績データが揃っている雨水利用施設を選定した。その施設の内容は雨水利用施設の環境負荷が評価しやすい条件として,ろ過装置有・無の条件を「各 2 施設」，ろ過装置を設置していなくて移送ポンプ 2 台を設けている「1 施設」の計 5 施設とした。これらの諸元を**表-1** に示す。延べ面積当たりの人員は 0.014～0.044（人/㎡）である。すでに雨水利用施設が稼働しているので，データを提供してもらい上水代替率を算定して示した。

設備・装置を**表-2** に示し，この処理フローから 3 種類に大分類して次に示した。

1）ろ過装置を設置している条件で，ろ過ポンプが移送を兼ねている「ろ過ポンプと消毒」との組み合わせ（施設-1，2（**図-1**））

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

表-1　対象建築物の概要と雑用水の諸元

施　設	建物概要 (構造-地上階数-地下階数)	延べ床面積当たりの人員 (人/㎡)	上水代替率 (%)
1	RC-2	0.044	32.2
2	SRC-12-B1	0.014	72.7
3	RC-5-B1	0.022	48.0
4	SRC-7-B1	0.029	65.9
5	S-9-B1	0.030	16.9

表-2　対象とした雨水利用施設の設備・装置

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

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

3）ろ過装置を設置していない条件で，「移送ポンプ 2 台と消毒」の組み合わせ（施設-5（**図-3**））

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

1.2 CO_2 排出量算出値

対象とする雨水利用施設から CO_2 の排出に起因する設備・装置は，移送ポンプに利用する電力消費量と消毒が関係するので，採用する原単位を下記に記す。

1)　電力消費量に係る二酸化炭素排出係数

2019 年 5 月 16 日の環境省・経産省が公表している「0.496kg-CO_2/kWh[6]」を用いる。

2)　消毒に用いる次亜塩素酸ナトリウムに係る CO_2 排出量

2016 年 3 月作成の環境省・国土交通省「下水道における地球温暖化対策マニュアル」[7] に示している「0.32kg- CO_2/kg」を用いる。

3)　水道水の補給水に係る CO_2 排出量原単位

（社）日本水道工業団体連合会の報告 [8] に示している「0.18kg-CO_2/m^3」を用いる。

4)　下水道へ放流する場合の CO_2 排出量原単位

国土交通省水管理・国土保全局の報告 [9] に示している「0.47kg-CO_2/m^3」を用いる。

1.3 算出方法

算出は次の 3 種類に分けた。

①雨水利用（雨水集水量+上水補給水+下水道利用から算出した CO_2 排出量）

②雑用水をすべて雨水で賄う（雨水集水量（100%）+下水道利用から CO_2 排出量）。

③雨水利用しない（水道水+下水道利用から算出した CO_2 排出量）。

2.　各条件における CO_2 排出量

2.1　雨水集水量のみから算出した CO_2 排出量

雨水集水量を消毒装置まで移送するポンプの消費電力量，ろ過装置に流入させるポンプ，消毒剤を注入するポンプの消費電力量，消毒剤の消費から算出した年当たりの CO_2 排出量を**表-3** に示す。ここでは補給水量に係る CO_2 排出量は含まれていない。CO_2 排出量原単位は 0.059 ～ 0.129kg-CO_2/m^3の範囲である。「施設 1」の CO_2 排出量が他の施設に比べて高いことは，ろ過ポンプの揚水量が少ないため，稼働時間が長いことが

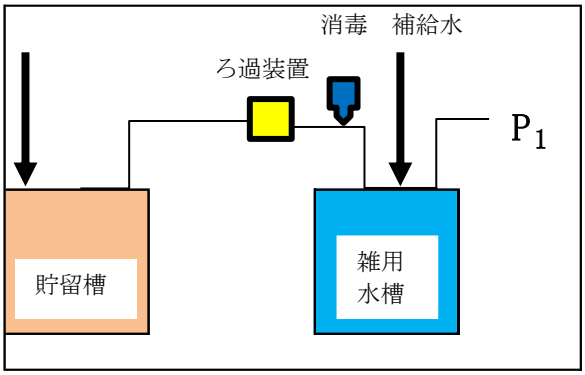


図-1　ろ過装置を設置しているフロー図

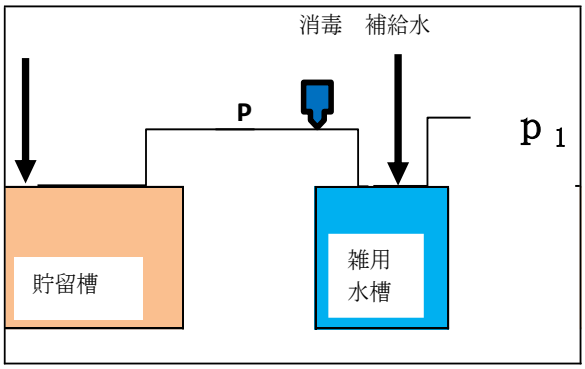


図-2　ろ過装置を設置していないフロー図

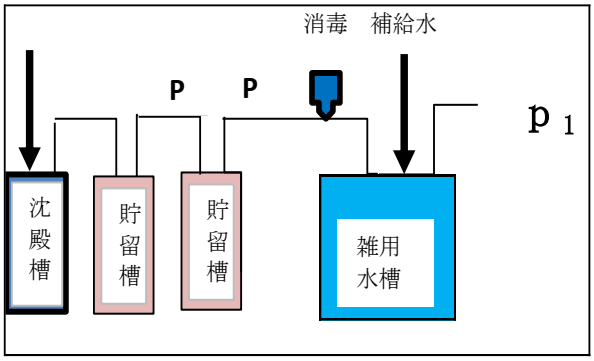


図-3　ろ過装置を設置していない貯留槽 2 槽のフロー図

影響していると考えられる。

また，塩素注入ポンプの CO_2 排出量も他に比べて高いことは，ろ過ポンプと塩素注入ポンプが連動しているため，また,ろ過ポンプの稼働時間が長いため，塩素注入ポンプに係る CO_2 排出量が多くなっている。

CO_2 排出量を「移送ンプ」，「ろ過ポンプ」，「逆洗ポンプ」，「塩素注入ポンプ」に分けて割合を**図-4** に示す。この移送ポンプの CO_2 排出量の占める割合はろ過ポンプが移送ポンプを兼用していることになり「施設 1」では 94.2%，「施設 2」では

2021.3.10（ZOOMミーティング）

表-3 雨水集水量のみから算出した CO2 排出量

施設	雨水集水量	移送ポンプ	移送ポンプ	ろ過ポンプ	逆洗ポンプ	塩素ポンプ	塩素剤	水量当たりの CO_2排出量
	[m³/年]	[kg-CO_2/年]						[kg-CO_2/m³]
1	1243			151.1	2.14	6.01	1.19	0.129
2	3199			176.29	9.45	1.58	3.07	0.059
3	387	28.27				0.7	0.36	0.075
4	1346	83.44				2.21	1.29	0.064
5	2049	57.41	115.48			1.53	1.96	0.086

文献 10）の掲載と電力に関わる排出係数が異なっている。

表-4 雨水利用する場合と雨水利用しない場合の CO_2 排出量の比較

施設	雨水集水量	雑用水量	雨水利用有							雨水利用無		
			雑用水の一部を雨水で賄う				雑用水を雨水ですべて賄う					
			雨水集水量のみから算出したCO_2排出量(D1)	水道水補給水量から算出したCO_2排出量(D2)	下水道使用から算出したCO_2排出量	合計(A)	雨水で雑用水を賄う(E)	下水道使用から算出したCO_2排出量	合計(B)	雑用水を水道水で供給した場合のCO_2排出量(F)	下水道使用から算出したCO_2排出量	合計(C)
	[m³/年]	[m³/年]	[kg-CO_2/年]									
1	1243	3853	93	469	1810	2372	497	1810	2307	693	1810	2503
2	3199	4400	239	216	2068	2523	259	2068	2327	792	2068	2860
3	387	805	25	75	378	478	60	378	438	144	378	522
4	1346	2040	100	124	958	1182	130	958	1088	367	958	1325
5	2049	12059	153	1801	5667	7621	1037	5667	6704	2170	5667	7837
雨水・水道補給水の供給側の比較			20.9%減[1-(D1+D2/F)]				52.4%減[1-(E/F)]					
雨水・水道補給水・下水道の比較			5.7%減[1-(A/C)]				14.5%減[1-(B/C)]					

文献 10）の掲載と電力に関わる排出係数が異なっている。

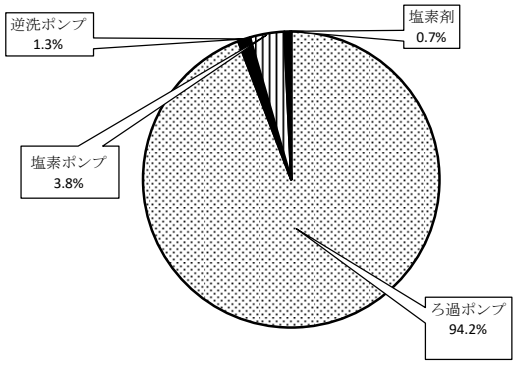


図-4 ろ過装置有の施設内の CO_2 排出量（施設 1 の例）

92.5%, 移送ポンプが有で「施設 3」では 97.4%, 「施設 4」では 96.3%, 移送ポンプが 2 台ある「施設 5」では 98.0%である。移送ポンプが全体の CO_2 排出量の 92.5～98.0%を占めている。

したがって，できるだけ移送にポンプを使用せず，水槽間の移送は水位差を利用して移送させることが CO_2 排出量を削減することになる。

2.2 雨水利用施設における便所洗浄水の供給条件による CO_2 排出量

雨水利用有無の場合，便所洗浄水の供給条件，上水補給水の程度，下水道利用を含めて CO_2 排出量を算出して示す。便所洗浄水(雑用水)供給条件における CO_2 排出量の比較を**表-4** に示す。

(1)全条件の内訳

1)雨水利用有（雑用水の一部を雨水で賄う場合）の内訳

集水雨水を移送及び消毒し，雑用水の不足量は水道を補給し雑用水の使用後は下水道へ放流する。この条件の CO_2 排出量は，雨水集水量のみから算出した CO_2 排出量は 4.3%，水道水補給水量から算出した CO_2 排出量は 18.9%, 下水道使用から算出した CO_2 排出量は 76.8%の割合であった。

2021.3.10（ZOOMミーティング）

2)雨水利用有（雑用水の一部を雨水で賄う）と雨水利用無の場合の比較

雨水利用無の場合の CO_2 排出量の合計と雨水利用有の場合（雑用水の一部を賄う）の合計を比べてみると，CO_2 排出量が 5.7%少なくなっている。

3)雨水利用有（雑用水をすべて雨水で賄う）場合と雨水利用無の場合との比較

雨水利用無の場合の CO_2 排出量の合計と雨水利用有の場合（雨水で雑用水をすべて賄う）の合計を比べてみると，CO_2 排出量が 14.5%少なくなっている。

(2)雑用水の供給側のみを対象とした比較（下水道を除く）

雑用水に水道水を用いる場合の CO_2 排出量と雑用水を雨水ですべてを賄う場合の CO_2 排出量を比べると 52.4%少なくなり，また，雑用水の一部を雨水で賄う場合の CO_2 排出量を比べると 20.9%少なくなっている。

すなわち，比較の対象によって CO_2 排出量の評価が変わるので注意を要する。また，下水道処理区域内では雑用水利用後の排水を下水道へ放流するため，下水道の使用に係る CO_2 排出量が多くを占めることが明らかになった。したがって，積極的に節水機器の導入等によって下水道への放流量を減らすことを示唆していると思われる。

3. ま と め

稼働している雨水利用施設の中で処理フローの特長から 3 種類に大分類して，ろ過装置の設置有無，さらには移送ポンプを 2 か所設置している施設を選定して，CO_2 排出量が設備・装置に係るもの，あるいは水道水補給に係るものを算出し，下記のようにまとめることができた。

1) 雨水利用施設の環境負荷を CO_2 排出量及び CO_2 排出量原単位で評価することができる。
2) 過小なポンプの選定をすると稼働時間が長くなり CO_2 の排出量が多くなるので適正なポンプ能力を選定する必要がある。

おわりに

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

参 考 文 献

1) 内閣官房水循環政策本部事務局:令和 2 年版水循環白書，(2020-7)，p19
2) 国土交通省大臣官房庁営繕部設備・環境課監修：雨水利用・排水再利用設備計画基準・同解説　（一社）公共建築協会　(2016-9)
3) 日本建築学会:雨水活用建築ガイドライン，AIJES-W0002-2019，(2019-3)
4) 金津文夫他 10 名：雨水利用施設の設計・維持管理の実態に関する研究　空気調和・衛生工学会論文集　No244，(2017-7)，pp.9～15
5) 中井隆他 9 名：排水再利用・雨水利用施設の実態に関する研究　空気調和・衛生工学会論文集　No235，(2016-10)，pp.15～21
6) 資源エネルギー庁：温対法に基づく事業者別排出係数の算出及び公表について-電気事業者別排出係数-，(2019-5)
7) 環境省・国土交通省：下水道における地球温暖化対策マニュアル　(2016-3) p .38
8) (社)日本水道工業団体連合会：「首都圏における低炭素化を目標と水循環システム実証モデル事業」報告書，　(2010-3) 4 章 pp.4～7，
9) 国土交通省・水管理 国土保全局：下水処理場にける地域バイオマスの利活用，(2018-2)
10) 福井啓太，前田信治，金津文夫，岡田誠之：雨水利用施設の環境負荷の実態に関する研究　空気調和・衛生工学会論文集　No268，(2019-7)，pp.27～37

2021.3.10（ZOOMミーティング）

A-6

室内模型を用いた「居心地の良い室内環境」を考える学習プログラムの提案

○堀　早紀子（宮城教育大学），菅原　正則（宮城教育大学）

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

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

キーワード：室内模型，インテリア，印象評価，教科横断型，教材

はじめに

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

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

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

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

1.　室内模型の制作についての検討

1.1　大学生を対象とした室内模型制作

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

1.2　小学生を対象とした制作の実施方法についての検討

(1)　室内模型制作の実施

①　対象

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

②　実施方法

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

③　用意した材料・道具

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

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）

・色付き樹脂粘土４色（混ぜて色を作ることができる)…人物，家具などを表す
・発泡スチロール（10cm×10cm のサイズを３枚ずつ）…主に家具を表す
・工作用ボンド
【家庭で用意する材料・道具（一部でも可)】
・ハサミ・カッターなど，切る道具
・のり，両面テープ，マスキングテープ，ガムテープなど，貼る道具
・クレヨン，クレパス，色ペン，マジックペンなど，描く道具

④　実施内容

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

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

その制作完了後、参加者同士で Zoom 越しに作品を鑑賞した（**図-1**)。

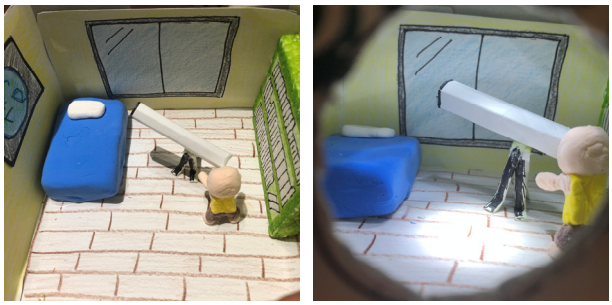


図-1　筆者が制作した作品例

(2)　方法の検討

①　材料・道具について

制作に必要な材料・道具について，郵送したキットの内容は十分であったと考える。特に，樹脂粘土と発泡スチロールが，作品の自由度を高める要素になっていた。特に樹脂粘土は，４色の粘土を様々な組み合わせで混ぜて自由に色を作り，自由に変形できる。樹脂粘土で作った部品には制作者それぞれの個性が出ていた。また，発泡スチロールは，切断しやすく張り付けやすいため，テーブルやベッドなどの安定感の欲しい家具を作る際に多く使われていた。

②　指導方法について

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

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

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

2.　「居心地の良い室内環境」についての検討

2.1　室内模型に関する印象評価アンケートの実施方法

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

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

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

2.2　制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

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

(1)　制作Ⅰで制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

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

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

(2)　制作Ⅱで制作された模型の特徴を表す主成分の抽出

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

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

2.3　インテリアが印象評価に及ぼす影響

第 1 主成分から第 3 主成分により表された散布図上で，各模型の座標を囲むことで，それぞれの印象評価を検討する。そして,印象評価の結果と，模型の壁・床のデザインや家具の位置の特徴と照らし合わせることで，インテリアが印象評価に及ぼす影響について検討する。

(1)　制作Ⅰで制作された模型について

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

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

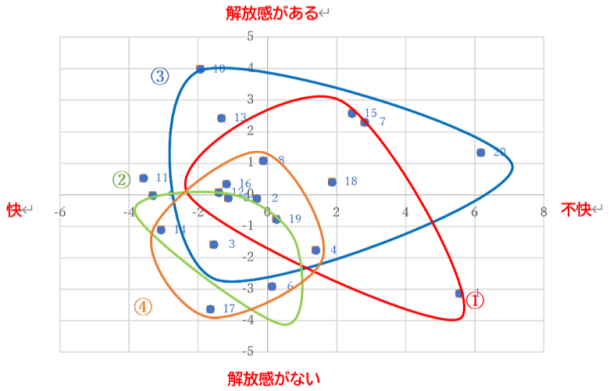


図-2　制作Ⅰで制作された模型の第 1，第 2 主成分得点による布置

(2)　制作Ⅱで制作された模型について

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

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）

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

3.　学習プログラムの提案

3.1　図画工作との教科横断型授業

(1)　教科横断型授業としての提案の背景

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

(2)　学習指導要領における各教科の目標と内容

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

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

3.2　指導計画上の取り扱い

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

3.3　学習プログラムの構成について

これまで述べたように，家庭科としては1時間分，図画工作としては 6 時間分，計 7 時間分の授業時数を取り扱う学習プログラムとして考える。また，室内模型制作に必要な材料・道具，制作の手順，指導方法については，2 章で検討した内容を参考にする。

まとめ

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

謝辞

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

参 考 文 献

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）

A-7

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

○菅原　正則（宮城教育大学），野角光治（仙台高等専門学校）

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

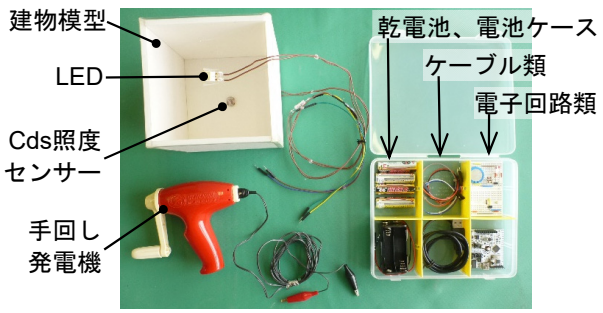
Sugawara Masanori (Miyagi University of Education),
Nogaku Mitsuharu (National Institute of Technology, Sendai College)

キーワード：エネルギー教育、電子キット、模型実験

はじめに

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

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



図−１　スマハキット（組立て前）

1.　スマハキットの概要

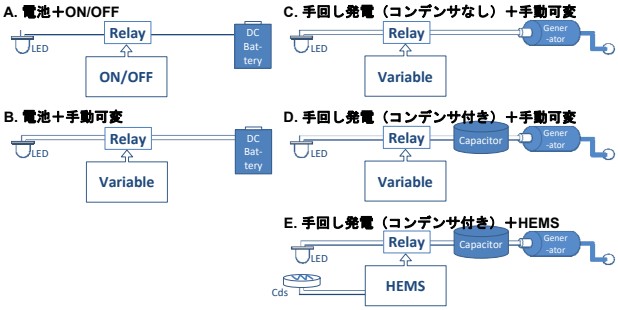
1.1　部品構成

(1)　建物模型

１辺 12cm の立方体で、壁と床は５mm 厚のスチレンボード、天井は 0.3mm 厚の透明塩ビ板である。天井面中央に LED（消費電力３W）を取り付け、環境光と電灯光により内部の明るさが決まる。床面中央に設置した CdS センサー（明抵抗（10lx のとき）５〜10kΩ、暗抵抗１MΩ）により、内部照度（０〜100 の相対値）を評価する。

(2)　電子回路類

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



図−２　スマハキットの接続方式

1.2　操作ソフトウェア

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

①ON/OFF モード：センサーボード上のボタンス

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

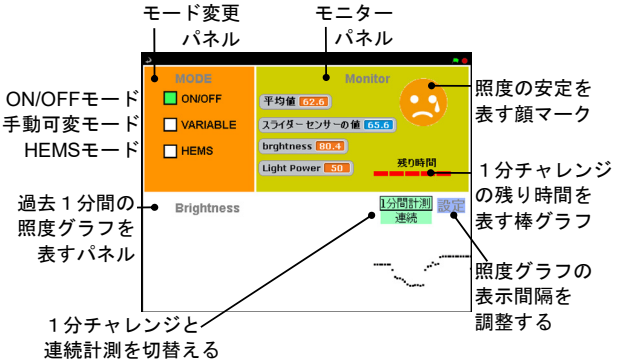
イッチで LED を点滅できる。

②手動可変モード：センサーボード上のスライダーで LED の出力を０～100%に調整できる。

③HEMS モード：センサーボード上のスライダーで、内部照度を設定すると、それに合わせた LED 出力になるよう自動調整される。

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

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



図−３　操作ソフトウェアの画面構成

2.　スマハキットを用いた子ども向けイベントの開催（2018 年）

2.1　実施概要

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

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

表−１　子ども向けイベントの概要と参加者の感想

		親と子の都市と建築講座2018 どうやって、おうちを「スマート」にするの？	秋休み！親子セミナー スマートハウスのしくみ体験会
主催		日本建築学会東北支部　環境工学部会	住まいと環境　東北フォーラム
日時		2018年　8月　5日（日）　10:00～12:30	2018年　10月　7日（日）　10:00～12:30
場所		せんだい環境学習館　たまきさんサロン	せんだい環境学習館　たまきさんサロン
参加者		親子5組（小学生7名[男4、女3]、保護者5名）	親子6組（小学生6名[男5、女1]、保護者9名）
感想アンケート（原文のまま記載）	講座の内容はいかがでしたか？　感じたものに○をつけて下さい。	大変満足　2　（組） 満足　3 やや不満　0 不満　0	大変満足　5　（組） 満足　1 やや不満　0 不満　0
	よかった点、わるかった点をおしえて下さい。	・スマートの使い方がわかった。手作り感が良かったです。 ・全部よかった。 ・親子で参加ができ、良かったです。 ・運悪くボロ家ばかりで…。楽しかったです。お手数おかけしました。 ・手回しでの発電を、子どもも楽しんで行うことができました。電気を手動でためるのはなかなか難しいと思いました。配線で少し手間どったところがありました。	・実際に手を動かして、自然エネルギーの変わりやすさや、それを手で調整する大変さ、HEMSの役割などを体感できたのがとてもよかった、と思います。 ・HEMSの効果を楽しみながら体感できました。 ・くみたてるのが楽しかった。 ・わからないとすぐおしえてくれる　話がゆっくり ・プレゼントがもらえなくてざんねんでした。でも、良かったです。
	今後、今回のテーマのような講座があれば参加してみたいと思いますか？	参加する　5　（組） 参加しない　0	参加する　6　（組） 参加しない　0
	他にどのようなテーマの講座があれば参加したいと思いますか？	・電子工作など ・プログラミングなど ・プログラミング、町づくり	・ロボット作る講座 ・AIについて知ってみよう！
	そのほかに、ご意見・ご感想をおしえて下さい。	・HEMSのすごさが実験を通してよくわかりました。 ・普段の生活でも省エネなど意識したくなりました。 ・申し込み締め切り後に、受付完了のメールが欲しかった。	・とても勉強になりました。

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

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

表−２　１分チャレンジの結果

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

2.2　事後アンケート

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

3.　「スマハキット」のリモート化

3.1　開発の背景

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

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

3.2　変更点

「スマハキット」をリモート化するための変更点は、大きく次の２点である。

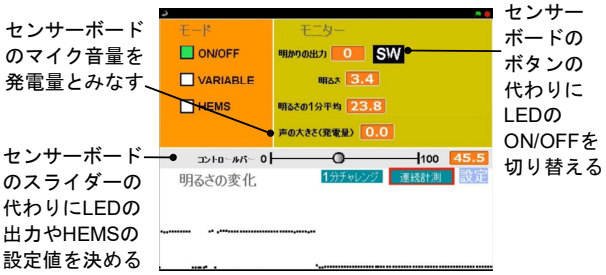
(1)　操作方法

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

(2)　創エネ電力発生の方法

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

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



図−４　操作ソフトウェアの変更点

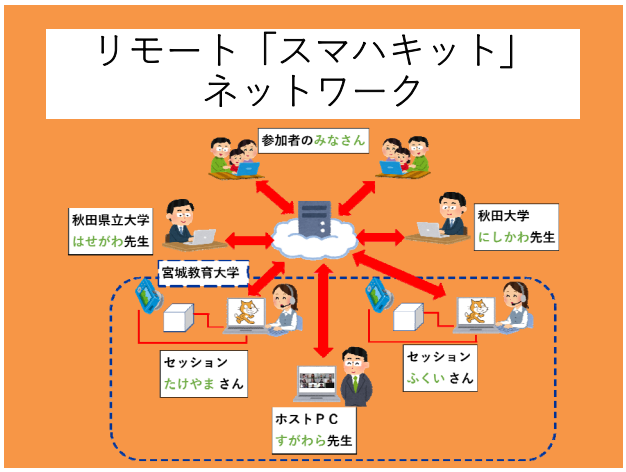
4.　親と子の都市と建築講座 2020（リモート「スマハキット」でスマートハウスの実力を体感しよう）によるオンラインワークショップの開催

4.1　実施体制

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

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）



図−５　実施体制を参加者に説明した図

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

4.2　実施内容（午前、午後共通）

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

4.3　事後アンケートと今後の課題

２章と同じ内容の事後アンケート（詳細は**表−１**参照）を実施したところ、参加者９家族のうち６家族から回答が得られ、講座の内容に対する感想は「大変満足」２、「満足」４であった。自由記述の感想には、オンラインワークショップを概ね楽しんで頂けたことや、Zoom による体験活動の試みへの評価があったものの、内容が難しかった点や、ネットワークトラブルへの指摘も散見された。特に、音声発電において、音の種類によっては Zoom のノイズカット機能が働いてしまい、参加者の発生音がリモートスマハキット側で鳴らなくなるトラブルがあった。また、蓄電回路を組み込んだときの発電量が不充分で、狙った結果が得られなかった。このような、講師同士のリハーサルでは起きなかったトラブルもあり、課題が残る。

まとめ

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

謝辞

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

注釈

1) ちっちゃいものくらぶ製 NanoBoard AG を使用。

参 考 文 献

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

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

A-8

FDS を用いた京都アニメーション火災避難解析に関する研究

○竹内 友佐（東北工業大学），許 雷（東北工業大学）

Simulation on evacuation in the fire of Kyoto animation by using FDS

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

キーワード：温度，煙層高度，FED 濃度，避難行動

はじめに

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

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

1. 京都アニメーション火災の概要

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

- 発生日:2019 年 7 月 18 日
- 被害者:死者 35 名・負傷者 34 名
- 焼失面積:691m^2
- 出火原因:螺旋階段付近にガソリンが撒かれ、ライターを用いたことによる放火

図-1 に示すように、建物の内部には 1 階から 3 階に続く吹き抜けの螺旋階段と 1 階から屋上に続く内階段が設置されており、東側に従業員の

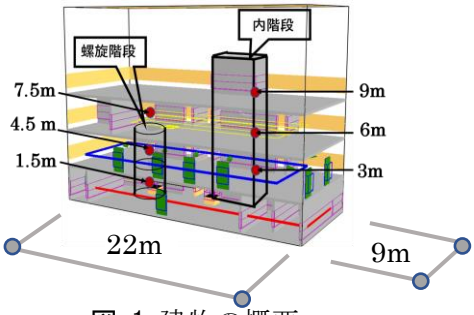


図-1. 建物の概要

作業スペースや会議室、音声収録室などが、西側にエレベータやトイレなどが配置されていた。出火の原因はガソリンをまいて放火した疑いがあるとされている。螺旋階段の西側が最も焼けており。溶けたプラスチック製のバケツやライター、着火剤 [2)3)]とみられるものの残骸がその付近で見つかっていることから、螺旋階段の西側が放火現場と推測される。外壁の焼損状況から、東側では、熱によってすべての窓ガラスが脱落していた。北側、南側、西側の開口部では熱気流が噴出していたとみられる [1)]。

2. シミュレーションモデルの作成

2.1 火源の設定

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

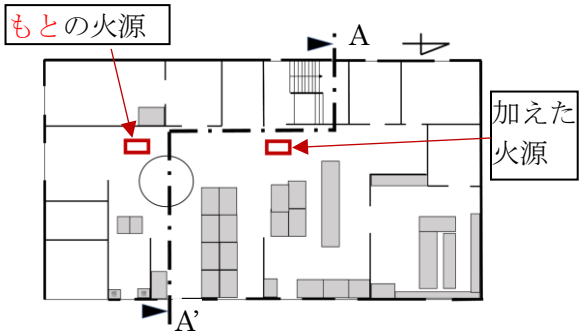


図-2. 火源の位置

2021.3.10（ZOOMミーティング）

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

2.2　予測要素

予測する項目は以下の 3 つである。

・温度
・煙層高度
・FED 濃度

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

2.3　予測値の分布

図-2 の A-A'断面線をもとに、**図-3** に内階段踊り場、螺旋階段の予測地を示す。(数字は GL からの高さを示す。)は温度の断面分布図の位置及び煙層高さの断面図の位置 P_1～P_3, Q_1～Q_3 を示している。

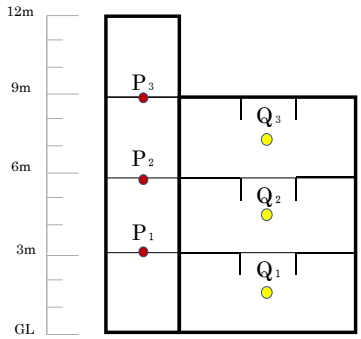


図-3. 断面図

2.4　計算条件

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

また、今回使用した FDS コードの設定を下記に示す。

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

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

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

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

3.　シミュレーション結果と分析

3.1 温度の予測

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

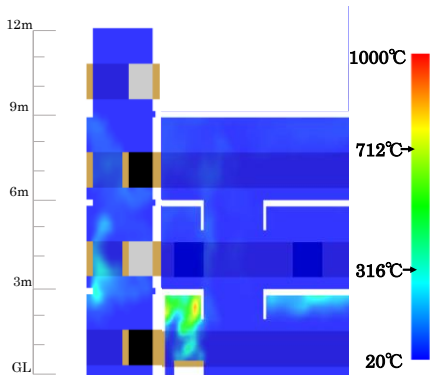


図-4. 出火から 15 秒後の温度分布

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）

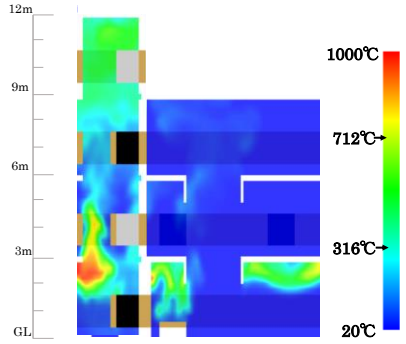


図-5. 出火から 30 秒後の温度分布

3.2 煙層高度の予測

図-6 に出火から 15 秒後の煙層の高さ、図-7 に出火から 30 秒後の煙層の高さ(目分量)を示す。灰色になっているのは煙層で、内階段が先に煙で埋まり、3 階では徐々に煙が充満していった様子が分かる。FED の数値も矢印で示してある。内階段が先に煙で埋まっていたが、温度もそれに伴い上昇していた。図-7 の FED については 1000℃超えていたところで 2.75 となっており、(図-5 参照)危険な状態になっている。

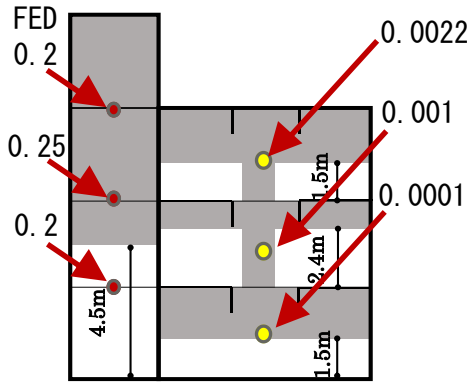


図-6. 出火から 15 秒後の煙層の高さ

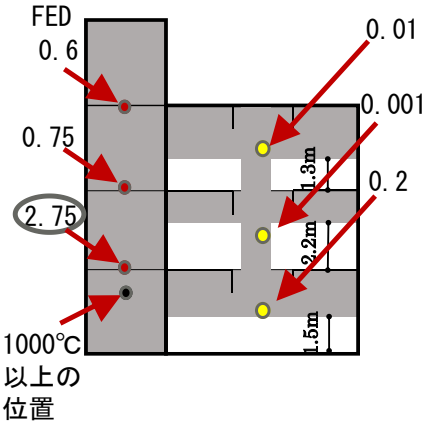


図-7. 出火から 30 秒後の煙層の高さ

3.3 FED の予測

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

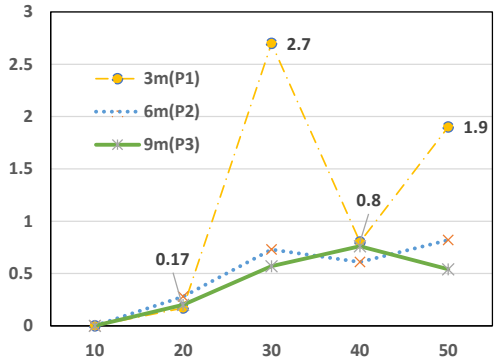


図-8.内階段踊り場の FED 値

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

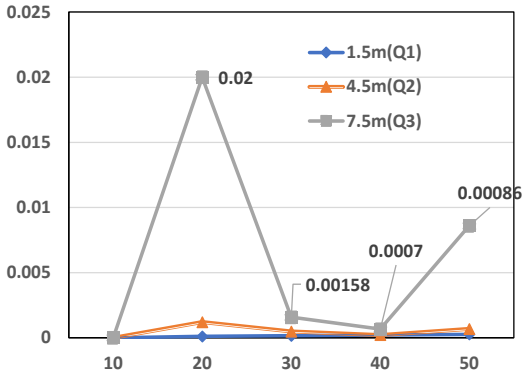


図-9.螺旋階段の FED 値

3.4 避難動向の確認

● 出火時 1 階にいた 12 人(死者 5 人)

○実際の避難行動

・1 階の玄関から避難(5 人)

・1 階の東側窓から避難(1 人)

・1 階の女子トイレに逃げ込み、窓から避難(3

2021.3.10（ZOOMミーティング）

人）
・2 階に上がり、2 階北側窓から飛び降りて避難（1 人）
・避難できず（2 人）
○シミュレーションでの避難行動
・全員が避難していた。
● 出火時 2 階にいた 31 人（死者 11 人）
○実際の避難行動
・2 階ベランダから飛び降りて避難（20 人）
・避難できず（11 人）
○シミュレーションでの避難行動
・全員が避難できていた。
● 出火時 3 階にいた 27 人（死者 20 人）
○実際の避難行動
・2 階に降り、2 階ベランダから飛び降りて避難（5 人）
・2 階に降り、2 階北側窓から飛び降りて避難（1 人）
・3 階の屋内階段から出て避難（1 人）
・避難できず（20 人）
○シミュレーションでの避難行動
・15 人が内階段付近で渋滞し避難できていなかった。

全体としては、15 人が避難できておらず、20 人の誤差が生じていた（負傷者については不明）。

4. 結論

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

総合的に FED 値を見ると、内階段（踊り場含む）の方が螺旋階段のものと比べてはるかに大きくなっていた。また、Excel ファイルの FED 値と手動計算 FED 値の差異はほとんど見られなかったため、計算自体は整合性が取れていた。今回は一酸化炭素の濃度のみを変化させていたが、今後は燃焼速度を変化させ、燃料の設定をガソリンに近づけていこうと思う。火源の位置を螺旋階段付近と内階段付近で調整したが、今後は延焼のように燃え広がるような火源の設定を行い、それに伴う有毒ガスの発生、温度の観測を行っていきたい。

参 考 文 献

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）

A-10

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

○前田亘輝（秋田県立大学），長谷川兼一（秋田県立大学）

松本真一（秋田県立大学），竹内仁哉（秋田県立大学）

Transition of Environmental Performance in Sustainable Housing of IBEC Award

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

キーワード：サステナブル, 住環境, 年表

1.　はじめに

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

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

2.　サステナブル住宅賞

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

3.　サステナブル住宅事例の年表の作成

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

4.　住宅の環境性能の動向

4.1 省エネルギー基準

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

4.2 省エネルギー・創エネルギーに関する変遷

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

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

入することで年間の１次エネルギー消費量の収支をゼロとする ZEH 注5)の実現が目指された。ここでは冷暖房のみならず, 換気や照明等も含めた生活に関わる総てのエネルギーが対象となり, 設備の高効率化が必然となった。近年は, 創エネルギーによって建設から廃棄までの過程に排出する $LCCO_2$ 注6)をマイナスにする LCCM 住宅注7)が推奨されるようになった[4)]。

4.3　建築環境総合性能評価システム（CASBEE 注8)）の導入

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

4.4　環境シミュレーションの普及

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

4.5　建材における配慮

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

5.　おわりに

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

注 釈

注 1) エネルギーの高効率利用等により, 少ないエネルギーで質の高い室内環境を実現する能力。

注 2) 省エネルギー性能や健康面・快適性などの室内環境, 資源の利用への配慮等により, 建物の環境品質を高め, 環境負荷を低減させることができる能力。

注 3) Institute for Building Environment and Energy Conservation の略。

注 4) 設計・施工・運用の各段階において, ライフサイクルを通じての省エネルギー・省資源・資源循環・有害物質発生の抑制を図り, 気候風土を生かした周辺環境との調和, 長年にわたる人間生活の維持・向上を目指す住宅。

注 5) Net Zero Energy House の略。

注 6) Life Cycle CO_2 の略。

注 7) Life Cycle Carbon Minus　住宅の略。

注 8) Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency の略。

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

表１　サステナブル住宅年表[2)]

賞名	作品名	地域区分	CASBEE BEEランク	CASBEE LC CO_2	シェルター性能 C値 [cm²/m²]	シェルター性能 Q値 [W/m²K]	シェルター性能 U_A値 [W/m²K]	シミュレーション 光環境	シミュレーション 風環境	シミュレーション 温熱環境	建材による配慮 環境	建材による配慮 健康	建材による配慮 リサイクル	自然通風	創エネ
環境・省エネルギー住宅賞	須之部邸	Ⅳ										○		○	○
	井村邸	Ⅰ				1.0									
	田川邸	Ⅳ			1.2	1.7						○		○	
	メープルスクエア№11	Ⅳ			1.2	1.2						○			
	“き”なりの家	Ⅳ				1.2					○	○			○
	ハイブリッドZ	Ⅴ			5.0								○		○
	石田邸	Ⅳ				2.1					○	○			
	俵邸	Ⅱ			0.9	1.8					○	○			○
	吉本邸(エコサーマル21)	Ⅳ			0.3	2.2									
	青山K邸	Ⅳ									○	○	○	○	○
	紺野邸(ちきゅう思いのいえ)	Ⅰ										○		○	○
	小林邸(東松原エコハウス)	Ⅳ				2.0					○		○		○
	善養寺邸	Ⅳ									○	○	○		○
	田頭邸(パッシブ換気の家)	Ⅱ			0.4	1.3						○		○	○
	荒瀬邸(自然派健康住宅)	Ⅳ			0.2	2.0					○	○		○	
	原田邸(OMソーラーハウス)	Ⅳ			1.6	2.7						○		○	○
	平岡邸	Ⅳ				1.6					○	○			○
	成田邸	Ⅰ			0.6	1.6					○	○			
	●小林邸	Ⅱ			1.8	1.6							○	○	
	小笠原邸(山の手コート)	Ⅰ				1.4					○				
サステナブル住宅賞	●海藤邸	Ⅱ			1.7	1.2					○		○		
	高橋邸	Ⅰ				1.6					○				
	田中邸	Ⅲ											○	○	
	アシタノイエ	Ⅳ				2.2							○	○	
	奈良邸「南を向く家」	Ⅰ			0.7	1.1					○			○	
	渡邊邸	Ⅰ			0.2	1.1						○			
	麦わら帽子の家「K様邸」	Ⅲ			1.3	1.7					○			○	
	内田邸	Ⅱ				1.6					○		○	○	○
	松岡邸	Ⅳ			1.6	2.1								○	○
	Q=0.64臥龍山の家	Ⅲ	S		0.1	0.6					○	○	○		○
	●川越の家TERRA	Ⅳ									○		○		○
	学園大通りの家	Ⅳ	S			2.7			○				○	○	
	釧路の家	Ⅰ									○			○	
	箱の家-124[佐藤邸]	Ⅳ			1.3	1.7			○					○	
	カムフラージュハウス３	Ⅱ													
	LCCO₂マイナス住宅亀山モデル	Ⅳ	S	☆5							○			○	○
	HOUSE BB	Ⅱ	*	*	1.5	2.1			○		○			○	○
	A-ring	Ⅳ	*	*							○			○	○
	GREEN HOUSE	Ⅳ	*	*										○	
	松河戸の家	Ⅳ	S	*		2.2							○	○	○
	古さこそモダンな家づくり・K邸	Ⅲ	S	☆4							○	○		○	○
	風のカタチ	Ⅳ	*	*				○	○					○	
	●33年目の改庵快居	Ⅳ	*	*		1.0				○	○				○
	南禅寺の家	Ⅳ	*	*		2.5		○	○		○			○	
	オープンルーフのある家	Ⅳ	*	*		2.4		○	○	○			○	○	
	長岡の住宅	Ⅲ				1.1									
	陽の家	Ⅳ	S	☆3			0.31	○					○		○
	雨やどりの家	Ⅳ												○	
	●KIP	Ⅳ	S	☆3		2.5		○		○					
	稲城エコハウス	Ⅳ	S	☆5	0.5	1.9									○
	SHIRASU	7									○			○	
	八雲の大屋根・小屋根	6	S	☆3									○	○	
	ならやまの家	5	S	☆4		1.9	0.55	○	○	○	○			○	○
	春日の住宅	6	A	☆2				○	○					○	
	Diagonal Boxes	5	S	☆3	0.2		0.35	○	○	○				○	○
	阿知須・木と土の家	5	S	☆4						○	○				
	コヤトヤネ	6	A	☆1					○				○	○	
	瓦田の家	6	S	☆5	0.3		0.27	○		○	○	○			○
	中太田の家	3	S	☆2			0.22				○				

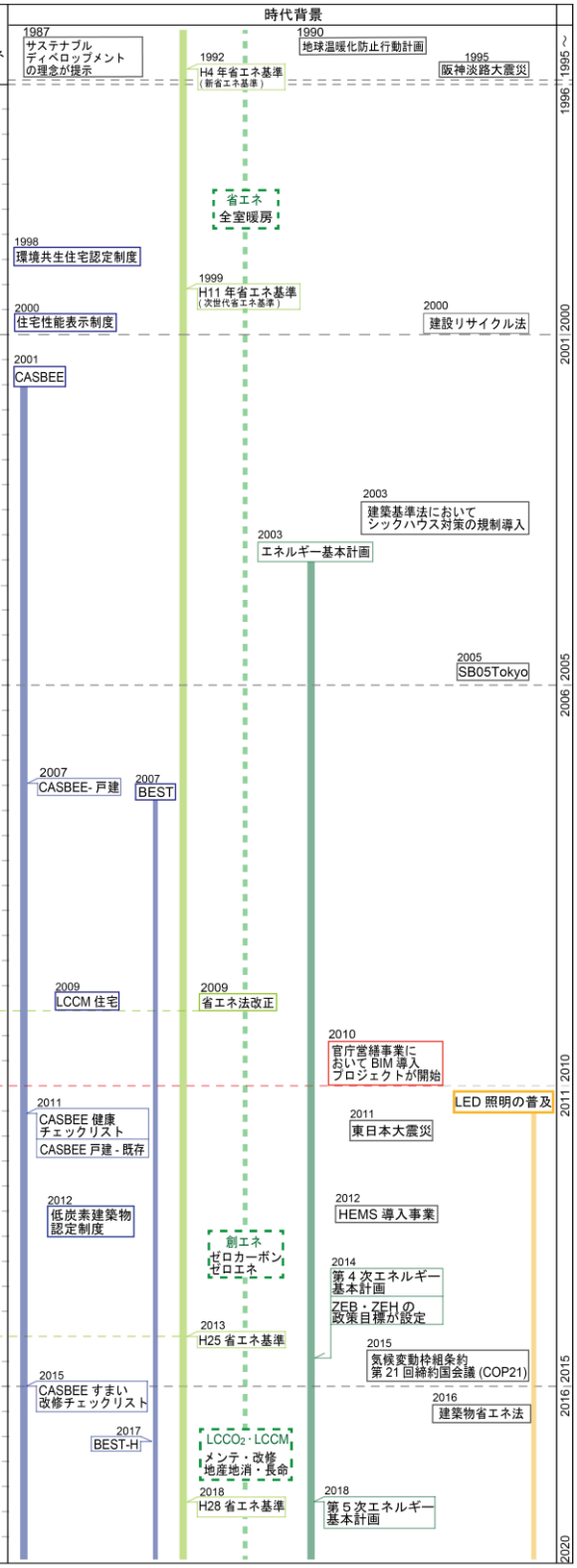


表２　省エネルギー基準における外皮の熱性能基準

省エネ基準 1999	気候地域区分	Ⅰ		Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ		Ⅴ	Ⅵ
	熱損失係数 Q	1.6		1.9	2.4	2.7		2.7	3.7
省エネ基準 2013	気候地域区分	1	2	3	4	5	6	7	8
	外皮平均熱貫流率 U_A	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	-

● … 改修住宅
… 省エネルギー基準の変遷
… エネルギー基本計画
… 省エネルギー・創エネルギーの変遷
☆1~☆5 … $LCCO_2$ 排出率によるランク（ランク高→排出率が低い）
… 評価・研究
… 事業・情勢
＊ … 情報非公開

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

参 考 文 献

1) 地球温暖化対策計画, 環境省 Web サイト
http://www.env.go.jp/earth/ondanka/keikaku/honbun.pdf

2) 環境・省エネルギー住宅賞, IBEC 機関誌,
No . 112 . 124 . 136
サステナブル住宅賞, IBEC 機関誌, No . 153 . 160 . 173 . 184 . 196 . 208 . 220 . 229
2005 サステナブル建築世界会議東京大会, IBEC 機関誌 , No . 149

3) エネルギーの使用の合理化等に関する法律. 省エネ法の概要, 経済産業省資源エネルギー庁
https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/summary/pdf/20181227_001_gaiyo.pdf

4) 南雄三: もとめる断熱レベルとめざす省エネレベル, 2016.9.

5) 第 4 次エネルギー基本計画, 経済産業省資源エネルギー庁,
https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/140411.pdf

6) 建築環境総合評価システム CASEBEE-戸建（新築）評価マニュアル（2014 年版）,
一般財団法人建築環境・省エネルギー機構（IBEC）, 2014.5.

7) 日本の近代・現代を支えた建築-建築技術 100 選- , 一般財団法人日本建築センター,
公益財団法人建築技術教育普及センター,
2019.6 月

2021.3.10（ＺＯＯＭミーティング）

A-11

CFD 解析を用いた F 病院の病室における温熱・空気環境の検討

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

若山尚之（千葉工業大学）

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

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

キーワード：CFD 解析，温熱環境，空気質

1. 序論

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

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

2. F 病院の施設概要

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

表-1　建築概要

建築面積	18574.92 ㎡
延床面積	13946.93 ㎡
容積率	75.53%
建ぺい率	32.54%
病床数	200 床

3. CFD 解析の概要

3.1　解析病室モデルの詳細

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

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

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

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

表-2　4 床室の空調機、給排気設備詳細

	面積 [㎡]	面風速 [m/s]	風量 [㎥/hr]	吹き出し温度 [℃]
FCU	0.97	0.14	483	19.4
BL(D)	0.11	0.50	200	19.4
吸込口(HS)	0.04	1.39	200	-

2021.3.10（ZOOMミーティング）

表-3　1 床室の空調機、給排気設備詳細

	面積 [㎡]	面風速 [m/s]	風量 [㎥/hr]	吹き出し温度 [℃]
FCU	0.80	0.08	243	19.4
BL(S)	0.06	0.50	100	19.4
吸込口(HS)	0.04	0.69	100	-

表-4　1 床室改善の空調機、給排気設備詳細

	面積 [㎡]	面風速 [m/s]	風量 [㎥/hr]	吹き出し温度 [℃]
FCU	0.80	0.08	243	19.4
角アネモ	0.08	0.33	100	19.4
吸込口(HS)	0.04	0.35	50	-
吸込口(HS)	0.04	0.35	50	-

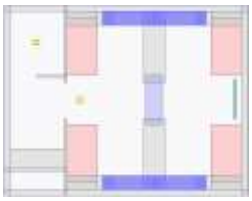


図-1　4 床室平面図

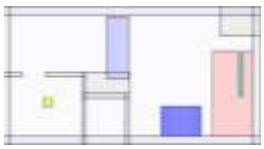
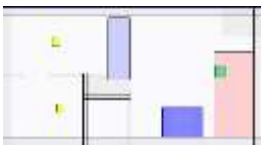


図-2　1 床室現状平面図



注)
上向きを
北とする

図-3　1 床室改善平面図

3.2　解析条件

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

4.　CFD 解析結果

4.1　4 床室　解析結果

4 床室の解析結果は z 軸 0.6m 地点での平面図を提示する。

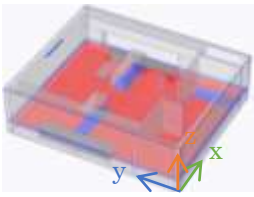


図-4　z 軸平面位置

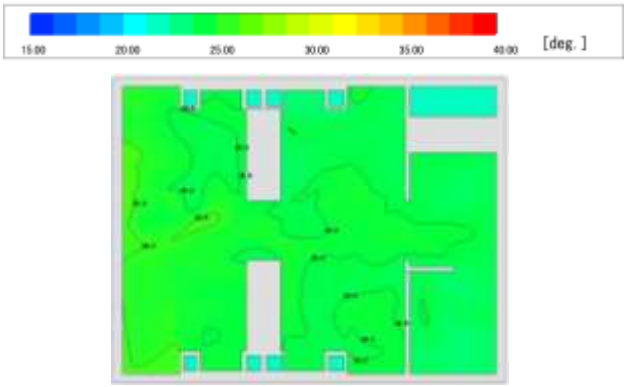


図-5　4 床室温度分布平面図

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

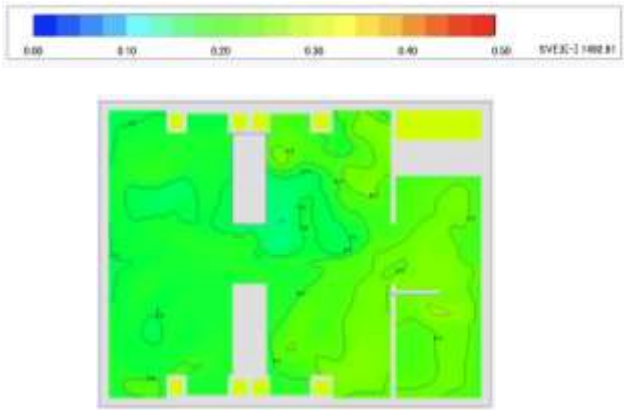


図-6　4 床室空気余命分布平面図

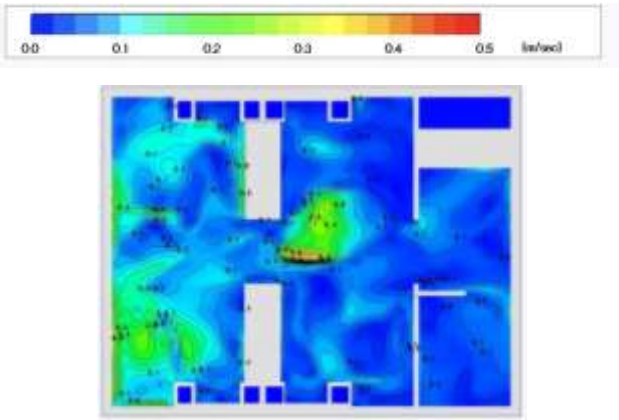


図-7　4 床室風速分布平面図

2021.3.10（ZOOMミーティング）

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

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

4.2　1 床室　解析結果

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

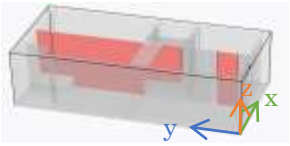


図-8　x 軸断面位置

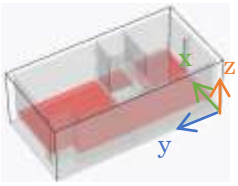


図-9　z 軸平面位置

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

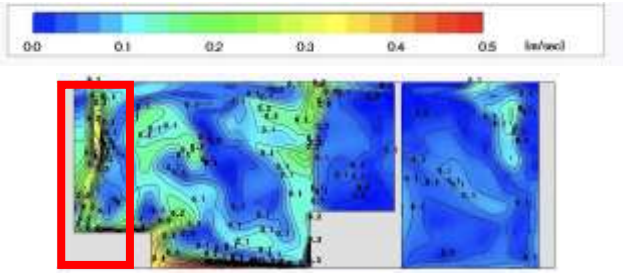


図-10　1 床室風速分布断面図

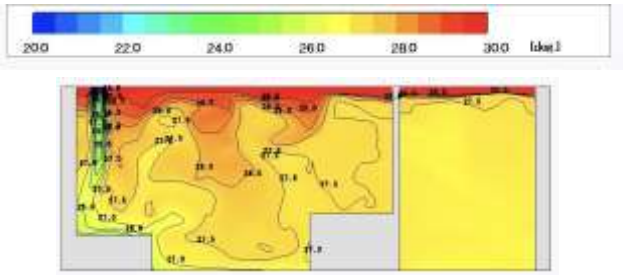


図-11　1 床室温度分布断面図

窓際に設置された BL からは約 0.3[m/sec]の風が吹いており、その風は真下にあるベッドに直接当たっている。それが原因で、温度分布図を見るとベッド周りだけ局所的に温度が下がっていることが分かる。

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

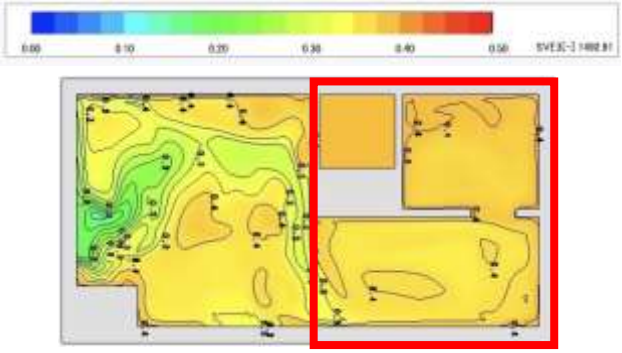


図-12　1 床室空気余命分布平面図

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

4.3　1 床室改善案　解析結果

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

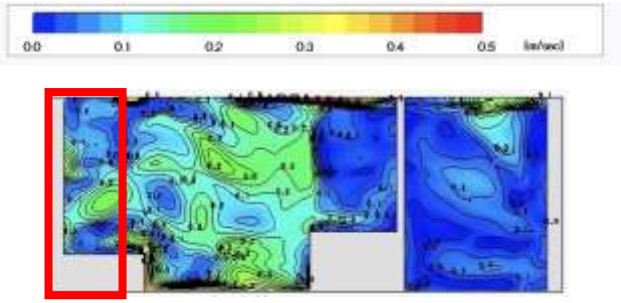


図-13　1 床室改善案風速分布断面図

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

されたと考えられる。

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

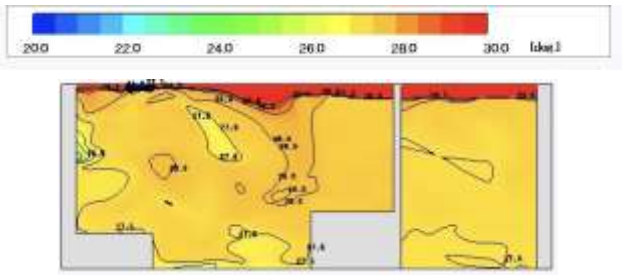


図-14　1 床室温度分布断面図

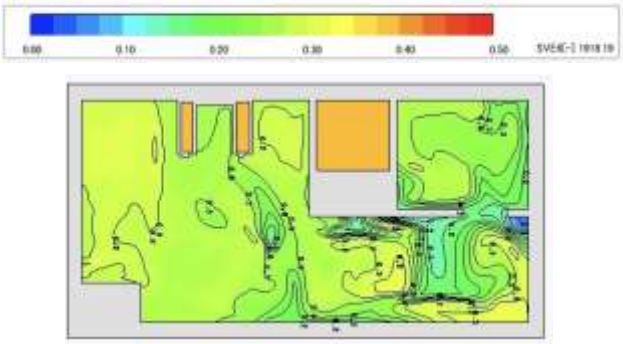


図-15　1 床室改善案空気余命分布平面図

5. 考察

5.1　4 床室考察

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

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

5.2　1 床室考察

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

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

6.　結論

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

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

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

2021.3.10（ZOOMミーティング）