

「学校体育館(夏季)の温度環境と換気風量に関する調査研究」

報告書

2024年9月

一般社団法人文教施設協会

目次

1. はじめに	
2. 調査目的	1
3. 実験	2
(1) 実験概要	2
(2) 実験ケース	9
(3) 想定在室人数及び必要換気量	9
① 在室人数の想定	9
② 必要換気量想定	10
(4) 実験における換気量の推定	11
(5) 隙間面積	12
(6) PMV（推奨快適範囲）	12
(7) 実験結果	13
① ケース1（ガラリ開、設定温度 27°C）	13
② ケース2（ガラリ・東西窓開、設定温度 27°C）	16
(8) 実験まとめ	25
4. シミュレーションによる検討	26
(1) ブロック（単室）モデルによる開口面積と換気量の関係	26
(2) 数値流体力学（CFD）シミュレーションによる温熱環境の確認	29
① 解析モデル	29
② 検討ケース	29
③ 結果	30
(3) シミュレーションまとめ	32
5. 考察	33
附属 本調査研究協力者一覧	35

本調査研究は株式会社日建設計総合研究所からの委託に基づき実施した。

1. はじめに

災害発生時において地域の避難所としても利用される既存学校体育館への空調（冷暖房）設備は重要であるが、一方で、既存体育館の多くは断熱性能が確保されておらず、冷暖房効率が悪いことが課題となっております。このため、文部科学省は、各地方公共団体に対し、体育館本体の建替えや全面的な改修工事に併せ、断熱性能を確保した上で空調の設置などの検討を呼び掛けています。

その一方で、新型コロナウイルス感染症は、「・換気の悪い密閉空間」「・多数が集まる密集場所」「・間近で会話や発声をする密接場面」という3つの条件（3つの密（密閉、密集、密接））が重なる場で、集団感染のリスクが高まるとされています。

文部科学省「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル（2023.5.8～）※」では、エアコンを使用している部屋の換気の留意点として「換気機能のないエアコンは室内の空気を循環しているだけで、室内の空気と外気の入れ替えを行っていないことから、換気は必要となります。」と明記されております。

本調査研究は、以上を踏まえ、学校体育館の温度環境と換気風量の課題に共感をされた株式会社日建設計総合研究所より委託を受け、空調機器が設置されている既存体育館を対象として、窓開けによる換気風量と室内温度環境の関係を実測実験し、児童生徒の活動空間において、望ましい温度環境を維持しつつ、必要な換気風量に関し、理論上確保が可能であるかを考察することを目的とします。

最後に、調査研究を進めるに際し、御協力をいただきました北区教育委員会の皆さま、学識経験者としてご助力をいただきました、東京理科大学 副学長 工学部 建築学科 教授 倉渕 隆 先生、同大学 工学部 建築学科 教授 野中 俊宏 先生、同大学 工学部 建築学科 助教 金 政一 先生、同大学 倉渕・野中研究室の皆さまに、深く感謝を申し上げます。

令和6年9月
一般社団法人文教施設協会

※文部科学省「学校における新型コロナウイルス感染症に関する衛生管理マニュアル（2023.5.8～）」

https://www.mext.go.jp/a_menu/coronavirus/mext_00029.html

2. 調査目的

災害発生時において地域の避難所としても利用される既存学校体育館への空調（冷暖房）設備は重要であるが、一方で、既存体育館の多くは断熱性能が確保されておらず、冷暖房効率が悪いことが課題となっている。このため、文部科学省は、各地方公共団体に対し、体育館本体の建替えや全面的な改修工事に併せ、断熱性能を確保した上で空調の設置などの検討を呼び掛けている。

新型コロナウイルス感染症は、「・換気の悪い密閉空間」「・多数が集まる密集場所」「・間近で会話や発声をする密接場面」という3つの条件（3つの密（密閉、密集、密接））が重なる場で、集団感染のリスクが高まるとされている。

以上を踏まえ、夏季に空調機器が設置されている既存体育館を対象として、窓開けによる換気風量と室内温度環境の関係を実測実験し、児童生徒の活動空間において、望ましい温度環境を維持しつつ、必要な換気風量に関し、理論上確保が可能であるかを考察することを目的とする。

3. 実験

(1) 実験概要

- ① 実験期間 2024年7月16日(火) - 19日(金)
- ② 実験場所 東京都 北区立旧清水小学校 体育館 / 竣工年度: 昭和45年4月1日
(所在地: 東京都北区十条仲原 4-5-17)

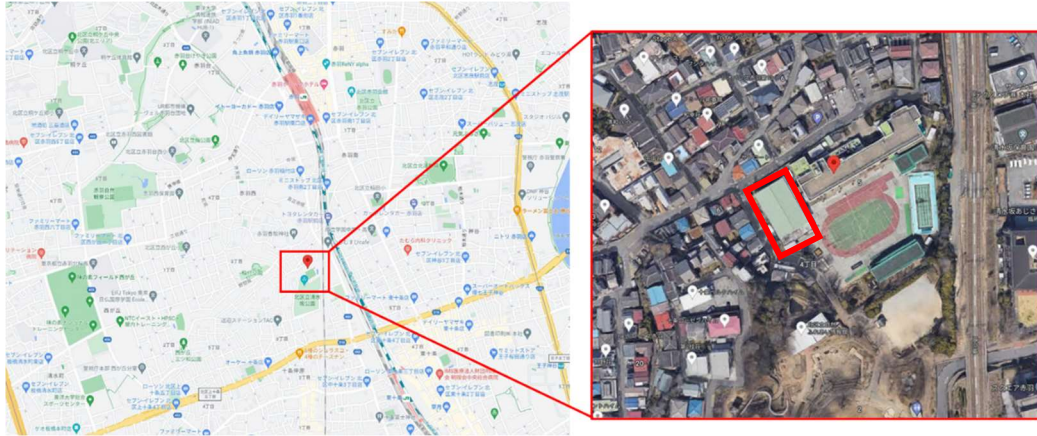
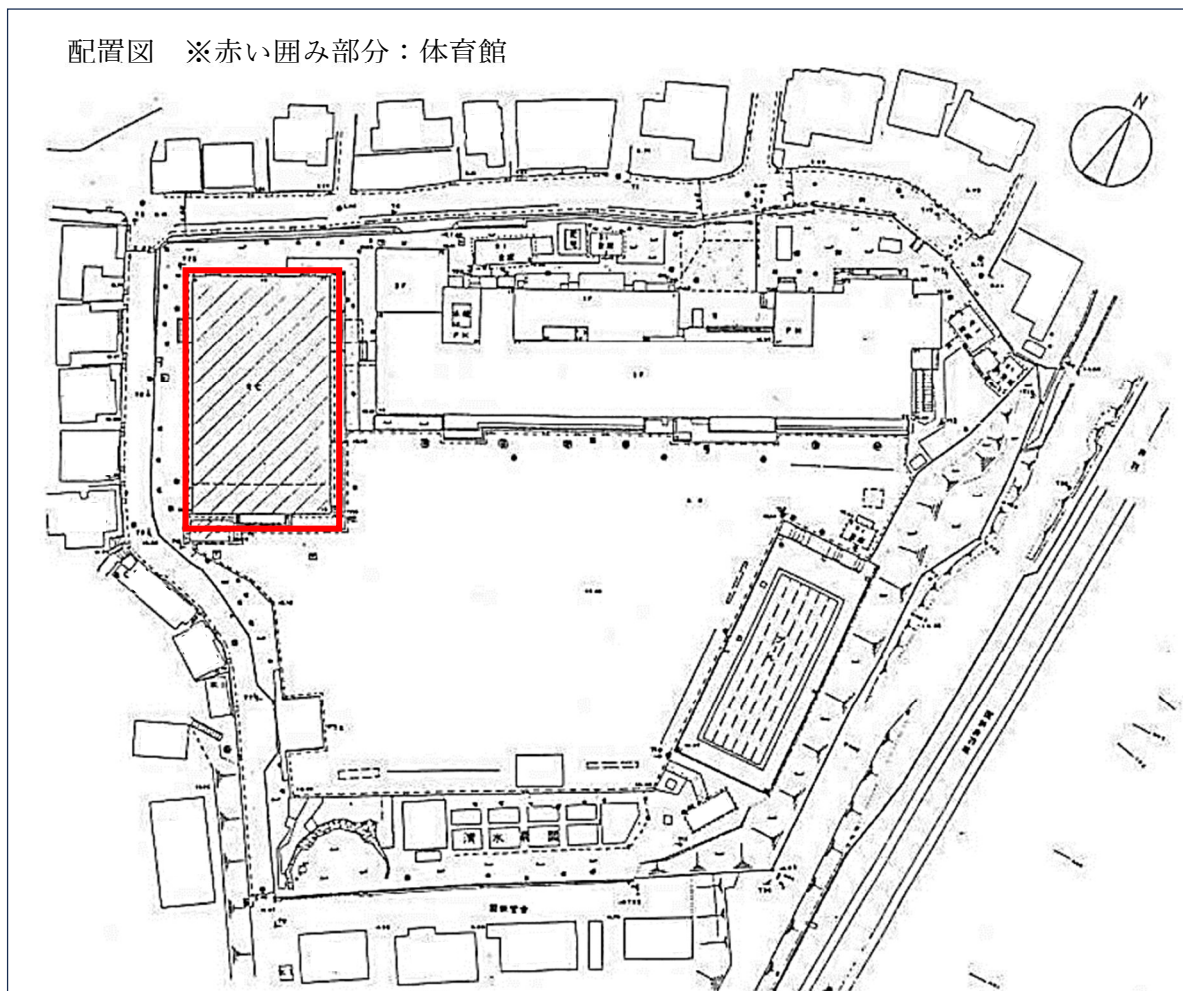
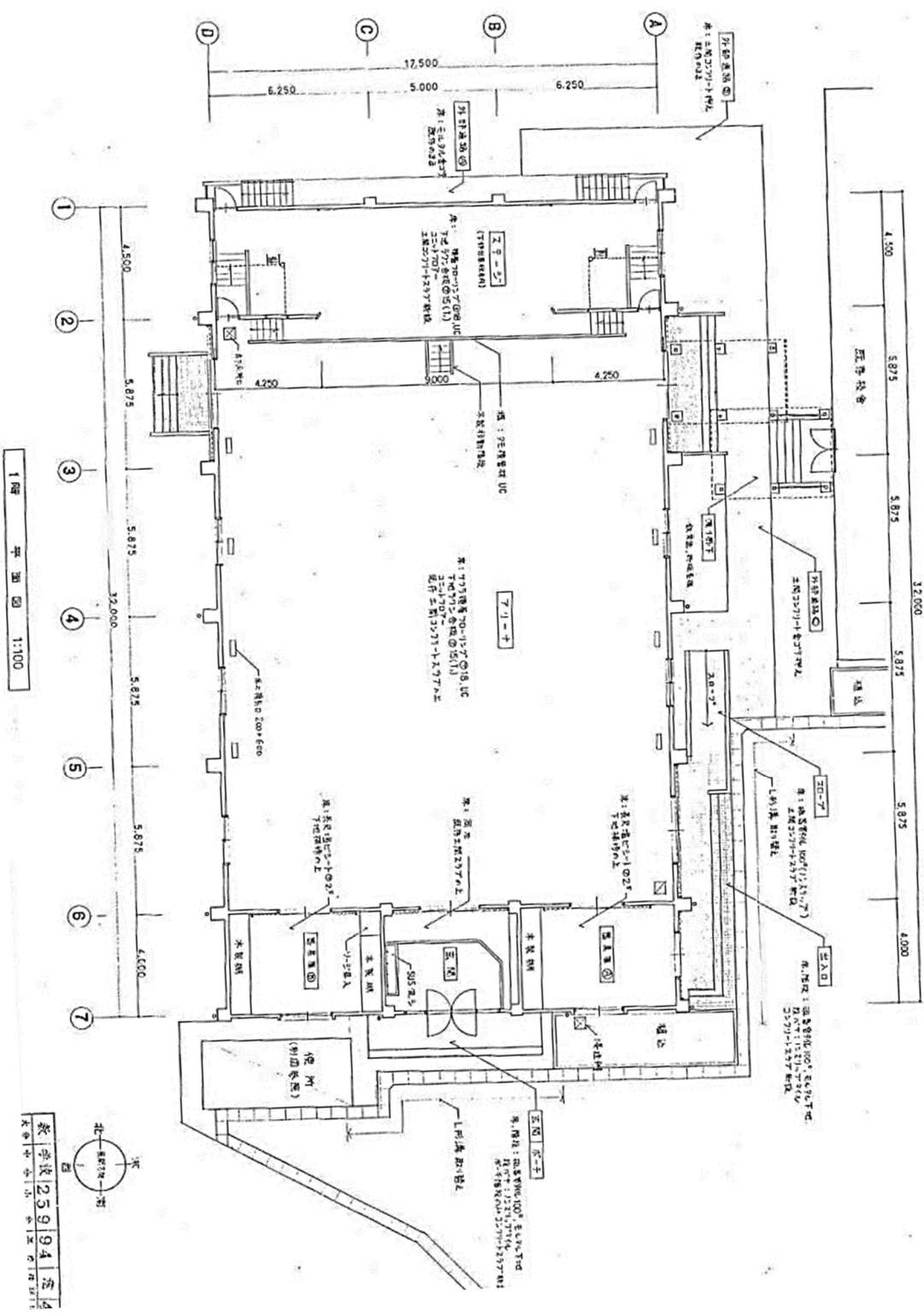


図1 実験場所



体育館 平面図



実験対象の詳細



体育館外観（南面）



体育館内観



上部ガラリ（南面）



上部ガラリ（北面）



床ガラリ



ステージ下ガラリ

写真1

③ 開口寸法および設置高さ

表1 体育館内の開口

開口		開口寸法 (幅×高さ)[mm]	面積 [㎡]	開口高さ [mm]	数 [個]	
ガラリ	床	600×200	0.12	600	8	
	南上部	800×300	0.24	6840	3	
	北上部	800×300	0.24	6945	3	
	ステージ下段	800×300	0.24	1150	3	
窓	東	2F	400×1300	0.52	3875	1
		1F	800×500	0.40	600	1
	西	2F	400×1300	0.52	3875	1
		1F	800×500	0.40	600	1

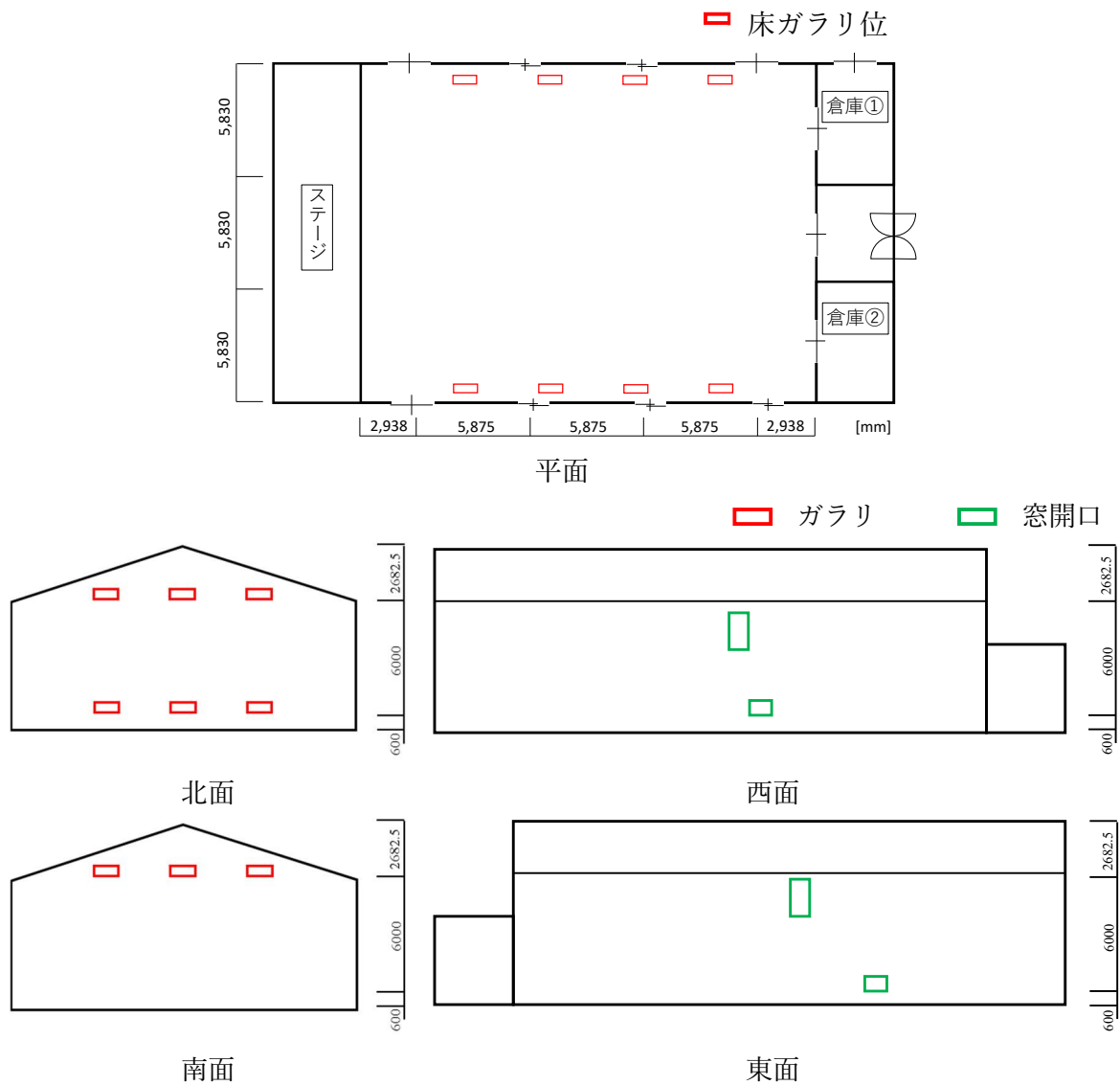
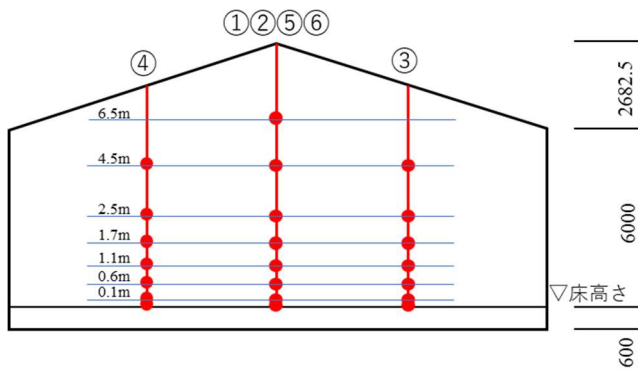
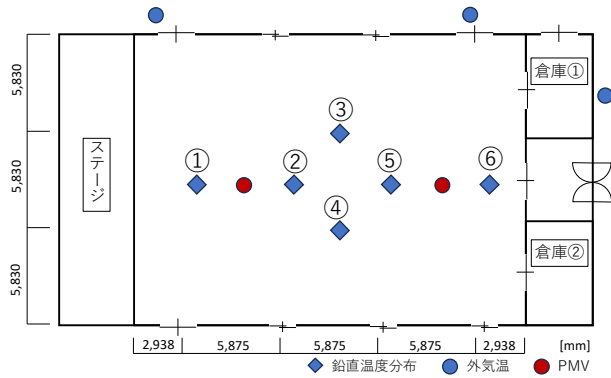


図2 体育館内の開口位置

・測定項目



東西断面



平面



熱電対設置の様子

室内鉛直温度分布：熱電対



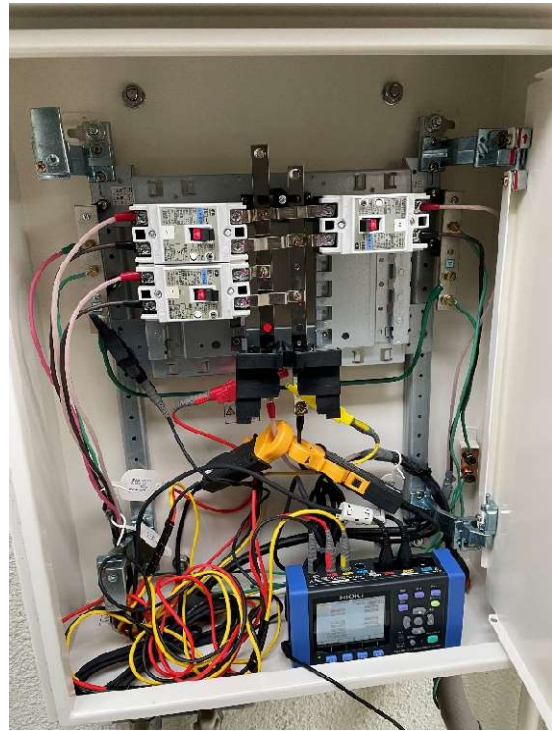
外気温：おんどとり RTR-576
(床高さ 1.1m)



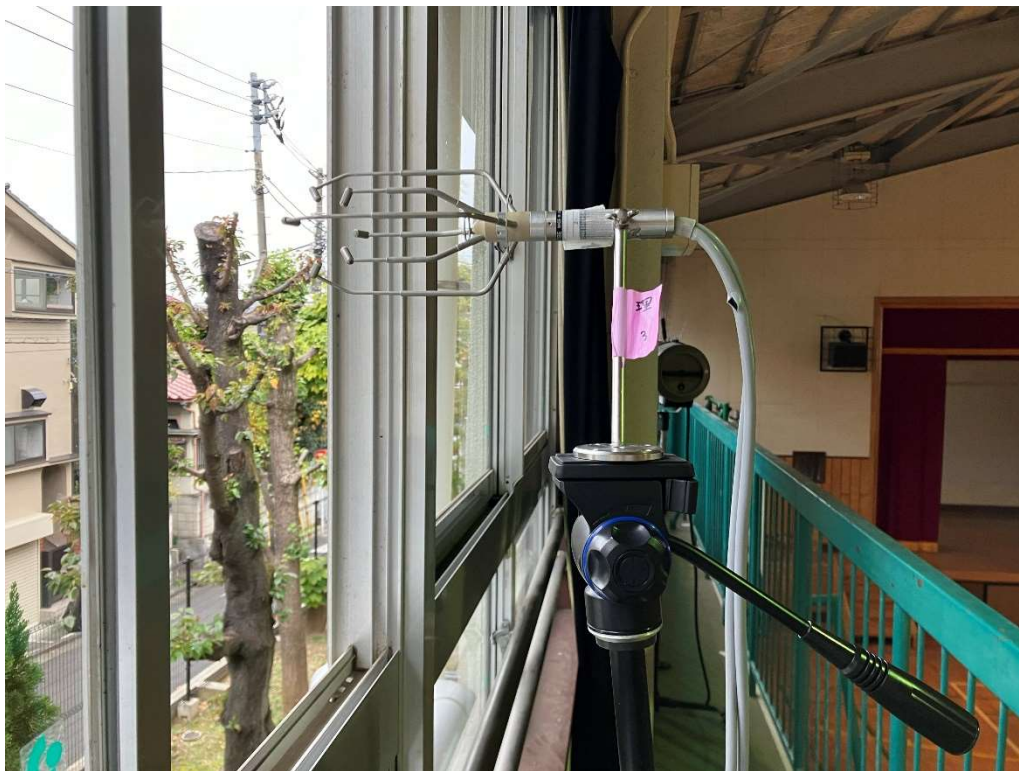
室内 PMV：PMV 計 Testo400
(床高さ 1.1m)



床ガラリ風速：多点風速計



エアコン室内機：電力計



窓風向風速：超音波風速計

図3 測定機器

(2) 実験ケース

表2 実験ケース

ケース	開口の開閉状況	冷房の設定温度	実施日時
1	ガラリ開 上部窓開 (東西2階2か所)	24℃	7/17 10:00~16:00
2	ガラリ開		7/17 17:00~7/19 9:00
3	ガラリ開 下部窓開 (東西1階2か所)		7/19 10:00~14:00

(3) 想定在室人数及び必要換気量

① 在室人数の想定

「東京都避難所における新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン※」を参考にパーティションを設置して通路幅を2mにし、総収容人員を57人(2人27組、1人3組)と想定する。

※「東京都避難所における新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン」

https://www.fukushi.metro.tokyo.lg.jp/joho/soshiki/syoushi/syoushi/hinanjo-guideline_COVID-19.html

イ パーティションやテントを活用した場合

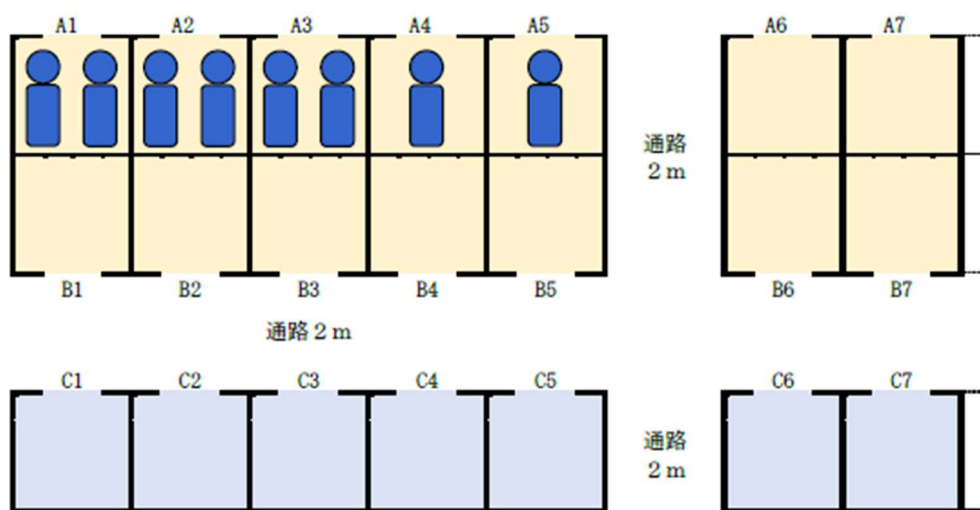


図4 パーティション設置時のレイアウト例

(「東京都避難所における新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン」参照)

② 必要換気量想定

在室者による空気汚染において学校環境衛生基準が適用される場合には、室内 CO₂ 濃度を 1500ppm 以下に抑えてモニタリングすることが義務付けられている。外気 CO₂ 濃度と室内作業量を考慮した必要換気量を下記式より算出することができる。

$$Q = \frac{M}{(K - K_0)10^{-6}}$$

Q : 必要換気量 [m³/(人・h)]

M : CO₂ 発生量 [m³/(人・h)]

K : 定常状態における室内 CO₂ 許容濃度 [ppm]

K_0 : 設計外気 CO₂ 濃度 [ppm]

表 3 人体からの作業強度別 CO₂ 発生量

エネルギー代謝率 RMR	作業程度	CO ₂ 吐出し量 [m ³ /(人・h)]	計算採用 CO ₂ 吐出し量 [m ³ /(人・h)]
0	安静時	0.0132	0.013
0~1	極軽作業	0.0132~0.0242	0.022
1~2	軽作業	0.0242~0.0352	0.030
2~4	中等作業	0.0352~0.0572	0.046
4~7	重作業	0.0352~0.0902	0.074

表 3 を引用し、室内 CO₂ 許容濃度を 1500ppm、外気 CO₂ 濃度を 400ppm、体育館での避難を想定した極軽作業時の場合に、上記の式からなる必要換気量は 20[m³/(人・h)]となる。(※軽作業時では 27 m³/(人・h))

また、「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」と「冬場における「換気の悪い密閉空間」を改善するための換気について」では、必要換気量を一人当たり毎時 30 m³としている。

上記を鑑み、本調査における最終的な最低必要換気量として一人あたり毎時 30 m³とし、在室人数 57 名をかけて毎時 1710 m³とする。

(4) 実験における換気量の推定

外部風がない状態で、体育館には機械換気が行われてないことを前提に、開口部から温度差換気が行われているものとして、推定換気量は下式の温度差換気の公式を用いて計算する。

$$Q = \alpha A_{\text{合}} \sqrt{\frac{2Hg\Delta t}{T}}$$

- Q : 換気量[m³/h]
 $\alpha A_{\text{合}}$: 実効面積の合成値 [m²]
 H : 開口の高低差 [m]
 g : 重力加速度 [m/s²]
 Δt : 内外温度差 [K]
 T : 室温 [K]

実効面積の算出は、開口面積に格子部を除いた面積率と流量係数を乗じた。

表4 開口面積と流量係数、実効面積の合成値[m²]

		開口寸法 (幅×奥行) [mm]	面積[m ²]	数 [個]	格子を 除いた 面積比	流量 係数 α	実効面積 の合成値 [m ²]	流入 流出
ガラリ	床	600×200	0.12	8	0.42	0.7	0.277	流出
	南上部	800×300	0.24	3	0.7	0.42	0.212	流入
	北上部	800×300	0.24	3	0.7	0.42	0.212	流入
	ステージ下段	800×300	0.24	3	0.7	0.42	0.212	流出
窓	東上部	400×1300	0.52	1	1	0.6	0.312	流入
	西上部	400×1300	0.52	1	1	0.6	0.312	流入
	東下部	800×500	0.4	1	1	0.6	0.24	流出
	西下部	800×500	0.4	1	1	0.6	0.24	流出

上部および下部のガラリはそれぞれ同一の高さにあるものとし、開口部の高低差を 6.05 mとした。尚、屋内平均温度は床上 2.5mにおける平均値とし、外気温との内外温度差を上式に代入した。

(5) 隙間面積

換気量計算について、体育館の隙間を考慮して計算を行う。実測時にドア下側に目に見える隙間があったため、床高さに隙間を設定した。隙間面積の計算は、実測時の内外温度差と開口面積に加え、適当な隙間面積を加え各開口での通風量を計算し、計算した床ガラの通風量と実測値の床ガラの通風量が同程度となる隙間面積を確認する。

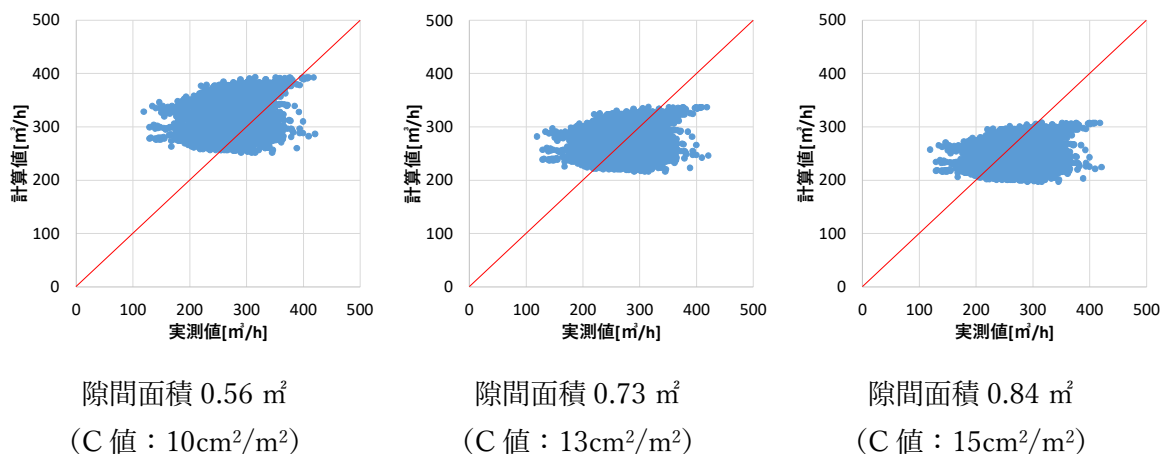


図5 隙間面積の推定

この結果より、隙間面積は **0.73 m²** (C 値 : **13 cm²/m²**) として検討を進めた。

(6) PMV (推奨快適範囲)

デンマーク工科大学のファンガー教授によって考案された温熱環境を評価する指標 PMV (Predicted Mean Vote/予測平均温冷感申告) で、温度、湿度、気流、輻射、着衣量、活動量の6要素により人間がどのように感じるかを表した温冷感指標。

今回はこの PMV を活用し「望ましい温度環境」の「快適な状況」を確認した。

PMV は、建物内などの安定した温熱環境を評価する指標として 1994 年に国際規格 (ISO 7730) となり、PMV - 2.0 から 2.0 が推奨使用範囲、PMV - 0.5 から 0.5 が推奨快適範囲とされており、これを踏まえ確認を進めた。

(7) 実験結果

① ケース 1 (ガラリ開・上部窓開、設定温度 24°C)

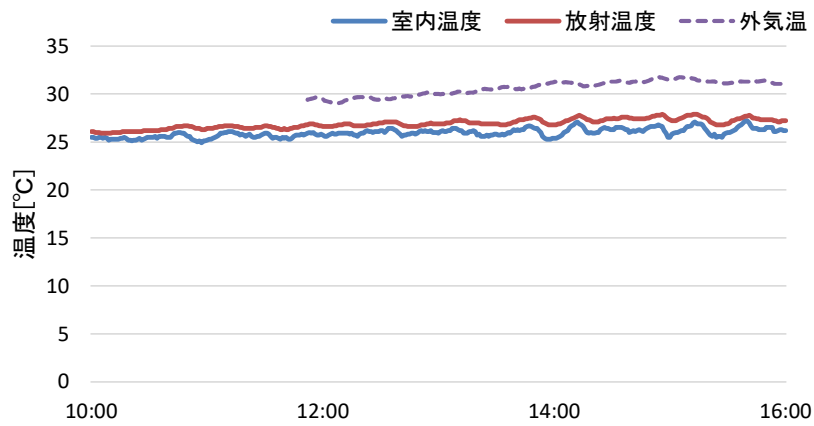


図 6 温度推移 (PMV 計、7 月 17 日)

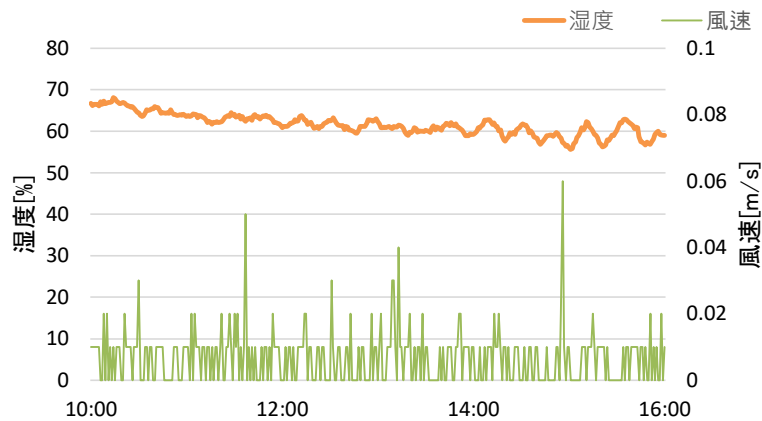


図 7 相対湿度・風速推移 (PMV 計、7 月 17 日)

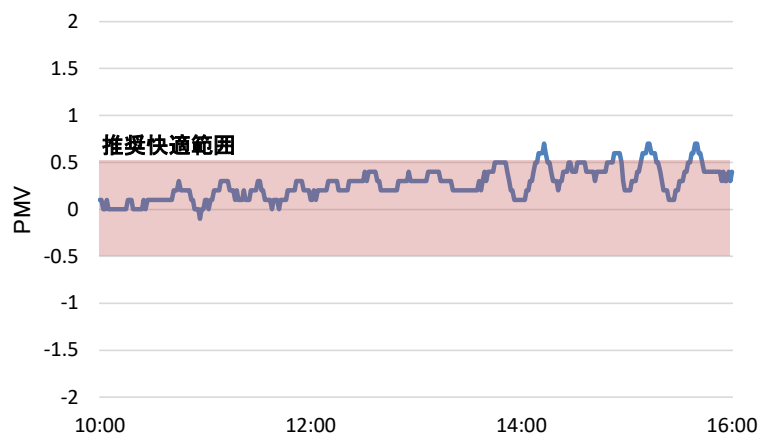


図 8 PMV 推移 (7 月 17 日)

エアコン冷房より居住域温度は 25°C~27°C で推移しており、PMV も 0~0.5 で推移している。外気温が 30°C を超える 14 時以降に PMV が 0.5 を超える場合がある。

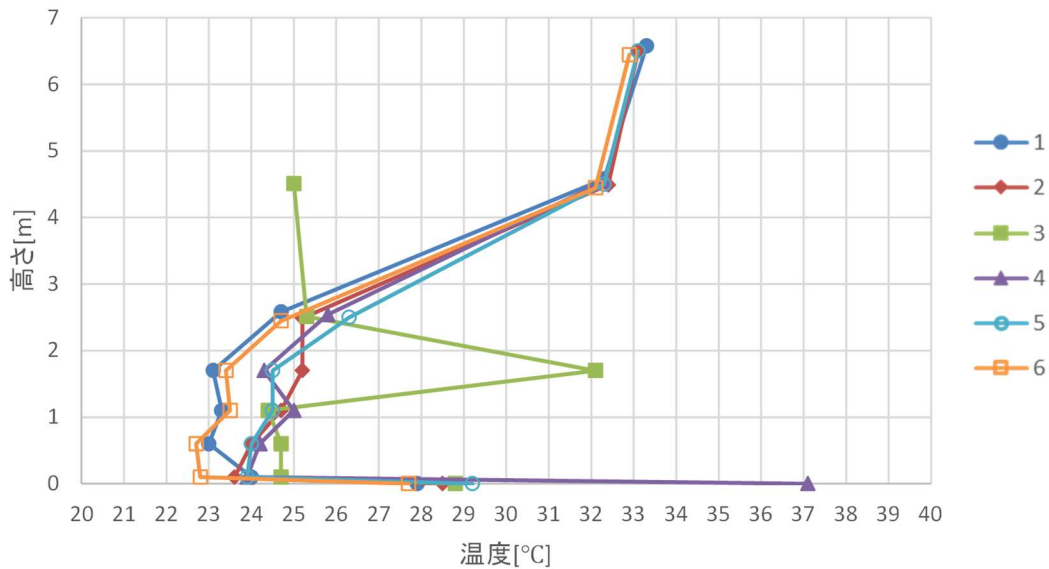


図9 鉛直温度分布 (7月17日15時、外気温31.5°C)

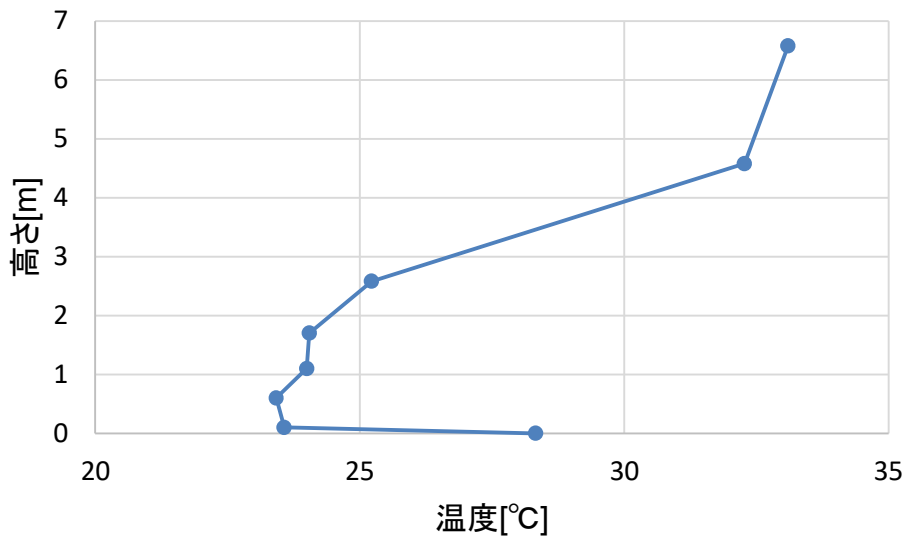


図10 平均鉛直温度分布 (7月17日15時、外気温31.5°C)

鉛直温度分布では、上部の温度が高く、下部の温度が低くなっている。エアコン冷房よりエアコン高さ2m以下の領域では25°C以下となっている。床表面温度は28.3°Cで床上0.1mの空気温度より約4.7°C高い。図10は測定点①②⑤⑥における高さごとの結果を平均したものである。居住域(床上0.1m~1.7m)における上下温度差が0.5°C程度で、床上1.1mにおける温度が24°Cで、良好な温熱環境になっている。

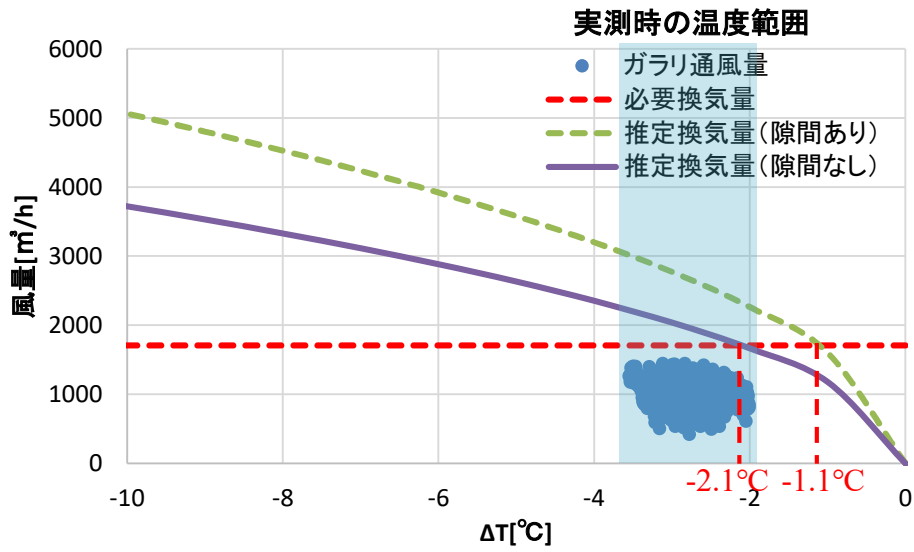


図 1.1 内外温度差と換気量の関係 (7月17日12時~16時)

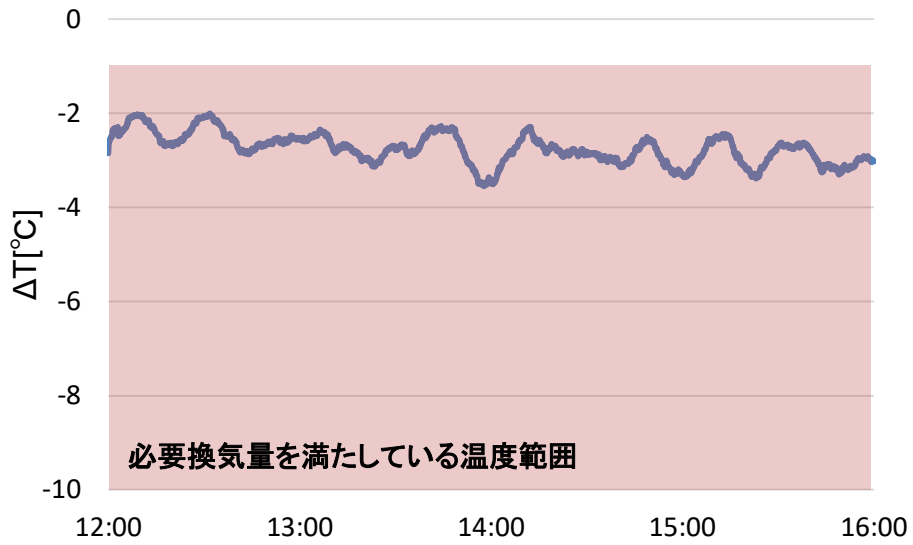


図 1.2 内外温度差の推移 (7月17日12時~16時)

上部窓を開けたことにより、床ガラリを通過する風量は $1000\text{m}^3/\text{h}$ 前後であり、実測時の内外温度差で推定換気量は必要換気量を満たしている。

② ケース 2 (ガラリ開、設定温度 24°C)

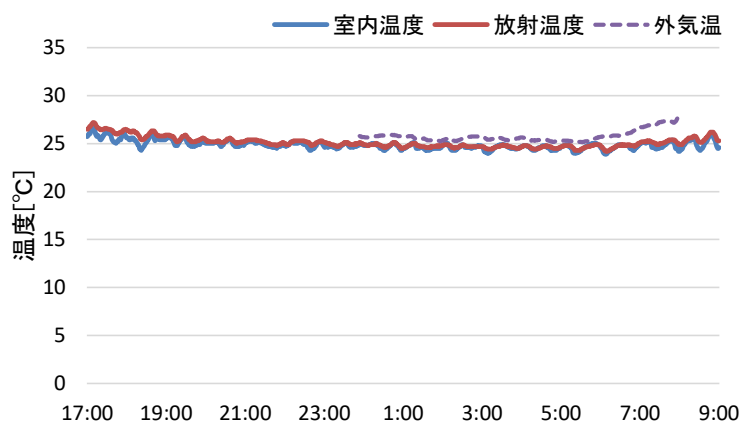


図 1 3 温度推移 (PMV 計、7 月 17 日 17 時-18 日 9 時)

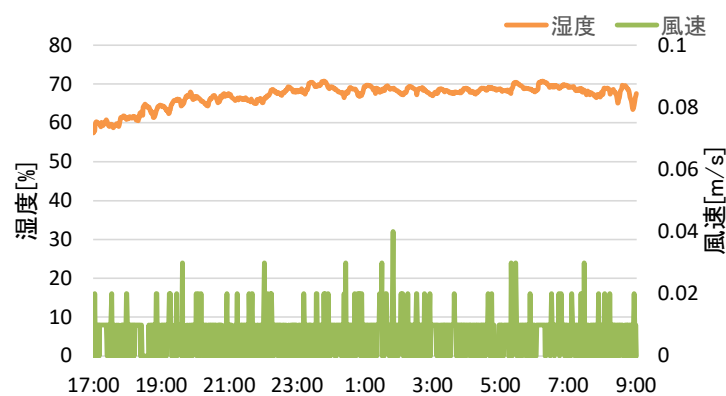


図 1 4 相対湿度・風速推移 (PMV 計、7 月 17 日 17 時-18 日 9 時)

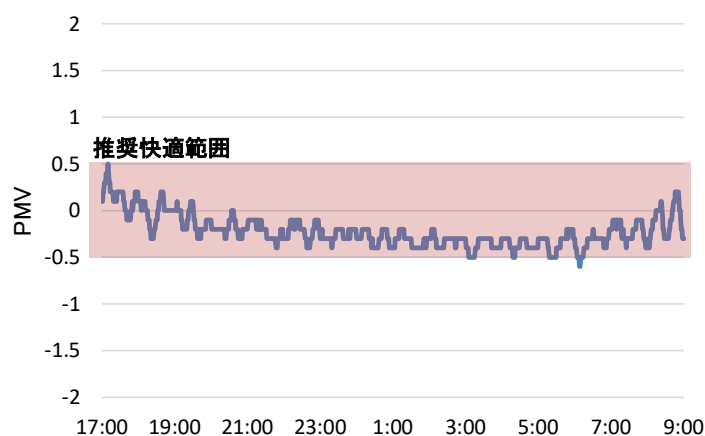


図 1 5 PMV 推移 (7 月 17 日 17 時-18 日 9 時)

夜間のエアコンの冷房運転が継続して行われて、外気温が約 26°C で体育館室内温度より若干高い。室内温度は 25°C を前後していて、PMV は -0.5 ~ 0 で推移している。

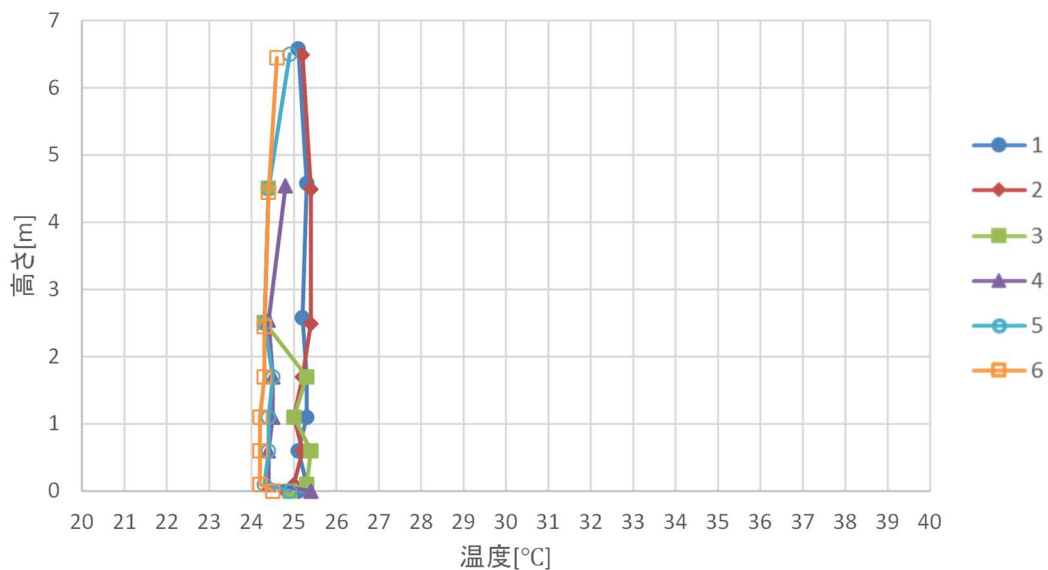


図16 鉛直温度分布 (7月18日4時、外気温25.6°C)

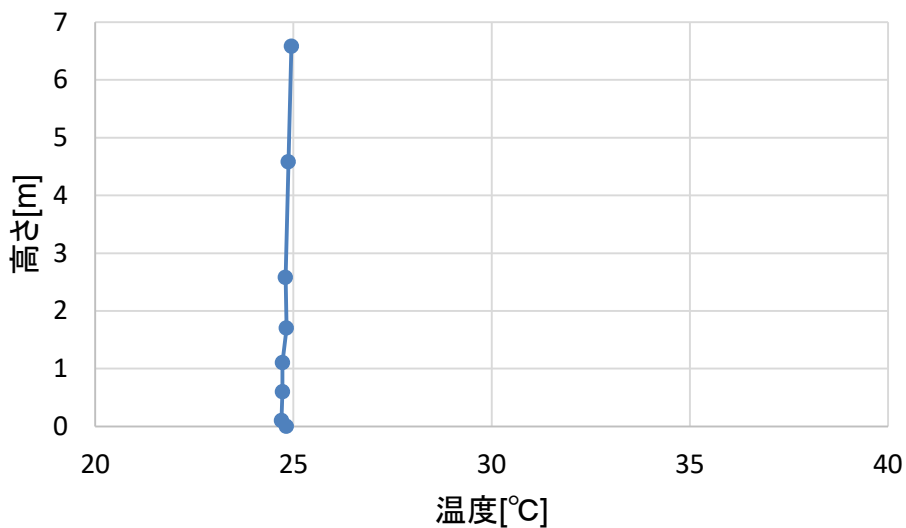


図17 平均鉛直温度分布 (7月18日4時、外気温25.6°C)

鉛直温度分布では、外気温が25.6°Cまで下がり体育館室内全体での温度が24°C~25.5°Cで、おおむね一様に分布している。図17に示す測定点①②⑤⑥における高さごとの平均温度で各高さの温度が24.8°C前後であり、上下温度差が0.2°Cで小さい。

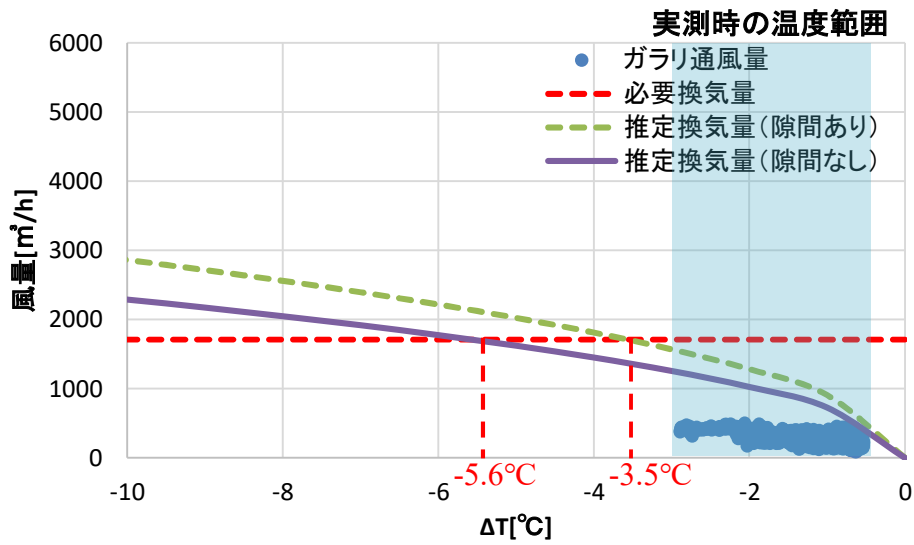


図 1 8 内外温度差と換気量の関係 (7月18日0時-8時)

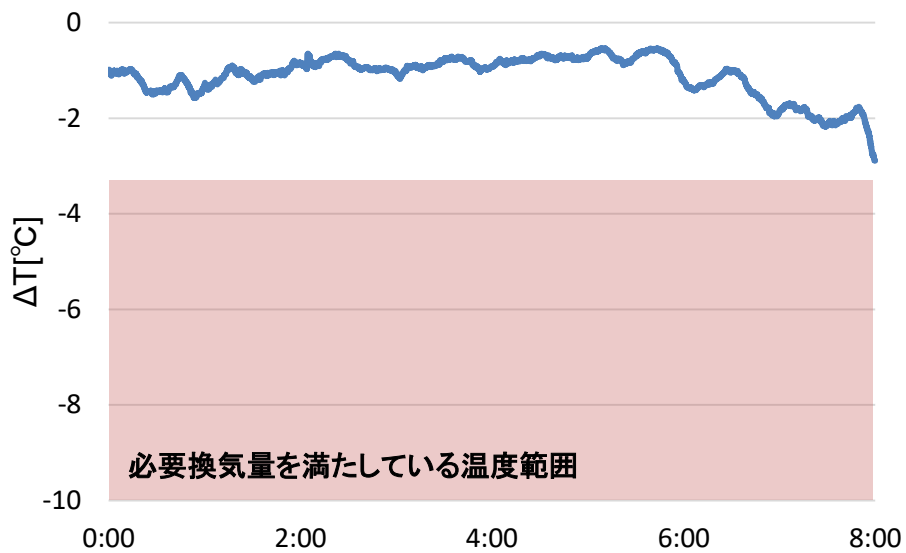


図 1 9 内外温度差の推移 (7月18日0時-8時)

夜間での内外温度差が小さく、窓を閉めている状態のため、実測時の内外温度差で必要換気量を満たしていない。

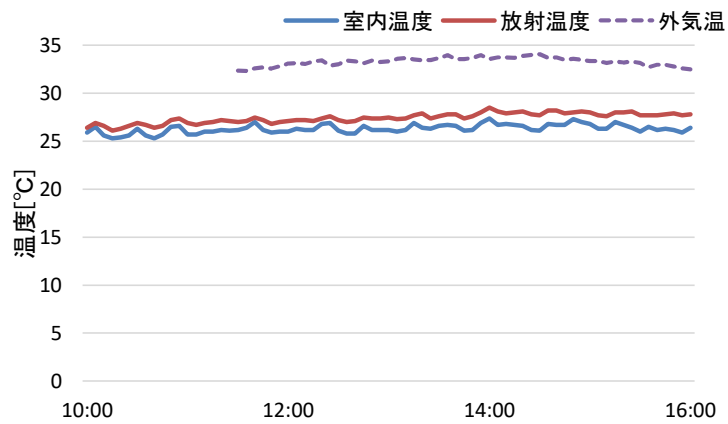


図 2 0 温度推移 (PMV 計、7 月 18 日 10 時-16 時)

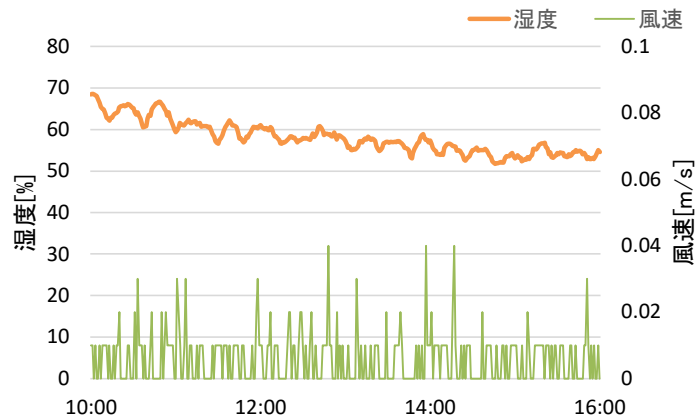


図 2 1 相対湿度・風速推移 (PMV 計、7 月 18 日 10 時-16 時)

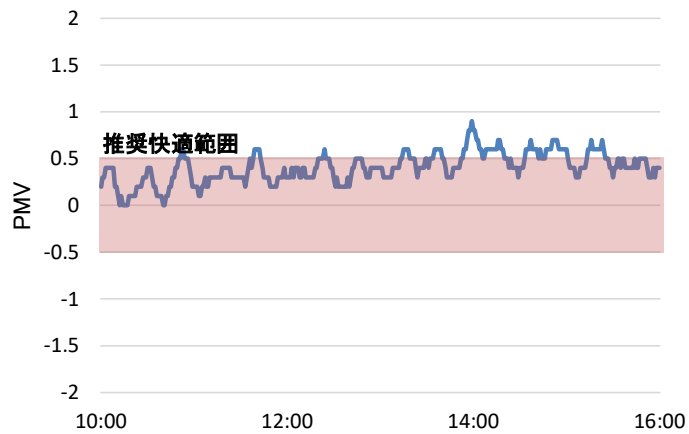


図 2 2 PMV 推移 (7 月 18 日 10 時-16 時)

同条件の昼間ではエアコンの冷房運転が継続して行われて、外気温が 30°C を超えかつ日射取得もあったため体育館内の温度は徐々に上がる。室内温度も 25°C を超え、PMV も 0.5 を超える時間帯がある。

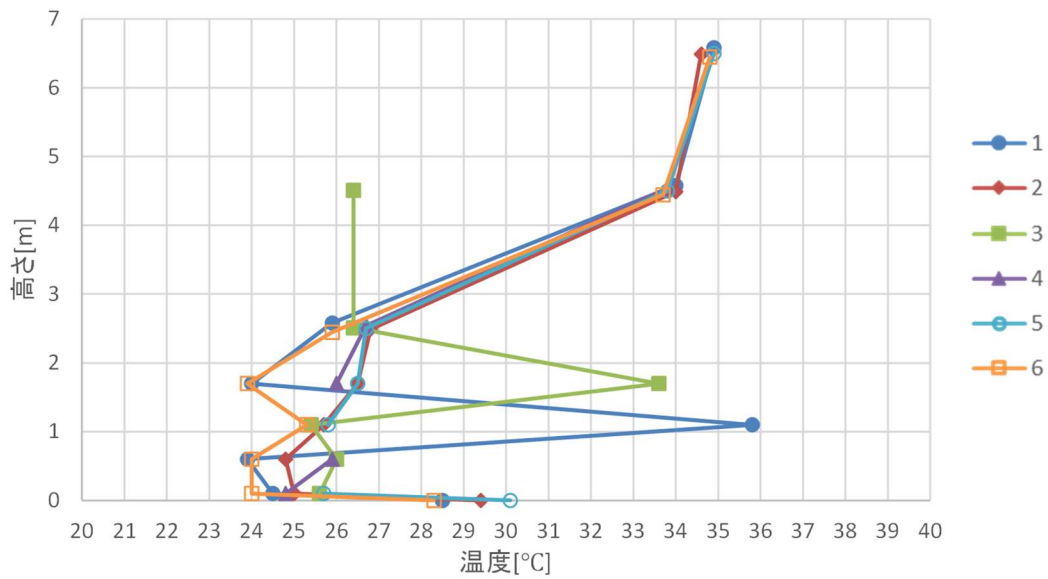


図 2 3 鉛直温度分布 (7月18日15時、外気温33.4°C)

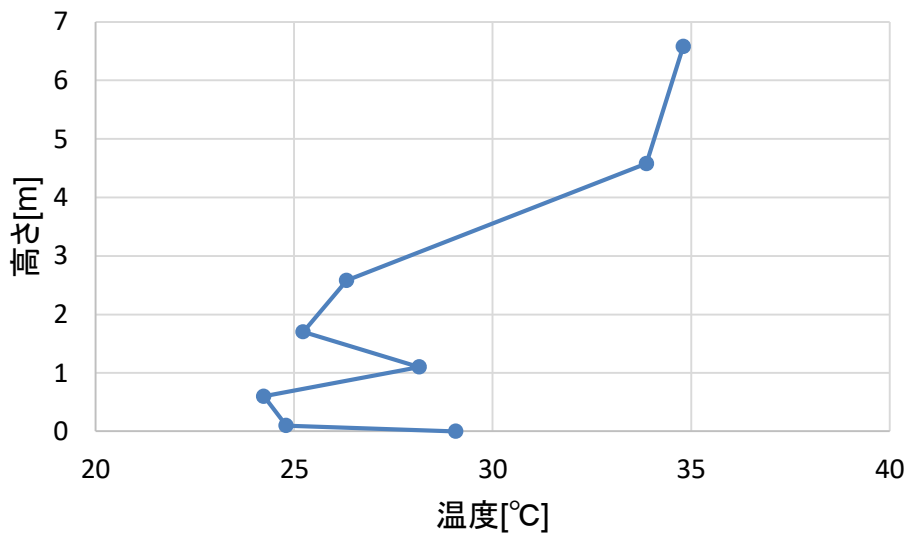


図 2 4 平均鉛直温度分布 (7月18日15時、外気温33.4°C)

鉛直温度分布では、上部の温度が高く、下部の温度が低くなっている。エアコン冷房よりエアコン高さ 2m 以下の領域では 26°C 以下となっている。床表面温度は 28°C~30°C で床上 0.1m の空気温度より約 4°C 高い。居住域 (床上 0.1m~1.7m) における上下温度差が約 1°C で小さく、良好な温熱環境になっている。

(※図 23 の測定点③の床上 1.7m および測定点①の床上 1.1m での温度が 33°C を超えているが、計測時における測定点の日射取得による影響と考えられる。)

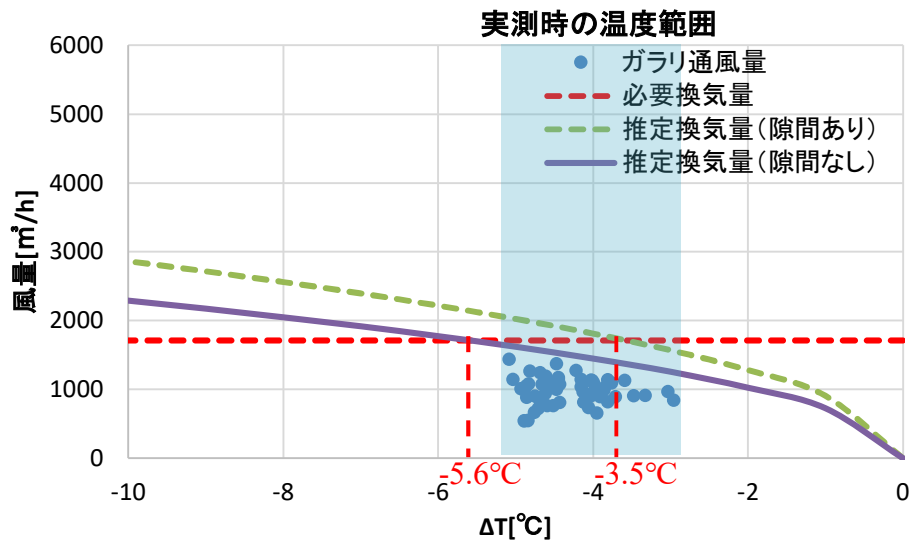


図 2.5 内外温度差と換気量の関係 (7月18日12時-16時)

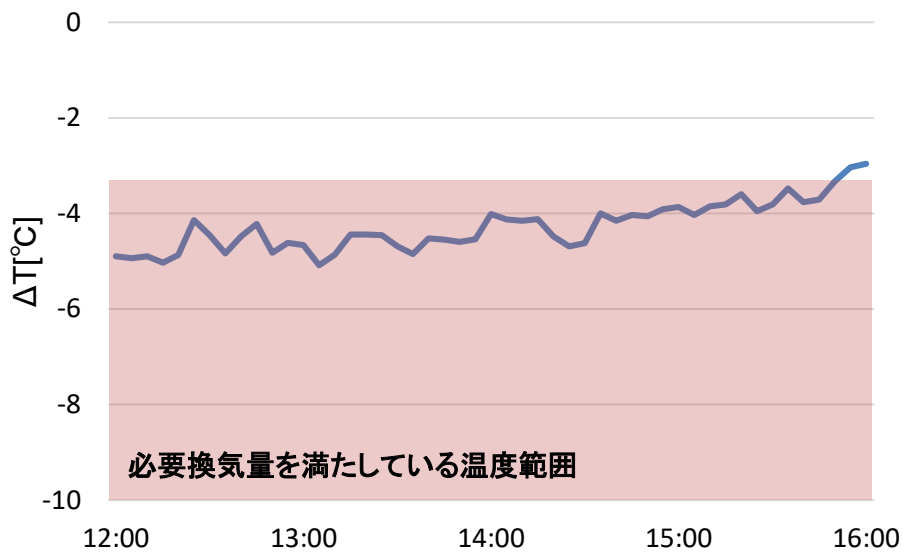


図 2.6 内外温度差の推移 (7月18日12時-16時)

実測時の内外温度差が $-5.2^{\circ}\text{C}\sim-3^{\circ}\text{C}$ を推移していて、必要換気量をおおむね満たしている。

③ ケース 3 (ガラリ開・下部窓開、設定温度 24°C)

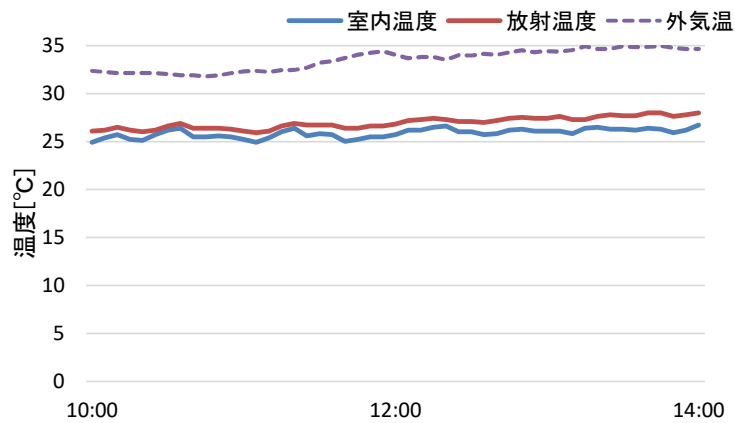


図 2 7 温度推移 (PMV 計、7 月 19 日 10 時-14 時)

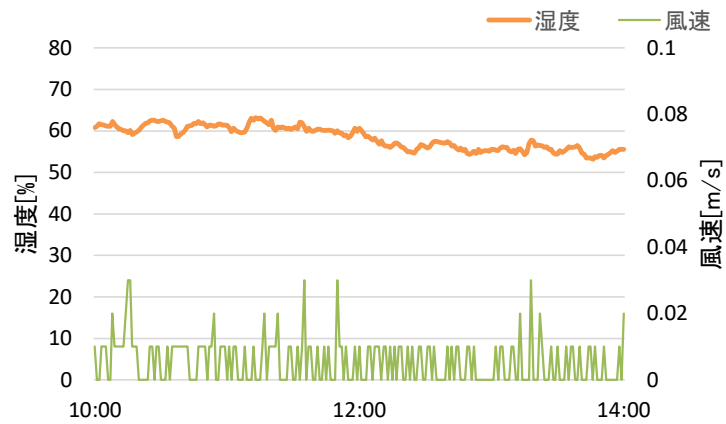


図 2 8 相対湿度・風速推移 (PMV 計、7 月 19 日 10 時-14 時)

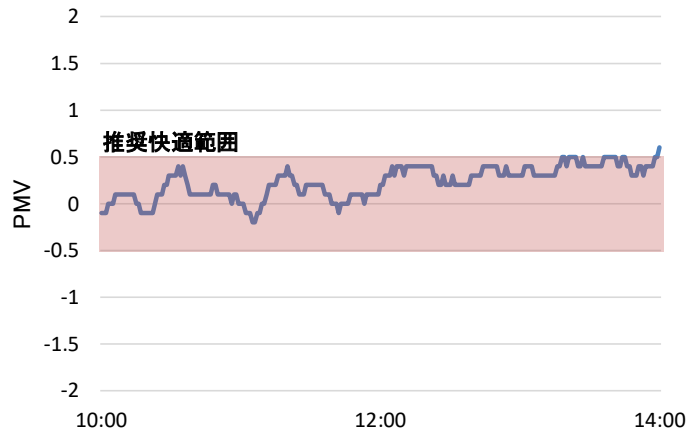


図 2 9 PMV 推移 (7 月 19 日 10 時-14 時)

外気温が 35°C 近くまで上がるが、エアコンの冷房運転が継続して行われて体育館内の温度は 25°C~26°C で推移し、PMV も 0~0.5 を推移して快適範囲である。

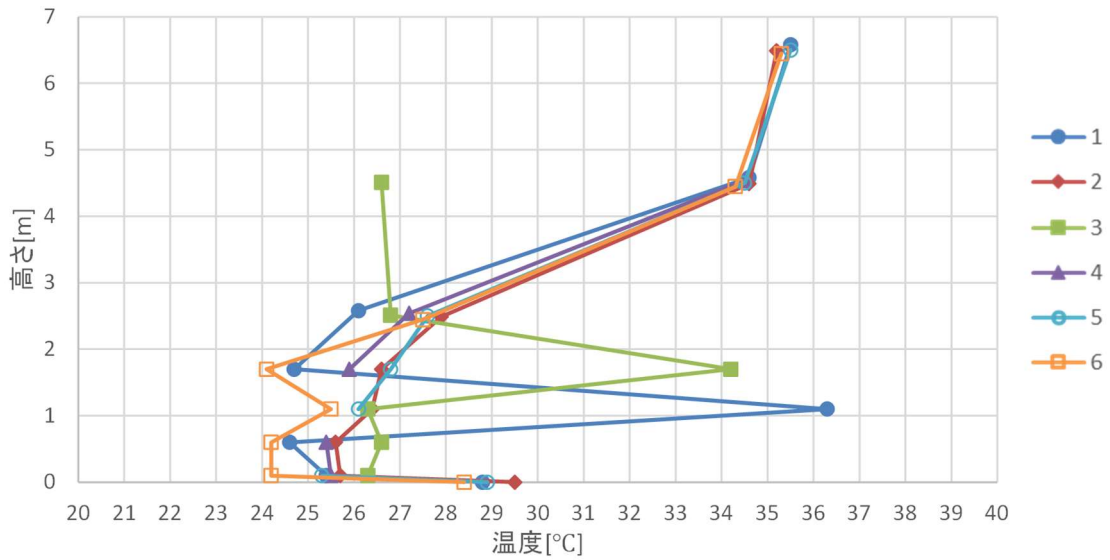


図3 0 鉛直温度分布 (7月19日14時、外気温34.7°C)

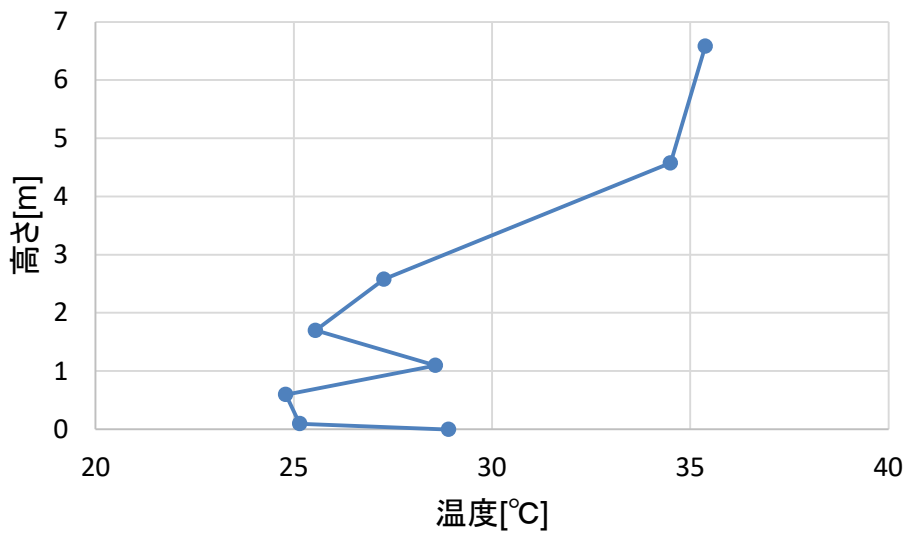


図3 1 平均鉛直温度分布 (7月19日14時、外気温34.7°C)

ケース1およびケース2の昼間と同様に上部の温度が高く、下部の温度が低くなっている。エアコン冷房よりエアコン高さ2m以下の領域では27°C以下となっている。居住域(床上0.1m~1.7m)における上下温度差が約0.7°Cで小さく、良好な温熱環境になっている。

(※図23の測定点③の床上1.7mおよび測定点①の床上1.1mでの温度が33°Cを超えているが、計測時における測定点の日射取得による影響と考えられる。)

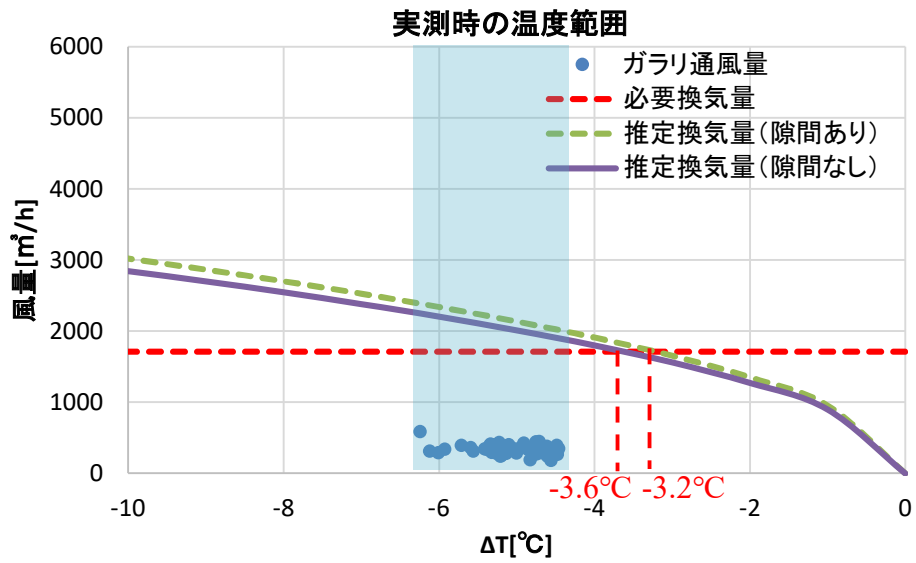


図 3 2 内外温度差と換気量の関係 (7月19日10時-14時)

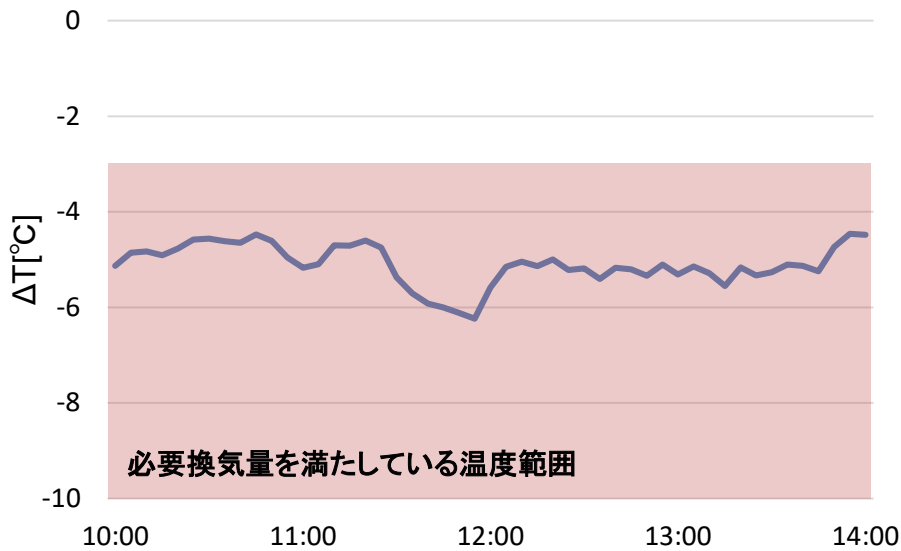


図 3 3 内外温度差の推移 (7月19日10時-14時)

実測時の内外温度差が -6.3°C ～ -4.4°C を推移していて、必要換気量を満たしている。ガラリ通風量は $330\text{m}^3/\text{h}$ 前後で推移していて他のケースでの同じ内外温度差に比べて風量が小さいが、これは下部窓を開けたことで、その窓より多くの換気が行われたためである。

(8) 実験まとめ

- ・ 体育館内を冷房運転することにより、居住域が快適範囲であること及び上下温度差が小さいことを確認した。
- ・ 風量計算と実測結果を比較することでおおよその体育館の隙間面積を計算でき、隙間面積を含めた推定換気量の把握ができた。
- ・ 推定換気量から、屋内平均温度と外気温度の差を 3.5°C 以上にすれば、当該体育館を避難所として使用した場合にも必要換気量を満たすことができる。
- ・ 夏季は冷房設定温度 24°C で使用することで PMV が快適範囲になる。

4. シミュレーションによる検討

(1) ブロック（単室）モデルによる開口面積と換気量の関係

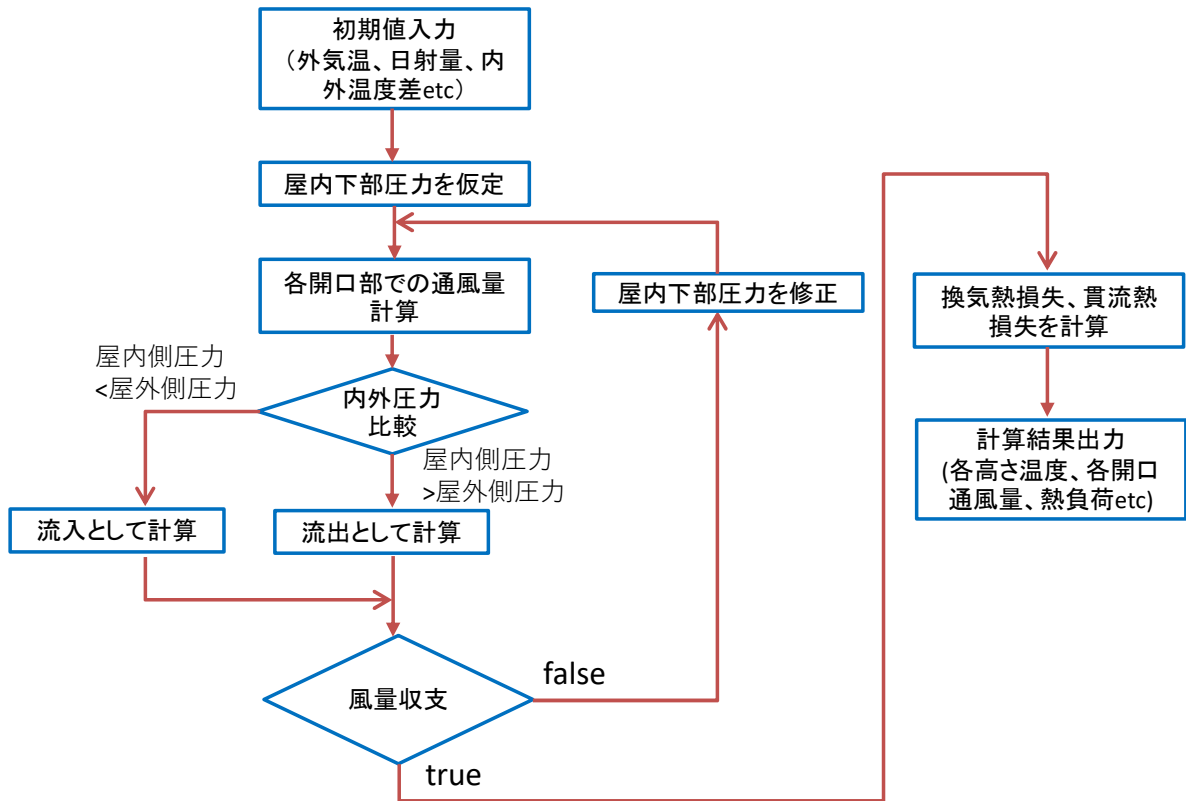


図34 ブロック（単室）モデルの計算フロー

入力条件として外気温、内外温度差を与え、外部風は無風、計算における時刻を日没後にするため、日射はなしとした。

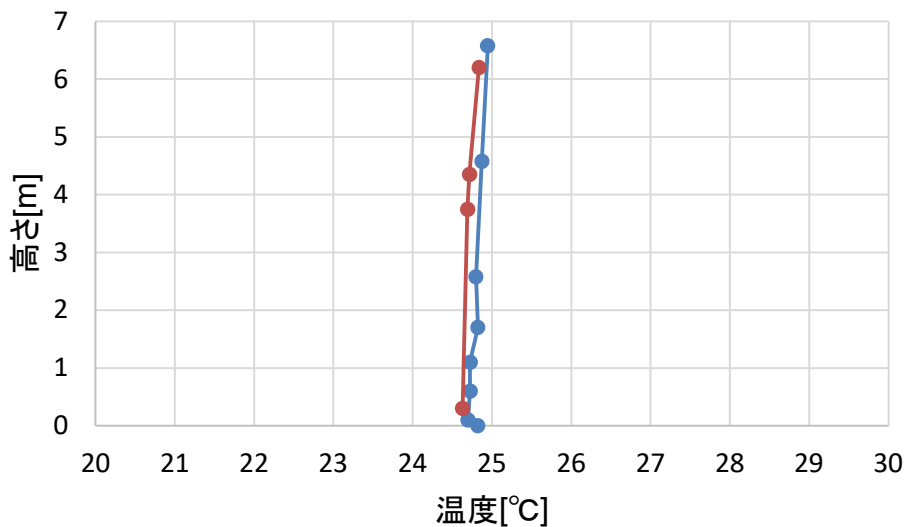


図35 ブロックモデル計算結果と実測結果との整合性確認

各種検討に先立ち、ブロックモデル計算と実測との整合確認を行った。整合確認には2024年7月18日4時のデータを使用した。計算における鉛直温度分布の勾配を直線としているが、実測結果と類似した結果を得たため、本計算モデルによる検討を進める。開口面積を変更しながら、内外温度差と換気量の関係を確認する。外気条件は外気温35°Cとし、外部風がある場合は換気に、日射がある場合は必要熱量にそれぞれ有利に働くため外部風・日射無しとして計算した。開口面積の基準は実測時の開口をもとに床高さにある開口の面積の合計2.2 m²（単純開口と仮定し流量係数 $\alpha=0.6$ とする）および床上6.2mの高さにある開口の面積の合計0.7 m²（ $\alpha=0.6$ ）を合成した値（ $\alpha A_{合}$ ）を0.4 m²として、これに0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.25をかけた値0.1 m², 0.2 m², 0.3 m², 0.4 m², 0.5 m²を開口条件として与えて計算した。

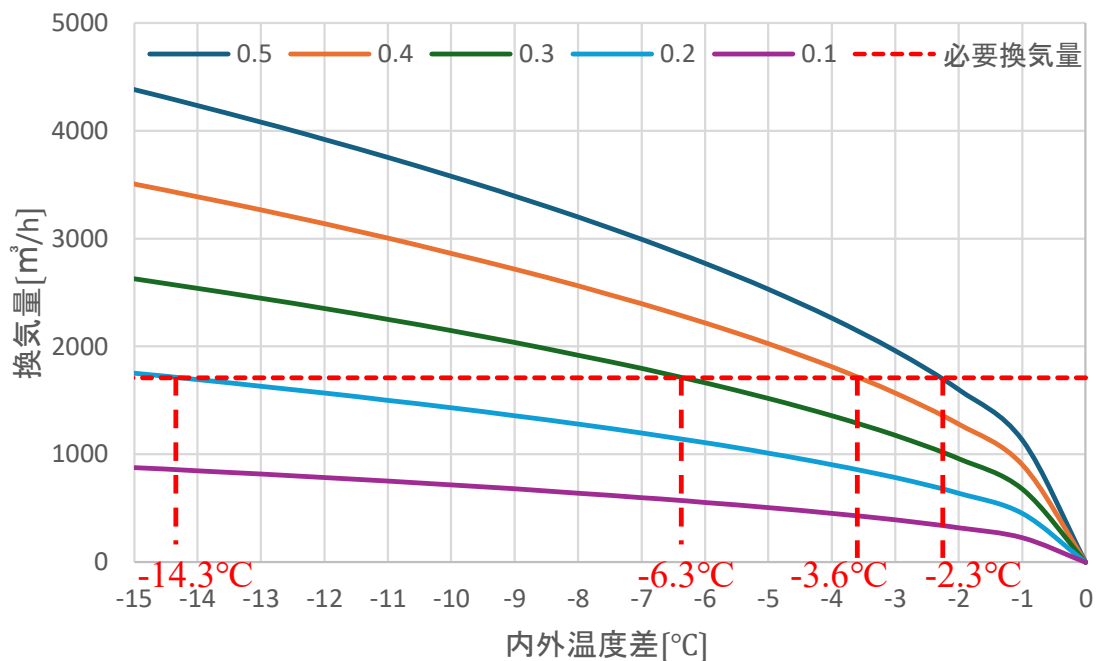


図3.6 内外温度差による換気量の推定

実効面積が0.5 m²の場合 -2.3°C、0.4 m²(実測を行った体育館のガラリーを合計した面積)の場合には-3.6°C、実効面積が0.3 m²の場合 -6.3°Cの内外温度差があれば、避難所として使用する場合の必要換気量を満たせる。例えば、外気温度が33°Cの場合、開口の実効面積が0.3 m²の場合は内外温度差を-6.3°Cにするために体育館内の平均温度が26.7°C以下にする必要があるが、もし実効面積が0.2 m²以下の場合には内外温度差-14.3°C、つまり体育館内の平均温度を20.7°Cにしなければならないため0.3 m²程度の実効面積が必要である。

単純開口の流量係数 $\alpha=0.6$ とした場合の流入・流出開口面積の関係は以下ようになる。

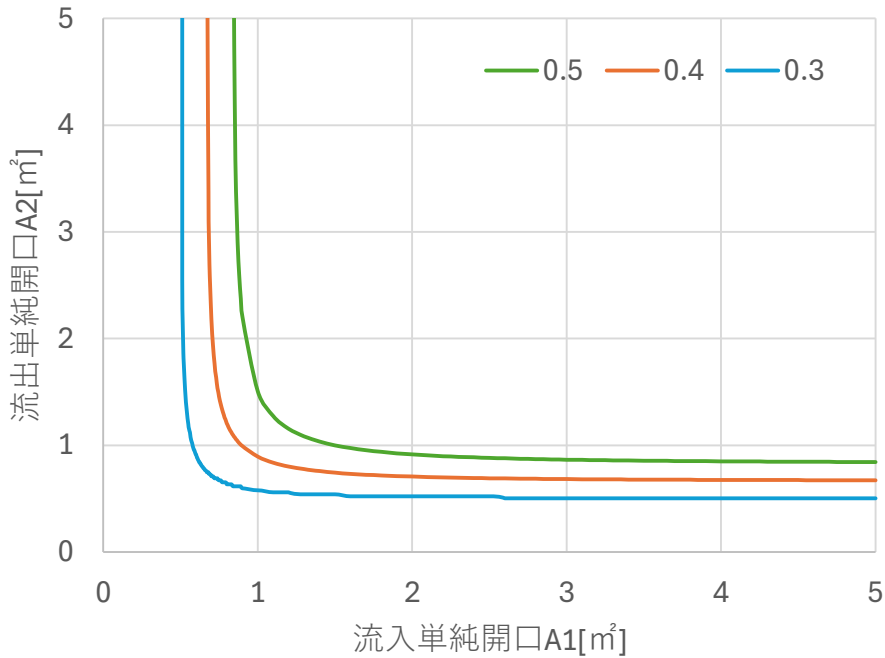


図 3.7 実効面積による流入・流出開口面積の関係

このグラフより、該当する体育館について流入、流出開口についてグラフ上の面積と α 合に対応する内外温度差を確保すれば必要換気量を満たすことができる。
 実効面積 0.5 m^2 (内外温度差 -2.3°C) , 0.4 m^2 (内外温度差 -3.6°C) , 0.3 m^2 (内外温度差 -6.3°C) 時に必要換気量を満たす場合の屋内鉛直温度分布を以下に示す。

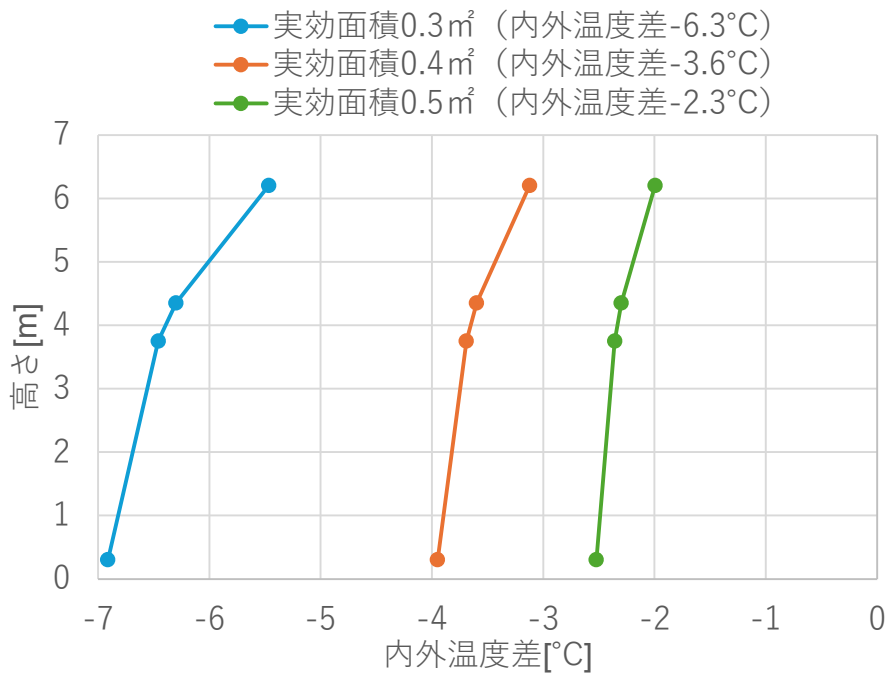
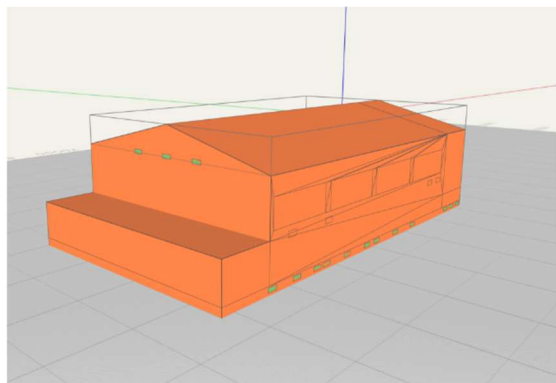


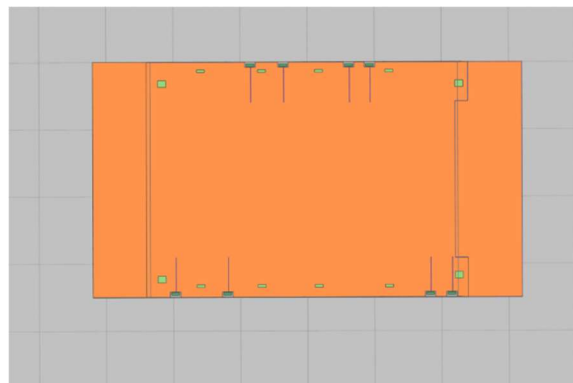
図 3.8 内外温度差による鉛直温度分布

(2) 数値流体力学 (CFD) シミュレーションによる温熱環境の確認
ブロック (単室) モデル計算では把握できない屋内温熱環境の詳細や外部風がある場合の換気量の確認を行う。

① 解析モデル



体育館外形



体育館平面

図 3 9 内外温度差による鉛直温度分布

図中緑の長方形がガラリ (開口率 60%)、正方形が隙間に相当する開口 (各 0.18m^2)、壁際についているものが空調機 (冷房) である。このモデルに対して 7 月 18 日 15 時のデータを参考に、外気温 33.4°C 、南風 0.5m/s を与え、窓の開閉での温熱環境の差、換気回数
の差を確認する。

② 検討ケース

- ・ガラリと隙間のみ
- ・ガラリと隙間 + 上部開口 (実測時と同じく東西に $0.4\text{m} \times 1.3\text{m}$ の窓開口)
- ・ガラリと隙間 + 下部開口 (実測時と同じく東西に $0.8\text{m} \times 0.5\text{m}$ の窓開口)

開口を開けることにより換気が促進されるかの確認を行うことを目的としている。空調機にガスが使用されており実際の発熱量の把握ができなかったこと、外部風を測定していなかったことから、参考として対象建物のみ
の解析を行う。

③ 結果
・温度

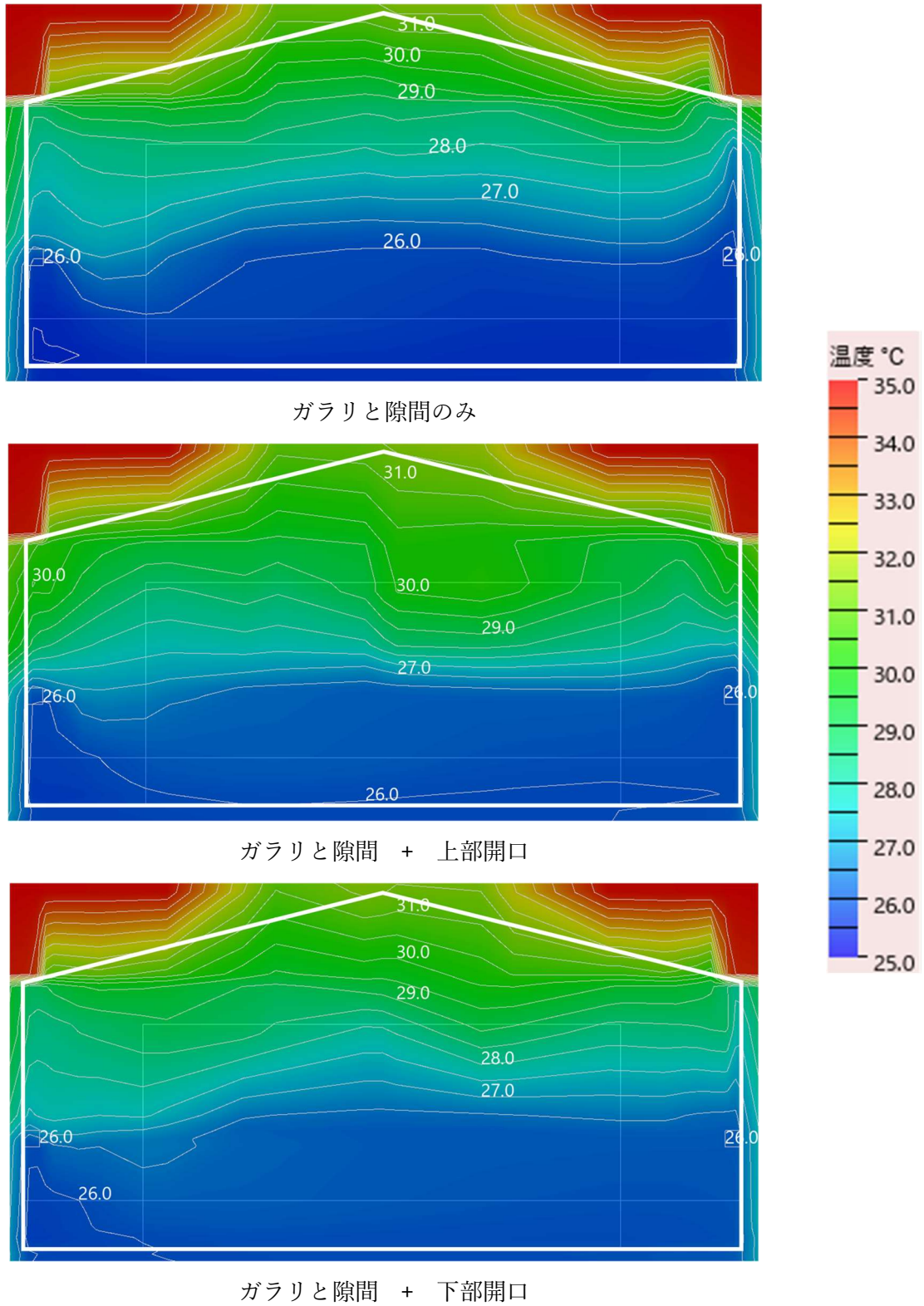


図40 温度分布（中央断面）

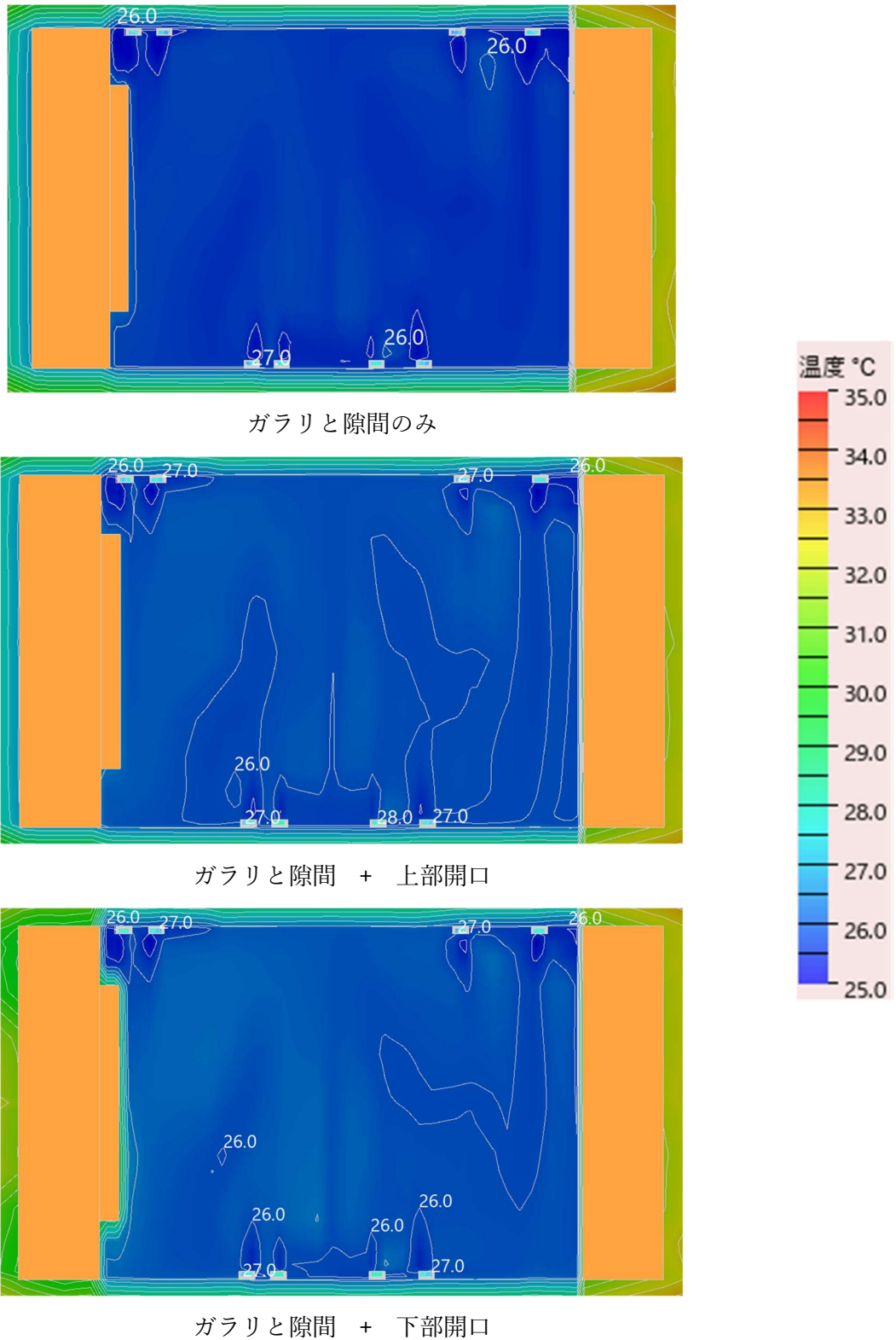
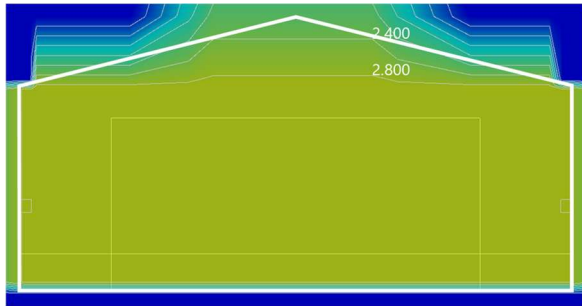
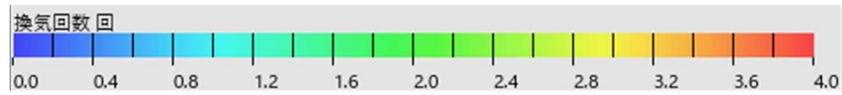


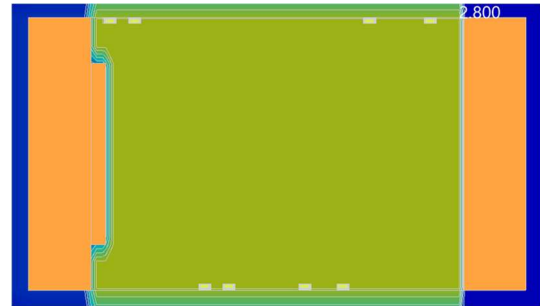
図4 1 温度分布 (平面 高さ 1m)

図40における上下温度分布より、居住域温度が26°C以下で、実測に近いものになったことを確認した。また窓が開いているケースでは居住域とその上の境界の温度差が大きくなる(等高線が密になる)ことが確認できる。

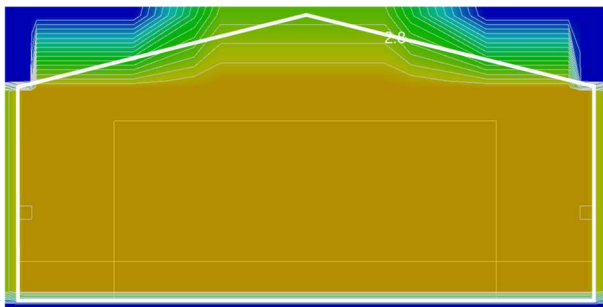
・換気回数



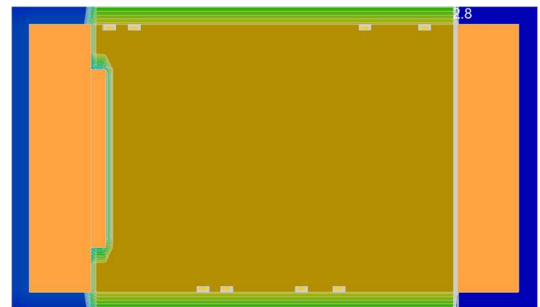
ガラリと隙間のみ



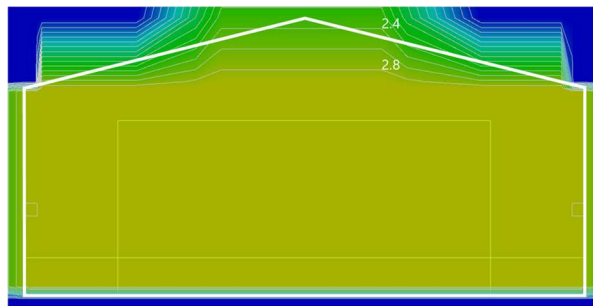
ガラリと隙間 + 上部開口



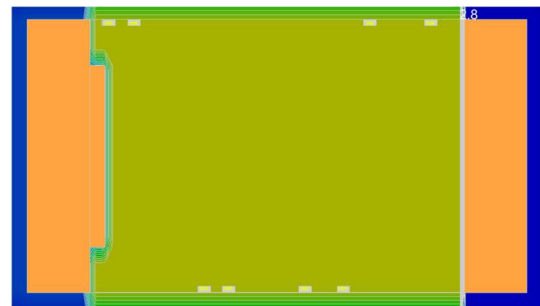
ガラリと隙間 + 上部開口



ガラリと隙間 + 上部開口



ガラリと隙間 + 下部開口



ガラリと隙間 + 下部開口

図45 換気回数 (中央断面)

図46 換気回数 (平面 高さ1m)

窓を閉めた場合で2.8回/h程度の換気回数であり、十分に換気は確保されている。また窓を開けることで換気回数が0.2~0.4回/h大きく換気がよく行われることが確認できる。

(3) シミュレーションまとめ

- ・ブロック (単室) モデル計算と実測の整合性を確認し、開口面積と内外温度差、換気量の関係を導いた。
- ・外部風があり上部の窓を開けた場合により換気が行われるが、居住域上近傍の温度が上昇する。

5. 考 察

本調査では、空調機器が設置されている既存体育館（北区立旧清水小学校 体育館）を対象として、夏季における窓開けによる換気量と室内温熱環境の関係を実測調査し、望ましい温熱環境を維持しつつ、必要換気量に関して計算などを用い、理論上確保が可能であるか検証した。

なお、体育館の在室人数の想定は、「東京都避難所における新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン※A」を参考にパーティションを設置して通路幅を2mにし、総収容人員を57人（2人27組、1人3組）と想定した。

《実測調査から得られた結果》

窓開け状況 ※1	換気量 ※2	室内温熱環境 ※3	望ましい温熱環境 ※4
ガラリのみ	×	○	○
ガラリ+上部開口	○	○	○
ガラリ+下部開口	○	○	○

※1 「窓開け状況」に関する詳細内容

「ガラリのみ」:床、南上部、北上部、ステージ下段に設置されているガラリ

「ガラリ+上部開口」:床・南上部・北上部・ステージ下段に設置されているガラリと東側上部窓・西側上部窓（各開口寸法 幅400×高さ1300[mm]／p6「表1 体育館内の開口」より）

「ガラリ+下部開口」:床・南上部・北上部・ステージ下段に設置されているガラリと東側下部窓・西側下部窓（各開口寸法 幅800×高さ500[mm]／p6「表1 体育館内の開口」より）

※2 「換気量」に関する評価内容

「○」:文部科学省「学校環境衛生基準※B」換気の基準「二酸化炭素は、1500ppm以下であることが望ましい。」を満たしている。

「×」:文部科学省「学校環境衛生基準※B」換気の基準「二酸化炭素は、1500ppm以下であることが望ましい。」を満たしていない。

※3 「室内温熱環境」に関する評価内容

「○」:文部科学省「学校環境衛生基準※B」温度の基準「18℃以上、28℃以下であることが望ましい。」を満たしている。

「×」:文部科学省「学校環境衛生基準※B」温度の基準「18℃以上、28℃以下であることが望ましい。」を満たしていない。

※4 「望ましい温熱環境」に関する評価内容

「○」：PMV「推奨快適範囲」-0.5 から 0.5 を満たしている。

「×」：PMV「推奨快適範囲」-0.5 から 0.5 を満たしていない。

《シミュレーション(理論)から得られた結果》

実測を行った体育館での開口面積（実効面積が 0.4 m²）では内外温度差 3.6°C以上であれば避難所として使用する場合の必要換気量を満たせることを確認した。これは温暖地の夏の平均気温（日最高 33°C程度）に対して、冷房運転より体育館室内を 26°Cで維持すると仮定すると、実効面積 0.3 m²を確保することで必要換気量を満たせることとなる。

《実測及びシミュレーション(理論)から得られた結果から考えられる窓開け》

本調査研究の結果より夏季における窓開け「窓や扉を何 cm 開ければ良いのか」に関して、この度の既存屋内運動場（北区立旧清水小学校 体育館）では、以下の事が確認できた。

問い》窓開け「窓や扉を何 cm 開ければ良いのか」

答え》床付近に設置された窓（地窓・底窓）やドアの場合は、内外温度差が 3.6°Cのときに開放部分の見付面積を 0.7m²以上、夏季を想定した内外温度（室温 26°C、屋外 33°C）のときに開放部分の見付面積を 0.3m²以上とすると、床付近のガラリが使用できない場合においても必要換気量を満たすことができる。ただし、体育館の上部（床上およそ 7m の高さ）に 2.2m²以上の開口があることを条件とする。見付面積が 0.7m²以上となる開口幅の例を以下に示す。

・窓の高さを 30cm とした場合：開口幅の合計が 2.4m（30cm 幅×8 カ所 など）

・ドアの高さを 2m とした場合：開口幅の合計が 35cm（9cm 幅×4 カ所 など）

なお、床付近のガラリに加えてドアや窓も利用できない場合で、体育館の中腹（床上およそ 3.5m の高さ）に開口がある場合は、見付面積が 1.0m²以上となるように窓を開放すれば、床付近で 0.7m²の開口を設けると同等の効果を得ることができる。この場合も、体育館の上部（床上およそ 7m の高さ）に 2.2m²以上の開口があることが条件である。

※A 東京都「避難所における新型コロナウイルス感染症対策ガイドライン」

https://www.fukushi.metro.tokyo.lg.jp/joho/soshiki/syoushi/syoushi/hinanjo-guide-line_COVID-19.html

※B 文部科学省「学校環境衛生基準」

https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1353625.htm

附属 本調査研究協力者一覧

(令和6年9月現在 敬称略)

地方自治体)

北区教育委員会

学識経験者)

東京理科大学 副学長

工学部 建築学科 教授 倉 渕 隆

東京理科大学 工学部 建築学科 教授 野 中 俊 宏

東京理科大学 工学部 建築学科 助教 金 政 一

以上

RIEF