

平成 25 年 4 月 8 日

## ＜研究課題＞厳寒期における高齢者の安全性を考慮した収容避難場所の形成に関する研究

代表研究者 北海道大学大学院工学研究院 助教 菊田 弘輝

### 【まとめ】

厳寒期における高齢者の安全性を考慮した収容避難場所（主に学校体育館）を形成することを目的とし、フィールド調査による計算条件の定量化、数値シミュレーションによる無暖房化のフィージビリティスタディの 2 点を実施した。国内で事例のない学校体育館を対象とした大規模空間の気密測定を実施し、得られた結果を基に、総相当隙間面積の影響、人体発熱の影響、窓面断熱補強の効果、非常用暖房設備の効果を明らかにした。

### 1. 研究の目的

寒冷地・準寒冷地では防寒対策として本来必要な断熱・気密性能に満たない建物が新築・既存問わず数多く存在している。そんな最中に東日本大震災が発生し、自宅や収容避難場所として指定される学校施設では数日間に亘って暖房が運転できない状況であったと言われている。また、国立教育政策研究所のプレス発表によると、ピーク時には 622[校]の学校施設が収容避難場所となり、電気・水の確保や暖房設備の不足といった様々な課題が生じていたと報告している。そこで、快適性・省エネ性の向上に加え電源・燃料喪失時に対して安全性の向上に繋がるような無暖房化の取り組みが今後必要になる。その上、収容避難場所におけるインフルエンザの感染拡大や燃焼型暖房器具の不完全燃焼等の二次災害の防止が求められ、換気（室内空気質の確

保）と暖房（エネルギーの投入）のトレードオフの関係を事前に把握しておく必要がある。

本研究では厳寒期における高齢者の安全性を考慮した収容避難場所（主に学校体育館）を形成することを目的とし、外断熱改修を前提とした無暖房化に効果的な環境配慮設計・運用方法の提案に繋げていく。そこで、フィールド調査による計算条件の定量化、数値シミュレーションによる無暖房化のフィージビリティスタディの 2 点を実施する。

### 2. 研究の方法・経過

#### 2. 1 フィールド調査による計算条件の定量化

学校体育館の無暖房化を検討する上で、はじめに現状の暖房利用実態及び防寒対策について、更に影響の大きい冬期における換気量等について整理しておく必要がある。一般的な換気量の条件として建築基準法に係る天井高による必要換気回数の緩和で、機械換気設備の容量 0.1[回/h]（6.9[m]以上 13.8[m]未満）が適用できる。しかし、機械換気設備が設置されていないケースや設置されていても運転できないケースが想定される。また、寒さが厳しく扉や窓が開けられず、実質的な換気量が隙間換気量に相当するケースも想定される。

今回、国内で事例のない学校体育館を対象とした大規模空間の気密測定を実施し、学校体育館の無暖房化の検討で重要な在室人数と換気量を定量化する。

## 2. 2 数値シミュレーションによる無暖房化のフィジビリティスタディ

以前実施したアンケート調査によると、「体育館の防寒対策の必要性・実行性」の設問に対して「日常活動時の健康維持のため」を防寒対策の必要な理由に挙げている学校数は比較的多く、「建物の断熱性能に関して」を防寒対策の不十分な理由に挙げている学校数は半数程度を占めていた。つまり防寒対策は未だ深刻な状況と言え、尚且つ突然ライフラインが途絶えた場合の室内環境への悪化が懸念される。

以上より、フィールド調査で得られた結果を基に、ESP-rによる数値シミュレーションを実施し、主に総相当隙間面積の影響、人体発熱の影響、窓面断熱補強の効果、非常用暖房設備の効果を明らかにする。

## 3. 研究の成果

### 3. 1 気密測定器の仕様

送風機による住宅等の気密性能試験方法には、ISO 9972を参考に作成したJIS A 2201がある。この規格は一般建築についても準じて適用できることから、収容避難場所として指定される学校体育館で気密測定を行った。従来の住宅気密測定器における送風機を最大4台まで同時に制御し、大規模空間や隙間の多い住宅で測定できるように工夫した(表1)。

表1 仕様

送風機	最大風量	3120/3600[m <sup>3</sup> /h](50/60[Hz])
	直径	320[mm φ]
	電源	単相100[V](50/60[Hz])、最大出力時400[W]
	備考	上記送風機を最大4台同時運転可能
整流筒	寸法 ※風量 50/60[Hz]	管径200[mm φ]、全長330[mm] ※風量1800/2160[m <sup>3</sup> /h]
		管径154[mm φ]、全長280[mm] ※風量1300/1560[m <sup>3</sup> /h]
		管径100[mm φ]、全長250[mm] ※風量700/840[m <sup>3</sup> /h]
精度	圧力差	高精度微差圧計、±0.5[Pa]以内
	通気量	ピトー管による検出、±3[%]以内

## 3. 2 測定対象校の現状

札幌市内に立地する2校の学校体育館を対象とする。手稲区のI小学校は1987年竣工で学級数15、豊平区のA小学校は1984年竣工で学級数8である。体育館の延床面積はI小学校で1363[m<sup>2</sup>]、S小学校で1319[m<sup>2</sup>]、暖房方式は両校で都市ガスを熱源とする温風暖房を採用している。冬期の温度管理の担当は教頭、平均的な暖房設定温度はI小学校で18[°C]、A小学校で15[°C]で行っている。

断熱仕様は外壁と床下で発泡性断熱材25[mm]、天井のみI小学校(屋根勾配なし)では合成樹脂発泡材50+70[mm]、A小学校(屋根勾配2.5/10)では木毛セメント板25[mm]と異なる。窓仕様は両校で単板ガラスの二重窓(外側アルミサッシ、内側木サッシ、引き違い)である。

温熱環境を測定したところ、平日・休日問わず間欠運転が行われ、日中の室温は20[°C]以上になり、設定温度を大幅に上回っていた(図1)。ただし、暖房停止後の室温低下は著しく、I小学校では最低室温が5[°C]であった。それに対しA小学校では朝方に氷点下を記録し、5[°C]以下の時間帯が2012/1/29~2/4の期間中に約4割を占め、結露・カビ・つららが時々発生していた。

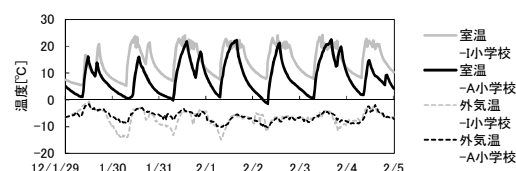


図1 室温変動

### 3. 3 総相当隙間面積 (αA)

減圧法による気密測定を行い、圧力差(ΔP)と通気量(Q)をプロットした(図2)。なお

測定時に床下換気口に通じるグレーチングの  
 目張りを行った。

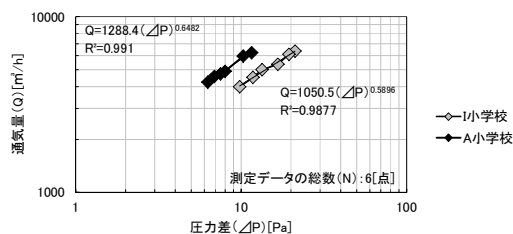


図1 圧力差と通気量の関係

$\Delta P$  と  $Q$  における決定係数 ( $R^2$ ) は 0.99 で高い値を示し、隙間特性値は  $1 \leq n \leq 2$  に含まれ、I 小学校の  $\alpha A$  は  $2886[\text{cm}^2]$ , A 小学校の  $\alpha A$  は  $4066[\text{m}^2]$  の気密性能であることが定量化された (表 2). これらの値は長辺方向の外壁面積の約 0.1[%], 0.2[%] に相当する大きさである。

表 2 総相当隙間面積

建物名	I小学校	A小学校
測定日	12/2/20	12/2/27
室温, 外気温 ( $t_i, t_o$ )	[°C] 13.0, -1.4	12.6, -4.1
外部風速 ( $v$ )	[m/s] 3.4	3.9
隙間特性値 ( $n$ )	[-] (無次元) 1.70	1.54
通気率 ( $a$ )	$[\text{m}^3 / (\text{h} \cdot \text{Pa}^{1/n})]$ 1050.5	1288.4
総相当隙間面積 ( $\alpha A$ )	$[\text{cm}^2]$ 2886	4066
備考	$xy$ 共分散 ( $S_{xy}$ ), $x$ 標準偏差 ( $S_x$ ), 空気密度 ( $\rho$ )	

続いて自然換気回数 ( $1 \leq v \leq 10[\text{m/s}]$ ,  $\Delta T = 0 \sim 25[\text{deg}]$ , 温度補正済) を算出した (図 3). 簡易的に風向は長辺方向に対して垂直, 風圧係数は風上側を +0.4, 風下側を -0.4, 隙間は長辺方向の外壁のみ, 高低差は天井高の 1/2 と仮定した. 測定時の自然換気回数は I 小学校では 0.4[回/h]程度, A 小学校では 0.7[回/h]程度であることが確認された. また, 住宅の相当隙間面積 (C 値) ではなく, 漏気回数 ( $\Delta P = 50[\text{Pa}]$ ) で表すと, A 小学校は I 小学校の約 1.7 倍 (約 1.5/0.9[回/h]) であった。

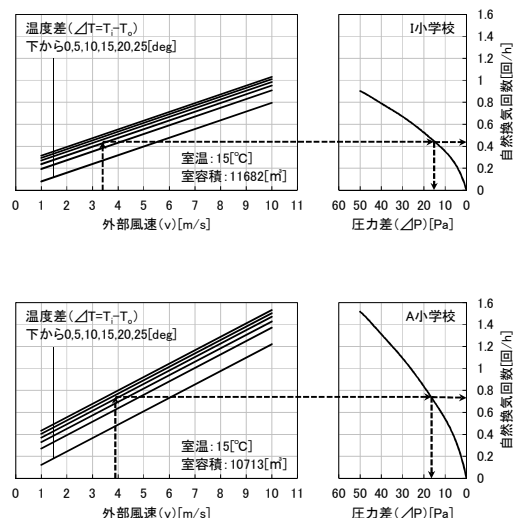


図3 自然換気回数

### 3. 4 信頼区間

既往研究では不確かさ評価方法が再考されているが, 本研究では通常の方法で  $\alpha A$  の信頼区間を算出した (図 4). 先述した  $R^2$  は非常に高かったが,  $x = \ln(9.8)$  に対する  $\alpha A$  の信頼区間 (ステューデントの  $t$  分布の信頼限界) で 95[%] の場合, 推定値に対して  $\pm 400[\text{cm}^2]$  程度の幅になった. ただし, I 小学校の 99[%] 上限値が  $n > 2$  につき参考値扱いとする。

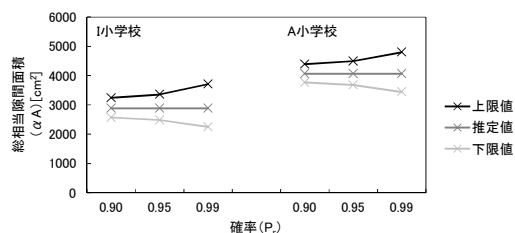


図4 信頼区間

### 3. 5 数値シミュレーションの概要

ESP-r を使用して体育館を想定したモデルを作成し, 室内を 2 層に分割して数値シミュレーションを実施した (表 3).

表 3 条件

項目	内訳
立地	北海道札幌市
気象データ	拡張アメダス, 2006年, 札幌
寸法	南北40[m], 東西26[m], 高さ10[m]
層の分割	下層:高さ0~3[m], 上層:高さ3~10[m]
窓面積	北側:90[m <sup>2</sup> ], 南側:90[m <sup>2</sup> ]
換気方法	自然換気
収容人数	400[人]
人口密度	0.38[人/m <sup>2</sup> ]
人体発熱	100[W/人]
発熱密度	38.46[W/m <sup>2</sup> ](無暖房時)
	67.31[W/m <sup>2</sup> ](30[kW]暖房時)
暖房時間	16:00~翌8:00

### 3. 6 総相当隙間面積の影響

体育館の最低室温を確保する上で、断熱性能と同時に気密性能の向上は重要である。そこで、まず総相当隙間面積の大小による自然室温への影響を調査した。総相当隙間面積率 ( $\alpha_i A_i' = \alpha_i A_i / \text{北側または南側の外壁面積}$ ) = 0.1[%] (4000[cm<sup>2</sup>]) の最も隙間が大きい場合 ( $\alpha_i A_i' = 0.02 \sim 0.1[\%]$ : 5 段階設定), 居住域である下層室温は夜間に 0[°C]を下回ることが確認された。従って、非常用の食料品・飲料水を備蓄する際に、凍結を考慮する必要があると言える。

### 3. 7 人体発熱の影響

無暖房化に際しては、人体発熱及び日射取得熱が主な暖房熱源として挙げられる。そこで、緊急避難時を想定した避難者収容時の人体発熱による自然室温への影響を調査した。未収容時に比べ平均室温で約 8[°C]の上昇が見られたが、依然として確保すべき最低室温 (緊急避難時: 20[°C]以上) に達しておらず、その他の対策が求められる。

### 3. 8 窓面断熱補強の効果

応急的な対策の一つとして、日射取得熱が少なく熱損失の大きい北側窓面に断熱材を付加し、窓面断熱補強を図ったが、居住域である下層室温の上昇は小さく効果は薄かった。従って、緊急時に十分な室温を確保するため

には、体育館の抜本的な高断熱・高气密化が必要であると考えられる。

### 3. 9 非常用暖房設備の効果

もう一方の対策として、応急的な非常用暖房設備を運転した際の暖房出力に応じた室温を示す (図 5)。下層室温を 20[°C]以上とするためには、30[kW]以上の暖房出力が必要であることが確認された。しかし、燃料を全て灯油とした場合、燃焼に伴い発生する二酸化炭素の必要換気回数 (0.53[回/h]以上) を満たすには至っていない。今後の防寒対策では、これらの換気方法にも留意した非常用暖房の検討等が必要であると言える。また、現状の備蓄状況では緊急時に必要とされる暖房器具及び燃料の確保は難しいと言える。

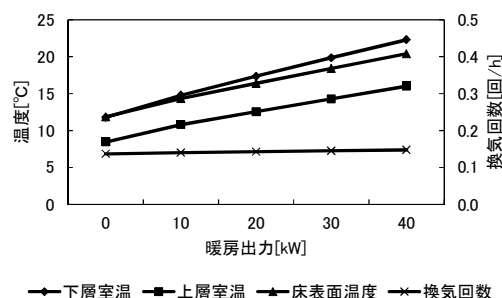


図 5 暖房出力と平均室温

## 4. 今後の課題

今後は短期的対策に加え、長期的対策として外断熱改修を前提とした無暖房化に効果的な環境配慮設計・運用方法の提案に繋げていくためには、更なるモデルの改良を検討する必要がある。

## 5. 研究結果の公表方法

研究成果は学会発表 (日本建築学会, 空気調和・衛生工学会) にて公表され、学術論文への投稿も予定している。