

小中学校のゼロ・エネルギー化と室内環境質の向上に関する研究

早稲田大学 ○對馬聖菜*1 静岡理工科大学 石川春乃*2
早稲田大学 酒井健太*3 早稲田大学 田辺新一*4
Technical University of Denmark Pawel Wargocki *5

小中学校 実測調査 ZEB 被験者実験 室内環境 生体発散物質

0. 研究の目的

エネルギー基本計画において、2020年までに公共建築物で、2030年までに新築建築物の平均でゼロ・エネルギー・ビル（以下、ZEB）を実現すると述べられている。小中学校の一次エネルギー消費量は事務所の2割程度であるが、近年の導入設備の高機能化に伴い増加が懸念される。身近な公共施設である学校のエネルギー消費量の影響は社会的に大きく、学校建築をZEBとすることは喫緊の課題である。同時に学習のための良好な室内環境を両立する必要がある。

本研究では都市部および地方の既存小学校のエネルギー消費実態を把握し、改修によるZEB化の実現可能性を検討した。加えて、これまでの実測において教室内のCO₂濃度が基準より高くなる事例が確認されたことから、温熱環境に加え知覚空気質悪化の原因となる生体発散物質に着目し、効果的な冷房・換気方法検討のための基礎的知見の獲得を目的とした実測調査および被験者実験を行った。

1. 既存小学校のエネルギー実態把握と改修によるZEB化の実現可能性試算

公立小学校の消費エネルギー量は、自治体の設備機器の導入方針の違いや地域の気候や運営管理により大きく異なることが予想される。そこで、公立小中学校における冷房設置率が99.9%である東京都のS区の代表2校、および設置率が7.9%（平成29年4月時点）である地方S市の公立小学校における代表2校を対象に、一次エネルギー消費実態の把握及びZEB化を目指した改修を行った際の消費エネルギーの試算を告示265号によるWEBプログラム試算（以下、WEBプログラム計算）を用いて行った。

S区における公立小学校は、1990年代以降に建設された「新仕様」（400～900 MJ/(m²・年)に幅広く分布）と1960年70年代の集中的に建設された「従来仕様」（300～600 MJ/(m²・年)に集中分布）に二別されることから、各群の代表校2校（それぞれA校、B校）を対象とした。S市における公立小学校は、1960年70年代に集中的に建設されているものの、年次による仕様はほぼ相違なく、無断熱である。市域が広域であるため、「中心市街地」と「郊外住宅地」から代表校2校（それぞれA校、O校）を選定し対象とした。

以下に結果を示す。表1に比較結果をまとめた。

(1) WEBプログラム計算による設計一次エネルギー消費量と運用上の全エネルギー換算による実測値とを比較すると、S区は基準値を実測値が2割程度上回った。これは、自校式給食と学校地域開放による基準エネルギー消費量算出に算入しない要素が多いためと考えられる。一方、S市では基準値を実測値が2割程下回った。これは、WEBプログラム計算に算入するエネルギー利用のうち、主に換気や照明など実際の使用量が、設計想定使用時間を下回っているものと考えられる。

(2) 普通教室に冷房設備を設置していないS市が仮に普通教室に冷房設備を設置した場合、設計一次エネルギー消費量は250 MJ/(m²・年)程度、BEIは0.6程度となり、都市型S区の「標準仕様」の設計一次エネルギー消費量300 MJ/(m²・年)程度より50 MJ/(m²・年)程度少ない。これは、S区の方が床面積に対する空調床面積が多く、また教室に利用する空調対象スペースが多いことに起因すると考えられる。

(3) BEI0.5を下回りZEB_readyとするには、S区の「新仕様」A小学校においては外皮断熱性能の向上・空調設備の高効率化・照明のLED化及び居室調光制御など複数条件を併用し改修する必要があること、S区の「従来仕様」B小学校及びS市のA・O小学校では、照明設備の全灯LED化を実施する必要があることが分かった。

表1 都市型S区と地方型S市の比較

地域内 全校 実測値 平均	対象校	現況				冷房設備 導入後		LED化 改修後	
		外皮性能	現況教室設備	実測値 /BPI	設計値 /BEI	設計値 /BEI	設計値 /BEI	設計値 /BEI	
S区 91校 488	A校 新仕様	断熱有 屋根：プール、 屋上緑化	教室AC有 全熱交換機 照明Hf	585 /0.62	454 /0.68	— /—	414 /0.61	339 /0.49	
	B校 従来仕様	断熱無 屋根：屋上緑化	教室AC有 壁換気扇有 照明Hf	449 /0.88	341 /0.57	— /—	315 /0.43	— /—	
S市 87校 192	A校 市街地	断熱無	教室AC無 換気扇無 照明Hf	149 /0.7	197 /0.57	250 /0.59	183 /0.48	— /—	
	O校 郊外地	断熱無	教室AC無 換気扇無 照明Hf	149 /0.79	179 /0.57	254 /0.6	220 /0.5	— /—	

2. 生体発散物質に着目した効果的な冷房・換気を行うためのメカニズムの解明

近年の学校施設は冷暖房設備の設置率の増加により換気機会が減少し、冷暖房設備が導入されておらず窓の開閉による自然換気を行っている学校と比較して外気負

荷は少ないが劣悪な空気環境であることが指摘されている。近年では、冷暖房使用時の省エネな空気環境改善策として全熱交換器を導入する小学校も存在するが、全熱交換換気を行う学校教室の空気環境や換気設備の運用実態に関する知見は少ない。また、現行の基準では CO₂ 濃度が一律な換気指標とされているが、同等の CO₂ 濃度が維持されている場合でも生体発散物質臭気の影響が大きい場合知覚空気質が異なる可能性があり、臭気物質に着目した空気環境制御の検討が有効であると考えられる。そこで、①冷房設置率 100%の東京都 S 区、M 市の公立小学校を対象とした温熱・空気質環境の実測調査、②生体発散物質に着目した大学授業時の実測調査、そして③温熱環境が生体発散物質放散量に与える影響の把握を目的とした被験者実験を実施した。

① 冷房設備を完備する小学校教室の実測調査より、全熱交換換気を行う小学校 (S 区) では、換気設備が正常に稼働している場合良好な教室空気環境が形成されていた。一方で、メンテナンス不足等の原因で換気風量が低下した場合、窓開けによる環境調節が習慣付いておらず、換気設備の無い教室よりも劣悪な空気環境となる可能性を示した。定期的なメンテナンスなど運用面での注意が必要である。また、M 市調査より、教員が担任教室の換気設備の有無を認識していない場合があるため、換気設備の運用に関する適切なインストラクションが必要であることがわかった。教室内化学物質濃度に関しては、S 区の調査より、同等の換気量が確保されていても冬季と比較して夏季の方が生体発散物質の空气中濃度は高くなる可能性が示唆された。M 市の調査では、CO₂ 濃度の上昇に伴い物質濃度が上昇したアルデヒド類 (Heptanal, Octanal, Decanal) は衣服等を含めた人体周辺から放散している可能性を示した。

② 大学授業時の実測調査より、授業時の知覚空気質を低下させた可能性のある生体由来の化学物質を示した：Ethyl acetate, Acetone, 2-Ethyl-1-Hexanol, 6-Methyl-5-hepten-2-one, E-Geranyl acetone。

③ 温熱環境条件が皮膚ガス放散量に与える影響の把握を目的に、23°C および 30°C に設定した温熱環境室に男子学生 4 名の被験者を滞在させ、在室者の皮膚表面から皮膚ガスを直接捕集する被験者実験を実施した。皮膚ガスの捕集には(有)ピコデバイス製の小型皮膚ガス捕集プローブを用いた。設定した GC/MS 条件で定量が可能な物質全般を本実験における化学分析対象物質とした。また、人体由来の臭気物質として知られる Ammonia のみ HPLC にて分析を行った。捕集した試料から、GC/MS 分析により Acetaldehyde, Ethanol, Acetone, Acetic acid, 2-Ethyl-1-Hexanol,

Toluene が、HP/LC 分析により Ammonia が定量下限値を超える値で検出された。特に Acetone は 23°C 条件と比較して 30°C 条件で有意に放散量が大きかった (図 1)。また、皮膚ガス成分の室内濃度と知覚空気質への影響を検討した結果、同等の換気量が確保されている場合でも、室内温度が異なれば室内空気に含まれる臭気物質濃度が異なる可能性が示された。

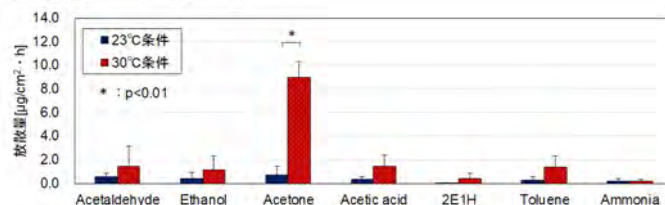


図 1 各温度条件における皮膚ガス成分の放散量

3. 研究の成果、新知見

(1) 都市型 S 区の小学校では冷房化が進むとともに高度な利用が行われており平均エネルギー消費量は 488MJ/(m²・年)と、地方型 S 市の 192 MJ/(m²・年)と比べると 2.5 倍以上であり、ZEB 化に向けた取り組みが必須であると考えられた。そこでそれぞれの地域の性格の異なる既存小学校を対象に WEB プログラム計算により、外皮性能と設計及び基準一次エネルギー消費量の計算を行い、実測値である運用時一次エネルギー消費量と比較した。本研究のように既存の小学校を実際に実測調査した上で具体的な ZEB 化改修方法を提案したことは新規性があると言える。

(2) 冷房設備を完備する学校において、換気設備の認識を高め適切なメンテナンスを行うなど効果的な運用の必要性を示した。さらに、現在までに行われていない、人体が曝露される環境温度の違いが生体発散物質による室内空気質悪化に与える影響に関して被験者実験を行い、基礎的な知見を示したことは、新規性が認められる。

今後の予定

既存小学校のエネルギー実態把握と改修による ZEB 化の実現可能性試算に関する研究は、対象地域を拡大し引き続き研究を行う。生体発散物質に着目した効果的な冷房・換気を行うためのメカニズムの解明については、新たに人間の代謝条件が室内知覚空気質に与える影響に関してテーマを掘り下げ研究を進め、建築の特性や運用方法に応じた空気環境の制御方法に関する基礎的な知見の獲得を目指す。

【謝辞】 助成頂いた一般財団法人大成学術財団に深謝の意を表す。2017 年度共同研究者の当時早稲田大学大学院の中村大介様、調査に協力頂いた当時早稲田大学大学院の酒井健太様、現修士課程の村上航様、研究実施にあたり熱心に協力頂いた S 区教育委員会教育施設課の東海林伸篤様をはじめとした職員の皆様、M 市教育部教育企画課の高橋徹様、渡邊克利様をはじめとした職員の皆様、S 市教育委員会教育局教育施設課の朝比奈直樹様をはじめとした職員の皆様、実測対象校の皆様他数多くの関係者の皆様に深く感謝の意を表す。

*1 早稲田大学創造理工学部建築学科・講師・博士 (工学)

*2 静岡理工科大学理工学部建築学科

*3 元早稲田大学大学院創造理工学研究科修士課程

*4 早稲田大学創造理工学部建築学科・教授・工博

*5 デンマーク工科大学・准教授・博士 (工学)

*1 Assistant Prof., Dept. of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

*2 Shizuoka Institute of Science and Technology

*3 Former Graduate student, Waseda University

*4 Prof., Dept. of Architecture, Waseda University, Dr. Eng.

*5 Associate Prof., ICIEE, Technical University of Denmark, Dr. Eng.