

スーパーエコスクールにおける環境・エネルギー性能の検証と ZEB 化の取組
 (第2報) 熱・空気・光環境評価と省エネ要素技術の導入効果

Verification of environmental and energy performance on Super Eco School and efforts for ZEB
 Part 2: Evaluation of thermal, air, and light environment and effects of energy-saving technologies

○大谷 唯菜(名古屋市立大学)
 正会員 佐藤 孝広(日建設計)

正会員 尹 奎英(名古屋市立大学)
 正会員 田中 宏明(日建設計)

1. はじめに

近年、温室効果ガス排出量の削減が世界的な課題となり、学校施設においても環境負荷低減のための取り組みが求められている。文部科学省では平成 24 年度より省エネと創エネ、蓄エネ等の技術を適用することで年間のエネルギー消費を実質ゼロとするゼロエネルギー化を推進するための実証事業(スーパーエコスクール実証事業)¹⁾を開始した。しかし、学校施設のゼロエネルギー化は全国的に見てもまだ少ない状況にある。

そこで本研究では、ゼロエネルギー化を目指すスーパーエコスクール実証事業に採択された学校施設において、エネルギー消費実態や省エネ要素技術の効果を検証する。また、ゼロエネルギー化に関する取り組みの実態を把握し、ゼロエネルギー化に資する知見を得ることを目的とする。

2. 研究概要

表-1 に検証建物の概要を示す。東西に伸びる 3 棟の教室棟と屋内運動場からなる対象施設は、給食センターは持たず、主なエネルギー源は電力である。対象建物の設計コンセプトは、ZEB、SI、バイオフィリック・デザインを目指すものであり、主な省エネシステムは、クールヒートトレンチ(以下トレンチ、図-1 参照)、太陽集熱壁、自然換気(図-2 参照)、そして創エネシステムは、太陽光発電(12.8kW)、風力発電である。

本研究では、利用開始(2019年4月)から約6ヶ月間の計測データ等の分析及びアンケート調査より、対象室における熱・空気・光環境の

実態、省エネシステムの導入効果(トレンチ、自然換気)について分析・評価する。検証対象室は、主に普通教室(北・東・南の各棟それぞれ4教室)、少人数教室1,2、屋内運動場とした。

本検討に用いたデータは、中央監視盤からの取得データ(2019年4月1日~8月27日、計測間隔5分)、夏期集中計測データ(2019年8月20日~8月22日、計測間隔1分または5分)、アンケート調査結果(2019年10月~11月、対象:教員23名・生徒22名)である。

表-1 検証建物概要

建物用途	教育施設(中学校)	構造	鉄筋コンクリート造、一部木造・鉄骨造
建物所在地	岐阜県瑞浪市	階数	地上3階
延床面積	8090.07 m ²	工期	2017年7月~2018年12月

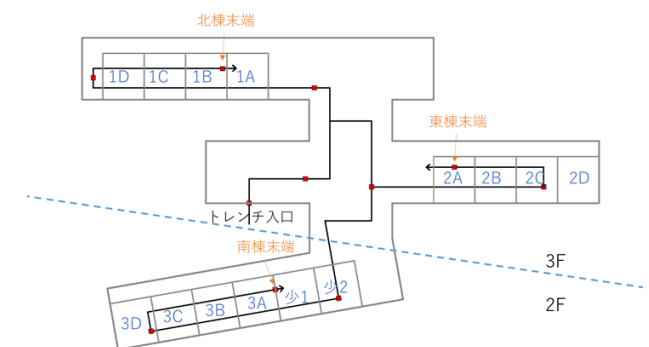


図-1 校舎のクールヒートトレンチ詳細図

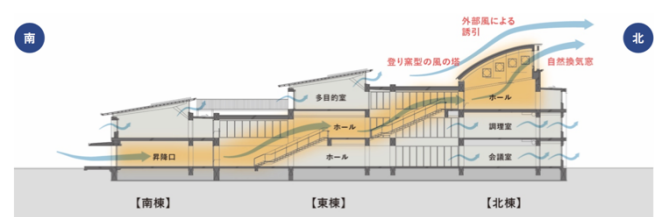


図-2 校舎自然換気断面図²⁾

3. 熱・空気・光環境の実態

表-2 に学校に対する室内環境衛生基準値（一部抜粋）³⁾、図-3 に北棟の普通教室の温湿度とCO2濃度の測定結果（累積相対度数）を示す。熱環境は教室内の温湿度、空気環境はCO2濃度、光環境は教室内の照度より評価した。また、対象室の全期間平日日中（8:00~16:00）の中央監視盤からの取得データ（合計約550時間）と基準値との比較を行った。ここでは各教室間の室内環境に大差がないため北棟の普通教室のみを示す。図中のグレーの部分で基準範囲である。

3-1. 熱環境

まず、熱環境については評価期間中において、室内温度は約90%、室内湿度は約95%が基準を満たしていた。温度の基準を下回る値は8:00~9:00の間に、上回る値は12:00~13:00と15:00~16:00の間に多く見られた。図-4に室内環境についてのアンケート調査結果を示す。これによると、室内環境は前校舎より良くなったという回答が全体の90%を超えており、温度基準の不適合であった時間帯が快適性に与える影響は限定的であったと考えられる。

また、夏期集中計測データより水平面温度と上下温度の教室分布について検証を行った。計測パターンは、すべてOFF、トレンチON、エアコン（風量自動と風量最大）・トレンチON、窓開けの4パターンである。水平面温度分布は、教室内の温度差が最大2℃であり、ほとんどムラのない状態であった。上下温度分布は、すべての条件において基準の3℃以内を満たしていた。また、放射環境は窓側と廊下側のPMV差が0.20と、ISO基準で快適範囲とされる±0.5以内を満たすため教室内は良好な温熱環境を実現できることが確認できた。

3-2. 空気環境

次に、空気環境についてはCO2濃度基準の適合の評価を行った。図-3よりCO2濃度は約94%が基準を満たしていた。

基準値外の特徴を調べるために、図-4に北棟各教室の基準値外の室内CO2濃度の1日の合

表-2 学校に対する室内環境基準値（一部抜粋）

学校環境衛生基準			
温度	基準	17℃以上、28℃以下	
	上下温度	±3℃以内(ISO7730)	
湿度		30%以上、80%以下	
CO2濃度		1500ppm以下	
照度	水平面	300lx以上	最大最小照度比20:1以下(10:1以下であることが望ましい)
	黒板立面	500lx以上	

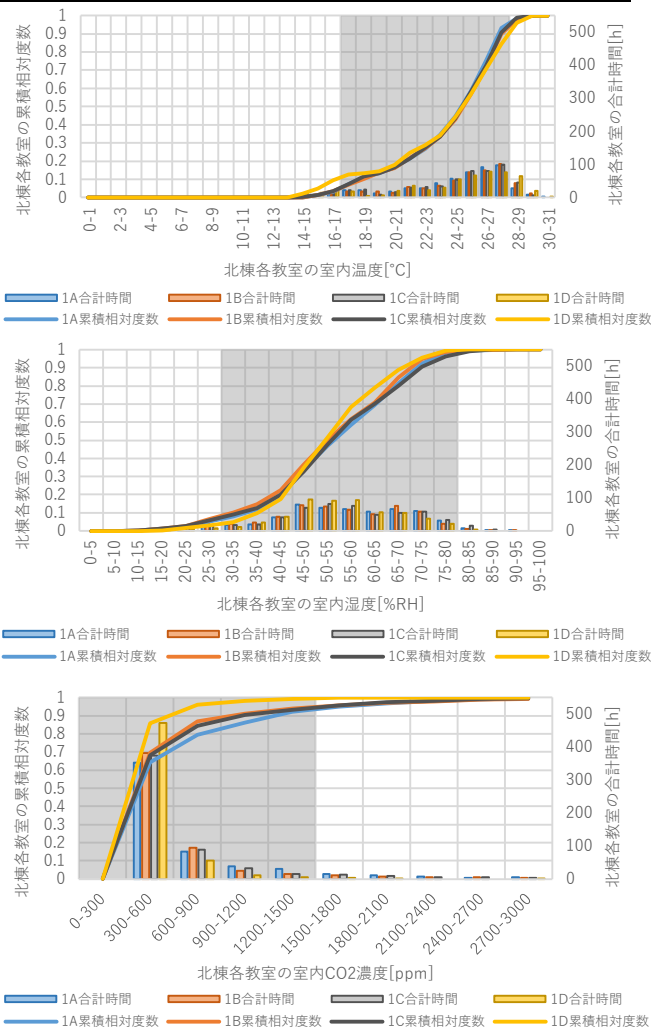


図-3 北棟普通教室の各項目の全期間平日日中データ

前の中学校と比べて教室内の温度や湿度の快適さはどのように変化しましたか？

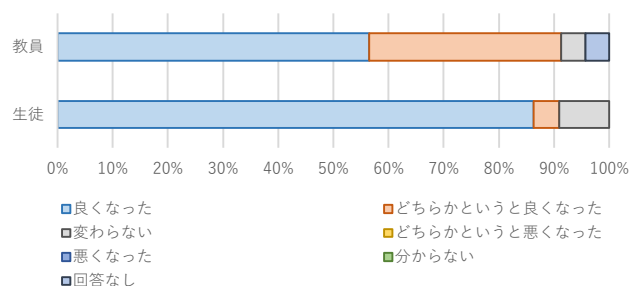


図-4 室内環境におけるアンケート調査結果

計時間を示す。これより、基準値外を示す値は利用開始された4月と気温が高い7月に多い傾向があった。一方で4月20日～7月1日は基準値外の値を示す時間はほとんど見られなかった。また、基準値外の出現時間は平均約33時間で特定の時間に出現する傾向は見られなかった。

3-3. 光環境

最後に、光環境は水平面と黑板立面の教室内分布について検証を行った。計測パターンは、自然調光、全灯100%、無点灯時（自然光利用）の3パターンである。図-6に各条件の最も照度比が大きい時間帯の照度分布、表-3に照度基準適合可否を示す。

最小照度に関しては、無点灯時のみ水平面、黑板立面ともに基準を下回る時間帯が見られた。また、最大照度比に関しては、すべての計測時間が望ましいとされる10:1以下を満たしていた。

これより、光環境については無点灯時のみ最小照度が基準を下回る時間帯が見られたが、他の時間帯においては良好な光環境が形成されていたと認められる。

4. 省エネシステム導入効果

ここでは、クールヒートトレンチ取得熱量と自然換気除去熱量について中央監視盤からの取得データをもとに検証を行った。期間は、トレンチが4月1日～8月27日、自然換気が7月1日～8月27日である。

4-1. クールヒートトレンチ取得熱量

図-7に月積算トレンチ取得熱量^{注1}、図-8に導入外気量あたりの月積算トレンチ取得熱量を示す。月積算の取得熱量は4月に最も多く12.3GJとなり、除去熱量の最大値は7月の25.5GJであった。

また、図-7を見ると取得・除去熱量ともに南棟、東棟、北棟の順に大きい。しかし、図-8を見ると取得熱量は図-7に比べて3棟の誤差が小さくなっていた。これより、トレンチ取得熱量は風量（または風速）の影響が大きいと考えられる。

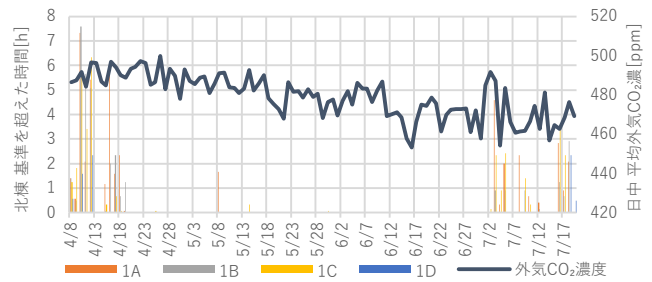


図-5 北棟各教室 基準値外の室内CO2濃度の1日の合計時間

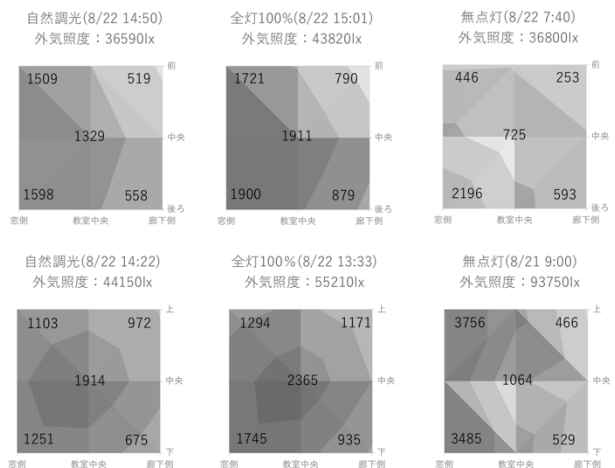


図-6 水平面（上段）・黑板立面（下段）照度分布

表-3 照度基準適合可否

	水平			黑板立面		
	自然調光	全灯100%	無点灯	自然調光	全灯100%	無点灯
最小照度 [lx]	828.1	439.8	239.0	679.2	933.4	233.9
最小照度基準適合可否	○	○	×	○	○	×
最大/最小	3.08	2.41	8.68	2.84	2.53	8.06
最大照度比基準適合可否	○	○	○	○	○	○

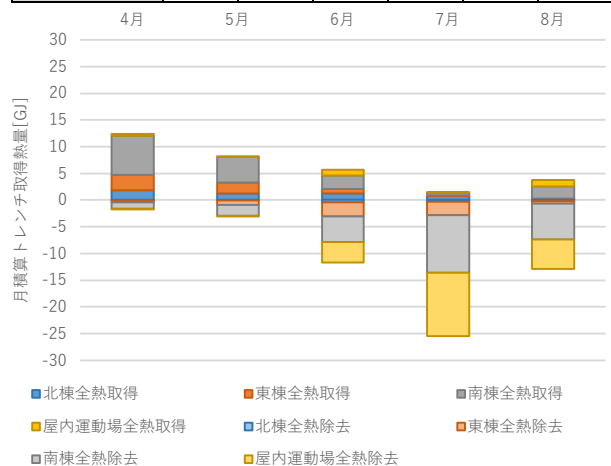


図-7 月積算トレンチ取得熱量

5-2. 自然換気除去熱量

図-9 に 7 月 1 日～8 月 27 日の日積算自然換気除去熱量^{注2}、図-10 に日平均換気回数^{注3}を示す。除去熱量の平均は 379MJ (0.6MJ/m²)、換気回数の平均は 3.5 回/h であった。また、自然換気除去熱量の出口は図-2 に示す北棟 3 階ホールの自然換気窓付近の温湿度を使用して計算している。

図-10 を見ると、7 月は換気回数と窓の開閉時間が概ね比例しているが、8 月は関係性の低い結果になった。これは学校が 7 月末から夏休みに入るため、8 月は室内外温度差が小さくなり、自然換気の駆動力が弱まったことが原因であると考えられる。

5. まとめ

以上のことより、建物全体のエネルギー収支は 9 月の運用実績ではゼロエネルギー化を達成しており、年間で ZEB になる可能性は高いと考えられる。

熱・空気・光環境は検討期間中概ね基準を満たしており、空調や換気、照明の利用、カーテン操作などで基準不適合の時間帯を大幅に減らすことができると考えられる。

省エネシステム導入効果は検証したクールヒートトレンチと自然換気においては効果があったと言える。

今後は、学校施設のゼロエネルギー化に関する良い知見をさらに追及していきシステムの改善、最適な運用手法の検討を行う必要がある。

注1. 全熱 $Q_T = \rho \times V_T \times \sum_{i=1}^{42624} (h_{ei} - h_{oi}) / 1000$

Q_T : 全熱量 [MJ/h]

ρ : 空気の密度 1.2 [kg/m³]

V_T : 風量 [m³/h] { V = 風速 v [m/s] × 断面積 (3.87 [m] × 0.67 [m]) × 3600 [s/h]}

h_{ei} : 末端エンタルピー [kJ/kg]

h_{oi} : 外気エンタルピー [kJ/kg]

i : 5 分ごとの計算回数 (1～42624)

注2. 除去熱量 $Q_N = \rho \times V_N \times \sum_{i=1}^{42624} (h_{ei} - h_{oi}) / 1000$

Q_N : 除去熱量 [MJ/h]

V_N : 風量 [m³/h] { V = 風速 v [m/s] × 断面積 (1 [m] × 0.9 [m] × 8 [個]) × 3600 [s/h]}

h_{ei2} : 窓付近エンタルピー [kJ/kg]

h_{oi2} : 外気エンタルピー [kJ/kg]

A : 断面積 [m²] { A = 幅 1 [m] × 高さ 0.9 [m] × 個数 8 [個]}

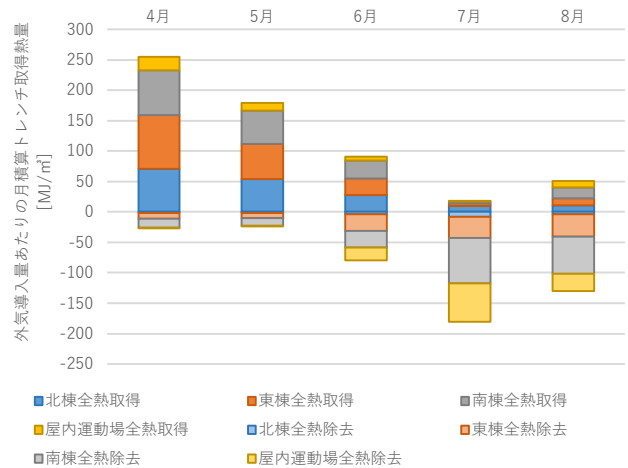


図-8 外気導入量あたりの月積算トレンチ取得熱量

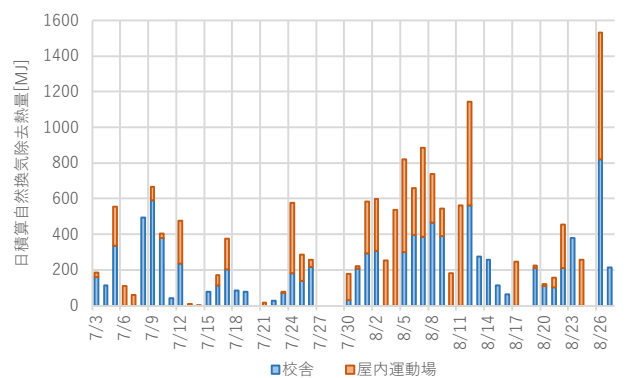


図-9 日積算自然換気除去熱量

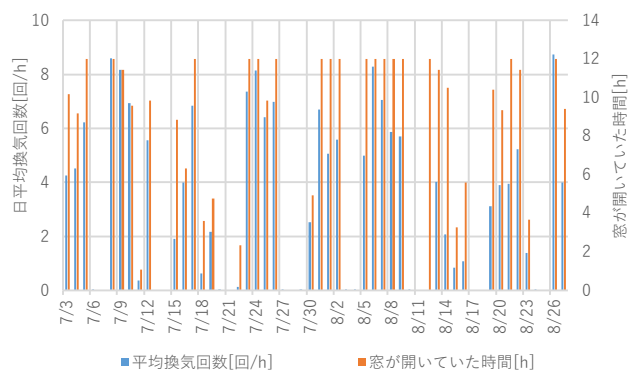


図-10 日平均自然換気回数と日積算窓開閉時間

注3. 換気回数 $N = A \times v \times 3600 / V$

N : 換気回数 [回/h] V : 体積 2066 [m³]

A : 断面積 [m²] { A = 幅 1 [m] × 高さ 0.9 [m] × 個数 8 [個]}

参考文献

- 1) 文部科学省：スーパーエコスクール実証事業について、http://www.mext.go.jp/a_menu/shisetu/ecoschool/detail/1319684.htm、2020.1.27 閲覧
- 2) 瑞浪市教育委員会：運用マニュアルスーパーエコスクール瑞浪北中学校の使い方、2018.12
- 3) 文部科学省：学校環境衛生管理マニュアル「学校環境衛生基準」の理論と実践 [平成 30 年改訂版] https://www.mext.go.jp/a_menu/kenko/hoken/1292482.htm、2020.1.27 閲覧