

ZEB を目指した公立中学校の概要と環境配慮手法の性能検証 The Outline of the Junior High School Aiming at ZEB and Performance Verification of Energy Saving Measures

○佐藤 孝広 (日建設計) 田中 宏明 (日建設計)
 尹 奎英 (名古屋市立大学) 大谷 唯菜 (名古屋市立大学)
 Takahiro SATO*¹ Hiroaki TANAKA*¹ Gyuyoung YOON*² Yuina OTANI*²
 *¹ Nikken Sekkei Ltd. *² Nagoya City University

The outline of the public junior high school aiming at the realization of ZEB was shown. Various energy saving measures were adopted to reduce energy consumption. After the school opened, the indoor environment in the classrooms was continuously measured, and during the daytime on weekdays, the indoor environment at classrooms almost met the school environmental and sanitary standard.

はじめに

瑞浪市は濃尾平野の北東端にあり、市域の70%を山林が占める緑豊かな自然環境を有している。まちのあちこちから化石が出土する「化石のまち」、陶磁器産業を中心に発展してきた「焼き物のまち」としても知られている。本建物は、瑞浪市内にある公立中学校の既存3校の統合を目的として校舎および屋内運動場の新築が計画された。平成31年4月の開校にあたり、「学校施設のゼロエネルギー化」及び「環境教育の推進」に取り組み、国内でも有数の暑い地域である岐阜県東濃西部地域から、次世代の学校施設や環境教育の在り方について情報発信することを目指している。

1. 建築概要と環境配慮のコンセプト

本建物の概要を表1に示す。

Table.1 Building outline

建設地	岐阜県瑞浪市
延床面積	8,090.07m ²
構造	鉄筋コンクリート造,一部木造・鉄骨造
階数	地上3階
工期	2017年7月～2018年12月

下記を環境配慮のコンセプトとしている。

- (1) ZEB ; ゼロエネルギースクール
- (2) SI (Student Intelligence) ; 生徒が自ら育む環境教育
- (3) バイオフィリック・デザイン ; 瑞浪の風土の叡智を活かした環境デザイン

2. 環境配慮計画の概要

2.1 ZEB ; ゼロエネルギースクール

瑞浪北中学校では建築計画と設備計画の融合による先進的技術と創エネルギーを組み合わせ、ZEBの実現を

目指している。学校用途において一次エネルギー消費量に占める割合の高い照明エネルギーと暖房・換気エネルギーの削減を重点的に行なうため、自然採光や断熱強化、太陽集熱利用等の手法を採用している (図1)。

普通教室ではエコルーフ (高反射高断熱屋根+太陽光発電120kW) と屋根庇、Low-ε 複層ガラスを採用し、冷暖房の負荷を抑制する計画とした。創エネルギーに関しては太陽光発電、風力発電、ペレットストーブによるバイオマス熱利用を採用した。

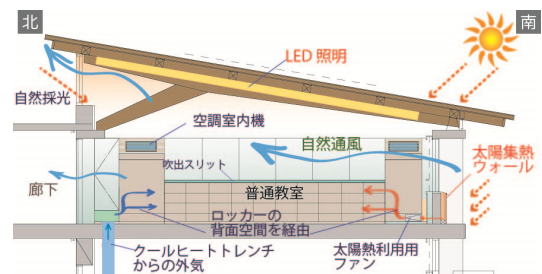


Fig.1 Energy saving Measures at a Classroom

建築物総合エネルギーシミュレーションツールThe BEST program (平成25年省エネ基準対応ツール) による試算では、一般的な公立小中学校と比較して、一次エネルギー消費量を、省エネルギー技術で50%削減、創エネルギーで56%削減する結果となった (図2)。

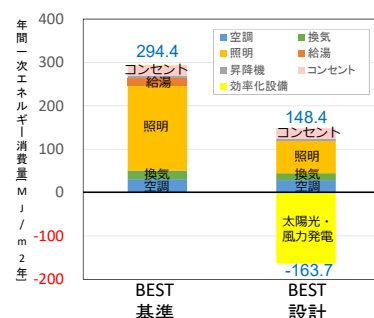


Fig.2 Estimation of Primary Energy Consumption

下記に建物にて採用した主な省エネ手法を示す。地域の持つ省エネルギーポテンシャルを最大限に活用することに取り組んだ。従来の学校では、換気不足による空気質悪化やムラのある温熱・光環境など学校環境衛生として改善すべき点が多い。消費エネルギーの削減と快適な学習環境を両立させる計画とした。

(1) 涼風を造り出す配棟計画

本学校は、中庭を囲む3棟に分散した校舎棟と屋内運動場からなる。中庭に対して、屋内運動場は壁面を流線型のフォルムとし、南棟は約 10°南西方向に開く形とした。このことにより、山の斜面に沿って吹く南西方向の卓越風を中庭に呼び込み、「そよかぜの森」と名付けた中庭の木々による蒸散作用により冷やされた涼しい風を校舎内に取り込むことで、冷房負荷の削減を図る計画とした (図3)。

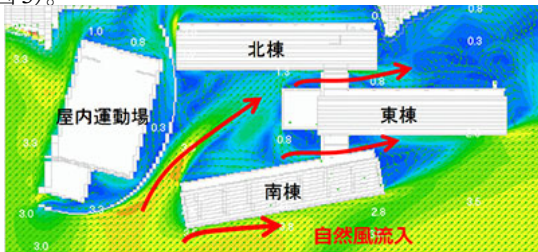


Fig.3 Planning of Building Position for smooth wind stream

(2) 『登り窯』をモチーフにした自然換気

校舎棟を縦横断するコミュニケーションスペースでは、焼き物のまちとして知られる地域の歴史的な遺産である「登り窯」の熱機能を模倣し、高低差と温度差の浮力効果による自然換気を行う計画とした。昇降口や中庭を通して校舎内に入った空気が、建物内を巡り、「登り窯」の最頂部に設けた排気塔から外へ抜ける風の道を計画した。初夏や中間期の自然換気とナイトパージに活用する。

(3) 大規模クールヒートトレンチ

校舎棟では、床下には最長 150m のクールヒートトレンチを設け、外気をトレンチ経由で取り入れる計画とした (図 4)。夏季は 25~26°Cまで冷却して教室の涼房に利用し、夜間にはトレンチ経由で教室に夜間冷気を導き排気塔から排気することでファン動力を使わずにナイトパージを行う。冬季は 10~12°Cまで外気を加温し外気負荷の低減を図る。

教室後方のロッカー上部に設けたスリットから均等に吹出し、教室内の温度ムラを低減することを図った。クールヒートトレンチ用の単相ファン (1,500m³/h/室) にはインバータを設け、室温や空気質に応じて、生徒自ら手動で導入外気量の調整を可能とした。夏季・冬季のピークを含めた前後の時期において、クールヒートトレンチからの吹き出しだけで熱的不快感を無くすことができない場合のみ、高効率ルームエアコンを運転する運用となるよう、運用マニュアルにて推奨している。夏季にトレンチ用ファンを運転した際、ロッカー吹出口周辺の温

度が低くなる様子をサーモカメラにて観察した (図5)。

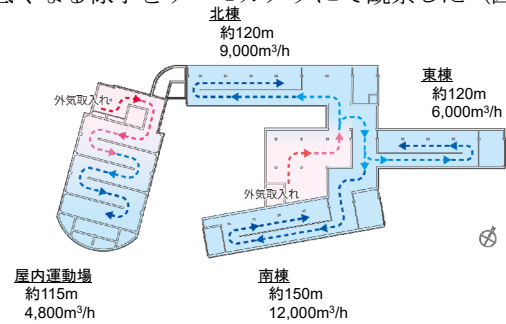


Fig.4 Cool Heat Trench

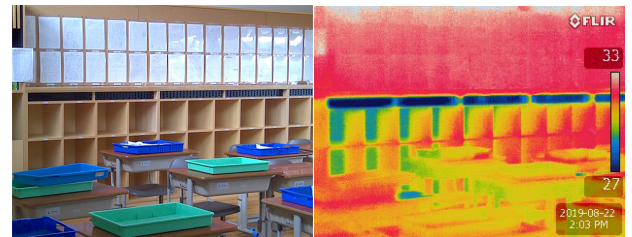


Fig.5 Outlet Incorporated at Locker

屋内運動場では、床下全面のピット部に約 115m のクールヒートトレンチを設けた。外気の取り入れ口は屋内運動場の北東部からとし、夏季は森からの涼風を取り入れやすくした。ピット内で地中との採放熱を行った後、アリーナ部二重床に吹き出し、床温度の調整に寄与した後、壁面近くの吹出口を通してアリーナ内の居住域涼房を行う。

(4) 太陽集熱利用

普通教室では、外壁の腰壁には二重壁による太陽集熱壁を設置した。太陽集熱壁は黒く塗装されることで日射吸収率を高めている。教室後方のロッカー内に設置された太陽集熱用ファンにより、教室内の空気を二重壁内に取り入れ、空間を通して回収した太陽熱をクールヒートトレンチと同様にロッカー上部のスリットから吹き出すことで教室内に戻し、暖房負荷軽減に有効利用する。太陽集熱用の単相ファン (300m³/h/室) にもインバータを設け、生徒による風量調節を可能としている。

屋内運動場の南側屋根を多面体形状とし、時刻が移っても太陽に正対しやすい面を複数設けることで、冬季の昼間に効果的に太陽集熱を行う (図6)。南面集熱壁裏の空間上部において集めた暖気は、アリーナ内の二重床へ吹き出し底冷えを防ぐ温房熱源として用いられる。二重床内にはアルミガラスクロスシートを全面に敷き、低放射面を形成することで、冷えた躯体からの冷放射熱交換の抑制を図った。

太陽集熱壁内における温度の挙動に関して、図7に示す (2019年11月30日(土)計測値)。校舎の太陽集熱壁に関しては、各棟とも 11:15 頃ピークを迎えていたが、南棟のみ約 10° 東側へ向いているため、最高温度は、北・東棟より約 2.5°C低かった。一方、屋内運動場の集熱ルーフ内頂部の温度は、校舎よりも西側を向いているこ

とに加え、多面体の屋根形状により長時間日射を受けやすくしていることと、木毛セメント板により熱容量を持たせているため、14時頃ピークを迎え、温度変動も緩やかとなった。



Fig.6 Solar Collecting Roof / Wall

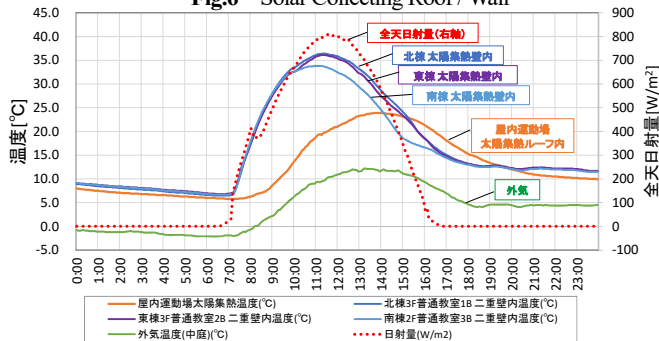


Fig.7 Fluctuation of Air Temperature inside Solar Collecting Wall

(5) 照明の省エネシステム

最上階に設置した普通教室は屋根面を傾斜させ、北高窓より積極的に自然採光を図っている。照明シミュレーションにおいては、人工照明により環境衛生基準の300ルクスを確保し、自然採光と併せて500ルクスを確保した。さらに、昼光センサーや手動減光を室用途に応じて使い分け、照明エネルギーの削減を図った。暗くなりがちな廊下側に対しては、廊下との仕切り壁の床土0.85~1.0mHの高さに採光窓を設け、教室内廊下側の机上面照度を上げる工夫をしている。

中間階に配置される特別教室では南窓面上部にライトシェルフを設置し、光拡散フィルムを貼った欄間から自然光を教室へ導き、均一な照度環境の形成に努めた(図8)。



Fig.8 Light Shelf

(6) 創エネルギー

再生可能エネルギーとしては、夏の南西風、冬の北東風を活かした風力発電1kWを中庭の南西角の箇所にシンボリックに配置した。

太陽光発電は各校舎の屋根面に合計120kWを設置している。3階のデッキから南棟の屋根面に設置した太陽光パネルを観察ことができ、実物を見せることで環境教育の教材としての役割も果たしている。発電した電

力は一部蓄電池(20kW)に蓄電され、電力のピークカットや災害時の電力の備えにも対応している。

1階ラーニング commons の昇降口近くには、岐阜県産木材ペレットを燃料とするペレットストーブを設置した。局所的に採暖が行えるスポットとするとともに、カーボンニュートラルの一助としている。

2.2 SI (Student Intelligence) ; 生徒自ら育む環境教育

(1) 生徒自らが考えて行動する仕組み

本建物にて採用された様々な環境配慮技術はAIによる自動制御ではなく、SI (Student Intelligence)、つまり生徒たちが考え試行錯誤しながらより良い運用を模索し、ノウハウを蓄積していくことを計画している。学校で学んだことを、家庭あるいは地域の場に持ち帰り、省エネ行動を意識したライフスタイルを普及・波及させていくことを期待している。

(2) 環境教育教材としての校舎~見える化から感じる化へ

○風と熱の見える化 地下ピットのクールヒートトレンチに対しては、床下空間での空気の流動を視覚的にわかりやすく伝えるための観察窓を設け、温度および空気の流れを直観的に把握できるようにした。

○熱に触る 2階理科室前の廊下天井を横断する換気ダクトは、4種類(段ボール、グラスウール、ステンレス、スチール)の材質を使い分け、建築設備の仕組みが感じられるものとし、壁面には断熱観察扉を設け、断熱材の有無・種類の違いによる効果を感じて体感できる工夫を施した。理科室内においては、クールヒートトレンチから上階の普通教室へ至るダクトに対し、保護外装および保温材を一時的に取り外し、直接ダクトおよびクールヒートトレンチの効果を体感できるようにした(図9)。

○光の効果の見える化 理科室では、ライトシェルフによる室内側への昼光導入効果が季節や時間によって変動することを確認するため、天井面に目盛りを設け、視覚的に効果が分かる工夫とした。

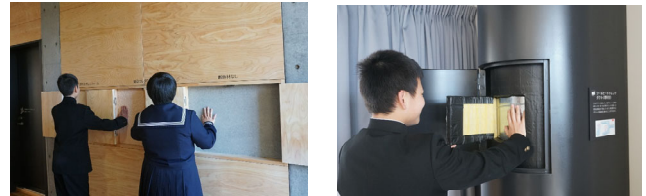


Fig.9 Teaching Materials for Environmental Education

(3) 生徒の行動を誘発する「エコモニター」

各普通教室には、学校全体や教室内の環境データを表示様々なエコツール操作の手掛かりを与える表示装置「エコモニター」を設置した(図10)。建物全体およびクラスごとのエネルギー状況をリアルタイムに把握することができる。操作に対するレスポンスが即時に得られ、省エネルギーのために工夫した運用の効果が見てわかる仕組みとした。



Fig.10 Eco Monitor

2.3 バイオフィリック・デザイン

(1) 自然と文化の叡智を活かしたデザイン

瑞浪市は、登り窯や伝統家屋、里山などの豊かな風土・歴史に恵まれた地域である。これらの歴史の叡智を模倣した環境デザインを導入した。瑞浪市の特産である陶器を製作する登り窯にヒントを得た、登り窯型自然換気システムや、市内で発掘された巻貝の化石をモチーフとしたらせん階段を空気取り入れ部としたクールヒートトレンチ、体育館のクジラ型形状を活用した集熱ルーフや自然換気等、瑞浪市の地形や気候、瑞浪らしさを組み合わせた (図 11)。

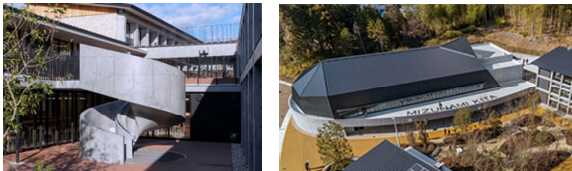


Fig.11 Shapes Standing for Conch and Whale

(2) 地産地消

校舎内各所の木質仕上げは瑞浪市産や岐阜県産の木材を使用し、外壁のタイルも瑞浪近辺の土を使って、瑞浪市内の工場で焼き上げたものであり、地産地消の考え方を取り入れた快適な空間づくりを行った。トイレも空気洗浄効果のある壁タイルを採用するなど、衛生的で洗練されたデザインとした。

3. 普通教室における温熱・空気環境に関する実測調査

開校後の2019年4月8日~7月19日の平日 8:00~16:00の期間における、普通教室 (北棟3階 1B) の空気温度、相対湿度、CO₂ 濃度に関して、中央監視装置による計測データを解析した。また、学校環境衛生基準に対して比較を行い、基準を満たす時間を集計した。

3.1 空気温度 (基準値: 17°C以上 28°C以下) 図 12 に空気温度の累積相対度数を示す。期間中は約 94%が基準値を満たしていた。基準を下回る時間帯は 8:00~9:00の間が多くを占め、朝方に基準を下回る傾向があった。

3.2 相対湿度 (基準値: 30%以上 80%以下) 図 13 に相対湿度の累積相対度数を示す。期間中は約 95%が基準を満たしていた。4~5月の間は30%を下回る時間も見られたが以降は40%以上を満たし、6月27日以降は60%以上の日が続いた。

3.3 CO₂ 濃度 (基準値: 1,500ppm 以下) 図 14 に CO₂

濃度の累積相対度数を示す。期間中は約 94%が基準を満たしていた。使い始めの4月前半に基準値を超える時間帯が多かったが、以降は下がっていった。また、基準を満たさなかった時間帯にはばらつきがあり、時間との相関は見られなかった。

以上のことより、教室内の温熱・空気環境は、画工環境衛生基準を概ね満たしていることが分かった。また、空調や照明、カーテンの操作などで基準不適合の時間は大幅に減らせると考えられる。

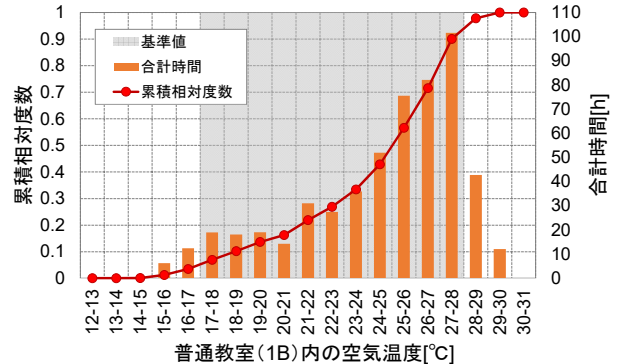


Fig.12 Cumulative Relative Frequency of Air Temperature

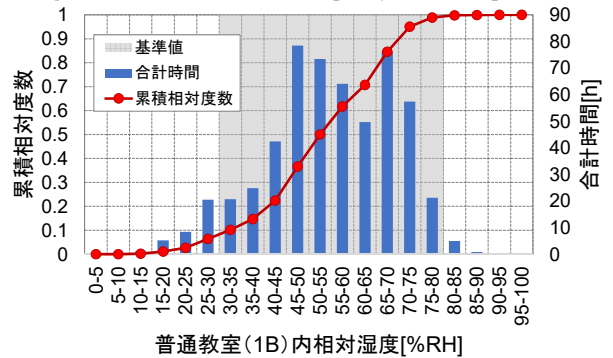


Fig.13 Cumulative Relative Frequency of Relative Humidity

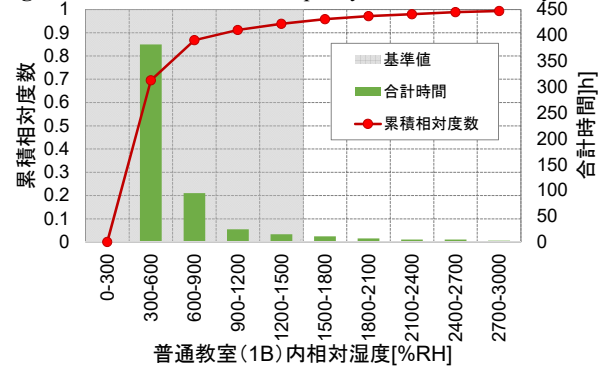


Fig.14 Cumulative Relative Frequency of CO₂ Concentration

4. おわりに

本報告では、2019年12月に竣工した ZEB 達成を目指した公立中学校の概要について説明した。ZEB 達成に関する建物エネルギー消費量の実態に関して、今後も継続して計測・検証を進めていく予定である。

【謝辞】 瑞浪市関係者の皆様、工事関係者の皆様には多大なご尽力を頂きました。厚く御礼申し上げます。