

中標津中学校の温熱環境の実態と運用改善による省エネルギー効果

正会員 ○森 太郎 同 丹保洋人 準会員 田中優里香  
 正会員 絵内正道 同 羽山広文

高断熱建物 エコスクール 運用エネルギー

1. はじめに

最近、次世代省エネルギー基準やCASBEE等の評価方法が確立し、同時に材料や空調の技術開発も進んだため、省エネルギー建築を計画、建設するノウハウは十分に蓄積されてきたといってもよいだろう。

一方で採用された省エネルギー手法が十分に効果を発揮していないことも多い。一番の問題は省エネルギー建築が従来の建物の運用と大きく異なっている場合である。例えば、筆者らは、蓄熱式暖房機が設置された集合住宅を実測した際に、使い方がよくわからず、部屋の温度を上げすぎてしまい、脱水症状をおこして入院してしまうお年寄りに出会ったことがある。省エネルギーは今後も進めていかなければならないのだが、建物がだれに、どのように使用されるのかという視点が必要になると考えられる。

本報告で紹介する中標津中学校は竣工から3年半を経過した建物で、当初省エネルギー手法が十分な成果を発揮していなかったが、試行錯誤の結果、現在は初年度の6割程度のエネルギー消費量となっている。この建物の現状の温熱環境やエネルギー消費量の推移を報告し、北海道でも最も寒冷な道東地区の学校建築のエネルギー的な問題点を明らかにすることを目的としている。

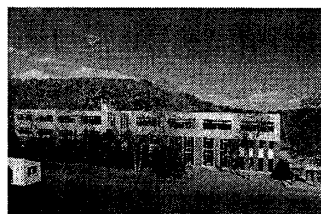


写真1 中標津中学校全景

2. 建物の概要

中標津町立中標津中学校は2003年12月末に運用が開始された北海道道東地方の中標津町に建つ新築の中学校である。中標津の気象状況(日平均気温)を図1に示す。中標津は道東の内陸に位置するため非常に寒冷で、一月半ばから二月にかけては日平均気温でも-10℃を下回る日が連続する。今年の冬は過去数年のうちでは最も暖かったようである。

中学校の建て替えはエコスクールのパイロット事業として認定され、環境負荷の低減技術が採用されている。

これらの低減技術の設計過程では設計事務所と研究機関が協力し、さまざまな提案を行っている。最終的には①既存樹木をできるだけ残した配置計画、②表面積の小さいシンプルな建築形体、③熱負荷の低減を目指す外断熱、④木アルミ複合高断熱サツ

シの採用、⑤躯体を利用した自然換気ルートを設置、⑥安定的な温度環境をつくる輻射暖房の採用、⑦自然採光を有効活用するライトシェルフの採用、⑧旧校舎

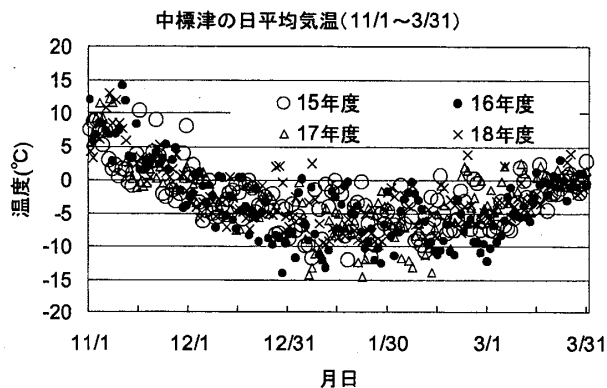


図1 中標津の気象条件

表1 建物データ

所在地	北海道標津郡中標津町丸山2-1
敷地面積	54,000.00㎡
建築面積	3,467.17㎡
延べ面積	6,954.46㎡
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地上3
最高部高さ	27.56m
工期	
〈校舎〉	2002年7月~2003年10月
〈屋内運動場〉	2004年6月~2005年3月

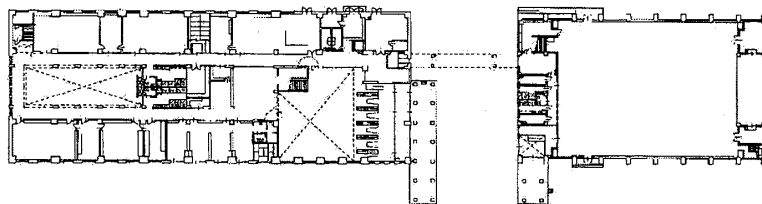


図2 中標津1F平面図

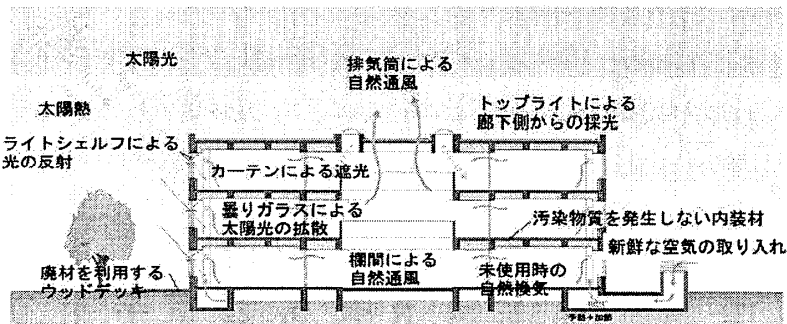


図3 環境負荷低減技術

の建築材料再利用の8項目が採用されている。本報告は建物の温熱環境に係る内容であるので②～⑥の手法について検討を加えていることになる。

### 3. 測定概要

今回測定した項目は①各室温湿度状況、②床暖房の立ち上がり状況、③暖房用エネルギーの供給状況である。①に関しては温湿度センサー (knラボラトリー社、ハイグロクロン) を主要室に設置してデータの収録を行った。

②に関しては2/17 (土曜日) に赤外線熱画像装置 (NEC三栄社、TH5102) を用いて床暖房の暖房立ち上がり状況の放射温度分布を撮影した。撮影方法は吹き抜けに面した3Fの廊下から1Fの床面を見下ろせるようにカメラを設置し、撮影間隔は約10分である。

③に関しては、機械室において温水温度の行き、還り温度を測定し、ボイラーからの一次配管について超音波流量計 (富士電機、PORTAFLOW-X) で流量を常時測定した。また、灯油の使用量については日誌に採録されている日毎使用量を利用した。

### 4. 実測結果

#### 4-1. 時刻毎温度変動

図4に2007/2/17 (土) -24 (金) (今年度の最寒期) の外気温の変動と各階代表室の温度変動を示す。外気温は、暖冬の影響もあり日中はプラスになっている日もあるが、平均気温は-5℃を下回っており、2/21の朝方は-14℃になっている。

主要室の温度変動は、教室 (南側) が15℃～25℃、多目的スペース (西側の吹き抜けに面した各階の廊下) が12℃～22℃となっており、日較差は約10℃と断熱性能のよい建物にしては比較的大きい値となっている。但し、学校建物の特性上、日中の発熱密度 (人体発熱) が大きく、また窓面積が多く日射取得熱も多いことから日中の温度上昇が大きくなっている。大きな日較差

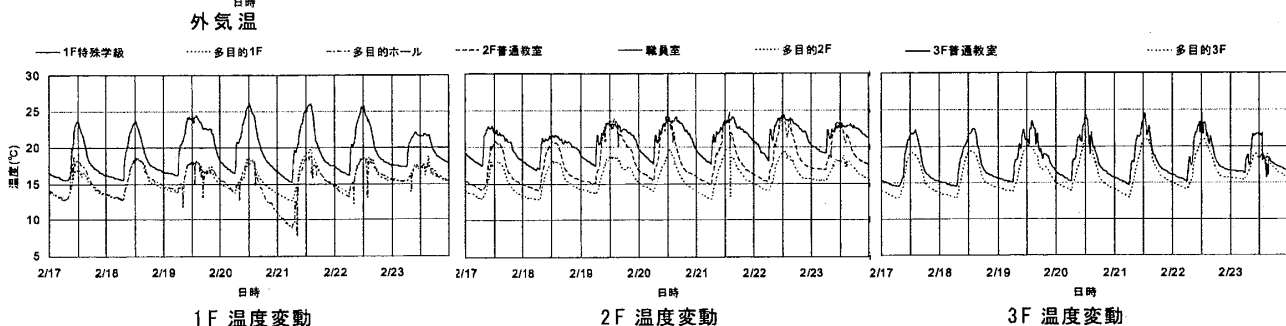
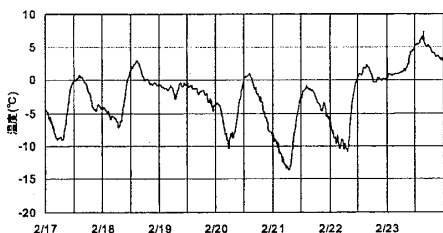


図4 時刻毎各室温度変動

はこの温度上昇に起因している。日較差は、暖房の立ち上がり負荷に影響を与えるが、教室の設定温度は20℃であるため、最大で5℃ (3Fの週初め)、週末は2～3℃程度と必要な温度上昇幅はそれほど大きくない。この期間、教室系統へは6時から60℃の温水が供給される設定となっており、一時間弱から最長二時間で暖房は立ち上がっている。

また、多目的ホール (東側吹き抜け)、多目的スペースの設定温度は15℃であり、同様に暖房立ち上げに必要な温度上昇幅は数℃と大きくない。

学校建築の場合、昼間は大量の換気が必要となるため、壁や窓の断熱性能はエネルギー的な旨みはあまりない。しかし、トータルな断熱性能を高めると夜間の温度降下を最小限にとどめることができる。教室は、発熱密度が高く、昼間は熱がたまってしまうことを考えると、学校建築の負荷は暖房の立ち上がり時に発生していると推測できるので、立ち上がりに必要な温度上昇幅を小さくできた今回の試みは成功したのではない。

#### 4-2. 床暖房の立ち上がり状況

図5に床暖房の立ち上がり状況を示す。まず、床暖房に供給された温水温度に着目すると、暖房開始と同時に水温が低下し、行き、還りに温度差が生じているのがわかる。この状況は床暖房配管内に温水が流れ込み、夜間に冷やされていた水が動き出すためと考えられる。

また、空気温度と表面温度が徐々に上昇している様子がわかる。床表面温度は空気温度よりも低くなっているため、この場所の熱の流れは空気→床面となっていることが推測される。これは床暖房が暖房としては機能していないことを表しており、この場所の温度が上昇しているのは、周囲の居室からの熱の流入や透過日射による影響と考えられる。但し、もしも温水を送っていないければ、より多くの熱が床面に吸熱され、多目的スペースが立ち上がるまでに長い時間がかかっていたと考えられる。

#### 4-3. 暖房出力

図5は1次温水の行き還り温度差と超音波流量計で計測した流量から計算した暖房出力 (2/25 (日) ～2/27 (火)) である。データの計測間隔は1分であるが、その10分間平均値をグラフ化している。

教室、管理、特別教室系統への温水の供給が2/25 (日) は6時過ぎ、2/26、7 (平日) は5時に開始され

るため、その時間に暖房出力が急激に上昇している様子がわかる。その後、平日の場合約110[kW]で12時～14時の間運転され、14～16時は再び教室系統への温水供給が開始されるため出力が急激に上昇している。

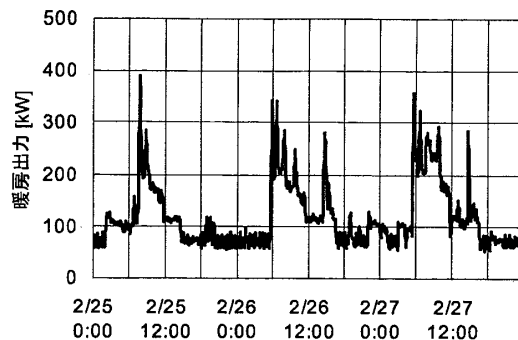
夜間に生じている約70[kW]の出力は外気処理分である。図3に示してあるように、この建物は換気システムにファンアシストの自然換気システムを採用している(地下ピットに外気を導入し、ヒータで暖められた空気を縦ダクト経由で各室に供給し、吹き抜け頂部から排気する。昼間は便所の排気扇を併用)。設計の際には換気量を一日トータルで確保するというコンセプトであったため、夜間も換気システムを動作させる前提で制御システムが組まれているが、アシストファンで適量の換気が確保されていることを考えると、夜間に自然換気ダンパーを閉じ、換気を行わないことで更なる省エネルギーが図れる可能性がある。

現在、全負荷に占める外気処理の割合を推定すると46%である。最大負荷計算時の外気負荷の割合は50%であるが、建物の使用時間を考えると実際の外気負荷は半分の25%程度が適当と考えられる。

#### 4-4. 年度毎の熱損失係数、自然温度差の推移

図6に年度毎の熱損失係数、自然温度差の推移を示す。このグラフは日誌に記載されている灯油の日毎の消費量の1週間平均値をx軸に、内外温度差をy軸(室温と外気温の1週間平均値の差、但し、室温は2006-2007の平均値(17°C)をすべてのデータに用いている)にとってデータをプロットしたものである。近似直線の傾きを延べ床面積で除すとQ値を得ることができ、x軸との交点は自然温度差を表している。

各年度のQ値は0.80～1.33[W/m<sup>2</sup>K]である。これらの値は最大負荷計算時のQ値(2.4[W/m<sup>2</sup>K])の1/2～1/3である。これは、最大負荷計算時には換気量を過大に見積もっていること、本計算においても内外温度差を正確に求められなかったことに起因していると考えられる。しかし、同じ条件で計算した値が1.33から0.80



暖房出力 (2/25 (日) ~ 2/27 (火))

図6 暖房エネルギーの時刻変動

と約6割に減っているのは建物の維持管理者の試行錯誤の成果と考えられる。一番上と下を比較すると温度差20°Cの時の暖房出力が約半分になっているのがわかる。この原因の一つとして考えられるのがオーバーヒートである。以下にオーバーヒートに関する検討を示す。

#### 5. オーバーヒートによる熱損失量

図7は中標津中学校とは別の学校建築(釧路市)の12月中旬の三日間の温度、絶対湿度の変動である。この学校は蒸気暖房が行われており、生徒が登校してくる直前の7時過ぎと、陽が落ちて寒くなる直前の14時過ぎに蒸気がたかかっている。温度のグラフからはその様子を読み取ることができる。蒸気が焚かれた後、部屋の温度は25°C以上になっている。そこに人体からの発熱が加わり、10時過ぎには30°Cを超えオーバーヒートの状態が生じている。

絶対湿度のグラフが9時頃から急激な上昇をしているのは、生徒が登校し人体からの発湿が大量に発生しているためである。なお、この期間は中間テストが行われている。テスト終了後、生徒はすぐに帰宅してしまうので、11～12時をピークに絶対湿度が下降しているのがわかる。

この三日間の中日(青線)の絶対湿度のグラフは10時から10時半の間、いったん降下し、その後再び上昇している。これはあまりに暑かったため、窓が開けられ、乾燥した外気が教室内に進入してきたためである。

この時の侵入外気量を計算してみる。

まず、湿度の上昇の傾きより、発湿の速度  $6.5 \times 10^{-4}$  [kg/s] が求

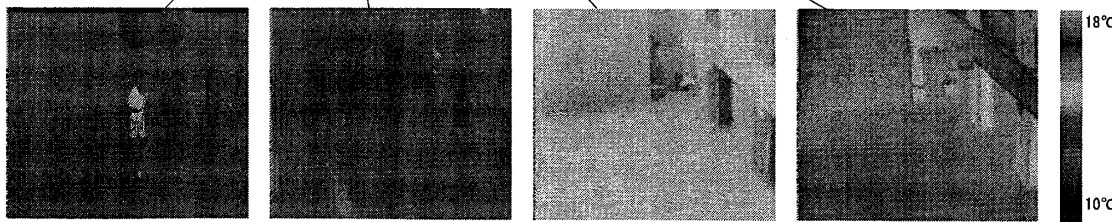
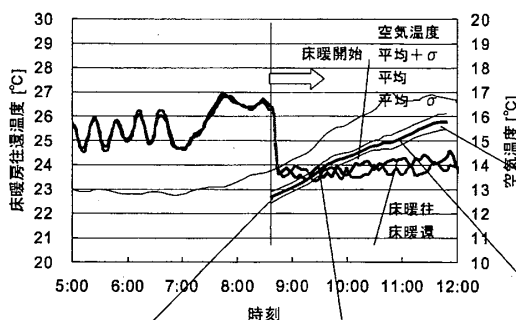


図5 時刻毎各室温度変動

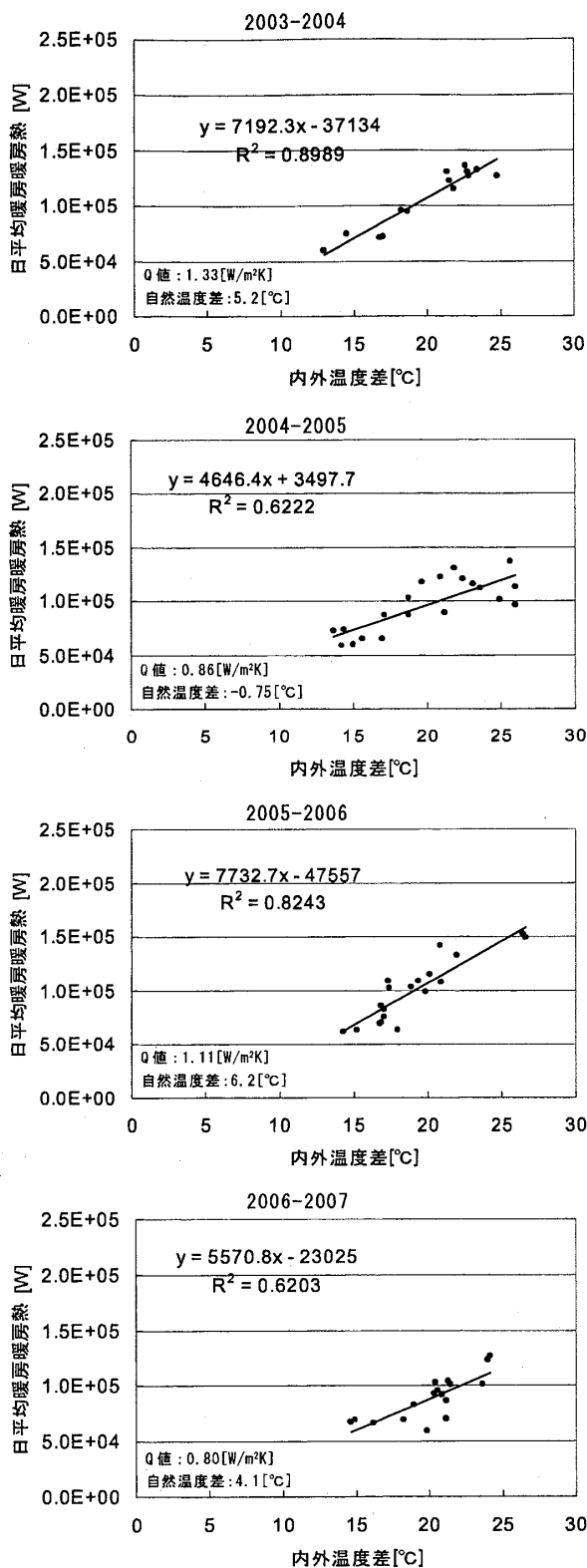


図7 内外温度差と灯油消費量の相関

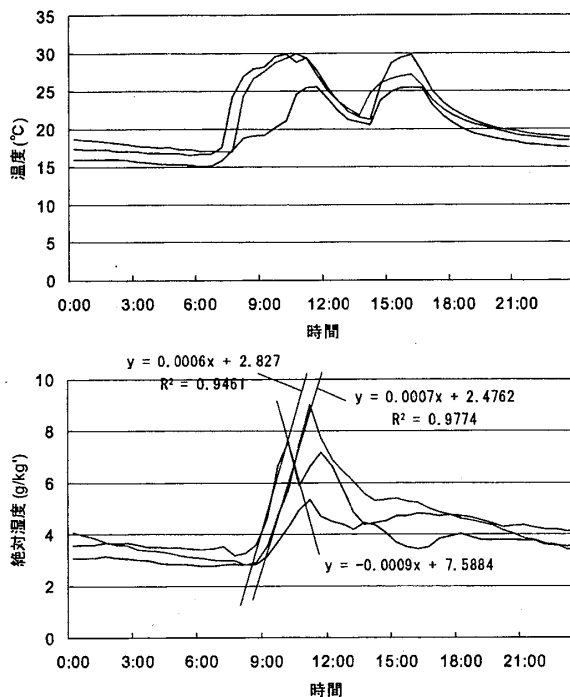


図8 オーバーヒートの状況

まる. また減湿の速さも同様にして  $-9.0 \times 10^{-4}$  [kg/s] と求まる. この二つの値から風量を求めると  $0.25$  [m³/s] である. この風量を元に外気侵入時の損失熱を求めると  $7846$  [W] となる.

このようなオーバーヒートが起きる要因として北海道道東地区の学校建築で利用されてきた暖房システムの歴史的な経緯が挙げられる. この地域で利用されてきた暖房システムは木造校舎の時代には石炭ストーブ, その後, RC造への建て替えにともない蒸気暖房に切り替えられている. この時期の蒸気暖房は建物の断熱が乏しかったため大型のボイラーが据え付けられており, 一日に数回の間欠暖房が行われていた.

現在は, 徐々にではあるが学校建築の断熱性能が上がる, 一方, 暖房システムの使用方法は以前の慣習が残っているため, 図7のようなオーバーヒートによってエネルギーのロスが生じている例が多く見受けられる.

## 6. まとめ

中標津中学校の竣工後3年半のエネルギーの使用実態と現在の温熱環境を示し, 運用がうまく行われている現在は, 初年度の6割程度のエネルギーで運用されていることを示した. また, この地域の暖房システムの問題点である, オーバーヒートの実態について紹介した.

\*1 国立釧路工業高等専門学校 准教授・博士(工学)  
 \*2 北海道日建設計  
 \*3 国立釧路工業高等専門学校 専攻科  
 \*4 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)  
 \*5 国立釧路工業高等専門学校 教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology  
 Hokkaido Nikkennsekkei Co. Ltd  
 Kushiro National College of Technology  
 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.  
 Assoc. Prof., Kushiro National College of Technology, Dr. Eng.