



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	北方型エコスクールを対象とした暖房エネルギー消費量の実態と暖房負荷低減に関する研究
Author(s)	菊田, 弘輝; 今井, 綾子; 羽山, 広文 他
Citation	日本建築学会環境系論文集, 75(657), 1001-1008 https://doi.org/10.3130/aije.75.1001
Issue Date	2010-11
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/50455
Rights	日本建築学会
Type	journal article
File Information	AIJ.657.1001-1008.pdf



北方型エコスクールを対象とした暖房エネルギー消費量の実態と 暖房負荷低減に関する研究

ACTUAL CONDITIONS OF HEATING ENERGY CONSUMPTION AND HEATING LOAD REDUCTION AT ECO-SCHOOLS IN COLD REGIONS

菊田 弘輝*, 今井 綾子**, 羽山 広文***, 丹保 洋人****

*Koki KIKUTA, Ayako IMAI, Hirofumi HAYAMA
and Hirohito TANBO*

As the efforts to environmental consideration in the schools of our country, the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology etc. have worked together to carry out an Eco-School Pilot Model Program since 1997. Now, more than 10 years have passed since the start of this project, all 951 schools (August 2009) have been certified. The aims of this study are to grasp the actual conditions of heating energy consumption by carrying out field measurement and questionnaire survey, and to quantify the effects of thermal insulation performance upgrade and operational improvement on heating load reduction by performing numerical analysis at Eco-Schools in cold regions.

Keywords: Eco-School, Heating energy consumption, Heating load, Thermal insulation performance upgrade, Operational improvement

エコスクール, 暖房エネルギー消費量, 暖房負荷, 断熱性能向上, 運用改善

1. はじめに

我が国では「低炭素社会づくり行動計画」（平成20年7月閣議決定）が策定され、2050年までに世界全体の温室効果ガス排出量を現状比で半減を提案し、先進国として現状比で60～80[%]削減を掲げている。「低炭素社会」実現の一旦を担う建築関連分野の中で、我が国の学校施設における環境配慮への取り組みとして、平成9年度より文部科学省、農林水産省、経済産業省、環境省が連携協力し、エコスクール・パイロットモデル事業を実施している。エコスクールとは、環境を考慮して整備された学校施設のことであり、先導的取り組みを行う公立学校を対象に国庫補助等を行っている。エコスクール整備に際しては、施設面・運営面・教育面に留意することが必要であり、現在のところ事業開始から10年余りが経過し、計951校（平成21年8月）が認定されている。

近年の学校施設に関する既往研究^{2)～6)}は数多いが、エコスクールを対象とした既往研究は未だ少なく、渡邊らの学習効果の分析^{7),8)}、須永らのアンケート調査による実態調査⁹⁾が先行研究として挙げられる。本研究ではこれまでに明らかにされていない地域性に配慮したエコスクールに関する研究として、特に寒冷地における北方型エコスクール^{10)～12)}を対象とし、エネルギー消費量の大半を占める暖房について考察する。

本研究の目的は、北方型エコスクールを対象とした実測調査及びアンケート調査より暖房エネルギー消費量の実態を把握すること、更に数値解析より暖房負荷低減に向けて断熱性能向上・運用改善による効果を定量化することである。

2. 実測調査

2.1 調査概要

暖房エネルギー消費量の実態を把握するため、竣工から数年経過したエコスクール並びに比較対象として同地域の一般校を対象に実測調査を実施した。尚、調査期間は平成20年度である。

事業タイプを図1、エコスクール概念図を図2に示す。北海道では木材利用型が圧倒的に多く、次いで省エネルギー・省資源型が多かった。その中から事業タイプ4項目で認定されている「N中学校」、比較対象として「K中学校」を調査する。N中学校に採用されている主要な環境負荷低減技術は、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ッシの採用、⑤躯体を利用した自然換気ルートの設置、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旧校舎の建築材料再利用である。

* 北海道大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)

** (株)山武

*** 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)

**** (株)北海道日建設計

Assis. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Yamatake Corporation

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.

Hokkaido Nikken Sekkei Corporation

校舎外観を写真1、建物・設備概要を表1、3階平面図を図3に示す。延床面積は中廊下型のN中学校では6955[m²]、片廊下型のK中学校では4867[m²]、両校の普通教室の規模は同程度である。断熱仕様はN中学校では外断熱100[mm]+Low-Eペアガラスの高断熱仕様、K中学校では内断熱40[mm]+複層ガラスの一般仕様である。測定項目はN中学校では教室①～③と廊下等の温度及び電力+灯油消費量、K中学校では教室と廊下の温度及び電力消費量である。

2.2 教室と廊下の温熱環境

暖房エネルギー消費量の実態を把握する上で、暖房環境に置かれた教室と廊下の温熱環境について事前に検証した。

温度特性を図4、外気温と温度差の関係を図5、温度の累積頻度分布を図6に示す。温度特性は厳寒期・非暖房時間も含まれているため、高断熱仕様のN中学校でも教室と廊下の温度は17[℃]前後で若干低かったものの、外断熱の採用に伴う高断熱と熱容量の効果により室温は常時安定していた。一方、一般仕様のK中学校では教室の温度は約5[℃]の標準偏差でばらつきが大きく、教室と同様に電気暖房が設置されている廊下は非暖房室として扱われ、その温度は約12[℃]を記録していた。K中学校では外気温の低下に伴い教室と廊下間の温度差が大きく、対照的にN中学校では廊下も含めた全室暖房が行われていたため、外気温の変動に対して0～2[℃]で常時安定していた。温度の累積頻度分布は教室（N中学校）では16～22[℃]で良好であったが、教室（K中学校）では14[℃]以下で約45[%]に達していた。更に16～22[℃]付近の勾配は緩やかであり、夜間や休日の温度低下に対して朝方の予熱運転で補っていたと推測される。以上のことから、

同地域のエコスクールと一般校の時間的・空間的温度むらが検証された。

2.3 暖房エネルギー消費量

平成20年度月間エネルギー消費量を図7、各年度年間暖房エネルギー消費量を図8に示す。暖房使用の無い授業期間である9月の電力消費量をベース電力とし、それを越えた分を暖房エネルギー消費量と仮定した。尚、N中学校では学校開放やPC設置の割合が高く照明や機器の使用率が上がり、K中学校に比べてベース電力は多かった。このように授業時以外にも休業期間中または学校開放時の各使用が異なる中で、月間暖房エネルギー消費量はN中学校では1月に最大約41[MJ/m²・month]、K中学校では3月に最大約47[MJ/m²・month]になった。また、一部で発生していたオーバーヒートを解消するため、N中学校では平成18年度に多目的室・玄関ホール（19.5[℃]⇒15[℃]）及び自然換気の換気経路である床下ピット内（15[℃]⇒10[℃]）の暖房設定温度が変更され、在室者自身による積極的な運用改善が図られ

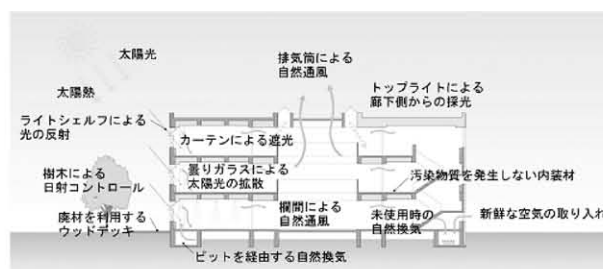


図2 エコスクール概念図 (N中学校)

表1 建物・設備概要 (N中学校)

建物名	N中学校	屋根	屋根:アスファルト断熱防水、FP板100[mm]
所在地	北海道標津郡中標津町	外壁	1階:レンガ積、FP板100[mm]
敷地面積	54000.00[m ²]	開口部	2・3階:ガルバリウム鋼板、RW板100[mm]
建築面積	3467.17[m ²]		サッシ:木アルミ複合断熱サッシ
延床面積	6954.67[m ²]		ガラス:Low-Eペアガラス
3階	1609.86[m ²]	熱源設備	真空式温水ヒーター465[kW] (灯油焚54.7[L/h])
2階	1710.69[m ²]	換気設備	普通教室:自然換気 (床下給気)
1階	3634.12[m ²] (校舎:2088.00[m ²])		特別教室:天井換気扇 (第3種)
構造	RC造 (屋内運動場:一部S造)		教室:温水パネルヒーターによる放射暖房
階数	地上3階	暖房設備	多目的室:床暖房による放射暖房
最高部高さ	GL+12.00[m]		屋内運動場:FF式温風暖房機

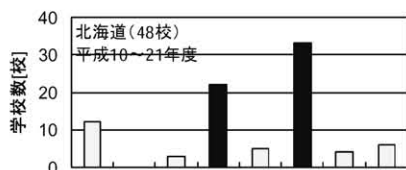


図1 事業タイプ



写真1 校舎外観

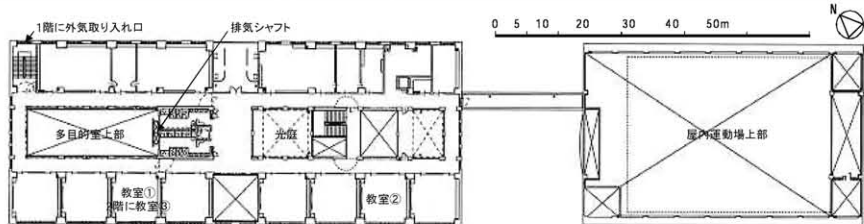


図3 3階平面図 (N中学校)

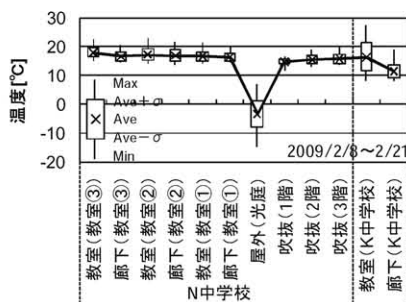


図4 温度特性

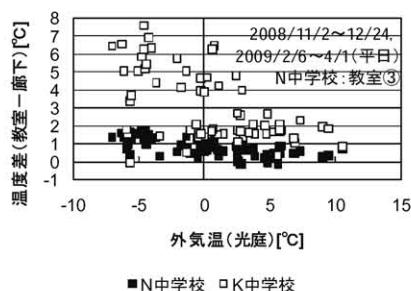


図5 外気温と温度差の関係

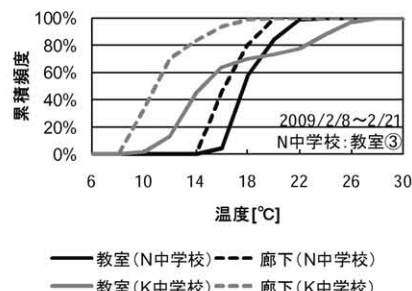


図6 温度の累積頻度分布

てきた。その結果、平成18年度の年間暖房エネルギー消費量は前年比の約19[%]低減されていた。更に高い断熱性能を有するN中学校ではK中学校に比べて暖房期間が短かく、平成20年度の年間暖房エネルギー消費量はN中学校では約186[MJ/m²・year]、K中学校では約221[MJ/m²・year]になり、約16[%]の差異が生じていた。以上のことから、北方型エコスクールを対象とした断熱性能向上と運用改善の重要性並びに全室暖房の可能性が示唆された。

3. アンケート調査

3.1 調査概要

実測調査と同様に暖房エネルギー消費量の実態を把握するため、北方型エコスクールに相当する北海道内公立小中のエコスクールの内、平成19年度までに竣工された31校に対してアンケート調査を実施した。

調査概要を表2、調査項目を表3に示す。①建物・設備性能については各市町村の教育委員会、③冬期における学校施設の使われ方については各小中学校にアンケート協力を要請し、併せて②平成20年度月間電力・ガス・燃料消費量及び④設計図面の提供を依頼した。2009/7/23～8/5にアンケート用紙等を送付し、2009/8/21～9/4に回収した。①～③の回収率は75[%]程度になり、比較対象として札幌市内公立小中の一般校6校からも同様に回収した。

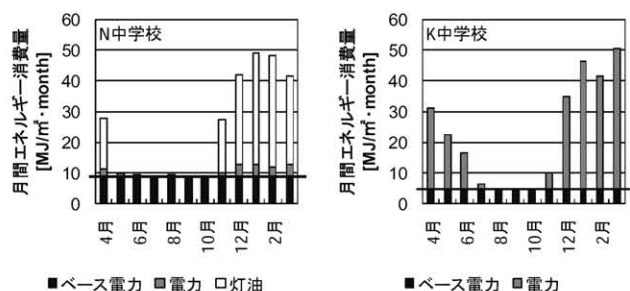


図7 平成20年度月間エネルギー消費量

表2 調査概要

調査資料	調査対象	対象校	回答校数
①建物・設備性能アンケート	対象校を管轄する北海道内各市町村教育委員会	北海道内公立小中エコスクール31校 札幌市内公立小中一般校6校 (築7年程度4校、築20年程度2校)	エコスクール24校 (77[%]) 一般校6校
②平成20年度月間電力・ガス・燃料使用量			
③冬期における学校施設の使われ方アンケート	北海道内公立小中エコスクール31校 札幌市内公立小中一般校6校	エコスクール23校 (74[%]) 一般校5校	
④設計図面(平面図・立面図・詳細断面図)	札幌市教育委員会	札幌市内公立小中エコスクール5校 及び一般校6校	全校

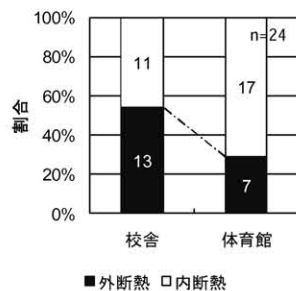


図9 断熱工法

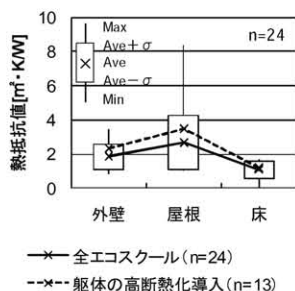


図10 校舎各部の熱抵抗値

3.2 建物性能

断熱工法を図9、校舎各部の熱抵抗値を図10に示す。学校施設の外断熱化は校舎では約50[%]で比較的多く、体育館では既存施設の継続利用に伴い約30[%]に留まっていた。外断熱の断熱仕様は各種多様であり、断熱厚さは外壁・屋根では75[mm]・100[mm]で比較的高く、校舎が外断熱である13校の内、省エネルギー・省資源型(躯体の高断熱化)の認定校は10校であった。校舎各部の熱抵抗値は外壁では平均1.8[m²・K/W]、屋根では平均2.7[m²・K/W]、床では平均1.1[m²・K/W]と算出された。中でも、屋根の熱抵抗値は約1.6[m²・K/W]の標準偏差でばらつきが大きかった。また、内断熱を含む省エネルギー・省資源型(躯体の高断熱化)の認定校は13校であり、校舎各部の熱抵抗値は全エコスクールの約1.2倍に相当する高断熱仕様であった。

窓の構成・仕様を図11に示す。省エネルギー・省資源型(窓の高断熱化)の認定校は9校であり、窓の構成として認定校では1重サッシ+2枚ガラス、非認定校では2重サッシ+2枚もしくは1枚ガラスが多かった。窓サッシの仕様として樹脂サッシは14校で最も多く、窓ガラスの仕様として認定校では低放射ガラス、非認定校では強化ガラスが多かった。しかし、一部認定校の中で断熱性能の低い透明フロートガラスが使用され、高断熱化への取り組みに対して不十分な事例も確認された。

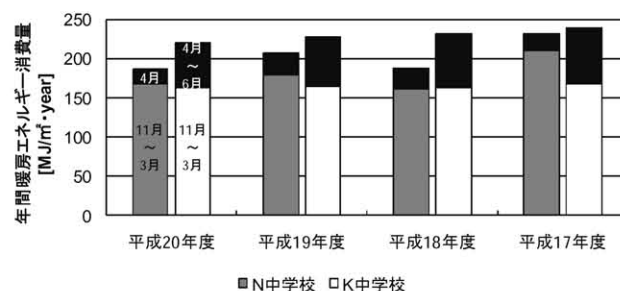


図8 各年度年間暖房エネルギー消費量

表3 調査項目

①建物・設備性能について	
(1)学校の概要	建物竣工年、延床面積等
(2)建物の仕様について	断熱工法、断熱仕様等
(3)暖房設備について	暖房の種類、廊下暖房の有無等
(4)教室の機械換気設備について	機械換気設備の有無、全熱交換型設備の有無等
(5)エコスクールの認定について	認定時の建物状況、環境負荷低減技術について
③冬期における学校施設の使われ方について	
(1)学校の概要	教室数、学級数等
(2)給食・冷房について	給食調理の有無、冷房の有無
(3)冬の学校一般開放について	体育館等の一般開放日時、暖房運転の有無
(4)暖房について	暖房期間、暖房時間、暖房設定温度等
(5)冬の普通教室の換気について	換気方法、換気時間、換気をする理由
(6)雪処理について	融雪機の使用の有無等

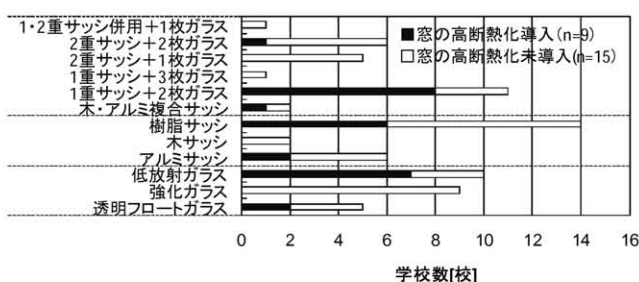


図11 窓の構成・仕様

3.3 設備性能

暖房の種類を図12、廊下暖房の有無等を図13、機械換気設備の有無等を図14に示す。普通教室及び特別教室ではFF式ガスファンヒーターと温水パネルヒーター、体育館では温風暖房が最も採用され、構造躯体の熱容量を活かした暖房の種類は少なかった。廊下暖房は約8割の学校で設置され、教室と一体型のワークスペースは廊下暖房と共に25[%]の学校で計画されていた。機械換気設備は特別教室を中心に大半の学校で設置され、全熱交換型設備による熱回収は半数程度を占めていた。ただし、機械換気設備の無い学校（約2割）では空気環境の悪化や全熱交換型設備による熱回収の無い学校（約5割）では熱損失の増大が懸念される。

3.4 冬期における学校施設の使われ方

暖房期間・時間・設定温度を図15～図17に示す。暖房開始は10月前半と11月上旬、暖房終了は4月下旬に集中し、暖房期間は概ね半年間に亘っていた。授業時・その他・24[h]を除く間欠暖房を行っていた学校の暖房時間は普通教室では平均10.6[h]、特別教室では平均8.1[h]であり、24時間連続暖房を行っていた学校も確認された。暖房設定温度は普通教室及び特別教室では平均20[°C]程度でばらつきは小さかったが、その他の体育館及び廊下では平均18[°C]前後でばらつきも大きく、特に廊下暖房に対して各学校の使われ方が異なっていた。

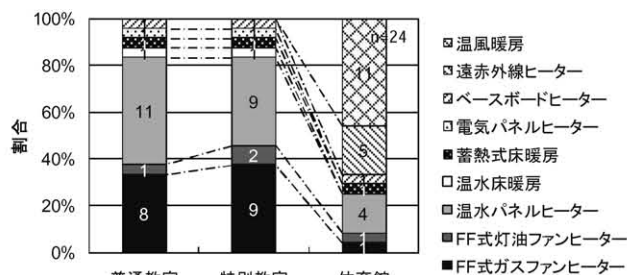


図12 暖房の種類

換気方法・理由を図18に示す。機械換気を行っていた学校が計70[%]、窓開け換気を行っていた学校も78[%]であり、冬期においても機械かつ窓開け換気の併用が為されていた。更に換気をする理由として、教室の空気が良くないと感じた時（空気環境上の理由）が最も多く、続いて教室が暖まり過ぎたと感じた時（温熱環境上の理由）が半数以上であり、日射取得熱・人体発熱あるいは過剰暖房による室温上昇が影響していたと推測される。

3.5 暖房エネルギー消費量

各教育委員会から提供された月別電力・ガス・燃料使用量より暖房エネルギー消費量を算出した。ただし、暖房と暖房以外で区別されていない場合のみ、9月をベースに10～4月でそれを超えた分を暖房エネルギー消費量と仮定した。熱量換算は二次エネルギー換算（電力：3.6[MJ/kWh]、都市ガス13A：46[MJ/m³]、LPG：50.8[MJ/kg]、灯油：36.7[MJ/L]、A重油：39.1[MJ/L]）とした。

月間暖房エネルギー消費特性・消費量を図19、図20に示す。全エコスクールの場合、暖房エネルギー消費量（校舎＋体育館）は20[MJ/m²・month]前後の標準偏差でばらつきが大きく、外気温の最も低い2月に平均約53[MJ/m²・month]、暖房期間の11～4月に各月で平均20[MJ/m²・month]以上であった。また、札幌市ではエコスクール（5校）と一般校（6校）の差は比較的小さく、エコスクールが一般校を上回る月もあった。



図13 廊下暖房の有無等



図14 機械換気設備の有無等

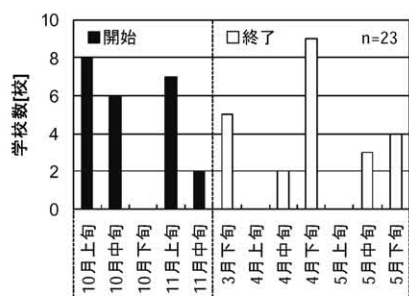


図15 暖房期間

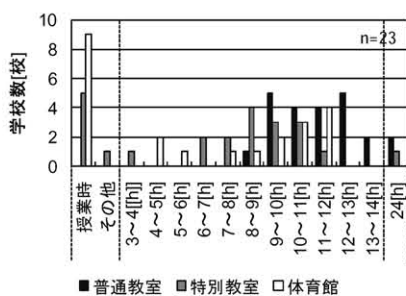


図16 暖房時間

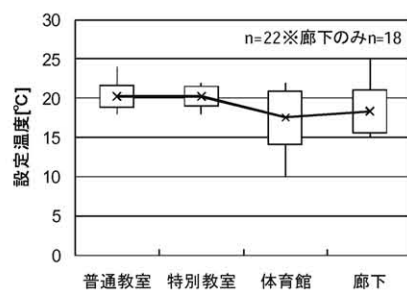


図17 暖房設定温度

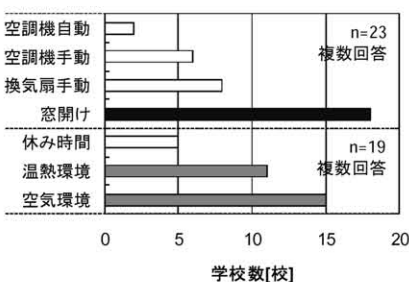


図18 換気方法・理由

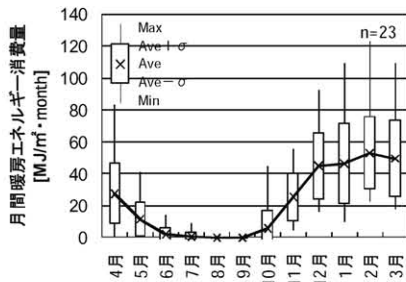


図19 月間暖房エネルギー消費特性

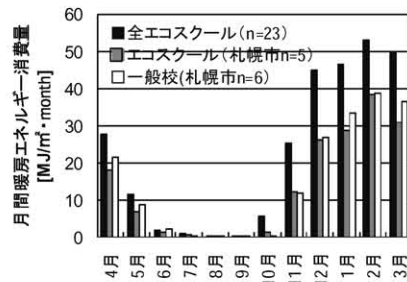


図20 月間暖房エネルギー消費量

外気温・熱損失係数・暖房面積と暖房エネルギー消費量の関係を図21～図23に示す。設計図面を基に算出された熱損失係数は換気を除いた値であり、暖房面積は補正普通教室面積^{注1)}と特別教室面積の総和である。その結果、暖房エネルギー消費量(校舎のみ)は外気温に対して負の相関($R^2=0.45$)を示した。従って、地域性に配慮した建物性能が重要であることは間違いないが、札幌市内公立小中10校^{注2)}では建物性能に係る熱損失係数に対して正の相関($R^2=0.55$, 2校除く)を示しながらも近似直線から大幅に外れた学校が存在していた。当然、その実態を詳細に把握することは容易ではないが、冬期における学校施設の使われ方に係る暖房面積に対して正の相関($R^2=0.51$)を示した。その中で、暖房面積が40[%]以上で比較的大いが、11～4月暖房エネルギー消費量は100[MJ/m²]以下で少ないエコスクール(中学校)が確認され、より詳細な運営面のヒアリング調査の実施が求められる。

4. 数値解析

4.1 解析概要

実測調査及びアンケート調査より把握された暖房エネルギー消費量の実態から北方型エコスクールを対象とした暖房負荷低減には断

熱性能向上と運用改善が重要であることが確認された。両効果を定量化するため、逐次積分法による室温及び熱負荷変動解析プログラム^{注3)}で数値解析を実施した。

計算モデルを図24、暖房・換気の設定を表4、内部発熱の設定を表5に示す。計算モデルは札幌市から提供された設計図面を参考に片廊下型(Ws無・Ws有)・中廊下型・光庭型の計4パターンを設定した。Wsとは、ワークスペースの略称である。対象地域は札幌市とし、対象室は校舎の中間階・中央付近に位置し、普通教室・特別教室・準備室・廊下の計5～6室とする。各計算モデルの床面積は若干異なり、片廊下型のみ特別教室・準備室が南側に位置する。暖房・換気・内部発熱^{注3)}は既往の実測調査及びアンケート調査を参考に設定した。外界条件はHASP標準気象データ(札幌)を使用した。計算期間は暖房期間の11/1～4/30の5ヵ月間、助走計算は10/1～10/30の1ヵ月間とした。

4.2 断熱性能向上による効果

計算ケース(断熱性能)を表6、年間熱収支を図25に示す。case1-0は築20年程度の一般校仕様、case1-3はエコスクール仕様であり、快適性や知的生産性に配慮して全室暖房+20[℃]設定を前提とする。その結果、case1-1から1-3へ断熱性能を向上させることで、貫

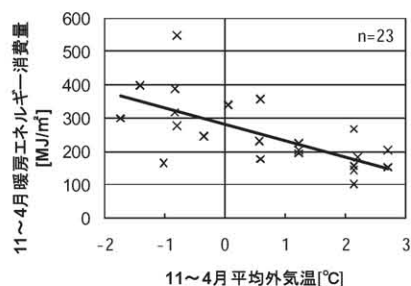


図21 外気温と暖房エネルギー消費量の関係

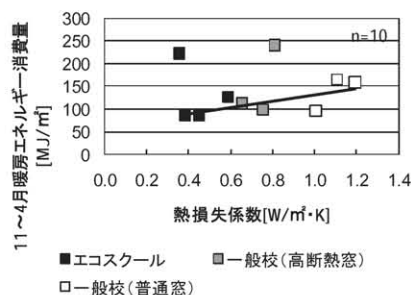


図22 熱損失係数と暖房エネルギー消費量の関係(札幌市)

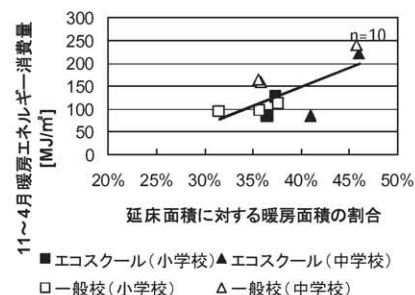


図23 暖房面積と暖房エネルギー消費量の関係(札幌市)

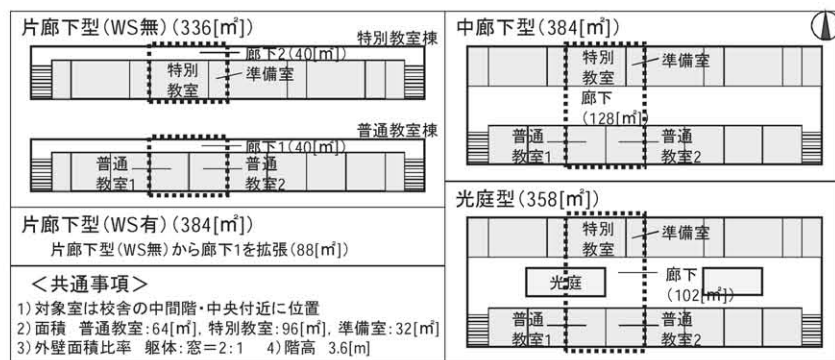


図24 計算モデル

表4 暖房・換気の設定

設定条件		全室暖房	部分暖房
暖房時間	普通教室	7:00～16:00	7:00～16:00
	特別教室	普通教室同様	9:00～12:00
	廊下	普通教室同様	暖房無
換気回数	普通教室⇔外気	2.2[回/h]	1.0[回/h]
	普通教室⇔廊下	3.6[回/h]	3.6[回/h]
	特別教室⇔外気	0.3[回/h]	0.3[回/h]
	特別教室⇔廊下	1.9[回/h]	1.9[回/h]
暖房期間	11/1～4/30(暖房停止:土日祝, 休業期間(冬期:12/26～1/19, 春期:3/24～4/5))		

表5 内部発熱の設定

在室時間	在室率及び照明使用率[%]		
	普通教室1	普通教室2	特別教室
8:00～9:00	50	50	0
9:00～10:00	0	100	100
10:00～11:00	100	100	0
11:00～12:00	100	0	100
12:00～13:00	50	50	0
13:00～14:00	100	100	0
14:00～15:00	100	100	0
15:00～16:00	50	50	0
発熱量	教師:100[W/人], 児童:75[W/人] 照明:10[W/m ²]		

表6 計算ケース(断熱性能)

計算ケース	断熱仕様	暖房範囲
case1-0	外壁:フォームポリスチレン保温板 B類3種 30[mm](内断熱) 窓:2重サッシ(3.4[W/m ² ・K])	部分暖房
case1-1	case1-0と同様	全室暖房
case1-2	外壁:フォームポリスチレン保温板 B類3種 30[mm](内断熱) 窓:高断熱Low-e複層ガラス(1.7[W/m ² ・K])	
case1-3	外壁:グラスウール32K 100[mm](外断熱) 窓:高断熱Low-e複層ガラス(1.7[W/m ² ・K])	

流除去熱量の低減に伴い暖房負荷に相当する暖房取得熱量は片廊下型・光庭型では37[%]程度、中廊下型では40[%]程度低減されていた。廊下が中央に位置する中廊下型・光庭型では外皮負荷の割合は小さく、中廊下型の暖房取得熱量は片廊下型の60[%]程度に抑えられていた。また、全計算モデルにおいてcase1-3の全取得熱量に対する暖房取得熱量の割合は小さく、中廊下型の全取得熱量に対する暖房取得熱量以外の割合は約62[%]であり、内部発熱量・日射取得熱量が暖房熱源として非常に寄与していた。更に全除去熱量に対する貫流除去熱量の割合は約63[%]であり、相対的に外気負荷の割合が増加していた。

月間暖房負荷を図26、PMV快適範囲時の割合^{注4)}を図27に示す。暖房エネルギー消費量の実態と同様に2月に暖房負荷が最も大きく、計算ケース間のばらつきも概ね2~4[GJ/month]になった。case1-0とcase1-3では断熱仕様及び暖房範囲が異なる中で、暖房負荷は同程度

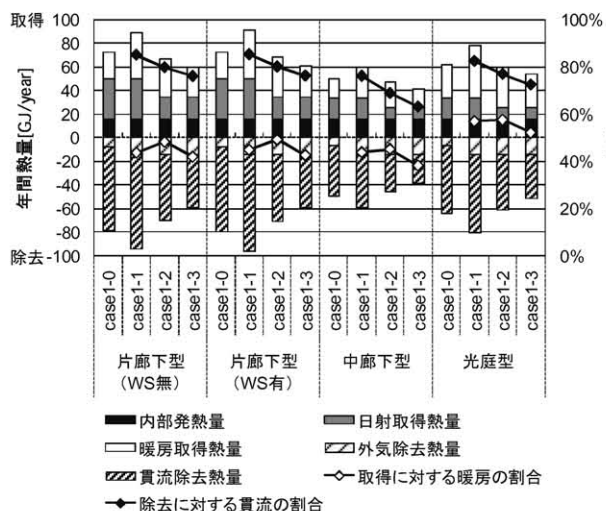


図25 年間熱収支

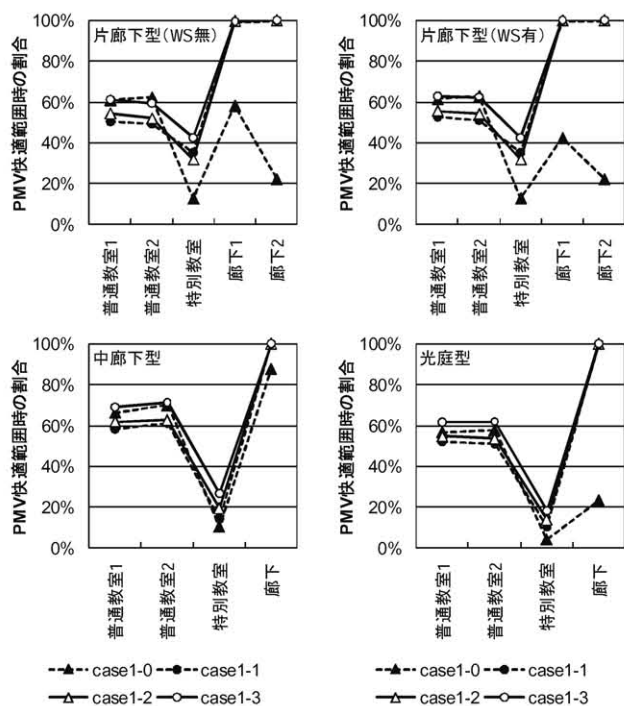
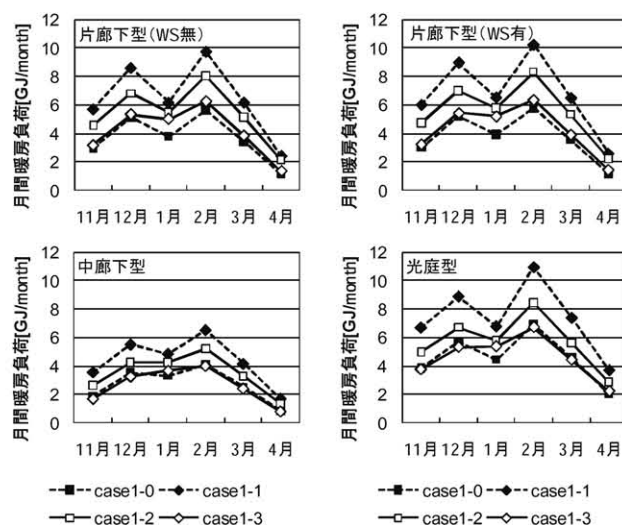


図27 PMV快適範囲時の割合

の値を示したが、中廊下型を除く計算モデルにおいて休業期間の長い1月のみcase1-0とcase1-3で差が生じていた。更に中廊下型・光庭型ではcase1-3がcase1-0を下回る月もあり、部分暖房と同等の暖房負荷で全室暖房が可能であることが示唆された。また、PMV快適範囲時の割合において普通教室・特別教室では片廊下型 (WS無・WS有) の2パターン、中廊下型・光庭型の2パターンがそれぞれ同様の傾向を示した。利用頻度の高い普通教室ではいずれも快適性が十分に確保されていた。その他廊下でも中廊下型を除く計算モデルにおいてcase1-0からcase1-3へ断熱性能を向上させることで、その割合は大幅に上昇していた。

4.3 運用改善による効果

計算ケース (運用改善方法) を表7、年間暖房負荷を図28に示す。case2-1~2-5は暖房、case2-6は換気を改善箇所とし、無理なく別途投資しない運用改善方法とした。その結果、断熱性能向上に比べて



月平均外気温 [°C] 11月:4.8 12月:-0.6 1月:-4.4 2月:-3.3 3月:0.7 4月:7.3

図26 月間暖房負荷

表7 計算ケース (運用改善方法)

計算ケース	運用改善方法 (case1-3から変更)	改善箇所
case2-1	■ 普通教室の暖房: 日中 (12:00~14:00) 切	暖房
case2-2	◆ 暖房期間: 前後15日間ずつ短縮	
case2-3	▲ 廊下の暖房: 20[°C]から18[°C]	
case2-4	● 冬期休業中の補助暖房: 12[°C]	
case2-5	□ 特別教室の暖房: 朝タ1時間ずつ切	換気
case2-6	◇ 普通教室の換気回数: 朝タ1時間ずつ1.1[回/h]	
case2-7	△ 着衣量: 0.1[clo]増加	

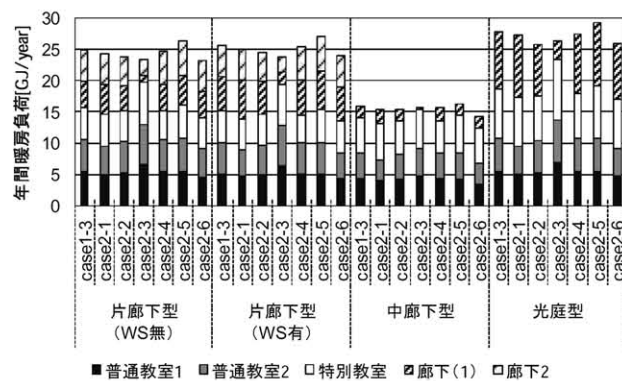


図28 年間暖房負荷

個々の運用改善による効果は小さかったが、普通教室・特別教室・廊下の内訳よりcase2-3に伴い廊下の暖房負荷低減が大きく、計算モデル毎で効果的な運用改善方法は異なっていた。

運用改善による効果（case1-3ベース）^{注5)}を図29に示す。片廊下型の場合、普通教室の換気回数、廊下の暖房、暖房期間を改善させることが効果的であった。しかし、普通教室の暖房を日中（12:00～14:00）切っても暖房負荷低減率は小さく、逆に快適性の低下に繋がっていた。中廊下型の場合、相対的な外気負荷の割合が大きく、普通教室の換気回数を改善させることが最も効果的であり、僅かな快適性の向上に寄与していた。光庭型の場合、片廊下型と同様に普通教室の換気回数、廊下の暖房を改善させることが効果的であった一方、暖房期間を前後15日間ずつ短縮しても暖房負荷低減率は大きいものの、大幅な快適性の低下に繋がっていた。また、全計算モデルにおいて冬期休業中の補助暖房を12[℃]にすることで、6[%]の暖房負荷増大になり、特別教室の暖房を朝夕1時間ずつ切ることによって、1[%]の暖房負荷低減になった。その上、在室者自身が着衣量を調整（0.1[clo]増加）することで、PMV快適範囲時の割合が30[%]前後増加していた。

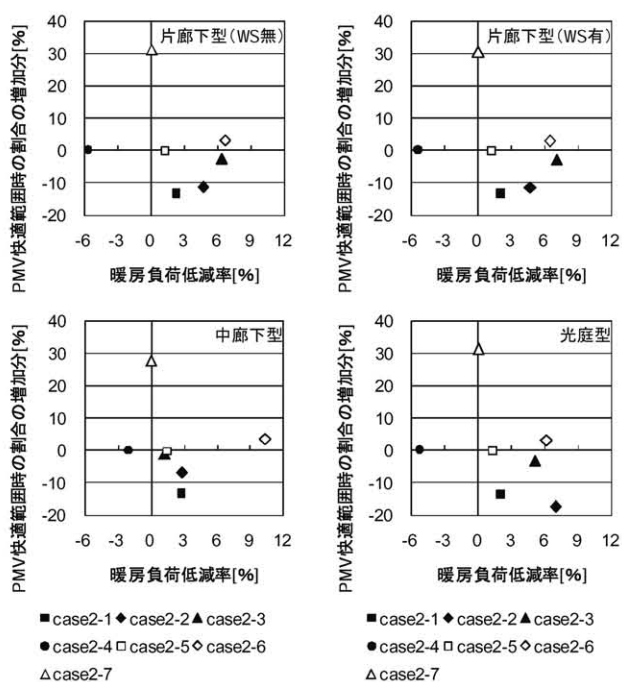


図29 運用改善による効果（case1-3ベース）

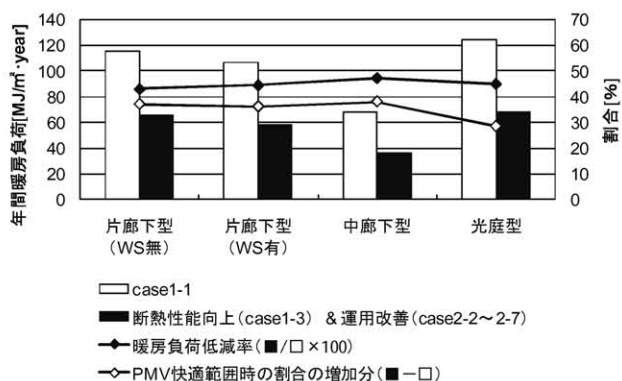


図30 断熱性能向上・運用改善による効果（case1-1ベース）

断熱性能向上・運用改善による効果（case1-1ベース）^{注6)}を図30に示す。片廊下型の場合、単位床面積当りの年間暖房負荷は110[MJ/m²・year]前後から約45[%]低減され、PMV快適範囲時の割合が35[%]以上増加していた。中廊下型の場合、暖房負荷低減率が47[%]かつPMV快適範囲時の割合の増加分が38[%]に達していた。光庭型の場合、他の計算モデルに比べて暖房負荷が最も大きく、暖房期間を改善させたことで、結果的にPMV快適範囲時の割合の増加分も小さかった。

5. まとめ

北方型エコスクールを対象とした実測調査及びアンケート調査より暖房エネルギー消費量の実態を把握し、更に数値解析より暖房負荷低減に向けて断熱性能向上・運用改善による効果を定量化した。以下に、得られた成果を簡潔にまとめる。

- 1) 温度特性、外気温と温度差（教室－廊下）の関係、温度の累積頻度分布によって同地域のエコスクールと一般校の時間的・空間的溫度むらが検証された。
- 2) 高い断熱性能を有するN中学校ではK中学校よりも平成20年度の年間暖房エネルギー消費量は約16[%]少なく、断熱性能向上と運用改善の重要性並びに全室暖房の可能性が示唆された。
- 3) 学校施設の断熱化は校舎では約50[%]で比較的多かったが、一部認定校の中で断熱性能の低い透明フロートガラスが使用され、高断熱化への取り組みに対して不十分な事例も確認された。
- 4) 構造躯体の熱容量を活かした暖房の種類は少なく、機械換気設備の無い学校が約2割、全熱交換型設備による熱回収の無い学校が約5割を占めていた。
- 5) 24時間連続暖房を行っていた学校も確認され、暖房設定温度は普通教室及び特別教室では平均約20[℃]でばらつきは小さかったが、特に廊下暖房に対して各学校の使われ方が異なっていた。
- 6) 冬期においても機械かつ窓開け換気の併用が為され、換気をする理由の1つとして、日射取得熱・人体発熱あるいは過剰暖房による室温上昇が影響していたと推測される。
- 7) 暖房エネルギー消費量は外気温の最も低い2月に平均約53[MJ/m²・month]であり、札幌市ではエコスクールと一般校の差は比較的小さく、エコスクールが一般校を上回る月もあった。
- 8) 暖房エネルギー消費量（校舎のみ）は建物性能に係る熱損失係数に対して正の相関、冬期における学校施設の使われ方に係る暖房面積に対して正の相関を示した。
- 9) 断熱性能を向上させることで、暖房負荷は中廊下型では40[%]程度低減され、中廊下型・光庭型では部分暖房と同等の暖房負荷で全室暖房が可能であることが示唆された。
- 10) PMV快適範囲時の割合において普通教室・特別教室では片廊下型（WS無・WS有）、中廊下型・光庭型がそれぞれ同様の傾向を示し、普通教室ではいずれも快適性が十分に確保されていた。
- 11) 年間暖房負荷を算出した結果、計算モデル毎で効果的な運用改善方法は異なっていたため、個々の運用改善による効果として暖房負荷低減率及びPMV快適範囲時の割合の増加分を定量化した。
- 12) 断熱性能向上・運用改善による効果を合わせた形で定量化し、北方型エコスクールでも暖房負荷低減と快適性の向上が同時に実現可能であることを明らかにした。

謝辞

本研究の実施にあたり、N及びK中学校、(株)北海道日建設計、各市町村の教育委員会及び小中学校の方々には多大なご協力を頂いた。記して感謝する。

注

- 注1) 札幌市教育委員会がホームページで公開している情報から各学校の学級数より空き教室等を考慮し、使用されていると判断した普通教室面積のことである。
- 注2) 札幌市内公立小中のエコスクール5校と一般校6校の内、図22及び図23では体育館面積が著しく大きいエコスクール(中学校)1校を除いた。
- 注3) 窓の開閉条件は常時閉鎖、カーテンの開閉条件は常時開放、在室人数は教員1[人/室]と児童30[人/室]の計31[人/室]とした。
- 注4) 全在室時間に対する快適範囲 ($-0.5 \leq PMV \leq +0.5$) になった時間の割合のことである。尚、代謝量は教室では1.1[Met]、廊下では1.4[Met]、着衣量は1.1[clo]、風速は0.1[m/s]とした。
- 注5) PMV快適範囲時の割合の増加分は普通教室1を対象とした。
- 注6) case2-1の暖房負荷低減率は小さく、逆に快適性の低下に繋がっていたため、運用改善方法はcase2-2~2-7とした。

本研究に関連した既発表文献

- *1) 今井綾子, 菊田弘輝, 羽山広文: 北方型エコスクールにおける暖房エネルギー消費に関する研究 その2 建物の断熱性能と運用方法が暖房負荷に与える影響の検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.1347-1348, 2010.9
- *2) 菊田弘輝, 羽山広文, 今井綾子: 北方型エコスクールを対象とした暖房負荷低減に関する研究, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, 2010.9 (投稿中)
- *3) 今井綾子, 菊田弘輝, 羽山広文: 北方型エコスクールにおける暖房エネルギー消費に関する研究 その1 アンケート調査による実態把握, 空気調和・衛生工学会北海道支部 第44回学術講演会論文集, pp.75-78, 2010.3
- *4) 今井綾子, 菊田弘輝, 絵内正道, 羽山広文, 阿部佑平, 丹保洋人, 畑中壮大: エコスクールにおける温熱・空気環境の現状把握に関する研究 その6 冬期における温熱環境と暖房エネルギー消費量, 空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集, pp.2047-2050, 2009.9

参考文献

- 1) 文部科学省学校施設整備指針策定に関する調査研究協力者会議: 環境を考慮した学校施設(エコスクール)の今後の推進方策について一低炭素社会における学校づくりの在り方(最終報告), pp.1-89, 2009.3
- 2) 鈴木宏昌, 藤浪健二, 金政秀, 田辺新一: エアコン導入による公立小学校のエネルギー消費量将来予測, 日本建築学会環境系論文集, No.645,

pp.1253-1259, 2009.11

- 3) 倉淵隆, 飯野由香利, 川瀬智文: 温暖地域における冷房機器のある小学校普通教室の空気・温熱環境と温熱環境評価, 日本建築学会環境系論文集, No.641, pp.893-900, 2009.7
- 4) 岩下剛, 古賀隆文: 冷房導入前後の小学校普通教室における夏季の温熱・空気環境の実態に関する研究, 日本建築学会環境系論文集, No.641, pp.877-882, 2009.7
- 5) 吉野博, 飯野由香利, 瀧澤のりえ, 岩下剛, 熊谷一清, 倉淵隆, 長澤悟, 永田明寛, 長谷川麻子, 村松學: 公立小学校における暖冷房・換気設備の地域別整備状況および使用実態, 日本建築学会環境系論文集, No.639, pp.643-650, 2009.5
- 6) 樋口作夫, 羽山広文, 絵内正道: 学校教室の窓ガラス仕様と空調条件が年間熱負荷に与える影響, 日本建築学会環境系論文集, No.629, pp.873-879, 2008.7
- 7) 渡邊昭彦ら: 全国のエコスクールの環境設備導入と児童・生徒の学習効果の分析 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 建築計画I, pp.413-418, 2007.8
- 8) 渡邊昭彦ら: 全国のエコスクールの環境的要素と学習効果の分析 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 建築計画I, pp.309-314, 2006.9
- 9) 池澤知子, 須永修通: アンケート調査によるエコスクール認定校の実態把握一環境調整手法とエネルギー消費量一, 日本建築学会環境系論文集, No.641, pp.783-788, 2009.7
- 10) 鈴木大隆, 北谷幸恵, 加藤誠: 北海道における小中学校の地域建築への取り組み, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.523-524, 2007.8
- 11) 森太郎, 丹保洋人, 田中優里香, 絵内正道, 羽山広文: 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, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.1113-1114, 2007.8
- 12) 渡辺浩文, 三浦秀一, 須藤諭: 東北地方における学校建築のエネルギー消費に関する実態調査研究, 日本建築学会環境系論文集, No.597, pp.57-63, 2005.11
- 13) 荒谷登, 鈴木憲三著: 建築家のための熱環境解析入門, 北海道大学図書刊行会, 1993
- 14) 菊田弘輝ら: エコスクールを対象とした温熱・空気環境の現状把握に関する研究 その1~3, 日本建築学会大会学術講演梗概集 環境工学II, pp.1089-1094, 2009.8
- 15) 菊田弘輝ら: エコスクールにおける温熱・空気環境の現状把握に関する研究 その4~5, 日本建築学会北海道支部研究報告集 No.82, pp.275-282, 2009.7
- 16) 菊田弘輝ら: エコスクールにおける温熱・空気環境の現状把握に関する研究 その1~3, 空気調和・衛生工学会北海道支部 第43回学術講演会論文集, pp.207-214 & pp.227-230, 2009.3

(2010年6月1日原稿受理, 2010年7月26日採用決定)