

# 都立高校のエネルギー消費と熱環境性能の実態把握に関する研究

## Study on Actual Condition of Energy Consumption and Thermal Environmental Performance of High Schools in Tokyo

学生会員 ○熊谷俊（首都大学東京） 技術フェロー 須永修通（首都大学東京）  
 兒玉和生（東京大学） 正会員 山本康友（首都大学東京）  
 Shun KUMAGAI<sup>\*1</sup> Nobuyuki SUNAGA<sup>\*1</sup> Kazuo KODAMA<sup>\*2</sup> Yasutomo YAMAMOTO<sup>\*1</sup>  
<sup>\*1</sup>Tokyo Metropolitan University <sup>\*2</sup> Tokyo University

Recently, the thermal environment of the classroom became worse by the progress of the global warming and heat island phenomenon in Tokyo. To improve it, cooling systems were introduced into all high schools. However, it is obliged to be reduced the greenhouse gas emission by 25% by 2020 according to Tokyo Metropolitan Government policy. In order to realize it, this study aims to propose the methods of the most suitable renovation and operation for high schools. In this paper, it is shown the result of research on the actual condition of thermal environment and environmental building specification.

### 1. 研究の背景と目的

東京の都心部では、ヒートアイランド現象や地球温暖化の進行等により、教室の室内環境が悪化している。東京都では都立高校に対する改善策として 2007～2008 年度に全ての普通教室に冷房・換気設備を導入した。しかし、校舎の性能は従来の状態であるため、エネルギー消費の増加が予想された。また、東京都では 2020 年度までに二酸化炭素排出量を 25%削減する目標を掲げており、都立高校においても効果的な省エネルギー手法を検討することが急務である。

本研究では、適切な改修や運用方法を提案することを目的とし、既報<sup>1)</sup>では、エネルギー消費量の実態把握を行い、冷房導入に伴い増加傾向であることを示した。また、PAL・CECを用いて建物・設備について性能評価を行った結果<sup>2)</sup>と、環境性能に関係する建築仕様の詳細な調査結果<sup>3)</sup>については、別途発表する予定である。

本報では、エネルギー消費量の原単位、教室の室内温熱環境、および環境性能に関係する仕様等について検討した結果を報告する。

### 2. 調査概要・解析概要

#### 2.1. 調査概要

都立高校は普通・総合・商業・工業高校から構成されており、2010 年度時点で 188 校ある。本研究ではこれらの学校を対象とし、表 1 に示す項目について調査した。また、築年数と校舎の平面形により分類し、代表校 23 校を選出し、シミュレーションソフト BEST(簡易版)を用いて PAL、CEC/AC、空調エネルギー消費量を算出した。

#### 2.2. 解析概要

表 1 調査概要

建築概要	n=188	生徒数,竣工年,延床面積
	n=23	開口率,断熱材,建築仕様
設備概要	n=188	熱源,設置年,設置場所
	n=23	冷暖房能力,空調用エネルギー消費量
エネルギー消費量	n=188	電気,ガス,プロパン
シミュレーション	n=23	PAL,CEC/AC,空調用エネルギー消費量

表 2 エネルギー換算値

電気	9.97【MJ/kWh】	ガス	41.1【MJ/m <sup>3</sup> 】	プロパン	50.8【MJ/m <sup>3</sup> 】
----	--------------	----	--------------------------	------	--------------------------

表 3 空気環境検査報告書

測定項目	温度・湿度・気流・二酸化炭素濃度	
データ数	2007年度(空調導入前)	
	上半期(6～9月)	下半期(12～2月)
	n=41	n=73
	2009年度(空調導入後)	
	上半期(6～9月)	下半期(12～2月)
	n=58	n=78

#### 2.2-1 エネルギー消費量

エネルギー消費量は、東京都より提供されたデータから求めた。このデータには平成17年度から22年度までの6年間の、全都立高校のエネルギー源別の使用量が月ごとに示されている。表2に示すエネルギー換算係数を用いて、使用量を1次エネルギーに換算し、解析を行った。

#### 2.2-2 空気環境検査報告書

表3に、空気環境検査報告書の概要を示す。空気環境検査報告書とは、各学校が、上半期(6～9月)と下半期(12～2月)の間に年2回、教室内における温度・湿度・気流・CO2濃度を測定したものである。冷房導入による効果を検討するため、導入前の2007年度と導入後の2009年度の計4

回分のデータを各学校から集計し、解析を行った。

データ数は時期により異なり、2007年の上半期データ(N=41)・下半期(N=73)、2009年の上半期データ(N=58)・下半期(N=78)である。

### 3. エネルギー消費量の解析結果

#### 3.1 今までの研究成果

冷房の導入に伴い、全体のエネルギー消費量は年間で10%増加、夏期では20%増加していることが明らかになった<sup>1)</sup>。本報では、熱源および学校数、学級数、生徒数ごとのエネルギー消費量について年ごとに変動する学校数、学級数、生徒数を考慮して、解析した結果を示す。

#### 3.2 熱源ごとのエネルギー消費量

図1に2005～2010年度における電気・ガス・プロパンのエネルギー消費量を示す。(2009年は冷夏で、2010年は猛暑であった。)プロパンは全体の0.1%で、電気とガスがほとんどの割合を占めている。電気とガスの比率は約4:1で、今回導入された冷房の多くはGHPが採用されているが、ガスの比率はあまり増加していない。

#### 3.3 生徒一人・学校一校当たりのエネルギー消費量

図2に一校当たりのエネルギー消費量、図3に一学級当たりおよび生徒一人当たりのエネルギー消費量を示す。

最近では生徒数にあまり変化はなく、学校数・学級数は統廃合等により減少傾向である。導入前の平均値と2010年度を比較すると、冷房が導入されたことにより、一校当たりは16%、一学級当たりは13.5%、生徒一人当たりは11.7%、エネルギー消費量が増加している。

### 4. 教室の室内温熱環境評価

#### 4.1 各学校のPMVによる温熱環境評価

空気環境検査報告書で測定されているデータを基に、表4に示す条件下でPMV・PPDを算出し、夏期の室内温熱環境を評価した。

夏期の教室を想定して、代謝量は1.0、着衣量は0.55とし、放射温度は測定されていないため、空気温度と同等であるとした。以上の条件により、各学校のPMVを算出した結果を図4、5に示す。また、PMVは本来±0.5以内が快適域であるが、これは事務所の温熱環境を対象としていることと計算の精度を考慮し、本報ではPMV±1.0を概ね快適域とみなしている。

図4より、冷房が導入される前は、学校によって温熱環境にばらつきがみられ、PMVが+3以上になっている学校も2校あった。図5より、冷房が導入されたことにより+3以上がなくなり、多くの学校がPMV±1.0に分布しており、夏期の温熱環境が改善されたことがわかる。

#### 4.2 快適域に入っている学校の割合とPPD

図6に、PMV±1.0に入っている学校の割合とPPDの分布について示す。

冷房が導入される前では、60%程度だったが導入されたことにより72%に上昇していることがわかる。PPD(予

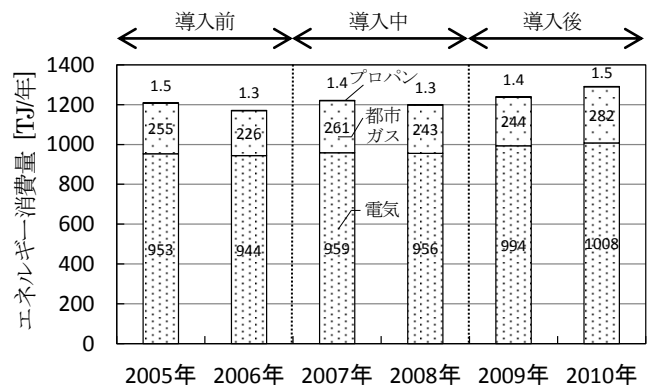


図1 熱源ごとのエネルギー消費量

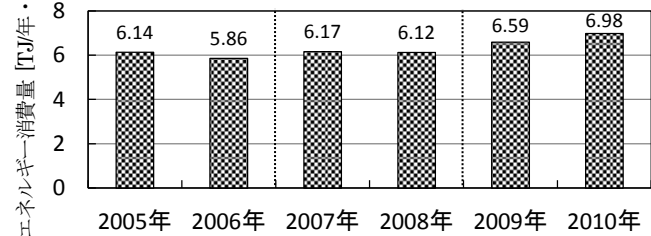


図2 一校あたりのエネルギー消費量

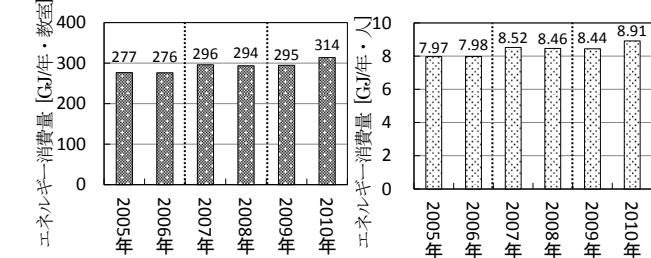


図3 一学級および生徒一人あたりのエネルギー消費量

表4 PMV計算条件

空気温度[°C]	計測値	放射温度[°C]	空気温度と同じとする
相対湿度[%]	計測値	代謝量[met]	1.0(椅座状態を想定)
気流[m/s]	計測値	着衣量[clo]	0.55(半袖ポロシャツ+ズボン+下着+靴下+靴)

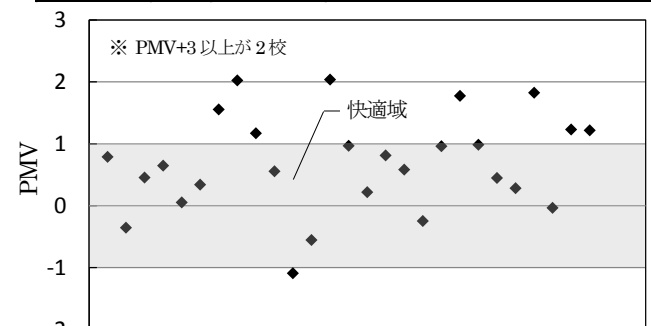


図4 夏季における教室室内温冷感【冷房導入前】(n=28)

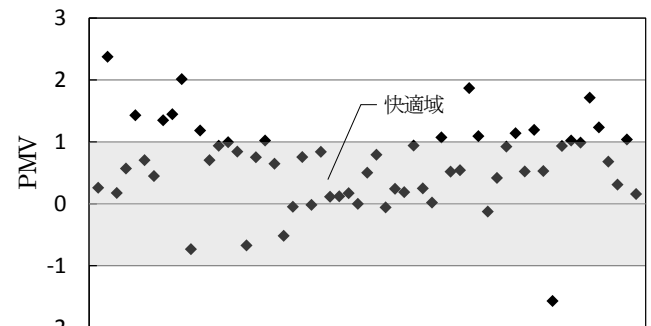


図5 夏季における教室室内温冷感【冷房導入後】(n=59)

測不快者率)は、快適域に入っている学校の割合が増加していることにより、減少している。今後±1.0 以内に入っていない教室について、測定方法等も含めてその原因を検討することが必要である。

## 5. 設備に関する実態把握

### 5.1 単位教室当たりの冷房能力・暖房能力

普通教室に導入された空調機は、1つの室外機に対して複数の室内機で構成されている。室外機の設備容量をそれに対応する教室数で除して、1教室あたりの冷房・暖房能力を算出した値を図7に示す。

冷房能力に関しては、多くの学校で1教室あたり7～12kWとなった。東京都が標準としている14kW<sup>4)</sup>より小さくはなかったが、実際の室内環境は建物や運用条件などにも影響され、前述のPMV・PPDとの相関もみられないので、特に問題はないと考えられる。

暖房能力に関しては、従来の暖房はFF式暖房機(暖房能力は約9kW)が採用されていたが、ヒートポンプ式に変更された。暖房能力は8～13.5kWと従来の暖房能力と同程度であるが、FF式は床設置型(図8)であったのに対し、導入された空調機は多くが天井吊型(図9)であり、上下温度分布が大きくなっていることが懸念される。

### 5.2 室外機の設置場所について

図10に、新たに冷房が導入された学校120校における室外機の設置場所を示す。屋上に置かれている学校は全体の約1割であり、ほとんどの学校が校庭もしくは校舎の脇といった屋外に設置されている。(図11)

ボール等が室外機に当たることで破損する、室外機から排出された空気が教室内に侵入する等の問題が発生しているため、屋上に設置することが望ましいのだが、校舎の構造が室外機の重さを支えることができないという理由で屋上に設置できない学校が多かった。そのため、柵を設ける、排気ファンの上部にカバーを施すといった対策を講じている学校が一部にみられた。

### 5.3 用途別におけるCOPの比較

エアコンの性能を部屋の用途別に分類したものを図12に示す。新たに普通教室に導入されている冷房はリース契約であり、それ以外の用途に導入されている部屋は、備品として購入している。

音楽室や視聴覚室など以前から冷房が導入されていた特別教室は、他の用途よりも性能が低い傾向がみられた。特別教室の中で、GHPでは調理室、EHPではパソコン室が性能の良い設備が導入されていることがわかった。普通教室は、最も性能が高くなっているが、これは導入当時(2007～2008年)の比較的新しい冷房が導入されているためと考えられる。

### 5.4 GHP・EHPのCOP推移

図13に、備品購入した空調機を対象とし、築年数ごとに導入されているGHP・EHPの性能を示す。EHPは築年数

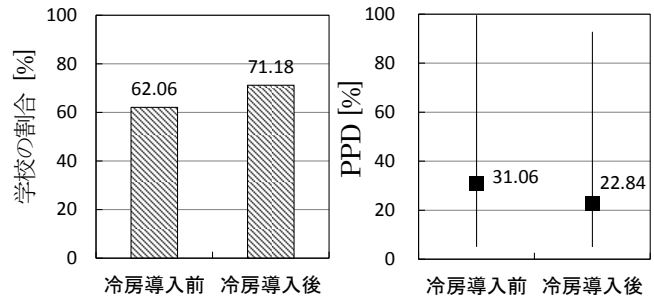


図6 快適域に入る学校の割合と PPD の分布

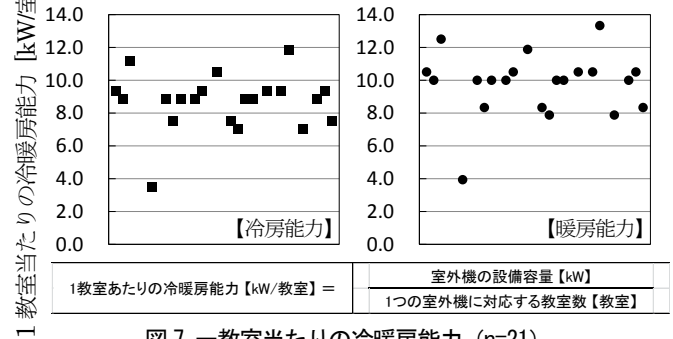


図8 FF式暖房機



図9 ヒートポンプ式暖房機

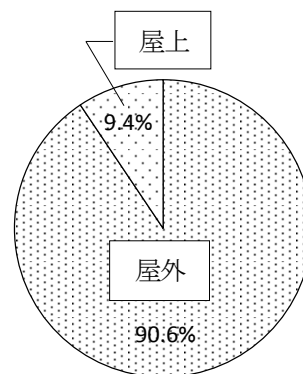


図10 室外機の設置場所 (n=120)



図11 設置状況

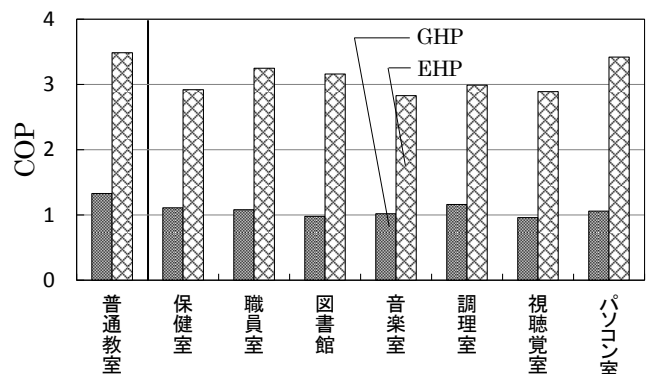


図12 部屋の用途別におけるCOP

による差はあまり大きくないが、GHP は約 15 年の間で性能が 1.2 倍に向上しているため、特別教室に設置してある古い GHP を最新の設備を導入することは効果的である。

## 6. 環境性能に関する仕様の実態把握

### 6.1 築年数ごとの各部位における熱抵抗値の推移

図 14 に、築年数ごとの各部位(屋根・外壁・床)における熱抵抗値の推移について示す。1980 年までの学校はほとんど無断熱であり、環境性能が低い。

1980 年以降になると、屋根に断熱が施されるようになり、1990 年以降で建設された学校には床・外壁にも断熱が施されるようになったが、外壁の熱抵抗値は他の部位と比較して低い。外皮全体の熱性能を向上させることが望ましいが、建物において外壁部分は表面積を占める割合が大きいので、外壁の性能を強化させる必要がある。

### 6.2 開口率と PAL・空調エネルギー消費原単位の相関

図 15 に、開口率と PAL、空調エネルギー消費原単位の相関について示す。開口率は 25~27% の学校の割合が多く、開口率が増加するほど、PAL は緩やかではあるが増加する(性能が悪くなる)傾向にある。そのため、開口率が大きくなる場合には、開口部自体の性能を向上させるか日射遮蔽物の採用を考慮することが重要である。

本報では、シミュレーションにより算出した空調用エネルギー消費量を教室面積で除した値を空調エネルギー消費原単位と定義しているが、この空調エネルギー消費原単位と開口率の間には PAL とは異なり、あまり相関はみられない。

### 6.3 日射遮蔽物の有無が教室環境に与える影響

都立高校は日射遮蔽物を採用している学校が少ないことがわかっており<sup>3)</sup>、多くの学校は、図 16 の左側の写真に示すようにカーテンによって、日射調整を行っている。しかし、カーテンだけでは日射対策は不十分であり、窓際の席は日射の影響を受けるため暑く、また光環境からみてもまぶしく感じられた。

図 16 の右側の写真は窓の外側にバルコニー(幅 1500mm)が設けられている学校の教室内の写真であるが、窓際のまぶしさはあまり感じなかった。このように、日射遮蔽物を採用することは、窓から入射する日射熱を遮断するだけでなく、教室内の光環境向上にも有効である。

## 7. まとめ

都立高校では、冷房が導入され教室の快適性は向上したが、エネルギー消費量は全体で年間約 10%、学校 1 校当たりでは約 16% 増加しており、大幅な削減が求められる。1980 年代までの学校はほとんどが無断熱であり、また、底のない学校が多いことから、これらの改善が急務といえる。

なお、新たに冷房が導入された学校の多くは、室外機が屋上ではなく、地上に設置されているため、ポールなどによる破損や排気への対策を講じる必要がある。

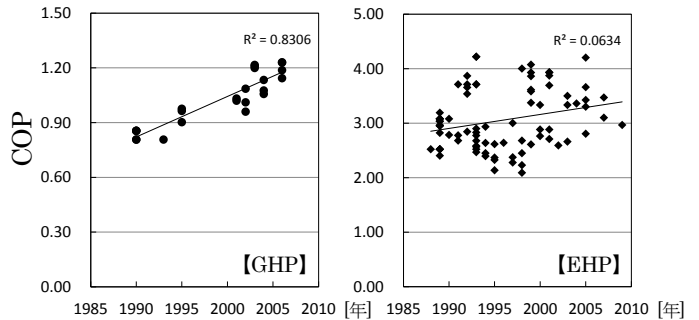


図 13 GHP・EHP の COP の推移

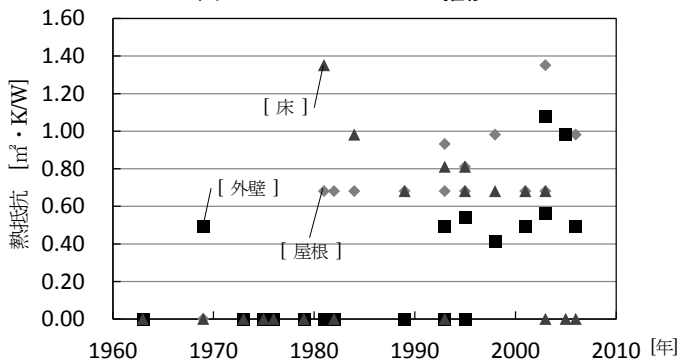


図 14 各部位の熱抵抗値の推移 (n=20)

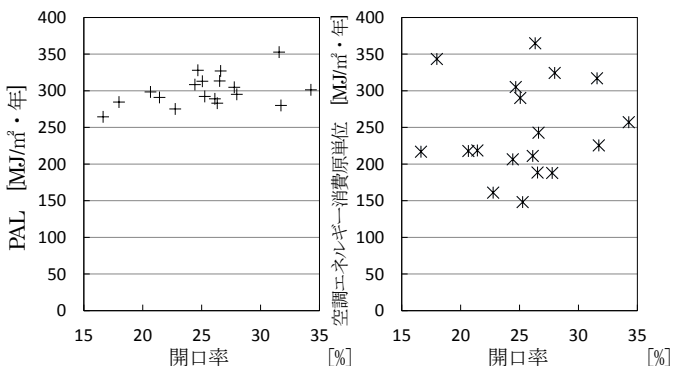


図 15 開口率と PAL・空調エネルギー消費原単位 (n=18)



図 16 日射遮蔽物が教室環境に与える影響

## 謝辞

本研究は、東京都リーディングプロジェクトの「環境負荷低減に資する都市建築ストック活用型社会の構築技術」の一環として行ったものである。データを提供していただいた東京都の財務局・教育庁の皆様、ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) 熊谷・須永・兒玉他：都立高校のエネルギー消費削減に関する研究 太陽/風力エネルギー講演論文集 2011, 309-312, 2012
- 2) 兒玉・須永・熊谷他：都立高校のエネルギー消費削減に関する研究 その 2 建築の省エネルギー性能とエネルギー消費の関係
- 3) 熊谷・須永・兒玉他：都立高校のエネルギー消費削減に関する研究 その 3 環境性能に関する建築仕様の実態と月別空調エネルギー消費量の検討
- 4) 都立高校教育環境改善検討委員会報告書