

# 都立高校のエネルギー消費削減に関する研究

学生員 ○ 熊谷 俊 (首都大学東京)  
児玉和生 (首都大学東京)

会員 須永修通 (首都大学東京)  
山本康友 (首都大学東京)

Study on Energy Saving for High Schools in Tokyo

Shun KUMAGAI\*, Nobuyuki SUNAGA\*,  
Kazuo KODAMA\* and Yasutomo YAMAMOTO\*

\* Tokyo Metropolitan University  
1-1 Minami-Osawa, Hachioji-shi, Tokyo  
192-0397, JAPAN  
E-mail: kumagai-shun@ed.tmu.ac.jp

## ABSTRACT

Recently, it became worse in thermal environment of the classroom by the progress of the 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, and it is required to reduce the cooling load. In order to reduce the cooling load efficiently, it is necessary to understand the actual condition of the energy consumption. In this paper, the influence of equipping classroom with cooling system is illustrated and the effect of new building standard on the energy saving is examined.

キーワード：学校建築，エネルギー消費量，  
建築仕様，冷房導入

Keywords : School Building, Energy Consumption,  
Architectural specification  
Introduction of cooling system

## 1. 研究の背景と目的

近年、地球温暖化およびヒートアイランド現象の進行により、都立高校においても夏季の教室内熱環境が悪化してきている。また、最近では夏休みに校舎を利用する機会も増えていることから、平成19年度から平成20年度にかけて、全ての都立高校の普通教室に冷房・換気設備が導入された。

しかし、校舎の熱性能は旧来のままで新しい設備が追加されたためエネルギー消費量は増加していると考えられる。一方、日本の二酸化炭素排出量の削減目標を考えると、大幅削減が急務であり、エネルギー消費を効率的に削減していく必要がある。

Table 1. Survey item

Building outline	Building name, structure, Location, Number of stories, classes and students, Total floor area, Completion date
Building services outline	Heat source, air-conditioning system, manufacturer name, model number, installation date, type and site
Energy Consumption	monthly electricity, gas and oil consumption

Table 2. Energy conversion factor

electricity	9.97MJ/kWh	gas	41.1MJ/m <sup>3</sup>	oil	50.8MJ/m <sup>3</sup>
-------------	------------	-----	-----------------------	-----	-----------------------

本研究では、都立高校全体のエネルギー消費の現状および冷房導入に伴う増加の程度と傾向を把握した。また、標準設計仕様の改定による二酸化炭素排出量削減効果について検討を行った。

## 2. 調査・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、平成22年度で190校ある。これらの学校を対象とし、表1に示す項目について調査をした。

調査項目は、建物概要(建物名称、階数、クラス数、生徒数、構造、所在地、延床面積、竣工年月)、設備概要(熱源、空調方式、メーカー名、型番、設置年度、設置タイプ、設置箇所)、エネルギー消費量(月別の電気、ガス、油の使用量)である。

### 2.2. 解析概要

#### 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、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にエネルギー換算係数を示す。この数値を用いて、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

空気環境検査報告書は、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。

今回、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. 解析結果

#### 3.1 エネルギー消費量と原単位の現状

表3に換算係数を用いて電気・ガス・プロパンの使用量からエネルギー源別の1次エネルギー換算値とエネルギー消費原単位を示す。

表中の有効データ数は解析対象学校数であり、総数からデータが揃わない高校および伊豆諸島など気候が異なる地域にある高校を除いたものである。年度によって、データ数は183~193校となった。また、エネルギー消費原単位を算出する際に使用する延床面積は、2009年度に東京都が調査した施設台帳データを参照している。1校当りの平均延床面積は11103.4m<sup>2</sup>である。

#### 3.2 年別の延床面積とエネルギー消費量の相関

図1には、平成17年から22年度までの延床面積と1次エネルギー消費量の関係を示す。これより、延床面積が大きくなるほど、エネルギー消費量は増加する傾向のあることがわかる。また、H.17とH.22の近似式より冷房設置後は傾きが緩やかになり切片が大きくなっていることから、平均的な規模である7500~11000m<sup>2</sup>の学校の方が大規模な学校よりもエネルギー消費量の増加量が大きいといえる。

#### 3.3 夏期におけるエネルギー消費原単位

図2には冷房が必要となる夏期(6~9月)におけるエネルギー消費原単位を示す。平成21年度は冷夏であったため、大きな変化は見られず、8月のエネルギー消費原単位が10[MJ/m<sup>2</sup>・月](約20%)増加に留まっている。

しかし、平成22年度は、7月と9月でも10[MJ/m<sup>2</sup>・月]以上の増加がみられ、冷房が導入されたことによりエネルギー消費が増加していることがわかる。

#### 3.4 冷房導入による室内環境への影響

##### 3.4.1 不快指数による温熱環境の評価

図3には、夏期・冬期における不快指数の割合を示す。

夏期においては暑いと感じる割合が減少し、やや暑いと感じる割合が増加している。これにより、冷房導入により室内の温熱環境は改善されているといえる。しかし、快適と感じる割合は変化していない。

冬期においては、夏期と同様に快適と感じる割合は変化していないが、肌寒いと感じる割合が増加していることがわかる。これは、従来のファンヒーターからエアコンに変わったことが影響しているかもしれないが、今後明らかにする必要がある。

Table 3. Energy consumption and Specific Energy consumption

	Before		Introduction of cooling system		After	
	H.17	H.18	H.19	H.20	H.21	H.22
Electricity Consumption [TJ/year]	953.0	944.3	958.7	955.7	993.7	1014.3
Gas Consumption [TJ/year]	255.1	226.3	260.8	243.2	243.8	284.0
Oil Consumption [TJ/year]	1.48	1.27	1.41	1.28	1.36	1.46
Total Consumption [TJ/year]	1209.6	1171.9	1220.9	1200.2	1238.9	1299.8
Number of available data	193	191	188	184	183	183
Average of Total Consumption [TJ/year]	6.27	6.13	6.49	6.52	6.77	7.10
Average of Specific Energy Consumption [MJ/m <sup>2</sup> ·year]	564.7	552.0	584.5	587.2	609.7	639.4

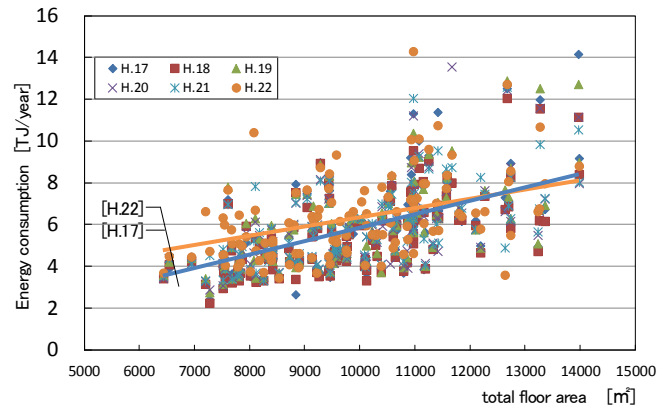


Fig 1. Relation between total floor area and energy consumption

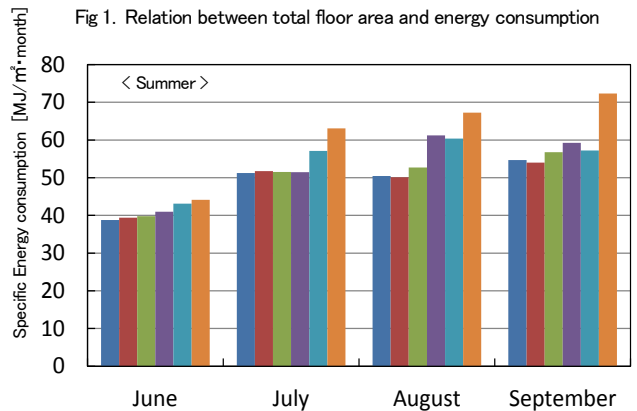


Fig 2. Average of Specific Energy Consumption in summer

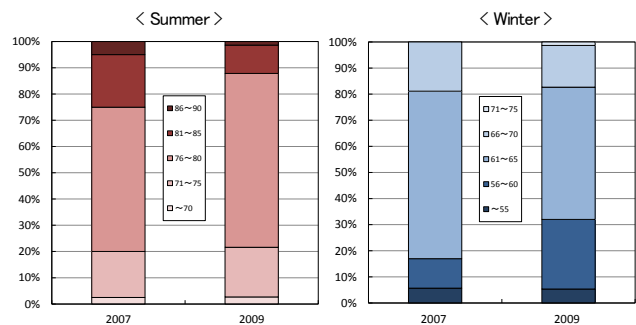


Fig 3. Ratio of DI value in summer and winter

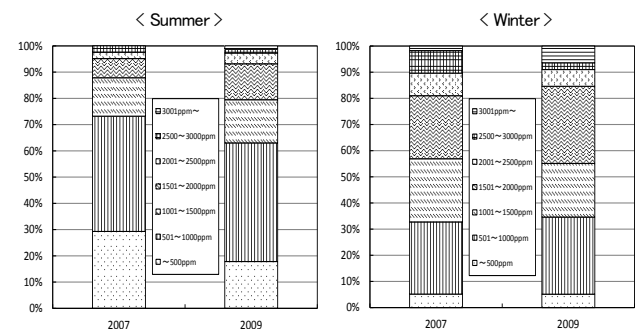


Fig 4. Ratio of the indoor carbon dioxide concentration in summer and winter

### 3.4.2 教室内の二酸化炭素濃度

図4に夏期・冬期における教室内の二酸化炭素濃度の割合を示す。夏期において、熱環境は改善されているが、二酸化炭素濃度については、冷房導入後のほうが、高濃度の割合が増加している。理由としては、冷房時に教室の窓などを閉め切り、それ以降、換気をするのが少ないのが原因の1つとして考えられる。

冬期においても、夏季と同様の傾向があり、学校衛生基準の1500ppmを超えている学校が導入前後に関係なく40%以上あり、十分な換気量が確保されていないことがわかる。

### 3.4.3 測定方法の統一

図3~4のデータは、空気環境検査報告書を参照しているが、学校ごとに測定する時期が異なるだけでなく、測定方法が統一されていない。従って、検査日の指定や測定方法の確立などを行い、データの信頼性を向上させることが今後の課題の1つとして考えられる。

## 3.5 築年代別のエネルギー消費原単位

### 3.5.1 新たに冷房が導入された高校数

図5には築年代別の冷房導入高校数について示す。1960年代に建設された高校は、新たに冷房が導入された割合が多く、1970, 80年代は、60年代と比較して割合としては低いが、数としては39及び35校と多い。

また、2007年から2008年にかけて新たに冷房が導入された高校は全体で119校である。

### 3.5.2 築年代別のエネルギー消費原単位と増加率

図6には、築年代別の平均エネルギー消費原単位と冷房導入による増加率を示す。

増加率は、冷房が新たに導入された高校(119校)において、導入後(平成21年度)のエネルギー消費原単位を導入前(平成18年度)の値で除したものである。この2つの年のデータを使用した理由は、夏期における外気温や日射量が同程度で、空調エネルギーに与える気候の影響が少ないと考えたからである。

原単位を見ると、1960及び2000年代が他の年代と比較して高いことがわかる。理由として、1960年代に建てられた建物が、2000年代は高校の統廃合により、どちらの年代も大規模な建物が多いことが、原単位を大きくさせていると考えられる。

増加率を見ると、1960年代に建設された高校が1.22と約2割増加している。原因としては、1960年代は新たに冷房が導入された割合が特に高いこと、また、この年代に建設された高校は、壁に断熱が施されていないことや、庇やバルコニーなどの日射を遮蔽する構造物がないといった、校舎の環境性能が低いことも一因として考えられる。

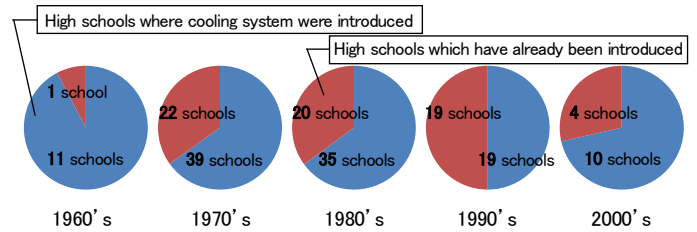


Fig 5. Number of high schools where cooling system Were introduced by age of old

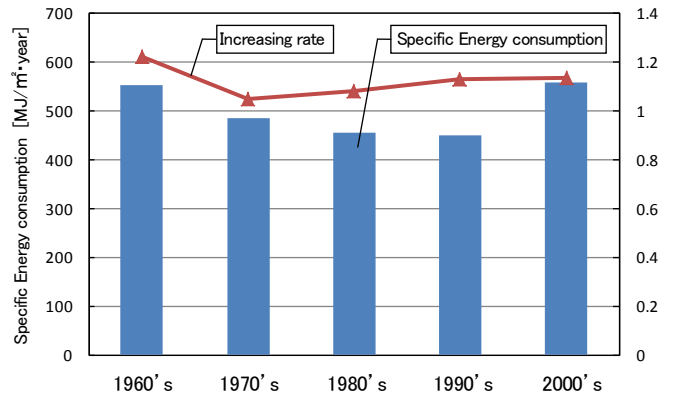


Fig 6. Specific Energy consumption and Increasing rate by age of old

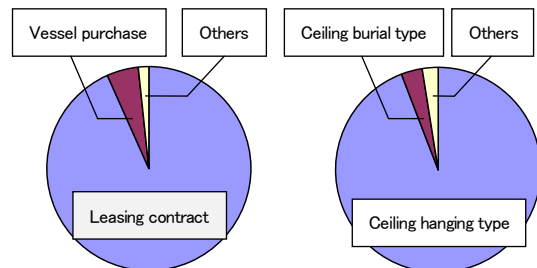


Fig 7. Purchase form

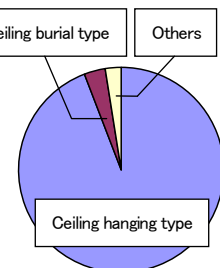


Fig 8. Installation type

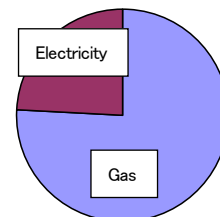


Fig 9. Heat source

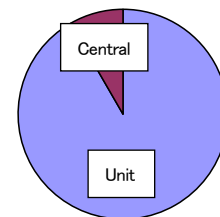


Fig 10. Air-conditioning system

## 3.6 冷房機器について

図7~10には、新たに導入された冷房機器に関して、購入形態・設置タイプ・エネルギー種別・空調方式の項目別の割合を示す。

購入方式は、備品として購入している高校は少なく、多くの高校がリース契約により冷房を導入している。

設置タイプは既存の建物に設置が比較的容易な天井吊形が主で、工事が必要となる天井埋込形は少ない。

熱源は、ガスの採用率の方が高いが、電気のみが採用されている地域も存在している。

空調方式は、多くの高校が個別方式を導入しており、中央方式は既存の建物ではダクトや機械設置のスペース確保が難しいのと、コストも高いという理由からあまり採用されていない。

## 4. エネルギー消費削減の検討

### 4.1 建物性能の改定

平成19年度の冷房導入に伴い、東京都では都立高校の新築における標準設計仕様を改定した。

表4に、改定により、材料が変更された部位の構成について示す。大きく変更された部位は、外壁と開口部である。外壁は、従来の無断熱から硬質ウレタンフォーム(吹付厚50mm)が加わった。開口部は、アルミサッシの単板ガラスからlow-e複層ガラス(空気層6)へ変更された。建物性能の向上により、冷房負荷低減を図ろうとしていることがわかる。

### 4.2 外壁・開口部の熱貫流率

表5に、外壁・開口部の熱貫流率を算出に用いた、材料の熱伝導率と厚さを、図11に改定前後の外壁・開口部における熱貫流率を示す。なお、壁厚は、打ち放しコンクリート・吹付タイルは高校ごとに異なるため、今回は150mm, 30mmと仮定した。また、室内側熱伝達率は $9[W/m^2 \cdot K]$ 、室外側熱伝達率は $23[W/m^2 \cdot K]$ とした。

外壁の熱貫流率(U)は断熱材が無いときの、 $U=3.712[W/m^2 \cdot K]$ に対し、断熱材を入れた場合、 $U=0.456[W/m^2 \cdot K]$ となり、従来の値の約10%にまで小さくなっている。開口部は、low-eガラスの導入により、 $U=6.51[W/m^2 \cdot K]$ から、 $U=3.49[W/m^2 \cdot K]$ となり、約1/2になっている。

### 4.3 二酸化炭素排出量の削減効果

#### 4.3.1 シミュレーション概要

平成19年度以降の都立高校は、最新の基準により建設されている。改定前における既存の学校を現行の基準に適用させた場合、どのくらいの省エネルギー効果が見込めるかを明らかにするため、国立教育政策研究所が作成した、学校施設が排出するCO2の量を計算する「FAST」\*1を使用して、省エネルギー効果を検討した。

表6には、計算モデルの概要及び計算モードを示す。case1は改定前を想定し、case2は改定後の断熱性能としたもので、case3はcase2に庇を追加したものである。

#### 4.3.2 シミュレーション結果

図12に、エアコンの熱源が電気及びガスの場合における計算結果を示す。冷房による二酸化炭素排出量は熱源に関係なく、暖房の半分程度になっていることがわかる。case1からcase2へ建物性能を向上させることで、冷暖房ともにエネルギーの削減効果が見られるが、特に暖房の効果が大きく全体で約10%削減される。

case3で、庇を設けると、冷房負荷は削減されるが、暖房負荷は増加するので、case2と同程度の排出量になる。よって、庇を導入する際には、他の手法とうまく組み合わせるといった工夫が必要である。

Table 4. Revision of standard design

Part	Composition [H.18]	Composition [H.19]
wall	exposed concrete , sprayed tile	exposed concrete , sprayed tile , polyurethane foam t50
window	single glass(aluminium sash)	low-e glass 8.6.8 (soundproof aluminium sash)

Table 5. Part composition

Part	Composition	Thermal conductivity [W/m·K]	Thickness [mm]
wall	exposed concrete	1.637	150
	sprayed tile	1.278	30
	polyurethane foam	0.026	50
window	single glass	U = 6.51	
	low-e glass 8.6.8	U = 3.49	

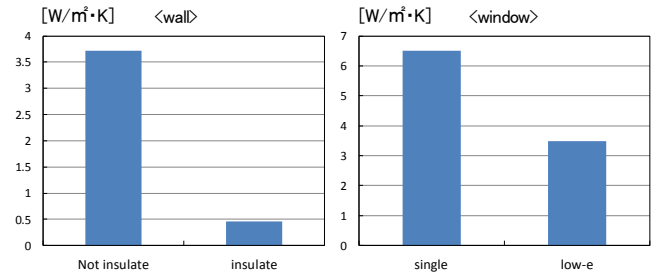


Fig 11 coefficient of overall heat transmission

Table 6. Calculation model outline and Simulation cases

form	side corridor	school personnel	40	insulation	glass	eaves	
class	20	total floor area	8000m <sup>2</sup>	case1	x	single	x
specific class	10	floor	4F	case2	○	low-e	x
student	700	building aspect	south	case3	○	low-e	○

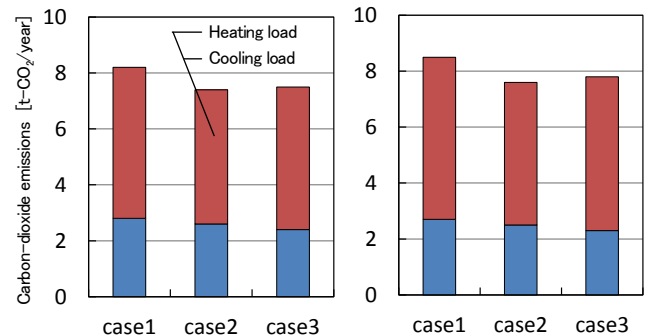


Fig 12 Carbon-dioxide emissions during year [EHP type , GHP type]

## 5. まとめ

冷房換気設備が導入されたことで、エネルギー消費量は約1割増加していることが示され、特に夏期ではその傾向が顕著に見られた。また、冷房が導入されたことにより、夏期における室内環境は改善されているといえるが、CO2濃度に関しては、年間を通して学校衛生基準の1500ppmを超える学校が多く見られ、空気質が悪化している学校がある。

標準仕様の改定後は、エネルギー消費を10%削減できることが示されたが、さらに大幅な削減をしていくには、設備や運用面からも検討していく必要があるといえる。

～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皆様へ、ここを記して謝意を表します。

【参考文献】 \*1: 国立教育政策研究所 <http://www.nier.go.jp/index.html>

熊谷 俊, 須永 修通, 山本 康友: 都立高校のエネルギー消費削減に関する研究 その1 エネルギー消費の現状と普通教室への冷房導入の影響, 日本建築学会, 2011, 8