

3 都立高校における省エネルギー設計指針のための基礎的検討

学生員 ○ 熊谷 俊（首都大学東京）
山本 康友（首都大学東京）

会員 須永 修通（首都大学東京）

Fundamental Study on Energy Saving Guideline for High Schools in Tokyo

Shun KUMAGAI*, Nobuyuki SUNAGA* 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, 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, is shown some results of fundamental study on the establishment of energy saving guideline.

キーワード：学校建築，エネルギー消費量，建築仕様，設計指針，シミュレーション

Keywords : School Building, Energy Consumption, Architectural specification Design Guideline, Simulation

1. 研究の背景と目的

都立高校は普通・総合・商業・工業高校から構成されており、190校(平成22年度)ある。これらの都立高校では、ヒートアイランド現象などによる夏季の暑さ対策として冷房・換気設備が導入されたため、エネルギー消費量が増加した¹⁾。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、ZEB化を視野に入れながら、適切な改修

方法や運用方法を提案することを目的とし、様々な検討を行っている¹⁾²⁾。

ZEB化を目指すには、徹底した省エネルギーと太陽光発電などの創エネルギーが必要となる。本報では、まず2011年の大震災によるエネルギー消費量の低下を示した後、照明による節電効果、校舎屋上の利用可能性、およびこれまでの研究で最も重要と考えられた外壁の断熱と庇の出による省エネルギー効果についての検討結果を示す。

2. エネルギー消費量の推移と震災の影響

エネルギー消費量の解析には、東京都より提供されたデータを用いている。このデータには全都立高校の平成17年度から23年度までの7年間分のエネルギー源別の使用量が月ごとに示されている。

図1に、平成17～23年度のエネルギー消費量の総量とエネルギー消費原単位を示す。平成23年度は、3月11

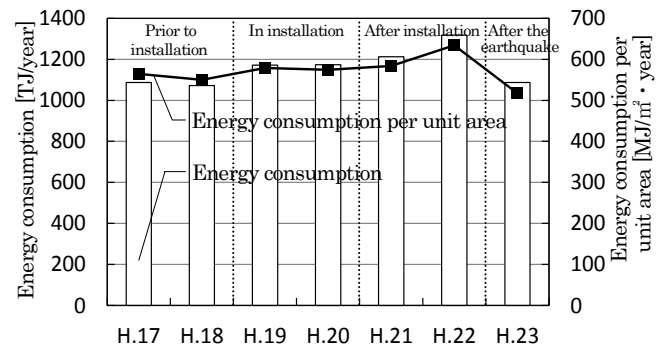
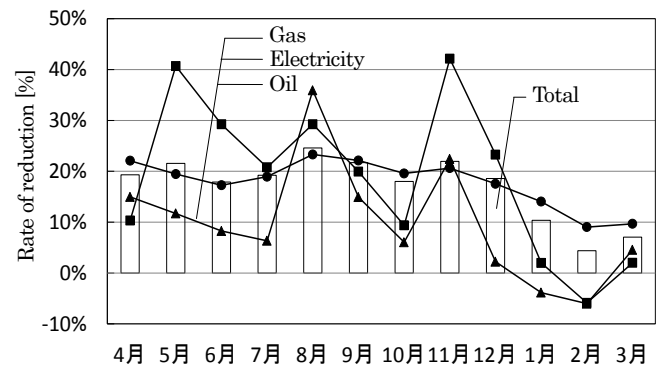


Fig.1 Total amount of energy consumption



$$\text{Rate of reduction [\%]} = \left(1 - \frac{\text{Energy consumption in 2011 [MJ]}}{\text{Average of energy consumption in 2009 and 2010 [MJ]}} \right) \times 100[\%]$$

Fig.2 Rate of reduction in energy consumption

日に発生した東日本大震災により、節電や省エネルギーを強いられたため、前年比17%減と大幅にエネルギー消費量が少なくなっている。

平成23年度の各熱源のエネルギー消費量を平成21、22年度の平均値と比較した削減率を計算し、その推移を図2に示す。

電気消費量では4, 8, 9月、ガス消費量では5, 11月、プロパン消費量では8月の削減率が高い。1月以降は削減量が小さくなっているが、気象条件は例年通りであったため、教職員・生徒の省エネルギーに対する意識の薄れなどがこの原因と考えられる。

ここで中間期(4. 5. 10. 11月)の削減率をみると、夏期に近い削減量が図れている。中間期は空調を使用する日が少ないため、この中間期の運用方法を年間通して行うことができれば、省エネルギー(運用)を定着させることができると思われる。

3. 照明エネルギー削減の検討

中間期の省エネルギーを考える際、学校建築ではエネルギー消費に対する照明の占める割合が大きい。そこで、照明エネルギーの削減手法について試算した。その結果を図3に示す。

都立高校の現状で最も多いFLR型の照明からHf型に変更することで、約25%の削減が見込める。運用方法では、昼間窓に近い1列を消灯すると約15%の削減、また是非は別として、昼休みに全消灯すると約2%削減できる。これらを合わせると、FLR型を全灯させた場合と比較して照明エネルギーの約43%削減となり、これは、学校全体のエネルギー消費量の約13%に相当する。

4. 都立高校の屋上の使用状況

図4に、都立高校の屋上の使用状況を示す。屋上が活用されていない高校が半数以上を占めており、室外機の設置や屋上緑化など屋上空間が十分に活用されている学校は約20%であった。また、新たに冷房が導入された高校では、全体と比較して、屋上が活用されていない割合が約10%高くなっている。

図5には、築年別別の屋上の未利用面積割合を示す。屋上の80%以上が活用されていない学校が100校以上あり、その内1970年代と1980年代が占める割合が高い。構造・耐震的な問題があると思うが、このような未使用部分に太陽光発電パネルを搭載すれば、多くの発電量を期待できるといえる。

また、築年数が新しくなるにつれて、屋上の未利用面積は減少傾向にあり、未利用面積が20%以下の学校は、1990年代以降のみとなる。

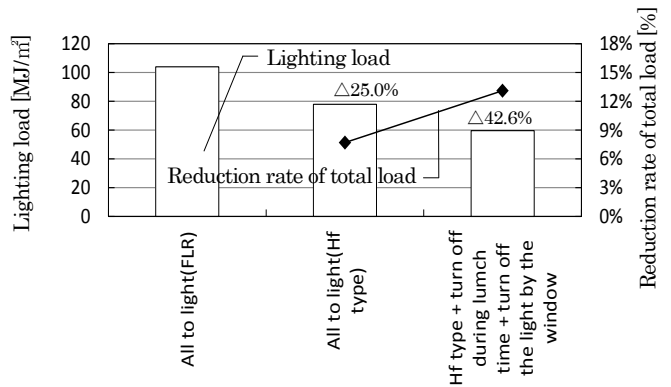


Fig.3 Study of saving energy of lighting

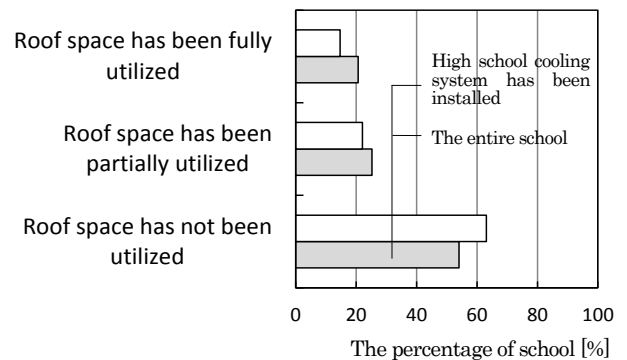


Fig.4 Usage of the roof

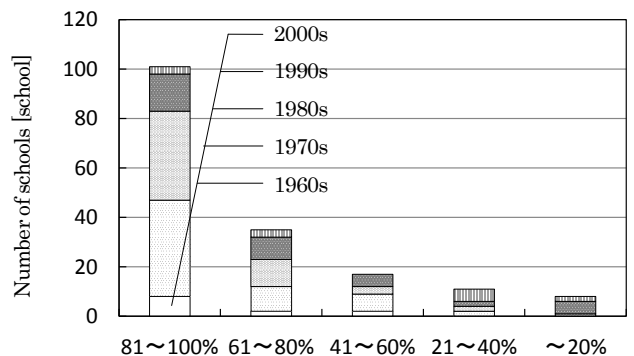


Fig.5 Residual space of the roof

Table.1 Outline of simulation model

Structure	Reinforced Concrete	
Number of floor, Total floor area	4F, 8500m ²	
Use time on weekdays	Class room	8:00~15:30
	Staff room	8:00~20:00
Usage of holiday	Not open the region	
Long vacation period	Summer vacation	7/20~8/31
	Winter vacation	12/24~1/8
Air conditioning period	Cooling period	6/1~9/30
	Heating period	12/1~2/28

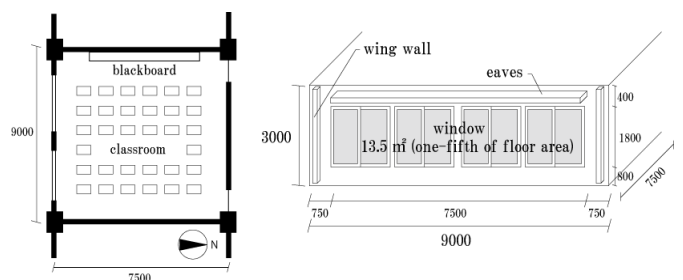


Fig.6 Simulation model (Left: plan Right: facade)

5. 外壁の断熱と庇の効果に関する検討

5.1 シミュレーションの概要と目的

都立高校における建物仕様の実態把握により、1980年までに建設された建物の多くは断熱や庇がないなど環境性能が低いことが明らかになっており、これらの改善が省エネルギー化を図る上で重要である。

そこで、外壁性能に関係する断熱材と庇に着目し、省エネルギー化に向けた検討を行った。解析には、Building Energy Simulation Tool (BEST)を用いた。表1～3と図6に設定条件およびモデル図を示す。構造・階数・延床面積に関しては東京都の標準仕様を、それ以外の項目に関しては「学校ゼロエネルギー化推進委員会の報告書」³⁾を参考としている。

5.2 シミュレーション結果

5.2.1 断熱材厚さの検討

図7には、断熱材(硬質ウレタンフォーム)の厚さによる冷暖房負荷および無断熱と比較した際の冷暖房負荷削減率を示す。

断熱材が厚くなるほど、暖房負荷は減少するが、冷房負荷は増加傾向にある。断熱材が10mm入るだけでも無断熱と比較し、暖房負荷は約半分まで減少する。断熱材が50mmまでは、負荷削減率も上昇傾向であるが、それ以降は微増となるため、50mmが断熱材の厚さとして適切であると考えられる。

また、断熱材が50mm入ることで、無断熱と比較して、冷暖房負荷を23%削減できる。

5.2.2 庇長さの検討

図8には、断熱が50mmのモデルに関して、庇の長さ100mmごとに、冷暖房負荷および窓から2m離れた位置のPMV年間平均を示す。庇が長くなるにつれ、冷房負荷は減少、暖房負荷は増加傾向である。庇の長さが1200mm以上では、冷房負荷の減少よりも暖房負荷の増加が上回る。また、庇が長くなるにつれ、窓から2mのPMV年間平均は減少し、1200m以上で快適域に入る。

したがって、断熱(発泡ウレタン)厚が50mmの時、庇の長さは1200mmが省エネルギーおよび快適性、両方の観点から見て適切であると考えられる。

5.3. 断熱材と庇の長さの最適な組み合わせ

5.3.1 組み合わせの検討方法について

5.2の結果から、庇が長すぎると冷房負荷の減少より暖房負荷の増加が上回るため、庇の出は綿密に調整する必要がある。そこで、断熱材の厚さに応じた庇の長さを検討し、最適な外壁性能の検討を行った。検討方法として、断熱材を10～100mmまで10mmごと推移させ、かつ庇の長さを100～1500mmまで100mmごとに推移させることで、計150通りの外壁性能を算出した。

Table.2 Specifics of simulation model

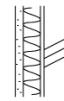
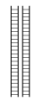


	External wall Sprayed tile t=20 Polyurethane foam t=0~100 Air Concrete t=150		Partition wall Plaster board t=12 Air Plaster board t=12
	Ceiling Concrete t=150 Plaster board t=12		Floor Carpet t=7 Concrete t=150
Window		Double-glazed Low-E glass U=2.3W/㎡.K	
Eaves and Wing wall		Length=0~1500mm	

Table.3 Calculation condition

Lighting load	FLR (20W/㎡)	Hf (15W/㎡)
Human load	0.5人/㎡	
Equipment load	10W/㎡	
Preset temperature	Cooling	28℃
	Heating	20℃

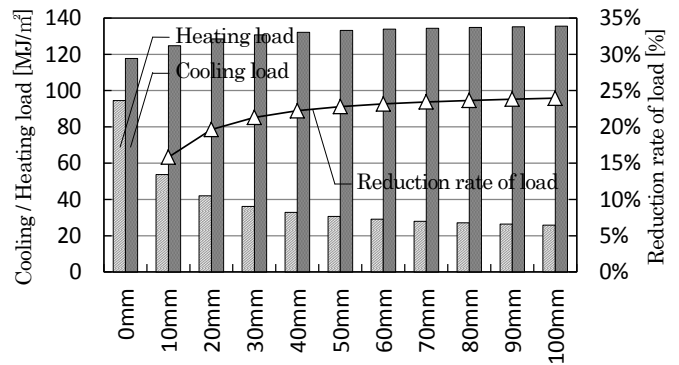


Fig.7 Study of the thickness of the insulation

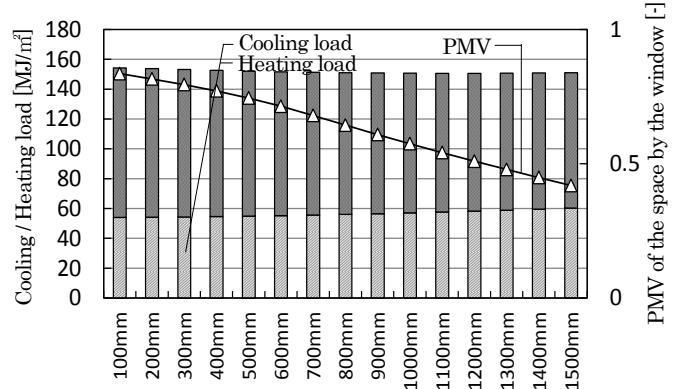


Fig.8 Study of the length of the eaves(South)

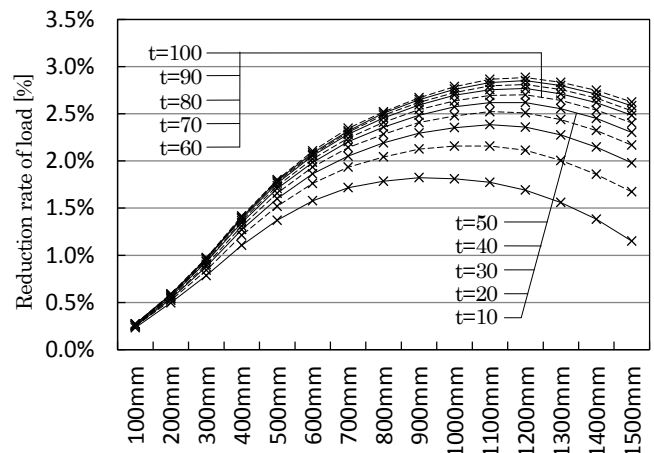


Fig.9 Relationship between the thickness of the insulation and the length of the eaves (South)

5.3.2. 検討結果

図9に、断熱材を10mm、庇を100mmごとに推移させた結果を示す。

断熱材が薄い場合には、庇が800~1000mmの時に最も省エネルギー効果が期待できる。しかし、断熱材が50mm以上では、庇の長さが1200mmの時にエネルギー削減率が最大となる。これより、断熱材の厚さに応じて適切な庇の出とすることが、省エネルギー化を図る上で有効であることがわかる。

表4には、最も省エネルギー効果が得られた、断熱材の厚さに対する庇の長さ、およびエネルギー削減率を示す。ここでのエネルギー削減率は無断熱・無庇の状態(case 0 とする)と比較した際の削減率である。

図10には、各caseの冷暖房負荷と室内の年間PMVを示し、図11には、case 0 の冷暖房負荷に対する各caseの削減率を示す。

断熱材が厚くなるにつれ、室内の年間PMVは増加傾向で、case 4以降で快適域外になる。また、冷房負荷の削減率に関しては各caseあまり変化が見られないが、暖房負荷は断熱材が厚くなるほど減少している。

しかし、case 5以降は削減率が横ばいになってしまうため、case 5以上の性能向上による大きな省エネルギー効果は見込めない。

5.4. 東面における庇・袖壁の長さの最適化

教室が東向きの場合についても、庇および袖壁の出を変えてその効果を検討した。図12に、東面における庇・袖壁の長さを100mmごとに推移させた場合の削減率を示す。庇が1000mm以下の場合には、袖壁と兼用した方がよいが、それ以上の長さになると、庇単独の場合と削減率はあまり変わらない。また、袖壁単独だけでは大幅な省エネルギー効果は期待できない。

6. まとめ

本研究によって得られた知見を以下に示す。

- i) 平成23年度のエネルギー消費量およびエネルギー消費原単位は、平成22年度比で約17%低下した。
- ii) 中間期における運用方法の確立が、省エネルギー化を定着させる上で重要であると考えられる。
- iii) 従来のFLR型を全灯させた場合と比較し、高性能Hf型と運用改善により、照明エネルギーの43%、学校全体のエネルギー消費では13%の削減が見込める。
- iv) 屋上が有効に活用されていない学校が100校以上あり、太陽光発電のポテンシャルがあるといえる。
- v) 今回の計算条件では、外壁の断熱材が硬質ウレタンフォームで50mm以上の場合、庇の出を1200mmとするのが適切であると考えられた。

Table.4 Appropriate combination the thickness of the insulation and the length of the eaves

	the thickness of the insulation	the length of the eaves	the amount of energy reduction
case1	10mm	900mm	25.0%
case2	20mm	1000mm	26.3%
case3	30mm	1100mm	27.0%
case4	40mm	1100mm	27.4%
case5	50mm	1200mm	27.6%
case6	60mm	1200mm	27.8%
case7	70mm	1200mm	27.9%
case8	80mm	1200mm	28.0%
case9	90mm	1200mm	28.1%
case10	100mm	1200mm	28.2%

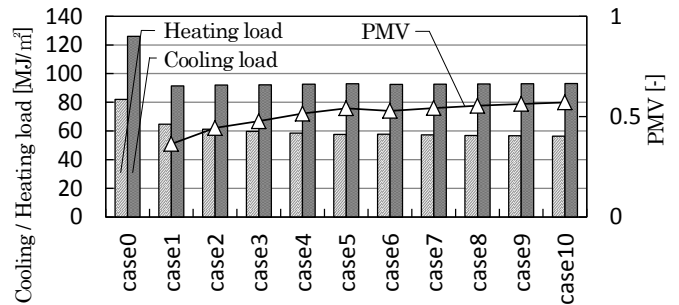


Fig.10 Result of cooling and heating loads and PMV in each case

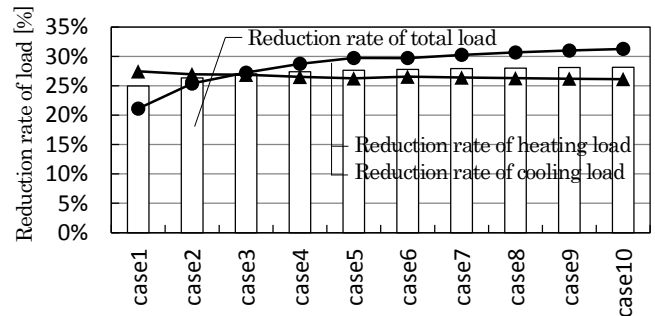


Fig.11 Rate of saving energy in each case

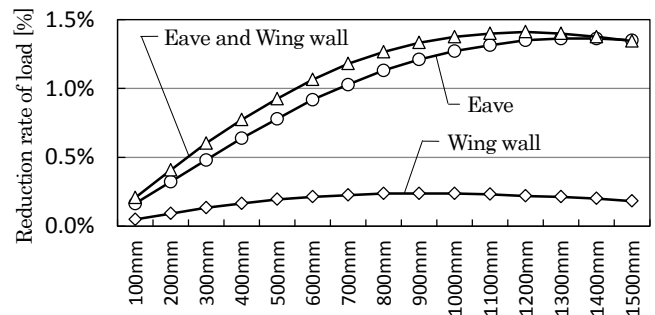


Fig.12 Effect of length of eave and wing wall (East)

【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・教育庁の皆様に、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と熱環境性能の実態把握に関する研究 空気調和衛生工学会講演論文集 2012.9
- 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 日本建築学会 2012.9
- 3) 学校ゼロエネルギー化推進委員会の報告書
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afiel_dfile/2012/06/15/1321285_05.pdf