

学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会

報告書

平成24年5月

学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会

学校ゼロエネルギー化推進方策検討委員会報告書 目次

はじめに	… 1
第1章 学校施設におけるゼロエネルギー化の実現手法の検討	… 2
1-1 基本情報の整理	… 2
1-2 学校施設におけるゼロエネルギー化実現手法の検討	… 5
1-3 ゼロエネルギー化実現手法による学校施設の防災機能への貢献	…39
第2章 環境教育、普及・啓発活動	…42
2-1 学校施設を活用した環境教育	…42
2-2 普及・啓発活動	…46
参考資料	

はじめに

環境問題は、人類の将来の生存と繁栄のため避けては通れない課題であり、恵み豊かな環境を守り、私たちの子孫に引き継いでいくためには、環境への負荷が少ない持続的発展が可能な社会を構築することが重要であります。

また、このような取り組みを強化していくさなか、2011年3月に東日本大震災が発生しました。この震災によって、電力供給力が大幅に減少し、これまで以上に、あらゆる局面で、可能な限り、省エネを進めていくことが不可欠となっております。

このため、住宅・建築物においても、これまで以上に省エネを徹底し、エネルギー負荷の低減を図るとともに、最低限必要なエネルギーについては、創エネ、蓄エネ等の技術を適用することで自立的に賄い、年間におけるエネルギー消費を実質上ゼロとする、ゼロエネルギー化を推進していくことが強く求められています。

学校施設は、地域に身近な公共施設として、児童生徒への環境教育の観点や災害時に防災拠点となる施設であることに加え、他の用途と比べ年間の一次エネルギー消費量が小さい傾向にあることなどから、良好な教育環境の確保を図りつつ、ゼロエネルギー化への取り組みを積極的に行う意義のある建築物の一つと考えられます。

そのような背景から、文部科学省と国土交通省が連携し、これまでの省エネに関する取り組みをより進めた、学校のゼロエネルギー化の実現可能性について示すことを目的とした外部有識者による委員会を設置し、検討を実施してまいりました。加えて、学校ゼロエネルギー化の対策技術による防災機能の貢献、学校施設を活用した環境教育についても検討を実施してまいりました。

本報告書は上記委員会による検討結果をとりまとめたものであり、本報告書が広く学校施設関係者に周知され、今後の学校施設づくりにおいて、実務に活用される有効な資料となることを期待しています。

本報告書における「ゼロエネルギー」の考え方

本報告書では、学校施設の年間での利用において消費する一次エネルギー消費量と、創出するエネルギーの一次エネルギー換算量との差し引きが、概ねゼロ以下である場合を「ゼロエネルギー」とし、シミュレーションを実施しています。

第1章 学校施設におけるゼロエネルギー化の実現手法の検討

1-1 基本情報の整理

1. 学校におけるエネルギー消費の状況

1) DECCデータベースによる用途別一次エネルギー消費量原単位

DECC (Data-base for Energy Consumption of Commercial building、非住宅建築物の環境関連データベース、H19年度データ) による建物用途別一次エネルギー消費量を表1、図1に示す。

学校施設は小・中学校、高校において、特に他の用途よりも一次エネルギー消費量が小さい傾向にある。

表1 建物用途別一次エネルギー消費量 [MJ/(年・㎡)]

建物用途		サンプル数	一次エネルギー消費量 [MJ/(年・㎡)]
事務所	事務所	851	1,862
	電算・情報センター	16	11,822
	官公庁	897	1,105
商業施設	デパート・スーパー	878	4,412
	物販その他	263	2,626
飲食施設		4	6,208
宿泊施設		475	2,706
病院施設		1014	2,478
教育施設	幼稚園・保育園	103	748
	小・中学校	1796	370
	高校	658	415
	大学・専門学校	263	1,023
	研究機関	5	2,050
文化施設	劇場・ホール	214	1,342
	展示施設	451	1,236
	スポーツ施設	117	1,700

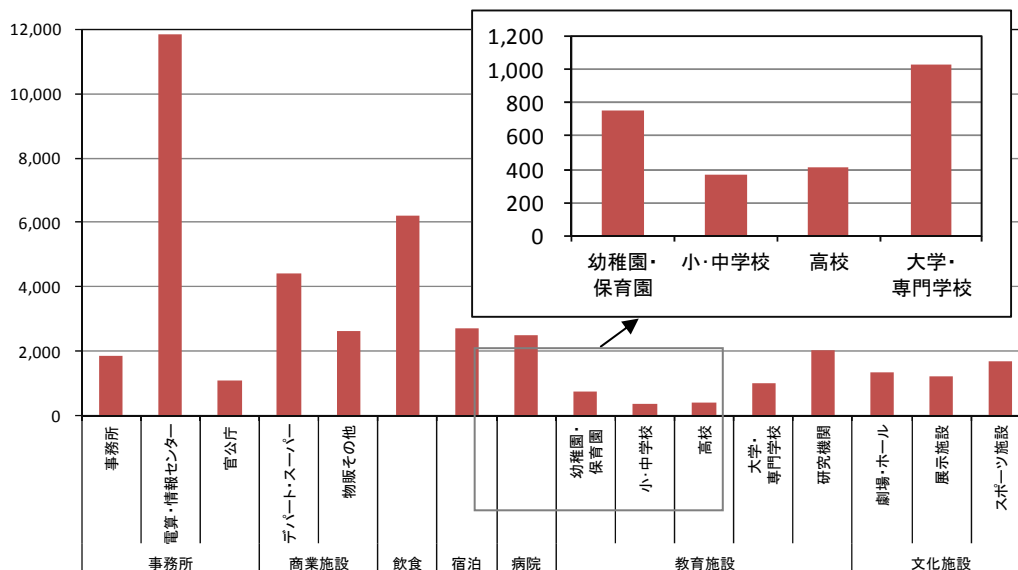


図1 建物用途別一次エネルギー消費量 [MJ/(年・㎡)]

2) 小・中学校、高校における地域別一次エネルギー消費量原単位

DECC (Data-base for Energy Consumption of Commercial building、非住宅建築物の環境関連データベース、H19年度データ) による小・中学校、高校における地域別の一次エネルギー消費量平均値を表2、図2に示す。

表2 小・中学校、高校における地域別一次エネルギー消費量[MJ/(年・㎡)]

地域	サンプル数		一次エネルギー消費量 [MJ/(年・㎡)]	
	小中学校	高校	小中学校	高校
全国	1796	658	370	415
北海道	288	133	573	508
東北	515	247	360	416
関東	582	80	338	426
中部	353	15	282	291
関西	24	67	245	383
中国・四国	28	39	357	308
九州	6	77	372	352

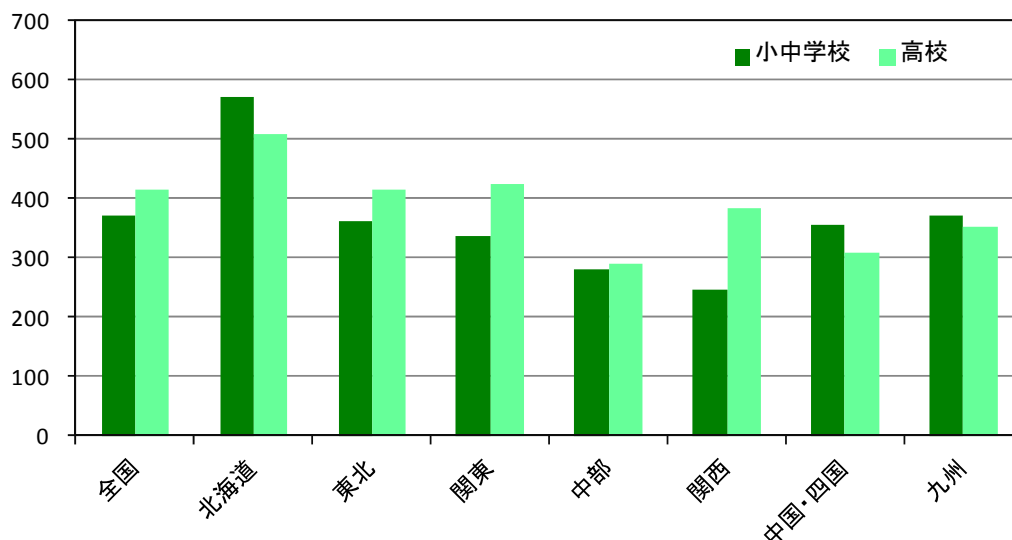


図2 小・中学校、高校における地域別一次エネルギー消費量 (MJ/(年・㎡))

3) 学校のストック数等について

【学校数】

幼稚園 13,299園(うち公立 5,024校)
 小学校 21,721校(うち公立 21,431校)
 中学校 10,751校(うち公立 9,915校)
 中等教育学校 49校(うち公立 28校)
 高等学校 5,060校(うち公立 3,724校)

(平成23年5月1日現在／平成23年度学校基本調査より)

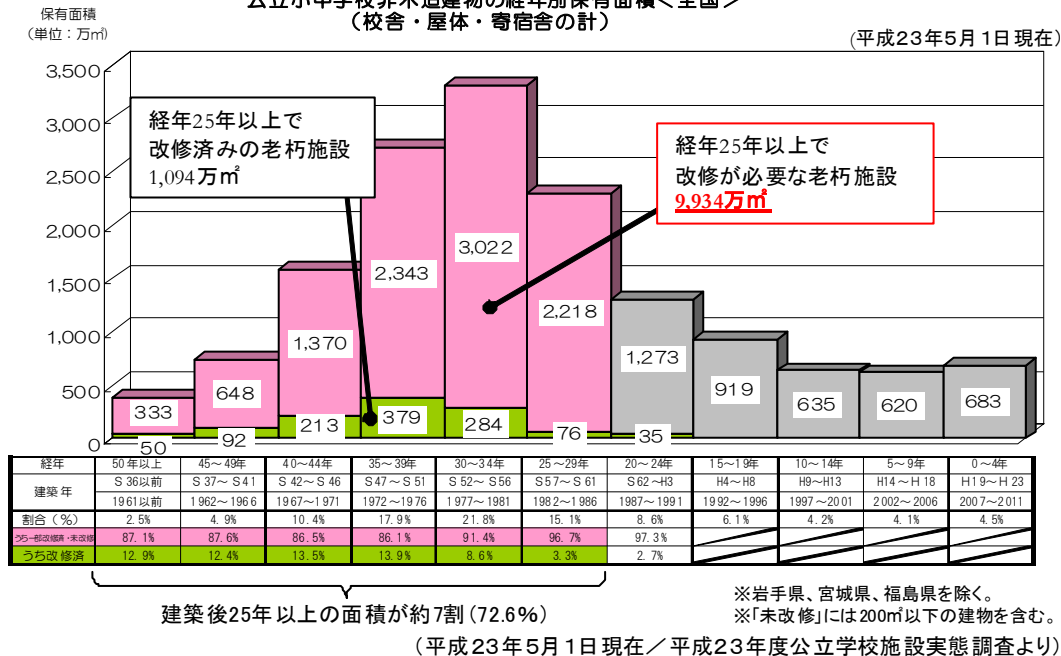
【公立学校施設の状況】

○保有面積(校舎・屋内運動場・寄宿舎、木造・非木造建物の計)

幼稚園 3,217千㎡
 小学校 96,482千㎡
 中学校 57,360千㎡※
 高等学校 41,990千㎡※

※中等教育学校の保有面積を含む

公立小中学校非木造建物の経年別保有面積<全国>
 (校舎・屋体・寄宿舎の計)



【整備状況】

○エコスクールパイロット・モデル事業認定校(累計)

1,340校(平成24年4月現在)

H9	H10	H11	H12	H13	H14	H15	H16	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	計
18	20	20	41	58	88	97	98	101	70	79	104	157	175	134	80	1,340

○平成21年度に新增改築工事※が完成した公立小中学校の学校数及び面積

……518校、約148万㎡

※「エネルギーの使用の合理化に関する法律」による届出の対象となる300㎡以上の建物

1-2 学校施設におけるゼロエネルギー化の実現手法の検討

1. シミュレーションの目的

学校施設（主に小中学校を対象）を対象にゼロエネルギー化の実現可能性について、シミュレーションにより検討を行うとともに、その実現方法と建築・設備計画のあり方について解説を行い、今後の新築、改築、改修設計等に対するあるべき方向性について検討を行う。

2. 学校施設のエネルギー消費に係る特徴

他の建築物（業務用建物）と比較して、学校施設のエネルギー消費構造に係る特徴としては主に以下の点等が挙げられる。

1) 利用上の特徴

- ①使用時間が短い
- ②冷房の期間が短い
- ③児童生徒等の移動に伴い、室の使用時間が多様である
- ④スポーツ施設を有する
- ⑤利用者側に設備の技術専門家がない

2) 建築的特徴

- ①低層建築である場合が多い
- ②延べ床面積に対する窓面積の比率が高い
- ③空間的な連続性（教室と共用部等）が高い
- ④天井が高い

3) エネルギー消費構造上の特徴

- ①照明のエネルギー消費量の比率が大きい
- ②冷房よりも暖房におけるエネルギー消費量が大きい

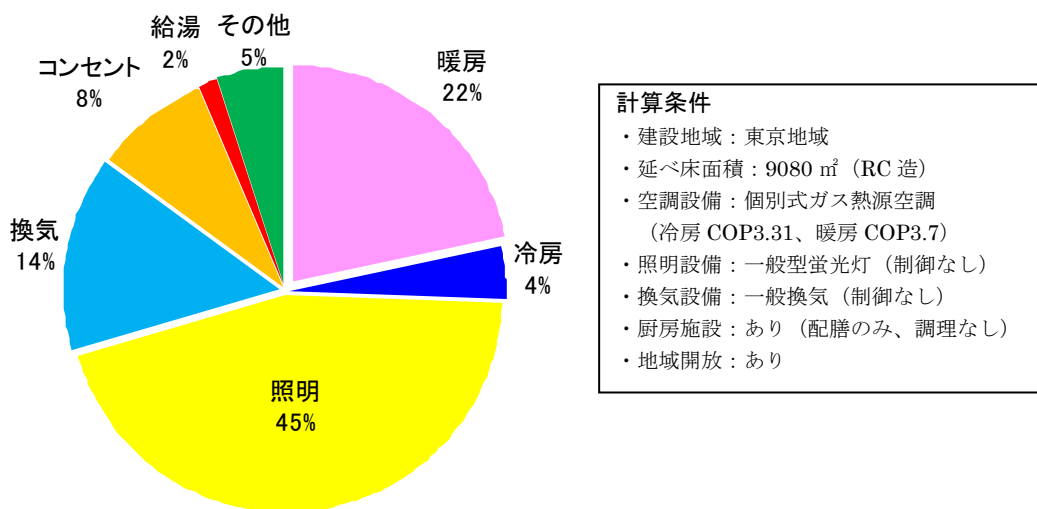


図 2.1 学校施設のエネルギー消費量（年間）の内訳例

3. ゼロエネルギー化の検討

1) ゼロエネルギー化の考え方

(1) 一般的な考え方

建築物のゼロエネルギー化を推進するためには、主に以下の視点からの徹底的な取り組みが必要である。なお、「はじめに」に記載のとおり、本報告書では、学校施設の年間での利用による一次エネルギー消費量と、創出するエネルギーの一次エネルギー換算量の差し引きが、概ねゼロ以下である場合を「ゼロエネルギー」とし、シミュレーションを実施している。

視点1：徹底的な省エネルギー（図3.1 青）

①パッシブ手法による負荷抑制

ゼロエネルギー化を推進する上では、まず建物側での工夫や適正な使い方等によるパッシブ手法を取り入れ、可能な限り負荷を抑制し、自然エネルギーを利用することが望ましい。

②アクティブ手法による省エネルギー化

パッシブ手法により最小化された負荷を未利用エネルギー、再生可能エネルギーの利用及び高効率設備の導入により可能な限り省エネルギー化を図る。

視点2：創エネルギー、蓄エネルギーによるゼロエネルギー化（図3.1 橙）

省エネルギー対策では削減しきれない、最低限必要となるエネルギー消費に対しては、創エネルギー、蓄エネルギーの技術により年間でのゼロエネルギー化を図る。

視点3：的確なエネルギーマネジメントによるゼロエネルギー化実現性の担保（図3.1 桃）

ゼロエネルギー化の実現は、建築・設備の取り組みにより自動的に成し得る訳ではなく、利用状況も勘案した利用側の適正かつ的確なマネジメントも必要と考えられる。このため、様々な「見える化」の手法を導入し、施設の利用者及び管理者による適切な管理を促す。また、これらの取り組みは児童生徒等の環境教育への活用や学校から家庭・地域への波及についても考慮する。

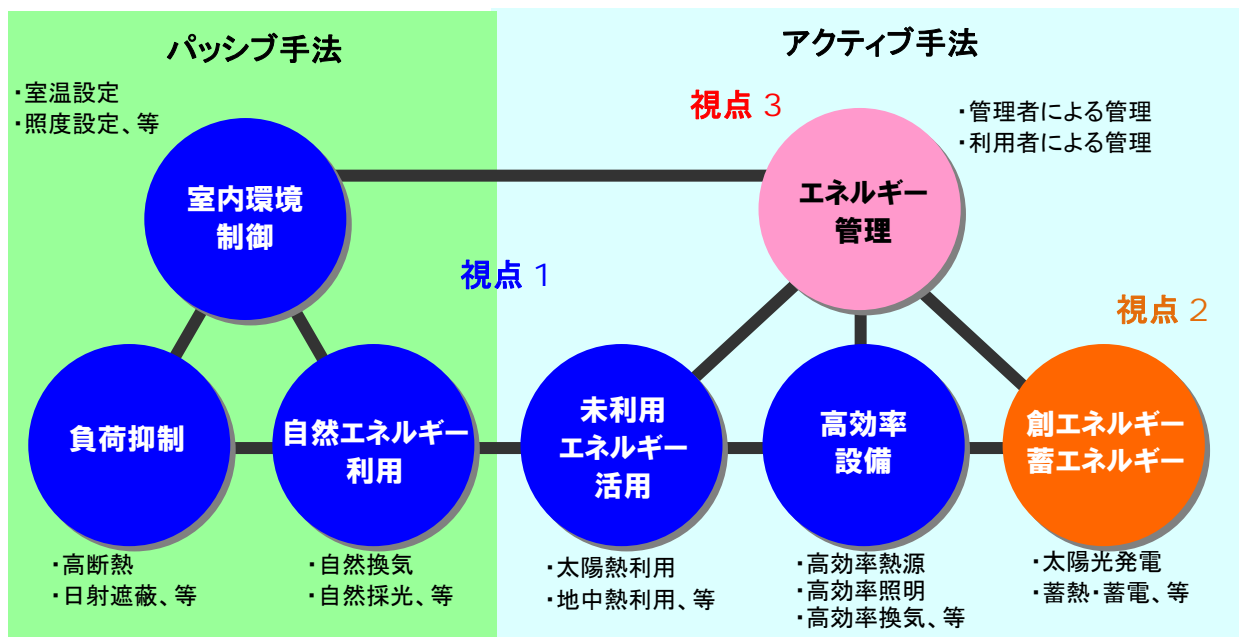


図3.1 ゼロエネルギー化を推進する技術要素・手法

(2) 学校施設におけるゼロエネルギー化実現の考え方

学校施設におけるゼロエネルギー化を実現するためには、学校のエネルギー消費構造に係る特徴、学校の利用状況等を勘案した検討と留意事項に配慮し、かつ環境教育に根差した対策の選択などが必要になる。

そのため、以下のように削減すべき消費エネルギー項目の対象等を決定し、経済性も勘案した上で、オーバースペックとならないよう、計画に応じて適切に省エネルギー技術を導入していくことが望まれる。

①学校の平均的なエネルギー使用状況から重点対象を決定する。

学校のエネルギー消費源の7割以上が電力由来であり、東京地域でのモデル学校における年間エネルギー消費量の構成は、照明45%、暖房22%、換気14%、冷房4%、その他（コンセント、給湯、コピー機等）15%（図2.1）であることから、重点的に省エネルギーを推し進める順位は以下とする。なお、給食室等の運営方式や施設の有無により各学校で異なる要素については、ここでは考慮しない。

■学校施設において対策を優先すべき消費エネルギー項目

1. 照明エネルギー消費量の削減
2. 暖冷房エネルギー消費量の削減
3. 換気エネルギー消費量の削減

②ライフサイクルでの経済性（初期投資額の増加、光熱水費の削減、運用段階の経費の削減、メンテナンスコストの増額等）に配慮した対策により現状のエネルギー消費を最大50%程度低減することを目指し、その残り50%を創エネルギーにより補うことを目標としてシミュレーションを行う。

2) ゼロエネルギー化の可能性検討のためのシミュレーション

前節の考え方により、ゼロエネルギー化の実現可能性を確認するためのシミュレーションを行う。

シミュレーションは代表的な地域として温暖地、寒冷地を対象とし、RC造、木造について以下のケースを検討する。表3.1～3.3に検討する対策ケースでの条件設定や仕様・省エネルギー技術の導入内容を示す。

現状の一般的な建築・設備仕様（標準仕様）に対して、標準努力対策においては、建物の基本的性能を高める建築的手法及び経済性に優れた設備技術を全面的に導入する。

最大努力対策では、ゼロエネルギー化を目的として、建築・設備の統合的工夫が求められるパッシブ技術や室内の快適性を確保しながら省エネルギーを図る設備項目に加えて、大規模な太陽光発電設備の導入について検討する。

ケース1	標準仕様	: 2000年以降程度の一般的な建築・設備仕様
ケース2	標準努力対策	: 今後の施設整備において導入が見込まれる建築・設備仕様
ケース3	最大努力対策	: ゼロエネルギー化の実現を目的とした建築・設備仕様

表 3.1 共通条件・標準的な運用条件

構造階数（面積）	RC 造地上 3 階建て（約 9,000 m ² ）、木造 2 階建て（約 5,000 m ² ）
主な室数	RC 造：普通教室 24 室、木造：普通教室 6 室
地域	東京地域（温暖地）、仙台地域（寒冷地）
空調方式	個別熱源方式
平日の使用時間	普通教室：8:00～15:30 管理諸室：8:00～20:00 ※体育館・特別教室の地域開放なし
休日	土日祝日は校舎を未使用
長期休暇期間	夏休み(7/20～8/31) 冬休み（12/24～1/8） ただし、管理諸室は 8:00～17:00
暖冷房期間	暖房：東京地域（温暖地）：12/1～2/28 仙台地域（寒冷地）：11/1～3/31 冷房：両地域 : 6/1～9/30

表 3.2 標準ケース

項目	仕様
建築仕様	躯体の断熱水準 屋根：40mm、外壁：20mm （押出法ポリスチレンフォーム 2 種 b） 床：無断熱
	開口部 単層ガラス（6mm）
	庇 バルコニー兼庇
	屋上緑化 一部、採用
設備仕様	暖房方式 普通教室：FF 石油ファンヒーター 特別教室：エアコン（一般効率） 管理諸室：エアコン（一般効率）
	冷房方式 普通教室：冷房なし 特別教室：エアコン（一般効率） 管理諸室：エアコン（一般効率）
	換気方式 換気扇（24 時間換気）、制御なし
	照明方式 一般型蛍光灯（各諸室共通）、調光制御なし
	太陽光発電設備 なし

表 3.3 検討ケース（適用技術例）

項目		省エネルギー 導入内容	再生可能エネルギー 導入内容	
標準努力 対策	建築仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・外壁・屋根の高断熱化 ・床の断熱化 ・開口部の複層化（Low-E 複層ガラス等） ・日射遮蔽材の採用 ・移動空間の気密性向上 	太陽光発電 20kW	
	設備 仕様	暖冷房 方式		<ul style="list-style-type: none"> ・高効率熱源機器の採用 ・全熱交換器の採用 (普通教室の冷房化*1)
		照明 方式		<ul style="list-style-type: none"> ・高効率照明器具の採用 ・初期照度補正 ・人感センサー制御（トイレ等） ・高効率誘導灯
		換気 方式		<ul style="list-style-type: none"> ・換気ファンの発停制御
最大努力 対策*2	建築仕様	<ul style="list-style-type: none"> ・基礎の断熱化 ・自然換気を誘発する建築計画 ・昼光を取り入れる開口計画 (ライトシェルフ) 	太陽熱集熱装置 太陽光発電(大規模)	
	設備 仕様	暖冷房 方式		<ul style="list-style-type: none"> ・熱源室外機水噴霧装置 ・潜熱顕熱分離空調
		照明 方式		<ul style="list-style-type: none"> ・明るさセンサー制御
		その他		<ul style="list-style-type: none"> ・簡易 BEMS*3・見える化装置
運用時の工夫	<ul style="list-style-type: none"> ・暖冷房時間のシフト 			

*1 個別熱源方式により暖冷房を前提とした空調設備を想定する。

*2 最大努力対策は、標準努力対策に加え記載の対策技術を採用する。

*3 BEMS：建物のエネルギー管理システム（Building Energy Management System）

3) 試算結果の概要

(1) RC 造 (3階建て) の場合

①年間にける一次エネルギー消費量 (図 3.2、表 3.4)

シミュレーションでは、実在する学校施設をモデルとして、当学校に表 3.2 及び 3.3 の取り組みを適用した場合の年間の一次エネルギー消費量と、創出するエネルギーの一次エネルギー換算量を試算する。「6.最大努力対策における技術導入イメージ」に最大努力対策の概要図を示す。

東京地域 (温暖地)、仙台地域 (寒冷地) の両地域において最大努力対策ではゼロエネルギー化が実現される。東京、仙台の両地域において、標準努力対策では太陽光発電の導入も加えると標準仕様に比較して概ね 30%程度の省エネルギーが実現され、最大努力対策では省エネルギーで 50%程度、太陽光発電の導入を加えることで 100%強の省エネルギーとなる。

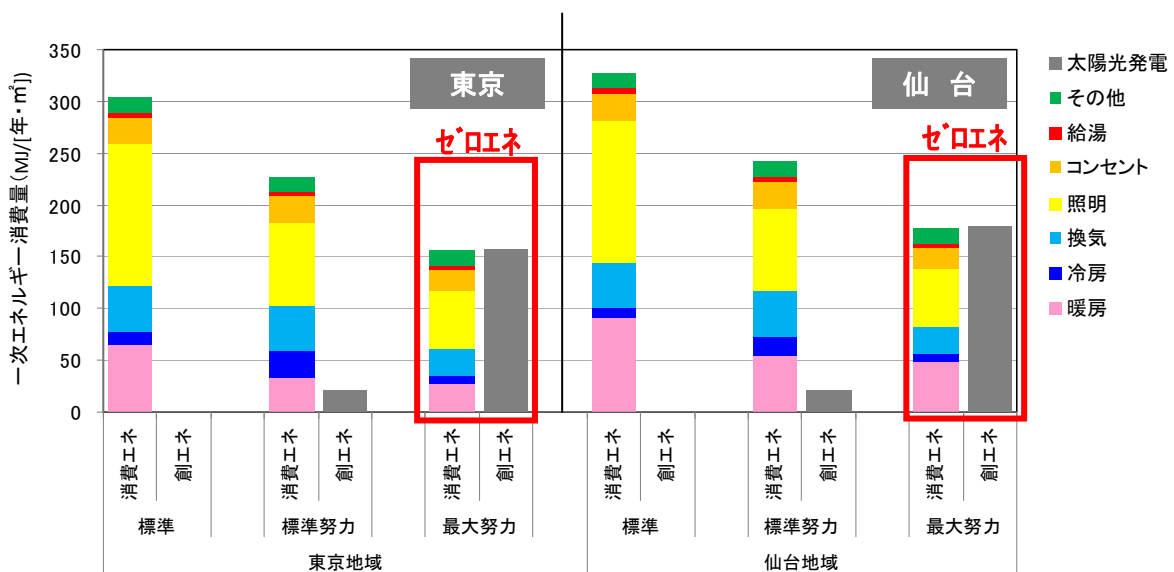


図 3.2 試算結果 (RC 造) での省エネルギー効果

表 3.4 試算結果 (RC 造) の内訳

項目		東京地域			仙台地域			備考
		標準	標準努力	最大努力	標準	標準努力	最大努力	
エネルギー 使用量 MJ/[年・㎡]	暖房	65.5	33.0	27.4	91.2	54.1	48.5	
	冷房	12.0	26.0	7.8	9.1	19.1	7.7	
	照明	137.4	79.8	55.6	137.4	79.8	55.6	
	換気	43.9	43.9	26.4	43.9	43.9	26.4	
	コンセント	25.6	25.6	20.5	25.6	25.6	20.5	
	給湯	4.7	4.2	4.2	5.6	5.0	5.0	
	その他	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	
	合計	304.1	227.5	156.7	327.8	242.4	178.5	
	省エネルギー率		25%	48%		26%	46%	
創エネ対策 による効果	太陽光発電パネル		-21.5	-157.0		-21.5	-179.2	
	合計		205.9	-0.3		220.9	-0.7	
	省エネルギー率 (Net)		32%	100%		33%	100%	
	PVパネル容量 (kW)		20	146		20	167	
	PVパネル面積 (㎡)		112	816		112	932	

*PV パネル面積は、モジュール効率を 17.9%として算定

②晴天日（平日）における一次エネルギーの需給パターン（最大努力対策）

各シーズンの晴天日におけるエネルギー消費パターンと太陽光発電による発電パターンを図 3.3 に示す。暖冷房期間においては発電に対して、各時刻で消費エネルギーが上回るものの、中間期、長期休暇期間などにおいては昼間の時間帯においてはエネルギー消費が下回る。また、特に 8 月（夏休み期間）については、夏場の電力需要のピークカットに貢献している結果となっている。

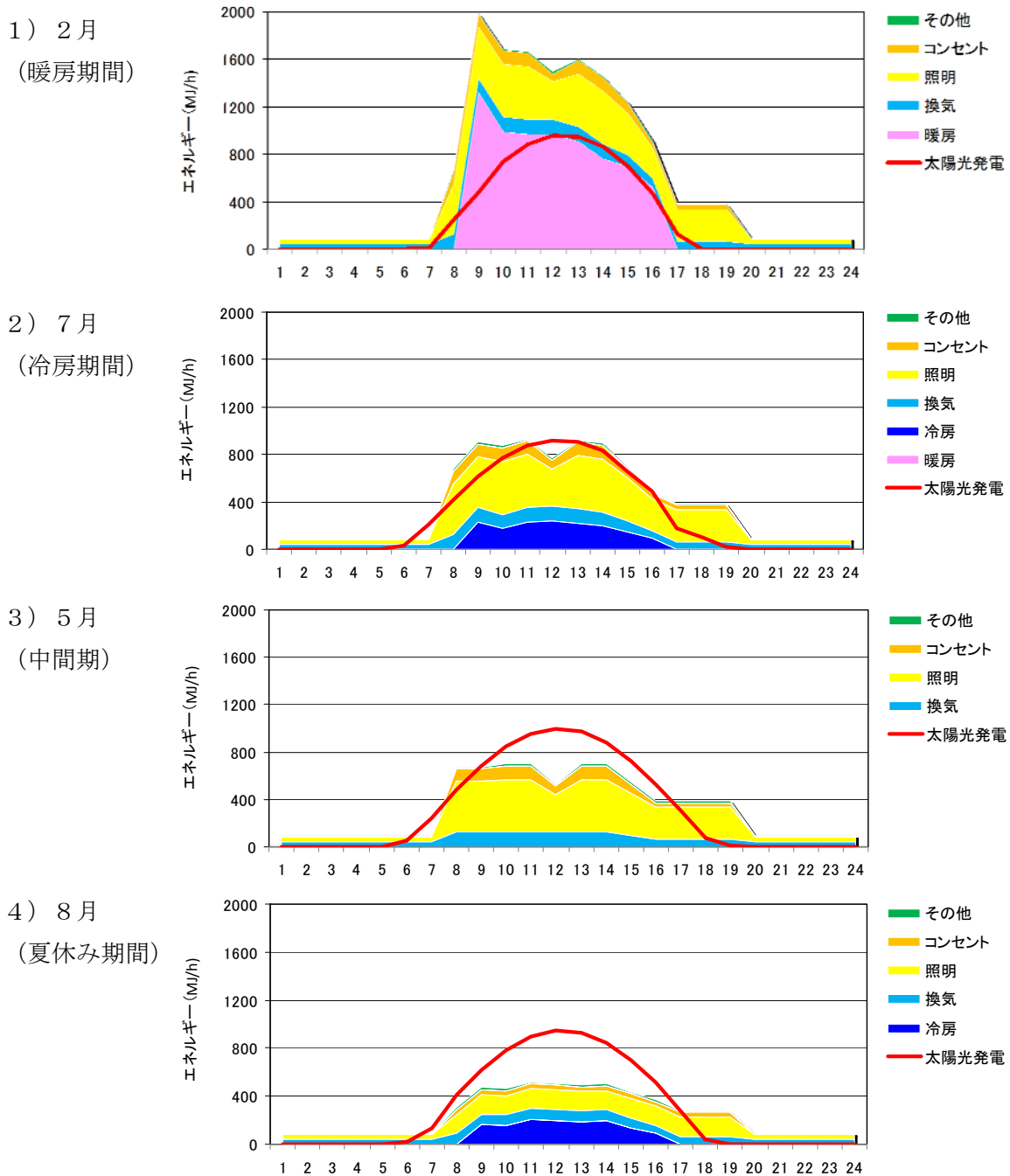


図 3.3 各月平日の晴天日におけるエネルギーの時刻別需給パターン（東京地域、定格出力 146kW）

(2) 木造（2階建て）の場合

①年間における一次エネルギー消費量（図 3.4、表 3.5）

シミュレーションでは、実在する学校施設をモデルとして、当学校に表 3.2 及び 3.3 の取り組みを適用した場合の年間の一次エネルギー消費量と、創出するエネルギーの一次エネルギー換算量を試算する。「6.最大努力対策における技術導入イメージ」に最大努力対策の概要図を示す。

RC 造（3階建て）の場合と比べて、木造建築は 2 階建てとなり、床面積に対する外壁の面積比率が高まるため、エネルギー消費量に占める暖冷房の割合が高まる。また、本木造モデルは、RC 造モデルの場合と比べて、普通教室部分の割合が小さい。そのため、照明や換気など普通教室と比べて使用時間が長く、エネルギー使用密度が高い空間の比率が高まるため、床面積単位でのエネルギー消費量が全体的に大きくなっている。

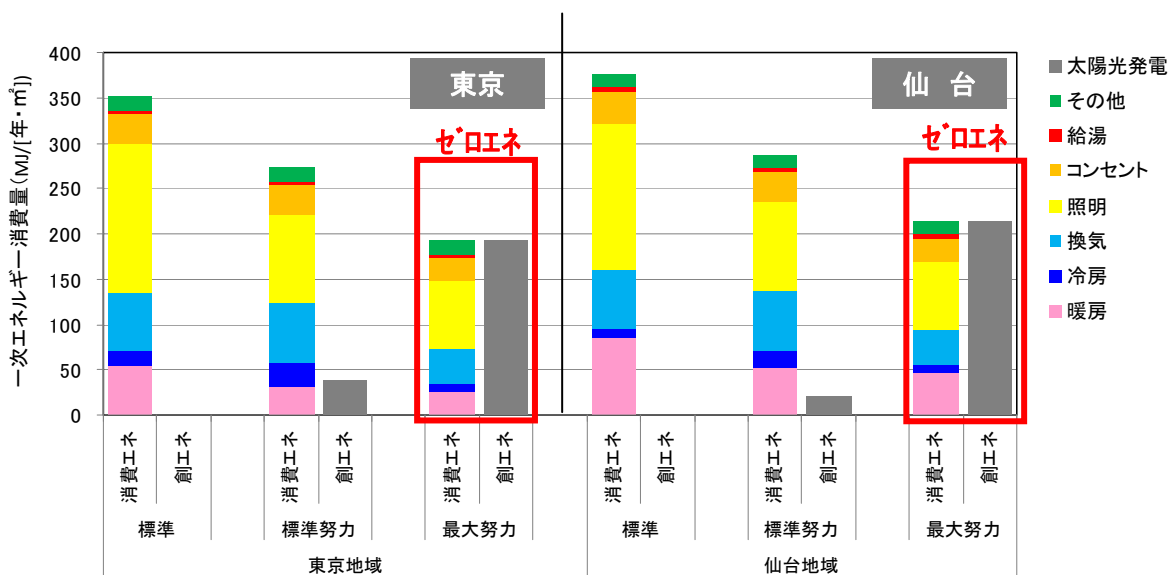


図 3.4 試算結果（木造）での省エネルギー効果

表 3.5 試算結果（木造）の内訳

項目	東京地域			仙台地域			備考
	標準	標準努力	最大努力	標準	標準努力	最大努力	
エネルギー 使用量 MJ/[年・㎡]	暖房	53.4	32.1	26.5	85.9	52.9	47.3
	冷房	17.5	26.2	7.9	9.3	19.1	7.8
	照明	162.2	97.6	74.0	162.2	97.6	74.0
	換気	65.2	65.2	39.1	65.2	65.2	39.1
	コンセント	33.2	33.2	26.6	33.2	33.2	26.6
	給湯	4.4	3.9	3.9	5.2	4.7	4.7
	その他	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0
	合計	351.0	273.1	193.1	376.1	287.6	214.5
	省エネルギー率		22%	45%		24%	43%
創エネ対策 による効果	太陽光発電パネル		-38.2	-193.2		-38.2	-214.7
	合計		234.9	-0.1		249.5	-0.2
	省エネルギー率 (Net)		33%	100%		34%	100%
	PVパネル容量 (kW)		20	101		20	112
	PVパネル面積 (㎡)		112	565		112	628

*PV パネル面積は、モジュール効率を 17.9%として算定

4. ゼロエネルギー化を実現する具体的対策例の解説と留意事項

学校施設のゼロエネルギー化を実現するための具体的な対策の代表事例と、それらを学校施設に導入する際の留意事項等について以下のとおりとりまとめる。特に児童生徒等の多様な行動に配慮した留意事項、新築だけでなく既存施設の改修に適用する場合の留意事項等についても必要に応じて補足している。

また、本項では、対策を優先すべきエネルギー項目ごとに、

「A.標準努力対策」：建物の基本的性能を高める建築的手法及び経済性に優れた設備技術である対策例

「B.最大努力対策」：建築・設備の統合的工夫が求められるパッシブ技術や室内の快適性を確保しながら省エネルギーを図る設備技術である対策例

「C.可能な場合取り入れる対策」：立地条件等の諸条件に応じた対策例

の順に、当該対策例に係る技術及び留意事項等を記載している。

なお、ゼロエネルギー化を目的とした学校施設の整備においては、東京地域や仙台地域における本シミュレーションを参考に、地域や学校の実情等を十分踏まえ、具体的な各種対策を効果的かつ適切に採用することが重要である。

また、断熱材の厚さ等については、構造体の種類に応じて、さらに有効な手法を用いることを妨げるものではない。

【各項目共通の留意点】

- ・ゼロエネルギー化の取り組みは、常時の使用においてオーバースペックとならないよう、費用対効果を考慮し計画すると共に、積極的な教育への活用に配慮し、導入の検討を行う。
- ・日別や月別の電力消費データを蓄積し、省エネ目標値の達成率やルールの効果について評価を行い、随時、適切な運営状態を保つことが望ましい。
- ・学校施設を常に教育の場として好ましい状態に維持するためには、日常の点検・補修及び定期的な維持修繕が必要であり、これらを行いやすい計画とする。
- ・学校施設のゼロエネルギー化のための建築的工夫や設備等の導入に当たっては、児童生徒等の行動範囲、動作領域、人体寸法を考慮するとともに、心理的な影響も含めて計画する。
- ・児童生徒等の多様な行動に対し十分な安全性を確保し、安心感のある計画とするとともに、万が一事故が発生しても被害が最小限となるよう、配慮した計画とする。
- ・設備機器等については、児童生徒等の誤っての接触や教材・教具等の衝突などによる事故等の防止に十分留意して、機器、操作装置等の設置位置、高さ、仕様等を計画することが重要である。
- ・事故の危険性を内包する箇所は特に安全性を重視した分かりやすい計画とし、事故を誘発するような明確な構造的な欠陥はもとより、児童生徒等が予測しにくい危険を十分に除去しておく。
- ・可動部材、特に機械制御のものは十分に安全性が確保されていることを確認する。

4. 1 照明エネルギーの削減〔照明エネルギーの削減目標 最大 60%〕

学校施設は他の建物用途と比べても外壁面積に対する開口面積の比率が高く、利用時間の大半が日中となっている。照明器具の高効率化を図るとともに、昼光利用技術や自然光を取り入れる建築計画を行う。

A. 標準努力対策

A-1 照明器具の高効率化

総合効率が 100lm/W の HF インバータ蛍光ランプを採用し、器具効率（全光束/定格光束）が 0.6 以上（下面カバー付）・0.75 以上（ルーバー付）・0.9 以上（下面開放型）の器具を設置する。教室では 500lx、オープンスペースや職員室では 300lx の照度を確保する。初期照度補正機能付きの器具の設置を計画する。

【留意事項】

- ・LED 照明等の先端技術についても室内環境への影響等を勘案しつつ、設計手法や費用対効果等を考慮して随時導入を検討する。

A-2 照度センサー・人感センサー等の設置

ライトシェルフ等の昼光利用装置を取り入れた部分では、天候により十分な昼光利用が出来ない場合等を考慮し照度センサーを組み合わせる。共用部や職員室等では人感センサーを設置し、スイッチの切り忘れ等を防止する。

【留意事項】

- ・照明を積極的に消灯するためには、スイッチや制御の系統が、利用パターン、昼光率等の状況を勘案して計画される必要があり、設計段階で室の利用状況や室内昼光率等を十分に検討する。

B. 最大努力対策

B-1 昼光利用

教室などで、昼光利用と窓際からの段階的な照明制御等を行い、照明エネルギーを削減する。直射日光によるグレアや冷房効率の低下が生じないように、天空光や反射光を取り入れる。反射光については、内装仕上げの反射率が「天井面 70%以上、床面 10%以上、壁面 30%以上」となる内装仕上げを選択する。

①ライトシェルフ

ライトシェルフは、その上面に太陽光が反射して天井部に導光し部屋の照度を上げるとともに、夏期の日射を遮蔽する機能がある。ライトシェルフによる昼光導入により南面で30%以上の照明の消費エネルギーを削減する。底の形状（底深さ 40・60・90・120cm）、窓面方位を変更した場合の照度計算の試算例を図4.3に示す。開口部のグレア（まぶしさ）防止を考慮した場合においても、自然光の昼光有効率は南面で最も高く、30%以上となる。

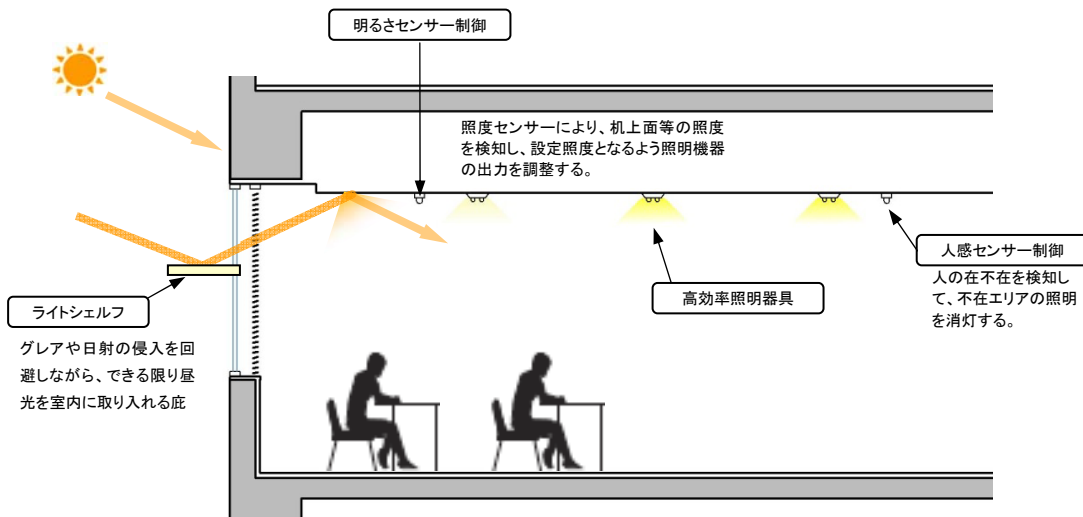


図 4.1 教室における照明エネルギー削減対策

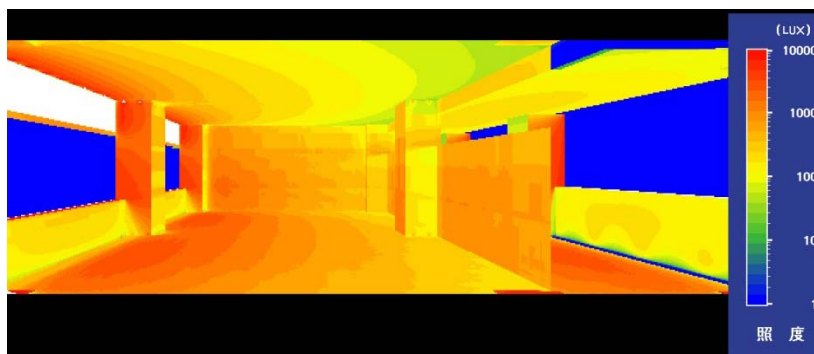


図 4.2 普通教室におけるライトシェルフによる昼光利用時の壁面照度の計算結果例

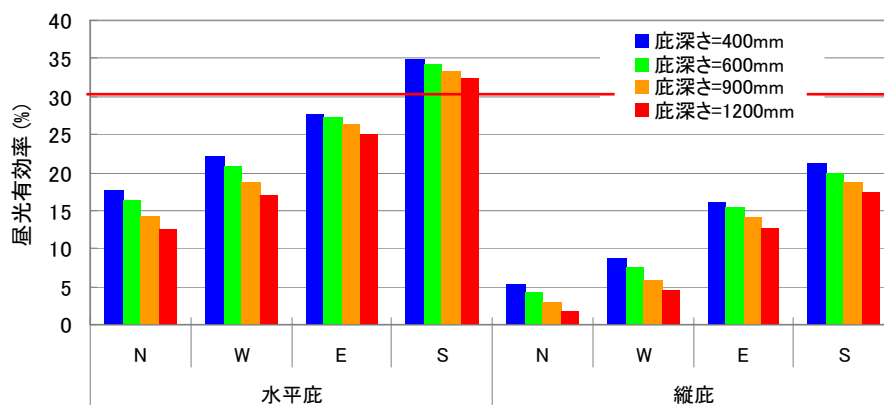


図 4.3 ライトシェルフの形状に応じた昼光有効率（人工照明消灯率）

【留意事項】

- ・ 昼光にて机上面が適正な照度を確保しても、視野角内の窓面などとの相対輝度差が大きいと、感覚的には暗く感じるため、欄間窓にすりガラスを用いるなど眩しさを除去しつつ、最大限昼光を取り入れる工夫が必要である。
- ・ 黒板は光の反射を抑える曲面黒板などを用いて、見えやすさに留意する。
- ・ 窓面は暖冷房の観点から捉えると、大きな熱負荷要因になるため、暖冷房と照明のバランス及び室内環境に十分注意する。
- ・ 教室の内装材に木材系の材料を用いる場合は、光の反射率が材種によっては白色や淡色の壁面と比べて低減することに留意する。

表 4.1 建材の反射率

木材	反射率 (%)	壁仕上げ材・カーテン	反射率 (%)
杉 (新材)	30～50	淡色カーテン	30～50
檜 (新材)	55～65	淡色ペイント一般	30～70
		淡色壁紙	40～70

- ・ 小学校等では、窓面や壁面への児童生徒等の作品の掲示、夏場にカーテンを閉める等、計画通りの昼光が得られない場合もあるため、昼光利用制御等による省エネルギー対策の導入に当たっては、実際の運用状態を考慮し、留意することが必要である。
- ・ 照明設備は、落下防止措置を行うとともに、必要に応じ、破損防止の措置を講じることが重要である。特に、運動を行う室・空間の照明設備は、破損・落下防止の措置を講じるとともに、活動の支障とならない位置に堅固に取り付けることが重要である。

② トップライト・ハイサイドライト（天窗・頂側窓）

トップライト・ハイサイドライトの設置により最上階に導光し、人工照明の補助とする。

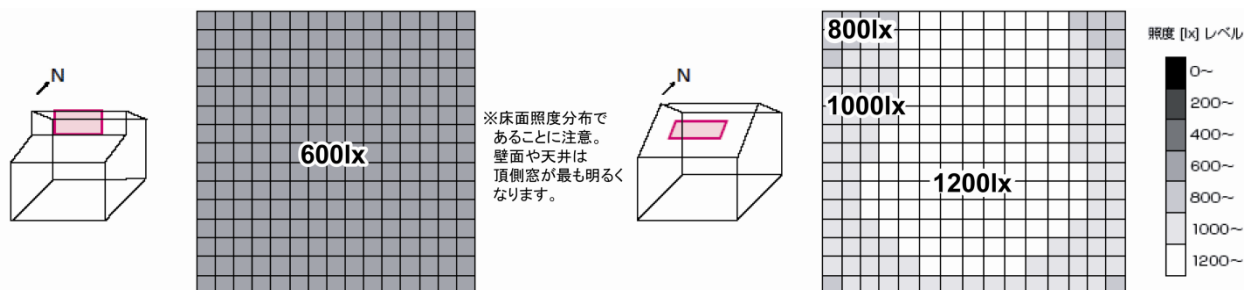


図 4.4 天窗と頂側窓の床面照度分布（自立循環型住宅への設計ガイドラインより）

【留意事項】

- ・直射光ではなく自然光を取り入れるため北面から導光する。北面以外に設ける場合は、直射光の影響を十分に考慮する。また、トップライト等は温度差を利用した自然換気等に寄与する上部換気窓として活用することも考えられる。
- ・トップライトを設ける場合は、直下の照度が強いため、ルーバー等で照度を調整する。
- ・積雪寒冷地等においては、トップライト・ハイサイドライトに積雪し、効果を発揮しない可能性があるため、積雪の安全な除去方法や、融雪の方法について考慮する。
- ・天窗は、夏季における温度の上昇、材料の性能劣化、地震時の破損・落下等について留意して計画することが重要である。
- ・人が乗ることを想定していない天窗は、設置場所や設置状況等を把握した上で、防護柵や落下防護ネットを設置するなど墜落防止に十分配慮した計画とすることが重要である。

C. その他の対策

C-1 アトリウム

建物中央にアトリウム等の吹き抜け空間を設けることにより、通常は昼光を取り入れることが難しい平面中央付近への採光が可能となる。計画上設置可能な場合については採光可能な吹き抜けを積極的に採用する。

【留意事項】

- ・アトリウム等の計画を行う場合には、アトリウム上下の温度差を利用した自然換気なども併せて検討する。
- ・児童生徒等の乗り出し等による危険を回避する、落下防止策を講じる。

C-2 その他

昼光利用のための反射ミラー・採光ダクト・光ファイバー・プリズム等

4. 2 暖冷房エネルギーの削減〔暖冷房エネルギーの削減目標 最大 55%〕

建築物の年間熱負荷は、年間の外部から侵入する熱と内部で発生する熱に対し、建物外周の断熱性能と室温・湿度管理を含めた空調の性能により決まるため、断熱性能を向上し、空調機器の効率のよいものを採用する。

A. 標準努力対策

A-1 外皮断熱化

①屋根・外壁の断熱

RC 造の場合、ヒートブリッジの対策とコンクリートの熱容量を考慮すると外張断熱が有効な手法となる。図 4.5 などの試算例より、厚さ 40mm (熱抵抗値 $R=1.36$) から 60mm (熱抵抗値 $R=1.76$) 以上で断熱材の厚みを増しても総合熱損失係数に大きな向上は見込めない。

外断熱については、RC 造は熱抵抗値 $R=1.42$ となる断熱材を、木造は躯体の熱容量が異なるため熱抵抗値 $R=6.68$ (屋根)、 5.36 (外壁) となる断熱材をシミュレーションに用いた。(表 4.2: 参考仕様例)

【留意事項】

- ・木造の場合、住宅で培われた繊維系断熱材による充填断熱を行い、地域の気候に応じてさらに外張付加断熱とする方法が、一般的に外断熱のみとする場合よりコストパフォーマンスが高い。
- ・外断熱を採用した場合、内部に蓄積された熱の除去は困難であるため、通年の室内環境条件を勘案し、適切に自然換気等と組み合わせ、冷房負荷が増加しないよう注意する。
- ・表 4.2 の仕様例は特定地域での数値を示したものであり、寒冷地や暑熱地域などにおいては、現行の標準的な仕様に対して地域の気候条件に応じた更なる努力対策が求められる。

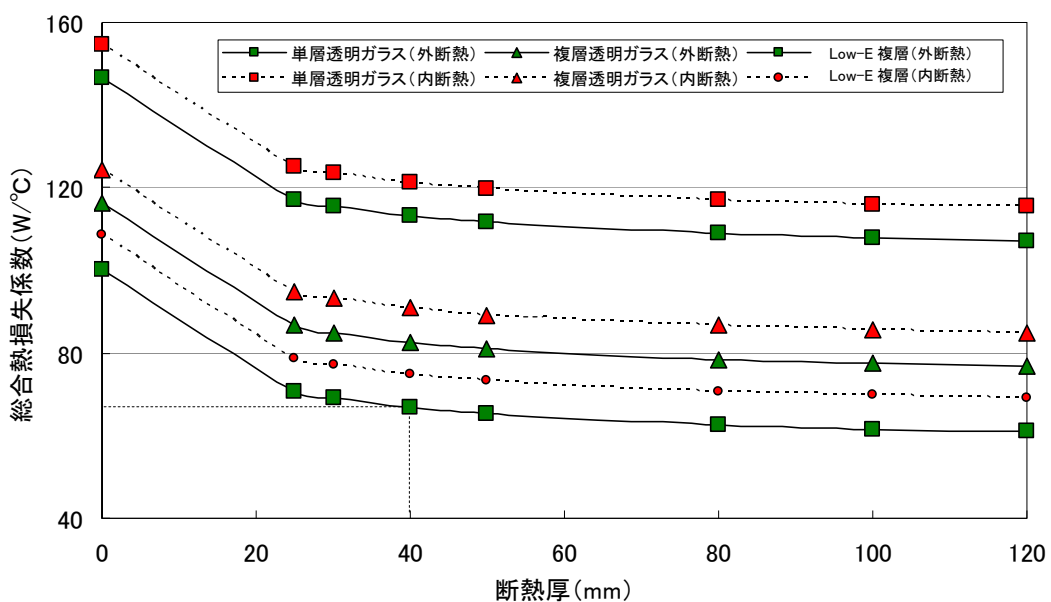


図 4.5 断熱厚み、窓仕様の組み合わせによる総合熱損失係数 (押出法 PSF2 種 b)

表 4.2 断熱材の仕様例（東京地域、仙台地域）

地域	部位	標準的な仕様例	標準努力対策の仕様例		
RC造					
共通	屋根	押出法 PSF2 種 b t=40	R=1.17	押出法 PSF3 種 b t=40 (外断熱)	R=1.42
	外壁	押出法 PSF2 種 b t=20	R=0.58	押出法 PSF3 種 b t=40 (外断熱)	R=1.42
	床	なし	—	押出法 PSF2 種 b t=25	R=0.73
木造（充填）					
共通	屋根	高性能 GW14k t=105	R=2.76	高性能 GW16k t=200 (充填) 押出法 PSF3 種 b t=40 (外張付加断熱)	R=6.68
	外壁	高性能 GW14k t=105	R=2.76	高性能 GW16k t=150 (充填) 押出法 PSF3 種 b t=40 (外張付加断熱)	R=5.36
	床	なし	—	押出法 PSF2 種 b t=25 (充填)	R=0.73

※PSF：ポリスチレンフォーム、GW：グラスウール、R：熱抵抗値（ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）

A-2 開口部の断熱・日射遮蔽

学校施設は他の建物用途と比べ、外壁面積に対する開口面積の比率が高いため、外皮の断熱性能向上において開口部の性能が与える効果は大きい。標準的な仕様は熱貫流率(U値) $6.04\text{W}/[\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ であるが、標準努力対策ではU値 $2.3\text{W}/[\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ 程度を目指している。（表 4.3：参考仕様例）

【留意事項】

- ・日射遮蔽性能については、Ⅲ地域以北の寒冷地では南面の窓に日射侵入率の高いガラス、Ⅳ地域以南の温暖地では南面の窓に日射侵入率の低いガラス（Low-E 複層ガラス等）を採用するなど、地域の温熱環境や方位を踏まえて仕様を決定する。
- ・開口部が東西に面する場合は、日射侵入率の低いガラス（Low-E 複層ガラス等）を用いる。
- ・渡り廊下などの屋外空間と直結する廊下、居室等については季節に応じて自然換気と気密性確保を両立できるようにサッシの仕様等に留意する。
- ・ガラスは、人体及びボール等の衝撃や、地震、風等の災害に対し破損しにくく、又は破損しても事故につながらないように、各種ガラスの性能を十分に踏まえ、使用場所及び使用目的に適した種類、厚み、大きさのものを選択することが重要である。具体的には、開口部の屋外側に飛散防止フィルムまたは合わせガラス、室内側に強化ガラスを用いる等の対策を講じる。
- ・衝突を防ぐため手すり等を設けたり、錯覚して衝突しないよう、ガラスが認識できる工夫をしたりすることが重要である。
- ・日射調整フィルム等については、耐久性を考慮したライフサイクルでの費用対効果等を勘案して採用を検討する。

表 4.3 窓・サッシの仕様例（東京地域、仙台地域）

枠数	枠位置	標準的な仕様例			標準努力対策の仕様例		
		仕様例	熱貫流率 U値 (W/m ² ·K)	日射 侵入率 η値	仕様例	熱貫流率 U値 (W/m ² ·K)	日射 侵入率 η値
一重	外窓	アルミサッシ FL6 (飛散防止フィルム貼)	6.04	0.86	アルミサッシ（熱遮断構造） LOW-E5+A16+TP4 (飛散防止フィルム貼) または、(FL3+FL3) +A16+LOW-ETP4	2.52 程度	0.41 (0.46) *1
二重	外窓	—	—	—	アルミサッシ FL5（飛散防止フィルム貼） または、(FL3+FL3)	2.3 程度	0.78 (0.77) *1
	内窓	—	—	—	樹脂サッシ FL3+A11+TP4		

*1 日射侵入率に飛散防止フィルムは考慮していない。（ ）内は、室外側が合わせガラスの場合

A-3 空調機器の高効率化

①高効率熱源機器の採用

熱源機器を選択する場合には、定格域で高い効率の機器（参考：国土交通省のグリーン調達基準、東京都「東京都環境物品等調達方針(公共工事)」等）を選択するとともに、年間を通じた負荷の発生状況を勘案して部分負荷発生時の効率向上に考慮する。図 4.6 にモデル学校（RC 造）における標準仕様、標準努力対策の断熱性能による年間熱負荷降順図を示す。

東京地域（温暖地）、仙台地域（寒冷地）ともに標準仕様の場合と比べて、断熱性能が標準努力対策の場合には暖房負荷のピーク（図の一番左の最大値）が大きく低減する一方で、冷房負荷は大差がない。

学校施設の場合、空調熱源機器は概ね暖房能力で決定されるため、冷房負荷と暖房負荷に大きな乖離があると、冷房時の部分負荷効率が低下してしまう可能性がある。そのため、適正な断熱化により暖房負荷を低減することは、熱源機器容量やコストの低減、通年での空調の効率的な運用に資する。

【留意事項】

- ・空調の熱源システムを考慮する際は、時間における使用パターンが類似する部屋を同システムとする。
- ・個別熱源方式において、屋外機の熱源容量を選定する際は、室内機容量の積み上げだけでなく、熱負荷計算による熱負荷の同時発生について考慮し、機器の熱源容量が過剰とならないよう留意する。
- ・空調熱源機器の選定においては、対象学校施設の熱負荷パターンを勘案し、年間の平均的な負荷において最も効率が高くなる機器を選定する。
- ・負荷のピークとなる立ち上がり時に、季節に応じて外気の取り入れの停止や起動する時間帯を調節するなど暖冷房ウォーミングアップ制御を行うことで機器容量の低減が図られ、年間の部分負荷率が向上し、効率が向上する。

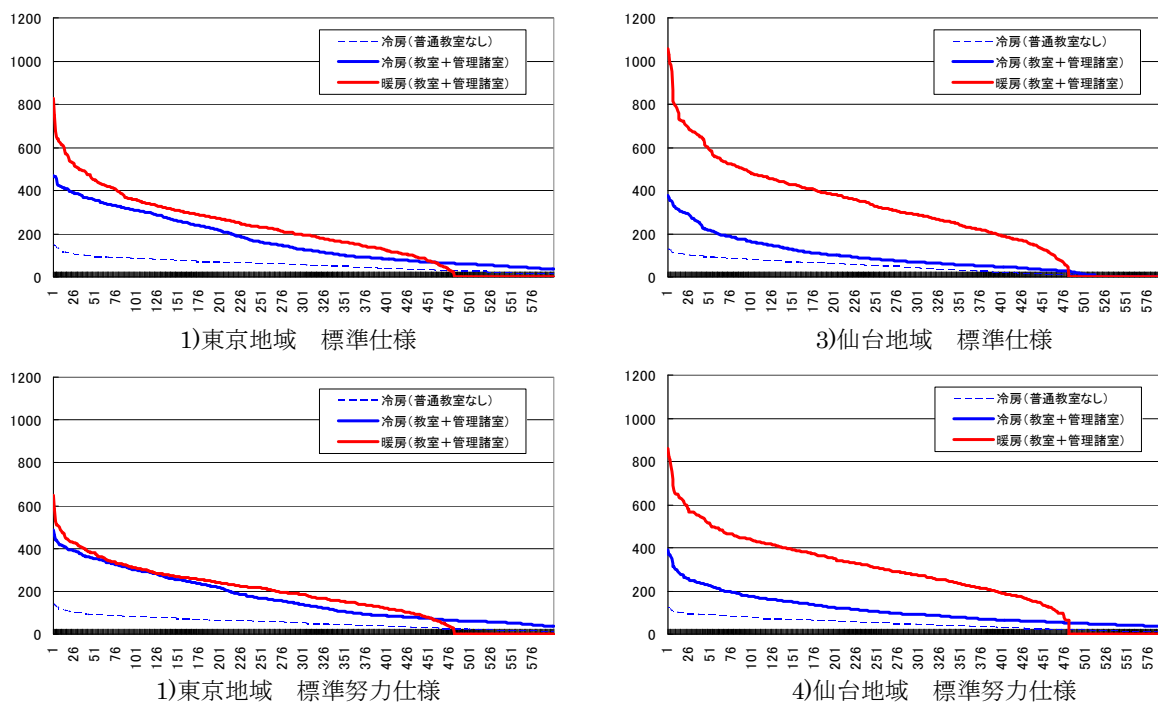


図 4.6 東京地域、仙台地域における断熱性能の違いによる暖冷房熱負荷降順図
(縦軸：熱負荷 (kW)、横軸：時間)

A-4 全熱交換器の採用

学校施設、特に教室は人口密度の高い居室であり、外気の導入量が比較的大きいため、全熱交換器等を採用し、外気負荷の低減を図る。

【留意事項】

- ・全熱交換器は、一般的に、暖冷房機械との連動運転は行われない。そのため、本来、熱交換をすべき時期に熱交換を行っていなかったり、室内よりも外部の条件がよい中間期などに熱交換を行っているなどの無駄な運用が多く散見されるため、これらを回避する制御・操作方法の採用などに留意する。
- ・外気の導入計画は、外気負荷の低減や外気による冷房など全熱交換器だけでなく年間を通じた組み合わせを勘案する。

B. 最大努力対策

B-1 外皮断熱化（基礎の断熱）

最大努力対策では、外壁だけでなく地中へ失われる熱を抑制するため、基礎を断熱化することにより建物全体の温度環境を改善する。

表 4.4 断熱材の仕様例（東京地域、仙台地域）

地域	部位	標準努力対策の仕様例		最大努力対策の仕様例	
RC造、木造					
共通	床	押出法 PSF2 種 b t=25	R=0.73	—	—
	基礎	—	—	押出法 PSF3 種 b t=40 (外断熱)	R=1.42

※PSF：ポリスチレンフォーム、R：熱抵抗値（ $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ ）

B-2 開口部の断熱・日射遮蔽

最大努力対策では開口部の性能としてU値 $1.73\text{W}/[\text{m}^2 \cdot \text{K}]$ 程度を目指す。（表 4.5：参考仕様例）

表 4.5 窓・サッシの仕様例（東京地域、仙台地域）

枠数	枠位置	最大努力対策の仕様例		
		仕様例	熱貫流率 U値 ($\text{W}/[\text{m}^2 \cdot \text{K}]$)	日射 侵入率 (η 値)
二重	外窓	アルミサッシ（熱遮断構造） FL5+A16+FL5（飛散防止フィルム貼） または、(FL3+FL3)+A16+FL5	1.73 程度	0.76 (0.73) *1
	内窓	樹脂サッシ FL3+A11+TP4		

*1 日射侵入率に飛散防止フィルムは考慮していない。（ ）内は、室外側が合わせガラスの場合

【留意事項】

- ・日射遮蔽性能については、Ⅲ地域以北の寒冷地では南面の窓に日射侵入率の高いガラス、Ⅳ地域以南の温暖地では南面の窓に日射侵入率の低いガラス（Low-E 複層ガラス等）を採用するなど、地域の温熱環境や方位を踏まえて仕様を決定する。
- ・開口部が東西に面する場合は、日射侵入率の低いガラス（Low-E 複層ガラス等）を用いる。

B-3 開口部等の工夫による暖冷房効率の向上

①自然換気・ナイトパーズ

外部の温湿度が室内の設定条件よりも快適である春秋の中間期には、自然換気等の手法により積極的に外気取り入れを行う。外気は、内部発熱の処理を目的に建物中央に向かって取り入れる。

- 1) 直接換気：教室や職員室では、立地地域の中間期の主な風向きに考慮し二方向換気が行えるよう、開口位置に配慮し、間仕切壁がある場合は開閉可能な欄間を設置するなど通風に配慮する。
- 2) 温度差換気・風圧による換気：温度差換気は、外気を導入し、建物内部との温度差で空気を動かし換気する。風圧による換気では、屋根勾配が 3.5/10 以下のとき、天窗や頂側窓が空気の流出口になる。中間期や夏期の風向と天窗等の方位が適している場合は、積極的に採用する。
- 3) ナイトパーズ（夜間換気）：ガラリ等により夜間外気を取り入れて躯体を冷却し、翌日の冷房運転開始時の消費エネルギーを削減する。

②空気集熱式太陽熱利用システム

- 1) 暖冷房：計画上設置可能な場合、冬期は太陽熱で温められた空気を床下部に通し、躯体に熱を蓄熱する床暖房設備として、夏期は太陽熱を排熱する冷房負荷低減設備や放射冷却を利用したナイトパージ設備として用いる。同システムを設置した場合、校舎棟では標準努力対策の断熱・開口部仕様で36～54%、最大努力対策の断熱・開口部仕様で53～67%の暖冷房エネルギーが削減される。体育館は空気集熱式太陽熱利用システムのみでの暖房で、冬期室温（寒冷地12～14℃、温暖地13℃～16℃）、床表面温度（寒冷地14～17℃、温暖地16℃～18℃）が確保できる。
- 2) ナイトパージ：夜間放射冷却を利用して予冷された外気を屋根面から取り込み、その空気で躯体を冷却する。校舎棟で-0.9℃、体育館で-2～-3℃、朝方の室温が下がる。
- 3) 外気負荷低減：集熱パネルを冬期は外気の取り入れ経路とすることで外気が予熱される。夏期は経路を逆転させ、外気の排気経路とすることで、屋根面の日射熱を効率的に排熱する。

③冬期暖房区画

別棟との接続箇所は、建具等での区画により隙間風等による暖房負荷を防止する。

B-4 空調機器のエネルギーマネジメント等

コントロールパネルなどによる省エネルギー効果の見える化（第2章「学校施設を活用した環境教育について」参照）や運用ルールにより、不在時の切り忘れ、空調範囲の設定、室温設定の確認を行う。

C. その他の対策

C-1 パッシブ対策、未利用エネルギーの利用

下記のようなパッシブ対策、未利用エネルギー等の利用について、計画上可能な場合取り入れる。なお、ペレットストーブやペレットボイラーを用いる場合、ライフサイクルCO₂の削減にも寄与する。

- ・ペレットストーブやペレットボイラーによる熱供給。
- ・陸屋根の屋上緑化や、壁面緑化による外皮の断熱効果の向上。
- ・地中熱（ヒートポンプ・クールチューブ等）、雪氷、河川など地域の自然条件に合ったエネルギーの暖冷房への利用。
- ・発電機排熱、周辺の清掃工場等からの熱供給等。

【留意事項】

- ・ペレット燃料の活用については、継続した生産システムが存在する地域においては、有効な手法となり得る可能性があり、輸送等に配慮し導入の検討を行う。
- ・未利用エネルギーによる熱供給や電力供給は、常時の使用においてオーバースペックとならないよう、費用対効果を考慮し計画すると共に、積極的な教育への活用に配慮し、導入の検討を行う。

C-2 付属部材の設置

直射日光による熱やまぶしさを抑制するため、カーテンやブラインド等を設置する。東西面では、必要に応じて、ルーバー、外部ブラインド等を設置する。

4. 3 換気エネルギーの削減〔換気エネルギーの削減目標 最大 40%〕

換気エネルギーの削減は、換気ファンにかかる圧力等を低減することや、適切な発停制御により、換気ファンの運転時間を低減することで実現される。中間期は機械換気から自然換気等への切り替えにより換気動力の低減を図る。

A. 標準努力対策

A-1 搬送ルートにおける無駄の回避

①圧力損失の低減

ダクトの距離を短くし、曲がり箇所を少なくするなど、換気経路の圧力損失を最小化し換気ファン動力を低減する

②気密性の確保

換気ファンの吸気ガラリ、排気ガラリなどを全閉機構付きの気密仕様にするすることで、室内外の漏気を低減することができ、無駄な隙間風の侵入を防ぐ。

A-2 換気機器の発停制御等

コントロールパネルなどによる省エネルギーの見える化（第2章「学校施設を活用した環境教育について」参照）や運用ルールにより、不在時の切り忘れ、熱交換換気や通常換気、風量設定の確認を行う。

【留意事項】

- ・教室等に 24 時間換気システム等を導入する場合、学校環境衛生基準を順守した範囲で、夜間や土日、長期休み等では、可能な範囲で換気ファンを停止することも考慮する。

B. 最大努力対策

B-1 開口部等の工夫による自然風の利用

①自然換気

外部の温湿度が室内の設定条件よりも快適である春秋の中間期には、自然換気等の手法により積極的に外気取り入れを行う。外気は、内部発熱の処理を目的に建物中央に向かって取り入れる。

- 1) 直接換気：教室や職員室では、立地地域の中間期の主な風向きに考慮し二方向換気が行えるよう、開口位置に配慮する。間仕切壁がある場合は開閉可能な欄間を設置するなど通風に配慮する。
- 2) 温度差換気・風圧による換気：温度差換気は、外気を導入し、建物内部との温度差で空気を動かし換気する。風圧による換気では、屋根勾配が 3.5/10 以下のとき屋根が負圧となるため排気が促される。温度差や風圧による換気では、天窓や頂側窓を排気窓としたり、排気塔より排気する。中間期や夏期の風向と天窓等の方位が適している場合は、積極的に採用する。

4. 4 創エネルギー

パッシブ手法やアクティブ手法により削減した消費エネルギー量に対し、安定した技術に基づく再生可能エネルギーにより発電し、ゼロエネルギー化を図る。同時に、ライフサイクル CO₂ の削減を行い地球温暖化の抑制に寄与する取り組みとする。

A. 標準努力対策

A-1 太陽光発電パネル

シミュレーションでは、架台による屋根荷重の増加を制限するため、勾配屋根とし屋根一体型の太陽光パネルを設置した。標準努力対策では、30%程度の省エネルギーを図ることができる定格出力 20kw の太陽光発電パネルを設置する。

B. 最大努力対策

B-1 太陽光発電パネル

最大努力対策では、100%程度の省エネルギーを図ることができる定格出力のものとして、東京地域で 146kw、仙台地域で 167kw の太陽光発電パネルを設置する。

表 4.6 ゼロエネルギー化のための太陽光発電パネルの設置面積例 (モジュール効率 17.9%)

延床面積：9000 m ² 程度 (RC 造)	東京地域 (温暖地)			仙台地域 (寒冷地)		
	標準	標準努力	最大努力	標準	標準努力	最大努力
消費エネルギー (MJ/m ² ・年)	304	228	157	328	242	179
太陽光パネル定格出力	—	20kW	146kW	—	20kW	167kW
枚数	—	87 枚	635 枚	—	87 枚	725 枚
設置面積	—	111 m ²	816 m ²	—	111 m ²	932 m ²

※平均的な規模 (1 学年あたり 3 教室程度、延床面積 4000 から 5000 m²程度) の学校に置き換えた場合、最大努力対策での太陽光発電パネル定格出力は東京地域で 120kW 程度、仙台地域で 140kW 程度となる。

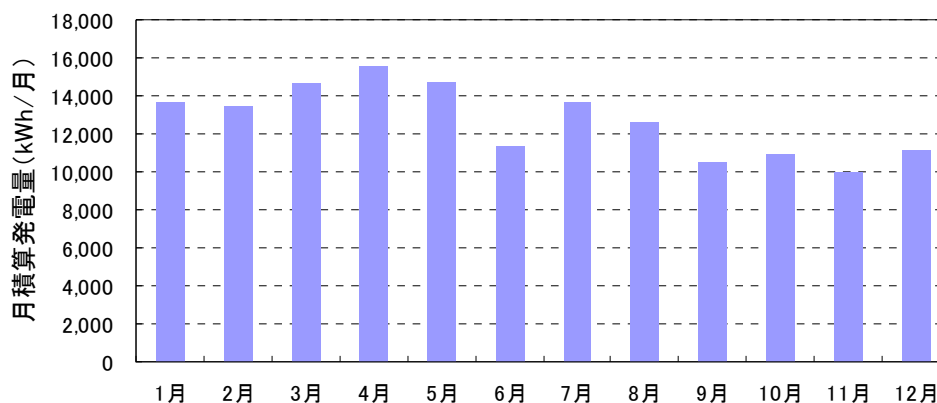


図 4.7 月毎積算発電量 (東京地域、最大努力ケース、定格出力 146kW)

※計算条件

- 気候条件：東京地域（METPV-3（標準気象・日射データ、NEDO）による標準年データ、大手町）
- 各種係数：日射量年変動補正係数 0.97、継時変化補正係数 0.95、負荷整合補正係数 0.94
アレイ回路補正係数 0.97、インバーターエネルギー効率 0.92
- 温度補正：パネル表面温度 25℃を定格とし、4%/℃の効率変化、

【留意事項】

- ・ゼロエネルギー化を目的として太陽光発電パネルを設置する場合は、計画段階からその設置場所について十分検討すること。海沿いの学校において屋上を津波対策の避難場所とする場合、特に留意が必要である。
- ・太陽光発電設備等の実物を使った学習などで屋上を利用することが想定される場合は、必要な防球ネット、保護ネット・柵等を設けるなど、墜落事故に対し、十分安全性を確保した計画とする。
- ・屋上への出入口は、児童生徒等が容易に出ることのないよう適切な施錠管理を行うとともに、屋上に塔屋等のタラップがある場合は、児童生徒等が容易に登ることのないよう配慮する。

C. その他の対策

C-1 風力発電

小規模な風力発電についても、児童生徒等への教育的観点からの啓発効果が考えられる。導入に際しては、経済性等についても十分に勘案する。

【留意事項】

- ・設備機器等については、児童生徒等の誤った接触や教材・教具等の衝突などによる事故等の防止に十分留意して、機器、操作装置等の設置位置、高さ、仕様等を計画することが重要である。

4. 5 革新的なエネルギー高度利用技術

C. その他の対策

C-1 コージェネレーション設備

コージェネレーション設備とは、ガスエンジン発電機等の排熱を利用して動力・温熱・冷熱等を取り出し、総合エネルギー効率を高める、新しいエネルギー供給システムの一つである。

施設内に給食用厨房や屋内プールがある場合や、複合施設内に給湯需要がある場合においては、高い総合効率での運用が可能であり省エネルギーとなる。

【留意事項】

- ・コージェネレーション設備の導入検討においては、発電排熱が無駄なく活用されるように、熱需要と電力需要のバランスを考慮して設備容量、運転時間等を検討し、経済性にも配慮する。

表 4.7 熱需要とコージェネレーション設備の導入規模の参考例

特殊用途における熱需要		年間熱需要量 (GJ/年)	コージェネレーション設備 発電容量 (kW)	省エネルギー効果 (GJ/年)
(1)屋内プール	加温	330	35	260
(2)給食用厨房施設	給湯	60	10	50
(3)複合施設 (介護福祉施設の場合)	給湯	180	35	170

※ 計算条件

■共通条件

地域：東京地域（給水温度）

省エネルギー効果の算出方法：コージェネレーション設備による発電量の一次エネルギー換算値(①)、及びコージェネレーション設備に賄われた熱をボイラーで製造した場合のエネルギー消費量(②、ボイラー効率：0.9)の合計値からコージェネレーション設備が使用したエネルギー消費量(③)を差し引いた一次エネルギー消費量(=①+②-③)

※コージェネレーション設備の容量は発電量が学校施設の電力使用量を上回らない範囲とした。

■用途毎の熱需要量の主な計算条件

(1)屋内プール（対象：屋内プール加温用、シャワー用給湯分は含んでいない）

- ・コージェネレーション設備：（機器仕様）発電能力 35kW、発電効率 34.0%、熱効率 51.0%、（運転条件）：6h/日、20 日/月、
- ・屋内プール条件：（プール条件）面積-250 m²、容積-275m³、プール水温 27℃、プール室内-温度 29℃、湿度 60%オーバーフロー水-水量の 5%/日)、（利用条件）：利用時間 4h/日、20 日/月

(2)給食用厨房施設（対象：食器洗い洗浄器用給湯）

- ・コージェネレーション設備：（機器仕様）発電能力 10kW、発電効率 31.5%、熱効率 53.5%、（運転条件）：5h/日、193 日/年
- ・給食室条件：（使用条件）生徒数 720 人（30 人/クラス×4 クラス/学年×6 学年）、施設単独給食室
- ・食器洗浄条件：給湯温度 85℃（機器入口 70℃）、洗浄時間-2h、給湯量- 500L/h

(3)介護福祉施設（対象：デイケアセンター）

- ・コージェネレーション設備：（機器仕様）発電能力 35kW、発電効率 34.0%、熱効率 51.0%、（運転条件）：4h/日、20 日/月
- ・デイケアセンター条件：（使用条件）定員 50 人（一般型 40 人、痴呆型 10 人）
- ・給湯条件：給湯温度 60℃、給湯量-4000L/日（一般浴槽 1500L/槽×2 回転/日、機械浴槽 200L/槽×5 回転/日）

5. CASBEE学校による導入技術の評価

1) 総合評価（建築物の環境効率、ライフサイクルCO₂、大項目の評価）

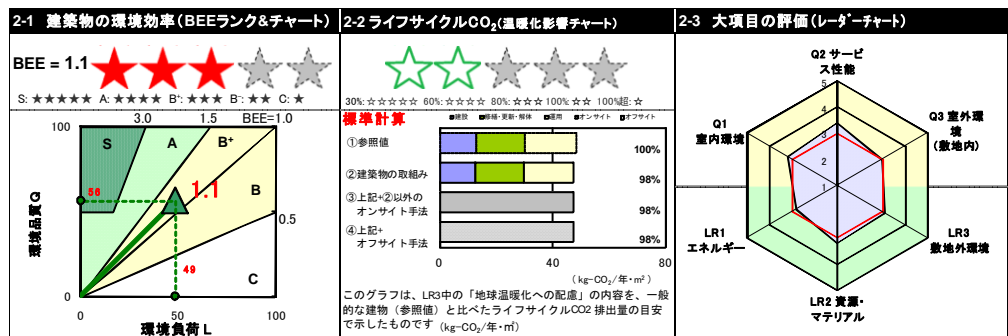
「CASBEE 学校」を用い、東京地域における RC 造 3 階建てのシミュレーション事例の小学校を対象に、ゼロエネルギー化の導入技術に関する建築環境総合性能評価を行った。

標準努力対策では、標準対策に比べ、省エネルギーの効果等により LR1 エネルギーの評価が良くなっている。最大努力対策では、更なる各種技術や大規模な太陽光発電を導入した結果、LR1 エネルギーの評価が大幅に良くなるとともに、地球温暖化など LR3 の敷地外環境の評価も良くなっている。

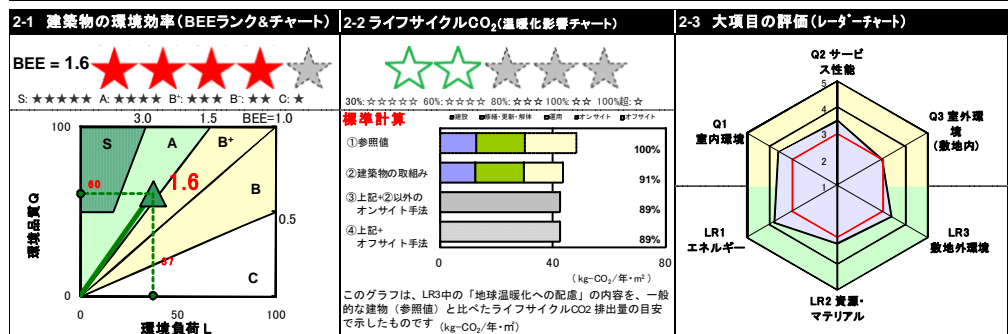
また、各種導入技術によって、温熱環境や光・視環境などの Q1 室内環境の評価が、その導入の程度に応じてより良くなっており、学校施設のゼロエネルギー化が、良好な学習環境の確保にも貢献することが伺える。さらに、ライフサイクル CO₂*1（CO₂ 排出率）に関しては、断熱性能の向上や高効率設備の採用に加え、太陽光パネルによる発電が行われたため、標準努力対策では余剰電力を利用する場合、一般的な建物（参照値）の 89% となった。最大努力対策では、余剰電力を利用する場合、CO₂ 排出率は参照値の 53% となった。

※1 建設時の建材の製造・現場までの輸送・現場での重機の使用、運用時の冷暖房・照明・OA機器の使用、改修時の建材の製造や除去した建材の処分、解体時の解体材の処分に関わるエネルギーをCO₂ 排出量に換算し、これら全てを足し合わせたもの。

①標準仕様



②標準努力対策



③最大努力対策

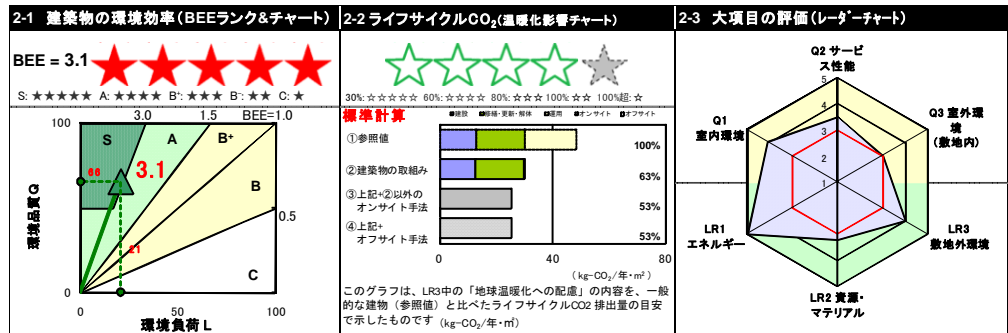
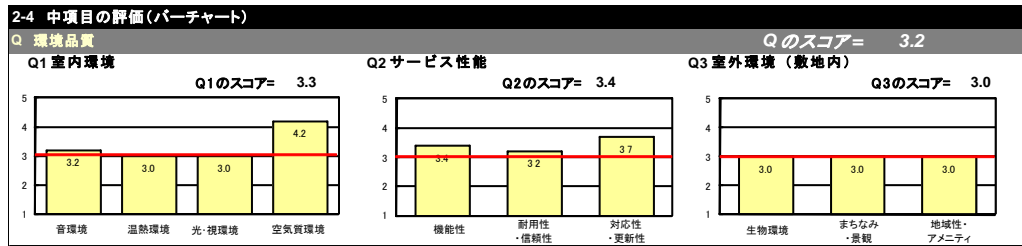


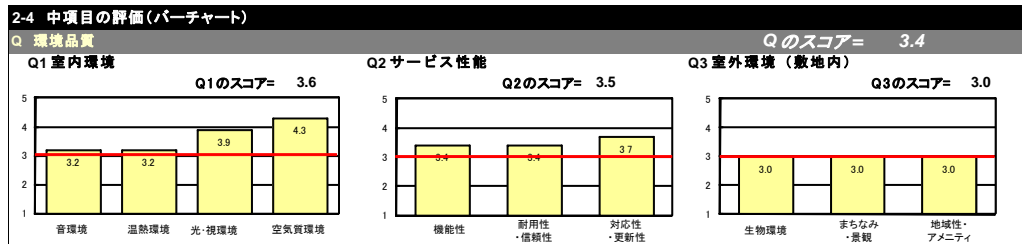
図 5.1 BEEランク&チャート、温暖化影響チャート、レーダーチャート

2) 環境品質の中項目の評価

①標準仕様



②標準努力対策



③最大努力対策

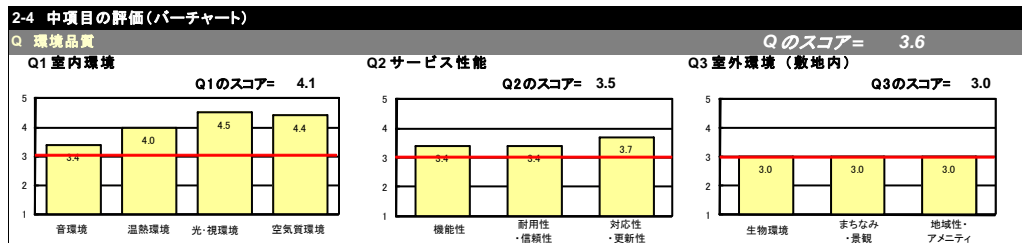


図 5.2 環境品質のバーチャート

①標準仕様

Q1 室内環境では、外壁は押出法 PSF2 種 b (t=20)、屋根は同断熱材 (t=40) の躯体断熱水準であり、開口部種類が単層ガラスのため、温熱環境が 3.0 になった。

②標準努力対策

Q1 では、外壁・屋根の高断熱化や複層ガラス化により、標準仕様では 3.0 であった温熱環境が 3.2 となった。Hf インバータ蛍光灯、人感センサー制御、スイッチや制御の系統を利用パターン等に応じて勘案した計画により標準仕様では 3.0 であった光・視環境が 3.9 になった。

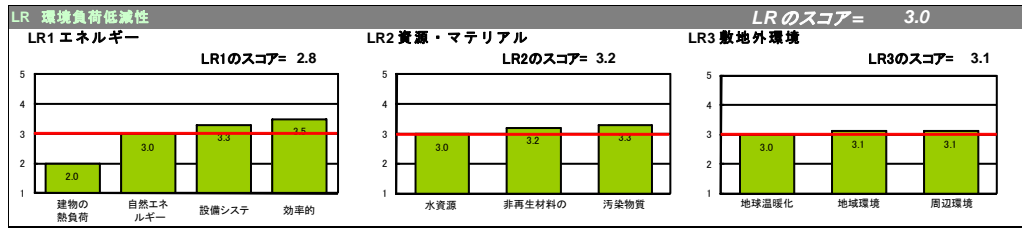
Q2 サービス性能では、太陽光パネルの設置による電源の分散により、標準仕様では 3.2 であった信頼性が 3.4 になった。

③最大努力対策

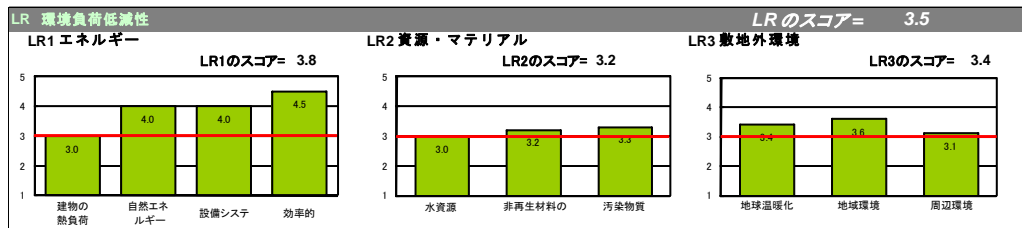
Q1 では、窓の断熱性能の向上 (二重サッシ化)、ナイトパージに伴う二重床化により、音環境が 3.4 (標準仕様: 3.2) となった。断熱性能の向上により、温熱環境が 4.0 (標準仕様: 3.0) になった。ライトシェルフにより、光・視環境が 4.5 (標準仕様: 3.0) になった。ライトシェルフの設置には一定の窓の高さが必要なことから有効開口面積が増え、空気質環境が 4.4 (標準仕様: 4.2) になった。

3) 環境負荷低減性の中項目の評価

①標準仕様



②標準努力対策



③最大努力対策

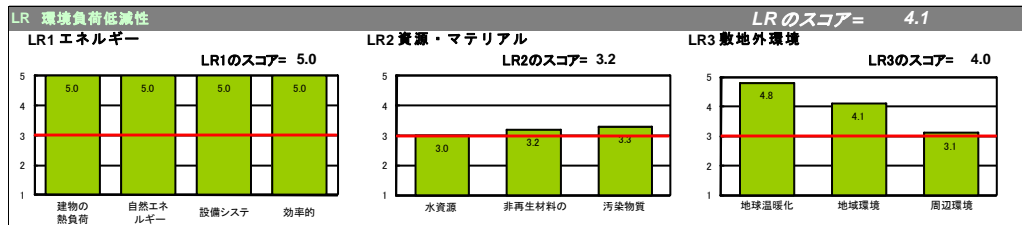


図 5.3 環境負荷削減性のバーチャート

①標準仕様

LR1 エネルギーは、開口部種類が単層ガラスのため、建物の熱負荷が 2.0 になった。

②標準努力対策

LR1 では、外壁・屋根の高断熱化、複層ガラス化で、標準仕様では 2.0 であった建物の熱負荷が 3.0 となった。太陽光パネルの設置により標準仕様では 3.0 であった自然エネルギー利用が 4.0 となった。発電による消費エネルギーの削減、人感センサー制御やスイッチや制御のシステムを利用パターン等に応じて勘案した計画により、標準仕様では 3.3 であった設備システム負荷が 4.0 になった。的確なエネルギーマネジメントの導入で標準努力仕様では 3.5 であった効率的運用が 4.5 となった。

LR3 敷地外環境では、太陽光発電により CO₂ が削減され、標準仕様では 3.0 であった地球温暖化への配慮が 3.4 になった。外壁・屋根の高断熱化や高効率設備の採用やエネルギーマネジメントにより、標準仕様では 3.1 であった地域環境への配慮が 3.6 になった。

③最大努力対策

LR1 では、建物の熱負荷は二重サッシと庇（ライトシェルフ）の設置で 5.0（標準仕様：2.0）、自然エネルギー利用はナイトパーズ設備と昼光利用で 5.0（標準仕様：3.0）、設備システム負荷抑制は太陽光発電で 5.0（標準仕様：3.3）、効率的運用は簡易 BEMS によりで 5.0（標準仕様：3.5）となった。

LR3 では、太陽光発電により地球温暖化への配慮が 4.8（標準仕様：3.0）になった。外壁・屋根の高断熱化や高効率設備の採用やエネルギーマネジメントにより、地域環境への配慮が 4.1（標準仕様：3.1）になった。

4) 木造と RC 造の内装木質化

仙台地域における木造 2 階建てのシミュレーション事例の小学校を対象とし、最大努力対策の技術を導入した場合の環境評価の結果を示す。

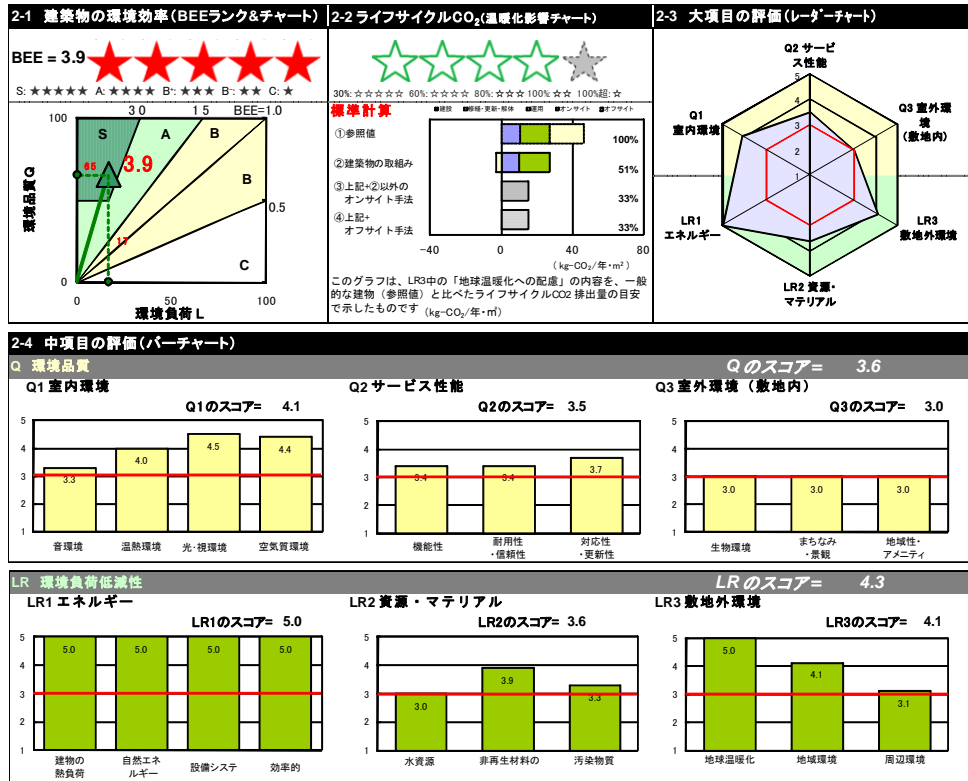


図 5.4 最大努力ケースの木造小学校のチャート

①建築物の環境効率、ライフサイクル CO₂、大項目の評価

木材を構造材や内装材に用いることで、非再生性資源の使用量が削減され LR2 が向上した。寒冷地の容量の太陽光パネルの設置で、余剰電力を利用する場合の CO₂ 排出率は参照値の 33% となった。

また、表 5.1 に CASBEE の標準計算による木造と RC 造の、建築時、修繕・更新・解体時、運用時の CO₂ 排出量を示す。

地域、建築規模、太陽光パネル等の条件が等しく構造躯体のみ異なる場合、木造の CO₂ 排出量は 15.35 kg-CO₂/[年・m²]、RC 造の CO₂ 排出量は 18.2kg-CO₂/[年・m²]となる。

表 5.1 木造と RC 造のライフサイクル CO₂ 排出量 (標準計算)

	CO ₂ 排出量 (kg-CO ₂ /[年・m ²])			
	木造 2 階建て		躯体を RC 造にした場合	
	評価対象	参照値	評価対象	参照値
建設	10.24	10.24	12.66	12.66
修繕・更新・解体	16.68	16.68	17.14	17.14
運用	-11.57	19.44	-11.57	19.44
合計	15.35	46.36	18.23	49.24

②環境品質の中項目の評価

木造の床組のため、音環境の項目が 3.3 になった。

③環境負荷軽減性の中項目の評価

標準仕様・標準努力対策・最大努力対策に関わらず、木造は、構造材及び内装の床及び壁仕上げに木材を利用することで、非再生性資源の使用量削減のスコアが 3.9 になる。RC 造における内装木質化は、床あるいは壁仕上げへの木材利用でスコアは 3.2 に、床と壁及び天井仕上げに木材利用する場合は 3.5 となる。