

校舎のエコ改修の推進のために ～モデルプランにおける環境対策のシミュレーション結果～

— 学校施設の環境に関する基礎的調査研究報告書（概要版※） —



国立教育政策研究所 文教施設研究センター
「学校施設の環境に関する基礎的調査研究」研究会

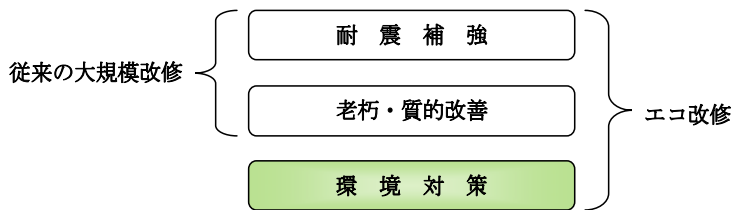
※本報告書の全体版は次のアドレスからご覧になれます。 <http://www.nier.go.jp/shisetsu/pdf/modelplan.pdf>

はじめに

従来、学校の校舎の改修では、耐震補強、老朽化した内外装や設備の修繕、新たな用途に対応した間取りの変更などが行われてきました。これらに加え、建物の断熱化、日射遮蔽、省エネ型設備機器への更新等の環境対策を行うことで、児童生徒の学習環境の改善や省エネルギーを図ることができます。そこで、「学校施設の環境に関する基礎的調査研究」研究会（主査：小峯 裕己 千葉工業大学工学部建築都市環境学科教授）において環境に配慮した改修設計に関する調査研究を実施し、従来の大規模改修と併せ上記のような環境対策を盛り込んだ改修をエコ改修のモデルプランとして提示しました。

モデルプランの基本的な考え方

- ① 既存校舎の改修を前提とした計画とする。
- ② 耐震補強、老朽・質的改善といった従来の改修と併せて環境対策を行う。



- ③ 学校におけるエネルギー消費の特性を踏まえ、エネルギー消費削減効果の高い環境対策を実施する。例えば、一般照明用電力の削減等、学校のエネルギー消費構造を考慮した計画とする。

- ④ 都市部の夏季の暑さ対策や寒冷地域の暖房負荷低減など、学校が立地する地域の気候や立地条件等を考慮した対策を検討する。
- ⑤ 年間を通して教室における適切な学習環境水準を確保する。特に、温熱環境の改善に配慮する。
- ⑥ 建物の断熱化、日射遮蔽、自然風の活用などを盛り込んだ計画とすることで建物性能の向上を図り、環境負荷を低減させる。
- ⑦ 照明、冷暖房設備などの設備機器については省エネ型の機器を導入する。
- ⑧ 学校設置者にとって適切な改修コストとなるような計画とする。

エコ改修モデルプランの地域と種類

モデルプランの対象地域は、省エネルギー基準による地域区分Ⅰ～Ⅵ地域の中から地域性を考慮し、次の2地域を対象としました。

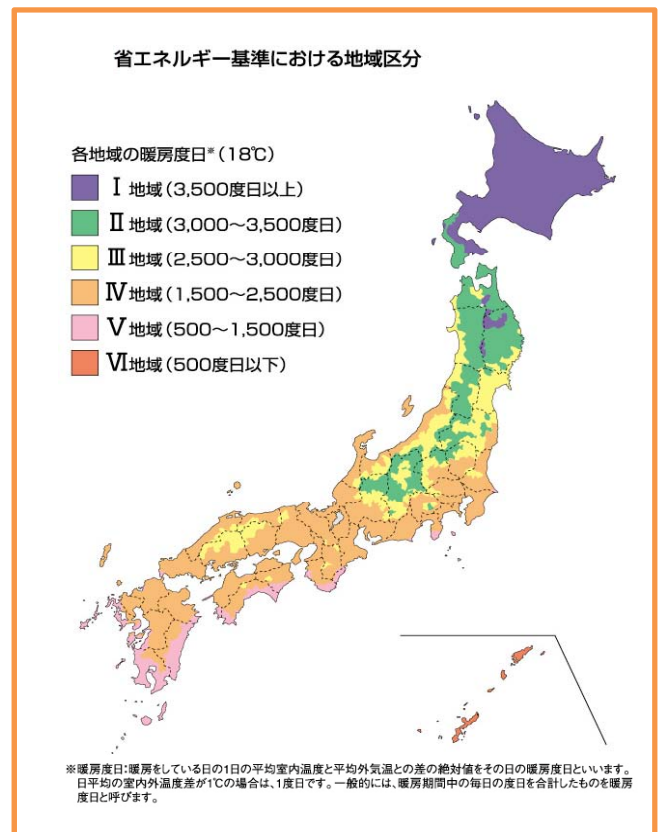
Ⅳ地域を対象としたプランA1及びプランA2

…最も学校数の多い地域のモデルとして想定

Ⅱ地域を対象としたプランB

…寒冷地のモデルとして想定

- 検証結果は、断熱化や日射遮蔽等の建物性能の向上、照明機器や冷暖房機器の高効率化、適切な運転管理の励行の3つを総合的に実施することで、教室の暑さ寒さ問題の解決とCO₂排出量の削減を同時に達成することは十分に可能であることを示しています。



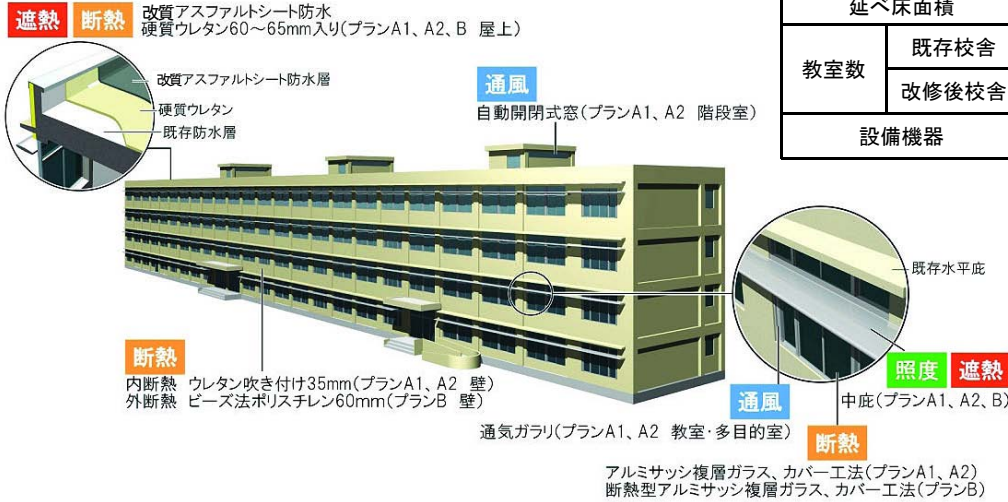
省エネルギー基準による地域区分

(出典) 全国地球温暖化防止活動推進センター
HP: <http://www.jccca.org/>

各モデルプラン共通事項

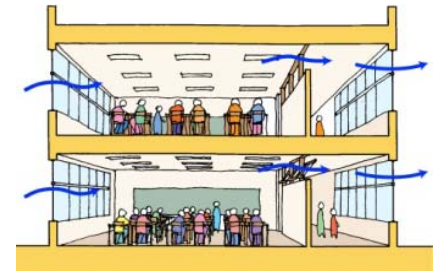
計画概要

計画校舎外観



既存モデル校舎概要

種別	小学校(建築後概ね35年を想定)	
構造・階	鉄筋コンクリート造(RC)地上4階建て	
延べ床面積	約 5,100 m ²	
教室数	既存校舎	普通教室26、特別支援学級、特別教室
	改修後校舎	普通教室12、特別支援学級、特別教室
設備機器	建築後20年経過時点で、冷暖房機器を更新済み	



シミュレーションの主な条件

- CO₂排出量の試算は校舎に限定して行っているため、体育館やプールの利用に伴うCO₂排出量は含まれていない。
- 学校によって施設運用や方式に差が大きい地域開放や給食調理に伴うCO₂排出量は含まれていない。
- 長期休みは、管理諸室を含めて休日扱いとした。
- 暖房機器の運転期間は、11月1日～3月31日のうち、冬休み及び土曜・休日を除く。
- 運転条件は、各室の在室時間のうち、室温が暖房設定温度(教室18℃、管理諸室23℃)以下になる時間とする。
- 冷房機器の運転期間は、6月1日から9月30日のうち、夏休み及び土曜・休日を除く。
- 運転条件は、各室の在室時間のうち、室温が冷房設定温度(28℃)以上になる時間とする。
- 廊下の照明は窓のある部分は全時間において点灯せず、トイレの照明は2時間/日とした。

モデルプランの活用にあたっては、以下の点に留意する必要があります。

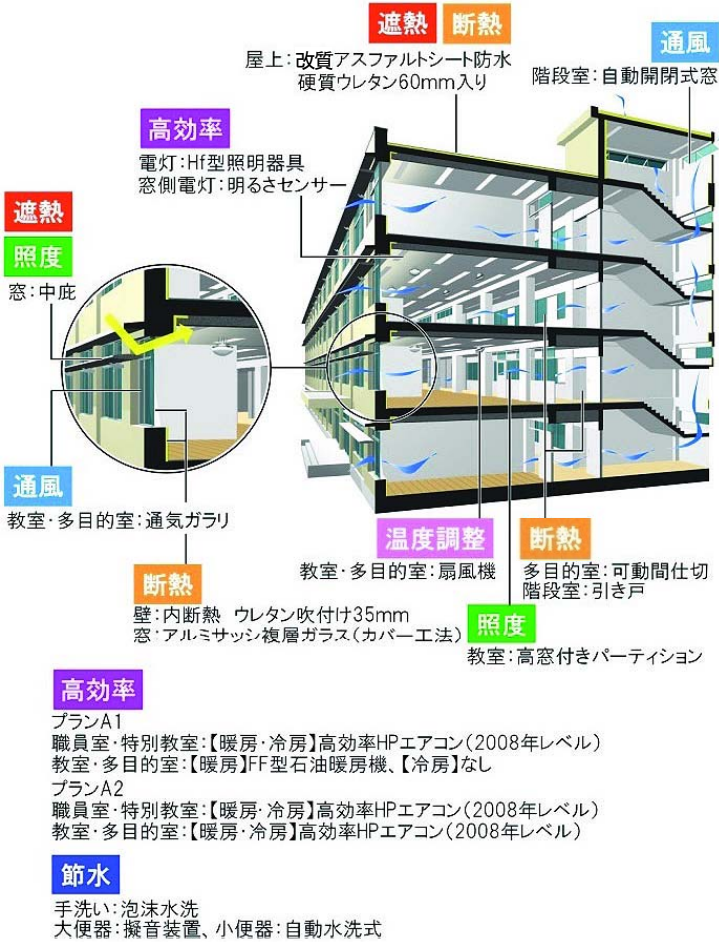
- エコ改修の検討に当たっては、立地条件や地域の気候等を考慮し、各々の学校の実態を踏まえて条件を確認する必要があります。
- 学校全体の実際のエネルギー消費量やCO₂排出量を把握するためには、施設の利用実態や設備機器の運用実態を踏まえて行う必要があります。
- 本モデルプランのように教室で冷房運転を行うことが可能な設備計画を行う場合、良好な学習環境の確保と省エネルギーの両方の観点から、空調設備の運転期間、設定温度など運転条件に配慮することや、ランニングコストの検討を行うことが重要です。
- 太陽光発電については、本モデルプランではエコ改修計画のオプションとして提示しています。学校の年間電力消費量のうち10,000kWhを太陽光発電で賄うとすると、年間約5.6t^{*}のCO₂削減効果が見込まれます。
- エコ改修の設計に当たり、改修効果等に関する詳細な検討を行う際にシミュレーション等が必要な場合もあり、それに要する経費は設計料とは別に考慮する必要があります。

※CO₂換算値については、「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令」(平成18年経済産業省・環境省令第3号)に定める省令値(0.555 kg-CO₂/kWh)を使用している。

モデルプランA1、A2(IV地域)

※プランA2は、冷暖房方式をヒートポンプエアコンとし普通教室にも冷房設置したほかはプランA1と同じです。

計画概要



エコ改修メニュー一覧

	対象箇所	プランA(IV地域)	
		改修前	エコ改修
(1)断熱	外壁	—	内断熱、吹付け35mm(硬質ウレタン)
	窓	アルミサッシ、フロート板ガラス	アルミサッシ(カバー工法)複層ガラス 全窓
	屋上	—	改質アスファルトシート防水(硬質ウレタン60mm入り)
	暖房区画(階段室、昇降口等)	常開の防火戸	開閉可能な扉設置
	間仕切り(多目的スペース・廊下間)	—	可動間仕切り設置
(2)遮蔽	外壁	既存水平庇(W500)	窓中間に庇(W600)の設置
(3)温度調整	内壁・天井(普通教室、多目的スペース)	—	扇風機(各部屋4台)
(4)照度	外壁	—	窓中間に庇(W600)の設置
	間仕切り(普通教室・廊下間)	—	スチールパーティション(高窓付きH1700mm)
(5)通風	間仕切り(普通教室・廊下間)	—	スチールパーティション(高窓付きH1700mm)
	窓(普通教室、多目的スペース)	—	通気ガラリ
	窓(階段室、廊下)	—	自動開閉窓装置(スウィンドウ)
	照明(普通教室、多目的スペース)	FL型照明器具(40W×16)	Hf型照明器具(窓側を照度センサー付)
(6)高効率・節水	照明(便所、階段)	FL型照明器具(20W×2)	FL型照明器具(人感センサー付)
	冷暖房設備(職員室・特別教室)	暖:HPエアコン 冷:HPエアコン(1995相当)	暖:HPエアコン 冷:HPエアコン(2008高効率)
	冷暖房設備(普通教室、多目的スペース)	暖:FF型石油暖房機 冷:なし	(A1) 暖:FF型石油暖房機 冷:なし (A2) 暖:HPエアコン 冷:HPエアコン(2008高効率)
	手洗	流し水洗	泡沫水洗
	便所	擬音装置なし、フラッシュバルブ式小便器	擬音装置、自動水洗式小便器

シミュレーション結果

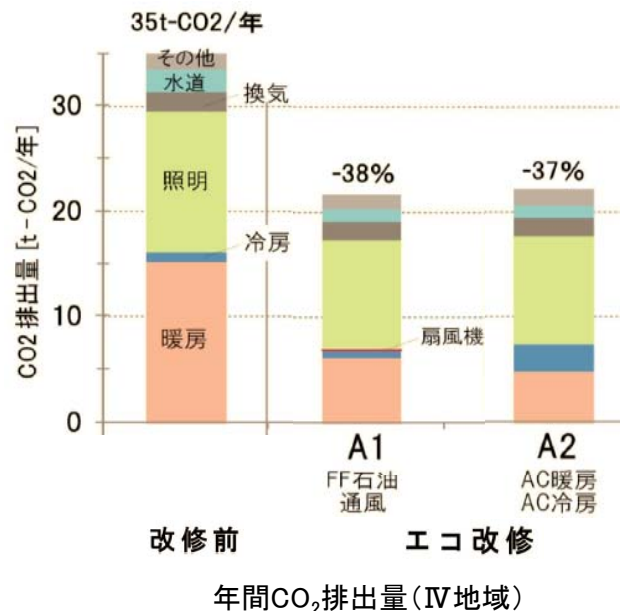
(1)CO₂排出量の削減

●年間のCO₂排出量

校舎のエコ改修を行うと、改修前と比べて、プランA1で約38% (13t)、プランA2で約37% (13t) 削減されます。

●冷房運転に伴うCO₂排出量

エコ改修を行い、教室において運転時間に配慮し設定温度28℃で冷房運転を行うと、約1.8t増加し、これは校舎全体のCO₂排出量の約8%に当たります。一方で、高効率の冷暖房機器導入や断熱性能の向上により、冬季の暖房用エネルギー減少に伴うCO₂排出量削減の効果が大きく効いてくるため、年間を通したCO₂排出量は改修前と比べて約37%の削減となります。



● 冷暖房による年間CO₂排出量

建物の断熱性能向上と冷暖房設備機器の効率向上を併せて行うことにより、改修前に比べて、プランA1で約57% (9t)、プランA2で約54% (9t) の削減となります。

● 照明による年間CO₂排出量

高効率型機器への更新と照度センサー、人感センサーの導入により、改修前と比べて約24% (3t) の削減となります。

● 水の使用に伴うCO₂排出量

老朽改修の際、手洗い等を泡沫水洗や節水型便器等に更新することにより、改修前に比べて約46% (1t) の削減となります。

CO₂排出量[t-CO₂/年]
(IV地域)

	改修前	エコ改修	
		A1 (FF暖房+通風)	A2 (教室で冷房使用)
暖房	15.0	6.1 (Δ57)	4.8 (Δ54)
冷房	0.9	0.7	2.5
扇風機	0.0	0.2	0.0
照明	13.4	10.2 (Δ24)	10.2 (Δ24)
換気	1.8	1.8	1.8
水道	2.4	1.3 (Δ46)	1.3 (Δ46)
その他	1.5	1.5	1.5
計	35	22 (Δ38)	22 (Δ37)

※()内数値は改修前のCO₂排出量に対する削減割合(%)である。

(2) 教室環境の改善

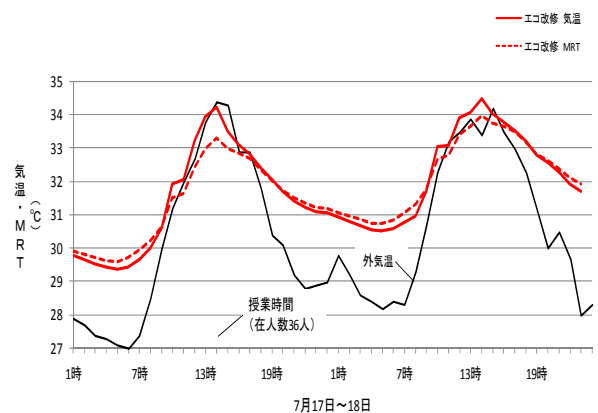
● 夏季の室温

夏季の教室は、日射遮蔽や通風の促進を施しても、室温が30℃を超える日もあります。このため、扇風機を活用して対流を促すことで体感温度を下げたり、冷房を導入する(プランA2)などの対策も必要です。

● 冬季の室温

エコ改修では建物の断熱性能の向上により、同じ暖房設定温度でも従来の改修と比べて体感温度は2~3℃程度高くなります。また、暖房運転停止後の教室の室温と壁面温度の低下が小さく、冬の夜間の室温と壁面温度は10℃以上に保たれます。

これにより、朝方の暖房立ち上がり時の負荷が低減され、同じ暖房設備機器でも早く温まります。



7月17日~18日
網掛部分は授業時間を示す (在人数36人)

夏季の気温、MRTの経時変化
(プランA1 IV地域)

※MRTとは平均放射温度、または周壁平均温度の略で、室構成面(壁・床・天井・窓)の表面温度について面積の重みづけ平均で表される。

● 光環境

窓に設置した中庇は日射遮蔽効果がある他、ライトシェルフとしても機能し、教室の光環境の改善も期待できます。

(3) エコ改修におけるイニシャルコスト

● 概算工事費(1㎡あたり(税抜き))

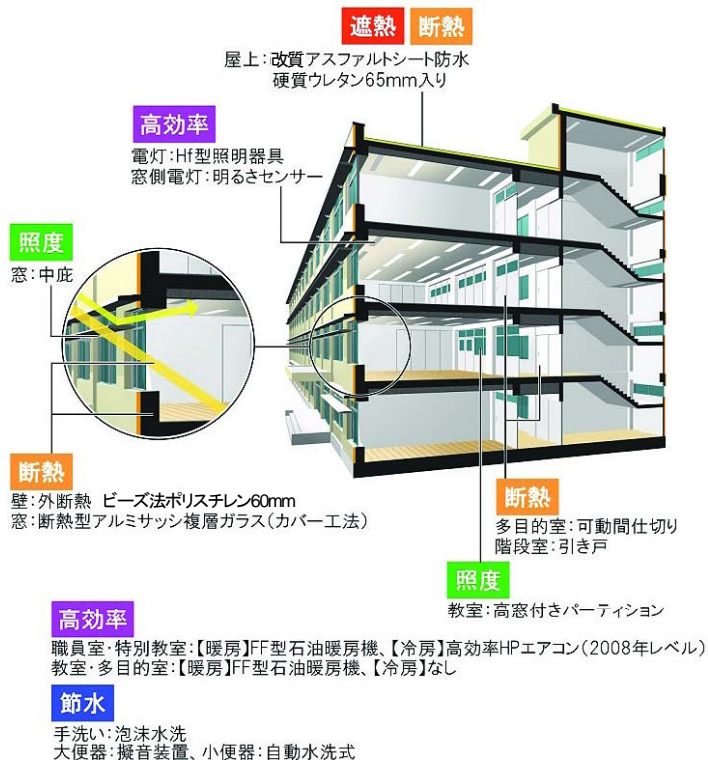
耐震及び老朽・質的改修と併せて行うエコ改修の工事単価は約12万円/㎡~12.3万円/㎡であり、環境対策に伴う単価増は約3.3万円/㎡~3.6万円/㎡となっています。環境対策を考慮した大規模な改修工事は、必要な財源を確保した上で、既存校舎の改修・改善事業、特に耐震改修事業に併せて行うことも有効です。

単位面積当たりの概算工事費(税抜き) (円/㎡)

工事種別	主な内容	従来の改修	エコ改修	
			A1 (FF暖房+通風)	A2 (教室で冷房使用)
建築工事	解体撤去 改修工事 (建物内外装、建物建具等の更新等) 耐震補強工事	63,200	95,700	95,700
機械設備工事	衛生設備工事 (水洗取替等) 給排水工事 冷暖房工事 換気設備工事	20,500	20,700	21,900
電気設備工事	照明設備工事 付帯工事 受電設備工事	3,300	3,700	4,900
合計		87,000	120,100	122,500

モデルプランB(Ⅱ地域)

計画概要



エコ改修メニュー一覧

	対象箇所	プランB(Ⅱ地域)	
		改修前	エコ改修
(1)断熱	外壁	—	外断熱、60mm (ビーズ法ポリスチレン)
	窓	アルミサッシ、フロート板ガラス	アルミサッシ (カバー工法・断熱型) 複層ガラス 全窓
	屋上	—	改質アスファルトシート防水 (硬質ウレタン65mm入り)
	暖房区画 (階段室、昇降口等)	常開の防火戸	開閉可能な扉設置
	間仕切り (多目的スペース・廊下間)	—	可動間仕切り設置
(2)遮蔽	外壁	既存水平庇(W500)	窓中間に庇(W600)の設置
(3)温度調整	内壁・天井 (普通教室、多目的スペース)	—	扇風機(各部屋4台)
	外壁	—	窓中間に庇(W600)の設置
(4)照度	間仕切り (普通教室・廊下間)	—	スチールパーティション (高窓付きH1700mm)
	間仕切り (普通教室・廊下間)	—	スチールパーティション (高窓付きH1700mm)
(5)通風	窓 (普通教室、多目的スペース)	—	なし
	窓 (階段室、廊下)	—	なし
	照明 (普通教室、多目的スペース)	FL型照明器具 (40W×16)	Hf型照明器具 (窓側を照度センサー付)
(6)高効率・節水	照明 (便所、階段)	FL型照明器具 (20W×2)	FL型照明器具 (人感センサー付)
	冷暖房設備 (職員室・特別教室)	暖: FF型石油暖房機 (1995相当) 冷: HPエアコン	暖: FF型石油暖房機 (2008高効率) 冷: HPエアコン
	冷暖房設備 (普通教室、多目的スペース)	暖: FF型石油暖房機 冷: なし	暖: FF型石油暖房機 冷: なし
	手洗	流し水洗	泡沫水洗
	便所	擬音装置なし、フラッシュバルブ式小便器	擬音装置、自動水洗式小便器

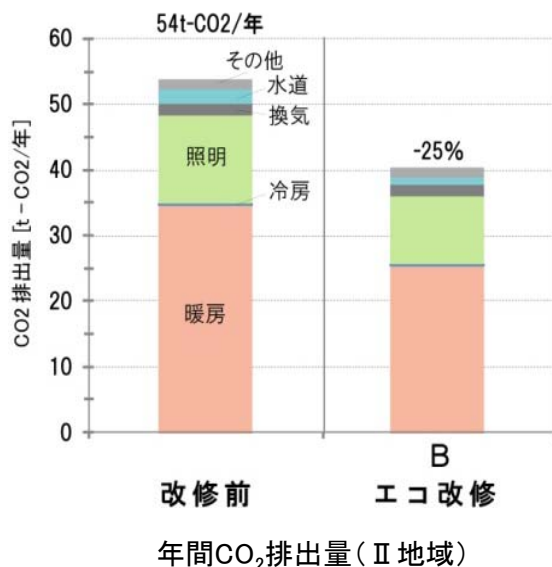
シミュレーション結果

(1)CO₂排出量の削減

●年間のCO₂排出量

校舎のエコ改修を行うと、改修前と比べて、約25% (13t) 削減されます。

寒冷地であるⅡ地域では、冬季の暖房によるエネルギー使用の割合がⅣ地域よりも大きいことから、高効率型の冷暖房機器への更新、屋根・壁・開口部の断熱化、冷暖房区画の設置等を行うことにより、暖房によるエネルギー使用量が減少し、CO₂排出量の削減につながっています。



● 冷暖房による年間CO₂排出量

建物の断熱性能向上と冷暖房設備機器の効率向上を併せて行うことにより、改修前に比べて、約26% (9t) の削減となります。

● 照明による年間CO₂排出量

高効率型機器への更新と照度センサー、人感センサーの導入により、改修前と比べて約24% (3t) の削減となります。

● 水の使用に伴うCO₂排出量

老朽改修の際、手洗い等を泡沫水洗や節水型便器等に更新することにより、改修前に比べて約46% (1t) の削減となります。

CO₂排出量[t-CO₂/年]

(Ⅱ地域)

	改修前	エコ改修	
			B
暖房	34.9	25.6	(△26)
冷房	0.0	0.1	
扇風機	0.0	0.0	
照明	13.4	10.2	(△24)
換気	1.8	1.8	
水道	2.4	1.3	(△46)
その他	1.5	1.5	
計	54	41	(△25)

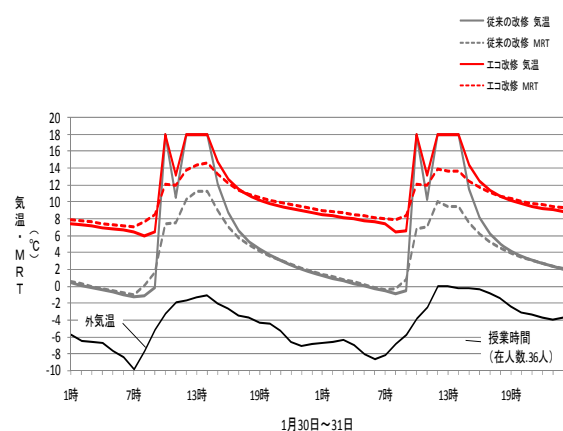
※()内数値は改修前のCO₂排出量に対する削減割合(%)である。

(2) 教室環境の改善

● 冬季の室温

エコ改修では建物の断熱性能の向上により、同じ暖房設定温度でも従来の改修と比べて体感温度は2~3℃程度高くなります。また、暖房運転停止後の教室の室温と壁面温度の低下が小さく、冬の夜間の室温と壁面温度は6℃以上に保たれます。

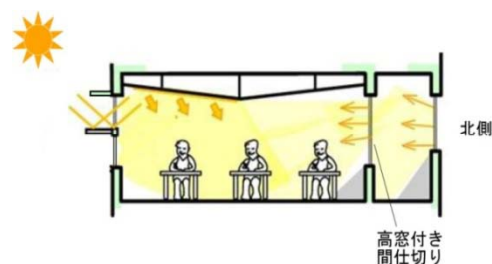
これにより、朝方の暖房立ち上がり時の負荷が低減され、同じ暖房設備機器でも早く温まります。



網掛部分は授業時間を示す (在人数36人)

冬季の気温、MRT、暖房負荷の経時変化 (プランB Ⅱ地域)

※MRTとは平均放射温度、または周壁平均温度の略で、室構成面(壁・床・天井・窓)の表面温度について面積の重みづけ平均で表される。



● 光環境

窓に設置した中庇は日射遮蔽効果がある他、ライトシェルフとしても機能し、教室の光環境の改善も期待できます。

(3) エコ改修におけるインシヤルコスト

● 概算工事費 (1㎡あたり(税抜き))

耐震及び老朽・質的改修と併せて行うエコ改修の工事単価は約13.6万円/㎡であり、環境対策に伴う単価増は約4.9万円/㎡となっています。環境対策を考慮した大規模な改修工事は、必要な財源を確保した上で、既存校舎の改修・改善事業、特に耐震改修事業に併せて行うことも有効です。

※プランBの場合、外壁部分の外断熱の実施や窓部分に断熱型アルミサッシを使用しているため、プランAに比べ、改修費用が割高になっています。

単位面積当たりの概算工事費(税抜き)

(円/㎡)

工事種別	主な内容	従来の改修	エコ改修
			B FF暖房 +通風
建築工事	解体撤去 改修工事 (建物内外装、建物建具等の更新等) 耐震補強工事	63,200	109,300
機械設備工事	衛生設備工事 (水洗取替等) 給排水工事 冷暖房工事 換気設備工事	20,500	23,200
電気設備工事	照明設備工事 付帯工事 受電設備工事	3,300	3,700
合計		87,000	136,200

エコ改修モデルプランの仕様と効果

下表は各モデルプランにおけるエコ改修を行った実施メニューの一覧とその実施したメニューが省エネルギー効果、環境改善効果、老朽化対策のうち、どのような効果を狙ったものであるかを示しています。

○: 改修仕様において狙った効果

改修項目	対象箇所	仕様	該当プラン	省エネルギー効果				環境改善効果					老朽化対策						
				暖房	冷房	照明	水	温熱環境		光環境				音環境					
								冬	夏	冬	中間	夏							
外壁	1 防水	屋上	改質アスファルトシート防水	共通													○		
	2 断熱	屋上(外断熱)	硬質ウレタン60mm	A1,A2	○	○			○	○								○	
			硬質ウレタン65mm	B	○	○			○	○									○
		外壁(内断熱)	硬質ウレタン吹付け35mm	A1,A2	○				○										
		外壁(外断熱)	ビーズ法ポリスチレン60mm	B	○				○										
	3 窓	教室	通気ガラリ付きアルミサッシ 複層ガラス(カバー-工法)	A1,A2	○						○	○							○
			断熱型アルミサッシ 複層ガラス(カバー-工法)	B	○						○	○							○
		特別・管理諸室・廊下	アルミサッシ 複層ガラス(カバー-工法)	A1,A2	○							○							○
			断熱型アルミサッシ 複層ガラス(カバー-工法)	B	○							○							○
	4 換気窓	階段室	自動開閉式窓	A1,A2															○
なし			B															○	
5 庇	窓	窓上部の水平庇(W500) (既存)+窓中間に水平庇 (W600)	共通		○						○		○	○					
内部区画	6 階段室 区画扉	階段室、昇降口等	開閉可能な扉設置	A1,A2	○	○					○	○						○	
				B	○						○	○							○
	7 間仕切り	普通教室~廊下	高窓付きスチールパーティション (窓H1700mm)	A1,A2	○	○					○	○	○	○	○				○
		普通教室 ~多目的スペース 多目的スペース~廊下	可動間仕切り	A1,A2	○	○					○	○							○
				B	○					○	○							○	
内装工事	8 内壁	普通教室、 多目的スペース	EP塗装(白)	共通			○					○	○	○				○	
	9 床	普通教室、 多目的スペース	フローリングボード (クッション付)	共通													○	○	
	10 天井	普通教室、 多目的スペース	化粧岩綿吸音板	共通													○	○	
衛生設備	11 手洗い	水栓	泡沫水洗	共通				○											
	12 便所	大便器	節水型大便器に変更	共通														○	
	13 センサー 設置	大便器・小便器	擬音装置、 自動水洗式小便器	共通															
冷暖房 設備	14 暖冷房 (エアコン)	特別教室・管理諸室	高効率エアコンに変更 (2008年相当)	A1,A2	○	○					○	○						○	
			高効率エアコンに変更 冷房のみ(2008年相当)	B		○						○	○						○
	15 暖房 (FF型石油 暖房)	普通教室、 多目的スペース (プランBは特別教室・ 管理諸室を含む)	機器の更新	A1,B								○							○
			新規高効率エアコンの設置 (2008年相当)	A2	○								○						○
	16 冷房 (エアコン)	普通教室、 多目的スペース	—	A1,B															
			新規高効率エアコンの設置 (2008年相当)	A2										○					
	17 扇風機	普通教室、 多目的スペース	4台/教室設置	共通															
電灯照明 設備	18 電灯照明	普通教室、 多目的スペース	Hf型照明器具に変更 (Hf32W×16台)	共通				○										○	
	19 センサー 設置	普通教室、 多目的スペース	窓側を照度センサー付き	共通															
		便所、階段	人感センサー付き	共通															

〈平成21年8月〉