

学校におけるエネルギー環境管理システム (簡易 BEMS) の概念設計

京都市立 H 高校を事例とした省エネルギー行動指針と
エネルギーモニタリングシステムを用いたエネルギー管理方法の提案

亀山 太輔

環境計画学科環境社会計画専攻において学士(環境科学)の学位授与の資格の
一部として滋賀県立大学環境科学部に提出した研究報告書

2006 年度

承認

指導教員

学校におけるエネルギー環境管理システム（簡易 BEMS）の概念設計

京都市立 H 高校を事例とした省エネルギー行動指針と

エネルギーモニタリングシステムを用いたエネルギー管理方法の提案

石川研究室 0312009 亀山太輔

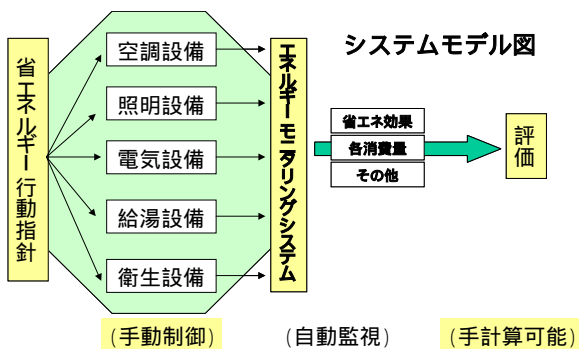
1. 研究の背景

多くの場合、学校の省エネルギーに対する取り組みの主なインセンティブは、「環境にやさしい」というイメージをステークホルダーに与えることであり、社会的責任という観点から省エネルギーに取り組む場合が多く、省エネルギー施策推進の原動力としてはどうしても乏しい。

そのため、学校エネルギーの管理方法については議論があまりされておらず、未だに具体的な方策が示されていないのが現状である。

2. 研究の目的

本研究は、BEMS の自動制御部分を手動に直した簡易エネルギー環境管理システム（BEMS）について概念設計を行い、学校利用者と使用するエネルギーのインターフェースモデルを構築することを目的としている。



3. 研究の意義

BEMS とは、リアルタイムに建物のエネルギー情報を解析し、自動的に建物の室内環境とエネルギー性能の最適化を図るシステムである。しかし、BEMS は大規模なシステムであるため、中小建物のエネルギー制御方法と

してはあまり受け入れられていない。省エネルギー法でも BEMS 等の利用を促しているが、中小建物における BEMS 導入は低迷している。そのため、国内の中小建物に対する省エネルギー管理はまだまだ行き届いていないのが現状である。

エネルギーの使用実態を明らかにし、適正化を行ってゆく BEMS のプロセスは非常に省エネルギーに対して有効的な手段であり、そのため、中小建築物をターゲットとした簡易 BEMS について考えていく意義は大きい。

4. 研究の方法

本研究は京都市立 H 高校を研究事例とし、同校に対してヒアリング調査とアンケート調査を行うことでエネルギー運用に関するいくつかの問題点を明らかにした。これより 17 つの省エネルギー管理指針(表 4-1)を作成し、その効果測定と評価方法について研究を行い、省エネ行動からエネルギー評価までの一連の流れをシステムとしてまとめた。

表 4-1 省エネルギー管理指針

管理部	指針	省エネルギー管理指針	モニタリング
空調	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	No.1
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する	No.1
	3	暑くも寒くもないときは空調を停止する	No.1
	4	冷房設定値は 26 以上とし、28 を基準値とする	No.2
	5	暖房設定値は 22 以下とし、20 を基準値とする	No.2
	6	設定温度の変更は一度に 2 までとする	No.2
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	No.3
	8	冷却塔の設置状況を改善する	No.3
	9	空調機・FCU・GHP・PAC のフィルター清掃を行う	No.4
	10	全熱交換機のフィルター整備を行う	No.4
	11	空調時には窓・ドアを開め、断熱を行う	No.5
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する	No.6
	13	窓の遮蔽フィルムを設置する	No.7
照明	14	不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	No.8
	15	照明器具及び壁面天井の清掃を行う	
	16	高効率ランプへ交換する	No.9
EV	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	No.10
雑		運用状況の改善に努め、定めた指針を遵守する	

5. 省エネルギー行動指針の作成

表 4-1 に示した管理指針に基づいて H 高校の各室に省エネルギー行動指針を作成した(例; 表 5-2)。

表 5-2 省エネ行動指針例(更衣室)

更衣室	省エネルギー行動指針
夏	冷房設定温度は28 にしましょう
	体育・部活動のあとは必ず冷房をやめましょう
	冷房中はドアを必ず閉めましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	暖房設定温度は20 にしましょう
	体育・部活動のあとは必ず暖房をやめましょう
	冷房中はドアを必ず閉めましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	使用後は照明を消しましょう

6. 省エネルギー効果の算定方法

次に、定めた管理指針ごとの省エネ効果を表 6-1 にまとめ、表 6-2 に各効果の算定方法と、算定に用いるデータを整理した。

表 6-1 省エネ管理指針の効果

対象	指針	省エネルギー行動指針	効果	効果算定方法
空調設備	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	運転時間の短縮	
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する		
	3	暑くも寒くないときは空調を停止する		
	4	冷房設定値は26 以上とし、28 を基準値とする	機器の適正運転	
	5	暖房設定値は22 以下とし、20 を基準値とする		
	6	設定温度の変更は一度に2 までとする		
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	冷房負荷の低減	
	8	冷却塔の設置状況を改善する		
	9	空調機、FCU、GHP、PACのフィルター清掃を行う	空調負荷の低減	
	10	全熱交換機のフィルター整備を行う		
	11	空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う		
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する		
	照明設備	13	窓の遮光フィルムを設置する	
14		不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	点灯時間の短縮	
15		照明器具及び壁面天井の清掃を行う	反射率の向上	x
EV	16	高効率ランプへ交換する	照明負荷の低減	
	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	動力負荷の低減	

7. 効果算定に用いるデータ収集経路

表 6-2 に示した 10 種の効果算定に用いる各データの収集対象、及び中央監視にデータが収集されるまでの経路を系統図に示した(例; 図 7-1)。表 7-1 はデータ収集ログの頻度。

また、表 4-1 に示していたモニタリング No. は、各種データ収集システムを示したものであり、これらは表 6-2 の No. に対応したものである。

今回作成した効果算定方法は日本ビルエネルギー総合管理技術協会の省エネ効果試算方法を基に作成したオリジナルのものである。

表 6-2 省エネルギー効果の算定方法

No.	効果算定方法	必要データ
	$\text{空調削減 空調機停止 延長時間} = \text{前時稼働時間} - \text{運転時間}$ $\text{室内機停止 延長時間} = 10\text{時間} - \text{運転時間}$ $\text{消費電力削減量} = (\text{運転時の消費電力合計} - \text{運転時間} - \text{停止時の消費電力合計} + \text{停止時間}) \times \text{短絡電圧}$ $\text{消費電力削減量} = (\text{運転時の消費電力合計} - \text{運転時間} - \text{停止時の消費電力合計} + \text{停止時間}) \times \text{延長時間}$	運転内容/冷房暖房 運転時間 空調消費電力 空調消費電力 室温 外気温
	$\text{冷房} \\ \text{冷房時上り室温} = \text{冷房時平均室温} - 26 \\ \text{冷房削減量} = \text{冷房時空調消費電力} \times \text{冷房削減効果率}(0.1) \times \text{冷房時上り室温} < 0 \\ \text{冷房削減量} = \text{冷房時空調消費電力} \times \text{冷房削減効果率}(0.1) \times \text{冷房時上り室温} < 0 \\ \text{冷房削減率} = \text{冷房削減削減量} / (\text{冷房時空調消費電力} + \text{冷房削減削減量}) \\ \text{暖房時下り室温} = 22 - \text{暖房時平均室温} \\ \text{暖房削減量} = \text{暖房時空調消費電力} \times \text{暖房削減効果率}(0.13) \times \text{暖房時下り室温} < 0 \\ \text{暖房削減量} = \text{暖房時空調消費電力} \times \text{暖房削減効果率}(0.13) \times \text{暖房時下り室温} < 0 \\ \text{暖房削減率} = \text{暖房削減削減量} / (\text{暖房時空調消費電力} + \text{暖房削減削減量})$	運転内容/冷房暖房 運転時間 空調消費電力 空調消費電力 室温 外気温
	$\text{熱負効果} = 0.3\text{kwh/m}^2 \times \text{天井断面積} \times 9.83\text{M/kwh} \times \text{夏季晴天日数}$	屋上窓部の表面積 天井断面積 天候
	$\text{エネルギー損失削減量} = \text{各機器の年間消費電力} \times (1 - 0.05) - \text{各機器の年間消費電力}$ $= \text{各機器の年間消費電力} \times 0.053315$	各機器の年間消費電力 各機器の消費電力
	$\text{換気用外気取入量(m}^3\text{/h)} = 25\text{m}^3\text{/h}$ $\text{外気取入量(m}^3\text{/h)} = \text{外気負荷(MJ/m}^2\text{-月)}$ $A = \text{余剰外気負荷(MJ/m}^2\text{-月)} = (\text{外気取入量} - 25)$ $\text{エネルギー削減量(MJ/月)} = A \times \text{室内積}$ $\text{外気取入量(m}^3\text{/h)} + 1 \quad \text{外気負荷(MJ/m}^2\text{-月)}$ $B = \text{余剰外気負荷(MJ/m}^2\text{-月)} = (\text{外気取入量} - 25) + 1$ $\text{エネルギー削減量(MJ/月)} = B \times \text{室内積}$	運転内容/冷房暖房 外気取入量 平均室内人数 室内積
	$\text{冷房削減量(MJ)} = \text{空調電力消費量} \times (1 - 0.24) - \text{空調電力消費量(MJ)}$ $= \text{空調電力消費量} \times 0.31579$ $\text{暖房削減量(MJ)} = \text{空調用ガス消費量} \times (1 - 0.18) - \text{空調用ガス消費量(MJ)}$ $= \text{空調用ガス消費量} \times 0.21951$	カーテン・ブラインドの 空調時における利用率
	$A = \text{空調機消費電力(MJ)}$ $\text{空調削減量(MJ)} = A \div (1 - 0.19) - A$ $= A \times 0.23467$ 断熱タイプ $\text{空調削減量(MJ)} = A \div (1 - 0.25) - A$ $= A \times 0.33333$	遮光フィルムの設置状況 遮光フィルムの仕様 空調消費電力 空調消費電力
	$\text{照明削減量(kwh)} = \text{照明電力消費量(kwh)} - \text{室内総ワット数(kwh)}$ $\text{点灯時間} = \text{前時稼働時間} - \text{今時稼働時間}$ $\text{照明電力削減削減量(MJ)} = \text{室内総ワット数} \times \text{点灯時間} \times 9.83\text{M/kwh}$ $A = \text{交換するランプの総ワット数} \times \text{高効率照明電力(kwh)} \times \text{交換本数}$ $B = \text{交換されるランプの総ワット数} \times \text{標準照明電力(kwh)} \times \text{交換本数}$ $\text{点灯時間} = \text{照明電力削減削減量(kwh)} \div A$ $\text{照明電力削減削減量(kwh)} = (B - A) \times \text{点灯時間}$	照明消費電力 室内総ワット数
	$E\text{の省エネ削減削減量(MJ/m}^2) = \text{前期レベル-外気負荷削減量} - \text{今期レベル-外気負荷削減量}$	Eの省エネ削減削減量

* 効果算定方法 No. はモニタリング系統 No. と対応

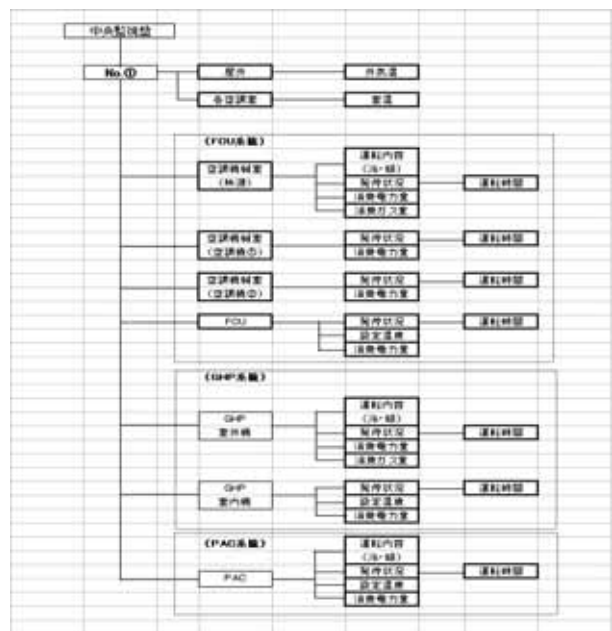


図 7-1 モニタリング系統図例 (No.)

表 7-1 データログの頻度

No.	必要なデータ	リアルタイム	日単位	更新時	固定値
	運転内容(冷房/暖房)				
	運転時間				
	空調消費電力量				
	空調消費ガス量				
	室温				
	外気温				
	運転内容(冷房/暖房)				
	運転時間				
	空調消費電力量				
	空調消費ガス量				
	空調設定温度値				
	屋上壁面の表面温度				
	日照緩和面積				
	天候				
	清掃の有無				
	各機器の消費電力量				
	運転内容(冷房/暖房)				
	外気取入量				
	平均室利用人数				
	室面積				
	カーテン・ブラインドの 空調時における利用率				
	遮蔽フィルムの設置状況 遮蔽フィルムの仕様				
	空調消費電力量				
	空調消費ガス量				
	照明消費電力量 室内総ワット数				
	標準照明電力 高効率照明電力 交換本数				
	照明消費電力量 EV消費電力量				

表 8-1 H 高校のエネルギー評価方法

No.	評価項目	評価判定方法																									
	生徒100人当たりのエネルギー使用量 総消費熱量(GJ) = A MJ ÷ 1000 = 総消費熱量 ÷ 生徒総数 × 100人	他校比較・経年変化を見る指標																									
	省エネルギー率(%) = エネルギー削減量 ÷ 総消費量	<table border="1"> <tr> <th colspan="5">評価</th> </tr> <tr> <td>消費量の増減率</td> <td>減</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>×</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー率</td> <td>増</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>減</td> </tr> <tr> <td>エネルギー消費について</td> <td>見直し</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>要対策</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー活動について</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> </tr> </table> <p>増減は前年度との差から求める</p>	評価					消費量の増減率	減	減	増	×	省エネルギー率	増	減	増	減	エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策	省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策
評価																											
消費量の増減率	減	減	増	×																							
省エネルギー率	増	減	増	減																							
エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策																							
省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策																							
	省エネルギー目標達成率(%) 目標消費量(MJ/m ²) = 本年度消費原単位 × (1 - 目標削減率) 目標達成率(%) = 目標消費量 ÷ 次年度消費原単位 目標達成度 = 目標達成率(%) - 100	<table border="1"> <tr> <th colspan="3">評価</th> </tr> <tr> <td>目標達成率</td> <td>100%以上</td> <td>100%未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成度</td> <td>0以上</td> <td>0未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成状況</td> <td>達成</td> <td>未達成</td> </tr> </table>	評価			目標達成率	100%以上	100%未満	目標達成度	0以上	0未満	目標達成状況	達成	未達成													
評価																											
目標達成率	100%以上	100%未満																									
目標達成度	0以上	0未満																									
目標達成状況	達成	未達成																									
	二酸化炭素の排出量(kg-CO₂) = 各消費量(削減量) × 二酸化炭素排出係数	<table border="1"> <tr> <th>種類</th> <th>係数</th> </tr> <tr> <td>電気</td> <td>0.356 kg-CO₂/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>236 kg-CO₂/m³</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>0.58 kg-CO₂/m³</td> </tr> </table>	種類	係数	電気	0.356 kg-CO ₂ /kwh	ガス	236 kg-CO ₂ /m ³	水道	0.58 kg-CO ₂ /m ³																	
種類	係数																										
電気	0.356 kg-CO ₂ /kwh																										
ガス	236 kg-CO ₂ /m ³																										
水道	0.58 kg-CO ₂ /m ³																										
	金額換算(円) = 各削減量(消費量) × エネルギー単価	<table border="1"> <tr> <th>種類</th> <th>エネルギー単価</th> </tr> <tr> <td>電気</td> <td>22 円/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>149 円/m³</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>228 円/m³</td> </tr> </table>	種類	エネルギー単価	電気	22 円/kwh	ガス	149 円/m ³	水道	228 円/m ³																	
種類	エネルギー単価																										
電気	22 円/kwh																										
ガス	149 円/m ³																										
水道	228 円/m ³																										

表 9-1 H 高校とシステムの概要

対象建物	京都市立高等学校
主要用途	高等学校
延床面積	12643.46 m ²
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地階を除く階数 6階
	地階の階数 0階
総人員数	856 人 (平成18年度調べ)
主な館内施設	食堂・図書館・EV2台・アリーナ・トレーニングルーム等
空調設備	FCU系統・GHP系統 (一部PAC使用)
消費原単位	年間約 537.6MJ/m ²
システム概要	簡易BEMS
主要用途	エネルギー使用の最適化
制御部	省エネルギー管理設計 (17設計)
監視部	エネルギーモニタリングシステム (監視項目10系統)
管理部	エネルギー評価方法 (5箇)
システムの先進性	今まで評価されてこなかった啓蒙種による省エネルギー効果の判定を行うことができ、具体的な改善案を立案することができる。そのため機器の自動制御機能を欠いてもこのシステムによって省エネルギーに寄与することができる

8. エネルギー使用に対する評価方法

建物の運用方法について新たに改善策を立案し、モニタリングデータから各種省エネルギー行動へフィードバックを行うためには、実際に使用したエネルギー量と省エネルギー行動による効果量を把握し、的確に評価を行う必要があるため、モニタリング管理から得られる省エネルギー行動の効果量と、実際の消費量を用いた5つのエネルギー評価方法を作成した。これを表 8-1 に示す。

9. H 高校のエネルギー環境管理システム

本研究は、小中高等学校のような比較的エネルギー規模の小さい学校の省エネルギー施策として、啓発活動による省エネルギー行動を推進することが最も効果的であるとし、BEMSのモニタリング管理による自動制御部分を手動に直したエネルギー環境管理システムについて、京都市立 H 高校を事例に概念設計を行ったものである。表 9-1 にその概要を示す。

手動制御を適正に行うためには、比較・判断を行うための基準が必要であり、本研究ではこれを省エネルギー行動指針として定めている。これより、施設利用者が正しく機器の運用を行うことによってエネルギー使用の適正化を行い、実際値をモニタリング管理することによってその効果判定を行うことができる。

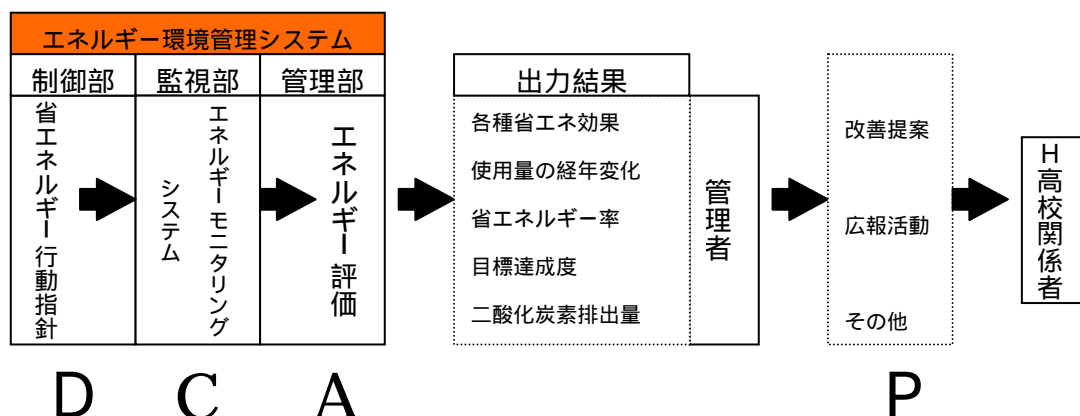


図 10-1 システムを用いた PDCA

10. 結論

H 高校を事例として構築した本研究の簡易 BEMS では、まず制御部として省エネルギー行動指針を用いることとした。これは、各人のエネルギー利用に対する認識を統一させ、全体の運用方法を見直すことによってエネルギー使用の最適化を目指すものであり、これが、これまでの BEMS の自動制御に代わる手動制御の部分に当たる。認識を統一させるとは、今回の研究調査から明らかになった各エネルギーの浪費につながる行為・行動を皆がよく理解し、どのような設備利用が適切であるかという認識を全体で統一させるという意味である。これによって、全体が一丸となった省エネルギー行動が得られ、効果を発揮するものであるため、管理者は定めた行動指針の意図をよく理解し、これを学校全体に伝えていく必要がある。

監視部には BEMS でも利用されているエネルギーモニタリングシステムを用いてエネルギー使用を個別に計測することとした。エネルギーの使用用途は多岐にわたっており、全体のエネルギー使用量からエネルギー利用の現状を把握することは現実的に不可能である。よって、エネルギーの使用量については系統別の把握を行うモニタリング管理を行う必要があり、これによって省エネルギー行動指針の効果判定を行う基礎データを収集、蓄積及び加工を行う。

管理部では、得られた各種計測計量結果を用いた全体の評価方法を作成した。各種計測計量結果とは、省エネルギー行動による各効果量を算出したものであり、これによって、各省エネルギー行動と省エネルギー行動による学校全体のエネルギー使用を評価することができる。

11. まとめ

今回構築するのは、学校における啓発活動の効果測定を目的とした新しい BEMS である。これまで BEMS は、建物内に設置された各種機器の運転効率の向上を目的として発展してきたシステムであり、その管理対象はハードな面に特化している。この管理対象を今回ソフトな目線に変えて計量を行うことで、人のエネルギー消費行動を把握することができ、啓発活動の内容を評価することが可能となる。

しかし、BEMS とはあくまでビル管理のツールであり、このシステム自体が省エネルギーを実現するわけではない。今回構築した簡易 BEMS においても、省エネを達成するためには常に人のエネルギー消費行動について評価を行い、改善を行う必要があることを忘れてはいけない。

The conceptual design of the energy environmental control system in the school.
 Proposition of the energy environmental control system which uses energy-saving conduct guide and energy monitoring system in the case of the H high school in Kyoto.

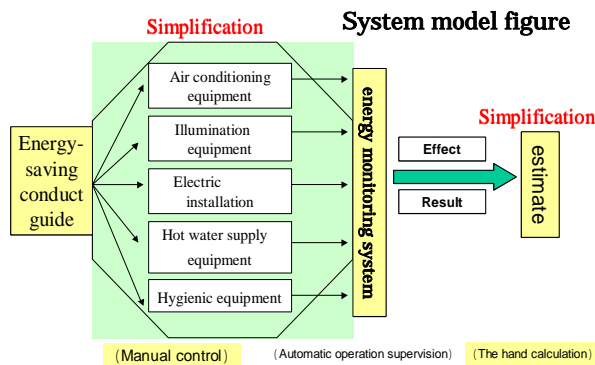
Ishikawa laboratory 0312009 Taisuke Kameyama

1. Background

Argument concerning the management method of energy of the school is not done. And concrete plan is not shown yet.

2. Object

Constructs the simple energy environmental control system that exchanges the automatic control part of BEMS to manual operation.



3. Meaning

The process of BEMS is very effective expedient in the energy saving. Because, it makes the actual condition of energy usage clear. So, it is important to keep thinking concerning simple BEMS that designates the small-to-medium-sized building as the target.

4. Method

This research has designated H high school in Kyoto as the research case. First,

explain the problematical point concerning energy use of the H high school by the investigation which is survey and legwork. Then, I draw up the energy saving management guide consists of 17. Next, I research on the effective measurement and estimation method of it, put together the consecutive flow to energy estimation from energy saving conduct as the system.

5. Conclusion

This constructing system that is designated as purpose of this research is new BEMS where effective measurement of the enlightenment activity for energy saving in the school, and it is possible to construct from result of research. It becomes possible to estimate the contents of enlightenment activity.

BEMS is, however, the tool of building management. It is not meaning that this system itself actualizes the energy saving.

About this simple BEMS which is constructed in this research, it is necessary to estimate and better the energy consumption conduct of the person every day for accomplishing the energy saving.

6. Acknowledgements

To all people who cooperated, thank you.

目 次

表紙	
要旨	~
目次	~
図表目次	~ xi
第 1 章 エネルギー管理と省エネルギー技術の普及状況について	
1.1 国の省エネルギー施策と建築物におけるエネルギー管理の課題	1
第 2 章 BEMS (Building and Energy Management System) とは	
2.1 BEMS とは	5
2.2 BEMS の定義	5
2.3 BEMS の概念	6
2.4 省エネルギー法の BEMS に関する規定	9
2.5 BEMS を支えるエネルギーモニタリングシステム	10
2.6 BEMS の課題	11
第 3 章 学校エネルギー管理における着眼点の抽出	
3.1 研究の背景	12
3.2 研究の目的	12
3.3 研究の方法	14
3.4 研究の予備調査	
3.4.1 BEMS に関する調査	15
3.4.2 H 高校に関する調査	16
3.5 H 高校のエネルギー消費状況	16
3.6 H 高校の設備状況	19
3.7 H 高校の設備・運用・エネルギー消費の一般比較	23
3.8 H 高校の運用状況	34
3.8.1 登下校について	35
3.8.2 エネルギーの使用について	37
3.8.3 窓の開閉について	39
3.8.4 過冷房・過暖房について	41

第4章	H高校の省エネルギー行動指針	
4.1	非・省エネルギー行動と各対応	45
4.2	H高校省エネルギー行動指針	51
第5章	H高校のエネルギーモニタリングシステムの概念設計	
5.1	モニタリングの評価対象と省エネルギー効果算定方法	55
5.2	省エネルギー効果の評価方法	70
5.3	評価方法の考察	77
第6章	結論	
6.1	簡易BEMSについて	80
6.2	簡易BEMSの手動制御部について	81
6.3	簡易BEMSのエネルギー監視部について	87
6.4	簡易BEMSのエネルギー管理部について	90
6.5	H高校のエネルギー環境管理システム	91
6.6	まとめ	93
付録・参考資料		94
引用文献		95
謝辞		96

図 表 目 次

【図】

図 1-1	研究フロー図	4
図 2-1	BEMS のシステム概念図	6
図 2-2	エネルギー計測計量計画概念図	7
図追記	簡易 BEMS のモデル図	13
図追記	簡易 BEMS の PDCA	13
図追記	現状調査のフロー図	14
図追記	簡易 BEMS 構築の手順	14
図 3-1	H 高校の月別電気使用量	17
図 3-2	H 高校の月別ガス資料量	17
図 3-3	H 高校の月別消費総熱量	17
図 3-4	H 高校の月別使用熱量（平成 17 年度）	18
図 3-5	H 高校の平面図	20
図 3-6	H 高校の空調系統図	21
図 3-7	高校の総延床面積ヒストグラム	24
図 3-8	高校の校舎階数ヒストグラム	24
図 3-9	高校の冷暖房設備の有無	25
図 3-10	高校の冷房面積割合	25
図 3-11	高校の暖房面積割合	25
図 3-12	高校の冷房日数ヒストグラム	25
図 3-13	高校の暖房日数ヒストグラム	26
図 3-14	高校の 1 日当たりの冷房時間	26
図 3-15	高校の 1 日当たりの暖房時間	26
図 3-16	高校のエネルギー消費原単位	27
図 3-17	東京の高校の月別エネルギー消費原単位	27
図 3-18	東京の高校の月別エネルギー消費原単位（増減率）	27
図 3-19	H 高校の月平均学校稼働率	30
図 3-20	H 高校の一人当たりの月別エネルギー消費量	30
図 3-21	登校時刻と登校者数の関係	35

図 3-22	下校時刻と下校者数の関係	36
図 3-23	すぐに下校する生徒と下校時刻の関係	36
図 3-24	教室からの下校者と下校時刻の関係	36
図 3-25	図書館からの下校者と下校時刻の関係	36
図 3-26	カフェテリアからの下校者と下校時刻の関係	37
図 3-27	グラウンドからの下校者と下校時刻の関係	37
図 3-28	アリーナからの下校者と下校時刻	37
図 3-29	その他の生徒と下校時刻	37
図 3-30	学校生活の中でエネルギーの浪費を感じる人の割合	38
図 3-31	学校生活でエネルギーの浪費を感じる対象	38
図 3-32	エネルギーの浪費とを感じる要因の内訳（空調）	38
図 3-33	エネルギーの浪費とを感じる要因の内訳（照明）	38
図 3-34	エネルギーの浪費とを感じる要因の内訳（その他）	39
図 3-35	不在時・退室時に照明・空調を OFF にしている人の割合	39
図 3-36	冷暖房中に窓を開けることに抵抗を感じるか否かについて	39
図 3-37	空調時の窓を開けるタイミング	40
図 3-38	冷房時に窓を開ける理由	40
図 3-39	暖房時に窓を開ける理由と全熱交換機の効果について知っているか否かについて	40
図 3-40	回転型全熱交換器	41
図 3-41	過度の空調によって悪影響を受ける人の割合	41
図 3-42	快適な温度設定値に対する回答（冷房）	42
図 3-43	快適な温度設定値に対する回答（暖房）	42
図 3-44	冷暖房の影響緩和のための対策	43
図 3-45	冷房期間中の防寒衣類の着用率	43
図 3-46	断熱フィルムの効果フロー図	44
図 3-47	窓際の温度変化（空気調和衛生工学便覧）	44
図 3-48	窓ガラスからの標準日射熱取得例（流入熱量）	44
図 4-1	H 高校における夏季の断熱と放熱のイメージ図（H 高校正面から見た断面図）	47
図 5-1	モニタリング系統図	58
図 5-2	モニタリング系統図	58
図 5-3	モニタリング系統図 ~	58
図 5-4	モニタリング系統図	58
図 5-5	モニタリング系統図 ~	58

図 5-6	経年変化と省エネルギー率	73
図 5-7	消費量と省エネ率の関係	74
図 6-1	室温の自動制御例	80
図 6-2	室温の手動制御例	81
図 6-3	省エネ提案内容の構成比	82
図 6-4	H 高校の月別平均使用熱量	82
図 6-5	簡易 BEMS の PDCA サイクル	91
図 6-6	簡易 BEMS のシステム概念図	92

【表】

表 2-1	BEMS の機能分類表	5
表 3-1	消費エネルギー相互の相関関係	17
表 3-2	H 高校過去 3 年間の平均消費エネルギー量（推定）	19
表 3-3	空調設備の略称と主な使用エネルギー	22
表 3-4	H 高校の空調機器表	22
表 3-5	H 高校の空調機器表	23
表 3-6	アンケートの回収率	24
表 3-7	地域別アンケート回収件数	24
表 3-8	生徒 100 人当たりの年間消費熱量	28
表 3-9	H 高校の各種稼働状況に応じた日数	28
表 3-10	H 高校の学校稼働率と月別平均人員数	29
表 3-11	高等学校のエネルギー消費状況調査におけるデータ 60 項目の説明	31
表 3-12	高等学校のエネルギー消費状況調査におけるデータ 60 項目の説明	32
表 3-13	調査データ 60 項目の平均値（公立と私立）と H 高校のデータ	33
表 3-14	学校環境衛生基準 夏季教室	42
表 3-15	快適と思う冷房温度設定値の相関関係	42
表 3-16	学校環境衛生基準 冬季教室	42
表 3-17	快適と思う暖房温度設定値の相関関係	42
表 4-1	省エネルギー管理指針	45
表 4-2	H 高校の室分類表	51
表 4-3	省エネルギー行動指針（教室・非教室部）	52

表 4-4	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	52
表 4-5	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	53
表 4-6	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	53
表 4-7	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	53
表 4-8	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	53
表 4-9	省エネルギー行動指針（アメニティ部）	54
表 4-10	省エネルギー行動指針（管理部）	54
表 5-1	省エネルギー管理指針の効果	55
表 5-2	省エネルギー行動による効果の算定方法	56
表 5-3	モニタリングから分かる削減効果	56
表追記	データログの頻度	57
表 5-4	屋上緑化による日照緩和効果	61
表 5-5	外気取入量と冷房負荷	63
表 5-6	外気取入量と暖房負荷	63
表 5-7	窓の遮蔽フィルターの省エネ効果	66
表 5-8	熱量変換係数	70
表 5-9	H 高校のエネルギー評価方法	70
表 5-10	高校エネルギー消費原単位との各種相関関係	72
表 5-11	新しいエネルギー消費原単位	72
表 5-12	省エネルギー率の評価方法	74
表 5-13	評価方法 のシミュレーション	74
表 5-14	評価方法 の評価例	75
表 5-15	目標達成度の評価方法	75
表 5-16	評価方法 の評価例	76
表 5-17	二酸化炭素排出係数	78
表 5-18	電力会社ごとの二酸化炭素排出係数	78
表 5-19	各種エネルギー単価	79
表 6-1	H 高校とシステムの概要	91

第1章 エネルギー管理と省エネルギー技術の普及状況について

1.1 我が国の省エネルギー施策と建築物におけるエネルギー管理課題

省エネルギーについては、石油危機を背景としてその施策がスタートしたが、近年、地球規模での環境問題が国際的な課題として取り上げられることによって、その必要性が再び大きくクローズアップされている。特に地球温暖化については、その主な原因とされる二酸化炭素等の温室効果ガスの排出抑制及びその要因となる化石燃料の使用の削減等が国際世論として強く求められている。こうした中、1997年12月、京都において「気候変動枠組条約第3回締約国会議（COP3）」が開催され、京都議定書が採択された。この中で、先進国全体の温室効果ガス排出量削減の数量目標等が定められ、我が国は2008年から2012年までの5年間の温室ガスの平均排出量を1990年比でマイナス6%とすることが義務付けられている。その目標達成のため見直された「地球温暖化対策推進大綱」（平成14年3月19日 地球温暖化対策推進本部）のなかで、住宅・建築物分野の省エネルギーの具体的な目標として原油換算で860万klを削減すること、さらに2006年度時点で新築建築物（非住宅・2000㎡以上）の8割が省エネルギー基準（建築物に係るエネルギーの使用の合理化に関する建築主の判断の基準）を達成することとされており、建築物に対する省エネルギーの見直しが課題の一つに挙げられている。

「高齢化対策、環境対策、都市再生等、21世紀における新たな課題に対応するための建築行政のあり方に関する第一次答申」（平成14年1月30日 社会資本整備審議会）においても、住宅・建築物の省エネルギー対策について早急に講じるべき施策として、「省エネルギー計画書の義務付け及び執行体制の整備」、「分かり易い基準の策定等」に関する答申が出されている。

こうした状況を踏まえ、平成15年4月に施行された改正省エネルギー法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）では、省エネルギー措置の届出の義務付け等が行われるとともに省エネルギー性能を定量的に算定する際の判断基準の整備及び仕様書の整備がなされた。しかし、建物の使用エネルギーを定量的に把握し管理することは難しく、一般の管理者に管理を一任することは容易ではない。エネルギー管理を行うべき全ての建築物に専門家を保有させることは難しく、法律でもそこまでの規定はない。そこで、実際のエネルギー診断と分析の多くが専門の業者等に委託という形で行われ、維持管理については通信ネットワークを利用して一カ所から遠隔監視・操作する方法がとられてきている。現在では省エネルギー設備、管理システムの発達によって、より綿密なエネルギー管理が実現されており、その多くが省エネルギーに結びついているが、その実施は一部の企業ビルや工場、大学、病院、デパートなど、まだ比較的大規模な建築物にとどまっている。

独立行政法人エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）では、先ほど述べた地球温

暖化推進大綱の閣議決定を受け、国のエネルギー消費量の約 1/4 を占める民生部門に対する省エネルギー推進策として「住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業（BEMS導入支援事業）」を平成 14 年度に創設した。これによって民生用の建築物に対してビルに自動制御システムを有したエネルギー環境管理システム（BEMS）を導入する際に補助金が出されることになったが、それでも平成 16 年度実績で BEMS の実施状況の報告は 178 件にとどまっている。平成 17 年度時点での実施建築物の平均延べ床面積は新築で 83908 m²、既築で 32649 m²となっており、エネルギーを定量的に把握し管理することができるエネルギー環境管理システム（BEMS）を導入している建築物が少数の比較的大規模なものに偏っていることが分かる。

ここで、建築物の規模に比例してエネルギーの使用用途は量と共に増大し、その多くのエネルギーが空調に費やされていることが分かっている。空調を合理的に管理するにはインバータによるポンプや送風機の自動制御が最も効果的であり、自動制御システムを有するエネルギー環境管理システム（BEMS）による省エネルギー管理は、事業所やデパートなどにとって飛躍的なコスト削減につながるため、多くの場合にメリットになる反面、設備投資にかかる費用が高く、中小規模の建築物にとってシステム導入の費用対効果が薄い。そのため、設備投資の高さが普及の弊害のひとつと考えられるが、中小建築物に BEMS のような大規模システムが要求されていないのも事実である。また、テナントビルなどにかかるエネルギー消費は、消費者が各々に費用を負担するため、それらの建物管理者にとって建物全体のエネルギーを改めて管理するということが意識されにくいことや、国や市が運営費用を負担する国公立の学校や公共施設は、予算枠によって運営費用が補償されているためエネルギーの効率利用に対する意識が低く、社会的責任という観点から省エネルギーに取り組むことがほとんどである。そのため省エネルギー施策推進の原動力としてはどうしても乏しくなってしまう、省エネルギーに結びつくエネルギー管理まで踏み切らない建物も多いのではないかと考えられる。

こうした状況から建築物にかかるエネルギーに関して言えることは、今後は大規模建築物にとどまらず、中小建築物が具体的な省エネルギー施策を講じることができる簡易エネルギー管理システムについて考え、同時にエネルギーの効率的な利用の必要性とそのメリットを強く訴えていく必要があるということである。

現在、省エネルギーにおいて最も効果をあげているのは啓発活動と言われており、エネルギー環境管理システム（BEMS）のような多額の設備投資を必要としない分、取り組みの輪は大きく広がってきている。これらの活動は個体としての効果は小さくとも全体としての効果を考えると無視できない。しかし、啓発活動による効果は目に見えないところが多く、未使用の PC 電源の OFF や、節電節水、空調温度の設定値の是正など、これら省エネルギー行動の評価はほとんどの場合がなされていない。省エネ活動を行っている一部のオフィスビルや環境報告書を出している企業ビル等が建物全体に使用された電力量やガス量の経年変化を元にエネルギーの削減率を求めているが、この方法では例えば、空調機器

にかかるエネルギー等は削減量が啓発活動の効果によるものなのか、それとも気候や天候といった他要因によるものかを判別することが極めて困難であり、各省エネ行動の中から、どういう状況で何がどの程度効果的であったかなど、建物個体ごとの使用エネルギーと啓発活動の効果との因果関係を知ることができない。これは、建物個体のエネルギー使用状況を詳細に知る手段を持っておらず、効果的な対策が行えていないことを示唆している。

よって、これまで見落とされてきた中小規模の建築物にかかるエネルギーの使用実態にも的確に把握し、対策を講じるための管理システムが求められるだろう。なかでも学校のエネルギー使用状況は、(社)日本ビルエネルギー総合管理技術協会が毎年実施している「建築物エネルギー消費量調査」²⁾の中で、エネルギー消費原単位は他の用途建築物と比較すると小さいものの、児童数の減少傾向にもかかわらず、大幅な上昇傾向にあり、省エネを推進する上で他の用途建築物と同様に、エネルギーの使用状況、動向、要因等について把握し、評価できるようにする必要があると明記されており、同協会によって調査が行われ始めている。

本研究では、中小規模建築物に求められるエネルギー管理システムを考える上で、このような学校エネルギー管理の必要性を考慮し、京都市立 H 高校に協力を頂いて同校に対するエネルギー環境管理システムのプロトタイプ設計を行った。京都市立 H 高校の選定理由としては、同校は平成 8 年に校舎を全面改築した際、今後多くの学校に導入されると予想される空調設備やエレベーター、パソコン等の機器充実など、施設設備が充実しており、実際のエネルギー使用量も多いことが分かっていることから、これからの学校エネルギー管理を考える上でとても参考になると考えたためである。(図 1-1 研究フロー図)

以下、研究フロー図。

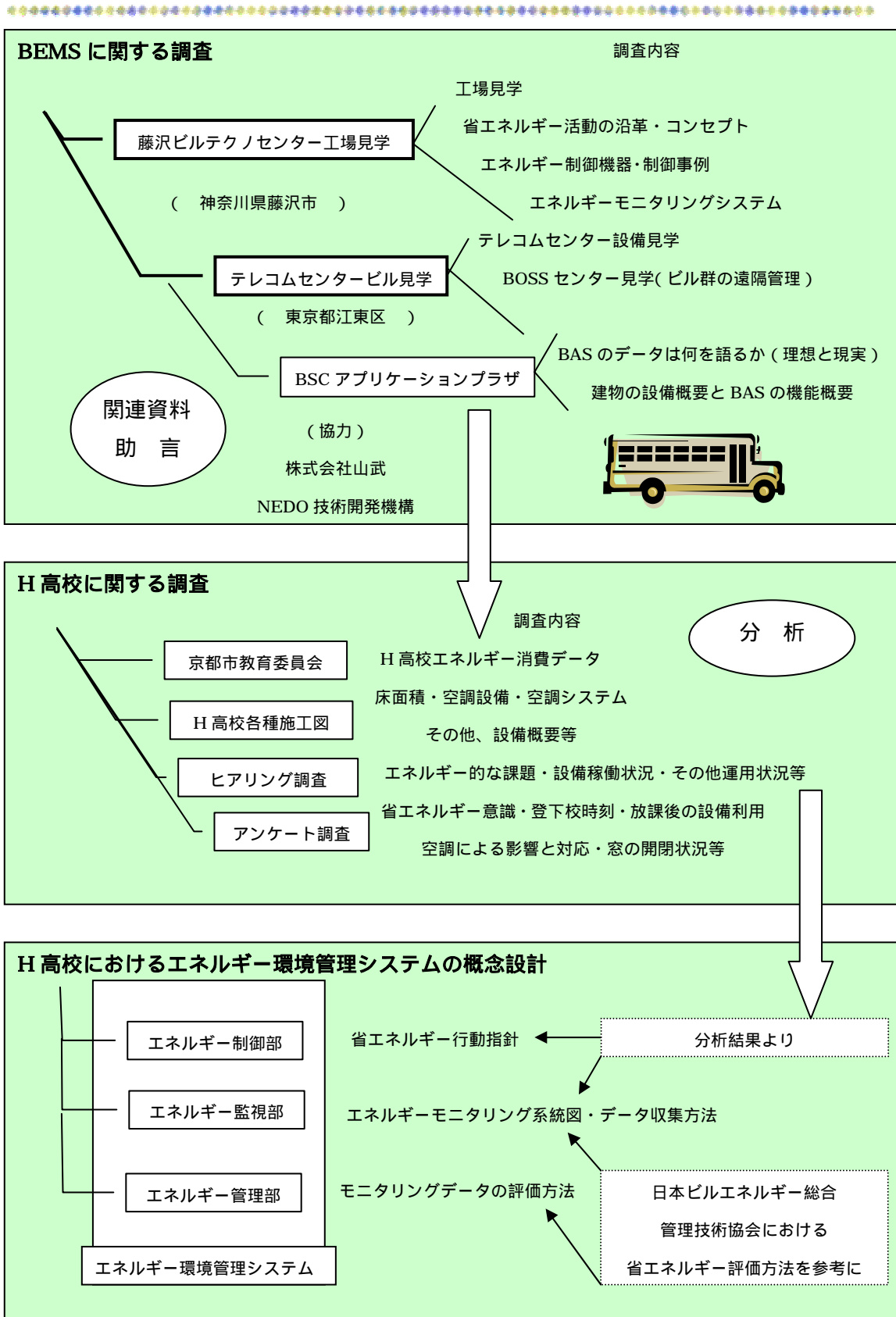


図 1-1 研究フロー図

第2章 BEMS (Building and Energy Management System) とは

2.1 BEMS とは

BEMS とは、建物の室内環境とエネルギー性能の最適化を図るビル管理システムである。建物における空調・衛生設備、電気・照明設備、防災設備、セキュリティ設備などの建築設備を対象とし、各種センサ、メータにより、室内環境や設備状況をモニタリングする。そして、モニタリングの結果に基づいて自動運転、管理、および自動制御や消費エネルギーの算定がなされ、建物全体のエネルギー効率を最適化するシステムである。

2.2 BEMS の定義

BEMS はよくビルディングオートメーションシステム (BAS) や設備管理支援システム (BMS)、施設運用支援システム (FMS) など複数の機能を含み、意味が混同されやすいため注意が必要である。本研究における BEMS とは、その機能の中でも建物のエネルギー環境管理システム (EMS) のことを差し、その主な機能はエネルギーモニタリングによる建物のエネルギー管理・室内環境管理・設備運用管理であるところで定義しておく。BEMS の機能とその一般的な名称については表 2-1 に、機能ごとのシステム概念図を図 2-1 に示す。

表 2-1 BEMSの機能分類表³⁾

		BEMS			
一般的な 名称	ビルディング オートメーション	エネルギー環境管理 システム	設備管理支援 システム	施設運用支援 システム	
	BAS	EMS	BMS	FMS	
	Building Automation System	Energy Management System	Building Management System	Facility Management System	
利用者	ビル管理技術者	ビル管理技術者 設計・施工者 性能検証担当者	ビル管理技術者	ビルオーナー ビル管理技術者	
主な機能	設備機器状態監視 警報監視 運転管理 設備の自動制御	エネルギー管理 室内環境管理 設備運用管理	設備機器台帳管理 修繕履歴管理 保全時間管理 課金データ	資産管理 ライフサイクル マネージメント 図面管理	

<http://www.shasej.org/iinkai/bems/BEMS.pdf#search='bems'>参照

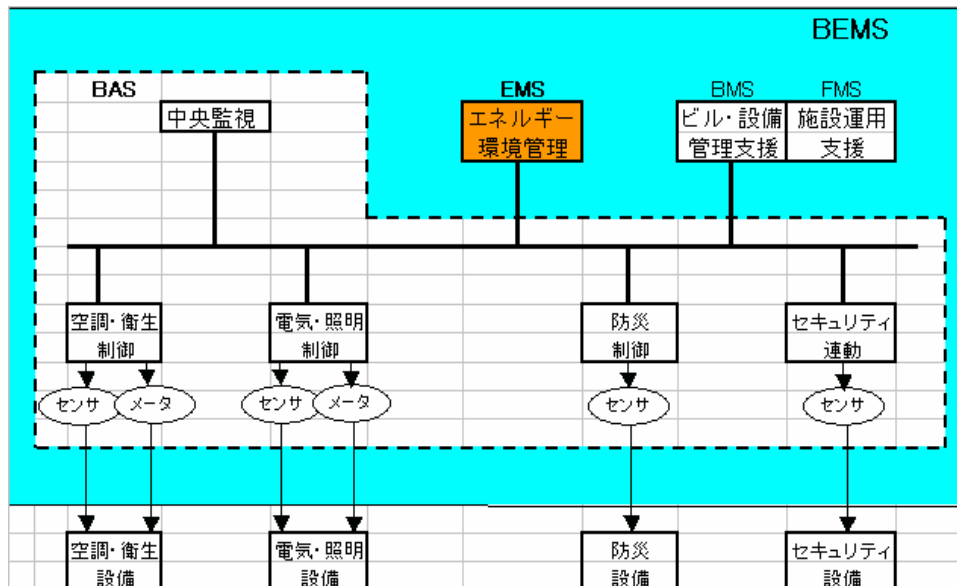


図 2-1 BEMSのシステム概念図³⁾

2.3 BEMS の概念

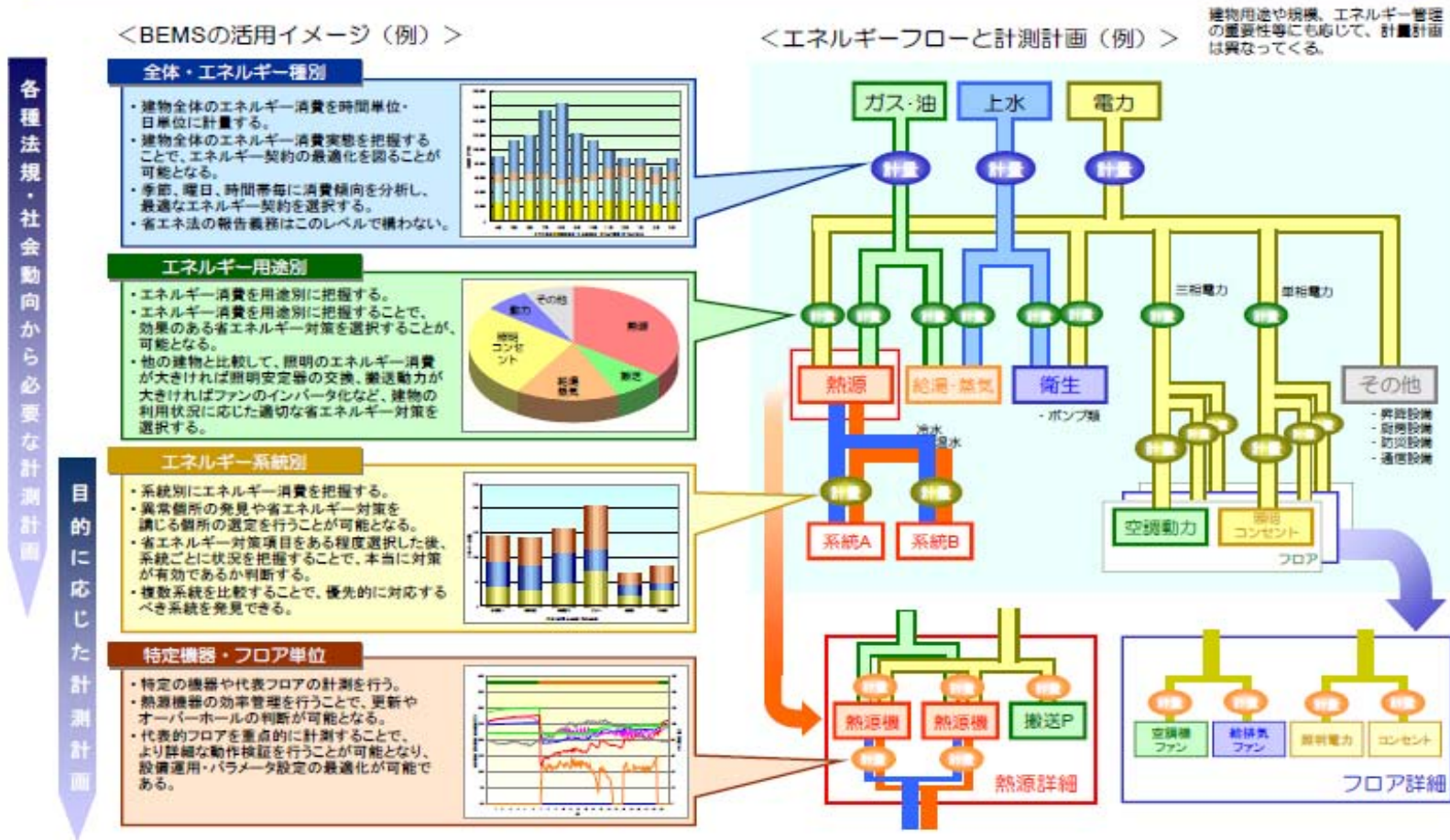
最近は特に、地球環境問題を背景に、建物の運用段階における省エネルギーの重要性が認識されており、BEMS のエネルギー・環境管理機能が注目されている。建築設備を十分に効率的に機能させるためには、試運転調整や季節毎の最適化、経年変化への対応など、ライフサイクルでの性能検証(コミショニング)が重要となる。そのためには以下の3つ、

- 設備機器・室内環境などの適切なエネルギー計量計測計画
- BEMS のエネルギー・環境管理機能によるデータ収集・蓄積
- BEMS のエネルギー・環境管理機能を用いたデータ解析・評価

が重要となる。以下にエネルギー計量計測計画の概念が分かり易く掲載されていた空気調和・衛生工学会の資料を図 2-2 に示す。

図 2-2 エネルギー計測計画の概念図³⁾ <http://www.shasej.org/tinkai/bems/BEMS.pdf#search='bems'>参照

エネルギー管理に必要な計測計画



BEMS とはこのエネルギー計測計量計画によって建物のエネルギー要素をカテゴリー別に計量し、得られたデータを基にエネルギー設備全体の省エネ監視・制御を自動化・一元化する制御管理システムのことである。エネルギー運用状況、データの収集からその分析、運転の最適化、故障予兆監視など、総合的なマネジメントを自動で行い、その中に環境管理も含まれるので BEMS は BAS や BMS ではなく、先に述べていたように特にエネルギー環境管理システム (EMS) の意味で呼ばれている。そして EMS の機能を支えているのがこの計量計測計画に基づいたモニタリングシステムと言える。

2.4 省エネルギー法の BEMS に関する規定

平成 15 年 4 月に施行された省エネルギー法の改正によって、BEMS の活用が追記されている。以下にその内容を抜粋した。

判断基準改正のポイント (BEMS 関連)

エネルギー使用の基準

BEMS 等に関する規定の追加

空気調和設備の効率改善のために必要な計量器、センサー等を設置するとともに、**BEMS 等の採用**により、適切な空気調和の制御ができるものとする。

エネルギー使用の合理化の目標及び計画的に取り組むべき措置

BEMS に関する規定の追加

系統別に年単位、季節単位、月単位、日単位、時単位等でのエネルギー管理を実施し、数値、グラフ等で過去の実績と比較したエネルギーの消費動向が把握できるように検討すること。

空気調和設備、電気設備等について、統合的なエネルギー制御を実施することを検討すること。

機器、設備の保守状況、運転時間等を比較検討し、機器、設備の劣化状況、保守時期等が把握できるように検討すること。

これらはエネルギーの使用状況をよりの確に把握しつつ対策を講じることができる仕組みを導入することを目的として追加されたものである。そこで、BEMS を導入することの代表的なメリットとその効果を以下にまとめた。

1. 建物内のエネルギー使用状況や設備機器の運転状況を一元的に把握でき、その時々
の需要予測に基づいた最適な運転計画をすばやく立案、実行できる。

例 1. オフィスビルの一次エネルギー消費の大半を占める「空調関連」で具体的な省エネ対策(ファンやポンプのインバータ化など)を施した際に、実際の効果をきちんと計測・把握できる。

例 2. 量的(熱負荷や使用量)にも形態的(使用時間、ピーク時刻)にも異なる様々なシチュエーションに対して個別に効果的な省エネ対策を抽出することができる。

2. きめ細かな監視制御によって、人手をかけることなく、建物全体のエネルギー消費を最小化できる。
3. 監視・制御サーバを中核としたネットワーク(LANによる構内システムが一般的)によって自動制御されるので利用が容易である。また公衆回線を用いれば、遠方の建物などの遠隔監視も可能である。
4. 受変電設備といった供給設備やエアコンなどの需要機器の稼動状況は、自動的に計測され、管理サーバに送られる。従来、管理者に多大な負荷をかける原因となっていた計測・計量、記録作業が自動化されるため、大幅な省力化が図れる。
5. PC等の画面上で、用途別、フロア別、部門別等に使用状況をきめ細かく把握することで、原単価の的確な把握が行える。
6. 管理ソフトのグラフィック機能を活かして、定期報告書や中長期計画書の作成など、改正省エネ法対応業務も容易になる。

など

2.5 BEMSを支えるエネルギーモニタリングシステム

BEMSには大原則として以下の3つの流れがある。

1. 測る・・・三現主義（現場・現物・現実）に基づいて現状を知る
2. 眺める・・・数値データをグラフ化し、改善策を立案する
3. 制御する・・・個々に対策を打ち、全体をマネジメントする

建物運営に関するエネルギー削減のためには、建物稼動状況におけるエネルギー使用状況の把握や解析を基にした改善施策が求められており、その立案実施においても効果測定が行われなければならない。しかし、現在の既設建物には、建物に要するエネルギーの使用状況を把握・解析するために必要な計測システムや計量センサ類が十分に設置されているとは言えない。また、工場やオフィスビルなど、建築時にエネルギー計測を十分に考慮した建物においても、その後のレイアウト変更、設備改修などによって、計測体制が不十分になってしまう例が多くある。こうした状況の中で適正なエネルギー計測に手間とコストがかかりすぎるようであれば、建物管理者に過大な負担が強られるため、手間とコストを抑えて運用エネルギーのデータ測定を行えるような「エネルギーモニタリングシス

テム」が数多く開発されてきている。

建築物におけるエネルギー消費の実態をモニタリングし把握しておくことは、個々の建築物において、制御管理のための省エネルギー計画、エネルギー消費の分析を行う際に重要な基礎データとなる。本来、建築物のエネルギー消費状況を分析・評価し、エネルギー消費が効率的に行われているかを判断するには、適切な周期でエネルギー消費に関わるデータを収集する必要がある、コスト意識の高い企業が本格的なエネルギー管理に取り組む際にこのエネルギーモニタリングシステムが必要となる。

特にエネルギー環境管理システムである BEMS が目指すところは建物運営の効率化、環境の質の向上、エネルギー利用の合理化であり、基本機能として建物の各設備の運転・監視・記録機能が挙げられる。それら建物管理や BEMS の自動制御システム作動に必要な情報を一手に回収してくるシステムがこのエネルギーモニタリングシステムであり、これ無しでは BEMS は機能しない。したがって、リアルタイムで建物のエネルギー情報を解析し、自動的にビル内環境の最適化を行うことが BEMS の役割であると言える。

2.6 BEMS の課題

正確には BEMS の課題ではなく、建築物のエネルギー管理に対する課題であるが、これについては第 1 章に詳述したので、簡単に説明する。

機器の自動制御部分をモニタリングデータとリンクして行うため、どうしても BEMS は大規模なシステムとなってしまう。そのため中小建物のエネルギー制御方法としてはあまり受け入れられていない。国の施策を眺めても、規模が大きな建物に対するエネルギー管理の整備を進めている段階であり、省エネルギー法の中でも BEMS 等の利用を促しているが、中小規模の建物に対する BEMS 導入は低迷している。そのため、国内の中小建物に対する省エネルギー管理はまだまだ行き届いていないのが現状である。

最近ではビルエネルギーの簡易管理ソフトが多数開発されてきているが、これらは年間など長い期間における各種使用エネルギー量を入力及びグラフ加工するものである。

これに対して、リアルタイムにエネルギーの使用実態を明らかにし、適正化を行ってゆく BEMS のプロセスは非常に省エネルギーに対して有効的な手段であり、中小建築物をターゲットとした簡易 BEMS について考えていく意義は大きい。

第3章 学校エネルギー管理における着眼点の抽出

3.1 研究の背景

一般的に学校とは、その成り立ちが利益追求型事業体ではないため原価管理という発想が薄く、また、施設管理業務が事務の中心ではないため、コスト面からみた省エネルギー対策は他業種と比較しても遅れていると言われている。多くの場合、学校の省エネルギーに対する取り組みの主なインセンティブは、「環境にやさしい」というイメージをステークホルダーに与えることであり、社会的責任という観点から省エネルギーに取り組む場合が多く、省エネルギー施策推進の原動力としてはどうしても乏しいのが現状である。

元々、使用するエネルギー量自体が他業種と比較すると小さいものであったため、これまで学校のエネルギー使用について議論されることは無かったのだが、近年の人口減少にも関わらず学校エネルギー消費は増加傾向であることから、その原因究明と対応策について話し合いがなされ始めている。例えば、省エネルギーセンターの依頼事業として(社)日本ビルエネルギー総合協会が平成16年度に行った高等学校のエネルギー消費状況調査⁴⁾は、様々なタイプの学校エネルギー消費の実態を把握し、学校のエネルギー管理方法に関する基礎検討を行うために実施されている。しかし、学校エネルギーをこれからどう管理していくのかについては未だ不透明なままである。1990年代にヒートアイランド現象が話題になったことで、小中高等学校の教室環境に対する非難が相次ぎ、近年、都市単位で教室にエアコンを設置する学校が増加し始めたことを考えると、学校エネルギー管理と省エネルギー施策に対しても早め早めの対応が必要であると考えられる。

3.2 研究の目的

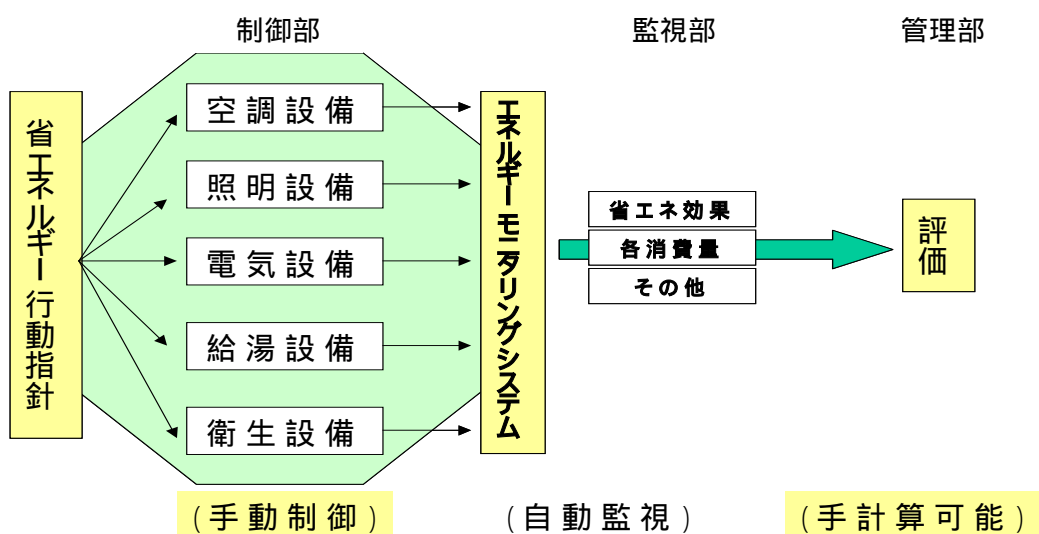
本研究では、小中高等学校のような比較的エネルギー規模の小さい学校における省エネルギー施策として、啓発活動による省エネルギー行動を推進することが最も効果的であると考え、人の手によって学校全体のエネルギーを管理する方法を考える。

現在、建物エネルギーの管理システムとしてBEMSが注目されており、このシステムは建物内のエネルギーを隈なくモニタリング監視し、機器のアルゴリズムによって自動制御を行うものである。エネルギー管理及び自動制御を可能にしたBEMSのモニタリングシステムに今回着目し、BEMSにおける自動制御部分を啓発活動による省エネルギー行動に置き換え、学校エネルギーをモニタリング管理することで、学校のエネルギー使用を評価及び最適化することができるのではないかと考えた。

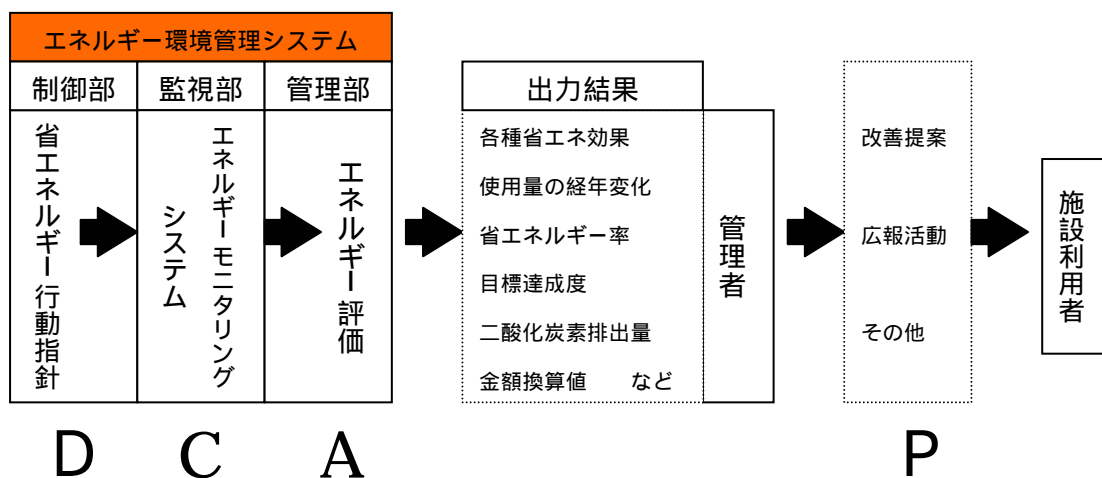
自動制御を手動化することによって、BEMSのシステムを簡易化し、中小規模の建物に対するBEMS導入費用を軽減することができ、合わせてデータ分析方法の簡易化を行うことで、一般利用者にも利用価値の高いシステムとすることができる。

また、自動制御部分を手動制御に置き換えるということは、建物の諸設備に対する調節を手動で行うということであり、機器の操作まで含めた範囲が手動制御となる。

よって、本研究では BEMS のモニタリング管理による自動制御部分を手動に直した学校版エネルギー環境管理システムのプロトタイプ設計を行い、学校利用者とするエネルギーのインターフェースモデルを構築する研究を行う。以下に構築するシステムモデル図を示す。



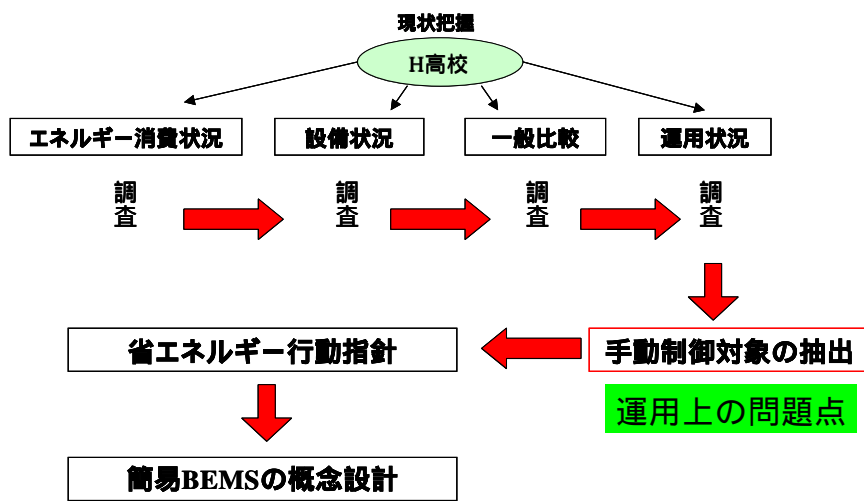
図追記 簡易 BEMS のシステムモデル図



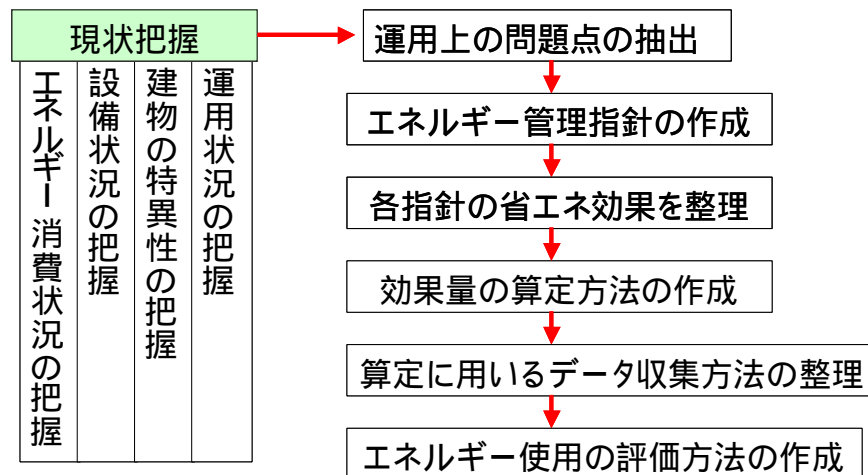
図追記 簡易 BEMS を用いた PDCA

3.3 研究の方法

本研究では学校の設計図など詳細な資料を提供して頂く必要があり、京都市立 H 高等学校の協力を頂くことができた。そこで、BEMS の中身と現状について調査を行い、BEMS 事業の推進を行っている NEDO から頂いた資料や BEMS 事業で有名な株式会社山武の技術者からのアドバイスを参考に H 高校の現状把握・分析を以下のように行った。そこから同校の省エネルギーポイントを抽出し、得られた運用上の問題点を改善する省エネルギー行動指針を作成した。これを BEMS の制御部分として考え、H 高校を事例としたエネルギー環境管理システムの概念設計を行った。



図追記 現状調査のフロー図



図追記 簡易 BEMS 構築の手順

3.4 研究の予備調査（研究フロー図は p.4 を参照）

3.4.1 BEMS に関する調査

BEMS に関する詳細な資料は社団法人空気調和・衛生工学会から 2001 年 10 月 20 日に出版された『環境・エネルギー性能の最適化のための BEMS ビル管理システム』の他、NEDO から BEMS の導入事例に関する資料を頂くことができた。

また、実際に BEMS を見学するため、BEMS 事業で日本のシェア 7 割を占めている株式会社山武の御協力を頂いて、以下の二箇所に現地で勉強させていただくことにした。

1 つ目は、株式会社山武の藤沢テクノセンター(旧藤沢工場;神奈川県藤沢市)である。藤沢テクノセンターは省エネ活動を 1999 年より実施、2000 年には日本に先駆けてエネルギーモニタリングシステムを導入し、省エネ活動の推進を図ってきた。結果エネルギーの大半を占める電力消費量は、1998 年(省エネ活動前)の実績と比較して、約 25%(2003 年度末時点)の削減に成功し、この藤沢テクノセンターでの省エネ事業が BEMS の基礎となっている。その後も省エネ活動が盛んに行われており、毎年数回自社工場の見学会を行っているため、これに参加し、工場の省エネ活動について勉強させて頂いた。

2 つ目は、臨海副都心のランドマークにもなっているテレコムセンタービル(東京都江東区)である。同ビルは次世代マルチメディアコミュニケーションの最重要拠点として最先端の BA(ビルオートメーション)テクノロジーが 24 時間 365 日監視を行っており、株式会社山武による総合ビル管理サービス(ビルの遠隔監視・制御)もテレコムセンタービルの情報通信網を利用して行われている。テレコムセンターでは BEMS を理解するための基礎知識として一般的な建物の設備概要と BAS(ビルオートメーションシステム)の機能概要を株式会社山武のコミュニケーションマーケティング部主任の N さんと市場開発部部長の A さんに御教授して頂いた後に、山武で管理しているビル群の遠隔監視・制御の拠点である BOSS-24 の見学をセンター署長の S さんに、テレコムセンタービルのビル管理方法と設備について見学をテレコムセンタービル電気主任技術者の K さんに引率して頂いた。また、BAS のデータが何を語るかについて、山武データウェアセンターの S さんに御教授して頂き、卒業論文を進めて行くにあたって様々なアドバイスを山武プロダクトマーケティング部システムグループ主任の D さんからメールのやりとりによって常に頂くことができた。

これら現地で実際のビル管理について知ることによって BEMS のイメージが具体的になり、H 高校のエネルギー環境管理システムを考える上で何を調査すべきか分かったので、以下に H 高校に関する調査内容をまとめる。

3.4.2 H 高校に関する調査

建物のエネルギーや設備管理を行う上で最も重要なことは、管理対象である建物の状況を正確に知ることである。建物がどのような設備で構成されているのか、何の目的で建物が使用されているのか、利用人数、室の配置からエネルギーフローなどつぶさに状況把握し、知ることから自ずと管理方法が決まってくるのが二度の現地調査で分かった。

そこで、H 高校における現状把握を行った。実際に施設見学をさせて頂いた後に各種施工図、設計図から同校の施設状況を把握し、生徒を対象とした二度のアンケート調査と設備管理を行っている事務員の方にヒアリング調査を行うことで運用面の調査を行った。さらに社団法人ビルエネルギー総合管理技術協会が平成 16 年度に行った高等学校のエネルギー消費状況調査の結果と、今回 H 高校について行った調査の結果を比較することで H 高校におけるエネルギー的な課題と傾向がつかめたので、これらをきちんと把握し、改善に向けた管理が行える簡易エネルギー環境管理システムを構築してゆく。以下にシステムを構築していく上で根拠となった H 高校の調査結果をまとめる。

3.5 H 高校のエネルギー消費状況

H 高校で消費されているエネルギーは主に電気とガスであることが分かっている。ヒアリング調査によって事前に H 高校におけるエネルギー消費の大部分が冷暖房によって消費されていることが予想できたので、その実態をつかむため平成 15 年度から 17 年度までのガス・電気・水道の月別の使用量から H 高校におけるエネルギー消費の傾向を調べた。

今回使用した H 高校のエネルギーデータは、京都市教育委員会から提供して頂いたものを使用し、H 高校のエネルギー使用については第 3 章 3.7 H 高校の設備・運用・エネルギー消費の一般比較の中でも触れている。

以下に調査結果をまとめる。

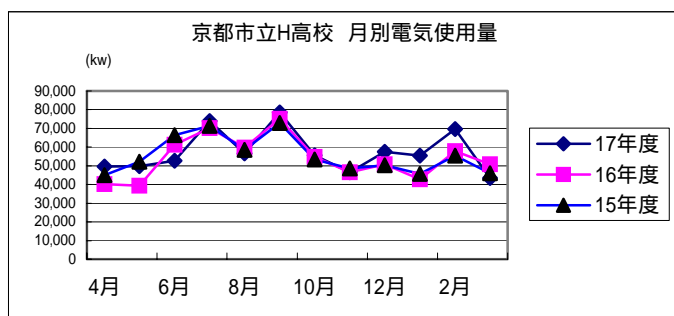


図 3-1 H 高校の月別電気使用量

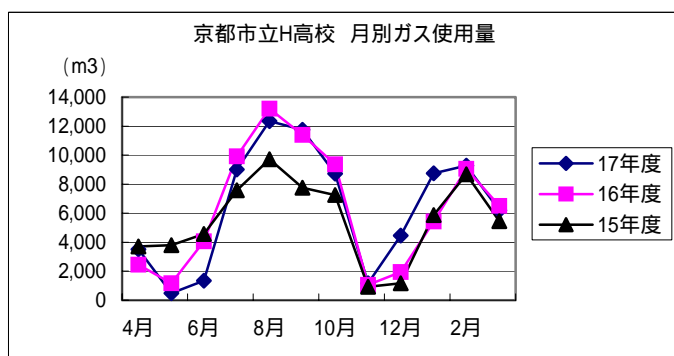


図 3-2 H 高校の月別ガス使用量

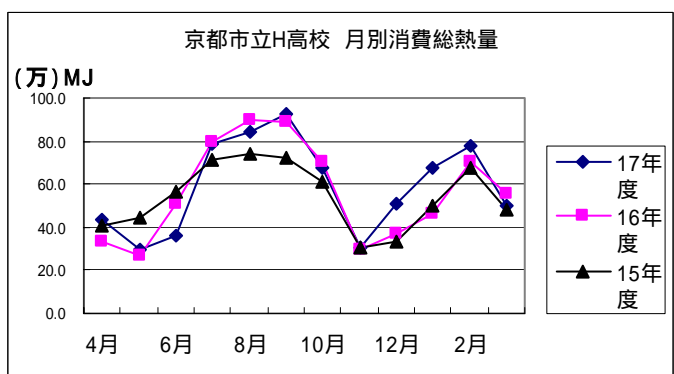


図 3-3 H 高校の月別消費総熱量

月別の電気使用量を図 3-1 に示す。電力量のピークは7月と9月と2月にあり、8月は夏休みの影響で低下するものの、年間の中では高い消費量を示している。

同じく月別のガス使用量を図 3-2 に示す。6月と12月頃から消費量が急増し、8月と2月にピークを示している。これはガスが主に冷暖房設備の熱源に利用されているためで、夏と冬に消費量が大幅に偏っていることから、通年を通して厨房で使用されているガスの使用量が、冷暖房にかかるガスの使用量と比較すると微細なものであることが分かった。

H 高校の年度ごとの電力・ガス・水道使用量を熱量変換し、その月毎の合計を H 高校全体の月別消費熱量として図 3-3 に示すと、毎年のエネルギー消費傾向に類似性が見られた。そこで、月ごとの各エネルギー要素（水道・ガス・電力）と全体の消費熱量との関係を表 3-1 に示したところ、ガスの消費熱量が全体の消費熱量に毎年最も強い相関関係を示していることが分かった。電力消費量とガス消費量との関係は15年度の相関が低いものの、冷暖房設備を運転するためには電力消費を要するため

表 3-1 消費エネルギー相互の相関関係

	項目	相関係数	項目
17年度	ガス消費量	0.66	電力消費量
	ガス消費量	0.98	消費総熱量
	電力消費量	0.80	消費総熱量
	水道消費量	(0.30)	消費総熱量
16年度	ガス消費量	0.74	電力消費量
	ガス消費量	0.98	消費総熱量
	電力消費量	0.85	消費総熱量
	水道消費量	0.90	消費総熱量
15年度	ガス消費量	0.48	電力消費量
	ガス消費量	0.95	消費総熱量
	電力消費量	0.73	消費総熱量
	水道消費量	0.38	消費総熱量

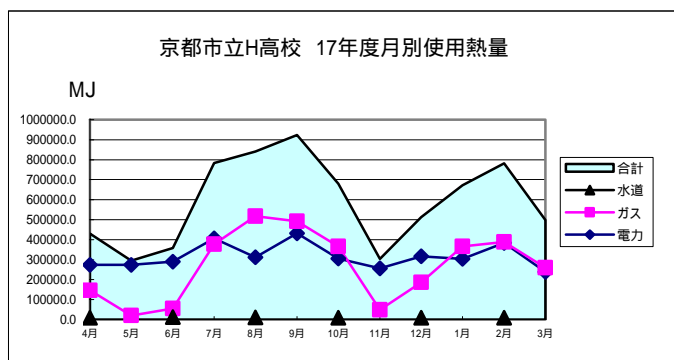


図 3-4 H 高校の月別使用熱量 (17 年度)

17・16 年度の相関係数や電力消費量が図 3-4 から分かるように、夏冬にピークがあることから判断して、電力消費量とガス消費量との間にも相関があるとし、H 高校におけるエネルギー消費は夏冬の冷暖房にかかる空調エネルギーによってその多くが消費されていると結論づけた。

また、H 高校の設備上の特徴として、生徒のエレベータ利用がある。ヒアリング調査からこのエレベータにかかるエネルギーも考慮する必要があると判断した。エレベータに関するエネルギーデータが得られなかったため、これにかかるエネルギー量を以下に試算する。試算方法は日本ビルエネルギー総合管理技術協会の省エネ効果試算方法⁴⁾を参考にし、使用したH 高校の学校年間稼働率についてはpp28-29 で詳述する。

$$\begin{aligned} \text{エレベータ消費電力量(kWh)} &= \text{エレベータ定格電力量 (kW)} \times \text{負荷率} \times \text{運転時間 (h/day)} \times \text{台数} \\ &= 22 \text{ kW} \times 0.5 \times 12 \text{ h/day} \times 2 \text{ 台} \\ &= 264 \text{ kWh/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{エレベータ消費熱量(MJ)} &= \text{エレベータ消費電力量(kWh)} \times \text{熱量変換 (MJ/kWh)} \\ &= 264 \text{ kWh/day} \times 9.83 \text{ MJ/kWh} \\ &= 2595.12 \text{ MJ/day} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{エレベータ消費原単位(MJ/m}^2\text{)} &= \text{エレベータ消費熱量} \times 365 \text{ 日} \times \text{学校年間稼働率} \div \text{総延床面積 (m}^2\text{)} \\ &= 2595.12 \text{ MJ/day} \times 365 \text{ 日} \times 0.81 \div 12643.46 \text{ m}^2 \\ &= 60.68 \text{ MJ/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{消費原単位割合 (\%)} &= \text{エレベータ消費原単位} \div \text{H 高校過去 3 年間の平均消費原単位 (MJ/m}^2\text{)} \\ &= 60.68 \text{ MJ/m}^2 \div 537.6 \text{ MJ/m}^2 \\ &= 0.11287 \quad \text{約 } 11.3 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{電力消費割合 (\%)} &= \text{エレベータ消費原単位} \div \text{H 高校過去 3 年間の平均電力消費原単位(MJ/m}^2\text{)} \\ &= 60.68 \text{ MJ/m}^2 \div 290.7 \text{ MJ/m}^2 \\ &= 0.20873 \quad \text{約 } 20.9 \text{ \%} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{中間期電力消費割合 (\%)} &= \text{中間期月平均エレベータ消費原単位} \div \text{H 高校中間期平均電力消費原単位} \\ \text{(4~6・11月)} &= 5.20661 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月} \div 20.191647 \text{ MJ/m}^2 \cdot \text{月} \\ &= 0.25785 \quad \text{約 } 25.8 \text{ \%} \end{aligned}$$

試算結果より、エレベータにかかる年間総エネルギー量は H 高校におけるエネルギー消費

原単位の約 11%を占めた。また、H 高校にかかる年間電力消費の約 21%、中間期（4,5,11 月）においては月平均電力消費量の約 26%を占めた。よって、エレベータにかかるエネルギー量が全体の消費量に影響を与えるには十分な能力を持っていることが分かったので、エレベータの運用方法についても考慮する必要がある。

しかし、H 高校過去 3 年間（平成 17・16・15 年）の平均消費エネルギー量を期間ごとに求め、夏季・冬季にかかる消費熱量から中間期消費熱量を引き算することで空調にかかるエネルギー量を表 3-2 に推定したところ、全体の約 33.4%を占めていることが推測できた。

表 3-2 H 高校過去 3 年間の平均消費エネルギー量（推定）

		単位MJ/m ²	消費熱量		空調消費熱量		EV消費熱量		その他	
夏季	7月～10月	冷房可	245.5	45.7%	126.1	23.4%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
冬季	12月～3月	暖房可	172.8	32.1%	53.4	9.9%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
中間期	4～6・11月	調整期間	119.4	22.2%	0.0	0.0%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
年間	1月～12月		537.6	100.0%	179.4	33.4%	60.68	11.3%	297.5	55.3%

* 空調消費熱量 = (夏・冬) 期消費熱量 - 中間期消費熱量

* 割合 (%) は年間消費熱量 537.6MJ/m²に対する割合

特に冷房にかかる推定消費熱量は全体の 23.4%を占め、H 高校におけるエネルギー消費に最も寄与している可能性があることが判明した。冷房消費は、暖房にかかるエネルギー消費量の約 2.4 倍を示しており、この冷房期にかかるエネルギー量の大きさの原因について調査を行い、省エネルギー化することが H 高校のエネルギー使用に最も効果があると判断した。

補足；その他にかかるエネルギーは主に照明・OA 機器及び PC・換気ファンなどが考えられる。しかし、換気ファンについては人による操作管理によって省エネルギー効果を出すことが難しく、室内環境に影響を及ぼしかねないので、インバータ化することが最も理想的である。PC 等はよく未使用時の電源 OFF が奨励されているが、起動時にかかる電力負荷が大きいため、OA 機器も含め頻繁に使用する PC についてはスリープ機能で省電力を図ることが無難である。しかし、照明についてはさらに調査を行い、浪費がなされていないか調べることにした。

3.6 H 高校の設備状況

H 高校は平成 8 年に全面改築され、現在は 1 階から天井まで吹き抜けのアトリウム空間を挟んで北館と南館に分かれた BOX 状の建築物となっている。平面図を図 3-5 に示す。

校内配置図



・・・アトリウム部分を示す

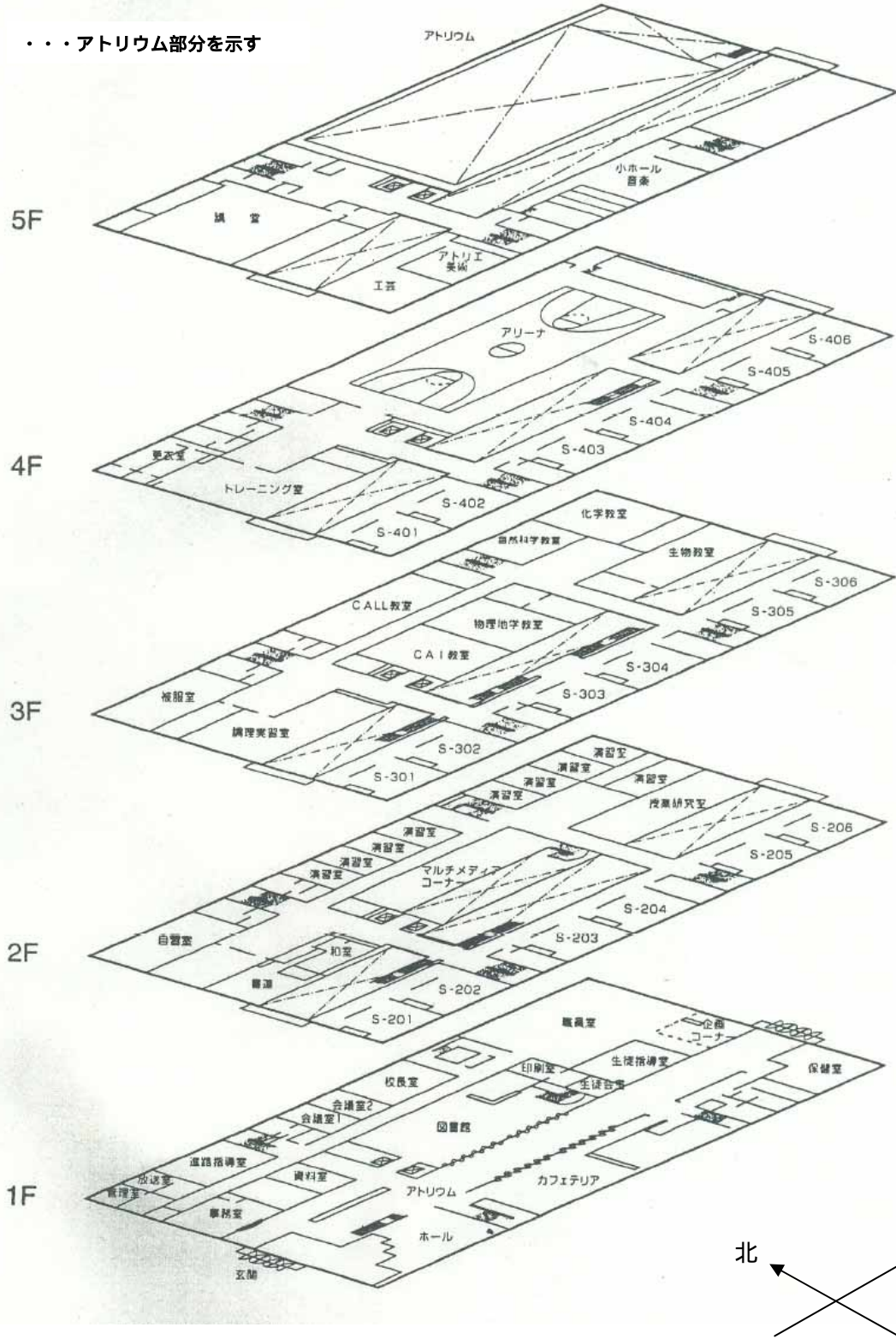


図 3-5 H 高校の平面図

南館の2階から4階が普通教室として使用されており、北館は主に特別教室や体育館、講堂などが配備されている。2～5階にまたがるアトリウム空間は東西の壁・天井共にガラス張りとなっており、自然光を利用した開放的な造りになっているのが特徴的である。H高校は全館空調完備であり、夏冬の冷暖房にかかるエネルギーが年間のエネルギー消費に大きく影響を与えていることから、ここではH高校の空調に関連する内容をまとめた。

まず、空調施工図からH高校には空調方式が3系統あることが分かった。以下に系統図を図3-6に、H高校における主な空調設備の略称を表3-3に、室ごとに系統が分かる空調設置機器表を表3-4、3-5に示す。

H高校の空調系統には、5階空調室に設置された冷温水発生機によって作られる冷水及び温水が各室に送られ、ファンコイルユニットによって各室の室温を個別に調整する空調方式をFCU系統。屋外に設けられたガスヒートポンプの室外機によって発生された冷気及び暖気を用いて、室内機が各室の室温を調整する空調方式をGHP系統。さらに空冷ヒートポンプエアコンによる部分的な空調を行っているPAC系統があるが、これは厨房及び厨房の休養室にのみ利用されており、学校の大部分はFCUとGHPによる2系統によって空調が行われている。表3-4で台数が複数設置されている室に対しては、その台数をかけ算で表した(例; 2台の場合は【×2】)。また、非教室部・教室部との分けは、学校建築の性能基準やエネルギー評価を行う際によく区分されるので、まとめて整理した。また、表からも分かるように、FCUは主に教室部、GHPは主に非教室部の空調を担っていることが分かる。

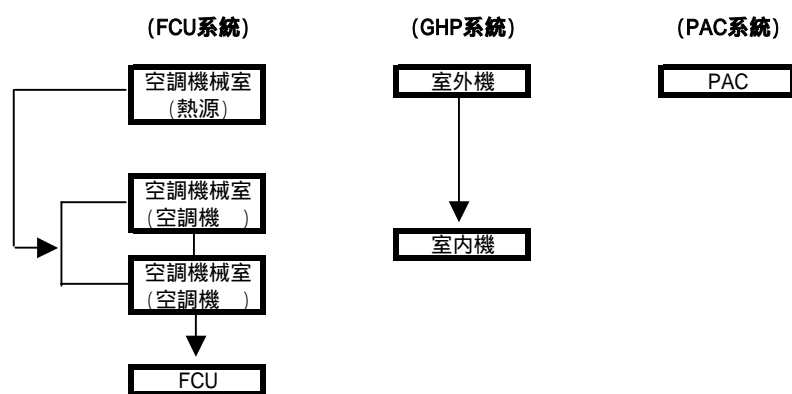


図3-6 H高校の空調系統図

表 3-3 空調設備の略称と主な使用エネルギー

H高校の主要な空調設備	略称	主な使用エネルギー
吸収式冷温水発生機	R-1	電気・ガス
冷却塔	CT-1	電気
冷温水ポンプ	GHP-1	電気
冷却水ポンプ	CDP-1	電気
空気調和機(講堂)	AHU-1	電気
空気調和機(ステージ)	AHU-2	電気
ファンコイルユニット	FCU	電気
GHP(室外機)	GHP-A	電気・ガス
GHP(室内機)	GHP-A-1	電気
空冷ヒートポンプエアコン	PAC-1	電気
空冷ヒートポンプエアコン	PAC-2	電気
全熱交換機	HEA	電気

表 3-4 H高校の空調機器表

階	部	室名	面積	空調設備
1階	非教室部	購買		FCU2C
		放送室(スタジオ)	37	FCU4C HEA104(放) FCU2C HEA101(操)
		事務室倉庫	37	FCU4C×2
		進路指導資料室	42	FCU4C×2 HEA103
		保健室	86	FCU4C×4 HEA108(保)FCU2C×2(力)
		図書館	287	FCU6R×8 HEA109×2
		食堂	112	FCU8C×3(廊下)FCU8C×4 HEA113×2(食堂)
		印刷室2	15	GHP1-1
		印刷室1	20	GHP1-1
		生徒会(資料)室	20	GHP1-1
	職員室・企画コーナー	348	GHP1-2×8 GHP2-2×8 HEA110×3(職)GHP2-1×4 HEA104(見)	
	生徒指導室	80	GHP2-1×2 HEA106(生)GHP2-1×2(力)	
	管理用務員室	35	GHP3-1×2 HEA104	
	事務室	80	GHP3-2×4 HEA102	
	進路指導室	82	GHP3-3×2 HEA105(進)GHP3-1×4 HEA102(力)	
	校長室	79	GHP4-1×4 HEA107	
	会議室	72	GHP4-1×4 HEA111×2	
	厨房	107	PAC1×2 PAC2(厨)PAC2(休)	
	休養室(女子更衣室)	19	FCU2C	
	アトリウム	450		
	昇降口(ホール)			
	小計		1558	
	合計	その他	910.14	
		2918.14		
2階	教室部	マルチメディアコーナ	193	FCU8R×8 HEA207×2
		同窓会室	69	FCU8C×4 HEA201×2
		資料室	31	FCU6C×2
		演習室9	41	FCU8C×2 HEA204(演)FCU6C×2(廊下)
		自習室	121	FCU6C×6 HEA206
		普通教室6室	438	FCU6C×24 HEA205×6
		演習室1~8	328	FCU6C×16 HEA202×8
		授業研究室	154	FCU4C×6 HEA205×2(授)FCU6C×2 HEA203(見)
		和室(畳の間)	29	FCU12R×2 HEA205
		和室(板の間)	53	FCU12R×2 HEA205
小計		1457		
合計	その他	900.75		
		2357.75		

* 面積の単位・・・m²

表 3-5 H 高校の空調機器表

3階	化学準備室	33	FCU6C×2 HEA303
	家庭科準備室	32	FCU6C×2 HEA301
	物理地学準備室	32	FCU3C×2 HEA303
	生物準備室	33	FCU3C×2 HEA303
	CALL教室準備室	31	FCU3C×2 HEA301
	CAI準備室	11	FCU3C
	倉庫(暗室)	23	
	CALL教室	144	GHP7-1×8 HEA302×2
	CAI教室	124	GHP5-1×6 HEA302×2
	被服室	121	FCU6C×6 HEA302×2
	普通教室6室	438	FCU6C×24 HEA302×12
	調理実習室	184	FCU6C×10
	化学教室	113	FCU12C×6 HEA302×2
	物理地学教室	113	FCU12C×6 HEA302×2
	生物室	122	FCU12C×6 HEA302×2
	自然科学教室	80	FCU12C×4 HEA302×2
小計		1634	
合計	その他	835.16	
		2469.16	
4階	トレーニング室	189	FCU8C×10 HEA403×2
	男女更衣室	67	FCU6C HEA401(男) FCU8C HEA402(女)
	管理室	31	FCU4C
	放送室	9	FCU4C
	器具庫	37	
	体育館(アリーナ)	1,020	
	普通教室6室	438	FCU6C×24 HEA403×12
	小計		1,791
合計	その他	669.71	
		2460.71	
5階	空調機械室(熱源)	189	R-1×2 CHR1 CHS1 CHP1×2 CDP1×2 EXT1
	調整室	30	FCU4C×2 HEA503
	講師控え室	18	FCU4C
	空調機械室(1)	27	AHU1
	湯沸室	7	
	倉庫	14	
	講堂	312	
	小ホール	197	GHP6-1×8 HEA502×2
	アトリエ	177	FCU8C×6 HEA502×2
	小計		971
合計	その他	401.39	
		1372.39	
6階	空調機械室(2)	38	AHU2
合計	その他	0.42	
		38.42	
追記	エレベーター		
屋上		117.03	GHP6 GHP3 GHP5 GHP7 CT1×2

* 面積の単位・・・m²

3.7 H 高校の設備・運用・エネルギー消費の一般比較

社団法人ビルエネルギー総合管理技術協会が平成 16 年度に行った高等学校のエネルギー消費状況調査⁴⁾結果に掲載されているデータを用いてH高校の校舎設備等の一般比較を行った。学校におけるエネルギー消費状況調査は、**全国の私立高校**および東京・神奈川・千葉の**3都県の公立高校**を対象にエネルギー消費状況・建物利用状況について調査したものである。調査件数については表 3-6、3-7 に示した通りである。公立高校に関しては南関東に収集データが集中しているため、京都市にあるH高校とは地域が異なるが、

表 3-6 アンケートの回収率

学校区分	発送件数	回収件数	回収率
私立	1307件	132件	10%
公立	537件	187件	35%
計	1844件	319件	17%

私立高校に関しては全国からのデータが収集されており、設備状況の比較には大変参考になると考えられる。

表 3-7 地域別アンケート回収件数

地方名	件数
北海道	10
東北	16
北陸	5
中部	3
北関東	4
南関東	214
東海	14
近畿	18
中国	9
四国	3
北九州	10
南九州	1
計	307

調査アンケートの各質問項目から得られるデータ数は全部で 60 項目あり、項目ごとのデータの説明を表 3-11、3-12 に示す。また、全 60 項目のデータに対して H 高校に関するデータと、公立高校と私立高校の平均値を表 3-13 にまとめて比較を行った。以下に比較を行った結果から、分かったことについてまとめる。

調査アンケートの各質問項目から得

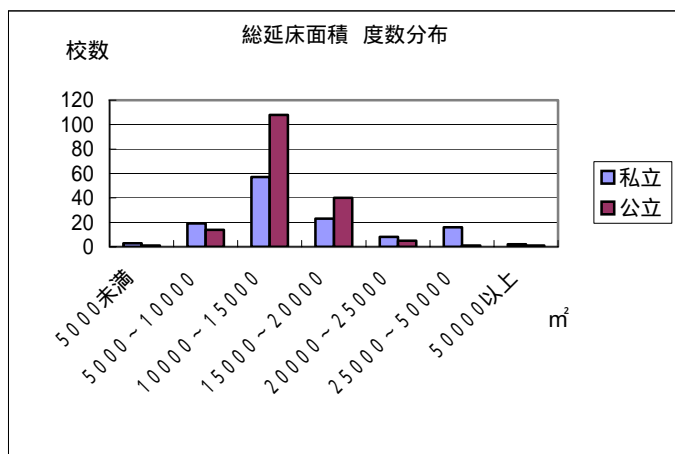


図 3-7 高校の総延床面積ヒストグラム・H 高校（公立）12643.46 (m²)

高校の総延床面積は図 3-7 に示したように、1 万～1 万 5 千 (m²) に集中しており、H 高校の総延床面積は平均よりやや小さい値となっているが、H 高校は総延床面積に対する校舎面積の占める割合が高い。そのため、H 高校は単位面積当たりのエネルギー消費量を表すエネルギー消費原単位 (MJ/m²) が、消費量が同程度の学校よりも大きい値を示す傾向があると考えられる。(図 3-16 エネルギー消費原単位ヒストグラム)

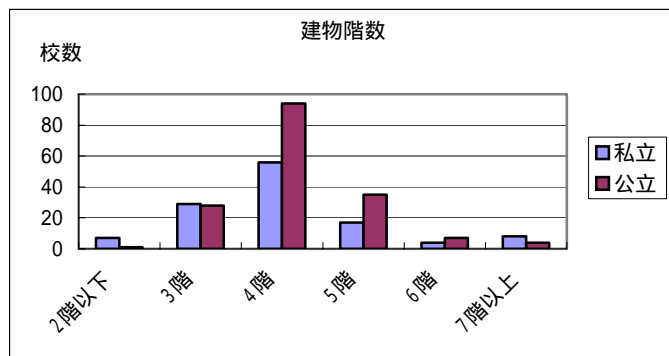


図 3-8 高校の校舎階数ヒストグラム・H 高校（公立）6 階建て

次に、校舎階数のヒストグラムを図 3-8 に示す。H 高校は 6 階建ての比較的階数が多い縦長の建造物であり、アトリウム部分がガラス張りの影響もあって上層階に熱がこもりやすい。そのため冬場は温かいが、夏場の室内環境は極めて悪化しやすく、空調と換気が欠かせないのが現状である。

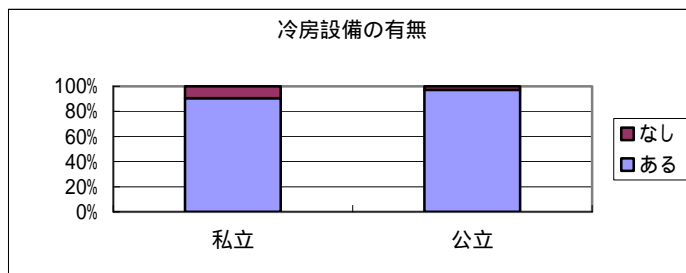


図 3-9 高校の冷暖房設備の有無・H 高校（公立）空調完備

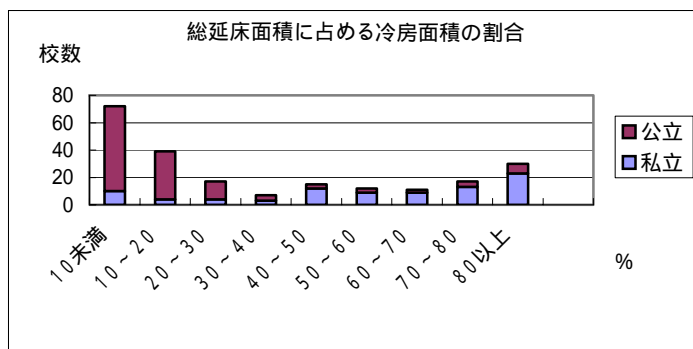


図 3-10 高校の冷房面積割合・H 高校（公立）45.9%

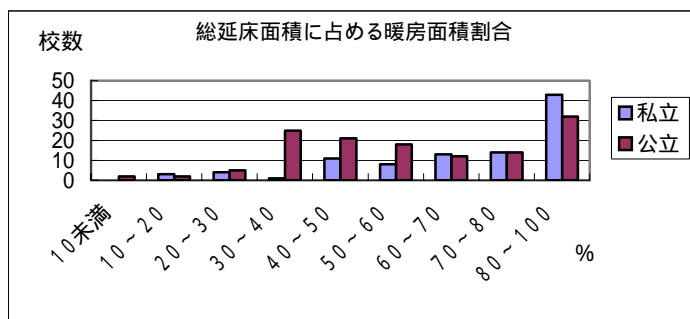


図 3-11 高校の暖房面積割合・H 高校（公立）45.9%

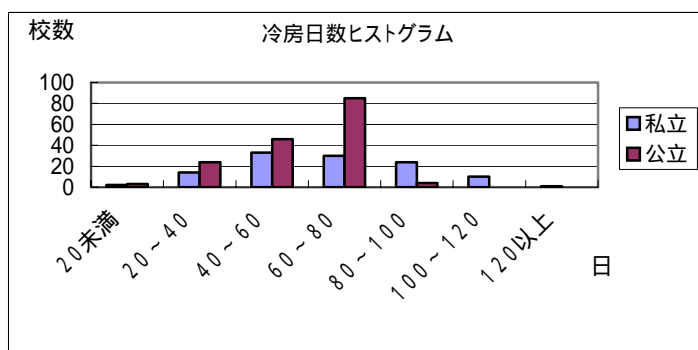


図 3-12 高校の冷房日数ヒストグラム・H 高校（公立）100 日

また、図 3-9 から多くの高校で冷房が設置されているように見えるが、公立高校の冷房設備の設置状況は職員室や音楽室などに集中していることが分かっており、H 高校のように全室冷房を完備している学校はまだ少ないと思われる。

そこで高校の冷房面積が総延床面積に占める割合を図 3-10 にヒストグラムで示した。冷房面積の割合が総延床面積の 40% を越えている学校は私立高校に集中しており、H 高校が公立高校としては冷房面積の割合が比較的大きいことが分かった。H 高校の冷（暖）房面積割合は空調機器が設置されている室面積の合計から求めたものである。また、同じく高校の暖房面積割合を図 3-11 に示す。これより、暖房設備の設置は公立・私立共に進んでおり、H 高校は冷房設備の設置状況が一般の高校と比較して充実していることが分かった。

次に、高校の冷房日数ヒストグラムを図 3-12 に示す。冷房設備が稼動する日数は地域によって差があるが、全国規模で調査した私立高校に関しても年間 60 日前後が平均的であるのに対し、H 高校の冷房日数はヒアリング調査によると大体 100 日程度であることが分かった。

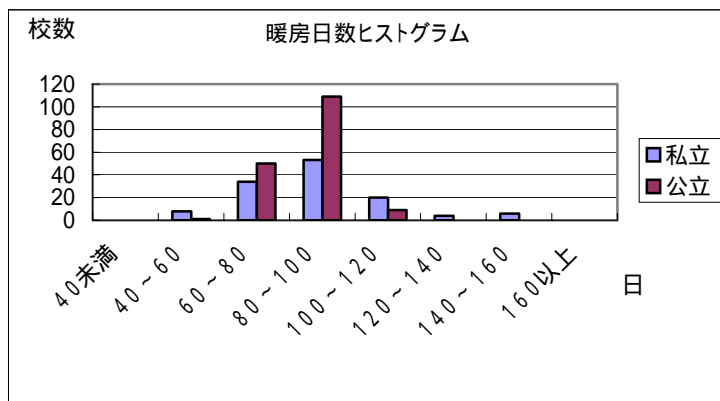


図 3-13 高校の暖房日数ヒストグラム・H 高校（公立）100 日

図 3-13 に高校の暖房日数をヒストグラムで示す。暖房の稼働日数は冷房より全体的に長く、80 日前後が平均的である。H 高校はヒアリング調査により暖房日数も 100 日としたが、回答が曖昧であったため、H 高校の空調日数についてはしっかりと把握し、無駄を抑える必要がある。

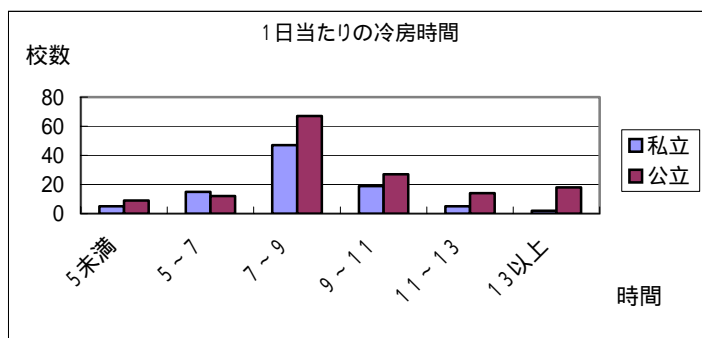


図 3-14 高校の 1 日当たりの冷房時間（冷房を入れた場合）
・H 高校（公立）10 時間

次に、高校の 1 日当たりの冷房時間を図 3-14 に示す。公立高校に関しては昼夜 2 部制の学校があることから、空調時間が私立と比較するとやや長い傾向がある。H 高校は現在夜間の部はないので、生徒が登校する 8 時から完全下校時刻である 18 時までの 10 時間を冷房時間とした。

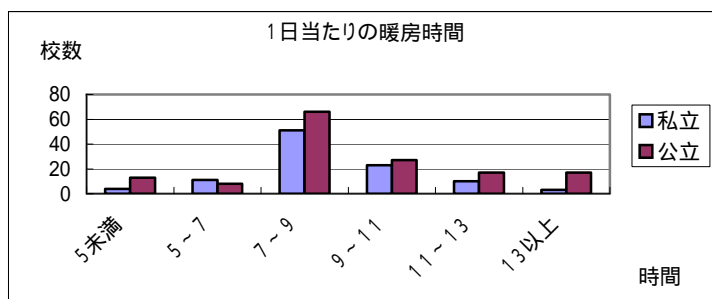


図 3-15 高校の 1 日当たりの暖房時間（暖房を入れた場合）
・H 高校（公立）10 時間

同様に暖房時間のヒストグラムを図 3-15 に示す。冷暖房の 1 日の使用時間はほぼ同じ値を示している。運用方法をきちんと定め、運転時間を管理することによって無駄な空調時間を 1 時間削減できれば、年間で約 100 時間以上の削減につながるので、空調日数とは別

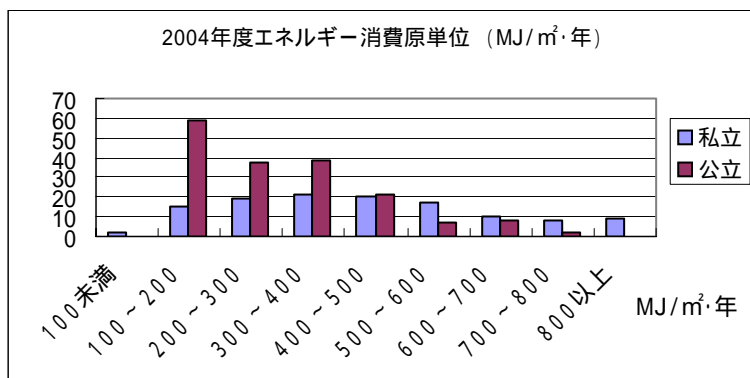


図 3-16 高校のエネルギー消費原単位

・H高校(公立); 537.4 MJ / m²・年

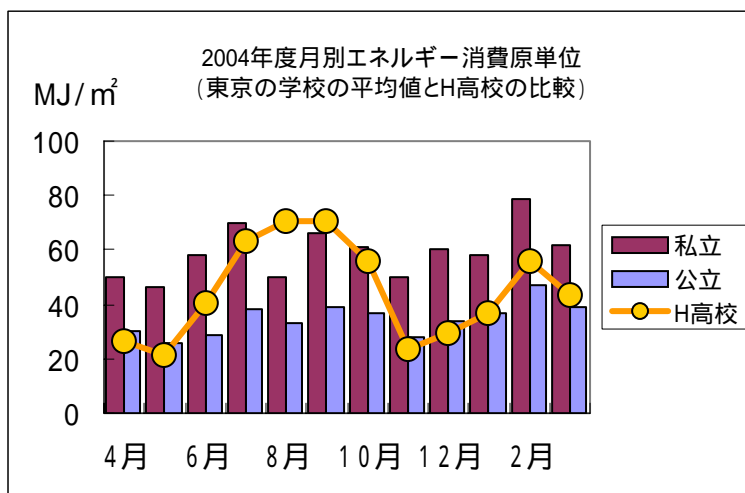


図 3-17 東京の高校の月別エネルギー消費原単位

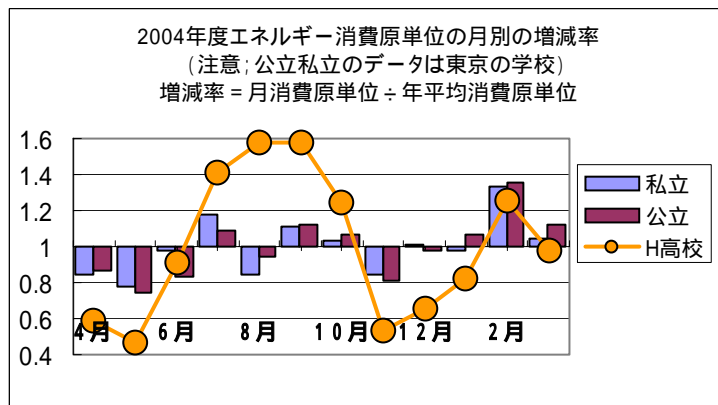


図 3-18 東京の高校の月別エネルギー消費原単位 (増減率)

に1日の空調時間について把握管理する必要がある。

次に、高校のエネルギー消費原単位ヒストグラムを図 3-16 に示す。調査データより公立高校の平均値は 308.3 MJ/m²、私立高校は 435.6 MJ/m² であることから、H高校はエネルギー消費密度の高いエネルギー多消費型の学校であると言える。

日本ビルエネルギー総合管理技術協会が同調査のデータを用いて作成した東京の高校のエネルギー消費グラフ(図 3-17)にH高校のデータをプロットした。図よりH高校は冷房期間のエネルギー消費量が高く、暖房期間は平均的な値を示している。

そこで、各月のエネルギー消費原単位を年間消費原単位の平均値で除した値を図 3-18 に表したところ、東京の高校は年間のピークが2月にあるのに対して、H高校のピークは8月と9月にある。また、東京の高校は公立・私立共に8月のエネルギー消費原単位が平均値を下回っているのに対して、H高校では年間のピークを示している。

さらに、H 高校のエネルギー消費の傾向として、季節ごとの消費エネルギー量の増減が激しく、年間平均消費原単位に対する月ごとの増減率が、東京が 0.8～1.2（幅 0.4）の枠内に収まっているのに対して、H 高校の増減率は 0.4～1.6（幅 1.2）と東京の 3 倍の幅を示しており、H 高校のエネルギー消費の仕方が比較的大きいことが伺えた。そこで、日本ビルエネルギー総合管理技術協会のデータから公立高校と私立高校における単位人数当たりの平均消費エネルギー量を算出し、表 3-8 に示したところ、H 高校は私立高校の約 1.4 倍、公立高校の約 1.6 倍を消費していることが分かった。

表 3-8 生徒 100 人当たりの年間消費熱量

H高校	909.6	GJ/100人・年
私立	623.6	GJ/100人・年
公立	573.5	GJ/100人・年
H高校	75.8	GJ/100人・月
私立	52.0	GJ/100人・月
公立	47.8	GJ/100人・月

しかし、これでは H 高校のエネルギー消費の実態がつかめないので、月ごとに H 高校における一人当たりの消費熱量を算出し、図 3-20 に示した。ここで注意したことは、学校には夏休みなどの長期休業期間があり、学校の稼働状況によって学校使用人数が大きく変化することである。そこで、平日の学校稼働状況を 100% と考えて、土日・祝日や休業期間の稼働状況を

を表 3-10 に数値化してまとめた。次に、平成 18 年度の H 高校学校要覧に掲載されていた行事日程表から各種稼働状況（土・日・平日など）の日数を表 3-9 にまとめ、これと表 3-10 の学校稼働率を掛け合わせることで月ごとの平均学校稼働率を求め、図 3-19 と表 3-10 に示した。また、この月ごとの平均学校稼働率と H 高校の総人員数を掛けた値をその月の平均人員数とし、表 3-10 に合わせて示した。ただし、学校稼働率はヒアリング調査によって H 高校の学校管理者である事務員の経験則から決定したもので、厳密なものではない。

表 3-9 H 高校の各種稼働状況に応じた日数

18年度	平日	土曜日	日曜	祝日	休業日	補習
4月	15	5	5	0	5	0
5月	20	4	4	3	0	0
6月	22	4	4	0	0	0
7月	13	4	4	1	1	8
8月	4	4	4	0	16	3
9月	20	5	4	1	0	0
10月	18	4	5	1	3	0
11月	20	4	4	2	0	0
12月	14	4	4	0	3	6
1月	17	4	4	1	4	1
2月	19	4	4	1	0	0
3月	14	5	4	1	7	0
合計	196	51	50	11	39	18

表 3-10 H 高校の学校稼働率と月別平均人員数

	学校稼働率	稼働日数	総人員数		平均稼働率	平均人員数
平日	100	196	856	4月	78.3%	670.5
土	70	51		5月	85.8%	734.5
日	50	50		6月	89.3%	764.7
祝日	60	11		7月	79.0%	676.5
夏休み	50	17		8月	61.0%	521.9
秋休み	50	3		9月	87.0%	744.7
冬休み	50	7		10月	81.9%	701.4
春休み	50	12		11月	86.7%	741.9
夏季補習	70	11		12月	79.0%	676.5
冬季補習	70	7		1月	81.0%	693.1
年間	81	365		2月	87.1%	745.9
	%	日	人	3月	76.1%	651.7

表 3-10 と図 3-19 に示した H 高校における月ごとの平均稼働率より、やはり長期休業期間のある 8・12・3 月の稼働率が低く、8 月の稼働率が最も低い稼働状況であることが分かる。

しかし、これまでの調査結果から H 高校におけるエネルギーの消費は夏冬に集中しており、特に夏場の冷房にかかるエネルギー消費量が大きいことが分かっている。学校全体の月別消費エネルギー量を示した図 3-3 や図 3-17、3-18 より、年間エネルギー消費のピークが 8・9 月にあることが分かるが、一人当たりの消費エネルギー量を示した図 3-20 から、H 高校では 8 月のエネルギー消費活動が最も活発であることが分かる。

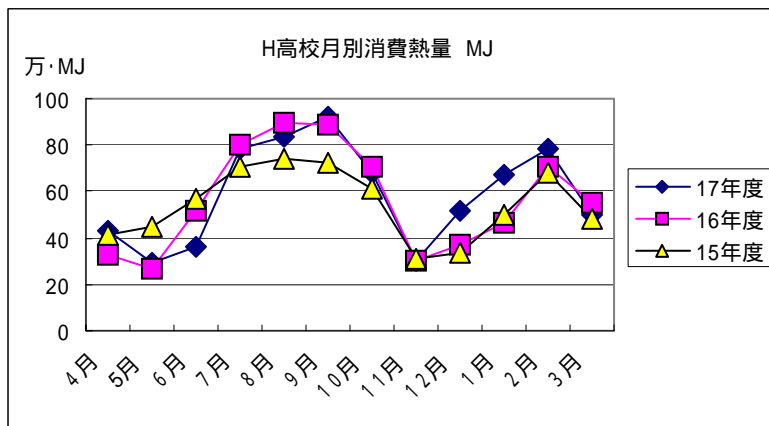


図 3-3 H 高校の月別消費熱量

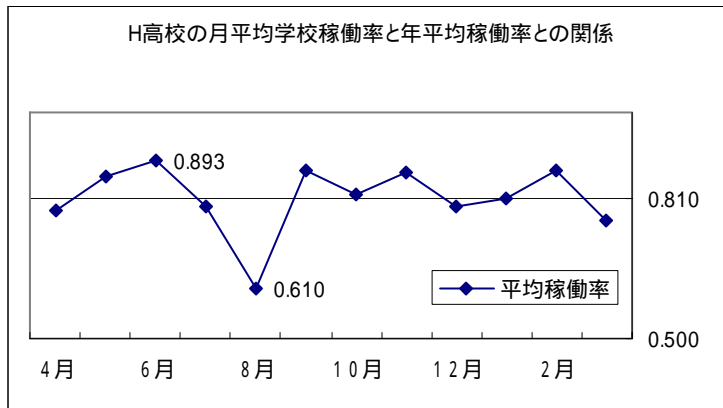


図 3-19 H 高校の月平均学校稼働率

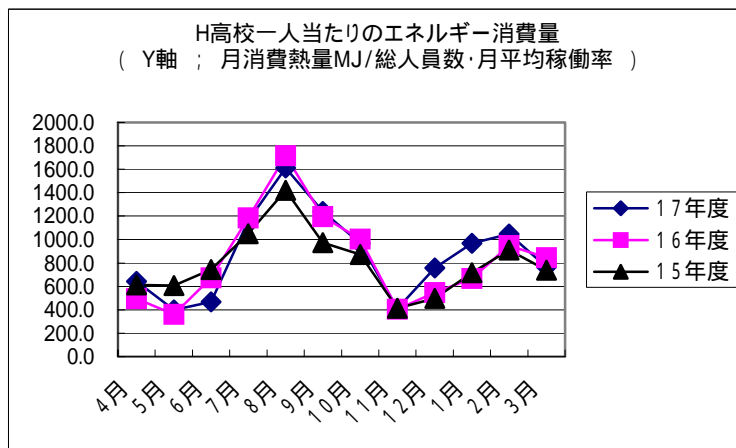


図 3-20 H 高校の一人当たりの月別エネルギー消費量

表 3-11 高等学校のエネルギー消費状況調査におけるデータ 60 項目の説明

No.		説明	単位
1	総延床面積	建物全体の延床面積	m ²
2	校舎延床面積	校舎の延床面積	m ²
3	体育館延床面積	体育館の延床面積	m ²
4	講堂延床面積	講堂の延床面積	m ²
5	格技場延床面積	格技場の延床面積	m ²
6	その他延床面積	上記用途以外の延床面積	m ²
7	校舎延床面積割合	総床面積に占める校舎割合	%
8	体育館延床面積割合	総床面積に占める体育館割合	%
9	講堂延床面積割合	総床面積に占める講堂割合	%
10	格技場延床面積割合	総床面積に占める格技場割合	%
11	その他延床面積割合	総床面積に占めるその他割合	%
12	経過年数	竣工年から2006年12月までの経過年数	年
13	地上階数	地上部分の階数	階
14	地下階数	地下部分の階数	階
15	階数	地上階数と地下階数の合計	階
16	プール施設	プール施設の有無	-
17	生徒総数	生徒の総人数	人
18	教職員総数	教職員の総人数	人
19	その他職員	生徒、職員以外の職員数	人
20	人員数	生徒、職員、その他の職員の合計	人
21	人員密度(総床)	総延床面積100m ² 当たりの人員数	人/100m ²
22	生徒密度(校舎)	校舎面積100m ² 当たりの生徒人数	人/100m ²
23	教室総数	教室の総数	室
24	学級総数	学級の総数	級
25	生徒密度(教室)	教室当たりの生徒数	人/教室
26	生徒密度(学級)	学級当たりの生徒数	人/学級
27	週授業日数	1週間の授業日数	日/週
28	春期休日	春期の休日日数(土日を除く)	日/年
29	夏季休日	夏季の休日日数	日/年
30	秋期休日	秋期の休日日数	日/年

表 3-12 高等学校のエネルギー消費状況調査におけるデータ 60 項目の説明

No.		説明	単位
31	冬季休日	冬季の休日日数(土日を除く)	日/年
32	全期休日	春夏秋冬期の休日合計	日/年
33	教室日稼働時間	教室週稼働時間を週授業日数で除した時間	時間/日
34	教室週稼働時間	教室の週の平均稼働時間	時間/週
35	職員室週稼働時間	職員室の週の平均稼働時間	時間/週
36	課外週稼働時間	上記以外の週稼働時間	時間/週
37	教室年稼働時間	教室週稼働時間×52週から全期休日を減じた	時間/年
38	プール年間使用日数	プールの年間の使用日数	日/年
39	冷房面積割合	冷房を実施している面積の総床面積に占める割合	%
40	1日冷房時間	1日の冷房時間	時間/日
41	暖房面積割合	暖房を実施している面積の総床面積に占める割合	%
42	1日の暖房時間	1日の暖房時間	時間/日
43	年間冷房日数	年間の冷房日数	日/年
44	年間暖房日数	年間の暖房日数	日/年
45	冷房度合い	冷房面積割合×1日冷房時間×年間冷房日数	-
46	暖房度合い	暖房面積割合×1日暖房時間×年間暖房日数	-
47	年間冷暖房日数	年間冷房日数と年間暖房日数の和	日/年
48	屋外照明施設	屋外の照明設備の有無	-
49	給食用厨房	給食に用いる厨房の有無	-
50	料理実習用厨房	料理実習用に用いる厨房の有無	-
51	食堂	食堂の有無	-
52	EV台数	エレベータの台数	台
53	教育用PC台数	教育用に設置されているパソコンの台数	台
54	事務処理用PC台数	事務処理用に設置されているパソコンの台数	台
55	その他PC台数	上記以外の使用に設置されているパソコンの台数	台
56	PC台数	教育用、事務処理用、その他のパソコン台数の合計	台
57	PC密度(総延)	総延床面積500㎡当たりのパソコンの台数	台/500㎡
58	PC密度(生徒教育)	生徒100人当たりの教育用パソコンの台数	台/100人
59	PC密度(人員)	人員数100人当たりのPC台数(合計)	台/100人
60	エネルギー消費原単位	2004年度比較	MJ/㎡

表 3-13 調査データ 60 項目の平均値（公立と私立）と H 高校のデータ

No.		H高校	私立学校	公立学校	No.		H高校	私立学校	公立学校
1	総延床面積	12643.5	14842	14263	31	冬季休日	12	16.1	13.9
2	校舎延床面積	11733.6	11062	10968	32	全期休日	53	70.9	67.4
3	体育館延床面積	1020	2418	2370	33	教室日稼働時間	10	7.8	7.7
4	講堂延床面積	312	420.8	18.5	34	教室週稼働時間	50	40.5	38.7
5	格技場延床面積	0	217.2	507.8	35	職員室週稼働時間	70	56.1	52.3
6	その他延床面積	909.9	877.7	453.8	36	課外週稼働時間	-	86.7	138.9
7	校舎延床面積割合	92.8	74.94	76.38	37	教室年稼働時間	2221.4	1696	1638
8	体育館延床面積割合	8.07	16.27	16.93	38	プール年間使用日数	0	35.8	73.7
9	講堂延床面積割合	2.47	2.57	0.12	39	冷房面積割合	45.9	47.99	19.77
10	格技場延床面積割合	0	1.76	3.73	40	1日冷房時間	10	6.872	8.923
11	その他延床面積割合	7.2	5.44	3.22	41	暖房面積割合	45.9	68	58.61
12	経過年数	8	29.8	26.2	42	1日の暖房時間	10	8.4	8.8
13	地上階数	6	4.4	4.3	43	年間冷房日数	100	58.7	54.4
14	地下階数	0	0.45	0.09	44	年間暖房日数	100	91.8	81.1
15	階数	6	4.9	4.3	45	冷房度合い	459.1	272	126
16	プール施設	0	0.3	0.8	46	暖房度合い	459.1	544	428
17	生徒総数	747	1036.7	766.7	47	年間冷暖房日数	200	150.4	135.4
18	教職員総数	91	76.7	64.2	48	屋外照明施設	1	0.8	0.5
19	その他職員	18	14.7	11	49	給食用厨房	0	0.5	0.2
20	人員数	856	1128	871.9	50	料理実習用厨房	1	0.9	1
21	人員密度(総床)	6.8	7.7	6.2	51	食堂	1	0.7	0.3
22	生徒密度(校舎)	6.4	9.5	7.5	52	EV台数	2	0.8	0.5
23	教室総数	41	45.3	40.3	53	教育用PC台数	108	95.1	66.3
24	学級総数	18	28.3	21	54	事務処理用PC台数	93	34.1	23.5
25	生徒密度(教室)	18.2	23.6	22.7	55	その他PC台数	-	3.8	3.8
26	生徒密度(学級)	41.5	35.9	36.6	56	PC台数	201	132.9	93.6
27	週授業日数	5	5.3	5	57	PC密度(総延)	7.9	4.7	3.4
28	春期休日	12	15.1	10.7	58	PC密度(生徒教育)	14.5	11.9	9.4
29	夏季休日	26	38.9	42.4	59	PC密度(人員)	23.5	14	12
30	秋期休日	3	0.9	0.5	60	エネルギー消費原単位	537.4	435.6	308.3

* 各種データの単位は表 3-11、3-12 参照

3.8 H 高校の運用状況

H 高校は平成 18 年度調べで生徒が 747 人、教職員及びその他の職員が 109 人、計 856 人で構成されている。学科によってクラスごとの男女比は不揃いだ、全体の男女比はだいたい同程度となっている。クラスは 1 学年当たり 6 クラスあり、1 クラスの平均人数は担任を含め 42.5 人。教員数は 59 名おり、その他常勤・非常勤講師や実習助手などを含めると 88 名ほどになる。しかし、実際に学校を使用している人数は 1 日の使用時間によってかなり変動するものである。また、H 高校事務員に対するヒアリング調査から、空調や照明の電源消し忘れ、空調時の窓開放など、複数の問題点があることが分かったので、エネルギー消費に大きな影響を与えている空調エネルギーの利用実態等についても調査を行う目的で H 高校の 2 年生に対してアンケートを行った。

アンケート	実施；平成 18 年 1 1 月初旬
	対象；京都市立 H 高校 2 年生（男性 141 女性 109 計 250 名）
	方法；ホームルーム時間に一斉配布・回収
	回収率；男性 91% 女性 96% 全体 94%
	有効回答率； 99%（データに反映された回答の割合）
	質問内容； 性別・生徒 or 教員・文系 or 理系
	登校時刻・下校時刻
	放課後の主な居場所
	教室不在時に照明を OFF にしているか否か
	教室不在時に空調を OFF にしているか否か
	特別教室の使用後に照明を OFF にしているか否か
	特別教室の使用後に空調を OFF にしているか否か
	冷房によって肌寒く感じることもあるか否か
	暖房によって頭がボーとすることがあるか否か
	冷暖房の影響緩和に対する対策・快適な設定温度
	冷暖房中に窓を開けることに抵抗を感じるか否か
	全熱交換機の効果について知っているか否か
	学校生活の中でエネルギーの浪費を感じるか否か
	浪費を感じるのはなぜか

アンケート 実施；平成18年12月初旬
 対象；京都市立H高校 2年生（男性141 女性109 計250名）
 方法；各担任による配布・回収
 回収率；男性 55% 女性 72% 全体 62%
 有効回答率； 99%（データに反映された回答の割合）
 質問内容； 性別

冷房期間中に長袖を着用するか否か
冷房期間中にひざかけを利用するか否か
冷房中に教室の窓を開ける状況（複数回答可）
暖房中に教室の窓を開ける状況（複数回答可）
教室の窓が開く時間帯（複数回答可）
アトリウム・廊下の冷暖房設備の有無

アンケート分析結果

3.8.1

【登下校について】

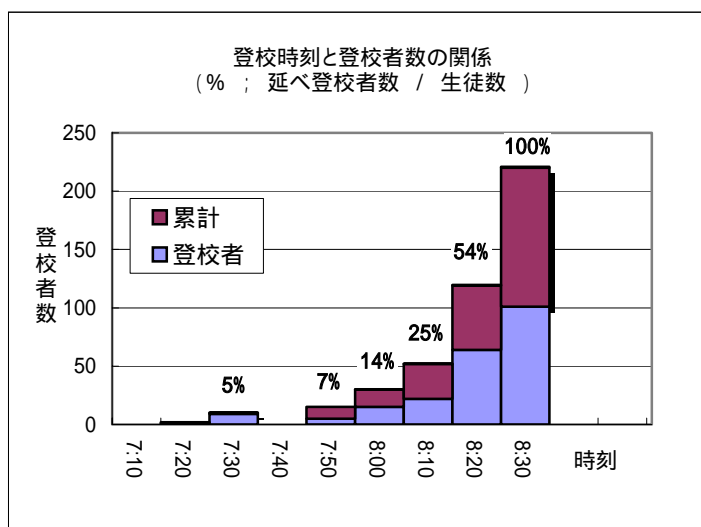


図 3-21 登校時刻と登校者数の関係

生徒の登校時刻を調べたところ、図 3-21 より、生徒の半数が授業開始の 10 分前に登校している。また、一部の生徒は 8 時前に登校していることから、H 高校の空調は生徒も自由利用できるため、夏冬の空調の開始時刻は 8 時前から空調の電源が ON となり始めていると考えられる。

冷暖房機器の初期動作には大きな負荷がかかるため、空調の開始時には室内温度が初め不快であっても、冷房 18℃・暖房 30℃ など、設定温度値をオーバーにせず、じょじょに室温を快適にするよう注意しなければならない。室内温度が快適になるまでには時間がかかるため、初期設定値が不適切なまま授業が開始されると過冷房・過暖房の原因となる。よって、設定温度についてはこまめにチェックする必要があるが、基本は冷暖房の設定値は一律にしておくことが望ましい。

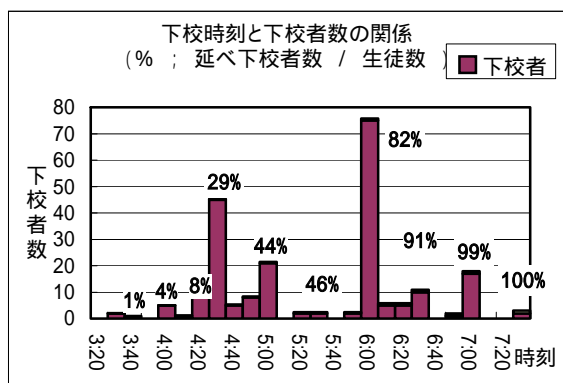


図 3-22 下校時刻と下校者数の関係

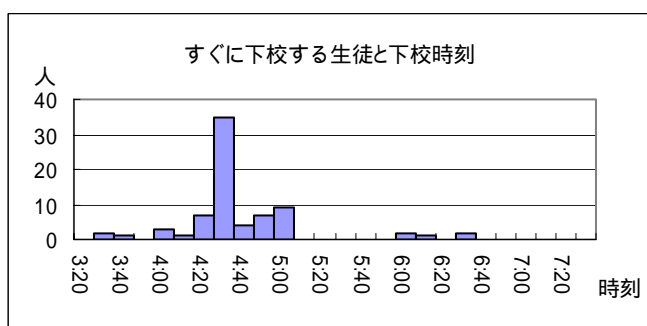


図 3-23 すぐに下校する生徒と下校時刻の関係

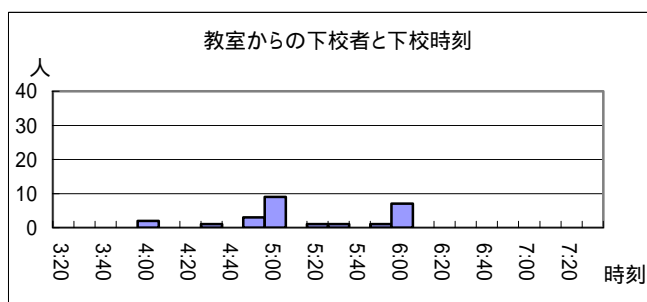


図 3-24 教室からの下校者と下校時刻の関係

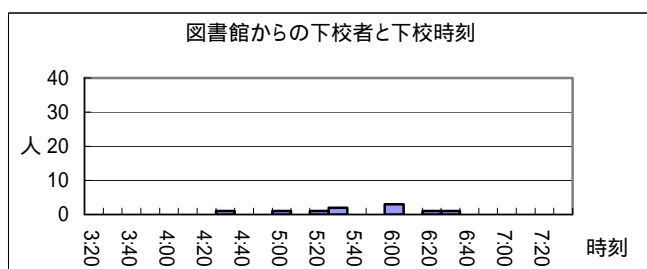


図 3-25 図書館からの下校者と下校時刻の関係

生徒の下校時刻について調べたところ、図 3-22 より、4 時半と 6 時に帰る人に別れた。これは授業終了時にすぐ帰宅する人と部活動や補習などの理由で完全下校時刻まで残る人がいるためである。放課後の校舎利用者は、図より生徒全体の 70% であり、ほとんどの生徒達が 6 時までには下校している。

放課後の居場所は皆まちまちであるので、アンケートから放課後の主な居場所について得た回答と下校時刻の関係を合わせて以下に分析を行った。その結果、図 3-23 より、すぐに下校すると答えた生徒は全体の約 30% であり、そのほとんどが 4 時半頃に下校している。

また、図 3-24 より、教室に残る生徒は全体の 11% であった。完全下校時刻まで残る生徒は全体の 4% であり、放課後の教室稼働率は低い。空調・照明など電源の消し忘れは生徒が下校する 4 時半～5 時、そして完全下校時刻である 6 時頃に多発していると考えられる。

図 3-25 より、図書館の利用者は少なく、空調における費用対効果は小さいので過冷房・過暖房に注意する必要がある。必要以上の空調を行わず、館内の空気を用いた内気空調を心懸け、電熱ストーブなどエネルギー負荷の小さい機器の個別使用が望ましい。

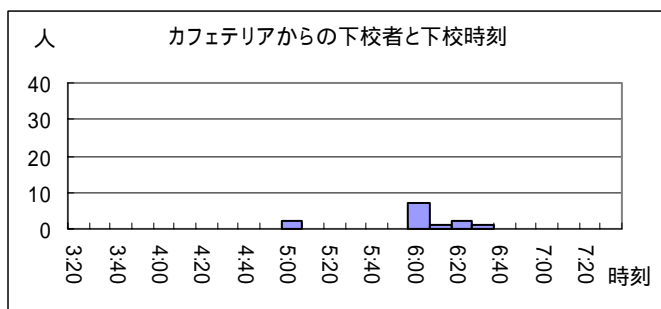


図 3-26 カフェテリアからの下校者と下校時刻の関係

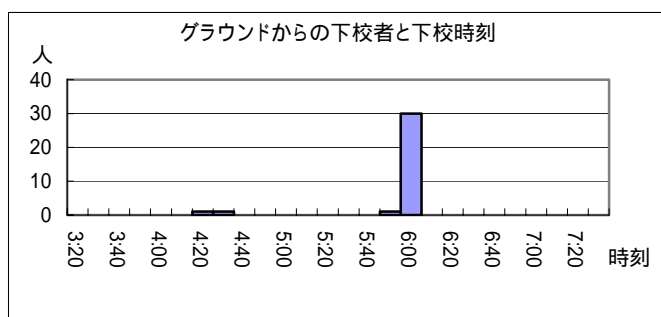


図 3-27 グラウンドからの下校者と下校時刻の関係

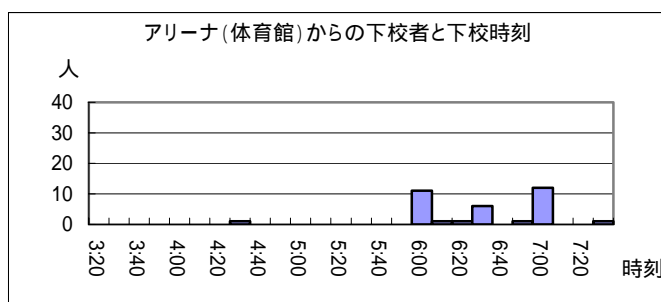


図 3-28 アリーナからの下校者と下校時刻

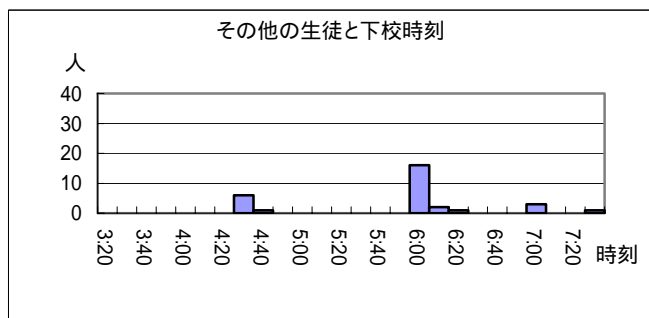


図 3-29 その他の生徒と下校時刻

図 3-26 より、カフェテリアの放課後の利用者は全体の 6%であった。完全下校時刻まで利用する傾向があり、空調稼働時間は比較的長い。しかし、カフェテリアは無人の時間が長く、省エネルギーの観点から放課後の空調停止について検討する余地がある。

図 3-27 より、全体の 15%がグラウンドを利用し、6 時に下校している。ここでは屋外の更衣室の空調・電気の消し忘れについて注意する必要がある。しかし、空調に関しては電源の ON・OFF を繰り返す方がエネルギーコストは大きいので、空調は最初から停止しておくか設定温度を負荷の小さい方に設定し連続運転することが望ましい。

アリーナの利用者は図 3-28 より全体の 15%であった。ここでも更衣室の空調・照明の消し忘れに注意する必要がある。

その他の理由で 6 時まで残る生徒は図 3-29 より全体の 10%ほどであり、部活動で小ホールを利用する人が多かった。

3.8.2

【エネルギーの使用について】

次に、学校利用者が学校生活の中でエネルギーを無駄に使っていると思うか、また思うのであればどこに浪費を感じるかに

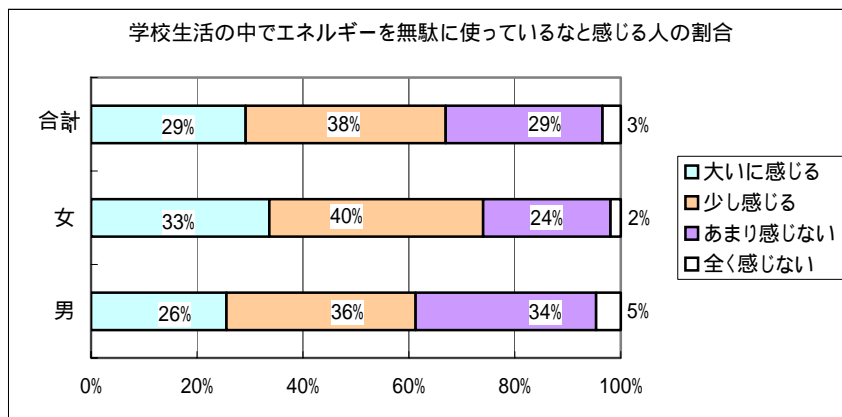


図 3-30 学校生活の中でエネルギーの浪費を感じる人の割合

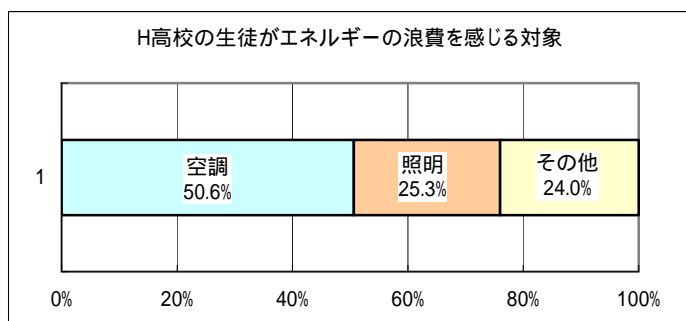


図 3-31 学校生活でエネルギーの浪費を感じる対象

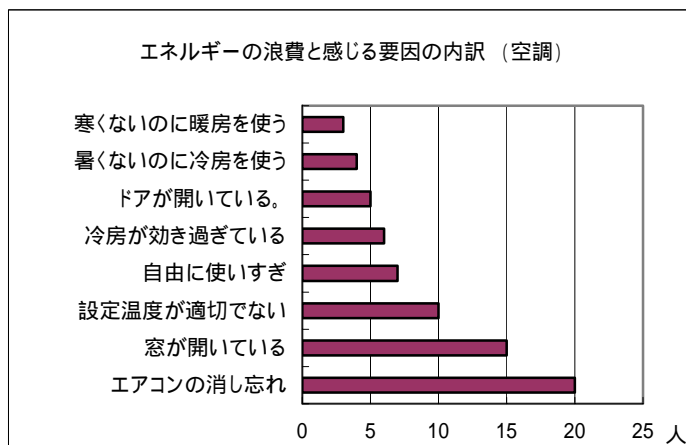


図 3-32 エネルギーの浪費とを感じる要因の内訳 (空調)

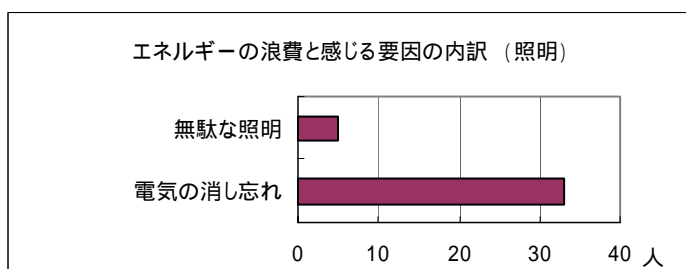


図 3-33 エネルギーの浪費とを感じる要因の内訳 (照明)

ついて質問した結果、図 3-30 よりエネルギーの浪費を感じる人が大いに感じる人と少し感じる人を合わせると全体の 7 割を占めた。また、図 3-31 より、特に空調に対して浪費を感じる人が 7 割の中の 50%、照明とその他が 25% ずつであった。

各種浪費を感じる要因について調べた結果、空調・照明ともに消し忘れが最も多く、図 3-32 より、空調に関しては空調時の窓・ドアの開け放し、不要な空調、過度の空調などの問題点があがった。その他の要因に関しては、図 3-34 より、直感的に浪費していると感じていたり、エレベータの利用頻度の高さに対してエネルギーの浪費を感じる人が多かった。

そこでまず、照明・空調の電源をきちんと切ることに対する意識がどの程度あるのか分析を行ったところ

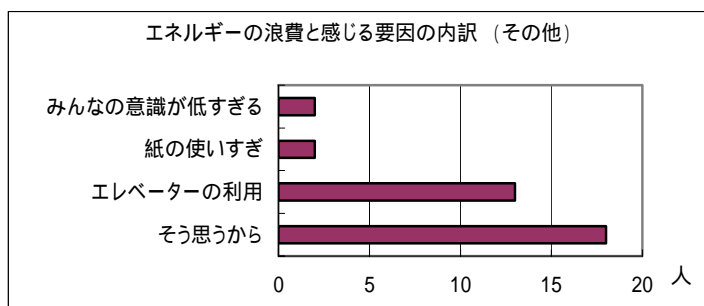


図 3-34 エネルギーの浪費と感じる要因の内訳 (その他)

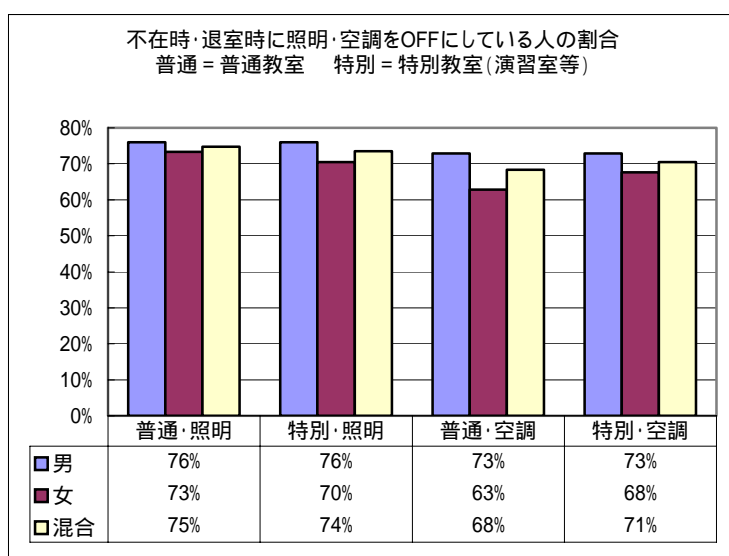


図 3-35 不在時・退室時に照明・空調を OFF にしている人の割合

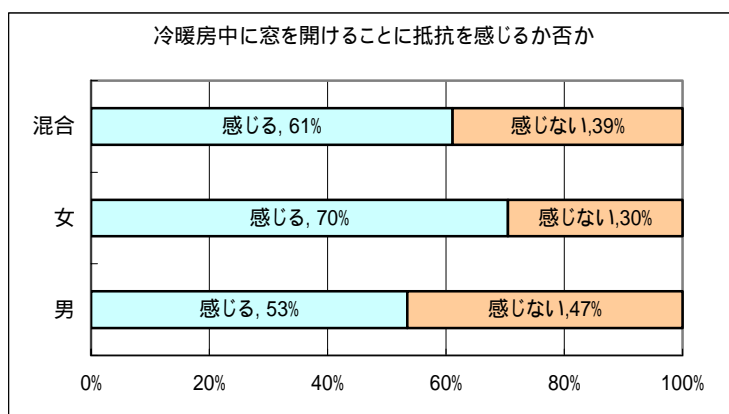


図 3-36 冷暖房中に窓を開けることに抵抗を感じるか否かについて

図 3-35 のようになった。男女間に若干のばらつきがあるものの、全体で見ると約 3 割が未使用室の照明や空調電源を OFF にする意識を持っていない。

図 3-32、3-33 の結果より、実際にも照明・空調電源の消し忘れが多く発生していると考えられるので、これを改める必要がある。

3.8.3

【窓の開閉について】

また、空調時に窓・ドアを開け放していることにエネルギーの浪費を感じると答えた人が図 3-32 より、複数見受けられたので、窓を開け放すことにどの程度の人が抵抗を感じているのかについて質問したところ、図 3-36 のようになった。抵抗を感じるのは女性が多く 7 割に達しているのに対して、男性の半数が抵抗を感じずに窓を開放している。図 3-37 より、教室の窓が開いているのは主に休み時間と掃除中であり、なぜ開けるのかについては図 3-38、3-39 に示した。冷房時・暖房時共に窓を開けるのは換気のためという回答が最も多かったので、全熱

交換機の効用に対して質問したところ、図 3-39 から分かるように、全体の 3 割ほどにしか知られていなかった。

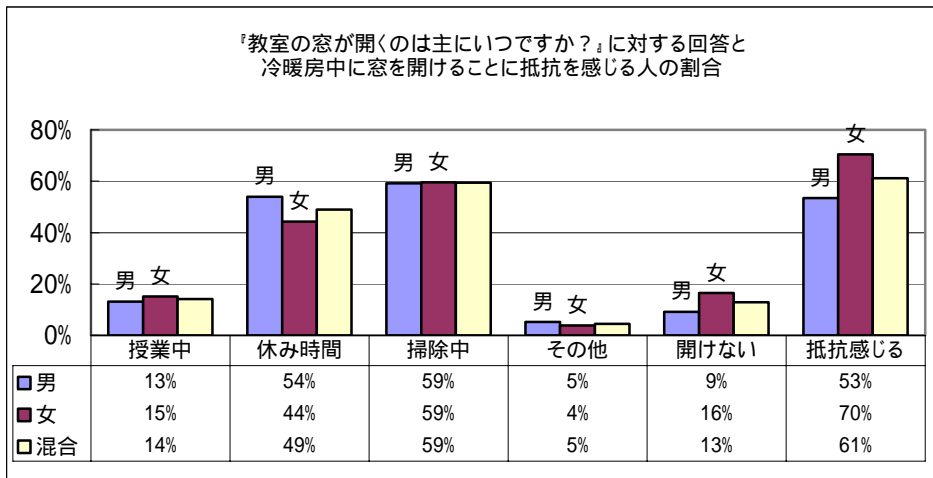


図 3-37 空調時の窓を開けるタイミング

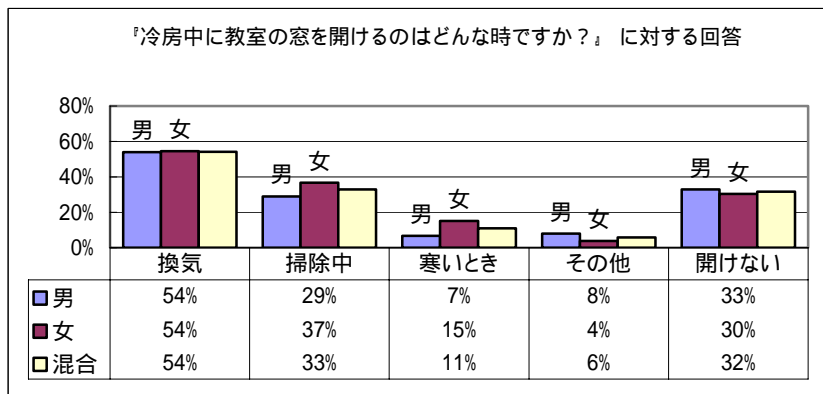


図 3-38 冷房時に窓を開ける理由

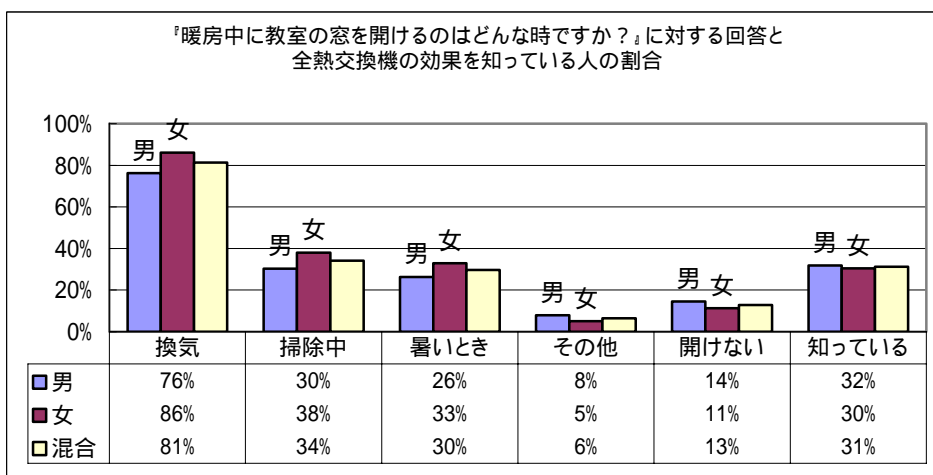


図 3-39 暖房時に窓を開ける理由と全熱交換機の効果について知っているか否かについて

全熱交換機とは、新鮮な外気を室内に取り入れ、室内の空気を室外に排出する際に、外気の温度と室内の温度との差による熱エネルギーを逃がさずに利用できる機器のことである。冷房時には、高温、多湿な外気が全熱交換器を通過するとき、顕熱と潜熱が外に排出される室内空気によって吸収されるので、外気は予冷、除湿され導入される。また、暖房時には、これが逆のサイクルとなり、外気は全熱交換機を通過する室内空気によって予熱、加湿されて導入される仕組みである。

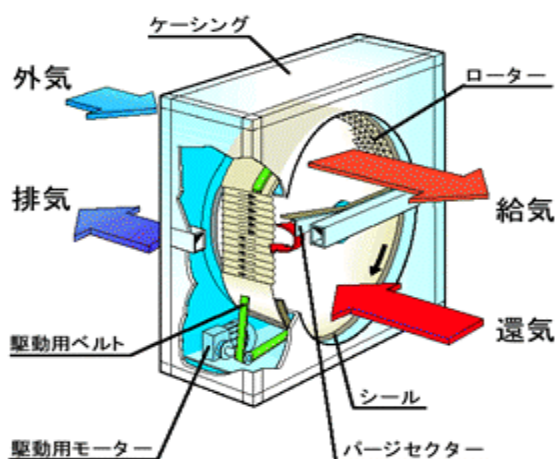


図 3-40 回転型全熱交換器⁵⁾ (省エネルギーセンターHPより)
http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html参照

H 高校の教室では、この全熱交換機による換気をよく行わないまま、窓の開閉によって教室の換気を行っていると考えられるので、これを改める必要がある。

全熱交換機はほとんどの室に設置されている(表 3-4 参照)。

3.8.4

【過冷房・過暖房について】

次に、過冷房・過暖房に関する分析を行った。空調による影響について質問したところ、冷房によって肌寒く感じることもある、暖房によって頭がボーとすることがあると答えた人は図 3-41 より、全体の 7 割であった。女性にいたっては 8 割が過度の空調によって影響を受けており、これらの根本的な原因は、不適切な空調温度設定によるものであると考えられる。

そこで、それぞれが思う快適な空調設定温度について質問した結果をヒストグラムにして以下の図 3-42、3-43 に示した。

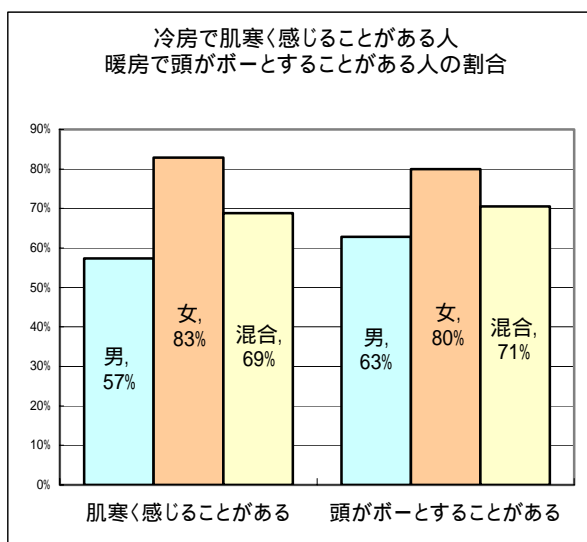


図 3-41 過度の空調によって悪影響を受ける人の割合

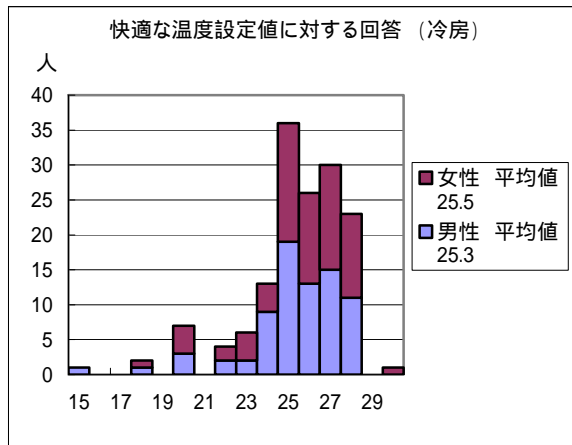


図 3-42 快適な温度設定値に対する回答 (冷房)

*人数は男女合計

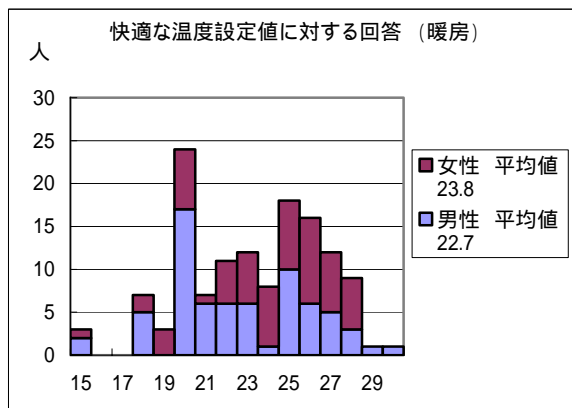


図 3-43 快適な温度設定値に対する回答 (暖房)

*人数は男女合計

冷房設定温度については表 3-16 より、学校環境衛生基準に合致した回答を得られた。しかし、冷房によって肌寒く感じることもある女性が図 3-41 より、全体の 8 割に達していることから、過冷房が実際には行われていると考えられる。そこでヒアリング調査を行ったところ、体育や昼間休み等で汗をかいた際に、教室の空調設定温度を極端に下げる傾向があることが分かった。また、適当な空調設定温度が分からない人が知らずと過冷房・過暖房となる温度設定を行っているとも考えられ、この傾向は暖房設定温度について特に強く見受けられた。快適な暖房設定温度値に対しては幅広い回答が得られ、そのほとんどが 20 以上であった。平均値 (図 3-43 参照) も学校環境衛生基準 (表 3-16 参照) で定められている最適室内温度を 3 上回っている。特に女性が高い温度設定値を好む傾向があり、男女で好みの暖房設定温度が表 3-15 と表 3-17 を比較することから二極化していることが分かる。

表 3-14 学校環境衛生基準 夏季教室

学校環境衛生の基準(改訂平成 10 年 12 月 1 日)
 第 1 章 定期環境衛生検査 教室等の空気
 ・夏季では 30 以下であることが望ましい
 ・また 25~28 が最も望ましい
 (補足) オフィスでは 28 が奨励されている

表 3-15 快適と思う冷房温度設定値の相関関係

相関係数	男	女	混合
男	1	0.970++	0.993++
女	0.970++	1	0.992++
混合	0.993++	0.992++	1

表 3-16 学校環境衛生基準 冬季教室

学校環境衛生の基準(改訂平成 10 年 12 月 1 日)
 第 1 章 定期環境衛生検査 教室等の空気
 ・冬季では 10 以上であることが望ましい
 ・また 18~20 が最も望ましい
 (補足) オフィスでは 22 が奨励されている

表 3-17 快適と思う暖房温度設定値の相関関係

相関係数	男	女	混合
男	1	0.572	0.917++
女	0.572	1	0.852++
混合	0.917++	0.852++	1

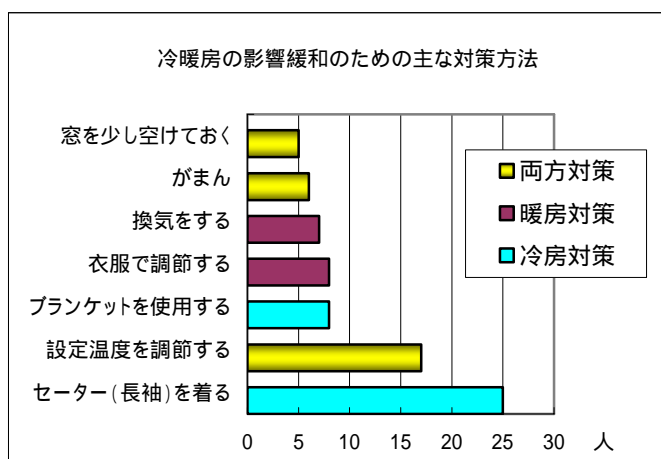


図 3-44 冷暖房の影響緩和のための対策

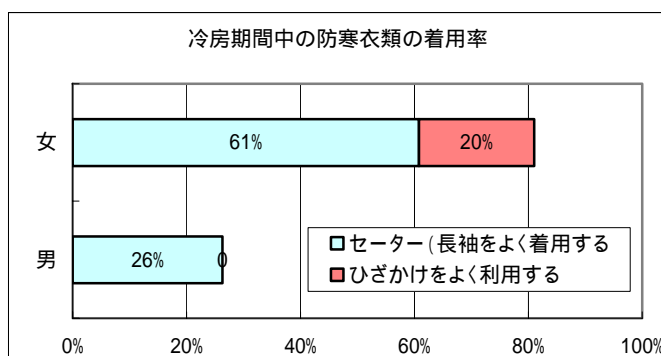


図 3-45 冷房期間中の防寒衣類の着用率

過度の空調によって影響を受けている人に対して、どのような対応策を講じているか質問したところ、図 3-44 のような結果が得られた。多くが冷房に対するものであり、セーターや長袖を着用すると答えた人が最も多かった。

そこで、セーター等防寒衣類を冷房期間中にどの程度の人が着用しているのか、再度アンケート調査を行った結果、女性の6割が夏にも関わらずセーターを着用していることが分かった(図 3-45 参照)。

以上のことから H 高校には基準となる温度設定値がないまま、誰もが自由に温度設定値に触れることができることによって過度の空調が起っており、その対応の仕方が根本原因である空調設定温度の調節ではなく、まず衣服による調整を行うなど各個人の対応を一番に取っていることがエネルギーの大きな損失に繋がっていると考えられる。

なぜ設定温度を調節するのではなく、個人の対応を行うかについては、アンケートに寄せられた意見によると、教室内の窓辺と廊下付近での室温が異なり、窓辺の生徒は夏冬共に季節の影響を受けやすいため、室内の温度設定値を負荷の大きい方へ変更し、教室内の廊下側にとって過度の空調となっても、設定値を調節するのではなく、窓際の人への配慮から各個人の対応を取らざるを得ない状況になっているということが分かった。

なぜ設定温度を調節するのではなく、個人の対応を行うかについては、アンケートに寄せられた意見によると、教室内の窓辺と廊下付近での室温が異なり、窓辺の生徒は夏冬共に季節の影響を受けやすいため、室内の温度設定値を負荷の大きい方へ変更し、教室内の廊下側にとって過度の空調となっても、設定値を調節するのではなく、窓際の人への配慮から各個人の対応を取らざるを得ない状況になっているということが分かった。

よって、空調温度設定値の省エネルギー設定を行うには、まず窓辺の断熱を図り、その影響を緩和することによって教室内の空気環境を均一に保つ必要があると考えられる。そのためには、夏冬の空調時にはブラインド・カーテンを使用し、窓にはガラス面への断熱遮蔽フィルムなどを利用するなどの対策が考えられる。

ガラス面への断熱遮蔽フィルムとは、ガラス面に貼り、透明度を保ちながら赤外線を反射するフィルム(断熱遮断フィルム)のことをいう(図 3-46)。夏には日差しによる窓際の熱負荷を緩和し、冬には、室内から室外へ窓を通じた放熱を低減することができるので、導入により空調用エネルギーの削減が見込め、省エネルギーに繋がるので広く推奨されて

いる（図 3-47、3-48）。H 高校の普通教室の窓面積は南向きで比較的大きなものになっており、断熱遮蔽フィルムの利用効果は大きいと考えられるので補足説明した。



3-46 断熱フィルムの効果フロー図⁶⁾ http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html参照

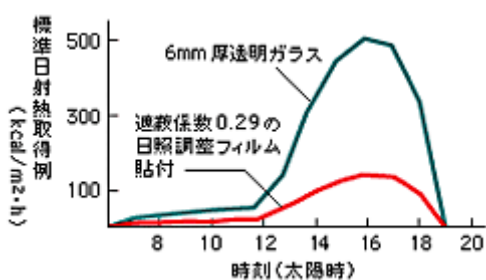


図 3-47 窓際の温度変化（空気調和衛生工学便覧）⁶⁾

条件：夏季（7月23日）方位 西

http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html参照

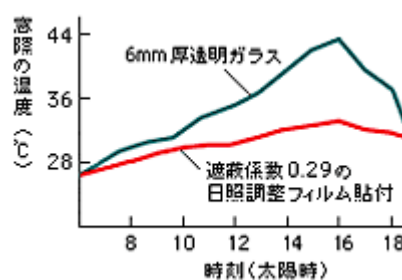


図 3-48 窓ガラスからの標準日射熱取得例（流入熱量）⁶⁾

条件：時期 夏季快晴、場所：東京、方位：西

ガラス 6mm 透明、測定 自記記録計 窓際 30cm

http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html参照

第4章 H高校の省エネルギー行動指針

4.1 非・省エネルギー行動と各対応

H高校における現状把握の結果を基に、H高校のエネルギー管理標準としてまとめた17つの管理指針を表4-1に示す。これら管理指針は空調・照明・EV(エレベータ)に対するものであり、以下に各指針について説明する。また、モニタリング No.は監視システムを意味し、監視システムについては第5章で詳述する。

表4-1 省エネルギー管理指針

管理部	指針	省エネルギー管理指針	モニタリング
空調	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	No.1
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する	No.1
	3	暑くも寒くもないときは空調を停止する	No.1
	4	冷房設定値は26以上とし、28を基準値とする	No.2
	5	暖房設定値は22以下とし、20を基準値とする	No.2
	6	設定温度の変更は一度に2までとする	No.2
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	No.3
	8	冷却塔の設置状況を改善する	No.3
	9	空調機・FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う	No.4
	10	全熱交換機のフィルター整備を行う	No.4
	11	空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う	No.5
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する	No.6
	13	窓の遮蔽フィルムを設置する	No.7
照明	14	不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	No.8
	15	照明器具及び壁面天井の清掃を行う	
	16	高効率ランプへ交換する	No.9
EV	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	No.10
総括		運用状況の改善に努め、定めた指針を遵守する	

まず、H高校のエネルギー消費量のうち、空調エネルギーにかかる割合が高い原因のひとつに冷房稼働期間の長さが考えられる。しかし、気候的な問題から空調せざるを得ないということも考えられるので、期間内の1日の空調稼働時間をできる限り短縮していく方法を提案することにした。以下に短縮の方法を説明してゆく。

1. **空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する。**空調熱源の停止時間を学校終了時間より前に停止させても、熱源から各室内機に送られる配管の中の未使用熱を利用することで一定時間熱源を停止しても館内を空調することができる。また、空調さ

れた室内の空気は空調を停止しても一定時間快適な状態を保つことができるので、室内退室時間の5～10分前に室内機を停止することができる。また、登下校に関する調査によって、午後6時以降の生徒学校利用はアリーナに集中しており、生徒の8割がすでに下校していることが分かっている（図3-27、3-28参照）。6時以降の空調の使用に関しては、職員室や事務室などGHP系統の室（表3-4、3-5参照）に限定されるので、教室関連の空調を担っているFCU系統の熱源を5時半頃から停止することができる。

2. **不在教室や未使用室の不要な空調を停止する。**運用面に関するアンケート調査・ヒアリング調査によって空調機器の消し忘れが起こっていることが分かっている。これを徹底して防止する必要があるのだが、現実問題として消し忘れはどうしても起こりうる問題であり、業界でも自動制御にたよる傾向が強い。しかし、H高校は夜間の利用がなく、スケジュール管理によって熱源を停止することで学校稼働時間外の最低限の防止は可能である。問題は、学校運用時間内の消し忘れであり、これについては工夫が必要であるだろう。この工夫に関しては研究の対象外であるのであまり言及しないが、一つの例として、省エネルギー系なるものを各クラスに組織し、移動教室の際には空調・照明等を消すことを義務づけることが効果的であると思われる。日替わりで係りを交代すれば、一人一人の負担は少なく、また生徒全員が省エネルギー活動を体験することで意識向上にもつながるため、環境教育の一環としてもよいだろう。モニタリング管理を導入すれば各室のエネルギー使用実態が把握できるので、環境週間を設け、省エネルギーの度合いを各クラスで競わせるなど、ある程度の遊びがあってもいいと思われる。省エネルギーは我慢することではなく、いかにエネルギーと上手く付き合っていくかということが大切であり、そのことを生徒に教えてゆく意義は大きい。

3. **外気温がさほど暑くも寒くもないときは空調を停止する。**アンケートによせられた意見から、比較的まだ涼しい夏の朝夕方、暖かな冬の昼間も空調を作動していることが分かっている。そのため、室内から外気温を把握できるような措置を行い、本当に空調が必要か否かを判断し、不要な空調を停止していく必要がある。また、室の未使用時に室内環境を悪化させない工夫を講じることも重要である。例えば、日中暖まった館内空気を夜間に放出し、夜間の冷気を取り入れることで夏場の朝を予冷して迎えることができる。これをナイトパージと呼び、採用している学校も多い。しかし、H高校は全館空調完備であり、館内環境の方が夜間の外気より優れている可能性もある。そのため、ナイトパージによる効果が逆効果となりかねないので、注意が必要である。その場合は、断熱することで昼間蓄えた熱環境を保存し、次の日に持ち越すなどの工夫を凝らすことも検討するとよいだろう。冷房期間中の一つ

の案としては、下層階の各室の未使用時にカーテン、ブラインドを閉め、窓の断熱を補強し、換気を停止する。上層階は同じく断熱を図りながら全熱交換機によって積極的に館内に溜まった暖気を放出するなど、蓄熱と放熱を上手く併用するのが効果的であると考え(図 4-1 参照)。これは日中の冷房利用に関しても同じことが言えるが、断熱を怠ると必要な冷気まで放出しかねないため、注意が必要である。冬場に関しては断熱を徹底し、全熱交換機による全室換気を心がけ、蓄熱に徹することが望ましい。

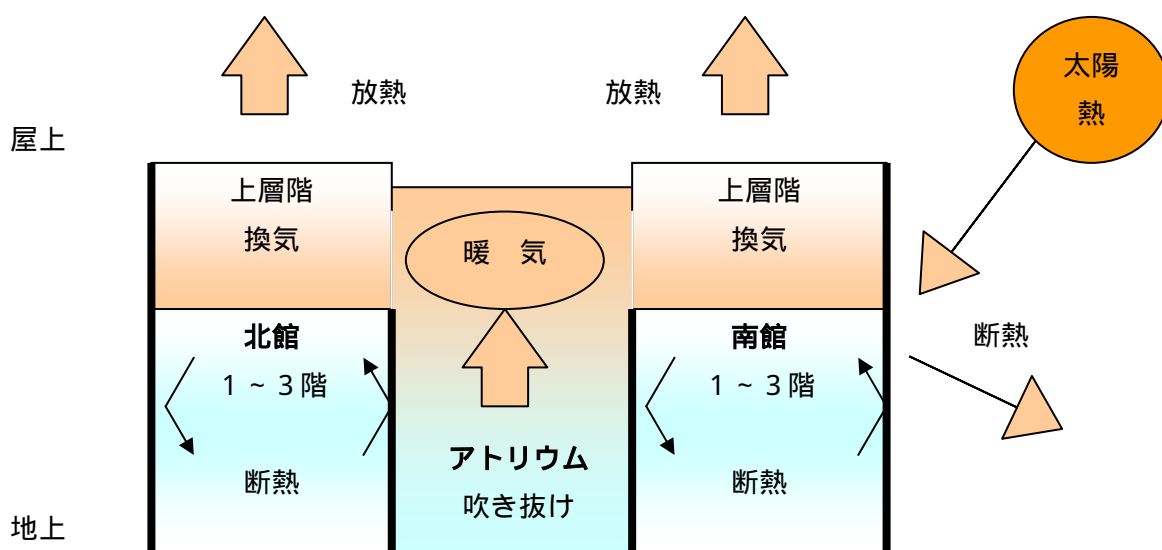


図 4-1 H 高校における夏季の断熱と放熱のイメージ図 (H 高校正面から見た断面図)

次に、不適切な空調温度設定によって過度の空調が行われていることが分かっている(図 3-40 参照)。H 高校では自由に各室の空調利用、温度調節が行えるので、そのため設定温度が不適切なものにならないように、基準値についてきちんと定める必要がある。

4. **冷房設定値は 26 以上とする。** 学校環境衛生基準では(表 3-14 参照)夏の教室環境は 25 ~28 が最も望ましく、30 以下であることが望ましいとされている。また、コスト意識の高い企業オフィスではクールビズ等によって既に冷房設定 28 が奨励されている。H 高校では、夏場 6 割の生徒がセーターやひざかけを利用していることが分かっているので(図 3-44 参照)季節に見合った服装をし、省エネルギーセンター等によって広く推進されている設定値 **28 を基準値**とすることにした。また、冷房の下限値を学校環境衛生基準の最低値 25 より 1 高い 26 とすることで、必要以上の冷房を防止することにする。1 高めた理由は、25 の設定では省エネルギー効果がないと判断したためである。

5. **暖房設定値は 22 以下とする。** 学校環境衛生基準では（表 3-16）、冬の教室環境は 18 ~ 20 が最も望ましく、10 以上であることが望ましいとされている。これより、暖房設定値は **20 を基準値**とすることにした。また、省エネルギーセンターが企業オフィス向けに広く推進している暖房設定値は 22 であるので、これを暖房設定値の上限値とし、必要以上の暖房を防止することにする。

6. **設定温度の変更は一度に 2 までとする。** 空調設定温度を一度に大幅に変更することが、H 高校における過度の空調につながっていることが分かっている。即効性を求めて設定温度を限界まで上げ下げしながら快適室温をハンチングするのではなく、適正な温度調節を行う必要がある。

H 高校はアトリウム部分のガラス張り効果や、階数の多い建築設計によって、上層階における夏場の室内環境が極めて悪化しやすい。よって、屋上部分の断熱を図る必要があり、屋上に設置されている冷却塔の設置状況の改善も合わせて行うとよい。

7. **屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる。** 屋上の断熱については緑化などの手法が取られてきている。H 高校の校長の好意で真夏の屋上に上がらせて頂いたが、鉄筋コンクリートに蓄えられた熱によってその場は蒸し返っていた。屋上に日除けを設けるだけでも屋根を伝って降りてくる熱は相当分カットされると思われるので、工夫を凝らした断熱を図る必要がある。

8. **冷却塔の設置状況を改善する。** 冷却塔は、風通しの悪さ、直射日光などの影響によって藻の発生が促進されるため注意が必要である。冷却水の汚れに関しては、腐食・スケール・藻・スライムなどがあり、それら全てが空調機器の熱交換効率の低下を引き起こすものである。熱交換効率の低下はファン動力や冷温水機への負荷を増大させるので、冷却塔にも同じく日除けを行い、定期的に水質検査を行う必要がある。

冷却塔と同様に熱交換効率の観点から、よく見落とされる空調機器の清掃についても考える必要がある。

9. **空調機・FCU・GHP・PAC のフィルター清掃を行う。** 日本ビルエネルギー総合管理技術協会の省エネ効果試算によると、フィルターが目詰まりしていると個々の能力が低下し、電気代が約 5~10%上昇するとされている。これは空調効率の低下を示すものであり、フィルターの清掃を定期的に行う必要がある。

10. 全熱交換機のフィルター清掃を行う。理由は上と同様であるので省略する。

次に、空調時の外気取入は空調負荷となることが分かっている。その影響の度合いは省エネルギーセンター調べで冷房負荷の15～30%、暖房負荷の30～50%を占めるとされている。H高校では運用調査から窓を開放して空調することに対する生徒の抵抗感が薄く、窓やドアの開け放しが頻繁に起こっていると考えられる(図3-35参照)。よって、窓辺の外部負荷軽減について以下にその対応をまとめる。

11. **空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う。**省エネルギーセンター調べで外気取入量を20%程度軽減すると冷房負荷が5%前後、暖房負荷は10%前後の削減が可能とされている。換気は全熱交換器を主に使用し、清掃時には空調機を停止してから窓を開けるか、設定温度を負荷の小さい方へ変更して清掃を行うことが望ましい。

12. **空調時にカーテン・ブラインドを利用する。**ブラインドメーカーのタチカワブラインドによると、冷房中に南側窓にブラインドをかけた場合、空調電力で24%程度の削減が期待できるとされている。H高校における熱源の消費エネルギー源は主にガスであり、1m³当たりのガスの仕事量は1kWh当たりの仕事量の約4.7倍であることから、概算で約5%程の削減効果があると考えられる。同様に、暖房中に北側窓にブラインドをかけた場合、灯油で22%程度の削減が期待できるとされている。ガス1m³当たりの仕事量は、灯油1リットル当たりの仕事量の約1.2倍であることから、概算で18%程度の削減が期待できると考えられる。しかし、カーテンやブラインド利用がどこまで徹底して行われているのか管理することは難しいので、数値は目安として考え、当面はカーテン・ブラインドの利用促進に注力することが望ましいだろう。

13. **窓の遮蔽フィルムを設置する。**H高校の南館は主に普通教室として用いられており、窓も南側に設置されているため、夏の陽射しが普通教室の大きな冷房負荷となっていると考えられる。メーカーである帝人のデータによると、熱線遮断タイプのフィルターによる省エネルギー効果は約19～25%、断熱タイプのフィルターによる省エネルギー効果は25～35%としており、体感温度にして実に5～9の低減効果があるとしている。

次に空調以外に関する非・省エネルギー内容とその対応方法についてまとめる。

14. **不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する。**現状調査から照明の消し忘れが起こっていることが分かっている(図3-32)。これを徹底して防止する必要があるのだが、

現実問題として消し忘れはどうしても起こりうる問題であり、消し忘れ防止には工夫が必要である。この工夫に関しては研究の対象外であるのであまり言及しないが、工夫例を指針 2 『不在教室や未使用室の不要な空調を停止する。』に記述した。

- 1 5. **照明器具及び壁面天井の清掃を行う。**照明器具周りの清掃を行い、反射率や透過率を上げることにより、照明の間引きや、照度を見直して照明エネルギーの削減を図ることができる。また、天井や壁、床の光反射率に照明電力消費量は反比例する。省エネルギーセンター調べで、反射率が 55% のとき、照明電力が $24\text{W}/\text{m}^2$ に対して、反射率が 72% のとき、照明電力は $18\text{W}/\text{m}^2$ であり、省エネルギーに寄与するとされているが、毎日の清掃で天井壁面まで行うことは難しい。しかし、壁面天井の清掃状況チェックはライフサイクルコストの低減につながるので、その意味で行うものとする。
- 1 6. **高効率ランプへ交換する。**照明電灯・電球には数多くの種類があり、中には省エネルギー設計されたものがあるので、長時間点灯する必要がある部位には、消費効率のよいものを採用することが望ましい。
- 1 7. **エレベータ利用を見直し、階段を利用する。**H 高校は 6 階建てであり、生徒は 1 階から 5 階を主に利用しているため、エレベータの利用頻度が非常に高いことが分かっている。空調にかかるエネルギー量と比べ、月ごとのエレベータにかかるエネルギー量は小さくはあるが、年間の消費量を積算すると H 高校におけるエネルギー消費の約 11% を占めることが試算結果から推測できた。エネルギーコスト意識の高い企業ビル、オフィス等では既にエレベータ利用より階段利用を奨励しており、エレベータ利用にかかるエネルギー量の低減が図られてきている。日本ビルエネルギー総合管理技術協会によると、平均的な事務所ビル（エネルギー消費原単位 = $2,163\text{ MJ}/\text{m}^2 \cdot \text{年}$ ）のエレベータ搬送比率（エネルギー消費原単位に対するエレベータの消費エネルギー量）は 2.3%（H 高校は推定 11.3%）とされている⁴⁾。エネルギー消費規模が事務所ビル平均の約 1/4 であるので、H 高校と単純に比較することはできないが、照明などに代表される必須エネルギーとは違い、エレベータは階段を利用することでエネルギーの消費を回避することができるので、利用方法の見直しが必要である。

補足.H 高校では各室から漏れる冷気や暖気によってアトリウム空間及び廊下部分まで冷暖房が行われていることが学校利用者の経験則から分かっている。特に夏場はこれらの空気は徐々に温められながら上層に溜まり、積極的に換気されるものであるが、下層階の空気は非常に利用価値の高い空気環境となっている可能性がある。そこで、そのような場合は 1 階の図書館やカフェテリアなどの空調を停止し、アトリウム空間下

層部の空気を利用した内気空調を行うことが可能であると考えられる。しかし、今回作成した省エネ管理指針では各室の断熱を行うことを目的としており（指針 12,13）アトリウム空間の空気環境を利用した内気空調を行うことは本来の本旨とは外れているものである。よって、これを断熱が行われずにアトリウム空間の空気まで空調が及んだ時の二次の策として考え、1階部分に対しては例外的に館内空気を利用した内気空調を認めることにする。

4.2 H 高校省エネルギー行動指針

以上 17 つの管理指針（表 4-1 参照）に従って、H 高校の省エネルギー行動指針を作成した。省エネルギー行動指針を定めるに当たって、H 高校の各室をその利用形態ごとに 4 つに分類し表 4-2 に示した。これは、省エネルギー行動指針を室ごとに定める際に、室の利用形態が似ているものに対しては同じ行動指針を用いることができるためである。分類の仕方については以下に述べる。

表 4-2 H 高校の室分類表		教室部			非教室部			アメニティ部			管理部		
階	室名				階	室名							
1階	購買				4階	物理地学準備室							
	放送室(スタジオ)					生物準備室							
	事務室倉庫					CALL教室準備室							
	進路指導資料室					CAI準備室							
	保健室					倉庫(暗室)							
	図書館					CALL教室							
	食堂					CAI教室							
	印刷室2					被服室							
	印刷室1					普通教室6室							
	生徒会(資料)室					調理実習室							
	職員室・企画コーナー					化学教室							
	生徒指導室					物理地学教室							
	管理用務員室					生物室							
	事務室					自然科学教室							
	進路指導室				トレーニング室								
	校長室				5階	男女更衣室							
	会議室					管理室							
	厨房					放送室							
	休養室(女子更衣室)					器具庫							
	アトリウム					体育館(アリーナ)							
昇降口(ホール)				普通教室6室									
2階	マルチメディアコーナー				空調機械室(熱源)								
	同窓会室				調整室								
	資料室				講師控え室								
	演習室9				空調機械室(1)								
	自習室				湯沸室								
	普通教室6室				倉庫								
	演習室1~8				講堂								
	授業研究室				小ホール								
和室(畳の間)				アトリエ									
3階	和室(板の間)				6階	空調機械室(2)							
	化学準備室					その他							
	家庭科準備室				屋上								
				追記	エレベーター								

学校の室利用形態の分類については、以下の手順で4つに分類を行った。1つは生徒が学習するために設けられている教室部。2つ目は職員室や校長室など、職員が使用するために設けられた非教室部。3つ目は図書館やカフェテリア、更衣室など、非教室ではあるが生徒が積極的に介入する室利用形態があり、これをアメニティ部とした。4つ目は空調機械室など事務室で管理する室であり、これを管理部とする。

これら4種類の室郡に対して省エネルギー行動指針を以下に示した。ただし、教室・非教室部については同じ行動指針となったので1つにまとめて表4-3に示し、アメニティ部については室ごとに利用方法が大きく異なるものがあるので、必要に応じて各々に行動指針を立て、表4-4、4-5、4-6、4-7、4-8に示した。また、それ以外のものについては1つの行動指針にまとめて表4-9に、管理部の行動指針については表4-10に示した。

表4-3 省エネルギー行動指針（教室・非教室部）

教室・非教室	省エネルギー行動指針	補足
夏	冷房設定温度は26 以上にしましょう	基準値は28
	設定温度の変更は一度に2 までにしましょう	
	暑くない穏やかな朝・夕は冷房をやめましょう	
	誰もいない部屋の冷房はやめましょう	
	冷房中は、窓やドアを必ず閉めましょう	
	南側の窓にはブラインドをかけましょう	
	換気は全熱交換機を利用しましょう	
冬	暖房設定温度は22 以下にしましょう	基準値は20
	設定温度の変更は一度に2 までにしましょう	
	寒くない穏やかな日中は暖房をやめましょう	
	誰もいない部屋の暖房はやめましょう	
	暖房中は、窓やドアを必ず閉めましょう	
	北側の窓にはブラインドをかけましょう	
	換気は全熱交換機を利用しましょう	
通年	誰もいない部屋の照明は消しましょう	

表4-4 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

図書館・マルチメディア	省エネルギー行動指針
夏	アトリウムของ空氣を利用した内気冷房を心懸けましょう
	冷房設定温度は28 にしましょう
	冷房中は内気冷房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウムของ空氣を利用した内気暖房を心懸けましょう
	暖房設定温度は20 にしましょう
	暖房中は内気暖房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調の電源は切りましょう

表 4-5 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

食堂カフェテリア	省エネルギー行動指針
夏	アトリウムの空気を利用した内気冷房を心懸けましょう 冷房は昼食時間中に使用し、内気冷房を心懸けましょう 冷房設定温度は28 にしましょう 冷房中は内気冷房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 南側の窓にはブラインドをかけましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウムの空気を利用した内気暖房を心懸けましょう 暖房は昼食時間中に使用し、内気暖房を心懸けましょう 暖房設定温度は20 にしましょう 暖房中は内気暖房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調の電源は切りましょう

表 4-6 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

更衣室	省エネルギー行動指針
夏	冷房設定温度は28 にしましょう 体育・部活動のあとは必ず冷房をやめましょう 冷房中はドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	暖房設定温度は20 にしましょう 体育・部活動のあとは必ず暖房をやめましょう 冷房中はドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	使用後は照明を消しましょう

表 4-7 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

EV	省エネルギー行動指針
通年	階段の利用を心懸けましょう

表 4-8 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

進路指導資料室	省エネルギー行動指針
夏	アトリウムの空気を利用した内気冷房を心懸けましょう 冷房設定温度は28 にしましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウムの空気を利用した内気暖房を心懸けましょう 暖房設定温度は20 にしましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調・換気の電源は切りましょう

表 4-9 省エネルギー行動指針（アメニティ部）

その他の室	省エネルギー行動指針
夏	冷房設定温度は28 にしましょう
	冷房中は、窓やドアを必ず閉めましょう
	南側の窓にはブラインドをかけましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	暖房設定温度は20 にしましょう
	暖房中は、窓やドアを必ず閉めましょう
	北側の窓にはブラインドをかけましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	使用後は必ず空調・照明・換気の電源を切りましょう

表 4-10 省エネルギー行動指針（管理部）

管理部	省エネルギー行動指針
通年	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する
	暑くも寒くもないときは空調を停止する
	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる
	冷却塔の設置状況を改善する
	空調機・FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う
	全熱交換機のフィルター整備を行う
	窓の遮蔽フィルムを設置する
	照明器具及び壁面天井の清掃を行う
	高効率ランプへ交換する
	運用状況の改善に努め、定めた指針を遵守する

以上の省エネルギー管理指針及び行動指針を、本研究の簡易 BEMS の手動制御部とし、設備の適正運用を行う際の判断の基準として用いる。

第5章 H高校のエネルギーモニタリングシステムの概念設計

5.1 モニタリングの評価対象と省エネルギー効果算定方法

省エネルギー行動指針による設備運用上の制御効果を評価するためには、各指針が効果を発揮する対象を把握し、その実際値を収集するモニタリング監視を行う必要がある。表5-1に省エネルギー指針ごとの効果を整理し、日本ビルエネルギー総合管理技術協会の省エネ効果試算方法⁴⁾を基に効果算定方法の分類を行った。ただし、指針15についてはランニングコストというよりライフサイクルコストに対する効果の意味合いが強いので、モニタリング管理の対象からは除外し、定期的に目視によって記録することとする。

表5-1 省エネルギー管理指針の効果

対象	指針	省エネルギー行動指針	効果	効果算定方法
空調設備	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	運転時間の短縮	
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する		
	3	暑くも寒くもないときは空調を停止する		
	4	冷房設定値は26 以上とし、28 を基準値とする	機器の適正運転	
	5	暖房設定値は22 以下とし、20 を基準値とする		
	6	設定温度の変更は一度に2 までとする		
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	冷房負荷の低減	
	8	冷却塔の設置状況を改善する		
	9	空調機・FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う	空調負荷の低減	
	10	全熱交換器のフィルター整備を行う		
	11	空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う		
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する		
	13	窓の遮蔽フィルムを設置する		
照明設備	14	不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	点灯時間の短縮	
	15	照明器具及び壁面天井の清掃を行う	反射率の向上	x
	16	高効率ランプへ交換する	照明負荷の低減	
EV	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	動力負荷の低減	

算定方法の番号は第4章表4-1のモニタリングNo.に対応するものであり、このモニタリングNo.は、各効果算定に用いるデータの収集を行う監視系統図の系統No.とも対応している。以下に、各算定方法と必要なデータを表5-2にまとめ、データ収集を行うためのモニタリング系統図を各系統別に図5-1～5-5に示し、各効果算定方法について から順に説明する。

また、今回作成した効果算定方法は日本ビルエネルギー総合管理技術協会による省エネ効果試算方法を基に作成したオリジナルのものである。

表 5-2 省エネルギー行動による効果の算定方法

No.	効果算定方法	必要なデータ
	$\text{空調熱源・空調機短縮(延長)時間} = \text{前期稼働時間} - \text{運転時間}$ $\text{室内機短縮(延長)時間} = 10\text{時間} - \text{運転時間}$ $\text{消費熱量削減量} = (\text{運転時の消費熱量合計} \div \text{運転時間} - \text{停止時の消費熱量合計} \div \text{停止時間}) \times \text{短縮時間}$ $\text{消費熱量増加量} = (\text{運転時の消費熱量合計} \div \text{運転時間} - \text{停止時の消費熱量合計} \div \text{停止時間}) \times \text{延長時間}$	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 室温 外気温
	(冷房) $\text{冷房時上昇温度} = \text{冷房時平均設定温度} - 26$ $\text{冷房削減量} = \text{冷房用空調消費熱量} \times \text{冷房削減効果率}(0.1) \times \text{冷房時上昇温度}$ $\text{冷房増加量} = \text{冷房用空調消費熱量} \times \text{冷房削減効果率}(0.1) \times \text{冷房時上昇温度} < 0$ $\text{冷房効果率} = \text{冷房削減(増加)量} \div (\text{冷房用空調消費熱量} + \text{冷房削減(増加)量})$ (暖房) $\text{暖房時下降温度} = 22 - \text{暖房時平均設定温度}$ $\text{暖房削減量} = \text{暖房用空調消費熱量} \times \text{暖房削減効果率}(0.13) \times \text{暖房時下降温度}$ $\text{暖房増加量} = \text{暖房用空調消費熱量} \times \text{暖房削減効果率}(0.13) \times \text{暖房時下降温度} < 0$ $\text{暖房効果率} = \text{暖房削減(増加)量} \div (\text{暖房用空調消費熱量} + \text{暖房削減(増加)量})$	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 空調設定温度値
	$\text{熱遮蔽効果} = 0.3\text{kwh/m}^2 \times \text{日照緩和面積} \times 9.83\text{MJ/kwh} \times \text{夏季晴天日数}$	屋上壁面の表面温度 日照緩和面積 天候
	$\text{エネルギー損失防止量} = \text{各機器の年間消費熱量} \div (1 - 0.05) - \text{各機器の年間消費熱量}$ $= \text{各機器の年間消費熱量} \times 0.0526315$	清掃の有無 各機器の消費電力量
	$\text{換気用外気取入量(m}^3/\text{h}\cdot\text{人)} = 25(\text{m}^3/\text{h}\cdot\text{人})$ (冷房) $\text{外気取入量(m}^3/\text{h}\cdot\text{人)} \quad \text{外気負荷(MJ/m}^2\cdot\text{月)}$ $A = \text{余剰外気負荷(MJ/m}^2\cdot\text{月)} = (\text{外気取入量} - 25)$ $\text{エネルギー損失量(MJ/月)} = A \times \text{室面積}$ (暖房) $\text{外気取入量(m}^3/\text{h}\cdot\text{人)} + 1 \quad \text{外気負荷(MJ/m}^2\cdot\text{月)}$ $B = \text{余剰外気負荷(MJ/m}^2\cdot\text{月)} = (\text{外気取入量} - 25) + 1$ $\text{エネルギー損失量(MJ/月)} = B \times \text{室面積}$	運転内容(冷房/暖房) 外気取入量 平均室利用人数 室面積
	(冷房) $\text{冷房削減量(MJ)} = \text{空調用電力消費熱量} \div (1 - 0.24) - \text{空調用電力消費熱量(MJ)}$ $= \text{空調用電力消費熱量} \times 0.31579$ (暖房) $\text{暖房削減量(MJ)} = \text{空調用ガス消費熱量} \div (1 - 0.18) - \text{空調用ガス消費熱量(MJ)}$ $= \text{空調用ガス消費熱量} \times 0.21951$	カーテン・ブラインドの 空調時における利用率
	$A = \text{空調用消費熱量(MJ)}$ (熱遮断タイプ) $\text{空調削減量(MJ)} = A \div (1 - 0.19) - A$ $= A \times 0.23457$ (断熱タイプ) $\text{空調削減量(MJ)} = A \div (1 - 0.25) - A$ $= A \times 0.33333$	遮蔽フィルムの設置状況 遮蔽フィルムの仕様 空調消費電力量 空調消費ガス量
	$\text{照明点灯時間(h)} = \text{照明電力消費量(kwh)} \div \text{室内総ワット数(kwh)}$ $\text{点灯短縮時間} = \text{前期日平均点灯時間} - \text{今期日平均点灯時間}$ $\text{照明電力削減(増加)量(MJ)} = \text{室内総ワット数} \times \text{点灯短縮時間} \times 9.83\text{MJ/kwh}$	照明消費電力量 室内総ワット数
	$A = \text{交換するランプの総ワット数} = \text{高効率照明電力(kwh)} \times \text{交換本数}$ $B = \text{交換されるランプの総ワット数} = \text{標準照明電力(kwh)} \times \text{交換本数}$ $\text{点灯時間} = \text{照明消費電力量(kwh)} \div A$ $\text{照明電力削減量(kwh)} = (B - A) \times \text{点灯時間}$	標準照明電力 高効率照明電力 交換本数 照明消費電力量
	$\text{EV消費削減(増加)量(MJ/m}^2) = \text{前期エレベータ消費原単位} - \text{今期エレベータ消費原単位}$	EV消費電力量

* 効果算定方法の No. は監視 (モニタリング) 系統の No. と対応している

モニタリングNo.	削減量 MJ	増加量 MJ
	消費熱量削減量	消費熱量増加量
	冷房削減量	冷房増加量
	暖房削減量	暖房増加量
	熱遮蔽効果	
	エネルギー損失防止量	
		エネルギー損失量
	冷房削減量	
	暖房削減量	
	空調削減量	
	照明電力削減量	照明電力増加量
	照明電力削減量	
	EV消費削減量	EV消費増加量

表 5-3 モニタリングから分かる削減効果

省エネ量 = 削減量 - 増加量 > 0

以下に表 5-2 より必要となるデータのデータログの頻度を示す（表追記 ）。

表追記 データログの頻度

No.	必要なデータ	リアルタイム	日単位	更新時	固定値
	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 室温 外気温				
	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 空調設定温度値				
	屋上壁面の表面温度 日照緩和面積 天候 清掃の有無 各機器の消費電力量				
	運転内容(冷房/暖房) 外気取入量 平均室利用人数 室面積				
	カーテン・ブラインドの 空調時における利用率				
	遮蔽フィルムの設置状況 遮蔽フィルムの仕様 空調消費電力量 空調消費ガス量				
	照明消費電力量 室内総ワット数				
	標準照明電力 高効率照明電力 交換本数 照明消費電力量 EV消費電力量				

次に、モニタリングデータの収集経路及び対象を系統図として以下に示す。

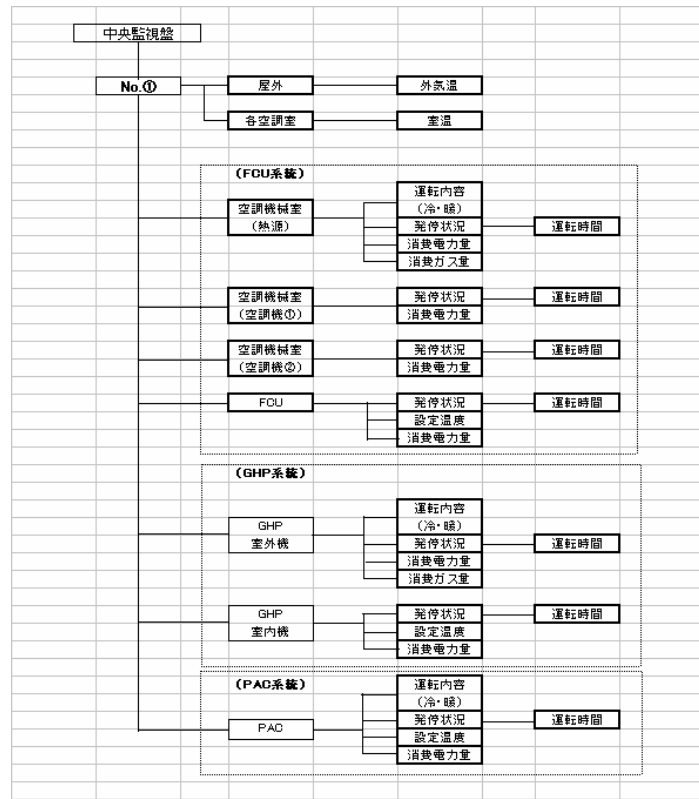


図 5-1 モニタリング系統図

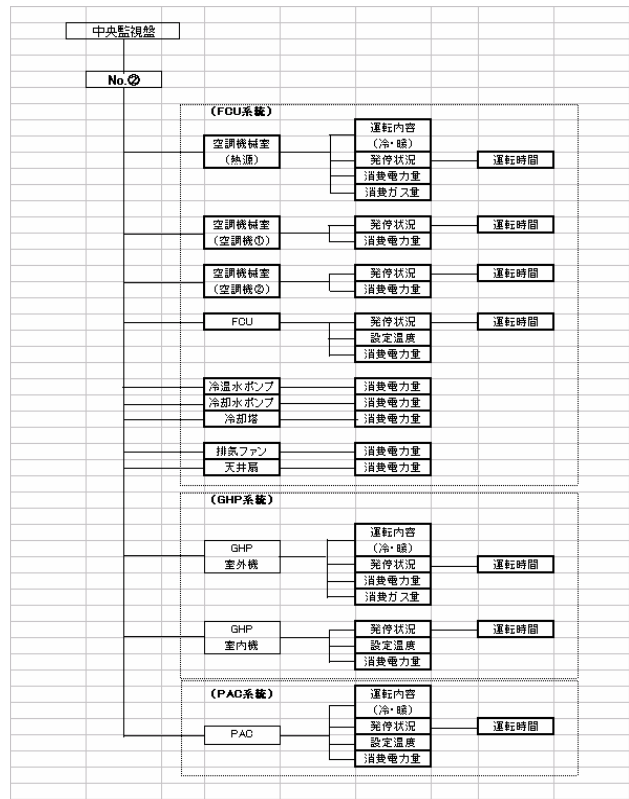


図 5-2 モニタリング系統図

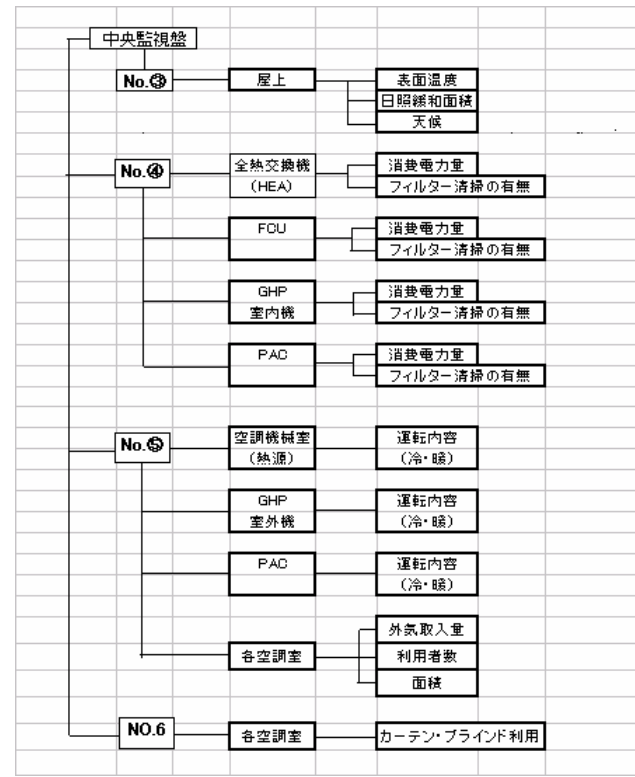


図 5-3 モニタリング系統図 ~

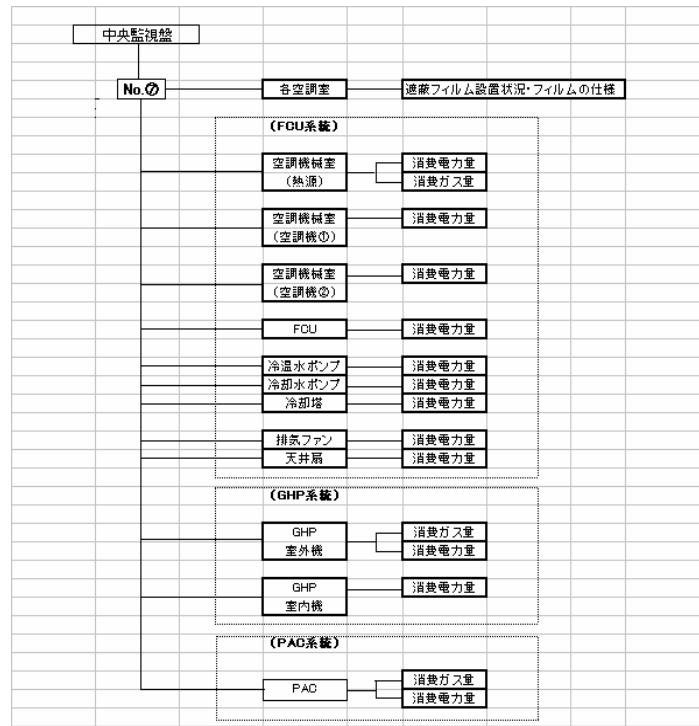


図 5-4 モニタリング系統図

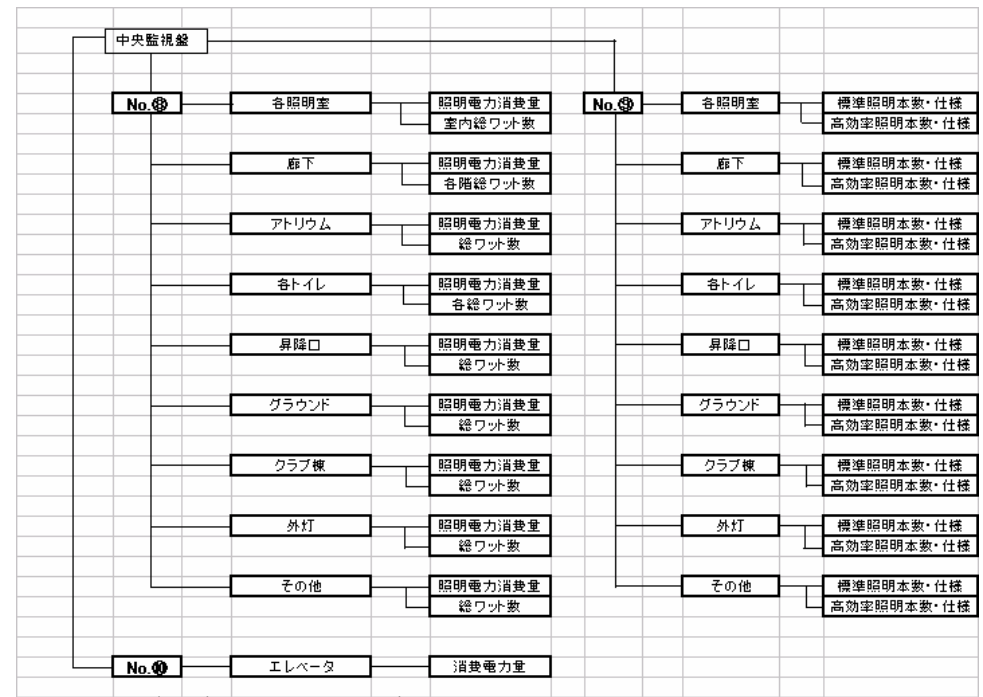


図 5-5 モニタリング系統図 ~

以上を、H 高校を事例としたエネルギー監視部とし、エネルギー管理に必要なデータ収集経路としてこれを示す。

【モニタリング No.1】

- 指針 1 『空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する。』
- 指針 2 『不在教室や未使用室の不要な空調を停止する。』
- 指針 3 『外気温がさほど暑くも寒くもないときは空調を停止する。』

ここでは、単位期間当たりの各空調機器運転時間の長さを評価する。評価は冷房運転・暖房運転に分けて行う。熱源及び空調機については年間・月間・日毎の空調稼働スケジュールを作成し、管理部がこれを厳守するなど、時間短縮には工夫も求められる。空調室内機については、稼働終了時刻が室ごとにまちまちであるので、室ごとの空調稼働時間を把握し、問題があるごとに対策を検討する必要がある。空調熱源・空調機の短縮時間は前期稼働時間より短縮した分を、各室の空調室内機は空調時間 10 時間(8 時～18 時)より短縮した分を評価する。ただし、空調機器は停止時にも待機という形で少量エネルギーを消費している可能性があるため、これも考慮する必要がある。

以下に効果算定方法を記述する。

【運転時間短縮による効果の計算方法】

空調熱源・空調機短縮(延長)時間 = 前期稼働時間 - 運転時間

室内機短縮(延長)時間 = 10 時間 - 運転時間

消費熱量削減量 = (運転時の消費熱量合計 ÷ 運転時間 - 停止時の消費熱量合計 ÷ 停止時間) × 短縮時間

消費熱量増加量 = (運転時の消費熱量合計 ÷ 運転時間 - 停止時の消費熱量合計 ÷ 停止時間) × 延長時間

空調(冷房/暖房)効果率 = 消費熱量削減(増加)量 ÷ (総消費熱量 + 消費熱量削減(増加)量)

【効果算定に必要なデータ】

運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 室温 外気温

注意； と は効果算定には用いないが、指針 3 を考慮してモニタリング監視するものとする

【モニタリング No.2】

- 指針 4 『冷房設定値は 26 以上とする。』
- 指針 5 『暖房設定値は 22 以下とする。』
- 指針 6 『設定温度の変更は一度に 2 までとする。』

ここでは、空調設定温度の適正設定による省エネルギー効果を評価する。評価は冷房設定値・暖房設定値に分けて評価を行う。省エネルギーセンターのデータによると、冷房設定温度を1℃上昇させることで空調負荷率が10%削減、暖房設定温度を1℃下降すると空調負荷率が13%削減するとされている。ただし、設定温度を2℃上げ下げしたからといって、冷房負荷率が20%削減されたり、暖房負荷率が26%削減されるものではないことを注意しておく。省エネルギーセンター調べで冷房設定温度を2℃上昇すると、約17%の削減効果があるとされている。

以下に効果算定方法を記述する。

【空調設定温度の適正化による効果の計算方法】

(冷房)

$$\text{冷房時上昇温度} = \text{冷房時平均設定温度} - 26$$

$$\text{冷房削減量} = \text{冷房用空調消費熱量} \times \text{冷房削減効果率} (0.1) \times \text{冷房時上昇温度} > 0$$

$$\text{冷房増加量} = \text{冷房用空調消費熱量} \times \text{冷房削減効果率} (0.1) \times \text{冷房時上昇温度} < 0$$

$$\text{冷房効果率} = \text{冷房削減(増加)量} \div (\text{冷房用空調消費熱量} + \text{冷房削減(増加)量})$$

(暖房)

$$\text{暖房時下降温度} = 22 - \text{暖房時平均設定温度}$$

$$\text{暖房削減量} = \text{暖房用空調消費熱量} \times \text{暖房削減効果率} (0.13) \times \text{暖房時下降温度} > 0$$

$$\text{暖房増加量} = \text{暖房用空調消費熱量} \times \text{暖房削減効果率} (0.13) \times \text{暖房時下降温度} < 0$$

$$\text{暖房効果率} = \text{暖房削減(増加)量} \div (\text{暖房用空調消費熱量} + \text{暖房削減(増加)量})$$

(冷房設定温度を28℃に固定した時の効果算定例；冷房消費熱量100MJとした場合)

$$\text{冷房時上昇温度} = 28 - 26 = 2$$

$$\text{冷房削減量} = 100 \times 0.1 \times 2 = 20\text{MJ}$$

$$\text{冷房効果率} = 20 \div (100 + 20) = 0.1666 \quad \text{約} 17\%$$

(平均暖房設定温度が24℃であった時の効果算定例；暖房消費熱量500MJとした場合)

$$\text{暖房時下降温度} = 22 - 24 = -2$$

$$\text{暖房増加量} = 500 \times 0.13 \times (-2) = -130\text{MJ}$$

$$\text{暖房効果率} = (-130) \div (500 - 130) = 0.3514 \quad \text{約} 35\%$$

試算結果より、2℃調節した時の効果率は省エネルギーセンターの試算結果とほぼ同じ値を示した。

また、H 高校の 2 年生に対して行ったアンケート調査結果より、女性が思う快適な暖房設定温度値の平均設定温度が 23.8 であったことを考えると（図 3-42 参照）、仮に設定温度値が 24 に設定されたまま暖房を行っていた場合、一般的に奨励されている設定温度値（22）の時と比較して、試算結果から空調負荷 35%分の損失につながっていることになる。これを、学校環境衛生基準によって最も快適な設定温度（18～20）とされている室温 20 まで下げた場合、その効果は実に設定 24 の時と比べて、空調負荷の 41%の軽減につながる可能性があることが分かった。以上のことから、各室の空調設定温度についてモニタリング管理し、省エネルギー行動によって設定を適正化するメリットは非常に大きいと考えられる。

【効果算定に必要なデータ】

運転内容（冷房/暖房） 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 空調設定温度値

【モニタリング No. 3】

指針 7 『屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる。』

指針 8 『冷却塔の設置状況を改善する。』

ここでは、屋上壁面の日照緩和による熱遮蔽効果を評価する。冷却塔は強い夏の陽射しによってその冷房効率が低下することが分かっている。また、H 高校の屋上断面から貫通する熱量の比率はアトリウム空間のガラス天井等を考えると非常に大きく、上層階の室環境に悪影響を及ぼしていることが考えられる。よって、屋上に設置されている H 高校の冷却塔及び屋上壁面の日照緩和を講じることが望ましく、その効果判定を行うため屋上壁面の温度変化をモニタリング管理し、冷却水については定期的な水質検査を行う。

表 5-4 屋上緑化による日照緩和効果⁴⁾

	日中	夜間
	13～15 時平均	23～24 時平均
屋上タイル表面	57.7	31.8
芝生表面	38.6	26.4
植栽基盤下面	28.1	27.5

都市緑化技術開発機構 特殊緑化共同研究会によると、屋上緑化を行った場合、緑化した屋上階下の部屋の室温は 2.0～2.4 程度下降し、夏季の晴天時 1 日のエネルギー遮蔽効果は 0.56kWh/m²程度とされている。また、厚さ 15cmの南向き

鉄筋コンクリート壁面の緑化による、夏季の晴天時 1 日の熱エネルギー遮蔽効果は同協会によると 0.4kWh/m²程度としており、その屋上表面温度に対する効果を表 5-4 に示した。

ここでは日中の屋上壁面の平均表面温度を 40 以下にすることを目標とし、目標を達成

した際の効果算定を行うことにする。40 を下回った時の熱エネルギー遮蔽効果は、H高校が一部ガラス張り天井であることを考慮し、特殊緑化共同研究会の上記データを参考に0.3kWh/m²とした。H高校の屋上面積は約780m²。

以下に効果算定方法を記述する。

【屋上の日照緩和による効果の計算方法】

$$\begin{aligned} \text{熱遮蔽効果} &= 0.3 \text{ kWh/m}^2 \times \text{日照緩和面積} \times 9.83 \text{ MJ/kWh} \times \text{夏季晴天日数} \\ \text{夏季晴天時の最大熱遮蔽効果} &= 0.3 \text{ kWh/m}^2 \times 780 \text{ m}^2 \times 9.83 \text{ MJ/kWh} = \text{約 } 2300.22 \text{ MJ} \end{aligned}$$

(夏季晴天時に屋上面積の30%日照緩和に成功した時の効果算定例;晴天日数40日間とした場合)

$$\text{夏季晴天時の熱遮蔽効果} = 0.3 \times 780 \times 0.3 \times 9.83 \times 40 = 27602.64 \text{ MJ}$$

【効果算定に必要なデータ】

屋上壁面の表面温度 日照緩和面積 天候

【モニタリング No. 4】

指針9 『個別空調機FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う。』

指針10 『全熱交換機のフィルター整備を行う。』

ここでは、空調機器、全熱交換機のフィルター清掃を定期的に行うことで、目詰まりからくる熱交換効率の低下を防止することによる省エネルギー効果を評価する。

ビルエネルギー総合管理技術協会によると、メーカー資料⁴⁾により各種フィルターが目詰まりしていると能力が低下し、電気代が約5~10%の無駄になるとされている。よって、この5%をエネルギー損失率として扱い、各種機器のエネルギー消費量と清掃状況をモニタリング管理することにした。

以下に効果算定方法を記述する。

【フィルター清掃によるエネルギー損失の防止効果算定方法】

$$\begin{aligned} \text{エネルギー損失防止量} &= \text{各機器の年間消費熱量} \div (1 - 0.05) - \text{各機器の年間消費熱量} \\ &= \text{各機器の年間消費熱量} \times 0.0526315 \end{aligned}$$

【効果算定に必要なデータ】

清掃の有無 各機器の電力消費量

【モニタリングNo.5】

指針11 『空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う。』

ここでは、外気取入による空調負荷の大きさを評価する。どの部屋においてもある程度の換気は必ず必要であり、新たに取り込まれた空気は空調負荷となる。冷房時の外気取入による空調負荷は省エネルギーセンター調べで空調負荷の約15~30%、暖房時は空調負荷の約30~50%を占めるとされている。

一人当たりに必要な空気量は約25 m³/hと言われており、H高校における教室の平均人員数は42.5人であるので、約1062.5 m³/hの換気が理論的には必要である。しかし実際に取込む空気量はこれより少なくなる傾向があり、冬場には空気がこもりがちになるのはそのためである。

外気取入量が25m³/h・人を越えた時、窓やドアが開放されていると見なし、浸入した外気負荷を空調エネルギー損失量として計算する。外気取入量と空調負荷の関係は、以下の表5-5、5-6に示す。

表 5-5 外気取入量と冷房負荷⁴⁾

外気取入量 (m ³ /h・人)	外気負荷 (MJ/m ² ・月)	全負荷 (MJ/m ² ・月)	外気取入量 (m ³ /h・人)	外気負荷 (MJ/m ² ・月)	全負荷 (MJ/m ² ・月)
25	25	65	25	26	24
20	20	65	20	21	24
15	15	65	15	16	24
10	10	65	10	10	24

表 5-6 外気取入量と暖房負荷⁴⁾

データ元；省エネルギーセンター 「省エネ手帳」

以下に計算方法を記述する。

【不適切な窓・ドア開放による外気取入が空調負荷に及ぼす効果の計算方法】

$$\text{換気用外気取入量 (m}^3/\text{h} \cdot \text{人)} \quad 25(\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人})$$

(冷房)

$$\text{外気取入量 (m}^3/\text{h} \cdot \text{人)} \quad \text{外気負荷 (MJ/m}^2 \cdot \text{月)}$$

$$X = \text{余剰外気負荷 (MJ/m}^2 \cdot \text{月)} = (\text{外気取入量} - 25)$$

$$\text{エネルギー損失量 (MJ/月)} = X \times \text{室面積}$$

(暖房)

$$\text{外気取入量 (m}^3/\text{h} \cdot \text{人)} + 1 \quad \text{外気負荷 (MJ/m}^2 \cdot \text{月)}$$

$$X' = \text{余剰外気負荷 (MJ/m}^2 \cdot \text{月)} = (\text{外気取入量} - 25) + 1$$

$$\text{エネルギー損失量 (MJ/月)} = X' \times \text{室面積}$$

(2月の教室平均外気取入量が1200m³/hであったときの損失熱量算定例；平均室利用人数42.5人；教室面積73m² 全18室の場合)

$$1200 \div 42.5 = 28.24 (\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{人})$$

$$\text{余剰外気負荷} = (28.24 - 25) + 1 = 4.24 (\text{MJ/m}^2 \cdot \text{月})$$

$$\text{2月のエネルギー損失量} = 4.24 \times 73 \times 18 = 5571.36 \text{ MJ}$$

【効果算定に必要なデータ】

外気取入量 平均使用人数 室面積 運転内容 (冷房/暖房)

【モニタリング No. 6】

指針12 『空調時にカーテン・ブラインドを利用する。』

ここでは、冷暖房時にカーテンやブラインドを有効利用したときの断熱効果を評価する。ブラインドメーカーのタチカワブラインドによると、冷房中に南側窓にブラインドをかけた場合、空調電力で24%程度の削減が期待でき、暖房中に北側窓にブラインドをかけた場合、灯油で22%程度の削減が期待できるとされている⁴⁾。ガス1m³当たりの仕事量は、灯油1リットル当たりの仕事量の約1.2倍であることから、H高校における暖房負荷削減効果は概算で18%程度が期待できると考えられる。しかし、カーテンやブラインド利用の

モニタリング管理は難しいので、数値は目安として考え、カーテン・ブラインドの利用促進に注力することが望ましい。

以下に効果算定方法を記述する。

【カーテン・ブラインドによる断熱効果の計算方法】

(冷房)

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費削減量(MJ)} &= \text{空調用電力消費熱量} \div (1 - 0.24) - \text{空調用電力消費熱量 (MJ)} \\ &= \text{空調用電力消費熱量} \times 0.31579 \end{aligned}$$

(暖房)

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費削減量 (MJ)} &= \text{空調用ガス消費熱量} \div (1 - 0.18) - \text{空調用ガス消費熱量 (MJ)} \\ &= \text{空調用ガス消費熱量} \times 0.21951 \end{aligned}$$

(冬季に北側窓の6割がブラインドを利用した時の効果算定例;空調用ガス消費原単位 48MJ/m²の場合)

$$\text{エネルギー消費削減量} = 48 \times 12643.46 \text{ (H 高校総延床面積)} \times 0.21951 \times 0.6 = 79930.54 \text{ MJ}$$

【効果算定に必要なデータ】

カーテン・ブラインドの空調時利用率

【モニタリング No. 7】

指針 13 『窓の遮蔽フィルムを設置する。』

ここでは、窓に遮蔽フィルムを設置した時の断熱効果を評価する。メーカーである帝人のデータによると、窓用フィルムの省エネ効果は熱遮断タイプで年間 19~25%、断熱タイプで年間 25~35%とされている⁴⁾。H高校の普通教室は南館にあり、夏の陽射しの影響度が非常に大きい様々な空調負荷の要因につながっていることが考えられる。そこで帝人のデータを参考にし、熱遮断タイプの効果率を 19%、断熱タイプの効果率を 25%としたときの、フィルム設置による効果を算定することにした。

表 5-7 窓の遮蔽フィルターの省エネ効果

		熱遮断タイプ	断熱タイプ
効果	省エネルギー効果	約19～25%	約25～35%
	体感温度低減効果	約5～8	約6～9
条件	場所	東京事務所ビルを想定	
	窓面積 m ²	東;50 南;50	西;50 北;50
	空調条件	h/day	期間
	冷房	14	102
	暖房	14	91

以下に効果算定方法を記述する。

【窓の遮蔽フィルム設置による効果の計算方法】

X = 空調用消費熱量 (MJ)

(熱遮断タイプ)

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費削減量 (MJ)} &= X \div (1 - 0.19) \quad X \\ &= X \times 0.23457 \end{aligned}$$

(断熱タイプ)

$$\begin{aligned} \text{エネルギー消費削減量 (MJ)} &= X \div (1 - 0.25) \quad X \\ &= X \times 0.33333 \end{aligned}$$

(普通教室全室に断熱遮蔽フィルムを設置した時の効果算定例;教室の空調消費原単位 80MJ/m² の場合)

$$\text{エネルギー消費削減量} = 80 \times 1314 (\text{教室延床面積}) \times 0.33333 = 35039.649 \text{ MJ}$$

【効果算定に必要なデータ】

遮蔽フィルムの設置状況 遮蔽フィルムの仕様 空調消費電力量 空調消費ガス量

【モニタリング No. 8】

指針 1 4 『不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する。』

ここでは、単位期間当たりの照明点灯時間の長さを評価する。点灯時間は照明によって

消費された電力量から逆算する。昼光利用により室内総ワット数の 50%で 1 時間照明を行った場合、計算上の点灯時間は 30 分として評価されるので、単純に照明の発停状況を確認するよりも各室の照明利用状況が把握しやすく、点灯時間の短縮分も計算しやすい。照明利用時間は季節によっても変動するので、季節毎の評価が望ましい。また、エネルギー消費の多寡も重要であるので、これも合わせて評価する必要がある。

よって、評価には各室の照明電力量と総ワット数を把握する必要があり、これをモニタリング管理する。

以下に計算方法を記述する。

【照明点灯時間短縮による効果の計算方法】

$$\text{照明点灯時間 (h)} = \text{照明電力消費量 (kWh)} \div \text{室内総ワット数 (kWh)}$$

$$\text{点灯短縮時間} = \text{前日平均点灯時間} - \text{今日平均点灯時間}$$

$$\text{照明電力削減熱量 (MJ)} = \text{室内総ワット数} \times \text{点灯短縮時間} \times 9.83 \text{ MJ/kWh}$$

(月間照明消費量 (28 日間) が 1 組 246kWh・2 組 301kWh、教室総ワット数 800W の場合)

$$1 \text{ 組点灯時間} = 246 \div 0.8 = 307.5 \text{ 時間} \quad 10.98 \text{ 時間/日}$$

$$2 \text{ 組点灯時間} = 301 \div 0.8 = 376.25 \text{ 時間} \quad 13.44 \text{ 時間/日}$$

(月間照明消費量 (30 日間) が 1 組 276kWh・2 組 276kWh、教室総ワット数 800W の場合)

$$1 \text{ 組点灯時間} = 276 \div 0.8 = 345 \text{ 時間} \quad 11.5 \text{ 時間/日}$$

$$2 \text{ 組点灯時間} = 276 \div 0.8 = 345 \text{ 時間} \quad 11.5 \text{ 時間/日}$$

(2 ヶ月間の 1 組と 2 組の照明利用によるエネルギー消費行動の比較例)

$$1 \text{ 組照明電力総消費熱量} = (246 + 276) \times 9.83 = 5131.26 \text{ MJ} \quad \text{評価；優}$$

$$2 \text{ 組照明電力総消費熱量} = (301 + 276) \times 9.83 = 5671.91 \text{ MJ} \quad \text{評価；劣}$$

$$1 \text{ 組短縮時間} = 10.98 - 11.5 = -0.52 \text{ 時間/日} < 0 \quad \text{評価；}\times$$

$$2 \text{ 組短縮時間} = 13.44 - 11.5 = 1.94 \text{ 時間/日} > 0 \quad \text{評価；}$$

$$1 \text{ 組照明電力削減熱量 (MJ/月)} = 0.8 \times (307.5 - 345) \times 9.83 = -294.9 \text{ MJ/月} \quad (\text{増加})$$

$$2 \text{ 組照明電力削減熱量 (MJ/月)} = 0.8 \times (376.25 - 345) \times 9.83 = 245.75 \text{ MJ/月} \quad (\text{削減})$$

【効果算定に必要なデータ】

照明電力消費量 室内総ワット数

【モニタリング No. 9】

指針 1 5 『照明器具及び壁面天井の清掃を行う。』

指針 1 6 『高効率ランプへ交換する。』

ここでは、室内照明器具をより高効率なものと交換したときの効果を評価する。照明器具及び壁面天井の清掃に対する具体的な評価はモニタリングシステムからは行わず、定期的に検査を行い、結果を記録する。

よって、評価には交換するランプと交換されるランプの総ワット数を把握する必要があり、これをモニタリング管理する。

以下に効果算定方法を記述する。

【高効率ランプへ交換した時の効果の計算方法】

$X = \text{交換するランプの総ワット数} = \text{高効率照明電力 (kWh)} \times \text{交換本数}$

$Y = \text{交換されるランプの総ワット数} = \text{標準照明電力 (kWh)} \times \text{交換本数}$

$\text{点灯時間} = \text{照明消費電力量 (kWh)} \div X$

$\text{照明電力削減量 (kWh)} = (Y - X) \times \text{点灯時間}$

(標準型 40W 電灯 216 本を Hf 型 32W 電灯と交換し、30 日間経過した時の効果算定例 ; Hf 型照明の消費電力 2500kWh の場合)

$$X = 32 \times 216 \div 1000 = 6.912$$

$$Y = 40 \times 216 \div 1000 = 8.640$$

$$\text{点灯時間} = 2500 \div 6.912 = 361.6898 \text{ 時間}$$

$$\text{照明電力削減量} = (8.640 - 6.912) \times 361.6898 = 625 \text{ kWh}$$

【効果算定に必要なデータ】

標準照明電力 高効率照明電力 交換本数 照明消費電力量

【モニタリング No.10】

指針17 『エレベータ利用を見直し、階段を利用する。』

ここでは、単位期間当たりのエレベータにかかるエネルギー消費量の多寡を評価する。エネルギー消費の増減とエネルギー消費行動との因果関係については、学校のエレベータ利用時間を休み時間・講義時間・放課後などに分けて考え、カテゴリー別にエネルギーの消費傾向を管理することによって把握することができる。

よって、評価にはエレベータ電力消費量を把握する必要があり、これをモニタリング管理する。

以下に効果算定方法を記述する。

【階段利用促進によるエレベータ消費エネルギーの効果算定方法】

エネルギー消費削減（増加）量（MJ/m²）＝前期エレベータ消費原単位－今期エレベータ消費原単位

【効果算定に必要なデータ】

EV 消費電力量

5.2 省エネルギー効果の評価方法

H 高校の運用方法について新たに改善策を立案し、モニタリングデータから各種省エネルギー行動へフィードバックを行うためには、実際に使用したエネルギー量と省エネルギー行動による効果量を把握し、的確に評価を行う必要がある。表 5-9 に H 高校におけるエネルギー使用の評価方法を示し、エネルギー評価を行う際にはエネルギー相互の比較がしやすいように単位を熱量 (MJ) に変換して行う。変換係数は表 5-8 の通りである。

表 5-8 熱量変換係数⁷⁾

種類	係数	データ元
電気	9.83MJ/kwh	受電端投入熱量(省エネ法施行規則)
ガス	46.0MJ/m3	ガス事業便覧 東京ガス等の13Aガス発熱量
水道	31.2MJ/m3	省エネルギーセンターパンフレット「地球環境のためにわたしたちができること」

表 5-9 H 高校のエネルギー評価方法

No.	評価項目	評価判定方法																									
	<p>生徒100人当たりのエネルギー使用量</p> <p>総消費熱量 (GJ) = A MJ ÷ 1000 = 総消費熱量 ÷ 生徒総数 × 100人</p>	<p>他校比較・経年変化を見る指標</p>																									
	<p>省エネルギー率 (%)</p> <p>= エネルギー削減量 ÷ 総消費量</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>評価</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>×</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>消費量の増減率</td> <td>減</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>増</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー率</td> <td>増</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>減</td> </tr> <tr> <td>エネルギー消費について</td> <td>見直し</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>要対策</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー活動について</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> </tr> </tbody> </table> <p>増減は前年度との差から求める</p>	評価				×	消費量の増減率	減	減	増	増	省エネルギー率	増	減	増	減	エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策	省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策
評価				×																							
消費量の増減率	減	減	増	増																							
省エネルギー率	増	減	増	減																							
エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策																							
省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策																							
	<p>省エネルギー目標達成率 (%)</p> <p>目標消費量 (MJ/m2) = 本年度消費原単位 × (1 - 目標削減率) 目標達成率 (%) = 目標消費量 ÷ 次年度消費原単位 目標達成度 = 目標達成率 (%) - 100</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>評価</th> <th></th> <th>×</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>目標達成率</td> <td>100%以上</td> <td>100%未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成度</td> <td>0以上</td> <td>0未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成状況</td> <td>達成</td> <td>未達成</td> </tr> </tbody> </table>	評価		×	目標達成率	100%以上	100%未満	目標達成度	0以上	0未満	目標達成状況	達成	未達成													
評価		×																									
目標達成率	100%以上	100%未満																									
目標達成度	0以上	0未満																									
目標達成状況	達成	未達成																									
	<p>二酸化炭素の排出量 (kg・CO2)</p> <p>= 各消費量 (削減量) × 二酸化炭素排出係数</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電気</td> <td>0.356 kg・CO2/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>2.36 kg・CO2/m3</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>0.58 kg・CO2/m3</td> </tr> </tbody> </table>	種類	係数	電気	0.356 kg・CO2/kwh	ガス	2.36 kg・CO2/m3	水道	0.58 kg・CO2/m3																	
種類	係数																										
電気	0.356 kg・CO2/kwh																										
ガス	2.36 kg・CO2/m3																										
水道	0.58 kg・CO2/m3																										
	<p>金額換算 (円)</p> <p>= 各削減量 (消費量) × エネルギー単価</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>エネルギー単価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電気</td> <td>22 円/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>149 円/m3</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>228 円/m3</td> </tr> </tbody> </table>	種類	エネルギー単価	電気	22 円/kwh	ガス	149 円/m3	水道	228 円/m3																	
種類	エネルギー単価																										
電気	22 円/kwh																										
ガス	149 円/m3																										
水道	228 円/m3																										

【評価方法 ；エネルギー消費原単位（生徒数）】
（ GJ / 生徒数×100人 ）

計算が容易であり、他の建築物とのエネルギー消費の実績値比較がしやすいという理由から、建物固体のエネルギー量はよく消費エネルギーを延床面積で除した値（MJ/m²）が用いられており、これをエネルギー消費原単位としている。よって、H高校におけるエネルギー量の表示は、このエネルギー消費原単位（MJ/m²）を用いることで他建築物のエネルギーデータから単純に比較を行うことができる。

しかし、本研究において今回収集するデータは、他建築物のエネルギー量との比較を行うためのものではなく、あくまでH高校におけるエネルギー使用実態を明らかにし、そこから得られる反省を省エネルギー行動に還元することで本校のエネルギー使用の最適化を行うことが目的のものである。他業種の建物（病院・デパート・事務所ビルなど）との消費エネルギー量を比較する際には確かにこのエネルギー消費原単位は便利であるが、学校単体、及び学校どおしのエネルギー消費量の比較を行う際に、このエネルギー消費原単位が最も適しているかについては疑問が残った。

日本ビルエネルギー総合管理技術協会が平成16年度に行った学校におけるエネルギー消費状況の調査⁴⁾によって求められている高校のエネルギー消費原単位と、同調査の各調査項目との相関係数を公立高校と私立高校に分けて表5-10に整理したところ、学校のエネルギー消費原単位と延床面積との相関は非常に弱く、公立高校に関しては冷暖房度合いや食堂の有無など、エネルギーを多く消費する設備、特に空調設備との相関が最も強いことが分かった。また、空調設備が公立高校と比べて比較的充実している私立高校に関しては、延床面積や設備面ではなく、施設を利用する総人員数とエネルギー消費原単位との相関が最も強かった。各60項目のデータに関する説明は、表3-11、3-12を参照。

以上のことから、学校のエネルギー使用を考える際にはまず、設備面、特に空調設備が充実しているかどうか注目し、H高校のようにその設置状況が充分であるとき、学校エネルギー使用を測る要素として延床面積より人員数との関係を調べた方がより学校のエネルギー使用の状況を把握することができるのではないかと考えた。

表 5-10 高校エネルギー消費原単位との各種相関関係

No.		私立	公立	No.		私立	公立
1	総延床面積	0.1	0.14	31	冬季休日	-0.05	-0.14
2	校舎延床面積	0.16	0.17	32	全期休日	0.14	0.06
3	体育館延床面積	-0.14	-0.09	33	教室日稼働時間	-0.21	0.3
4	講堂延床面積	0.15	0.13	34	教室週稼働時間	-0.01	0.3
5	格技場延床面積	-0.06	0.15	35	職員室週稼働時間	0.02	0.09
6	その他延床面積	-0.02	0.02	36	課外週稼働時間	0.21	-0.23
7	校舎延床面積割合	0.34	0.12	37	教室年稼働時間	-0.04	0.3
8	体育館延床面積割合	-0.39	-0.18	38	プール年間使用日数	0.23	0.36
9	講堂延床面積割合	0.14	0.13	39	冷房面積割合	0.27	0.8
10	格技場延床面積割合	-0.09	0.15	40	1日冷房時間	0.29	0.5
11	その他延床面積割合	-0.11	0.02	41	暖房面積割合	-0.05	0.29
12	経過年数	0.26	-0.16	42	1日の暖房時間	0.21	0.51
13	地上階数	0.37	0.3	43	年間冷房日数	0.33	0.29
14	地下階数	0.37	0.36	44	年間暖房日数	0.19	0.2
15	階数	0.45	0.36	45	冷房度合い	0.45	0.73
16	プール施設	0.14	0.36	46	暖房度合い	0.07	0.55
17	生徒総数	0.46	0.23	47	年間冷暖房日数	0.39	0.29
18	教職員総数	0.32	0.3	48	屋外照明施設	0.03	0.45
19	その他職員	0.31	-0.02	49	給食用厨房	-0.01	0.5
20	人員数	0.46	0.24	50	料理実習用厨房	-0.26	0.07
21	人員密度(総床)	0.54	0.2	51	食堂	0.14	0.57
22	生徒密度(校舎)	0.39	0.17	52	EV台数	0.44	0.49
23	教室総数	0.17	-0.1	53	教育用PC台数	0.02	0.14
24	学級総数	0.39	0.35	54	事務処理用PC台数	0.2	0.42
25	生徒密度(教室)	0.36	0.31	55	その他PC台数	0.01	0.04
26	生徒密度(学級)	0.35	-0.24	56	PC台数	0.15	0.31
27	週授業日数	0.36	0.04	57	PC密度(総延)	0.05	0.31
28	春期休日	-0.13	0.11	58	PC密度(生徒教育)	-0.28	0.08
29	夏季休日	0.26	0.02	59	PC密度(人員)	-0.22	0.17
30	秋期休日	0.25	0.17	60	エネルギー消費原単位	1	1

* データ No.60 エネルギー消費原単位と、その他のデータとの相関関係をまとめた表

表 5-11 新しいエネルギー消費原単位

	H高校	私立学校	公立学校	単位
エネルギー消費原単位(延面積)	537.4	435.6	308.3	MJ/m ²
エネルギー消費原単位(生徒数)	909.6	623.6	573.5	GJ/生徒数×100人
エネルギー消費原単位(人員数)	793.8	488.3	447.1	GJ/人員数×100人

そこで、私立高校と公立高校の平均年間消費熱量を、平均延床面積、平均生徒数、平均総人員数でそれぞれ除し、同様に求めた H 高校のエネルギー量の値を表 5-11 で比較したところ、生徒数百人当たりの消費エネルギー量が最も顕著にデータの差が現れた（使用した数量データについては表 3-13 を参照）。これより、H 高校が少ない人員数で多くのエネルギー量を消費していることが分かるので、H 高校は単位人数当たりの使用量の増減を評価することにした。この方法により、他校と比較した際の消費量の多寡を既存の消費原単位の比較より詳しく把握することができる。

【評価方法 ；省エネルギー率】

(削減量 MJ / 消費量 MJ)

よく建物のエネルギー量の変化は百分率で表され、その値は年間消費原単位 (MJ/m²・年) を、年度の違う年間消費原単位で除した値がよく用いられている。これによって年度ごとの消費エネルギー量の経年変化を百分率で表すことができ、その年度ごとの増減がよく省エネルギー率として扱われている。しかし、消費量は常に一定のものではなく、変化するものであるため、この値からは一体何がどの程度省エネルギーに寄与したのか把握することができない。よって、この省エネルギー率は全体消費量の変化を評価するものであり、図 5-6 に示したように省エネルギー率の評価は全体消費量に対する削減量の占める割合から別に求める必要がある。

図 5-6 経年変化と省エネルギー率

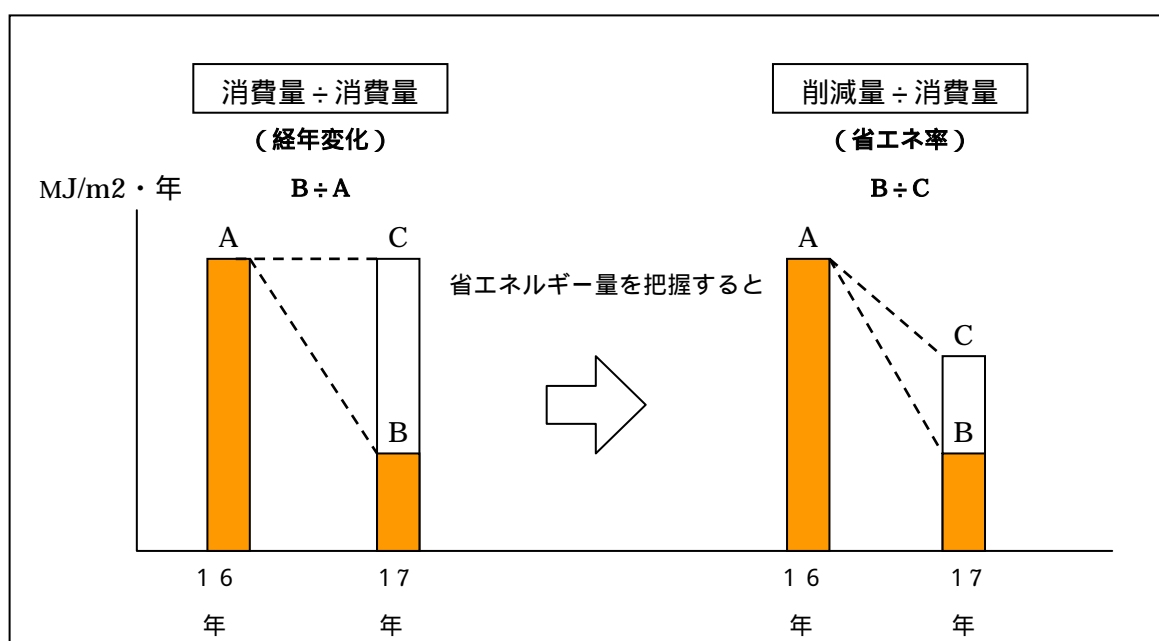


表 5-3 (p56) より H 高校の省エネルギー量を求め、これを全体消費量で除した値を H 高校の省エネルギー率とし、表 5-12 にその評価方法を示す。これは省エネルギー率の良し悪しの判断については具体的なものが見当たらなかったため、今回新たに作成したものを示した。各種増減は前年度との差から求めるものとし、以下に評価例を示す。評価例は表 5-13 の評価を行い、図 5-7 は表 5-13 の省エネルギー率と年間消費原単位の経年変化を示したものである。以下表 5-14 に評価結果を示す。

表 5-12 省エネルギー率の評価方法

評価				×
消費量の増減率	減	減	増	増
省エネルギー率	増	減	増	減
エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策
省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策

表 5-13 評価方法 のシミュレーション

年度(平成)	15年	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	23年	24年
年間消費原単位(MJ/m ²)	537	561	583	600	600	600	600	583	561	537
消費量前年度比(%)		4.5	3.9	2.9	±0	±0	±0	-2.8	-3.8	-4.3
削減量(モニタリング)	100	90	110	110	10	110	110	-10	120	120
削減量前年度比(%)		-10	22	±0	-91	110	±0	-109	20	±0
省エネルギー率(%)	18.6	16.0	18.9	18.3	1.7	18.3	18.3	-1.7	21.4	22.3

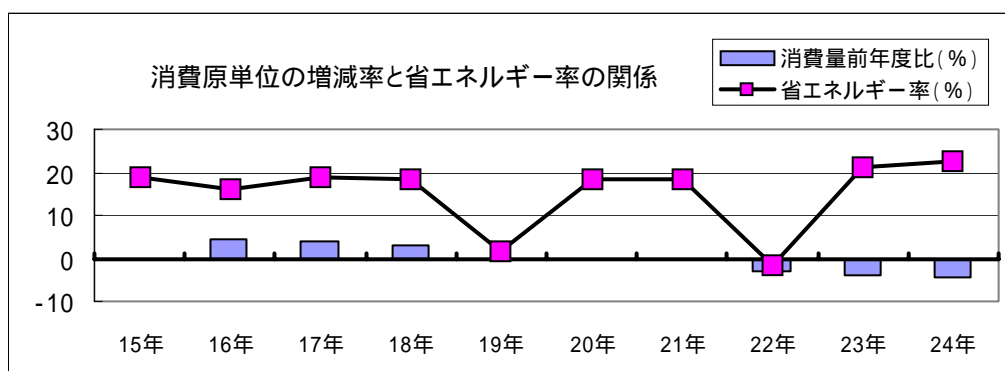


図 5-7 消費量と省エネ率の関係

表 5-14 評価方法 の評価例

年度(平成)	15年	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	23年	24年
消費量前年度比(%)		4.5	3.9	2.9	±0	±0	±0	-2.8	-3.8	-4.3
省エネルギー率(%)	18.6	16.0	18.9	18.3	1.7	18.3	18.3	-1.7	21.4	22.3
評価		×		×	×					

表 5-14 から、平成 23・24 年度のように省エネルギー率が上昇し、消費原単位が減少するパターンが最も評価が高いことが分かる。次に評価が高いパターンは、消費原単位は減少したが、省エネルギー率も減少した平成 22 年度である。省エネルギーを高水準で達成しても、エネルギーを消費していることには変わらないので、消費原単位が上向いた平成 16～17 年度よりも、省エネルギー率が下降しても消費原単位が減少した平成 22 年度の方が評価は高い。つまり省エネルギーに対するアプローチの仕方は 2 種類あり、1 つは省エネルギー活動によるエネルギー使用の最適化である。これはエネルギーを消費することを前提とした方法であるが、もう 1 つは、エネルギーをそもそも使用しないという方法があり、そのため省エネルギー活動による削減量も減るが、こちらの方がエネルギー使用に対する評価は当然高い。

よって、省エネルギー活動に対する評価(省エネルギー率)が高くても H 高校のエネルギー使用に対する評価が一概に高いとは言えないので、全体の消費量が上昇した時には省エネルギー活動の内容を問わず、その原因までモニタリングデータから把握し、対策を打つ必要がある。よって、省エネルギー率の評価は表 5-12 のように行うものとする。

【評価方法 ; 省エネルギー目標達成率】

(目標消費量 / 実消費量)

省エネルギー目標を全体の消費量に対して設け、その達成度の評価を行う。表 5-15 にその評価方法を示し、以下に目標達成率と目標達成度の算出方法を説明する。

また、省エネルギー目標達成率に関する以下の一連の評価方法は全て本研究によって新たに作成したものである。

表 5-15 目標達成度の評価方法

評価		×
目標達成率	100%以上	100%未満
目標達成度	0 以上	0 未満
目標達成状況	達成	未達成

(算出方法)

$$\text{目標消費量 (MJ/m}^2\text{)} = \text{消費原単位} \times (1 - \text{目標削減率})$$

$$\text{目標達成率 (\%)} = \text{目標消費量} \div \text{次年度消費原単位}$$

$$\text{目標達成度} = \text{目標達成率 (\%)} - 100$$

まず H 高校のエネルギー消費原単位に対し、目標削減率を決定することでここから何%の削減を目指すか決める。この目標削減率を 1 から引いた値とエネルギー消費原単位を掛けた値が次年度の目標消費原単位となり、実際に消費した値と除すことでその達成率を評価することができる。

目標を達成したか否かについては、算出された結果が 100%以上であれば達成、100%未満であれば未達成である。達成度合いは 100%との差が大きい程大きいので、達成率から 100 を引いた値の大きさを目標達成度とする。未達成の度合いも同様に評価を行うものとし、表 5-16 に評価例を示す。

表 5-16 評価方法 の評価例

年度 (平成)	15 年		16 年		17 年		18 年
消費原単位 (MJ/m ²)	478		500		423		510
目標削減率 (%)		5%		5%		5%	
目標消費量 (MJ/m ²)		454.1		475		401.9	
目標達成度			-10.1		+10.9		-26.9
消費原単位前年度比 (%)			+4.6		-15.4		+20.6
評価			×				×

5.3 評価方法の考察

これらエネルギー使用に対する評価結果を、省エネ行動を通して実際に貢献した利用者へ伝えることは大事な作業であり、利用者の省エネルギー行動に対する目標や意義、達成感を与える意味で、これが省エネルギー行動推進の原動力に成り得るものである。しかし、実際に消費したエネルギー量の単位を消費原単位 (MJ/m²) のまま用いると、多くの人にとってその大きさをイメージすることができないことが予想される。そうすると、エネルギー評価の結果をいくら度合いやパーセンテージで伝えても、上手く学校利用者に伝わらない可能性がある。

よって、省エネルギーの達成状況を学校利用者に伝えるには、その数字が分かりやすく、すぐに省エネ効果や消費量の大きさをイメージできる単位に各種エネルギー量を変換する必要がある。この手法はよく TV のニュース等が視聴者に向けてエネルギーの使用量を説明する際に、実際の消費量を二酸化炭素の排出量や金額など他のモノに置き換えて説明を行っている手法と同じである。

近年、地球温暖化や京都議定書の発行にともなって、二酸化炭素の排出量に対する関心が高まっている。これより、普段のエネルギー使用によってどの程度自分たちが二酸化炭素の排出に寄与しているかを認識し、省エネルギーによってそれがどの程度削減されたのかを知ることは、省エネルギーを実践する利用者にとっても興味関心の強いところであると考えられるので、エネルギー量を二酸化炭素の排出量に換算する方法を H 高校のエネルギー評価に取り入れることにする。

また、エネルギー量を金額に換算することも、利用者がエネルギー使用量の多寡をリアルにイメージすることができる表現手法であると判断し、二酸化炭素排出量の換算方法を示した後にその方法についても以下に示す。

【評価方法 ; 二酸化炭素の排出量】

(kg・CO₂ / 年)

二酸化炭素の排出量の単位にはkg・CO₂が一般的で、電気やガスなど各種エネルギー要素からの変換がしやすいように変換係数が求められている。これを二酸化炭素排出係数といい、これを表 5-17 に示す。

表 5-17 二酸化炭素排出係数⁷⁾

種類	係数	データ元
電気	0.356 kg・CO ₂ /kwh	関西電力
ガス	2.36 kg・CO ₂ /m ³	環境省『温室効果ガス排出量算定方法ガイドライン』
水道	0.58 kg・CO ₂ /m ³	省エネルギーセンター『地球環境のためにわたしたちができること』

*電気；表 5-18 参照 *ガス・水道；<http://www.eccj.or.jp/dict/26.html>参照

二酸化炭素排出係数は年々変化しており、扱いが難しい。特に電気に関しては発電方法によって大きくその係数が異なるため、地域によって係数の差が異なる。よって、この係数から算出される換算値は目安として考え、評価として重要視し過ぎないようにすることが望ましい。参考に日経エコロジー（2006年6月号p58）に掲載された電力会社ごとの二酸化炭素排出係数を表 5-18 に示す。

表 5-18 電力会社ごとの二酸化炭素排出係数⁸⁾

二酸化炭素排出係数		kg・co ² /kWh	
九州電力	0.331	中部電力	0.45
関西電力	0.356	新日本石油	0.476
四国電力	0.36	イーレックス	0.48
東京電力	0.381	丸紅	0.485
旧環境省案	0.391	途中省略	
エネット	0.394	北海道電力	0.53
新日本製鉄	0.427	環境省案	0.555
北陸電力	0.436	中国電力	0.64
東北電力	0.438	沖縄電力	0.94

【評価方法 ; エネルギー単価】

(円)

各種エネルギー単価を以下の表 5-19 に示す。

表 5-19 各種エネルギー単価⁷⁾

種類	エネルギー単価	データ元
電気	22 円/kWh	(社)全国家庭電気製品公正取引協議会新電力目安単価
ガス	149 円/m ³	ガス事業便覧 13A ガス料金平均単価
水道	228 円/m ³	(社)日本電機工業会新水道料金・下水道使用料

H 高校に関する各種エネルギーデータを各々のエネルギー単価で掛け算することで、エネルギー量を金額に置き換えることができる。

以上、5 つを H 高校のエネルギー使用に対する評価方法とする。

第6章 結論

6.1 簡易 BEMS について

本研究は、小中高等学校のような比較的エネルギー規模の小さい学校の省エネルギー施策として、啓発活動による省エネルギー行動を推進することが最も効果的であるとし、BEMS のモニタリング管理による自動制御部分を手動に直したエネルギー環境管理システムについて、京都市立 H 高校を事例に概念設計を行ったものである。

BEMSとは、建物の諸設備に関する情報や運転データをリアルタイムに収集・蓄積・加工することによって、建物管理者のエネルギー管理を支援し、同時に収集された情報を基に空調・熱源・衛生等の諸設備に対して自動制御を行うものである。データに基づいた制御を行うことによって、建物内環境を最適に保ちながら無駄な資源やエネルギーの使用を抑えることができる。図 6-1 に室温の自動制御例¹⁰⁾を参考に示す。

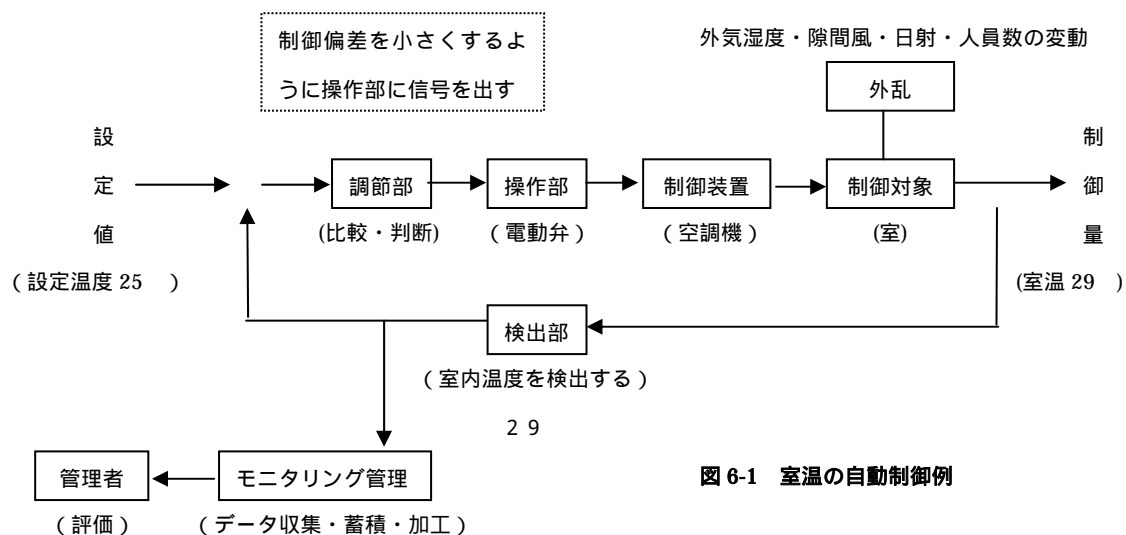


図 6-1 室温の自動制御例

しかし、BEMS は機器の自動制御部分をモニタリングデータとリンクして行うため、どうしても大規模なシステムとなってしまふ。そのため中小建物のエネルギー制御方法としてはあまり受け入れられていないのが現状である。最近ではビルエネルギーの簡易管理ソフトが多数開発されてきているが、エネルギーの使用実態をリアルタイムに評価し、適正化を行ってゆく BEMS のプロセスは非常に省エネルギーに対して有効的な手段である。

この自動制御部分を手動制御に置き換えるということは、建物の諸設備に対する調節を手動で行うということであり、機器の操作まで含めた範囲が手動制御となる。そのため手動制御を適正に行うためには、比較・判断を行うための基準が必要であり、本研究ではこれを省エネルギー行動指針として定めている。これより、施設利用者が正しく機器の運用を行うことによってエネルギー使用の適正化を行い、実際値をモニタリング管理すること

によってその効果判定を行うことができる。また、外乱に対しては緩和措置に対する指針を行動指針の中に定めている。この効果判定についてもモニタリング管理によって行うことが可能である。図 6-2 に簡易 BEMS における室温の手動制御例を示す。

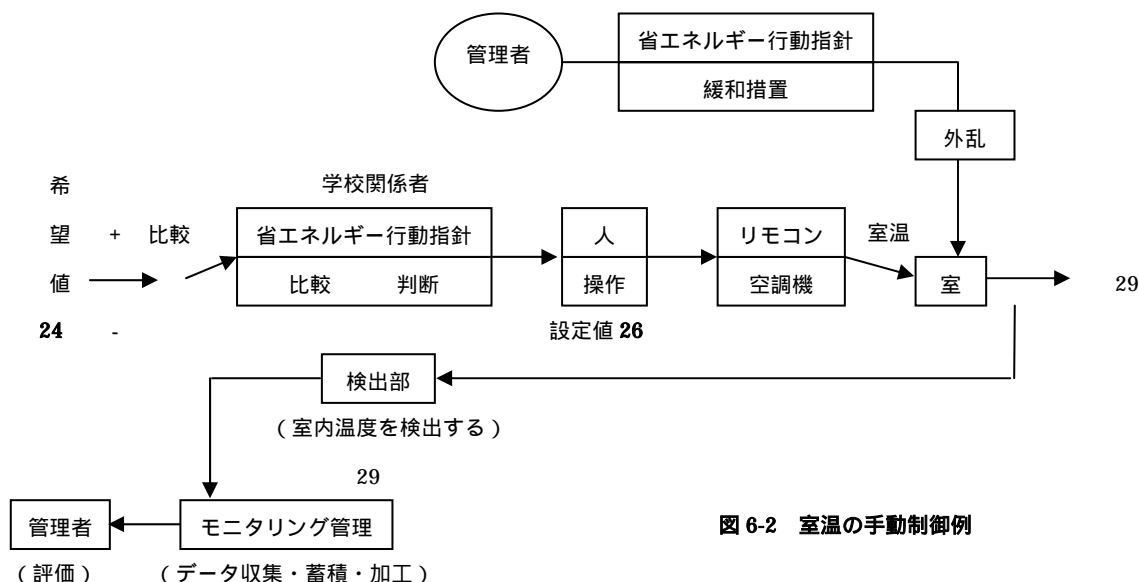


図 6-2 室温の手動制御例

現行の BEMS と今回提案する簡易 BEMS の違いは、現行の BEMS が快適な室内環境を保ちながら省エネルギーを実現し、全自動化することによって省力化することができるのに対し、簡易 BEMS は運用方法を改善することによってエネルギー負荷を低減し、省エネルギーの実現を目指すものであるということである。そのため、施設利用者のエネルギー利用にかかる手間は増えるが、決して室内環境を犠牲にしてまで省エネルギーを行うものではなく、無駄を省いていく点では現行の BEMS とは違う。ただし、無駄を省いていく対象が、現行の BEMS が主に建物のハードな部分であるのに対し、簡易 BEMS がソフトな部分から無駄を省いていくことを目的としている点が大きく違うところである。

そのため、この簡易 BEMS によって省エネルギー管理を行うときに最も重要なことは、施設利用者のエネルギー消費行動と実際のエネルギー消費量との関係をよく理解する必要があるということである。この点についてよく調査を行った上で、手動制御すべき対象を抽出し、モニタリング管理によってその効果判定が行える評価（管理）方法と評価に用いるデータ収集（監視）方法を定める必要がある。

6.2 簡易 BEMS の手動制御部について

工場など、エネルギー消費の面で特殊な建物を除けば、建物個体にかかるエネルギー量

は空調の割合が実に高いことが分かっている。(社)日本ビルエネルギー総合管理技術協会が行っているビルの省エネルギー診断では、診断結果から主に空調設備・照明設備・電気設備・給湯衛生設備などに対してそれぞれ改善提案がなされており、そのうち空調設備に対する提案内容の項目数は図 6-3 に示したように全体の 53%を占めている⁹⁾。

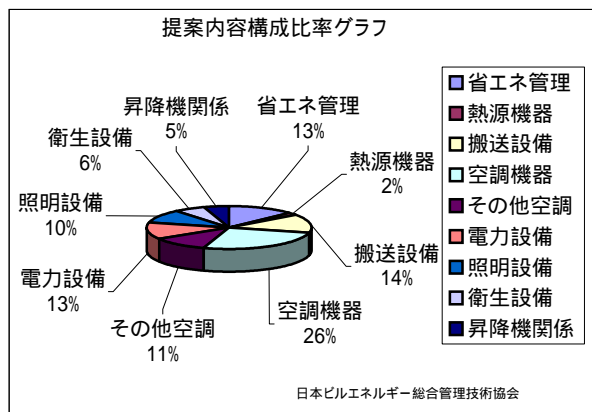


図 6-3 省エネ提案内容の構成比

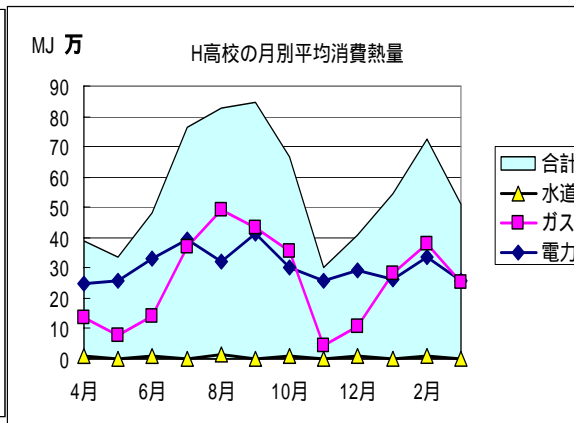


図 6-4 H 高校の月別平均使用熱量

* 空調設備 = 熱源機器・搬送設備・空調機器・その他空調

表 3-2 H 高校過去 3 年間の期間別平均消費エネルギー量 (推定)

		単位MJ/m ²	消費熱量		空調消費熱量		EV消費熱量		その他	
			消費熱量	割合 (%)	消費熱量	割合 (%)	消費熱量	割合 (%)	消費熱量	割合 (%)
夏季	7月～10月	冷房可	245.5	45.7%	126.1	23.4%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
冬季	12月～3月	暖房可	172.8	32.1%	53.4	9.9%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
中間期	4～6・11月	調整期間	119.4	22.2%	0.0	0.0%	20.23	3.8%	99.2	18.4%
年間	1月～12月		537.6	100.0%	179.4	33.4%	60.68	11.3%	297.5	55.3%

* 空調消費熱量 = (夏・冬) 期消費熱量 中間期消費熱量

* 割合 (%) は年間消費熱量 537.6MJ/m²に対する割合

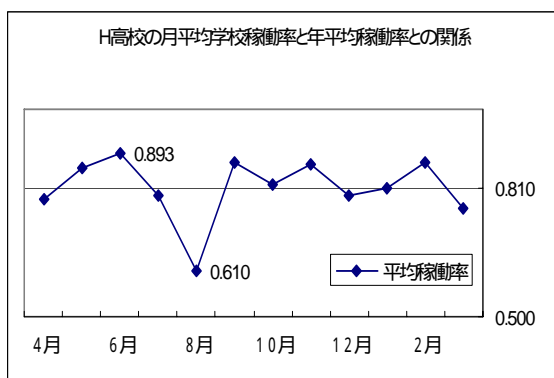


図 3-19 H 高校の月平均学校稼働率

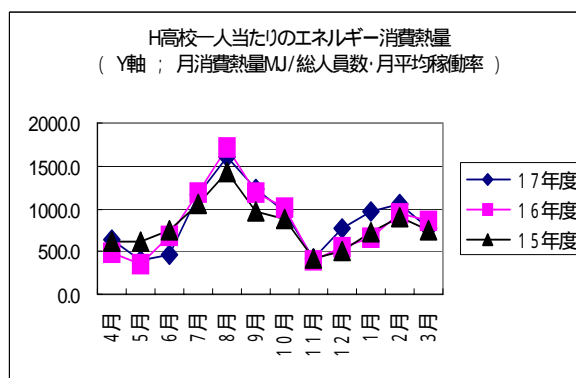


図 3-20 H 高校の一人当たりの月別エネルギー消費量

H 高校でも空調エネルギーの占める割合が大きく（表 3-2 参照）、夏季は学校の稼働状況が低くなっているにも関わらず、冷房にかかるエネルギー消費量の割合が特に大きいことが分かっている（図 6-4、3-19、3-20 参照）。そこで、主に H 高校の空調設備に対して 17 つの管理指針を定め（表 4-1 参照）、これに基づいて各室の室利用を適性に行うための省エネルギー行動指針を作成した。省エネルギー行動指針を定めるに当たって、まず室を利用形態ごとに 4 つに分類し、利用形態が似ているものについては同じ行動指針を定めた。表 4-2 に室の分類表を、表 4-3～4-10 に各省エネルギー行動指針を示す。

表 4-1 省エネルギー管理指針

管理部	指針	省エネルギー管理指針	モニタリング
空調	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	No.1
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する	No.1
	3	暑くも寒くもないときは空調を停止する	No.1
	4	冷房設定値は 26 以上とし、28 を基準値とする	No.2
	5	暖房設定値は 22 以下とし、20 を基準値とする	No.2
	6	設定温度の変更は一度に 2 までとする	No.2
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	No.3
	8	冷却塔の設置状況を改善する	No.3
	9	空調機・FCU・GHP・PAC のフィルター清掃を行う	No.4
	10	全熱交換機のフィルター整備を行う	No.4
	11	空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う	No.5
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する	No.6
	13	窓の遮蔽フィルムを設置する	No.7
照明	14	不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	No.8
	15	照明器具及び壁面天井の清掃を行う	
	16	高効率ランプへ交換する	No.9
EV	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	No.10
総括		運用状況の改善に努め、定めた指針を遵守する	

表 4-2 H 高校の室分類表

		教室部	非教室部	アメニティ部	管理部
階	室名				
1階	購買				
	放送室(スタジオ)				
	事務室倉庫				
	進路指導資料室				
	保健室				
	図書館				
	食堂				
	印刷室2				
	印刷室1				
	生徒会(資料)室				
	職員室・企画コーナー				
	生徒指導室				
	管理用務員室				
	事務室				
	進路指導室				
	校長室				
	会議室				
	厨房				
	休養室(女子更衣室)				
	アトリウム				
昇降口(ホール)					
2階	マルチメディアコーナー				
	同窓会室				
	資料室				
	演習室9				
	自習室				
	普通教室6室				
	演習室1~8				
	授業研究室				
	和室(畳の間)				
	和室(板の間)				
3階	化学準備室				
	家庭科準備室				
階	室名				
4階	物理地学準備室				
	生物準備室				
	CALL教室準備室				
	CAI準備室				
	倉庫(暗室)				
	CALL教室				
	CAI教室				
	被服室				
	普通教室6室				
	調理実習室				
	化学教室				
	物理地学教室				
	生物室				
自然科学教室					
5階	トレーニング室				
	男女更衣室				
	管理室				
	放送室				
	器具庫				
	体育館(アリーナ)				
	普通教室6室				
6階	空調機械室(熱源)				
	調整室				
	講師控え室				
	空調機械室(1)				
	湯沸室				
	倉庫				
	講堂				
7階	小ホール				
	アトリエ				
8階	空調機械室(2)				
	その他				
屋上					
追記	エレベーター				

表 4-3 省エネルギー行動指針(教室・非教室部)

教室・非教室	省エネルギー行動指針	補足
夏	冷房設定温度は26 以上にしましょう	基準値は28
	設定温度の変更は一度に2 までにしましょう	
	暑くない穏やかな朝・夕は冷房をやめましょう	
	誰もいない部屋の冷房はやめましょう	
	冷房中は、窓やドアを必ず閉めましょう	
	南側の窓にはブラインドをかけましょう	
	換気は全熱交換機を利用しましょう	
冬	暖房設定温度は22 以下にしましょう	基準値は20
	設定温度の変更は一度に2 までにしましょう	
	寒くない穏やかな日中は暖房をやめましょう	
	誰もいない部屋の暖房はやめましょう	
	暖房中は、窓やドアを必ず閉めましょう	
	北側の窓にはブラインドをかけましょう	
	換気は全熱交換機を利用しましょう	
通年	誰もいない部屋の照明は消しましょう	

表 4-4 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

図書館・マルチメディア	省エネルギー行動指針
夏	アトリウムの空気を利用した内気冷房を心懸けましょう 冷房設定温度は28 にしましょう 冷房中は内気冷房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウムの空気を利用した内気暖房を心懸けましょう 暖房設定温度は20 にしましょう 暖房中は内気暖房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調の電源は切りましょう

表 4-5 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

食堂カフェテリア	省エネルギー行動指針
夏	アトリウムの空気を利用した内気冷房を心懸けましょう 冷房は昼食時間中に使用し、内気冷房を心懸けましょう 冷房設定温度は28 にしましょう 冷房中は内気冷房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 南側の窓にはブラインドをかけましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウムの空気を利用した内気暖房を心懸けましょう 暖房は昼食時間中に使用し、内気暖房を心懸けましょう 暖房設定温度は20 にしましょう 暖房中は内気暖房をやめ、窓やドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調の電源は切りましょう

表 4-6 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

更衣室	省エネルギー行動指針
夏	冷房設定温度は28 にしましょう 体育・部活動のあとは必ず冷房をやめましょう 冷房中はドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	暖房設定温度は20 にしましょう 体育・部活動のあとは必ず暖房をやめましょう 冷房中はドアを必ず閉めましょう 換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	使用後は照明を消しましょう

表 4-7 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

EV	省エネルギー行動指針
通年	階段の利用を心懸けましょう

表 4-8 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

進路指導資料室	省エネルギー行動指針
夏	アトリウム空気を利用した内気冷房を心懸けましょう
	冷房設定温度は28 にしましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	アトリウム空気を利用した内気暖房を心懸けましょう
	暖房設定温度は20 にしましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	未使用時の照明・空調・換気の電源は切りましょう

表 4-9 省エネルギー行動指針（アメニティー部）

その他の室	省エネルギー行動指針
夏	冷房設定温度は28 にしましょう
	冷房中は、窓やドアを必ず閉めましょう
	南側の窓にはブラインドをかけましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
冬	暖房設定温度は20 にしましょう
	暖房中は、窓やドアを必ず閉めましょう
	北側の窓にはブラインドをかけましょう
	換気は全熱交換機を利用しましょう
通年	使用後は必ず空調・照明・換気の電源を切りましょう

表 4-10 省エネルギー行動指針（管理部）

管理部	省エネルギー行動指針
通年	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する
	暑くも寒くもないときは空調を停止する
	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる
	冷却塔の設置状況を改善する
	空調機・FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う
	全熱交換機のフィルター整備を行う
	窓の遮蔽フィルムを設置する
	照明器具及び壁面天井の清掃を行う
	高効率ランプへ交換する
運用状況の改善に努め、定めた指針を遵守する	

以上の省エネルギー管理指針及び行動指針を、本研究の簡易 BEMS の手動制御部とし、設備の適正運用を行う際の判断の基準として用いる。

6.3 簡易 BEMS のエネルギー監視部について

省エネルギー行動指針による設備運用上の制御効果を評価するためには、各指針が効果を発揮する対象を把握し、その実際値を収集するモニタリング監視を行う必要がある。表 5-1 に省エネルギー指針ごとの効果を整理し、効果算定方法ごとに分類を行った。ただし、指針 15 についてはランニングコストというよりライフサイクルコストに対する効果の意味合いが強いため、モニタリング管理の対象からは除外し、定期的に目視によって記録することとする。

表 5-1 省エネルギー管理指針の効果

対象	指針	省エネルギー行動指針	効果	効果算定方法
空調設備	1	空調熱源、空調機、及び空調室内機を早めに停止する	運転時間の短縮	
	2	不在教室や未使用室の不要な空調を停止する		
	3	暑くも寒くもないときは空調を停止する		
	4	冷房設定値は26 以上とし、28 を基準値とする	機器の適正運転	
	5	暖房設定値は22 以下とし、20 を基準値とする		
	6	設定温度の変更は一度に2 までとする		
	7	屋上の断熱を図り冷房効率を向上させる	冷房負荷の低減	
	8	冷却塔の設置状況を改善する		
	9	空調機・FCU・GHP・PACのフィルター清掃を行う	空調負荷の低減	
	10	全熱交換器のフィルター整備を行う		
	11	空調時には窓・ドアを閉め、断熱を行う		
	12	空調時にカーテン・ブラインドを利用する		
	13	窓の遮蔽フィルムを設置する		
照明設備	14	不在教室や未使用室の不要な照明を消灯する	点灯時間の短縮	
	15	照明器具及び壁面天井の清掃を行う	反射率の向上	x
	16	高効率ランプへ交換する	照明負荷の低減	
EV	17	エレベータ利用を見直し、階段を利用する	動力負荷の低減	

各効果算定方法の番号は第 4 章表 4-1 のモニタリング No.に対応するものであり、このモニタリング No.は、各効果算定に用いるデータの収集を行う監視システムを示している。以下に、各算定方法と必要なデータを表 5-2 にまとめ、データ収集を行うためのモニタリングシステム図を各システム別に図 5-1 ~ 5-5 に示す。

表 5-2 モニタリング効果の算定方法

No.	効果算定方法	必要なデータ
	空調熱源・空調機短縮(延長)時間 = 前期稼働時間 運転時間 室内機短縮(延長)時間 = 10時間 運転時間 消費熱量削減量 = (運転時の消費熱量合計 ÷ 運転時間 - 停止時の消費熱量合計 ÷ 停止時間) × 短縮時間 消費熱量増加量 = (運転時の消費熱量合計 ÷ 運転時間 - 停止時の消費熱量合計 ÷ 停止時間) × 延長時間	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 室温 外気温
	(冷房) 冷房時上昇温度 = 冷房時平均設定温度 - 26 冷房削減量 = 冷房用空調消費熱量 × 冷房削減効果率(0.1) × 冷房時上昇温度 < 0 冷房増加量 = 冷房用空調消費熱量 × 冷房削減効果率(0.1) × 冷房時上昇温度 < 0 冷房効果率 = 冷房削減(増加)量 ÷ (冷房用空調消費熱量 + 冷房削減(増加)量) (暖房) 暖房時下降温度 = 22 - 暖房時平均設定温度 暖房削減量 = 暖房用空調消費熱量 × 暖房削減効果率(0.13) × 暖房時下降温度 < 0 暖房増加量 = 暖房用空調消費熱量 × 暖房削減効果率(0.13) × 暖房時下降温度 < 0 暖房効果率 = 暖房削減(増加)量 ÷ (暖房用空調消費熱量 + 暖房削減(増加)量)	運転内容(冷房/暖房) 運転時間 空調消費電力量 空調消費ガス量 空調設定温度値
	熱遮蔽効果 = 0.3kwh/m2 × 日照緩和面積 × 9.83MJ/kwh × 夏季晴天日数	屋上壁面の表面温度 日照緩和面積 天候
	エネルギー損失防止量 = 各機器の年間消費熱量 ÷ (1 - 0.05) - 各機器の年間消費熱量 = 各機器の年間消費熱量 × 0.0526315	清掃の有無 各機器の消費電力量
	換気用外気取入量(m3/h・人) 25(m3/h・人) (冷房) 外気取入量(m3/h・人) 外気負荷(MJ/m2・月) A = 余剰外気負荷(MJ/m2・月) = (外気取入量 25) エネルギー損失量 (MJ/月) = A × 室面積 (暖房) 外気取入量(m3/h・人) + 1 外気負荷(MJ/m2・月) B = 余剰外気負荷(MJ/m2・月) = (外気取入量 25) + 1 エネルギー損失量(MJ/月) = B × 室面積	運転内容(冷房/暖房) 外気取入量 平均室利用人数 室面積
	(冷房) 冷房削減量 (MJ) = 空調用電力消費熱量 ÷ (1 - 0.24) 空調用電力消費熱量(MJ) = 空調用電力消費熱量 × 0.31579 (暖房) 暖房削減量 (MJ) = 空調用ガス消費熱量 ÷ (1 - 0.18) 空調用ガス消費熱量(MJ) = 空調用ガス消費熱量 × 0.21951	カーテン・ブラインドの 空調時における利用率
	A = 空調用消費熱量(MJ) (熱遮断タイプ) 空調削減量 (MJ) = A ÷ (1 - 0.19) A = A × 0.23457 (断熱タイプ) 空調削減量 (MJ) = A ÷ (1 - 0.25) A = A × 0.33333	遮蔽フィルムの設置状況 遮蔽フィルムの仕様 空調消費電力量 空調消費ガス量
	照明点灯時間(h) = 照明電力消費量(kwh) ÷ 室内総ワット数(kwh) 点灯短縮時間 = 前期日平均点灯時間 - 今期日平均点灯時間 照明電力削減(増加)量 (MJ) = 室内総ワット数 × 点灯短縮時間 × 9.83MJ/kwh A = 交換するランプの総ワット数 = 高効率照明電力(kwh) × 交換本数 B = 交換されるランプの総ワット数 = 標準照明電力(kwh) × 交換本数 点灯時間 = 照明消費電力量(kwh) ÷ A 照明電力削減量 (kwh) = (B - A) × 点灯時間	照明消費電力量 室内総ワット数
	EV消費削減(増加)量 (MJ/m2) = 前期エレベータ消費原単位 - 今期エレベータ消費原単位	標準照明電力 高効率照明電力 交換本数 照明消費電力量
	EV消費削減(増加)量 (MJ/m2) = 前期エレベータ消費原単位 - 今期エレベータ消費原単位	EV消費電力量

* 効果算定方法の No. は監視(モニタリング)システムの No. と対応している

モニタリングNo.	削減量 MJ	増加量 MJ
	消費熱量削減量	消費熱量増加量
	冷房削減量	冷房増加量
	暖房削減量	暖房増加量
	熱遮蔽効果	
	エネルギー損失防止量	
		エネルギー損失量
	冷房削減量	
	暖房削減量	
	空調削減量	
	照明電力削減量	照明電力増加量
	照明電力削減量	
	EV消費削減量	EV消費増加量

表 5-3 モニタリングから分かる削減効果

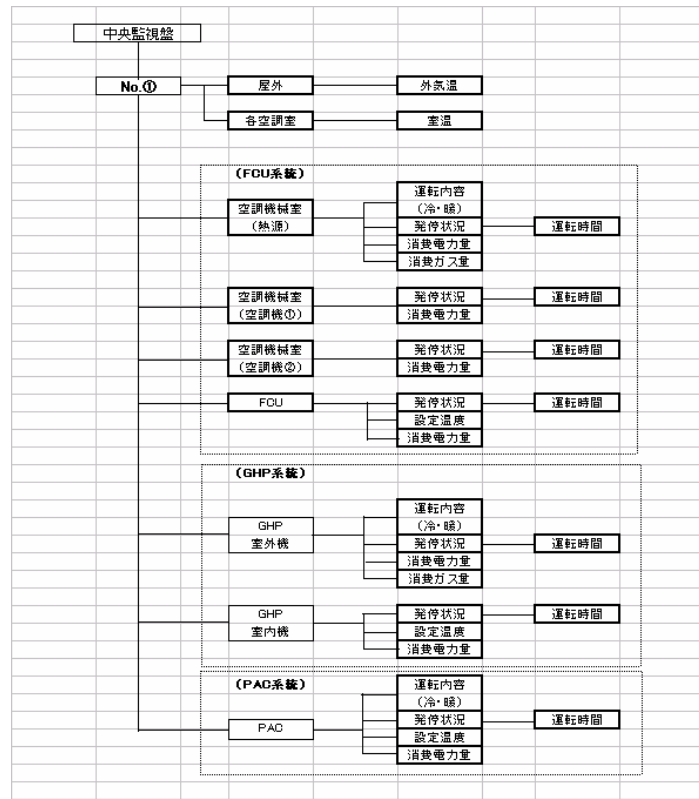


図 5-1 モニタリング系統図

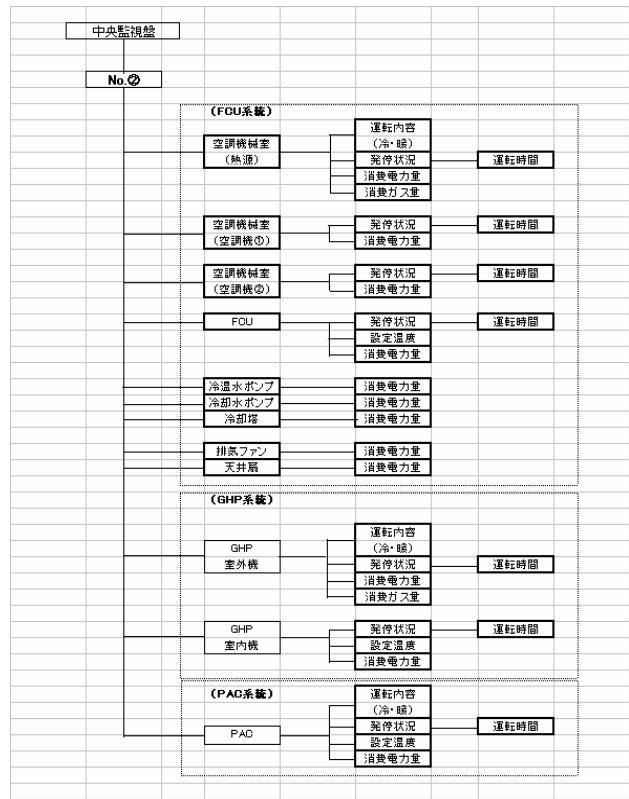


図 5-2 モニタリング系統図

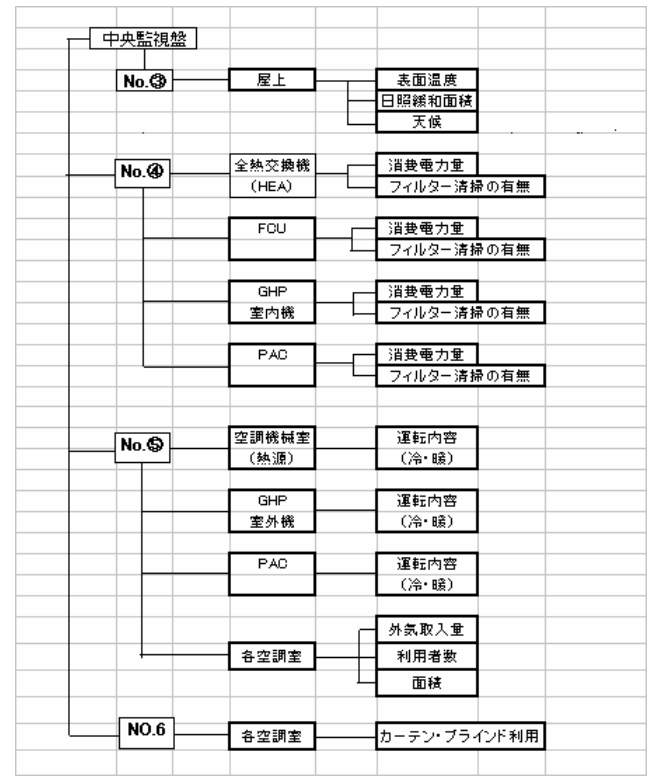


図 5-3 モニタリング系統図 ~

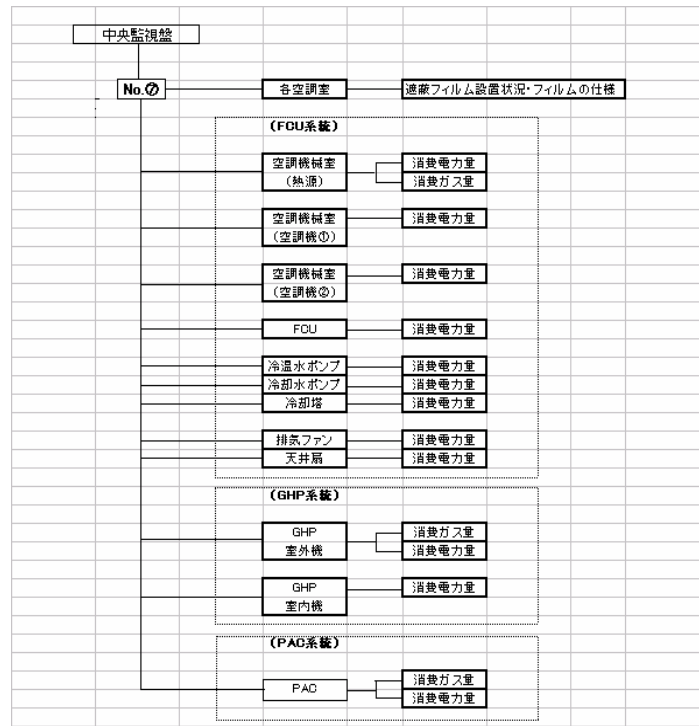


図 5-4 モニタリング系統図

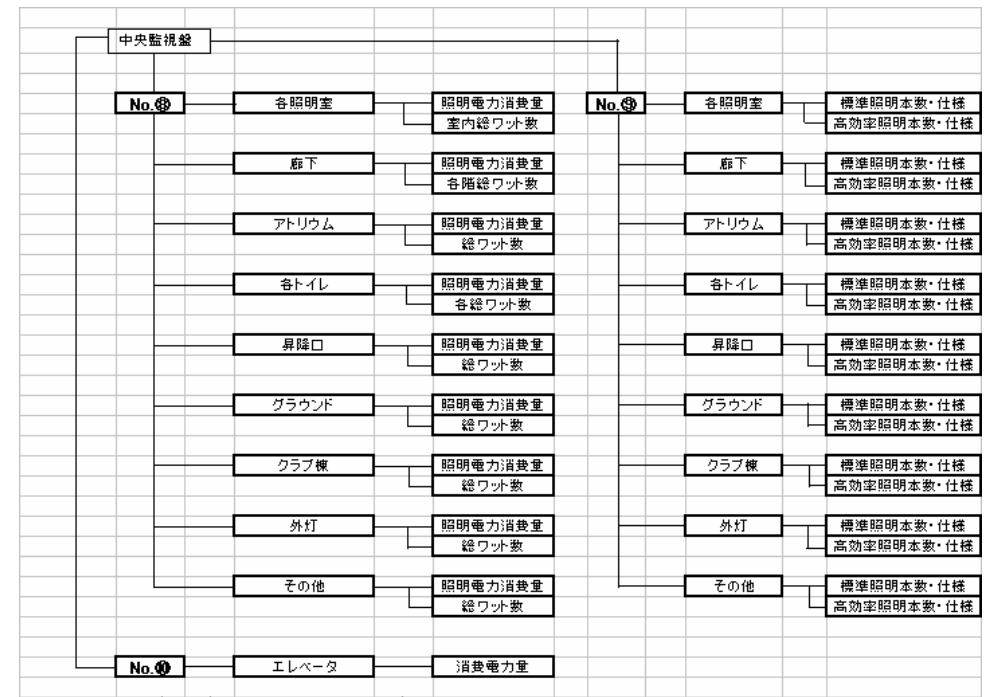


図 5-5 モニタリング系統図 ~

以上を、H 高校を事例としたエネルギー監視部とし、エネルギー管理に必要なデータ収集経路としてこれを示す。

6.4 簡易 BEMS のエネルギー管理部について

建物の運用方法について新たに改善策を立案し、モニタリングデータから各種省エネルギー行動へフィードバックを行うためには、実際に使用したエネルギー量と省エネルギー行動による効果量を把握し、的確に評価を行う必要がある。表 5-9 に H 高校におけるエネルギー使用の評価方法を示し、エネルギー評価を行う際にはエネルギー相互の比較がしやすいように単位を熱量 (MJ) に変換して行う。変換係数は表 5-8 の通りである。

表 5-8 熱量変換係数⁷⁾

種類	係数	データ元
電気	9.83MJ/kwh	受電端投入熱量(省エネ法施行規則)
ガス	46.0MJ/m3	ガス事業便覧 東京ガス等の13Aガス発熱量
水道	31.2MJ/m3	省エネルギーセンターパンフレット「地球環境のためにわたしたちができること」

表 5-9 H 高校のエネルギー評価方法

No.	評価項目	評価判定方法																									
	<p>生徒100人当たりのエネルギー使用量</p> <p>総消費熱量 (GJ) = A MJ ÷ 1000 = 総消費熱量 ÷ 生徒総数 × 100人</p>	<p>他校比較・経年変化を見る指標</p>																									
	<p>省エネルギー率 (%)</p> <p>= エネルギー削減量 ÷ 総消費量</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>評価</th> <th></th> <th></th> <th></th> <th>×</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>消費量の増減率</td> <td>減</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>増</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー率</td> <td>増</td> <td>減</td> <td>増</td> <td>減</td> </tr> <tr> <td>エネルギー消費について</td> <td>見直し</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>要対策</td> </tr> <tr> <td>省エネルギー活動について</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> <td>見直し</td> <td>要対策</td> </tr> </tbody> </table> <p>増減は前年度との差から求める</p>	評価				×	消費量の増減率	減	減	増	増	省エネルギー率	増	減	増	減	エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策	省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策
評価				×																							
消費量の増減率	減	減	増	増																							
省エネルギー率	増	減	増	減																							
エネルギー消費について	見直し	見直し	要対策	要対策																							
省エネルギー活動について	見直し	要対策	見直し	要対策																							
	<p>省エネルギー目標達成率 (%)</p> <p>目標消費量 (MJ/m2) = 本年度消費原単位 × (1 - 目標削減率) 目標達成率 (%) = 目標消費量 ÷ 次年度消費原単位 目標達成度 = 目標達成率 (%) - 100</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>評価</th> <th></th> <th>×</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>目標達成率</td> <td>100%以上</td> <td>100%未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成度</td> <td>0以上</td> <td>0未満</td> </tr> <tr> <td>目標達成状況</td> <td>達成</td> <td>未達成</td> </tr> </tbody> </table>	評価		×	目標達成率	100%以上	100%未満	目標達成度	0以上	0未満	目標達成状況	達成	未達成													
評価		×																									
目標達成率	100%以上	100%未満																									
目標達成度	0以上	0未満																									
目標達成状況	達成	未達成																									
	<p>二酸化炭素の排出量 (kg・CO2)</p> <p>= 各消費量 (削減量) × 二酸化炭素排出係数</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>係数</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電気</td> <td>0.356 kg・CO2/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>2.36 kg・CO2/m3</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>0.58 kg・CO2/m3</td> </tr> </tbody> </table>	種類	係数	電気	0.356 kg・CO2/kwh	ガス	2.36 kg・CO2/m3	水道	0.58 kg・CO2/m3																	
種類	係数																										
電気	0.356 kg・CO2/kwh																										
ガス	2.36 kg・CO2/m3																										
水道	0.58 kg・CO2/m3																										
	<p>金額換算 (円)</p> <p>= 各削減量 (消費量) × エネルギー単価</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>種類</th> <th>エネルギー単価</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>電気</td> <td>22 円/kwh</td> </tr> <tr> <td>ガス</td> <td>149 円/m3</td> </tr> <tr> <td>水道</td> <td>228 円/m3</td> </tr> </tbody> </table>	種類	エネルギー単価	電気	22 円/kwh	ガス	149 円/m3	水道	228 円/m3																	
種類	エネルギー単価																										
電気	22 円/kwh																										
ガス	149 円/m3																										
水道	228 円/m3																										

6.5 H 高校のエネルギー環境管理システム

表 6-1 H 高校とシステムの概要

対象建物	京都市立H高等学校
主要用途	高等学校
延床面積	12643.46 m ²
構造	鉄筋コンクリート造
階数	地階を除く階数 6階
	地階の階数 0階
総人員数	856 人 (平成18年度調べ)
主な館内設備	食堂・図書館・EV2台・アリーナ・トレーニングルーム等
空調設備	FCU系統・GHP系統 (一部PAC使用)
消費原単位	年間約 537.6MJ/m ²
システム概要	簡易BEMS
主要用途	エネルギー使用の最適化
制御部	省エネルギー管理指針 (17指針)
監視部	エネルギーモニタリングシステム (監視項目10系統)
管理部	エネルギー評価方法 (5個)
システムの先進性	今まで評価されてこなかった啓蒙活動による省エネルギー効果の判定を行うことができ、具体的な改善案を立案することができる。そのため機器の自動制御機能を欠いてもこのシステムによって省エネルギーに寄与することができる

本研究では京都市立 H 高等学校を事例とした、BEMS の自動制御部分を手動に直した簡易エネルギー環境管理システム (簡易 BEMS) の概念設計を行い、学校利用者とするエネルギーのインターフェースモデルを構築する研究を行ってきた。表 6-1 に H 高校と今回構築したシステムの概要を示す。

建物のエネルギー管理システムとは制御部・監視部・管理部の3つから現状把握を行うものであり、使用エネルギーに対してPDCAを可能にするものである。図 6-5 に簡易 BEMS を利用した際の PDCA を示し、以下に簡易 BEMS の制御部・監視部・管理部について説明していく。

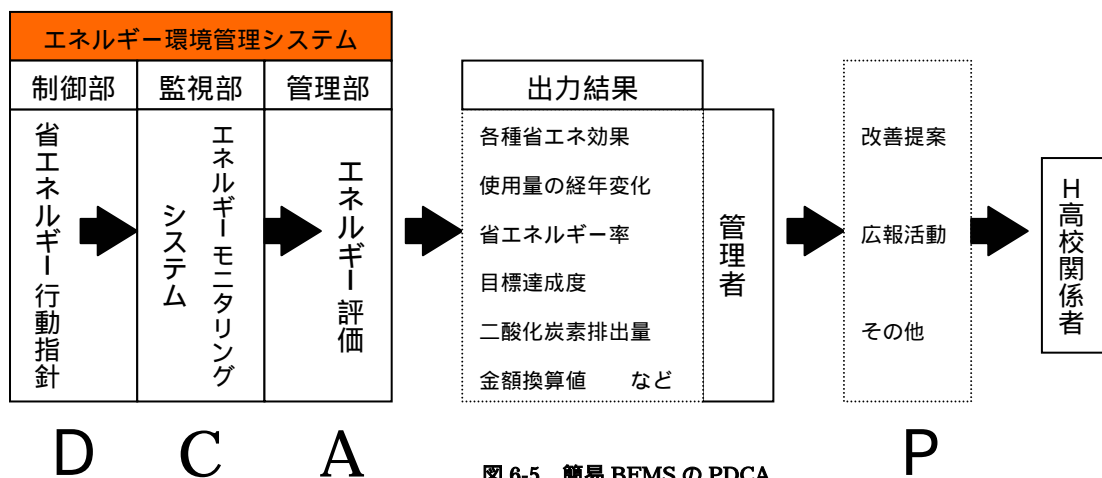


図 6-5 簡易 BEMS の PDCA

簡易 BEMS では、まず制御部に省エネルギー行動指針を用いることとした。これは、各人のエネルギー利用に対する認識を統一させ、全体の運用方法を見直すことからエネルギー使用の最適化を目指すものであり、これが、これまでの BEMS の自動制御に代わる手動制御の部分に当たる。認識を統一させるとは、今回の研究調査から明らかになった各エネルギーの浪費につながる行為・行動を皆がよく理解し、どのような設備利用が適切であるかという認識を全体で統一させるという意味である。これによって、全体が一丸となった省エネルギー行動が得られ、効果を発揮するものであるため、管理者は定めた行動指針の意図をよく理解し、これを学校全体に伝えていく必要がある。

監視部には BEMS でも利用されているエネルギーモニタリングシステムによってエネルギー使用を個別に計測することとした。エネルギーの使用用途は多岐にわたっており、全体のエネルギー使用量からエネルギー利用の現状を把握することは現実的に不可能である。よって、エネルギーの使用量については系統別の把握を行うモニタリング管理を行う必要があり、これによって省エネルギー行動指針の効果判定を行う基礎データを収集、蓄積及び加工を行うことが可能となる。

管理部では、得られた各種計測量結果を用いた全体の評価方法を作成した。各種計測量結果とは、省エネルギー行動による各効果量を算出したものであり、これによって、各省エネルギー行動と省エネルギー行動による学校全体のエネルギー使用を評価することができる（省エネルギー行動による効果については表 5-1 を参照）。以下図 6-6 に簡易 BEMS のシステム図を示す。

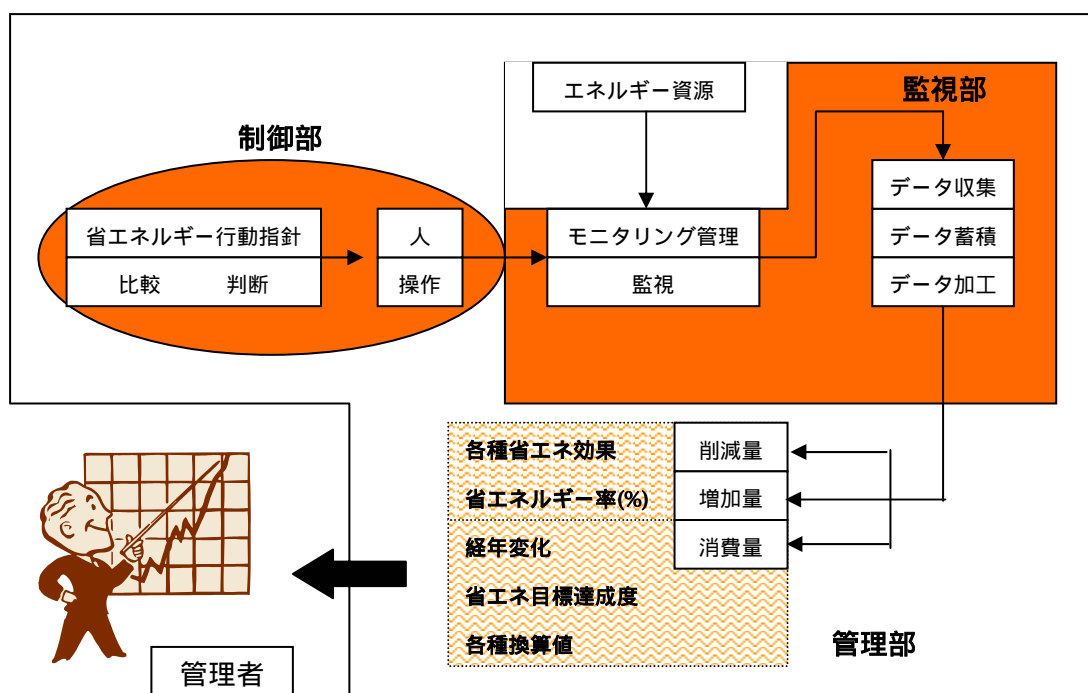


図 6-6 簡易 BEMS のシステム概念図

6.6 ま と め

現在、省エネルギーに対するアプローチの仕方は大きく分けて2つあり、1つはBEMSのように使用エネルギーを定量的に把握し、正確に管理を行う方法である。これは、省エネルギーに対して極めて合理的な方法であり、エネルギーを多量に消費する建物に対しては特に有効的な方法である。もう1つは、啓発活動に代表される省エネルギー活動などがあり、運用面から省エネルギーに貢献する方法がある。BEMSを導入している建物は比較的大規模建物に集中しており、中小建物は啓発活動のみ行っていることが多い。しかし、啓発活動を行う際にエネルギー利用の実際値を正確に把握する手段を持つことが少なく、その結果多くの中小規模建物で適正なエネルギー評価がなされていない。

したがって、中小規模建物における啓発活動の効果測定を目的とした新しいBEMSを構築する必要がある。これまでBEMSは、建物内に設置された各種機器の運転効率の向上を目的として発展してきたシステムであり、その管理対象はハードな面に特化している。この管理対象をソフトな目線に変えてエネルギーの計量を行い、人のエネルギー消費行動を把握することによって、啓発活動の内容を評価することは、今回の概念設計から考え方としては充分可能であることが明らかとなった。

これまでBEMS導入事業として、NEDOが行ってきたBEMS補助金制度の対象となるBEMSは、その機能に機器の自動制御機能を含むものとされている。しかし、BEMSとは本来、建物の状態を把握し全体の運転効率を向上させるものであり、その仕組みを支えているのはエネルギーを定量的に把握することができるエネルギーモニタリングシステムである。

本研究は、このエネルギーモニタリングシステムを用いた啓発活動と実際のエネルギー使用量を評価する簡易BEMSの概念設計を京都市立H高等学校を事例として行った。

研究ではまず事例となったH高校の現状把握を行い、エネルギー使用上の課題を正す省エネルギー行動指針を作成した。次に、各省エネルギー行動の効果算定方法と効果算定に必要なデータを整理し、H高校のエネルギー使用を評価する方法を示した。

建物の省エネルギー手法をBEMS本来の自動制御ではなく、啓発活動による手動制御によって行うことで、従来のBEMSのシステムを簡易化することができ、中小建物にも受け入れやすいシステムを構築できると考えられる。

しかし、BEMSとはあくまでビル管理のためのツールであり、このシステム自体が省エネルギーに直結するわけではない。今回構築した簡易BEMSにおいても、省エネルギーを達成するためには常に人のエネルギー消費行動について評価を行い、改善を行う必要があることを忘れてはいけない。

参考資料

表 2-1 ; BEMS の機能分類表

BEMS				
一般的な名称	ビルディングオートメーション	エネルギー環境管理システム	設備管理支援システム	施設運用支援システム
	BAS (Building Automation System)	EMS (Energy Management System)	BMS (Building Management System)	FMS (Facility Management System)
利用 者	ビル管理技術者	ビル管理技術者 設計・施工者 性能検証担当者	ビル管理技術者	ビルオーナー ビル管理技術者
主な機能	設備機器状態監視 警報監視 運転管理(スケジュール) 設備の自動制御	エネルギー管理 室内環境管理 設備運用管理	設備機器台帳管理 修繕履歴管理 保全スケジュール管理 課金データ	資産管理 LOM(ライフサイクル管理) 図面管理(CAD)

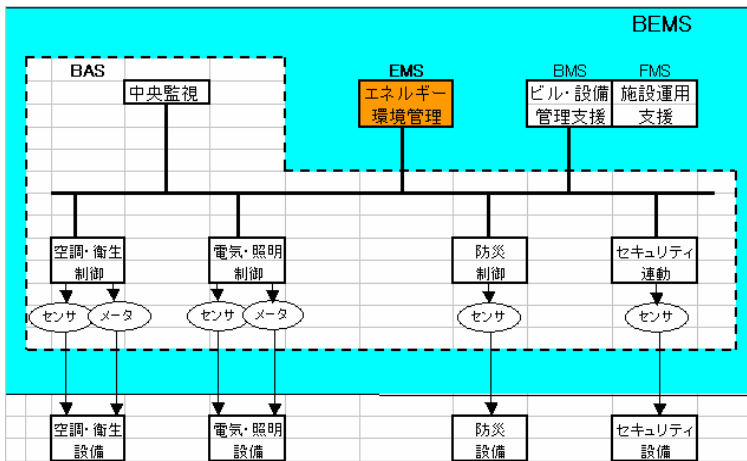


図 2-1 ; BEMS のシステム概念図

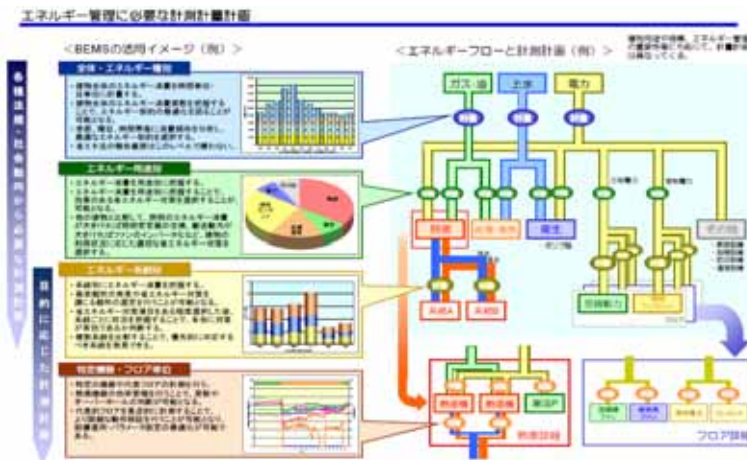


図 2-2 ; エネルギー計測計画の概念図

引用文献

- 1) NEDO 住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業 (B E M S 導入支援事業) 平成 14 ~ 15 年度事業者の実施状況の調査、平成 17 年 11 月 30 日
- 2) (社) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会、建築物エネルギー消費量調査報告書、平成 16 年度版
- 3) (社) 空気調和・衛生工学会、エネルギー・環境管理を主体とした BEMS の解説、URL <http://www.shasej.org/iinkai/bems/BEMS.pdf#search=bems> 情報入手日 ; 平成 19 年 1 月 26 日
- 4) (社) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会、ビル省エネルギー化推進のための調査・研究 (その 2)、平成 17 年 3 月
- 5) (財) 省エネルギーセンター、省エネアドバイス EPOC、URL http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html、情報入手日 ; 平成 19 年 1 月 26 日
- 6) (財) 省エネルギーセンター、省エネアドバイス (ビル)、URL http://www.epoc.gr.jp/syoene/technology_3.html、情報入手日 ; 平成 19 年 1 月 26 日
- 7) (財) 省エネルギーセンター、省エネ効果の算出根拠、URL <http://www.eccj.or.jp/qanda/household/00.html>、情報入手日 ; 平成 19 年 1 月 26 日
- 8) CO₂ 排出係数、見直しの波紋 電力が環境性で選ばれる時代へ、日経エコロジー、6 月号、P68、2006 年
- 9) (社) 日本ビルエネルギー総合管理技術協会、ビルの省エネルギー診断及び広報事業報告書、平成 17 年 3 月
- 10) (株) 山武ビルシステムカンパニー、コンフォート・コントロール計装ガイド、平成 17 年 4 月

謝辞

本研究を進めるにあたり、御協力して頂いた皆様に心よりお礼申し上げます。

石川義紀教授には、これまで研究の方向性を分かりやすく指導して頂き、本当に有難う御座いました。石川教授から頂いた様々な忠告や意見は、大変分かりやすく、勉強になることばかりでした。

また、BEMS に関して右も左も分からなかった私に、親切に資料や助言をして頂いた NEDO の方々をはじめ、一般の方の御協力を得て無事卒業論文を結論まで進めることができました。本当に有難う御座います。

特に株式会社山武の皆様には、親切に時間を割いて講義をして頂き、私の些細な質問にも丁寧にお応えして頂けたことは、研究の中で最も思い出深い出来事でした。このような機会を与えてくれたこと、そしてメールでの親切な回答を頂けたこと、また講義をして頂いたことに、心よりお礼申し上げます。

最後に、研究事例として協力して頂いた京都私立 H 高校の皆様にお礼をして本研究を終了したいと思います。忙しい中対応して頂いた先生方々、アンケートに協力して頂いた生徒方々、質問に親切に対応して頂いた事務員の方々には大変お世話になりました。

本当に有難う御座いました。