

〔報告〕

スクールコントローラーの設置及び効果の検証

藤原 孝行 豊田 隆志*
(*株式会社D S I)

1 はじめに

本業務は、港区立小中学校の省エネを推進するため、高松中学校をモデルケースとして各種の省エネ対策の効果を実証するものである。

対策の一つとして、「スクールコントローラーの設置及び効果検証業務」は、時間割予定表に基づき最適に空調、照明を制御するスクールコントローラーを平成22年9月に試験導入した。

暖房期において、機器運転時間は、スクールコントローラー導入により27%の削減、学校空調系のガス消費量前年同期間比で9%の省エネを実現することが出来た。

本報では、スクールコントローラーの機能、設置工事、学校への展開について説明すると共に、計測データのまとめ並びに分析による効果の検証を行う。

2 本プロジェクトの概要

(1) 目的

本業務は、港区立高松中学校にスクールコントローラーおよびセンサ類を設置し、空調・照明の適切な運用・管理を行い、学校の教室及び体育館、プールも含めて省エネルギー化の検討、評価を行うことを目的とした。また省エネルギー効果を検証するため必要なデータ収集を行う。本事業の対象である高松中学校の分析を踏まえ、港区では区全体としての対策に繋げていくものとする。

(2) 背景

港区は、複数の施設(学校)を所有し、以下の省エネルギー関連規制の対象となっており、それぞれ定められた措置を講ずることが求められている。そのため、省エネ実施策を導入し検証を行い、区内全体に展開するためのデータを収集することが意図された。

- ・省エネ法(経済産業省)
- ・環境確保条例(東京都)

(3) 期間

平成22年7月2日から平成23年3月15日まで

(4) 場所

港区立 高松中学校

3 スクールコントローラーの機能

(1) スクールコントローラーの役割

学校の空調や照明のエネルギーは、教室使用時に消費される。教室使用の実態は、休憩時間も含め生徒が他の教室や食堂、屋外に移動している時間も多く、朝から夕方まで連続使用する必要はない。このため、教室の不使用时に停止させることで省エネが行える。

スクールコントローラーは、時間割をベースに教室の空調や照明を自動運転する機能を持つシステムである。また、省エネのための運用管理を行うために、学校版BEMSとしての機能も持っている。各教室に設置された、空調機、照明の状態を表示(ON-OFF)、温湿度センサ、CO₂濃度センサなどで環境のモニタリング、使用電力の計測が行え、設定や運転の無駄を見つけることが出来る。これらのデータは、スクールコントローラーに蓄積する。蓄積したデータは、CSV出力が可能なので、EXCEL等を利用してユーザが加工することが出来る。

(2) スクールコントローラーの運用方法

ア 空調運転(図-1参照)

① 教室時間割り設定

各教室の各曜日/時限の使用予定有無を設定し、使用時限に空調の運転指令を出す。

② 学校共通の時間割設定

朝礼から終礼までの時間割の時刻を設定し、このタイムを元に空調を運用する。

③ 教室使用時限の変更

各時限の使用予定は、当日/翌日のテーブルの修正ができ、翌週には影響されないようになる。

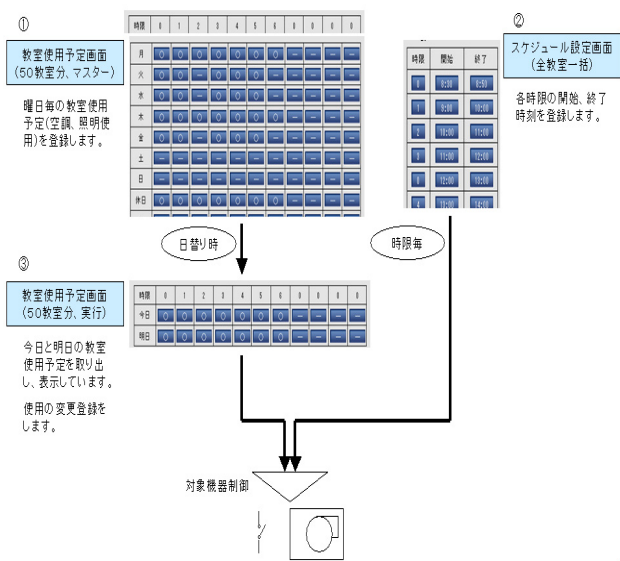


図-1 空調の運用方法

イ 照明 (図-2 参照)

照明制御は、自動運用時間帯をスクールコントローラーで設定、この時間帯に照明の入切が行える。自動運用時間帯外には、延長スイッチ操作で、延長設定時間 (30 分で運用中) のみ入切可能となる。



図-2 照明の運用方法

(3) システム構成

システムは、本体制御部、空調機インターフェイス、操作 PC そして現場に設置される入出力端末のルームコントローラーと各種センサ、制御対象機器などで構成される。操作作用の PC は、学校職員に設定、管理してもらうために

職員室に設置した。スクールコントローラー本体 (制御部) は、電気配線スペースにシステム制御盤を設置し、その中に収納している。また、ルームコントローラーは、各階の電気配線システムに照明電源を制御する分電盤とともに設置した。教室に設置した温湿度センサや CO₂ 濃度センサは、ルームコントローラーに接続し、監視 PC で表示やデータ蓄積を行う。今回導入したスクールコントローラーのシステム構成図を図-3 に示す。

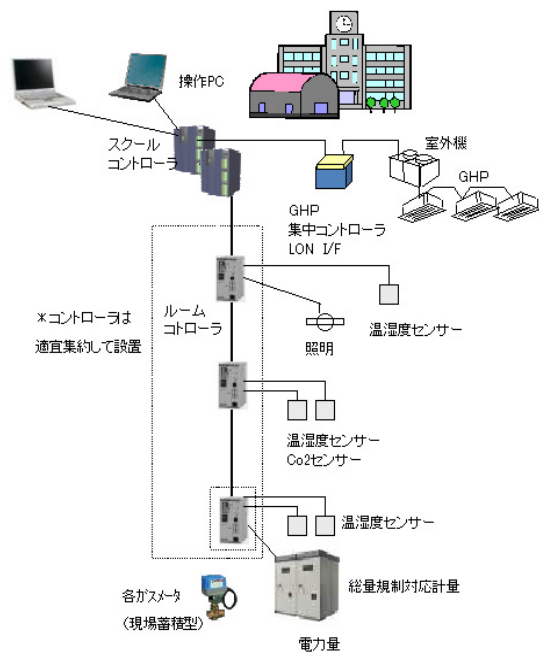


図-3 スクールコントローラー構成図

4 設置場所

(1) 導入対象のカ所

スクールコントローラーの制御対象教室は、時間割で使用頻度の高い普通教室を含む B 棟全教室と、負荷的に特徴のある A 棟の特殊教室を選定し、表-1 の 19 室とした。

表-1 設置対象一覧

設置場所		設置する機器	
A棟 4階	理科室 (化学)	温度センサー、湿度センサー、CO2センサー	
	理科室 (物理)	//	
	視聴覚室	//	
	コンピュータールーム	//	
B棟	2階 職員室	操作PC	
	3階	普通教室 3-1	温度センサー、湿度センサー、CO2センサー
		普通教室 3-2	温度センサー、湿度センサー
		普通教室 3-3	//
		学習室 A	//
		学習室 B	//
	4階	普通教室 2-1	温度センサー、湿度センサー、CO2センサー
		普通教室 2-2	温度センサー、湿度センサー
		普通教室 2-3	//
		学習室 B	//
		多目的教室	//
	5階	普通教室 1-1	温度センサー、湿度センサー、CO2センサー
		普通教室 1-2	温度センサー、湿度センサー
		普通教室 1-3	//
		学習室 A	//
書写室		//	

5 スクールコントローラー導入の成果

(1) スクールコントローラー導入の成果

ア 夏季の運用

2010年9月27日から実際の運用を開始したため、すぐに中間期となり、冷房運転がほとんど行われなかった。そのため、夏季の成果の分析は行えなかった。

イ 冬季の運用

2011年1月11日～2月10日の一ヶ月間において、スクールコントローラーの運用を行い、GHP (ガスエンジンヒートポンプ) エアコンの運転について、時間割に基づいた自動運転を実施した。この結果、図-4に示すようにGHPエアコンの実際の運転時間は、授業開始から終了まで連続運転をする場合に比べ、27%減の運転時間となった。

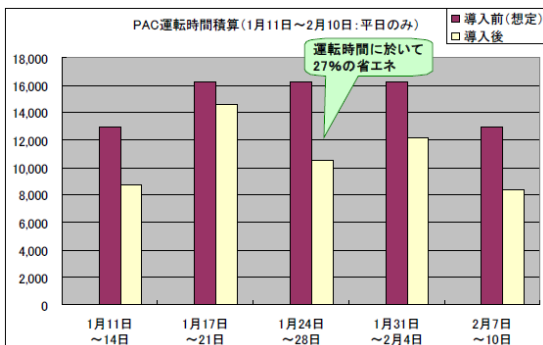


図-4 冬季1ヶ月分の運転実績比較

GHP に関係する電気は、送風機の動力や制御電源であり、電気使用量は運転時間にはほぼ比例して減少していると推測できる。

一方、ガス消費量は外気や設定温度などの使用条件によって異なるため、運転時間には比例しない。実際の効果の測定として、GHP 系統のガス消費量を前年と12月～3月までと比較した。(表-2、図-5)

この結果、この期間のガス消費量は、約9%の減となった。暖房時のガス消費量は、外気の影響を受けるため、この期間の平均気温を気象庁のデータをもとに比較した。(表-3、図-6) 前年の平均外気温が7.9℃、今年が7.53℃であった。もし外気補正を行うと、ガス消費量はもう少し削減率が多くなると推測される。ただし、外気補正は困難であるので、本報では、冬季のスクールコントローラーによる省エネ率を9%と判断する。

表-2 GHP のガス消費量比較

GHP 系統ガス消費量		単位: m ³	
月	2009年度	2010年度	対前年比
12	878	634	72%
1	1,265	1,302	103%
2	1,217	1,151	95%
3	542	482	89%
合計	3,902	3,569	91%

表-3 平均外気温の比較

平均外気温		単位: ℃	
月	2009年度	2010年度	
12		9	9.9
1		7	5.1
2		6.5	7
3		9.1	8.1
単純平均		7.9	7.525

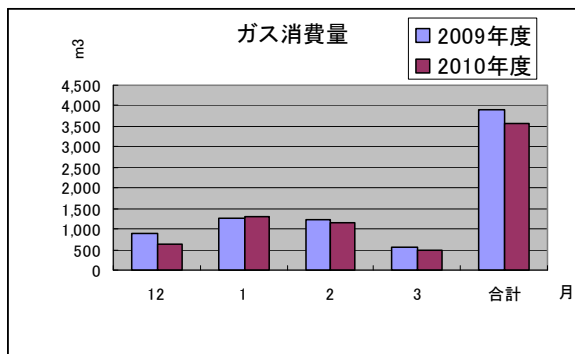


図-5 GHP のガス消費量の比較グラフ

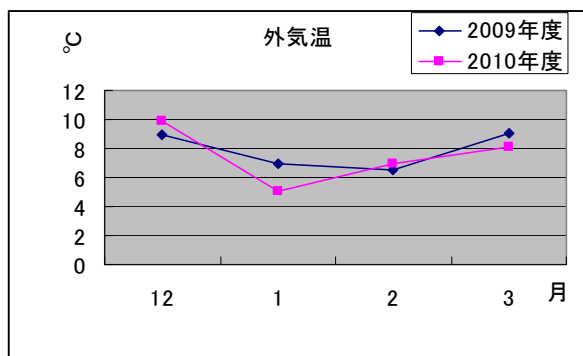


図-6 平均外気温の比較グラフ

(2) スクールコントローラー運用による室内環境の影響評価

室内環境について、スクールコントローラー運用による影響を評価した。スクールコントローラーでは、教室不使用時や休憩時間に空調を停止するため、実際の教室使用時の環境に変化が出ていないかを教室の温度計測データをもとに分析を行った。

ア 夏季の運用

夏季の評価は冷房運転期間が短かったために行えなかった。

イ 冬季の運用

図-7では、暖房運転では、スクールコントローラーの運用により、時間割に基づいて教室の空調を運転停止した1月14日の普通教室3-1、3-2、3-3の室温の変化を示している。(ただし、当日の外気は平均3.8℃、最低気温0℃、最高気温7.3℃であった。)

この図から休憩、教室不使用時の空調停止において室内の温度低下は、停止時間が1～4時間のいずれでも、概ね15℃までの室温低下であり、使用開始における温度の立ち上がりなど、温度低下による教室環境悪化の問題は無いと判断できた。

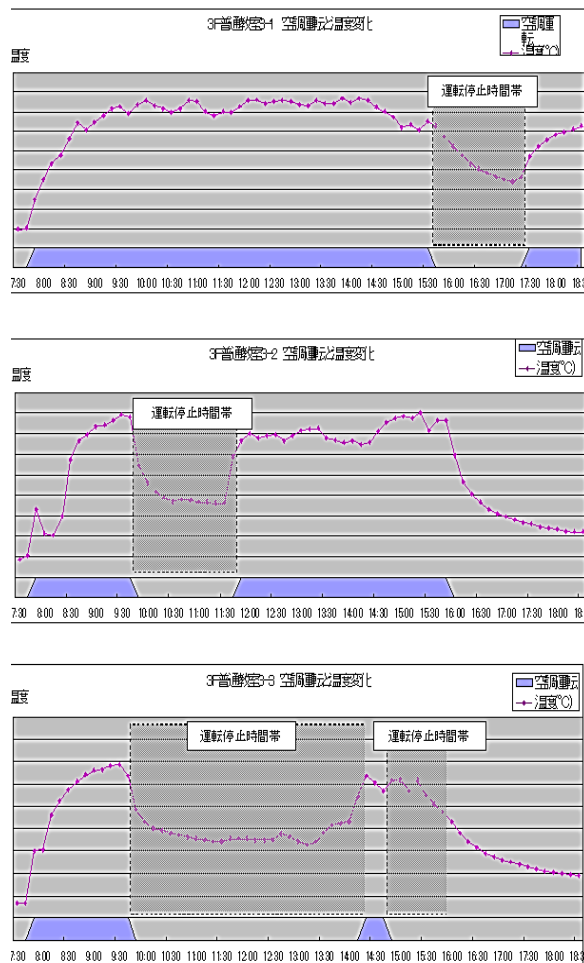


図-7 暖房時の空調運転と室温変化

ウ CO₂濃度

教室内のCO₂濃度を文部科学省が定めた基準(表-4)である1,500ppm以下にするために、教室には空調換気扇が設置されている。今回、この空調換気扇を空調機と連動して運転する場合について比較を行った。

図-8は9月22日の普通教室3-1と2-1のCO₂濃度と空調機の運転状況を示している。普通教室2-1は、空調換気扇を手動で操作するが、実際には運転されておらず、教室使用時には2,000ppmを超えている。CO₂濃度が高く、授業に集中力を保てなくなる懸念がある。

一方、普通教室3-1は空調換気扇と空調機が連動されており、昼休み後を除き、教室使用時において授業中平均値基準の1,000ppm以下となっている。昼休み後にCO₂濃度が高いことについては、原因の調査を必要とする。空調機が動作すると10分程度で基準近くに達している。

このように、空調換気扇と空調機を連動することにより、確実に室内環境を維持できており、その他の部屋について

も改善工事を行う必要がある。

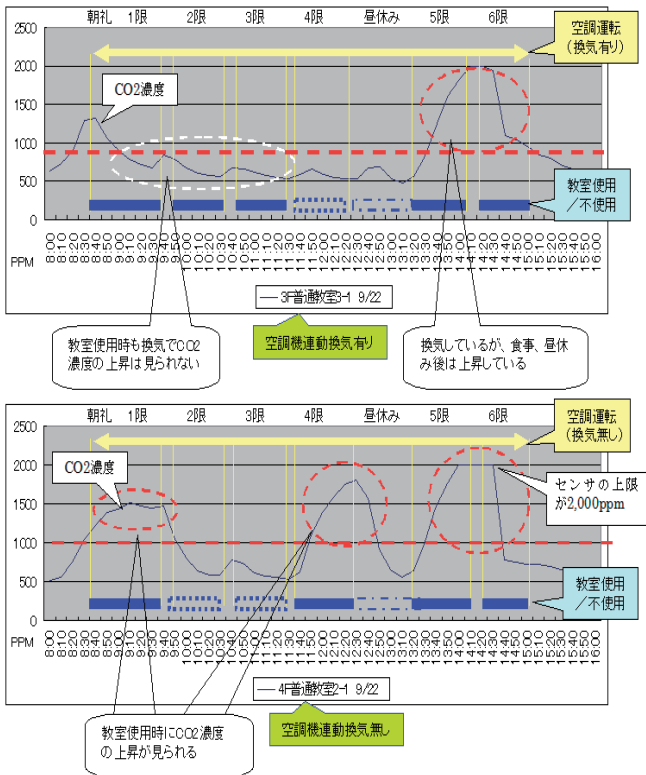


図-8 CO₂濃度の変化比較 (空調連動換気有無)

エ 冬季の湿度 (相対湿度)

冬季における、室内の湿度は体感温度の向上並びにインフルエンザの感染予防に関係している。図-9に測定した室内湿度のグラフを示す。文部科学省機械設備工事設計基準では湿度は30%~80%であるが、東京都立高校設備設計標準では冬季37%とされている。実際はこれをかなり下回っていることが分かった。

このようなことから、適切な湿度制御 (加湿) を行う必要であることが分かった。

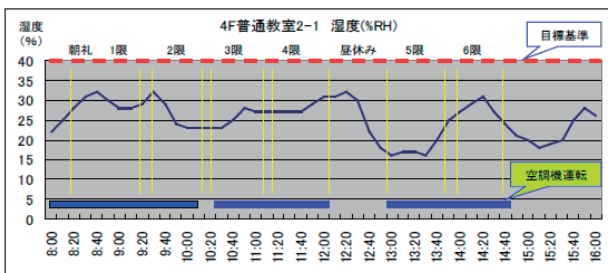


図-9 湿度の変化

表-4 文部科学省の学校設計基準(平成16年2月10日付けの「学校環境衛生の基準」の改訂)

項目	基準	備考
温度	冬季 10℃以上、夏季 30℃以下	
望ましい温度	冬季 18~20℃以上、夏季 25~28℃以下	
湿度	30~80 RH%	
CO ₂	1,500 ppm以下	
気流	0.5 m/s以下	人工換気の場合
CO	10 ppm以下	
NO ₂	0.06 ppm以下	
浮遊粉塵	0.1 mg/m ³ 以下	
落下最近	1教室平均10コロニー以下	
実効輻射温度	黒球と乾球温度の差 5℃未満	

表-5 東京都立高校設計標準 (東京都財務局建築保全部策定)

項目	基準	備考
室内温度	夏季 27℃、冬季 22℃	
室内湿度	夏季 約50 RH%、冬季 約40 RH%	湿球温度から計算
気流	0.15 m/s以下	
浮遊粉塵	0.1 kg/m ³ (平均値)	都立学校環境衛生基準
一酸化炭素	10 ppm以下(平均値)	
二酸化炭素	1,000 ppm以下	授業中平均値
	最高値で1,500 ppm以下	

6 プールシステムの省エネルギー運転の成果

図-11に示すようにプール及び体育館はガスの消費が大きく、この部分の省エネ対策が効果的であるため、予備調査を行った。

(1) 対策以前の運転状況

プールの暖房、水温加温は図-9に示す構成要素となっている。

プールの運用実態は、冬季は授業での利用がないにもかかわらず、月曜から金曜は早朝の5時より運転され、クラブ活動や一般開放の利用時以外に於いても長く運転されていた。

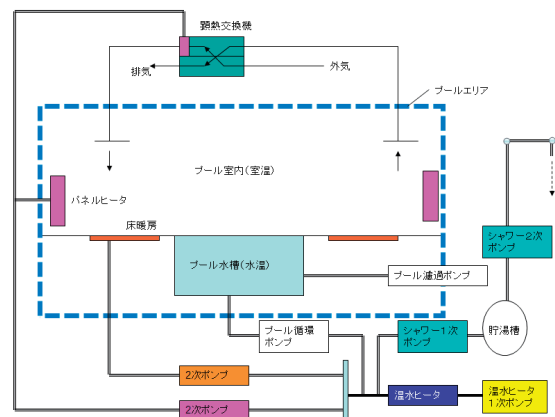


図-9 プール設備系統図

(2) 改善の実施

プールの使用時間帯は、現状の運用では、月曜から金曜はクラブ活動が始まる15時から、また土曜日曜は一般開

放の開始時となっている。改善策としてプールの過去の立ち上がり特性を元に、構成機器の運転開始時刻の設定を行った。この結果に基づき、月曜から金曜の午前中の運転を取りやめ、構成機器の稼働時間を大幅に短縮した。

(3) 改善の効果と考察

省エネ運転の設定は2月7日に行い、この日より省エネルギー運転が実施した。

2010年と2011年の1月、2月について、ガス消費量の比較を行った。その結果を表-6と図-10に示すように、ガス消費量において、前年同期間比21%の省エネルギーを実現出来た。

この試算はガス消費量のみであるが、実際には機器の稼働時間が減じた分だけ、電気消費量も節減できていると推測できる。

表-6 プール系統省エネルギー運転前と後の比較

月		プール系統ガス消費量m ³	対前年削減率
1月	2010年	13,076	
	2011年	12,393	
	差	683	95%
2月	2010年	11,745	
	2011年	9,045	
	差	2,700	77%
3月	2010年	11,775	
	2011年	9,467	
	差	2,308	80%
省エネ後 2、3月合計	2010年	23,520	
	2011年	18,512	
	差	5,008	79%

2月7日より省エネ運転を開始。
着色部が省エネ運転期間
21%の省エネ効果

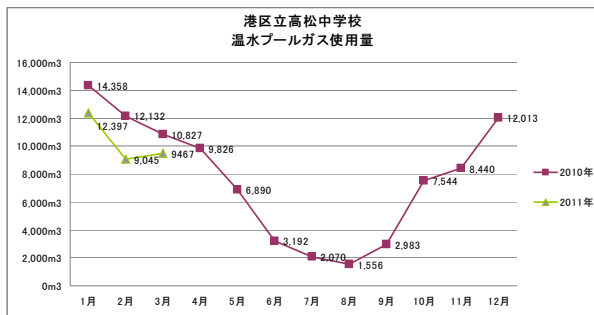


図-10 プール系統ガス使用量推移

(4) 換気設備の更なる改善

今回の省エネ運転では、プール使用の3時間前から暖房用の機器を運転したが、これまでの立ち上げ時間と比較して長くなっている。これは、顕熱交換機(熱交換型換気設備)のローターが故障し、全く機能しておらず、暖房負荷のピーク時では加熱能力が不足しているためである。立ち上げ時間帯(プール使用前)は人が居ないので外気導入が不要である。外気をカットして、循環のみの運転とするバ

イパスダクトの設置により、短時間で立ち上げが可能となる。そして、故障している顕熱交換機を直ちに修繕し、熱回収を行うことにより、更にエネルギーは節約できる。

7 今後の課題

(1) 学校の運用に合わせた使いやすい機能

スクールコントローラーは、授業のない時間や休憩時間の照明、空調を停止し、無駄なエネルギーの消費を削減する装置である。効果をより高めるためには、出来るだけこまめに授業の変更などを先生のPCから登録する必要がある。本プロジェクトの運用段階で、時間割は2パターンあり、週単位で交互に運用されることが分かった。また、頻度は多くないが短縮授業が行われることも分かった。しかし、本プロジェクトで導入したスクールコントローラーの時間割は1パターンで、短縮授業にも対応できる機能を持っていなかった。そのため、こまめに授業の変更入力する必要があり先生への負担が生じた。そこで、より効果を高めるには、学校の実情にあわせ、先生への負担の少なくなるよう改善が必要である。

(2) 適切なCO₂制御

本プロジェクトにより、教室内のCO₂の動向は把握できた。そして、空調換気扇は空調機との連動が有効であることがわかった。現状のままでは、室内のCO₂濃度は文部科学省が定めた基準を満たさないため、直ちに、改善工事を行う必要がある。今後の課題として、空調を運転しない中間期の換気の対応について、空調機と空調換気扇を連動すると空調換気扇が運転されないため、単独運転やCO₂制御の実装及び運用・保守を含めてシステムを検討する必要がある。

(3) プール及び体育館の省エネ検討

プールについては、実際に運用時間の工夫を試みた結果、21%程度の省エネが実現できた。また、プール室内の空調を行う顕熱交換機が全く機能せず修理を行う必要があることが分かった。さらに、プール使用前の立ち上げ時には、空気を循環させるためのバイパスダクトを設けることにより更なる省エネが可能となる提案を行った。

高松中学校は体育館の冷暖房を行っており、空調負荷において大きな比重を占める外気に対し、その取り入れ量をCO₂濃度に応じて制御を行うことでかなりの省エネが期待できる。今後、既設空調機にCO₂制御を実装するとともにエネルギー量等の計測を行いその効果を評価する必

要がある。室内プール並びに冷暖房を行う体育館を有する学校については、図-11 に示すようエネルギー使用量が多いことから、早急に省エネルギー対策を調査検討することが期待される。

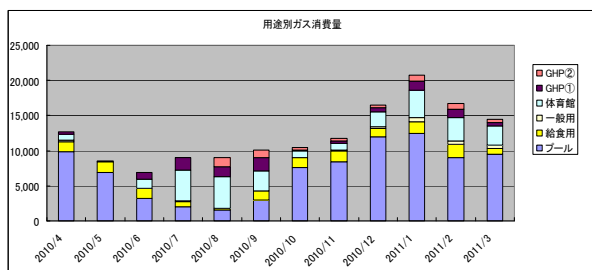


図-11 高松中学校の用途別ガス消費量

(4) 総合評価

スクールコントローラーの運用により、冬季における教室の空調について前年比9%の省エネ効果が得られた。実際は、昨年度より本年度の方が、外気温が低かったのもう少し効果があると想定される。

また、プールにおいて、21%の省エネルギー効果があった。

体育館については、外気導入のCO₂制御による省エネルギー効果が期待できる。

本校全体のエネルギー消費については、平成21年度と平成22年度の2月、3月においてスクールコントローラー導入前後の学校全体のエネルギー使用量（東京電力、東京ガスの取引メータ）の比較を行った。その結果、電気では5%、ガスで8%の低減となった。

今後は、これらの省エネルギー施策を他の学校にも適用することにより、学校全体のエネルギー使用量をかなり削減することが可能と考えられる。

表-7 高松中学校全体のエネルギー使用量

種別	月	平成21年度	平成22年度	対前年比
電気使用量	2月	49,764 KWH	48,516 KWH	97%
	3月	64,392 KWH	60,204 KWH	93%
	合計	114,156 KWH	108,720 KWH	95%
ガス使用量	2月	21,463 m3	20,788 m3	97%
	3月	19,462 m3	16,710 m3	86%
	合計	40,925 m3	37,498 m3	92%