

都立高等学校環境改善事業効果調査

藤原 孝行 横山 仁 岡田 朋和* 近藤 靖史**

(*東京都環境局多摩環境事務所 **東京都市大学)

要 旨

本調査では、都立高等学校の実態に合わせた環境改善対策として、空調機器の省エネルギー対策や、太陽光発電による再生可能エネルギー導入対策等の推進を図るために、各対策を5校のモデル校に対して試験的に導入し、導入効果の実測及び分析を行った。

建物外皮対策については、築年数が新しく断熱性能の高い建物は、窓の対策を実施することが効果的であることがわかった。教室内のCO₂濃度を測定したところ、在室者の判断により全熱交換器型換気扇が運転されず、CO₂濃度が基準値を超えていることが確認された。全熱交換器型換気扇の運転が避けられる要因の一つとして、換気吹出口周辺の温熱環境悪化が考えられることから、これを回避するために外調機を導入するのが有効であると考えられる。また、教室内の相対湿度を測定したところ、冬期の教室内相対湿度は、30%を下回っていることが確認された。インフルエンザの感染拡大を防止するためには、冬期の加湿方法を検討する必要がある。空調の時間割スケジュール制御(スクールコントローラー)については、省エネ効果を確認するとともに、今後の導入に向けて知見を得ることができた。太陽光発電設備については、セルの違いによる効率の違い、温度による効率の違い等がわかり、費用対効果を試算し、今後の導入推進に向けて有用なデータを得ることができた。

キーワード：学校 建物外皮対策 空調自動制御 太陽光発電

Environmental improvement trial report for the high school of Tokyo Metropolitan Government

FUJIWARA Takayuki, YOKOYAMA Hitoshi, OKADA Tomokazu*, KONDO Yasushi**

*Environment of Tokyo Tama Environment Office **Tokyo City University

Summary

In this paper, the authors report the effects of energy conservation measures and photovoltaic power generation by the actual measurement in the five public high schools of Tokyo.

The actual measurement and the simulation revealed that the improvements of windows are effective in a new and well-insulated building. Based on the measurement, it was found that the sensible and latent heat exchangers were not working by judging of the person staying in the room and the concentration of CO₂ was over the standard value. Authors propose introducing fresh-air-conditioners in the system. Moreover, it was found that the humidity in a classroom in winter is less than 30%. We should consider the humidifying method to prevent the infection spread of influenza. It was confirmed that air-conditioning control system by class schedule is effective and we got knowledge for introducing the system. The generating efficiencies of photovoltaic power generation which differ according to kind of cell or temperature were measured. Therefore, the authors calculated cost-effectiveness and got knowledge for the introducing.

keywords : school, measures of building envelope, air-conditioning control system, photovoltaic power generation

1. 調査の目的と概要

1.1 調査目的

本調査は、「都立高校教育環境改善検討委員会報告書（平成18年12月）」の検討結果を踏まえ、都立高等学校の実態に合わせた環境改善対策として、空調機器の省エネルギー対策や、太陽光発電による再生可能エネルギー導入対策等の推進を図るために、既存の都立高等学校に導入可能な対策とその効果把握のための方法を検討するとともに、これに基づき、具体的な施工方法や計測・評価方法を取りまとめることを目的とする。

1.2 調査概要

(1) 学校別の省エネルギー対策

今回の調査のために実施済みの学校別省エネルギー対策メニューを表1に示す。

詳細な性能評価を行うための対策については、計測や評価の効率性を考え、建築年度が古く、建物の断熱性能が低い杉並工業と、建築年度が新しく、建物の断熱性能が相対的に高い、つばさ総合に、各々の校舎の特性等を考慮して導入している。

太陽光発電については、杉並工業及びつばさ総合は、設置スペースが他校に比べ余裕があり、評価も効率的に行えることから、4つのタイプの太陽電池をすべて設置している。両校以外の3校は、設置場所等を考慮し、各々1タイプの太陽電池を設置している。

表1 環境改善対策メニュー

環境改善対策メニュー		杉並工業	つばさ総合	荒川工業	葛西工業	晴海総合
建物外皮対策	屋上					
	高反射率塗料	○	○	○	○	○
	外断熱	○	○	-	-	-
	壁面					
	高反射率塗料	○	-	-	-	-
窓	外断熱	○	-	-	-	-
	日射遮蔽フィルム	○	○	○	○	○
	複層ガラス	○	○	-	-	-
スクールコントローラ		-	○	-	-	-
太陽光発電	シリコン単結晶	○	○	○	-	-
	シリコン多結晶	○	○	-	○	-
	アモルファス	○	○	-	-	-
	薄膜タンデム	○	○	-	-	○

(2) 事業実施計画等

事業実施スケジュールを表2に示す。基本計画に基づく環境改善対策工事が完了後、今後の都立高等学校における全館空調化の効果的・効率的取組みの推進を図るために、対策別に効果測定を実施し、教室内環境等の変化

を把握するとともに、その結果に基づき、熱負荷計算ソフト New HASP/ACLD を使用したシミュレーション等により、省エネ効果等の比較・検討、解析・評価を実施した。

表2 事業実施スケジュール

	19年度			20年度			21年度						
	～9月	10～12月	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	1～3月		
事業計画策定													
環境対策工事													
準備計測													
集中計測													
長期計測													
データ解析													
報告書作成等													
検討委員会				★	★	★	★	★	★	★	★		
備考		工事起工	計測機器設置調整	年間計画検討	夏期計測検討	夏期計測まとめ	冬期計測検討	年間計測結果まとめ	年間計画検討	夏期計測検討	夏期計測まとめ	冬期計測検討	最終結果まとめ

*1：集中計測は、杉並工業及びつばさ総合で実施する。
 *2：長期計測には、空調機器の集中コントローラーによる効果の計測を含む。
 *3：詳細は、「計測実施計画書」及び「評価に関する計画書」等による。

(3) 対策効果の計測方法

対策効果の計測は、空調機器の省エネルギー対策と太陽光発電の導入別に実施する。

平成22年度は、昨年度から引き続き、対策効果把握のための長期実測を継続実施し、データの信頼性を高めることとした。

1) 空調機器の省エネルギー対策

空調機器の省エネルギー対策の効果の計測は、対策を重点的に実施する杉並高校及びつばさ高校において、短期間の集中計測（熱貫流率等の実測）と基本的データの長期自動計測（エネルギー消費量、室温等）により行い、他の3校については、前記2校における計測結果の妥当性の検証等のために、室温の長期自動計測を行う。

なお、外部気象（温度、湿度、風速等）については、5校ともに太陽電池に併設する気象観測装置で自動計測を行うこととする。

また、平成22年度は、以下に示す集中実測を行い、都立高校の環境衛生の実態を把握する。

- ・冷房期集中実測：教室内CO₂濃度・騒音レベルの実測（冷房化による空気質低下の懸念）
- ・暖房期集中実測：教室内湿度の実測（インフルエンザ感染拡大の懸念）

2) 太陽光発電の導入

太陽光発電の導入効果の計測は、5校すべてを対象に、発電量及び系統連携による出入り電力量の長期自動計測と、発電量との関連が高い日射量など気象の自動計測により実施する。

(4) 対策効果の解析・評価方法

建物外皮対策については、計測結果の解析を実施し、個別対策及び複合対策の効果の把握と評価を行う。また、解析結果に基づき、複数の省エネルギー対策を想定し、既存及び新設高校に空調機器の省エネルギー対策を施した場合のエネルギー削減効果について、シミュレーション予測を行い、今後の対策推進に必要な資料を作成する。

太陽光発電設備については、計測結果の解析を実施し、太陽光発電の種類、設置方法、発電量等から効果の把握と評価を行う。また、解析結果に基づき、既存及び新設高校に太陽光発電を導入した場合の代替効果を試算し、今後の対策推進に必要な資料を作成する。

2. 建物外皮対策の実測評価

調査対象校 5校において建物外皮対策による室内温度環境の変化を実測した。更に杉並工業、つばさ総合の両校においては、夏期および冬期に、より詳細な実測(集中実測)を行った。

夏期晴天日における非空調室の集中実測結果を図1に、冬期晴天日における非空調室の集中実測結果を図2に示す。

- 屋根表面温度は、「高反射率塗料」は「無対策」に比べて低くなっている。また、「外断熱」は日変動が非常に小さくなっている (図 1(a), (b))。
 - 窓表面温度は日中は、「日射遮蔽フィルム」が「無対策」より高くなっている (図 1(c), (d))。
 - 室内空気温度は「無対策」に比べて「外断熱+複層ガラス」が同程度または高くなる傾向があるのに対して、「高反射率塗料+日射遮蔽フィルム」は「無対策」に比べて低くなっている (図 1(e), (f))。
- また、熱負荷計算を行った結果以下のことがわかった。
- 両校とも「外断熱+複層ガラス」が最も省エネ効果が高い (図 3、図 4 case3)。

- 「高反射率塗料+日射遮蔽フィルム」は冷房負荷の低減には効果があるものの暖房負荷は増大している。築年数の古い高校では年間負荷の低減にはほとんど効果がないのに対して、築年数の新しい高校では効果が表れている。この理由として、築年数の新しい高校では断熱性能が向上し、年間負荷に占める冷房負荷の割合が大きくなる傾向があり、冷房負荷低減効果が暖房負荷増大を上回るためと考えられる (図 3、図 4 case2)。
- 築年数の新しい高校では外断熱の効果は小さく、窓への対策が効果的である (図 4 case2~4)。

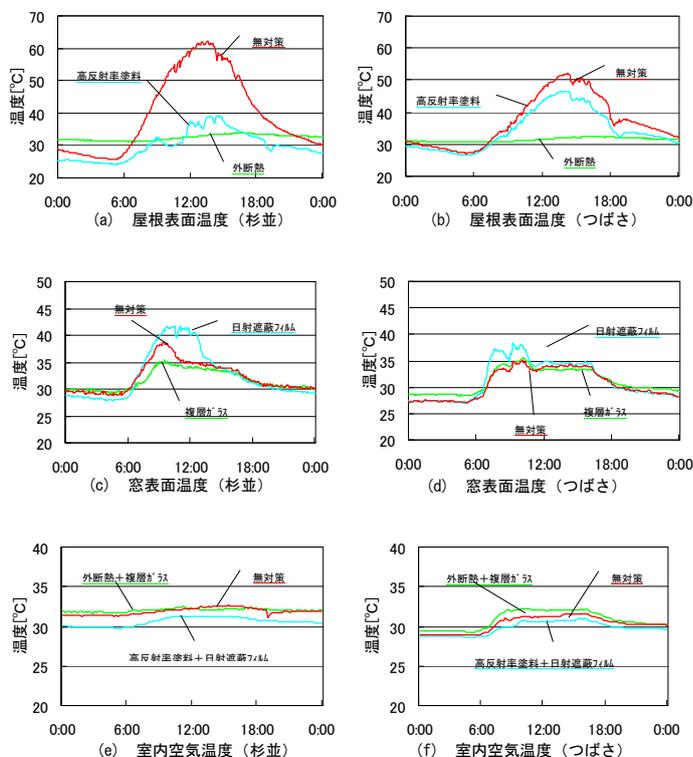


図 1 夏期集中実測結果の抜粋

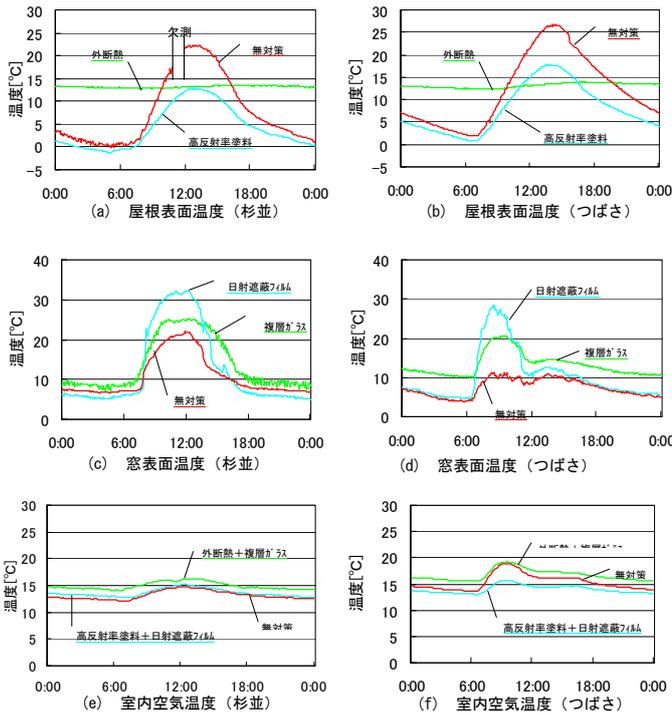


図 2 冬期集中実測結果の抜粋

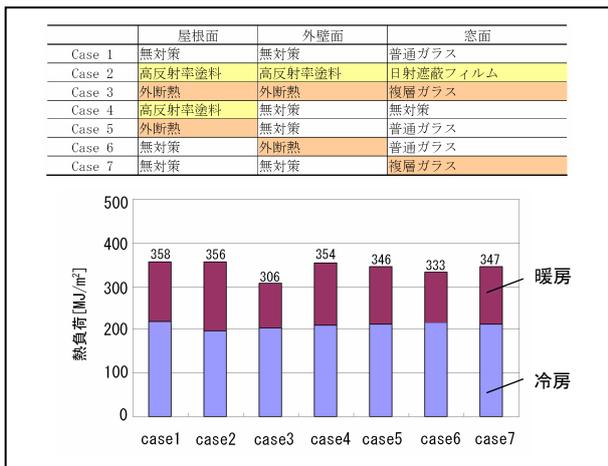


図 3 年間熱負荷計算結果(杉並)

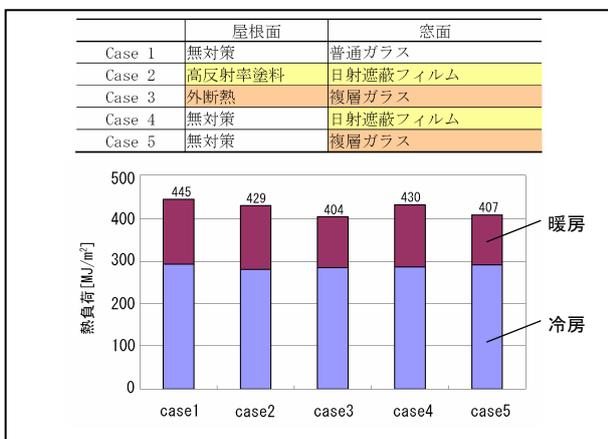


図 4 年間熱負荷計算結果(つばさ)

3. 教室内環境の実測評価

(1) 教室内 CO₂ 濃度

2009 年 5 月からのデータを用いて、CO₂ 濃度の測定値が文部科学省の「学校環境衛生基準」¹⁾の基準値である 1,500ppm を超えた日数を図 5 に示す。

- ・冷房期間である 7 月、9 月で基準を超えたのは約 10 日間。中間期 (5、6、10 月) の約 2 倍。
- ・暖房期間である 11 月、12 月は更に多く 10~15 日間。

空調の導入により、冷暖房期間における換気が十分に行われず、室内環境が悪化している実態が分かった。

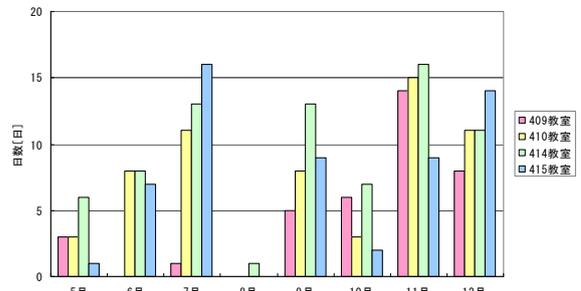


図 5 CO₂ 濃度が 1,500ppm を超えた日数

つばさ総合高校における暖房期、冷房期の代表日における室内の CO₂ 濃度の推移を図 6~図 9 に示す。在室者の判断に任せただけの場合、全熱交換器型換気扇は運転されず、授業時間中に CO₂ 濃度が増大し、基準値を大きく上回ることが確認された。特に暖房時に全熱交換器型換気扇を運転すると、換気吹出口周辺の温熱環境が著しく悪化すると考えられ、全熱交換器型換気扇が運転されない要因の一つと考えられる。一方、全熱交換器型換気扇を運転させたところ 1,000ppm 近くを推移しており、換気の適切な運用がなされれば、基準が満たされることが分かった。

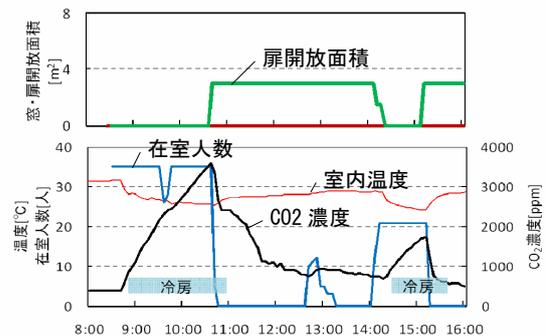


図 6 冷房期 CO₂ 濃度 (全熱交換器型換気扇運転なし)

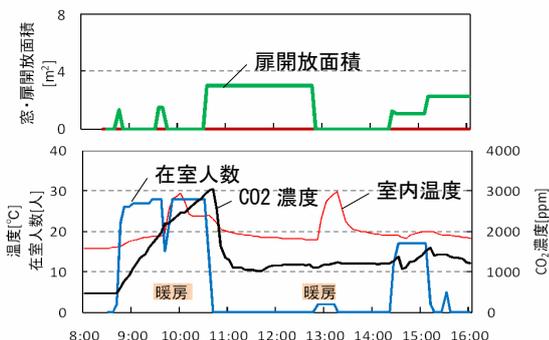


図 7 暖房期 CO₂ 濃度 (全熱交換器型換気扇運転なし)

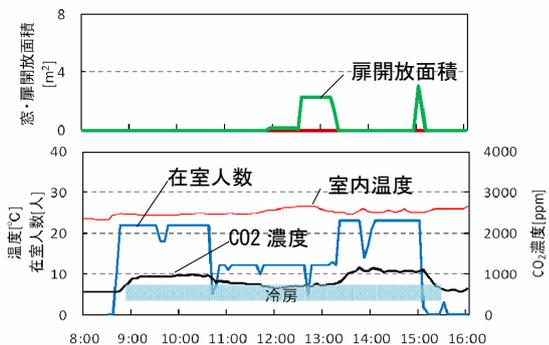


図 8 冷房期 CO₂ 濃度 (全熱交換器型換気扇運転あり)

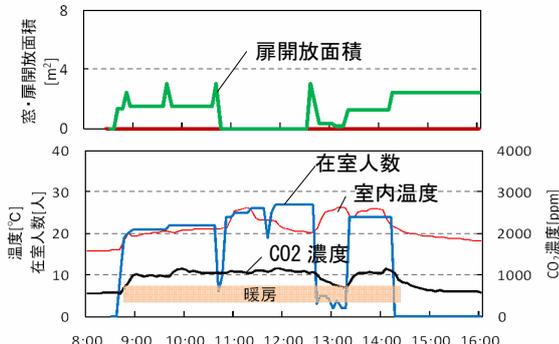


図 9 暖房期 CO₂ 濃度 (全熱交換器型換気扇運転あり)

(2) 教室内音・気流環境

室内の等価騒音レベルおよび風速について実測を行った。測定位置を図 10 に、結果を図 11～図 12 に示す。空調を実施している状態で全熱交換器型換気扇を運転しなかった場合、騒音レベル 50dB 以下、気流 0.2m/s 程度以下であった。これに対して、全熱交換器型換気扇を運転した場合、騒音レベルは 50dB 程度と大差はないが、換気吹出口下方の気流が 0.8m/s 以上となっており、基準値を (0.15m/s) 大きく上回る結果となった。気流環境の悪化が全熱交換器型換気扇が運転されにくい要因の一つとして考えられる。

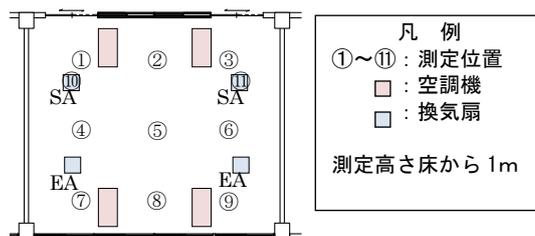


図 10 音・気流環境測定位置

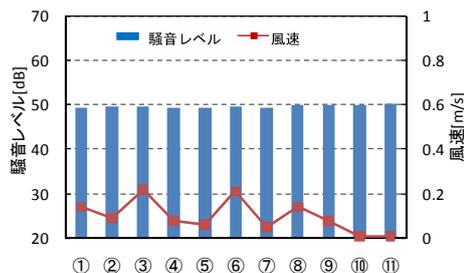


図 11 音・気流環境 (全熱交換器型換気扇運転なし)

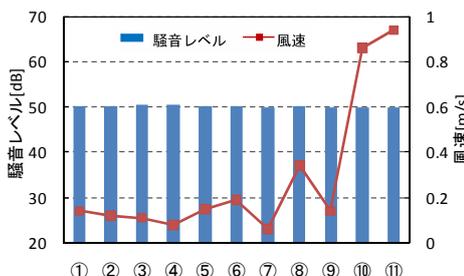


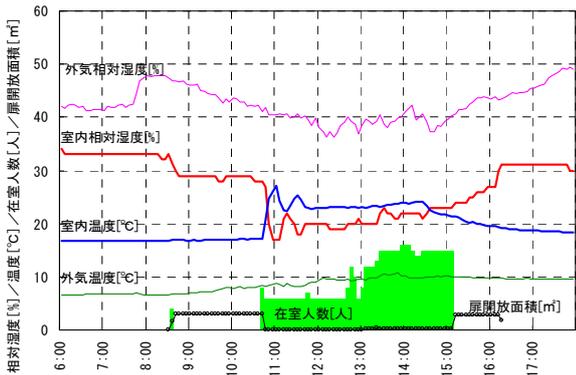
図 12 音・気流環境 (全熱交換器型換気扇運転あり)

(3) 教室内相対湿度

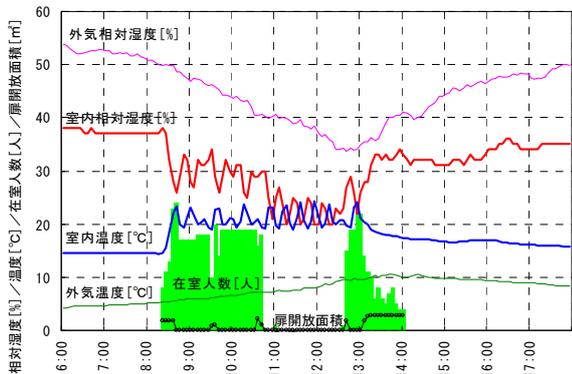
インフルエンザウイルスは乾燥状態で感染力が強まるため、室内の湿度を高い水準に保つことが感染拡大の予防となる。「学校環境衛生基準」では、室内における望ましい相対湿度を 30～80%としているが、加湿装置が備わっていないのが一般的であり、冬期の乾燥時において、生徒は 1 日の大半を低湿度環境で過ごすこととなる。生徒の安全管理の点からも、加湿による適切な湿度環境の形成が重要となる。

全熱交換器型換気扇運転時における教室内相対湿度の経時変化を図 13 に示す。つばさ総合高校では、生徒が在室し、暖房を実施している時間帯には、相対湿度が 20%程度まで下降している。加湿器を設置している杉並工業高校では、相対湿度が 30%を下回る時間もあるが、平均すれば 30%程度を確保している。

今後、校内でのインフルエンザ流行を防ぐためには、適切な加湿をいかに行うかを検討することが求められる。



(a) つばさ総合高校



(b) 杉並工業高校

図 13 室内相対湿度経時変化（全熱交換器型換気扇運転あり）

4. スクールコントローラーの実測評価

4.1 スクールコントローラーの導入

平成 21 年度より、つばさ総合高校の普通教室 6 教室にスクールコントローラー（システム）を導入し、空調設備機器に加え照明・換気設備機器を制御対象に加えた。また、環境計測を行い、室内環境の見える化を図るとともに環境の保全を図れるシステムとした。本項では、制御対象諸設備の運転データおよび環境データを収集することにより新たなスクールコントローラーシステムで制御された場合に予測される効果の評価を述べる。

4.2 時間割スケジュール制御システムの概要

時間割スケジュール制御システムは教室毎にあらかじめ設定した時間割に従って自動的に空調・照明・換気機器の発停制御を行う。発停のスケジュールは各教室または先生別に時間割予定を Web ブラウザからスケジュールサーバ（PC）に入力する。これを元に制御対象設備の発停許可を各教室に設置したルームコントロー

ラーに発信し制御を行うと同時に環境計測を行う。つまり、時間割に基づいて授業のあるときだけを対象に、機器の運転許可を出すことで、授業時間帯以外の無駄な機器の運転を防止することが可能であり、同時に教室内の環境の適正化も図ることができる。

システム構成を図 14、図 15 に示す。時間割スケジュール制御システムは監視管理を行う時間割スケジュール制御 PC と各教室に設置され、機器への制御と計測データを収集するルームコントローラーおよびセンサー類にて構成される。通信には校内 LAN 設備を使用し導入を容易にするとともに拡張性を持たせている。制御プロトコルには仕様の公開されている O B I X を使用し、拡張の自由度を確保している。また教室単位で段階的な導入が行えるようなシステムとなっている。

時間割スケジュール制御システムは既存のスケジュールソフト（教室変更にあわせ設定変更）と通信・監視・データ保存を行う O B I X ソフトウェアで構成される。監視画面は各教室の発停状態と環境状態を常時表示する。各データは C S V 形式にて PC に保存される。

なお各教室には自動手動切替スイッチが設置されており、手動時には従来通りの操作ができ、非常時や突発的な教室利用時にも柔軟に対応できるようになっている。

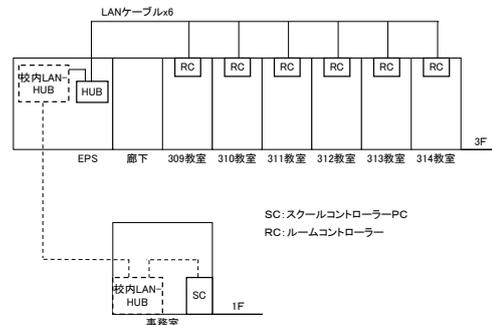


図 14 時間割スケジュール制御システム概要図

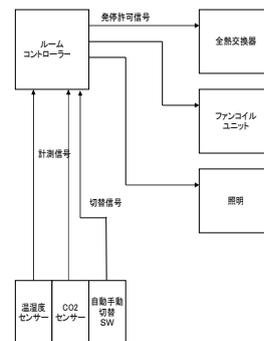


図 15 各教室内システム概要図

4.3 対象建物および設備の概要

導入した都立高校では空調設備としてファンコイルユニット(以下、FCU)、換気設備として全熱交換器型換気扇が各教室に導入されている。対象教室(309～314)は3階にあり、東向きの一続きの教室である。普通教室として使用され、使用率は高い。授業前にショートホームルーム(SHR)、授業後にショートホームルームおよび清掃が行われる。生徒の昼食および休憩にも使われる。授業後には吹奏楽部の練習に使われ、土日にも不定期で使用される。練習は通常、数人単位で教室を分けて行われている。

空調・照明・換気の各設備は教室の手元スイッチにて運用を行っているのが現状である。FCUは強中弱が選択できるようになっている。FCUはオンオフ弁が付いているのみで一般的な室内温度に対する制御システムはない。在室者が必要に応じて手で強中弱スイッチを押して調節する仕組みとなっている。全熱交換器型換気扇はモードが全熱交換換気モードと普通換気モードを選択でき風量は2段階の選択ができる。照明は5系統に分かれておりそれぞれを独立して点灯させることができる。加湿設備は無い。

4.4 時間割および基本スケジュール

表3、表4に3学期の時間割および基本スケジュールを示す。基本スケジュールに関しては授業前後の在室を考慮して、5分から10分程度の余裕をもたせている。また昼食にも使用されるので、昼食時間帯には運転許可指令が出るように設定してある。

基本スケジュール以外の時間外の運用については、事前申請により当日スケジュールに直接入力して管理を行い、事前申請が間に合わないケースについては自動手動切替スイッチを手動側に切替えて使用し、退室時にはスイッチを自動側に切り替えることを基本としている。

表3 時間割

教室	月						火						水						木						金					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
309	23-進	2-1	2-12b				2-進	23-進	2-進	23-進	2-進	23-進	2-1						23-進	2-1	2-12b	2-1	2-12b	2-1	23-進	2-1	2-12b	2-1	2-12b	2-1
	日本史B③	保健	英II	古典①	世界史A③		日本史B②	世界史A④	日本史B③	LHR									日本史B②	現文	英II	現文	英II	現文	日本史A⑤	奉仕・総合				
310	23-進	2-2	2-12a	2-進			23-進	2-進					2-2	2-進	2-進				2-進	2-2	2-12a	2-2	2-進	2-2	2-進	2-2	2-12a	2-2	2-進	2-2
	生物I①	現文	英II	世界史B①			生物I②	中国語	世界史A⑤	LHR	国表I①	世界史B①	地理A①	現文	英II	保健	国表I③	奉仕・総合	英II	現文	英II	現文	英II	現文	国表I③	奉仕・総合				
311	2-進	2-34b		2-進	23-進	2-進	23-進	2-進	2-進	23-進	2-3	2-3	2-進	2-進	2-進				2-34b	2-3	2-3	2-3	2-進	2-3	2-進	2-3	2-34b	2-3	2-進	2-3
	数学II①	英II		世界史A②	日本史A②	古典③	数学B①	日本史A③	現文	LHR	数学II①	古典⑤	国表I②						英II	現文	保健	日本史A⑤	奉仕・総合		日本史A⑤	奉仕・総合				
312	2-進	2-34a		2-進	2-進	2-進	2-進	2-進	2-進	2-進	2-4	2-4	2-進	2-進	23-進				2-34a	2-4	2-4	2-4	23-進	2-4	2-進	2-4	2-34a	2-4	23-進	2-4
	数学II②	英II		日本史A①	数学A①	数I A②X①	数学B②	数学A②	現文	LHR	数学II②	生物I⑤	簿記						英II	現文	保健	簿記	簿記	奉仕・総合	簿記	奉仕・総合				
313	3-進	2-34b	2-5	2-進									2-5	2-5	3-進	2-進	2-進	2-34b	2-5	2-56b	23-進	2-5	2-5	2-進	2-5	2-34b	2-5	23-進	2-5	
	世界史B①	現文	日本史B①										現文	LHR	化学I①	化学I②	化学I②	化学I②	英II	現文	英II	現文	英II	現文	化学I②	英II	化学II①	奉仕・総合		
314	23-進	2-6	2-6	2-進	3-進								2-6	2-6	23-進	2-進	2-進	2-6	2-6	2-56a	2-6	2-56a	2-6	2-進	2-6	2-56a	2-6	23-進	2-6	
	化学Iα①	現文	化学Iβ①	化学II①									保健	LHR	生物I④	化学Iβ①	生物I⑥	英II	現文	英II	化学II①	奉仕・総合		化学II①	奉仕・総合					

4.5 実測結果および評価

(1) 運用状況

各教室の時間割スケジュール制御運転時間(自動)と手動による運転時間の比率を図16に示す。これより各教室の運用に差異が見られることが分かる。導入開始直後なので、まだ運用の仕方が浸透していないものと思われる。310と311教室については自動運用率が50%程度と低い。全体でも70%弱となっている。

今回手動運用の比率が多かったのはスケジュール設定のミスマッチも要因のひとつであると思われる。こうした点を実情に合わせれば自動運用比率が向上すると考えられる。同時に生徒への啓発活動も必要である。

部活時間帯の運用については部活が不定期のためスケジュールリングが難しく、手動による運用となっている。時間割スケジュール制御でどのように対応するのが良いかは今後の課題と考える。

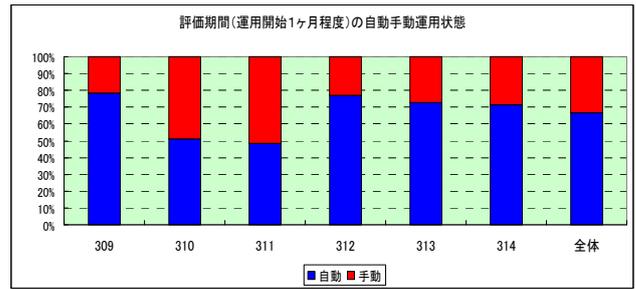


図16 各室自動運転比率

(2) 空調運転と室内温度

室内温度の測定データとして310教室の測定結果を図17に示す。図中には室温と運転状況および外気温度を示す。外気温度は一日中10℃以下であった。310教室においては、室温が運転許可の出た時刻から15分程度で20℃に達している。運転が許可されている授業時間帯はほぼ20℃以上に保たれており、授業時間外は運転が停止し温度が降下しており適切な運用がされている事が分かる。

表4 基本スケジュール

No	時間	開始	終了
1	SHR	8:20	8:45
2	1時限目	8:45	9:40
3	2時限目	9:40	10:40
4	3時限目	10:40	11:40
5	4時限目	11:40	12:35
6	昼休み	12:35	13:20
7	5時限目	13:20	14:15
8	6時限目	14:15	15:10
9	SHR・清掃	15:10	15:30
10	7・8時限目	15:30	17:10
11	課外1	17:10	18:10
12	課外2	18:10	19:10
13	課外3	19:10	20:10

図 18 に 310 教室の 1 月 14 日のデータを示す。30℃近い室温は明らかに過剰暖房である。F C U の手元スイッチの強中弱で適温を制御するのは困難であることがわかる。ルームコントローラーで室温を管理して F C U を停止させる方法など、今後の課題である。

(3) 室内の湿度

データの一例を図 19 に示す。室内湿度については、外気湿度、人体からの発汗、室内温度等の影響を受けており、加湿設備がないことから、授業時間中は 10~30% と低く、環境が良いとは言えない。加湿設備を設けることが対策のひとつであるが、工事規模やコストを考えると、各室に個別の加湿器を設置するのが妥当だと考えられる。

(4) 換気運転と室内 CO₂ 濃度

室内 CO₂ 濃度のデータを 310、311 教室について図 20 に示す。310 教室 (図 20(a)) において、CO₂ 濃度は生徒の入室に伴って上昇し、全熱交換器型換気扇が運転されている時間帯には 1000ppm 前後で推移している。ピークでも 1200ppm 程度となっており、基準内に納まっている。一方、311 教室 (図 20(b)) では、CO₂ 濃度は 3000ppm 前後まで上昇していることから、全熱交換器型換気扇が運転されていないと考えられる。授業が始まってから運転せず、室内環境の悪化に気付いて初めてスイッチを入れると考えられる。CO₂ 濃度については温度より体感しにくいのでこのような状況になっていると考えられる。授業時間中に谷があるのは温度と同様に休憩時間中に扉の開閉があるためと考えられる。CO₂ 濃度が急激に降下する現象があるが、教室を退出する時に扉が開放されるためと考えられる。

全熱交換器型換気扇が運転されていない場合があることについては、学校側での運用の指導も重要と思われるが、CO₂ センサーが設置されていることから、濃度によるオンオフ制御を組み込むことによりこのような課題を解決することも可能である。

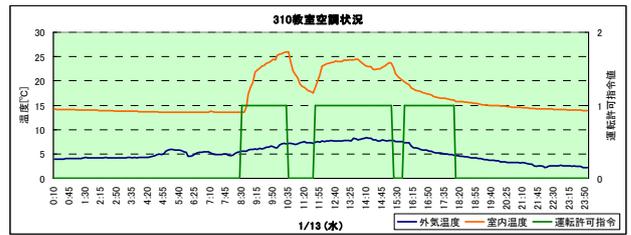


図 17 310 教室の運転状況と温度データ (1 月 13 日)

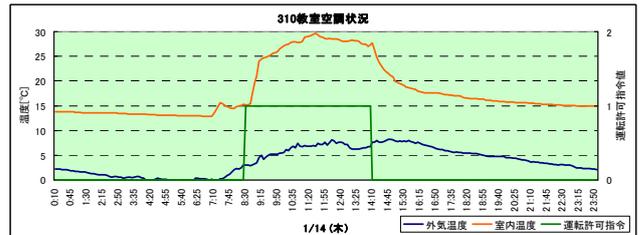


図 18 310 教室の運転状況と温度データ (1 月 14 日)

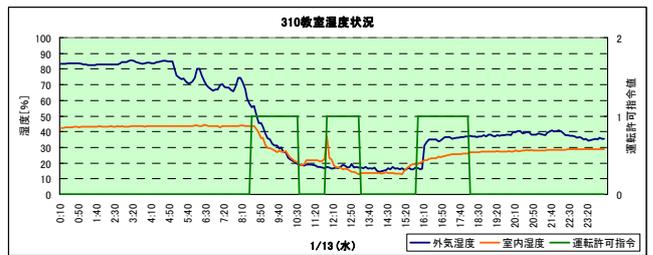
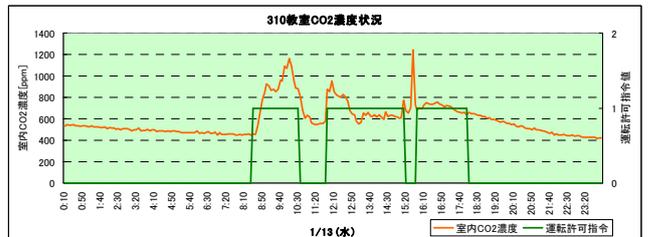
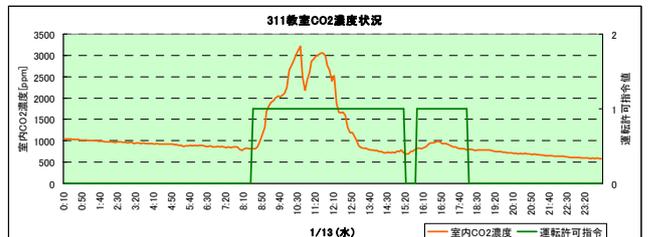


図 19 310 教室の運転状況と湿度データ



(a) 310 教室



(b) 311 教室

図 20 310 教室、311 教室の運転状況と CO₂ 濃度データ

(5) 省エネルギー効果試算

対象教室は普通教室としてSHR(ショートホームルーム)や昼食にも利用され授業後は吹奏楽部の練習に使用されている。実際の運用スケジュールを表5に示す。朝から部活動時間(7・8・課1)まで全日運転した場合と本システムによるスケジュール管理を行った場合を比べると、表6に示すとおり週単位の運転時間で比較して、平均で88%まで短縮できる。このことから本システムの目的機能により、12%の無駄になる可能性を排除できる。また表7に示すとおり部活時間の実際の空調の運用については7時限の時間帯で適温に達し入室者が運転を停止しているため利用時間比率は31%となっている。

これらのことから省エネ効果を試算すると全時間帯で12%程度、授業時間外の空調で70%程度の省エネが見込める。手動で運転された時間については不明であるが、実際には職員や教師の見回りで消し忘れ等はほとんど無かったという報告があることから、試算値に沿った結果が得られるものと考えられる。

表5 実際の運用スケジュール

教室	月							火							水							木							金													
	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
309	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
310	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
311	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
312	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
313	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
314	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
全日運転	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表6 各教室運転時間

教室	運転時間 h	比率 %
309	40.5	82%
310	44.6	91%
311	47.3	96%
312	46.1	94%
313	42.2	86%
314	39.7	81%
平均	43.4	88%
全日運転	49.2	100%

表7 時間外空調運用実態

	運転時間	比率	7	8	課1
実績	0:50	31%	○		
スケジュール	2:40	100%	○	○	○

5. 太陽光発電設備の実測評価

(1) 発電電力量

太陽光発電設備の実測評価を昨年度より引き続き実施した。月別の発電量の推移を図21~図25に示す(一部、測定データの欠損を補完している)。

例外はあるものの、おおむね年間を通して4月が最も発電量が多い結果となっている。

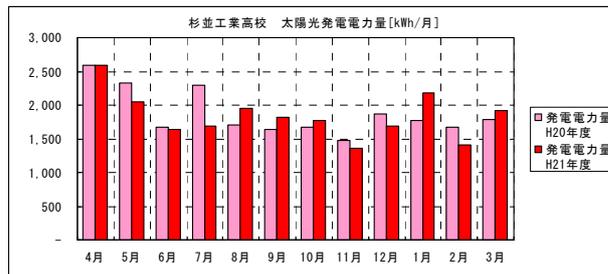


図21 杉並工業高校の太陽光発電電力量

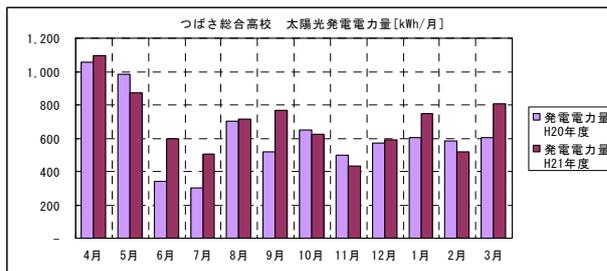


図22 つばさ総合高校の太陽光発電電力量

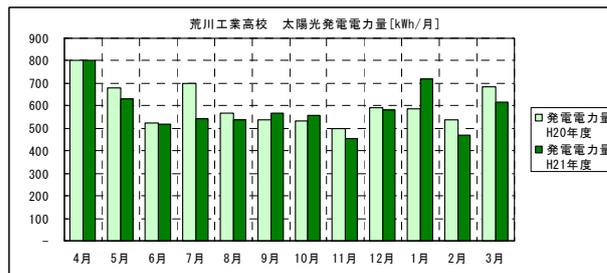


図23 荒川工業高校の太陽光発電電力量

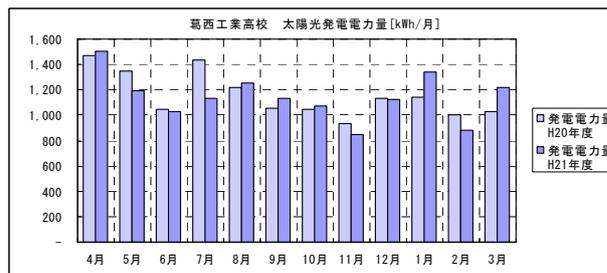


図24 葛西工業高校の太陽光発電電力量

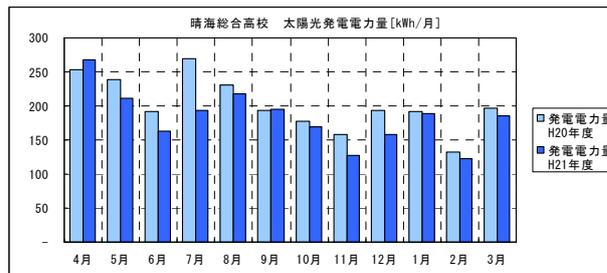


図25 晴海総合高校の太陽光発電電力量

(2) 経年変化

杉並工業高校に設置された太陽光発電設備の発電効率（全天日射ベース）について、平成 21 年度と平成 20 年度とを比較したものを図 26 に示す。これによると、気象条件の違い等の変動要素はあるものの、全体的に平成 21 年度の方が効率がよく、1 年間での経年劣化は認められない。

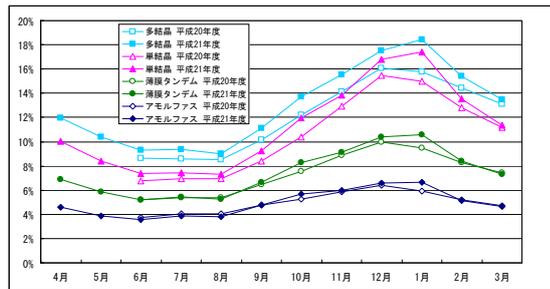


図 26 発電効率（全天日射量ベース）の推移

6. CO₂削減効果およびコスト分析

(1) 建物外皮対策

1 教室あたりのコスト分析を表 8、表 9 に示す。杉並工業高校のような築年数の古い建物において外皮の対策を行うことは、かなりのコストを伴うこととなる。CO₂ 排出削減効果はあるものの、費用対効果は高くない。その中で最も費用対効果が高いのは窓を複層ガラスとする対策であり、CO₂ 削減コストが 47 万円/t-CO₂ となる（表 8）。

つばさ総合高校のように築年数の新しい建物においては、窓の対策が効果的であり、日射遮蔽フィルムも複層ガラス同等の効果がある。CO₂ 削減コストは 20 万円/t-CO₂ 以下であり、杉並工業高校よりも費用対効果が高い（表 9）。

(2) スクールコントローラー

スクールコントローラーは、CO₂ 削減コストは約 10 万円/t-CO₂ と試算され、建物外皮対策に比べて費用対効果が高いことがわかる（表 8、9）。

(3) 太陽光発電

太陽光発電設備のコスト分析を表 10 に示す。太陽光発電設備は、架台、ケーブル設備工事が工事費全体の半分近くを占めることから、パネルが多少高価であっても、効率の高いものを選択した方が、費用対効果が向上する傾向がある。今回の比較では、多結晶型が安価で効率が高かったため、費用対効果が最も高く、4 万円/t-CO₂ 以下という結果であった。

※以上の試算において補助金は考慮していない。

表 8 外皮対策、スクールコントローラーのコスト分析（杉並工業）

	オール高断熱 case3	屋上外断熱 case5	外壁外断熱 case6	窓複層ガラス case7	スクールコントローラー
工事費[円]	2,340,000	1,040,000	1,000,000	300,000	500,000
エネルギー削減費[円/年]	6,350	1,659	3,872	1,383	8,308
単純回収年数[年]	368.5	626.7	258.3	216.9	60.2
CO ₂ 排出削減量[kg-CO ₂ /年]	133	35	81	29	170
CO ₂ 削減コスト[円/t-CO ₂] (耐用年数 20 年)	829,755	1,444,565	567,293	468,907	98,456

※1 教室あたり

表 9 外皮対策、スクールコントローラーのコスト分析（つばさ総合）

	窓日射遮蔽フィルム case4	窓複層ガラス case5	スクールコントローラー
工事費[円]	170,000	480,000	500,000
エネルギー削減費[円]	1,515	4,040	7,043
単純回収年数[年]	112.2	118.8	71.0
CO ₂ 排出削減量[kg-CO ₂ /年]	38	102	177
CO ₂ 削減コスト[円/t-CO ₂] (耐用年数 20 年)	182,337	195,389	101,461

※1 教室あたり

表 10 太陽光発電設備のコスト分析（太陽光パネル 50 m²を設置した場合）

	単結晶	多結晶	薄膜タンデム
工事費[千円]	5,957	5,428	6,438
エネルギー削減費[円]	123	153	86
単純回収年数[年]	48.4	35.4	74.6
CO ₂ 排出削減量[kg-CO ₂ /年]	2,450	3,050	1,716
CO ₂ 削減コスト[円/t-CO ₂] (耐用年数 20 年)	71,302	38,722	137,315

(4) 都立高校全体への展開

都立高校全体に対して、対策を行った場合における CO₂ 排出削減効果の試算を行った。結果を表 11 に示す。外皮対策が 2,990t-CO₂/年と最も大きく、次いでスクールコントローラーが 1,741t-CO₂/年と試算された。太陽光発電は設置できる面積が 1 校あたり 50 m²程度に限られると仮定したこともあり、620t-CO₂/年と試算された。

表 11 CO₂削減量試算のまとめ

対策	A：導入効果 原単位	導入対象	推計方法	CO ₂ 削減量 (t-CO ₂ /年)
①建物外皮対策 ・外断熱 ・日射遮蔽フィルム ・窓複層ガラス	高校タイプ別 CO ₂ 排出削減率 ・つばさ総合高校タイプ：5.2% ・杉並工業高校タイプ：6.8%	全ての都立高校 ・総数 約 200 校 ・総延床 2,683,272 m ²	タイプ別全高校 CO ₂ 排出量×A (原単位)	2,990
②スクールコントローラー	CO ₂ 排出削減率 約 12% (冷暖房および照明用について)	全ての都立高校 ・総数 約 200 校 ・総延床 2,683,272 m ²	冷暖房・照明用 CO ₂ 排出量×スクールコントローラー導入率(50%)×A (原単位)	1,741
③太陽光発電	CO ₂ 排出削減率 0.062t-CO ₂ /年・m ²	全ての都立高校 ・総数 約 200 校	パネル平均設置面積(50m ² /校)×施設数×A (原単位)	620
合計	-	-	-	4,718

7. まとめ

本調査における到達点と今後の課題について以下に整理する。

(1) 建物外皮対策

- ・築年数の異なる高校において環境改善対策を行った場合の温熱環境の実態を把握することが出来た。築年数が新しく断熱性能の高い建物については、窓の対策を実施することが省エネ・省CO₂において効果的であること。築年数が古く断熱性能の低い建物については、各部位バランス良く断熱性能を高めることが効果的であることがシミュレーションの結果より示された。
- ・建物外皮対策はCO₂削減効果という観点では決して費用対効果が高くないが、室内の温熱環境の向上に寄与することも評価する必要がある。
- ・窓の断熱性を高めることは室内の温熱環境だけでなく、適正湿度の確保にも有効であることから、今後、施策に反映するためには、仕様等を詳細に検討する必要がある。

(2) 室内環境の把握

- ・空調使用時期において在室者の判断に任せた場合、全熱交換器型換気扇の運転がされず、CO₂濃度が基準値を大きく上回っている実態を把握することができた。
- ・暖房時に、全熱交換器型換気扇を運転すると、換気吹出口から出る室温より低い空気がそのまま下方に流れることにより、吹出口周辺の温熱環境が悪化することから、換気設備の使用が避けられていると考えられる。良好な温熱・空気環境を形成するためには、外調機による換気方式等を検討する必要がある。
- ・また、冬期の教室湿度は、30%以上が望ましいとする「学校環境衛生基準」を下回っており、インフルエンザ感染拡大の懸念がある。校内でのインフルエンザ感染拡大を防止するために、冬期の加湿をどのように行うか今後検討していく必要がある。
- ・冬期に暖房・加湿を行う場合、結露による湿度低下を避けるために、窓の断熱性能を高めることが重要となる。暖房時に良好な温熱・空気環境を形成するためには、外気を外調機等により暖めてから室内へ導入するような空調方式が考えられる。

(3) スクールコントローラー

- ・今回の測定で、人間の判断に頼る運用から自動制御システムを用いた厳密な運用に移行することにより、省エネルギーが期待できることがわかった。省エネルギー効果を試算したところ、全時間帯で12%、授業時間外の空調で70%程度の省エネが見込める結果となった。
- ・構内LANを利用することで簡易に導入が図れることを確認した。
- ・スケジュールの登録や変更作業などの維持管理業務が発生することから、利用者がより平易に扱えるようなインターフェースを検討する必要がある。
- ・今回手動運用の比率が多かったのはスケジュール設定のミスマッチも要因のひとつであると思われる。この点を実情に合わせれば自動運用比率が向上すると考えられる。同時に生徒への啓蒙活動も必要である。
- ・部活時間帯の運用については部活が不定期のためスケジュールリングが難しく、手動による運用となっている。スクールコントローラーでどのように対応するのが良いかは今後の課題と考える。

(4) 太陽光発電設備

- ・セルの違いによる効率の違い、設置角度による効率の違い、温度による効率の違い等がわかり、費用対効果が把握でき、今後の高校全体への展開にあたっての判断材料として有用なデータを得た。
- ・近年はシリコン価格の高騰により、シリコン製パネルの価格は高止まりしており、セルにシリコンを使用しないタイプの太陽電池も開発されている。技術の進展と経済情勢により、費用対効果も変動することから、なるべく最新情報を取り込んで、セルの種類を選定していく必要がある。

参考文献

- 1) 「学校環境衛生基準」(平成21年度文部科学省告示60号)

