公立小中学校への空調機の一斉導入に関する研究

PFI手法の有効性及び省エネルギー効果の評価

RESEARCH ON SETTING UP AIR-CONDITIONERS INTO
PUBLIC SCHOOLS AT ONE TIME

Evaluation of the validity and the energy saving effects by PFI method

伊坂 善明*, 飛田 国人**, 松原 斎樹***

Yoshiaki ISAKA, Kunihito TOBITA and Naoki MATSUBARA

This paper discussed the evaluation of the validity and the energy saving effects by PFI method in setting up air-conditioners into public schools. The main results are as follows:

- 1) As for installing air-conditioning into public schools, the number of cases where air-conditioners are set up in elementary or secondary schools at one time, is increasing. We use lease and PFI (Private Finance Initiative) method in many cases. We have two strengths for lease method: (a) merit on financing, (b) easiness for installing. On the other hand, PFI method has more advantages such as risk transference to private companies, utilization of private companies' operation know-how as well as merit for financing, and PFI method is a more useful way to use private companies' know-how.
- 2) We found that, in the schools where PFI method is adopted, the energy consumption by air-conditioner was lower than in the schools where conventional or lease method was adopted. For this reason, we have two specific points: (a) the latest model whose running cost was very low was adopted, (b) private operators are surely implementing maintenance and instruction for operation.

Keywords: schools, PFI (Private Finance Initiative), air-conditioners, energy saving effects, validity

学校, PFI, エアコン, 省エネルギー, 有効性

1. はじめに

小学校の教室における熱環境については、斎藤ら¹⁾は、夏季の空調をしていない教室の温度が 30℃を超え、小中学生にとってはかなり過酷な環境であることを示している。小学校高学年の子どもの暑熱環境における発汗能力は男子大学生の半分程度であり、小学校低学年の子どもの体温調節はさらに未発達である²⁾。ゆえに暑熱環境下では、成人よりも子どもの方が熱疲弊しやすく、知的生産性の向上のためにも教室の温熱環境を改善することが望まれている。

学校教室の温熱環境の改善は、本来は建物の断熱・日射遮蔽性能を向上させる改修が必要であるが、そもそも建物の性能向上に対する社会的理解度が高いとは言えない上に、自治体の予算の制約で、全ての教室の温熱環境の改修対策はほとんど進んでいない。

一方、エアコンの導入もあまり進んでおらず、小中学校の普通教室の冷房化率は全国平均で 2007 年に 10.2%である³⁾。しかし、2004 年に大阪府が府立高校の全ての普通教室に単年度に一斉にエアコンを導入したこと（以後、このことを「一斉導入」と記す）を端緒に、2006 年には京都市が PFI (Private Finance Initiative) 制度を利用

して、市内全小学校普通教室にエアコンを一斉導入した。これらを受けて、2008 年に長岡京市、枚方市で、2009 年に川崎市で、全ての小学校や中学校に導入された。このように、公立学校へのエアコンの一斉導入は急速に拡がりを見せている。2010 年の全国的な猛暑現象は、この動きに拍車をかけている。

PFI 事業に関しては、美原⁴⁾は従来型の事業方式と PFI 方式のマネジメントが異なることを事業実現の手順と時間・費用の管理の面からまとめている。辻本ら⁵⁾は英国で生まれた PFI 手法が日本で適用されるまでの成立過程を詳細に整理し、PFI の運用のありうる類型化とそれぞれの評価を行った。特に建築の質に関する議論が当初から抜け落ちていたこと、既存の制度との境界部で問題が生じることが認識されていたにもかかわらず、制度の改訂によらず、運用面の対応で乗り切ろうとしたことなどを明らかにし、そのため、運用としての PFI がより複雑になったことが、建築の質の評価を先送りし、VFM^{註1)}の産出を優先するような状況を生み出していることを明らかにした。服部ら⁶⁾は、官民の実務経験者に対するアンケート調査により、VFM の評価に対して、官の側では「支払い」に限定

* 三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング㈱

** 大阪府立大学現代システム科学域 准教授・博士(学術)

*** 京都府立大学大学院生命環境科学研究科 教授・工博

Mitsubishi UFJ Research and Consulting Co., Ltd.

Assoc. Prof., College of Sustainable System Sciences, Osaka Pref. Univ., Ph. D.

Prof., Division of Environmental Sciences, Kyoto Pref. Univ., Dr. Eng.

したものとの理解が多い一方、民の側では「サービスの価値」の評価を期待する意見が多く、官民の意識に大きな違いがあることを明らかにしている。PFI が健全な発展をしていくためには、VFM が単に支払いの問題ではなく、サービスの価値を評価し、質の高いサービスを提供することを目指すべきであるとしている。

水川ら⁷⁾は、PFI 事業における建築生産プロセスを整理する中で、発注者業務の性格が変化してきていること、特に主体機能が発注者と設計者・施工者との二重構造となってきたことを明らかにし、契約締結後には、発注者の意図が要求水準以上のことを要求できないとする硬直的な理解によって、結果的に VFM の改善を阻害していることを述べている。

森⁸⁾は、具体的な PFI プロジェクトにおける民間事業者グループの提案書作成時における意思決定プロセスを調査することによって、デザインの質の向上が十分に図れない実態を明らかにしている。

以上のように、PFI に関する研究は経済学や法学のほか建築学分野では、建設マネジメント、建築計画の分野で進められてきたが、建築の質の面が十分に評価されにくいという問題点があることを共通に指摘している。しかし、環境工学分野では、PFI 制度についてほとんど研究されていない。小中学校へのエアコン設備の一斉導入の PFI 事業は、建物を新築する多くの PFI 事業とは異なり、質の評価が比較的行われやすく、複数の改修工事を同時期に一斉に行うことができることなど、環境設備の整備を効率的に進める上で優れた側面がある。また、建築物の PFI では設計・建設と資金調達に重点があり、維持管理運営部分の役割が小さいのに対し、環境設備の場合は運営部分が重要であるため、設計・建設から維持管理運営まで一括して行う PFI の利点を活かせる可能性がある。その意味で、環境工学分野からも十分なアプローチが必要と考えられる。

また、内閣府は PFI における省エネルギー化の方針を示しており、実際のエネルギー消費量や運用状況及び温熱環境の改善効果が把握されないまま、小中学校へのエアコン導入を全国的に推し進めることは困難である。したがって、小中学校へのエアコン導入に PFI を適用することによる環境負荷の削減効果や、温熱環境の改善効果を実証する必要がある。著者らは、2008 年 8 月に PFI 手法により全普通教室にエアコンを一斉導入した京都府長岡京市の公立小中学校 13 校を対象として、2008～2011 年度の 4 カ年にわたる調査を行っている。そのうち、2009 年の夏期に行なった教室の温熱環境の実測調査と児童・生徒及び教員に対するアンケート調査を基に、エアコン導入による温熱環境改善効果及び教育面・健康面の効果について、既報で明らかにしている⁹⁾。しかし、PFI 手法による学校空調におけるエネルギー消費実態を明らかにした研究は今までにない。

以上のような背景から本研究は、小中学校普通教室へのエアコン一斉導入手法の実態把握と、運用開始後のエネルギー消費量の把握を行い、PFI 手法の評価を行うことを目的とする。

2. 学校へのエアコン導入手法

公立小中学校へのエアコン導入手法は、従来型の工事発注方式(以後「従来型方式」と略す)、リース方式、PFI 方式の 3 つに分けられる。

従来型方式では、公立小中学校へのエアコン導入事業も基本的に公共施設の改修工事であるために、通常の工事発注と同様の手続き

によって行われる。この方式では、設計によってエアコンの仕様や配置などを決定した後に、工事業者によって改修工事を行い、工事完了後の維持管理は別途、必要に応じて維持管理業者に委託する。個別契約・単年度契約を原則としている。公立小中学校は公平性の観点から重視されるため、基本的に全ての学校を同時期に冷房化することが望ましく、従来型方式では一時期に多額の工事予算が必要となる。

リース方式は、事務機器の調達などに広く活用されている手法をエアコン設置工事に活用したものである。民間資金により設置したエアコン(資産)をリース(賃貸)し、公共団体からの支払いで投資を回収した後に、事業者が公共団体へエアコンを無償譲渡する方式である。一時期の多額の工事費を分割で支払うことが可能であるが、特別に法的に担保されたものではない。

PFI 方式は、1999 年 7 月に制定された PFI 法(民間資金等の活用による公共施設等の整備等の促進に関する法律)に基づいて発注契約する方式である。PFI 法により民間の資金、経営能力及び技術的能力を活用した公共施設等の建設、維持管理及び運営の促進を図るための法的措置が講じられることになった。この制度を利用することによって、民間資金を活用して多額の工事費を調達することや、従来型では別々に発注・契約を行ってきた設計、工事、維持管理等を一括して行うことも法的に可能になった。

PFI 方式は、資産の所有形態によって、BOT 方式と BTO 方式の 2 種類がある。

BOT 方式(Build Operate Transfer)は、PFI 事業者が施設・設備を建設(Build)し、契約期間中、管理・運営(Operate)を行い、契約期間終了後、公共主体に移管(Transfer)する方式である。

BTO 方式(Build Transfer Operate)は PFI 事業者が施設・設備を建設(Build)した後、施設・設備の所有権を公共主体に移管(Transfer)したうえで、PFI 事業者が管理・運営(Operate)を行う。

3. 調査の方法

3.1 事例調査

全国において 2006 年から 2009 年にかけて、公立小中学校及び公立高等学校において、エアコンの一斉導入事業を実施した 10 例に関して、HP や自治体ヒアリング、民間事業者ヒアリングなどで以下の内容に関して情報収集した。

- ・ 事業方式 (PFI 方式、リース方式など)
- ・ 利用エネルギーの指定 (電気、都市ガスなど)
- ・ 設備方式 (ガス方式 (GHP)、電気方式 (EHP) など)
- ・ 対象と規模 (学校数、導入教室数など)
- ・ 事業者選定方式
- ・ 事業スケジュール
- ・ 事業期間
- ・ 特徴 (エアコンの性能保証など)
- ・ その他 (VFM、事業者の創意工夫、競争性の確保など)

3.2 エネルギー消費量調査

PFI 方式、従来型方式、リース方式のそれぞれによってエアコンを設置した公立小中学校のエアコン利用によるエネルギー消費量を

調査した。PFI方式によってGHPのエアコンを設置した学校としては、京都府長岡京市の公立小中学校13校を対象とした。エネルギー消費量のデータには、2009～2011年の冷房期（6月から9月）に、PFI事業者が計測した結果を使用した。また、GHPのエアコンを従来型方式で導入したA市とT市の中学校（く中）、リース方式で導入したK市の小学校5校（あ～お小）と中学校2校（か中、き中）のエネルギー消費量について、各学校の了解の上、大阪ガス（株）からデータの提供を受けた。表1は、計測対象の各学校のクラス数を示している。なお、いずれの学校もエネルギー消費量はGHPによるエアコン用のガス消費量のみであり、給湯など冷房以外の用途で使ったエネルギーは含まれていない。

表1 エネルギー消費量計測対象クラス数

	2009年	2010年	2011年
長岡京市内4中学校	96	96	96
その他中学校(T市、A市、K市)	20	47	73
長岡京市内9小学校	199	199	199
その他小学校(K市)	—	—	193

注)K市の小学校には2009年、2010年には一部の教室しか導入されていないため除外した。

4. 結果及び考察

4.1 エアコン導入手法の実態

全国の主な公立学校におけるエアコン導入手法の特徴を整理した

ものが、表2、表3である。以下に概要を示す。

(1) 大阪府立高校事例

「冷たい空気だけ買います」という標語で全国的に注目を集めたように、設備を調達するのではなく「特定役務の提供」によりサービスを購入するという大阪府独特の事業方式である。エアコンは民間が所有するBOT方式。公共側は設備を所有しないため、機器の性能保証を事業者に求めた。一方で、エネルギー費用も事業費に含めたため、入札時点で将来のエネルギー費用が確定してしまい、整備後のエネルギー使用量の変動の扱いが大きな課題となった。

(2) 大阪市立高校事例

大阪府立高校の導入が契機となり大阪市内の市立高校約400教室に導入。同じ地域で先行して府立高校にエアコンが導入されたため、導入を急いだ。そのため、市が仕様提示を行った上で、価格入札で事業者を決定した。事業者募集に際して、ガス方式及び電気方式それぞれの設計図面を標準図として市側が提示して、事業者が選択した。大阪府で課題となったエネルギー費用は、公共側が負担する方式とした。事業者からは設備機器の提案も受けないなど、民間ノウハウの誘導は不十分である。なお、設備を民間が所有すること（BOT方式）を条件としたため、結果的にリース会社によるリース方式となった。

(3) 京都市事例

表2 公立学校におけるエアコン導入手法（その1）

自治体	大阪府	大阪市	京都市	門真市	枚方市
事業方式	BOT的方式 (役務の提供)	BOT的方式 (リース方式)	PFI-BTO方式	リース方式	PFI-BTO方式
利用エネルギーの 指定	指定無し	特に無し	90%以上の学校について同一の方式を採用することを指定	EHPを指定	指定無し
設備方式	GHP:50% EHP:50%	GHP	GHP(ガス未設校はEHP)	EHP	EHP
対象	高等学校への一斉導入事業	高等学校への一斉導入事業	小学校普通教室への一斉導入事業	小中学校への段階的導入事業	幼稚園・小・中学校への一斉導入事業
規模	約3,500教室	約400教室	約2,500教室	22校、約500教室	約2,000教室
事業者選定方式	総合評価型一般競争入札	一般競争入札	総合評価型一般競争入札	指名競争入札	総合評価型一般競争入札
事業スケジュール ①事業者選定 ②導入 ③供用開始 ④契約満了	① H15年度 ② H15年度 ③ H16年度 ④ H28年度	① H17年度 ② H18年度 ③ H18年度 ④ H31年度	① H17年度 ② H17年度 ③ H18年度 ④ H30年度	①H18～19年度 (一部H17年度より) ②H18～19年度 ③H18～19年度 ④H31～32年度	① H19年度 ② H20年度 ③ H21年度 ④ H32年度
事業期間	13年間	13年間	13年間	13年間	12年間
特徴	○民間による施設保有 ○エネルギー方式指定せず ○エネルギー供給含む	○ガス・電気それぞれにエネルギーコストの計算方法や機器仕様を指定 ○価格入札	○我が国初のPFI手法を採用 ○短期一斉導入を実現	○数校～十数校でのリース方式による導入 ○リース会社も指名	○教育環境を総合的な観点で一括化、空調設備以外に校庭芝生化、緑のカーテン等の事業を複合化
その他特記事項	○初期費用は公共が負担し、エネルギー費用は、受益者負担	○価格入札により募集手続き簡素化 ○結果としてリース手法	○競争性を確保する事業条件 ○性能規定により、民間の多様な提案を誘導		

注)BOT:Build Operate Transfer,民間事業者が施設等を建設・維持・管理・運営し、事業終了後に管理者に施設所有権を移転する事業方式。
BTO:Build Transfer Operate,民間事業者が施設等を建設し、施設完成後に管理者に所有権を移転し、民間事業者が維持・管理及び運営を行う事業方式。
GHP、EHP、IHP:冷媒を圧縮・膨張して循環させながら外気温と熱交換するエアコンをヒートポンプ式と呼び、空調機の圧縮機の駆動源に電気を使用したものをEHP(Electric Heat Pump)といい、ガスを使用したガスエンジン駆動式のものをGHP(Gas engine driven Heat Pump)と呼ぶ。IHPは、EHPの一種で、夜間の安価な電力で氷(Ice)をつくり昼間の電気代の節減に用いる方式。

先行した大阪府方式の問題点を踏まえて、全国初の PFI 方式による公立学校エアコン一斉導入事業として注目を集めた。BTO 方式の採用により設備所有やエネルギー費の支払いを従来どおり公共側が負担する一方で、エネルギー方式や機器の選定、維持管理の方法など大幅に民間の提案にゆだねた。その結果大きな VFM を達成した。また、BTO 方式ながらも、大阪府方式に並び事業者には性能保証を求め、性能リスクを完全に民間に移転した。そのためのモニタリングの仕組みを備えた。

(4) 門真市事例

数校～十数校ずつを一括発注する形で、リース方式によりエアコンの導入を図った。あらかじめ EHP 方式の設計図が示され、事業者は工事と維持管理及びリースを担当する。リース方式のため行政上の手続き等は簡素であるが、仕様が示されている点、登録リース会社による指名競争入札である点など、民間ノウハウの活用は十分ではない。また、機器の性能リスクは行政が担うほか、価格評価において LCC の評価を行わなかったため長期的なコスト削減に課題を残した。

(5) 枚方市事例

幼稚園、小・中学校の約 2000 教室に、PFI 方式で導入した事例。

エアコン設置以外にも、校庭芝生化、緑のカーテン等の事業などを複合化し、教育環境を総合的な観点で一括した点が特徴的である。しかし、事業範囲が広すぎたため、応募事業者が少なかった。

(6) 長岡京市事例

京都市と同様の PFI 方式で行った事例。事業規模が約 300 教室と少ないため、SPC^{注2)}を設立しない形の PFI 事業としている。また、維持管理業務のほか、エアコンの運用指導も事業範囲とし、民間のノウハウの活用範囲を広げている。

(7) さいたま市事例

小中学校合計 156 校の普通教室に、リース方式で導入した事例。平成 19～20 年度の 2 カ年をかけて導入している。市長のマニフェストに位置付けられ、早期の導入が求められたため、比較的導入が早いリース方式を採用したと言われている。市において別途設計を実施したうえで、価格入札によって事業者を選定している。

(8) 東京都公立高校事例

東京都立高等学校 127 校、2777 教室に導入した。32 校（655 教室）は EHP 方式、2 校（50 教室）は IHP 方式、93 校（2072 教室）は GHP 方式で導入した。エアコンはリースで調達し、機器の設置、配管や配線等の工事は別途発注とした。エアコンのリース代および

表 3 公立学校におけるエアコン導入手法（その 2）

自治体	長岡京市	さいたま市	東京都	川崎市	芦屋市など
事業方式	PFI-BTO方式	リース方式	リース方式+従来型	PFI-BTO方式	従来型方式
利用エネルギーの指定	指定無し	GHPとIHP 50%ずつ指定	事前調査結果に基づき、各校のエネルギー方法を指定	指定無し	設計段階でエネルギー方式を決め、仕様発注。
設備方式	GHP(ガス未設校は新設対応)	GHP:50% IHP:50%	GHP:約75% EHP:約23% IHP:約2%	IHPおよび一部EHP	—
対象	小中学校への一斉導入事業	小中学校への導入事業	高等学校への一斉導入事業	小学校普通教室への一斉導入事業	設計・施工分割による従来型事業
規模	約300教室	156校 約3,000教室	2,777教室	約1,900教室	数校程度
事業者選定方式	公募型プロポーザル	一般競争入札	競争入札	総合評価型一般競争入札	一般競争入札
事業スケジュール ①事業者選定 ②導入 ③供用開始 ④契約満了	① H19年度 ② H20年度 ③ H20年度 ④ H32年度	① H19年度 ② H20年度	① H19年度 ② H20年度 ③ H20年度 ④ H28年度	① H20年度 ② H21年度 ③ H21年度 ④ H33年度	—
事業期間	13年間	不明	8年間3か月間	13年間	—
特徴	○京都市型の改良版 ○SPCを義務付けしない	○価格入札による早期の事業選定 ○エネルギー方式は市が指定	○空調設備調達にはリース方式。 機器設置・配管・配線等の工事は従来型。	○環境面を重視（全熱交換機等） ○ライフサイクルCO ₂ の数値の提示を求める	○初期投資の一括支払いが必要
その他特記事項	○エアコンの運用指導も事業者の業務範囲に。		○リース期間は、機器耐用年数13年の60%に設定 ○授業料の改定によって受益者負担	○環境面を重視した配点 ○エネルギー方式は事業者の提案を誘導	○仕様発注 ○自治体の予算制約から全校一斉導入は困難

注) BOT: Build Operate Transfer, 民間事業者が施設等を建設・維持・管理・運営し、事業終了後に管理者に施設所有権を移転する事業方式。
BTO: Build Transfer Operate, 民間事業者が施設等を建設し、施設完成後に管理者に所有権を移転し、民間事業者が維持・管理及び運営を行う事業方式。
GHP、EHP、IHP: 冷媒を圧縮・膨張して循環させながら外気温と熱交換するエアコンをヒートポンプ式と呼び、空調機の圧縮機の駆動源に電気を使用したものを EHP (Electric Heat Pump) といい、ガスを使用したガスエンジン駆動式のことを GHP (Gas engine driven Heat Pump) と呼ぶ。IHP は、EHP の一種で、夜間の安価な電力で氷 (Ice) をつくり昼間の電気代の節減に用いる方式。

維持管理費用、エアコン利用にかかる光熱費は、授業料を改定・徴収し受益者負担としている点など義務教育施設である小中学校と異なる対応をしている。リース契約終了後には、空気調和設備は都が撤去し、リース会社の負担で処分する契約が結ばれている。

(9) 川崎市事例

京都市と同様 PFI 方式で行った事業である。全熱交換機の設置を条件付けていること、事業者選定時に環境面での配慮について大きな配点が与えられていること、実際に導入された機器が夜間電力を活用した氷蓄熱方式（IHP）となっているなど、環境志向型の事業といえる。

(10) 芦屋市などの従来型方式

芦屋市の小中学校において採用されている従来型方式に関しては、毎年、数校ずつをまとめて個別契約・単年度契約を基本とした発注を行い、数年間かけて全校に導入している。具体的には、毎年、対象とする学校の改修設計において設備仕様や設置場所等を決定した上で、改修工事及び維持管理業務を別々に一般競争入札で発注する。そのため、導入するエアコンのエネルギーや設備方式もあらかじめ設計段階で確定し、仕様発注するため民間事業者からの提案を受ける部分はほとんどない。また、各年別々に入札により工事発注するため、設置される設備は各年異なることになる。

4.2 事例調査に関する考察

上記の調査を踏まえると、学校へのエアコン導入手法としては、従来型の方式に加え、一斉導入の手法としてリース方式と PFI（PFI-BTO）方式がある。以下に PFI 方式のメリットについて事例調査から明らかになった点を整理する。

(1) 同時期の一斉導入が可能

従来型方式では複数年にまたがる導入事業となっているが、PFI 方式及びリース方式では、民間企業の資金調達能力を活用することが可能なため、多数の教室への同時期の一斉導入が行われている。また、一般的に建物の PFI 事業は単体建築で行われるのに対して、学校への空調設備の PFI 方式は複数の施設への一斉導入が特徴となっている。

(2) 同一機種の採用によるコスト削減・維持管理の効率性

PFI 方式では、同一機種の大量調達により調達コストが削減できるが、従来型方式では単年度に大量調達できないため、コスト削減も期待しにくい。実際、京都市の PFI 方式で大きな VFM が達成できた要因の一つが設備の大量調達であるとされている。また、京都市、長岡京市へのヒアリングでは、「自治体内の学校でエアコンが同一機種であるため教員が他の学校に異動しても運用がしやすい」という意見もあり、管理面での効率性も高めることができている。この点も建物の PFI 事業にはない特徴である。

(3) 性能リスクの民間移転

さいたま市や東京都のリース方式の場合は、施工と維持管理業務との一括契約でないため、性能リスクの民間移転は十分に行われているとはいえない。

PFI 方式では設計・施工・維持管理を一括して契約するため、京都市、長岡京市の例では、契約期間中の機器の性能保証を条件づけており、性能リスクの民間移転が徹底している。この点は建物の PFI 事業でも同様のメリットが活かされている。

(4) 運営段階での民間ノウハウの活用

PFI 方式は、良質なサービス品質の確保に民間事業者の経験とノウハウを活用することを目的とした事業手法である。実際、京都市及び長岡京市の PFI 事業では、維持管理業務の一環として「エアコンの使用についての適正化に関する助言」業務が行われている。この点は、従来型方式やリース方式の事例にはない特徴となっている。

一方、PFI 方式のデメリットは以下の点があげられる。

(1) 発注のための手続き期間の長さ

PFI 方式は、金額とともに事業者提案も評価に加味する総合評価方式を前提にしているため、提案作成期間を十分に確保する必要がある。その分、手続き期間が長くなる。実際、大阪市立高校やさいたま市など導入を急いだ学校では、PFI 方式を選択する余地がなかったと言われている。一方、リース方式は行政になじみのある手法で導入が簡易である点が採用理由となっている。今後は、PFI 方式の経験の蓄積などにより、手続き期間の短縮が進むと予想される。

(2) 長期契約による変動リスクへの対応のしにくさ

PFI 方式は長期契約であるため、契約期間中の変動に対応しにくい問題がある。実際、京都市や長岡京市の事例では、13 年間の契約であるため、将来の学校の統廃合や耐震改修工事に伴う事業条件の変化などへの対応が大きな課題となったとされている。そのため、両市では契約に事業条件の変更に関する規定（具体的には学校統合整備等に伴う空調設備の移設業務の内容、費用負担、対価の見直しなど）を盛り込むことで対応している。

4.3 エネルギー消費量の比較結果

図 1 に長岡京市及び比較対象の各小学校の、図 2 に長岡京市及び比較対象の各中学校の、2011 年夏期の一教室あたりのエネルギー消費量を示す。一教室あたりのエネルギー消費量は、各学校間のばらつきが大きい。どの学校も 7 月が最も多く、次いで 9 月が多い。8 月は 6 月より多い学校もあれば少ない学校もある。また、小学校より中学校の方が、全体の消費量及び 8 月の消費量が多い傾向がある。いずれの図も、長岡京市の学校（「A 小」から「I 小」、「K 中」

図 1 2011 年の各小学校のエネルギー消費量（m³）

図2 2011年の各中学校のエネルギー消費量（m³）

図3 各年の中学校のエネルギー消費量（m³）

図4 2011年の小学校のエネルギー消費量（m³）

から「N中」は、比較対象の学校（「あ小」から「お小」、「か中」から「く中」）と比べて、各月の消費量が顕著に少ない。夏休み期間の8月を除いた一教室あたりのエネルギー消費量について、図3に2009～2011年における長岡京市の中学校とその他の中学校の平均値を、図4に2011年における長岡京市の小学校とその他の小学校の平均値を示す。8月を除いた冷房期のエネルギー消費量は、長岡京市の中学校平均はその他の中学校と比べて、約50%（2009年）から約70%程度（2010年）と少ない。小学校の比較データは2011年しかないが、その他の学校の約60%程度と少なくなっている。なお、長岡京市の各学校と比較対象の各学校において、校舎に関してはいずれも1983年以前の建設のもので断熱性能は低く、外界気象についても夏期の平均気温及び最高気温の差がいずれも0.1℃から0.3℃と、大きな差異は無い。

4.4 エネルギー消費量比較の考察

PFI方式でエアコンを導入した長岡京市の小中学校の方が、従来

型方式およびリース方式でエアコンを導入した比較対象の小中学校よりもエネルギー消費量が少なかった要因として、PFI方式ではランニングコストが低いトップランナー機種が導入できたこと、事業者により保守点検・運用指導が行われていることがあげられる。

図5に学校へのエアコン導入事業の各方式における、設計・工事・維持管理・運用段階の事業者を示す。従来型方式及びリース方式はともに、設計から工事、維持管理、運用の各段階で個別に事業者と契約するため、価格など省エネルギーとは異なる価値が重視されがちである。一方、PFI方式はすべてをひとつの契約のもとで行うため、各段階においても「環境配慮」や「省エネルギー」といった発注側の意図が一貫しており、省エネルギーを促進しやすいと考えられる。表4にPFI方式とその他の方式のエアコン導入事業について、各段階において優先されやすい価値の例を示す。設計段階においては、PFI方式ではLCCが最も安価な機種の選定が可能であるため、ランニングコストの低い機種を選定することができるが、PFI以外の場合、イニシャルコストが重要な決定要因になる。また、前者は性能発注方式であるため省エネルギー面でトップランナー機種を選択できるが、後者は公共工事においては選択できない場合がある。また、維持管理段階においては、PFI方式以外の場合は管理が不十分になりやすいが、PFI方式で長期の性能保証をしている長岡京市のような場合、設備が長持ちする維持管理を事業者が行うインセンティブが働くため、維持管理が適切に行われやすい。運用段階において、長岡京市ではPFI事業の中にエアコンの適正運用に向けた指導業務が位置づけられているため、事業者はエネルギー消費量の計測結果を毎月単位、教室単位で報告・指導を行っている。そのため、学校側にエアコンの利用を抑制的に行うインセンティブが働いており、長岡京市の小中学校のエネルギー消費量が少ない要因の1つと考えられる。

一般的な建物のPFI事業の場合も同様に、設計から工事、維持管

図5 各方式の段階ごとの事業者

表4 方式別各段階の価値観

導入方式	PFI方式	その他の方式
設計	・LCCの安い機種の選択 ・トップランナー機種(省エネルギー型)の採用	・初期コストの安い機種の選択 ・2社以上が採用していない方式は採用不可能
工事	・長期の維持管理を行うことを前提とした工事	・安くできる工事
維持管理	・故障しない維持管理へのインセンティブ(長期の性能保証のため) ・他の設備の予防保全に生かすため、常時監視のインセンティブが働く	・故障しない維持管理より、修繕や更新に導くインセンティブが働く
運用	・エネルギー消費などを常に監視し、結果を学校にフィードバックする	・ほとんど行われていない

理、運用をひとつの契約で行うものの、民間の役割の重点が設計及び工事にあり、施設の運用は公共団体が行うものが多いため、運用段階での民間企業の効率性が、発揮しにくい。この点が、設備機器導入の PFI 方式との大きな違いのひとつである。

5. おわりに

小中学校へのエアコン一斉導入に関する事業手法の事例調査及び、導入学校の消費エネルギー調査を通して得られた知見を以下に示す。

- 1) 公立学校へのエアコン導入に関しては、学校間格差を生じさせないために一斉導入する事例が増えており、その主な手法としてリース方式と PFI 方式が採用されている。リース方式は、資金調達面と採用しやすいことが選択理由として大きいですが、PFI 方式は、資金調達面だけでなく、民間企業へのリスク移転や運用面でのノウハウの活用など、より幅広く民間の活用がなされている。
- 2) PFI 方式を採用した学校は、従来型方式やリース方式によるものと比較して冷房の消費エネルギーが少ない実態が明らかになった。その理由は、PFI 方式ではランニングコストが低いトップランナー機種が導入できたこと、事業者により保守点検・運用指導が確実に行われていることがあげられる。PFI 方式の維持管理運用段階までも一体的に行うという仕組みが活かされている。
- 3) 環境設備の PFI 事業は、一般的な建築物の PFI 事業とは異なり、運用段階で民間の能力を活用しやすい条件にあり、個々の建物だけでなく、複数の建物で同じような運用が行われることによって、より大きな省エネルギーを達成することができる可能性がある。

謝辞

本研究の調査にご協力いただいた長岡京市教育委員会及び小中学校の児童・生徒・教員の皆さま、及びエアコン設備の PFI 方式の特徴に関して貴重な助言を下された京都府立大学の宗田好史教授に心より御礼申し上げます。なお、本研究の一部に平成 20～22 年度京都府立大学地域貢献型特別研究 (ACTR)、及び博士号取得支援事業 (財団法人生涯学習開発財団) の助成を受けた。

参考文献

- 1) 斎藤基之、石井昭夫、塩月義隆、北山広樹、西田勝、河野雄彦：福岡市立小学校教室における夏季熱環境に関する実測調査その 4 熱環境要素と温熱指標による評価、日本建築学会大会学術講演梗概集 D-1, pp.989-990, 1998.9
- 2) 都築和代：子どもの体温調節と温熱感覚、日本建築学会シンポジウム「温熱環境のユニバーサルデザイン」、pp.25-29, 2009
- 3) 文部科学省, 2007
- 4) 美原融：PFI と公共事業マネジメント、オペレーションズ・リサーチ, 2002.12
- 5) 辻本顕、小野田泰明、菅野實：日本における PFI の成立と公共建築の調達に関する研究、日本建築学会計画系論文集, No.605, pp.85-92, 2006.7
- 6) 服部邦比古、阿部浩和：PFI における VFM に関する評価と課題、日本建築学会計画系論文集, Vol.74, No.635, pp.193-200, 2009.1
- 7) 水川尚彦、古阪修三、金多隆：発注者支援の視点からみた PFI 事業のモニタリングに関する研究、日本建築学会計画系論文集, No.609, pp.123-128, 2006.11
- 8) 森傑：PFI 事業の提案書作成におけるエスノデザインメソッドの考察、日本建築学会計画系論文集, No.595, pp.87-94, 2005.9
- 9) 伊坂善明、飛田国人、松原斎樹：公立小中学校への空調一斉導入の効果に関する研究—温熱環境および教育面・健康面の効果—、日本建築学会

環境系論文集, Vol.76, No.668, pp.887-895, 2011.10

注

- 注1) VFM (Value for Money) : PFI 事業における最も重要な概念の一つ。支払い (Money) に対して最も価値の高いサービス (Value) を供給するという考え方。従来の方式と比べて総事業費をどれだけ削減できるかを割合で示す。
- 注2) SPC (Special Purpose Company) : ある特別の事業を行うためにのみ設立された事業会社のこと。PFI では、公募提案する共同企業体 (コンソーシアム) が、新会社を設立して、建設・運営・管理にあたることが多い。

(2012年1月9日原稿受理, 2012年6月13日採用決定)