

# ESCO事業の長期性能検証

## 第1章 序論

### 1. 1 背景

ESCO (Energy Service Company) 事業は、1970年代にアメリカで生まれた省エネビジネスモデルであり<sup>文1)</sup>、図-1.1に示すとおり、省エネルギー（以下省エネと略記する）改修に要する費用を省エネ化により節減される光熱水費の節減総額で賄うことを基本としている。

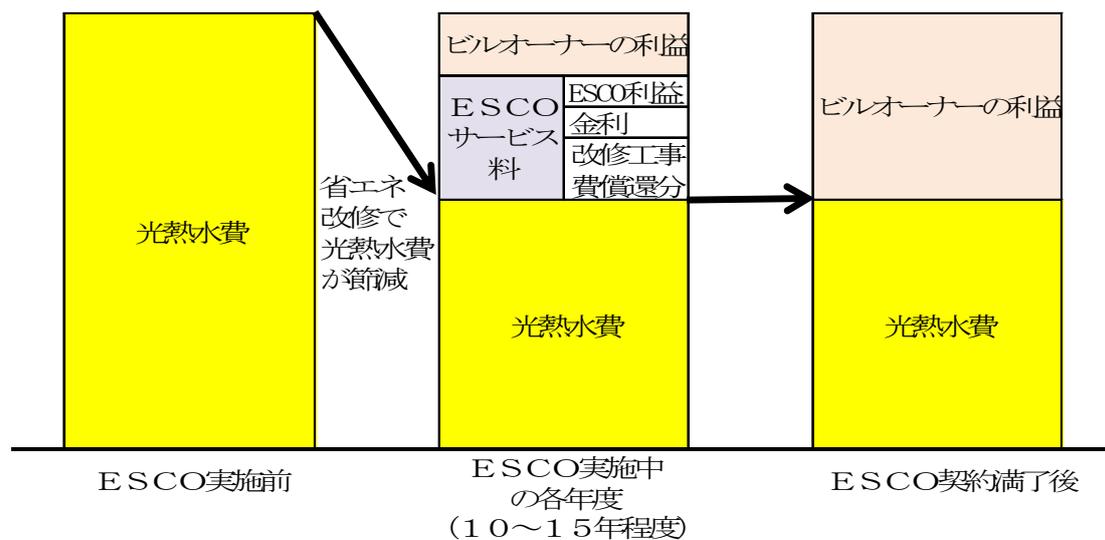


図-1.1 ESCO事業の経費と光熱水費の関係  
(シェアード・セイビングス契約の場合)

ESCO事業の契約方式には、図-1.2に示すように、通常の改修工事と同じく改修工事費用はビルオーナーが負担するシェアード・セイビングス契約と、改修工事費用も含めてESCO事業者が負担するシェアード・セイビン

ガス契約が存在するが、シェアード・セイビングス契約では、ビルオーナーが改修工事の初期投資をすることなくビルの省エネ化が図れ、加えて、改修後は、省エネ化による光熱水費節減の一部を利益として得られる、初期投資不要・後年度負担増無の特殊な契約方式であるため、省エネ化推進の有力なビジネスモデルとして期待されていた。<sup>文1)</sup>

	ギランティード・セイビングス契約 guaranteed savings contract	シェアード・セイビングス契約 shared savings contract
費用の支払	<p>省エネルギー改修工事費</p> <p>サービス料</p> <p>支払額</p> <p>初年度 1年目 2年目 3年目 4年目 …… N年目</p> <p>契約期間</p>	<p>サービス料 (償却費込み)</p> <p>初期費用無し</p> <p>支払額</p> <p>初年度 1年目 2年目 3年目 4年目 …… N年目</p> <p>契約期間</p>
費用 改修	ビルオーナーが負担	ESCO事業者 が負担
所 機 器 有 有	ビルオーナーが所有	ESCO事業者 が所有
特 長	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎所有権が全てビルオーナーに一元化</li> <li>○ビルオーナーがESCO事業者 より資金調達力があれば有利</li> <li>○ビル運営形態の変動にも対処が容易</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◎初期投資不要</li> <li>△長期の安定的なビルの運営が前提条件</li> </ul>

図-1.2 E S C O事業の契約方式

(大阪府E S C O事業HPより引用)

また、E S C O事業は、図-1.3 に示すように通常の省エネ改修工事と異なり、E S C O事業者が設計、施工や、場合によって運転管理、資金調達まで行い、省エネの保証を行うことを特長とするワンストップサービスであるため、技術的な知見の少ないビルオーナーでも省エネ改修に取り組むことが出来、省エネ量もE S C O事業者が保証しているため、ビルオーナーが省エネに取り組む有力な方策として期待されていた。<sup>文1)</sup>

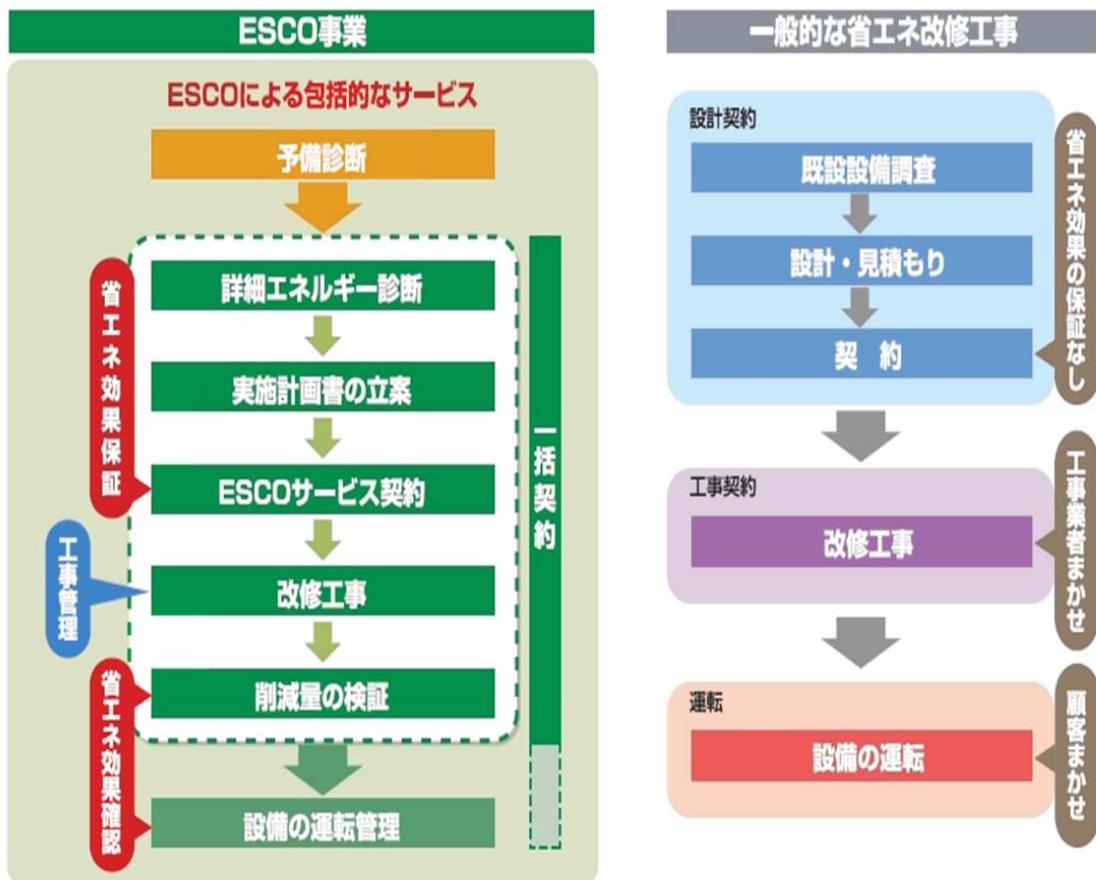


図-1.3 E S C O事業と一般的な省エネ改修工事の比較

(大阪府E S C O事業HPより引用)

E S C O事業で用いられる省エネ改修手法は、図-1.4 のとおりであり、照明、空調、節水、断熱強化など多岐にわたっており、トップランナー機器や先進的な特許技術などを駆使して、包括的な省エネ改修によって大きな省エネの推進と光熱水費の節減を図ることを特長としている。

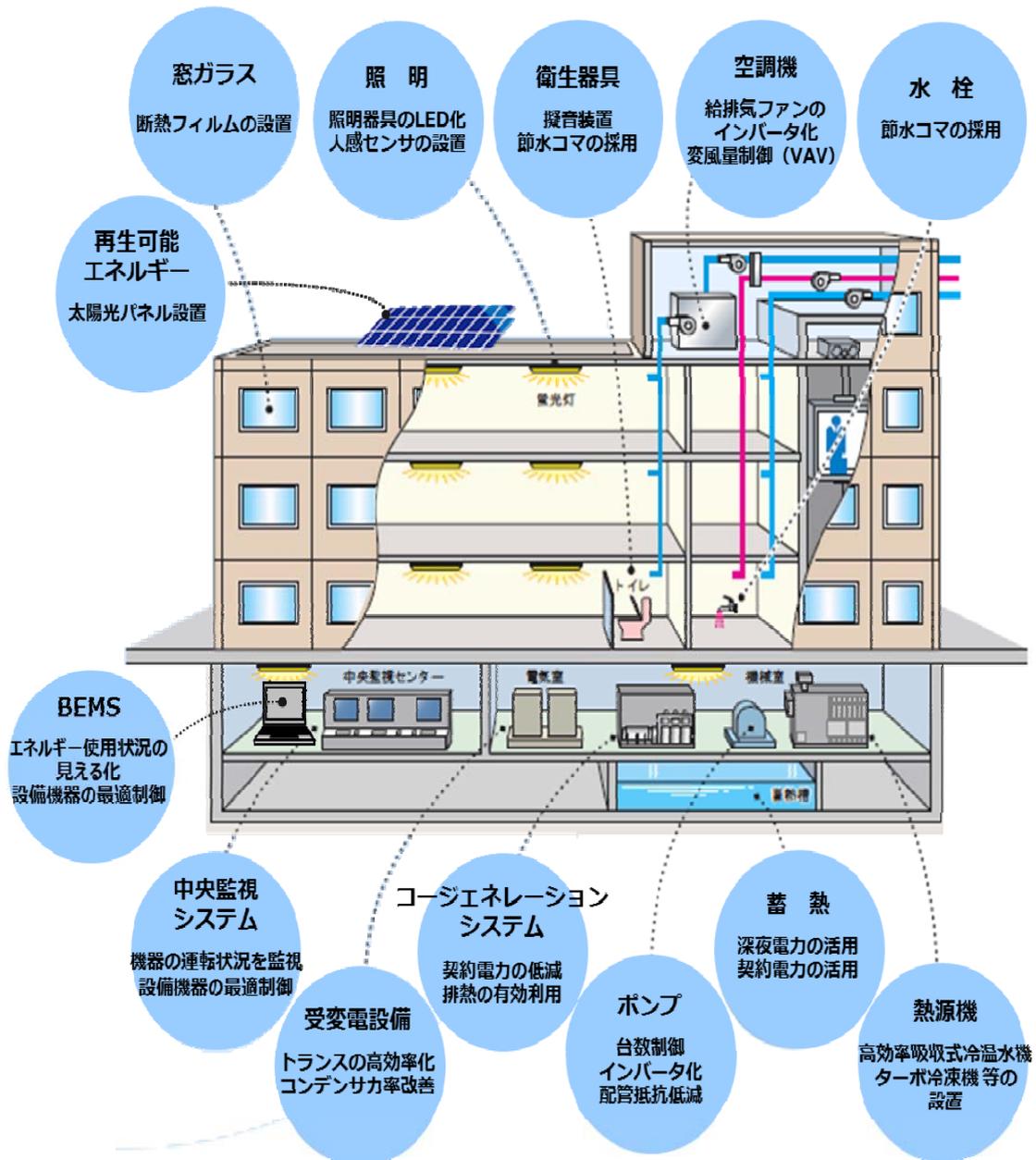


図-1.4 E S C O事業で用いられる省エネ技術

(大阪府E S C O事業HPより引用)

しかし、現実には、図-1.5 に示すとおり、E S C O導入時(1998 年度)から 2003 年度に年額 353 億円まで急拡大した市場規模が、その後低迷している<sup>文2)</sup>。

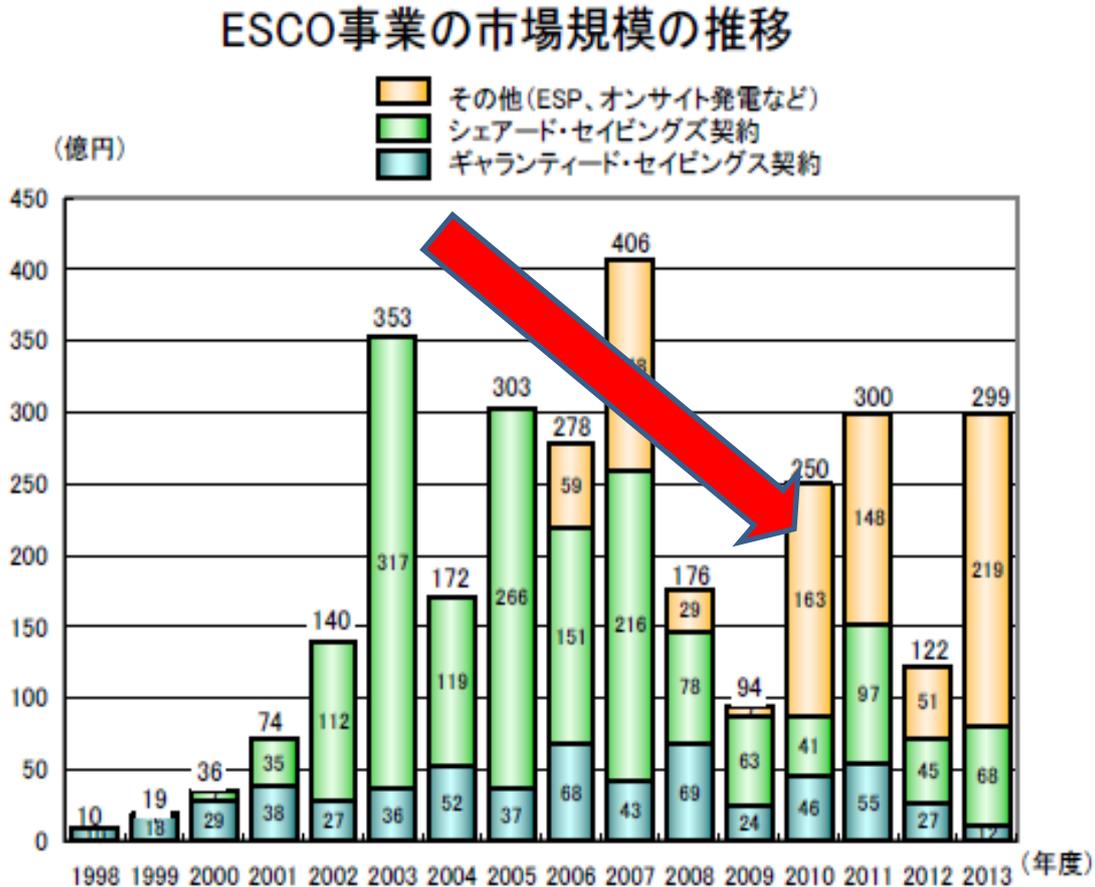


図-1.5 E S C O事業の市場規模推移

(一般社団法人E S C O推進協議会 2013 年度市場調査報告\*より引用)

\*図中の、その他 (E S P、オンサイト発電など) は、E S C O事業ではないため除外して検討する。

この原因は、大阪府<sup>文3)</sup> の調査によれば、7割程度のE S C O事業者が、長期の計測検証作業や長期資金負担・省エネ成果保証を障害と感じていることが考えられる。

E S C O事業では、省エネ成果 (光熱水費削減額) を、改修費用が償還でき

る長期（8～15年程度）に渡って保証（パフォーマンス契約）する必要がある。

所定の省エネ性能が発揮できない場合、償還のための支払いが減額される契約であるため事業採算が長期間不安定な状況になり、省エネサービス料が減額されるリスクが長期間続くため、このリスクを嫌って参入する事業者が減少していることが考えられる。

ビルの運転管理を含めたE S C O事業では、予定を上回る光熱水費削減が達成された場合にその一部をE S C O事業者シェアする場合（ボーナス条項）もあり、長期の計測検証に意義のある場合もあるが、我が国自治体系E S C O事業では、地方自治法第214条の債務負担行為設定の必要から支払上限があらかじめ設定されるためボーナス条項が採用しにくく、また、運転管理への関与も助言に留まるため、長期計測検証・保証義務はリスク要因のみとなっている。

そこで、本研究では、運営状況が長期間安定していることからE S C O事業の導入対象として有望とされる自治体庁舎の内、我が国自治体で最先にE S C O事業を導入し、既に10年程度の長期契約期間を満了した事例が出た大阪府E S C O事業の省エネ実績を収集し、その実績から、各省エネ手法の長期安定性を検証することで、E S C O事業の活性化に資する、事業の計測検証期間の短縮可能性を探るものである。

短期（1～3年）の省エネ検証によって、長期（10年程度）のE S C O事業による省エネ効果が保証できることになれば、E S C O債権が早期に安定債権となって事業採算が確定し、通常の改修工事による瑕疵担保負担と遜色ないレベルになるため、事業への参入者の増加が期待でき、E S C O事業の活性化を通じて省エネ改修の推進に貢献することを目指す研究である。

## 1. 2 E S C O事業にかかる先行の研究状況

E S C O事業の我が国への導入はまだ新しく、大阪府が2000年にE S C O提案公募を実施した大阪府立母子保健総合医療センターE S C O事業が、我が国の本格的なE S C O事業としては、最先の事例である。

E S C O事業に係る先行技術文献については、大阪府のE S C O事業がスタートする数年前からE S C O事業の仕組みを紹介する文献が出ているが、そのほとんどは、E S C O事業の仕組みを紹介するものや、個別のE S C O事業の実施例を報告しているものであり、それ以外の体系的なものとしては、我が国のE S C O事業の発展経緯や事業特性を網羅的に研究した文献として、2007年7月の九州大学大学院人間環境学研究紀要第12号に寄稿された、村越千春氏、渡辺俊行氏、赤司泰義氏、中上英俊氏の共著による「我が国におけるE S C O事業の発展経緯と事業特性に関する研究」<sup>文1)</sup>があり、E S C O事業の特徴や発展経緯、計測検証手法の紹介、ベースラインの設定方法、市場動向や採用技術、投資改修年数などを網羅的に収集されている。

また、E S C O事業において省エネ効果を特定するために重要となるベースライン（事業実施前3年間の電気・水道・ガスの使用量、使用額の平均値）の補正手法にかかる研究としては、2007年2月の空気調和・衛生工学会論文集に寄稿された、宮田征門氏、吉田治典氏、浅田昌彦氏、岩田卓郎氏、田邊陽一、柳澤忠宏氏の共著による「実E S C Oプロジェクトにおけるベースライン簡易補正手法の比較検討」<sup>文7)</sup>があり、E S C O事業各社の補正手法やその補正精度の検証が行われている。

さらに、E S C O事業普及拡大の課題についての研究では、大阪府が2006年

2月にまとめた「中小規模施設の効率的な省エネルギー化改修事業化調査報告書」<sup>文3)</sup>があるほか、2009年日銀グランプリで優秀賞を獲得した東京経済大学桐生泰輔氏、室久保裕央氏、山口隼人氏共著による「E S C O事業を利用した環境金融の育成」<sup>文4)</sup>がある。いずれも、E S C O事業の課題を調べるため事業者アンケート調査を実施しており、長期間の省エネ保証によるE S C O債権の不安定さを課題の一つに上げている。

しかし、これまで、長期のE S C O契約期間を満了した事例が無かったため、長期のE S C O契約期間全体にわたって、その省エネ性能を検証したものは無かった。

### 1. 3 本研究の目的

本研究では、我が国自治体で最先にE S C O事業を導入し、既に10年間の長期契約期間を満了した事例が出た大阪府E S C O事業の省エネ実績を収集し、その長期安定性を検証すると共に、省エネ実績算定の基礎となったベースライン補正式の精度を検証して本研究の精度を高め、併せて、空調シミュレーションソフトを用いたエネルギー使用量予測との精度比較を行って、補正式の精度検証を補強すると共に、各機器のエネルギー使用量を推定し、最後に、今後のE S C O事業の活性化に資するよう、計測検証期間の短縮可能性を探ることを目的とするものである。

## 1. 4 構成

まず第2章で、契約期間の満了した大阪府の事務庁舎実ESCO事業で採用された省エネ改修手法を明らかにし、第3章で、ベースライン（ESCO実施前3年間の平均値で以下BLと記す）の補正精度が十分に高いと仮定して、その省エネ手法の長期省エネ効果の安定性を分析して、計測検証期間短縮の可能性を探ると共に実コストパフォーマンスを確認する。

第4章では、第3章で未検証であったBL補正の精度を検証することとし、本研究対象の実ESCO事業で用いられたシミュレーションによる補正式の精度がどの程度の精度を有するかを明らかにすると共に、実際の誤差量を算出して必要となるベースラインデータ収集期間を導き出すこととする。また、他のESCO事業で一般的に用いられる回帰式による補正式の精度と比較して、本検討結果の汎用性を確認する。

さらに第5章では、本研究対象のシミュレーション補正の内容が非公表のため、空調設備のエネルギー推定ツールとして既に公開されているLCEMをBL補正に適用することとし、本研究対象の庁舎の一つでシミュレーションを構築して、本研究対象のシミュレーション補正式とLCEMの補正精度を比較し、シミュレーション精度を把握すると共に、LCEMによって各空調機器のエネルギー消費量を推定することとする。

第6章では、本研究対象の庁舎の一つで空調設備のエネルギー推定ツールであるLCEMツールをBL補正式として活用し、LCEM予測によって各機器の稼働状況を類推できることを第5章で確認したので、このLCEMツールによって、ESCO期間内の各機器での省エネルギー量も推定する。

第7章では、ESCO 事業普及拡大の障害とされる省エネ性能の長期保証を、短期省エネ性能の確認により代替できる可能性を検討する。実務的には、事業開始初期の数年間、保証値を上回る良好な成果を確認できれば、以後の計測検証を繰り上げ終了し、長期の全事業期間にわたって省エネ性能が発揮できていると推定できることとして、事業リスクを早期に収束させ、事業魅力を向上させることを目指すものである。第3章で、大阪府の事務庁舎実 ESCO 事業の省エネ改修手法の長期省エネ性能を検証し、第4章で、当該 ESCO 事業で用いられたベースライン補正式の精度を検証し、当該実 ESCO 補正式が十分な精度を有することも確認した上で、初期の一定期間の省エネ性能の検証で、ESCO 契約期間（10年程度）にわたる長期の省エネ保証が代替できる可能性を検証する。

最後に、第8章で、以上の検討結果のまとめを行う。

## 第2章 実ESCO事業の省エネ改修手法とその性能

### 2.1 実ESCO事業の内容

実ESCO事業の対象となった事務庁舎の概要を、表-2.1に示す。

表-2.1 対象施設の概要（事業実施前）

庁舎 no	延床 面積 [㎡]	階数	建設 年度	主要熱源機器		ESCO 契約 期間	エネルギー 原単位† [MJ/(㎡・ 年)]
				ガス吸収式 冷温水器	その他の 熱源機器		
1	7,271	4F1B	1972	280RT/1987製	-	'02-'12	1,234
2	7,783	4F1B	1972	160RT/1991製	PAC ; 196HP	'02-'12	1,255
3	7,695	4F1B	1972	40RT×8/90製	-	'02-'12	1,296
4	6,633	4F1B	1974	236RT/1997製	水冷チラー50RT	'02-'12	1,293

注 エネルギー原単位は、施設内での年間全エネルギー使用量を延床面積で除した値である。DECC データ<sup>文5)</sup> P20 官公庁施設の当該規模 J3 の平均値 1126MJ/㎡ に比べ若干上回っている。電気は 10.25MJ/kWh、ガスは 44.06368MJ/㎡ で 1 次エネルギー換算した。

### 2.2 省エネ改修手法の内容

実際に用いられた省エネ改修手法は、以下のとおりである。

#### (1) 熱源機運転変更（手法 r）

熱源機である吸収式冷温水発生器の冷水出口設定温度を変更（庁舎 1 : 7℃ → 8℃、庁舎 2～4 : 6℃ → 8℃）し、冷房運転時に高効率運転化によるガス消費量の削減を図ったり、スケジュールタイマーを利用して冷温水発生器及び補器を室内環境に影響のない範囲（1日30分）で強制的に停止（庁舎 1）することで、ガス消費量の削減を図るものである。外気負荷の削減や照明改修に

よって空調負荷が下がるため、定格運転から省エネ運転に切り替えられる余裕が生じ、改修工事を伴わずに省エネを図る手法である。

## (2) ファン・ポンプのインバータ化（手法 i）

商用電源による三相誘導電動機の定速回転であった空調ファンや冷温水ポンプ、冷却水ポンプの電源側にインバータを設置して周波数を可変にすることで、ファン、ポンプを可変速にして必要最小限の風量、水量での運転を実現し、搬送動力を低減して省エネ化を図る手法である。

## (3) 外気量削減（手法 a）

### a 外気取入量削減

外気ダクトのダンパーを調整して、外気量を職員数から算定した必要外気量まで削減することで空調機の外気処理量を削減（庁舎 1:53、491 m<sup>3</sup>/h→16、331 m<sup>3</sup>/h、庁舎 2:30、250 m<sup>3</sup>/h→14、022 m<sup>3</sup>/h、庁舎 3:51、105 m<sup>3</sup>/h→20、377 m<sup>3</sup>/h、庁舎 4:24、730 m<sup>3</sup>/h→17108 m<sup>3</sup>/h）し、空調負荷の低減による省エネを図る手法である。

### b 隙間風防止

3 種換気であった便所に、排気ファンと連動する給気ファンを設置して、建物全体のエアバランスを改善し、隙間風（庁舎 1:10、411 m<sup>3</sup>/h、庁舎 2:11、620 m<sup>3</sup>/h、庁舎 3:10、805 m<sup>3</sup>/h、庁舎 4:9、630 m<sup>3</sup>/h）を防止し、外気処理量の削減による省エネを図る手法である。

### c 空調立上時外気取入停止

空調機の外気取入ダクトにモーターダンパを設置し、空調起動時に一定時間外気取入を停止して、予熱時間を短縮することで省エネを図る手法である。

#### (4) 照明器具のH f 化 (手法 L)

既設蛍光灯の銅鉄式安定器（庁舎 2～4、庁舎 1 はインバータ式安定器）を 3 段調光式高効率インバータ安定器に取り替え、発光効率を上げて消費電力や発熱量を低減（庁舎 1: (39W/灯→25W/灯) × 862 灯、庁舎 2: (43W/灯→25W/灯) × 792 灯、庁舎 3: (50W→25W) × 974 灯、庁舎 4: (50W→25W) × 890 灯）し、省エネ化を図る手法である。この 3 段調光装置は、既設の照明スイッチをそのまま利用してダブルクリック操作により調光を図るものであり、通常の点灯操作では、標準の 80% 照度で、25W/灯の消費電力となる。

#### (5) 節水装置の設置 (手法 w)

給水栓に節水こまを設置し、給水使用量の削減を図る手法であり、対象範囲の節水率は 6.5%～17.5%（庁舎 1: 17.5%、庁舎 2: 11.6%、庁舎 3: 6.5%、庁舎 4: 16.7%）を見込む。なお、最近の E S C O 事業では、大便器や小便器に節水装置を組み込むものも多いが、本事例では給水栓しか節水こまを組み込んでいない。

#### (6) P A C 圧縮機制御改修 (手法 c)

パッケージエアコンの圧縮機回路に節電コントローラを設置し、圧縮機を一定時間毎にサイクリックに発停制御（30 分間に 5 分停止）することで、デマンドを低減すると共に効率の良い定格運転を増やし、省エネ化を図る手法である。設計上は、冷房時 PAC 消費電力量の 15% の省電力を見込む。（庁舎 2 のみ採用）

#### (7) 室内設定温度変更 (手法 t)

室内の空調設定温度を管理し、冷やし過ぎ、暖め過ぎをなくして省エネを図る手法である。室温センサーを必要な位置に追加若しくは変更し、室内温度を、

夏季27℃、冬季20℃になるよう管理を徹底した。

## 2.3 省エネ改修手法とその設計省エネ性能

実際に用いられた省エネ改修手法の設計上の節電量、節ガス量、節水量、及びベースライン（ESCO 実施前3年間（1998-2000年）の平均値）を表-2.2に示す。

表-2.2 省エネ改修手法と設計上の年間省エネ量

略号	省エネ手法	庁舎1			庁舎2			庁舎3			庁舎4		
		節電量	節ガス量	節水量									
		kW・h/年	m3/年	m3/年									
空調系	r 熱源機運転変更 出口温度変更, スケジュール停止	759	1,823	78	2,788	572	53	959	2,075	83	647	3,836	70
		冷水: 7℃→8℃			冷水: 6℃→8℃			冷水: 7℃→8℃			冷水: 6℃→8℃		
	c PAC圧縮機制御改修	0	0	0	9,428	0	0	0	0	0	0	0	0
	i ファン・ポンプインバータ化	52,223	0	0	36,224	0	0	21,702	0	0	33,700	0	0
	a 外気量削減(量削減、立上時等停止)	3,517	26,242	670	27,832	9,516	217	6110	17110	455	11,931	5,784	176
t	室内設定温度変更 夏27℃、冬20℃へ	124	1,288	22	3,419	1,029	9	162	620	26	252	1,153	20
		削減見込み: 冬1℃			削減見込み: 冬2℃			削減見込み: 夏0.5℃			削減見込み: 冬1℃		
照明	L 照明器具H f化等	26,800	182	15	35,565			61,794	459	20	49,691	0	32
		40W862本 △14W/灯=39-25			40W792本 △18W/灯=43-25			40W974本 △25W/灯=50-25			40W890本 △25W/灯=50-25		
水	w 節水装置; 節水こま	節水こま×57個		579	節水こま×51個		474	節水こま×33個		140	節水こま×41個		347
計	合計(節電量/節ガス量/節水量)	83,423	29,535	1,364	115,256	11,117	753	90,727	20,264	724	96,221	10,773	645
BL	ベースライン*; ガスは空調ガスのみ	490,211	76,185	6,810	748,067	34,570	6,422	649,043	63,016	5,321	577,800	44,283	7,113
AC	空調期ベースライン BL空調期	370,034	74,712	4,925	565,220	33,584	4,392	466,905	62,581	3,483	398,892	43,624	4,982
非	非空調期ベースライン BL非空調期	120,176	1,472	1,885	182,845	986	2,030	182,168	436	1,839	178,908	658	2,130

\*ベースラインとは、事業実施前3カ年の平均値をいう

注 表中のハッチング部は、各手法の内、省エネへの貢献割合の大きいものを示す

表-2.2では、熱源機運転変更(手法r)や、ファン、ポンプのインバータ化(手法i)、外気量削減(手法a)、照明器具高効率化(手法L)や節水装置(手法w)などは採用頻度が高く、省エネ改修の中核技術となっている。(熱源機器更新などは、改修費用が大きく、事務庁舎の省エネ化によるコスト削減で償還しきれな

いため、一部負担を伴う設備更新型E S C O事業を除き採用しづらくなっている。) )

手法 i や、手法 L は、省電力量が大きく、電気使用量の経年変動と密接な関係を持つことがわかる。手法 a は、全庁舎の空調主熱源がガス吸収冷温水器であるため、省電力にはあまり寄与しないが、庁舎 2 と 4 では、ガス熱源に加え一部を電気式熱源が負担するため、省電力寄与量が若干大きくなっている。

一方、手法 a は、省ガス量に大きく寄与し、ガス使用量の経年変動と大きな関連を持つほか、冷房時の冷却塔補給水や暖房時の加湿給水への影響を通じて、節水量への寄与が大きく、手法 w と共に、水道使用量の経年変動と密接に関連することがわかる。節電、節ガス、節水で大きなウェイトを占める部分を、表中の点線付で示す。

なお、これらの省エネ改修は、2002 年に実施されており、当時は、照明改修は H f への変更が主流であって、最近採用され出した L E D 照明は導入されていない。

## 2. 4 各事業の省エネ改修手法の省コスト性能

E S C O 事業では、採用される省エネ改修手法は、凡そ、そのコストパフォーマンスの多寡によって決まる。

上述の省エネ改修手法の建物全光熱水費に対する設計上の省コスト率（光熱水費ベースラインに対する、設計上（保証率は見込まない）の当該手法による年間光熱水費削減額の割合をいう）、単純償還年（当該手法に要する工事費を当該手法による設計上の年間光熱水費削減額で除した値）を、表-2.3 に示す。

表-2.3 では、手法 w や手法 a の単純償還年が 2 年以下と小さく、そのコスト

パフォーマンスの良さが際立っている。手法 r や室内設定温度変更(手法 t)も、改修工事が不要なことから当然コストパフォーマンスが良い。手法 L も単純償還年が5年程度と、十分なコストパフォーマンスを有することが確認できる。省エネ改修全体の光熱水費削減に対するウエイトの多寡は省コスト率で把握でき、本事例では、設計上、手法 a や手法 L、手法 i が大きく寄与している。

表-2.3 省エネ改修手法と設計上の省コスト率等

略号	省エネ改修手法	設計上の省コスト率[%]					単純償還年	採用数／全4
		事務庁舎						
		1	2	3	4	平均		
r	熱源機各種設定変更	0.9	1.1	1.0	1.8	1.2	0.0	4
c	PAC室外機制御改修	-	0.9	-	-	0.9	11.2	1
i	ファン・ポンプインバータ化	5.5	3.5	2.2	3.4	3.7	12.0	4
a	外気量削減	11.4	6.3	7.5	4.0	7.3	1.7	4
t	室内設定温度変更	0.5	0.7	0.3	0.5	0.5	0.0	4
L	照明器具H f 化等	2.9	3.5	6.3	5.1	4.5	5.1	4
w	節水装置	1.5	1.0	0.3	1.0	1.0	1.4	4
	計	22.7	17.0	17.6	15.8	19.0		

### 第3章 設計省エネ性能と実省エネ性能の比較

#### 3.1 事務庁舎のESCO事業の省エネ実績

##### (1) 省エネの推移

###### a 省エネ率の推移

各事務庁舎の実ESCO事業における経年の省エネ率の達成状況推移は、図-3.1のとおりである。

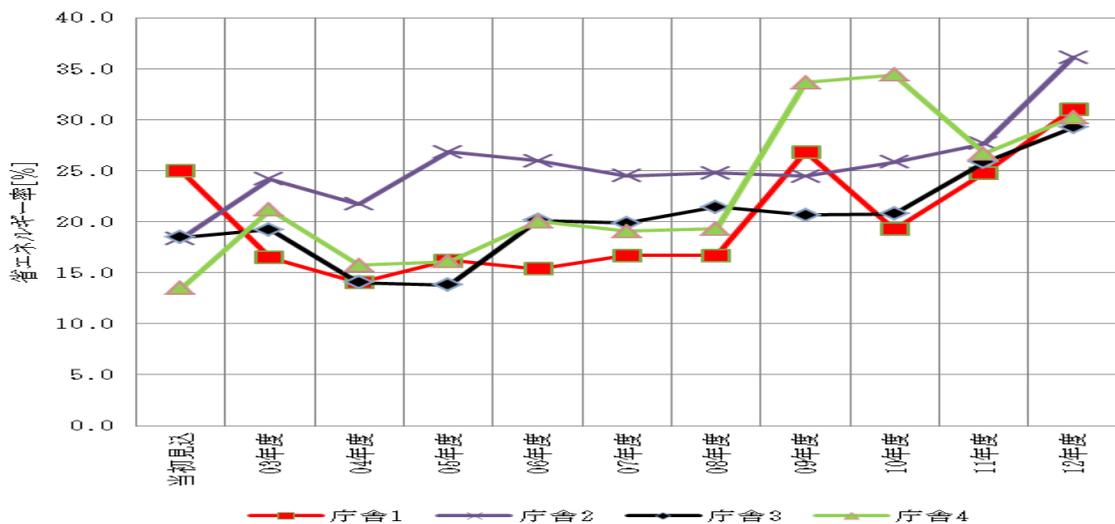


図-3.1 事務庁舎の省エネ率の推移

ESCO事業自体の性能と直接関係がない外的要因（外気温度や、施設の運営状況の変動）による変動は、事前に定めるベースライン（以下BLという）補正式により除外されることとなるため、達成状況の変動要因としては、設計誤差（見込違い）、設備の経年劣化、設備機器の運転上の優劣、BL補正誤差な

どが考えられる。

なお、B L補正式の精度は、次報で取り扱うこととする。省エネルギー率の推移は、右肩上がりの施設が多く、特に2011年度、2012年度は、庁舎4を除く全ての庁舎で5～10%程度の上昇を示している。これは、2011年3月11日の東日本大震災による原発事故後の緊急節電対策で、照明の間引き強化（廊下など）や昼休み消灯、空調の室温管理の徹底（夏28℃、冬20℃）をした影響と推測される。

庁舎1では、初年度より設計値を下回っているが、これを設計誤差と考えれば、経年による省エネルギー達成状況の劣化などは特に見られず、むしろ、右肩上がりとも言える状況が見られる。原因としては、経年と共に、E S C Oが運転ノウハウを向上させ、省エネ率が向上している可能性や、E S C O事業の導入によって、施設の職員も省エネ意識が高まるなどの可能性が考えられる。

機器の経年劣化の影響を考慮すれば、本来、全ての施設で、省エネルギー率が右肩下がりとなるかとも考えられたが、逆に右肩上がりであることは、機器の経年劣化の影響が概ね軽微であり、E S C O事業導入による省エネ意識の向上や設備機器の運用改善の効果がそれを上回ると推測される。

また、各施設とも、2年目の2004年度には、省エネ率が低下しているが、これは、追跡調査の結果、各施設に防災用設備が増設され、これに伴う電気負荷増分（庁舎1:18、800kWh/年、庁舎2:15、200kWh/年、庁舎3:14、300kWh/年、庁舎4:16、900kWh/年）がB Lから除外されていなかったことが原因である。より詳しく分析するため、上述の防災用負荷の増加分を補正した節電量（電気使用量の削減量をいう）、節ガス量（ガス使用量の削減量をいう）、節水量の推

移を図-3.2、図-3.3、図-3.4に示す。

b 節電量の推移

図-3.2の2010年度と2012年度の節電量の差は、庁舎1が7万kWh/年、庁舎2が9万kWh/年、庁舎3と4が5万kWh/年程度であるが、一方、間引き点灯と昼休み消灯による省電力量の合計が各約2万kWh/年程度と試算され、空調の室温管理の徹底（夏28℃、冬20℃）は、別館が電気式パッケージエアコンで対応している庁舎2を除いて節電量にはあまり影響しないことから、原発事故後の緊急節電対策を上回る省エネが他の方法で達成されているものと推測される。具体的には、節電への職員の意識が高まり、会議室や職員外出時の執務エリアのこまめな消灯、残業時の点灯箇所の限定などが推測される。

各庁舎の緊急節電対策は、2011年6月以降実施（庁舎4は2009年度以降昼休み消灯実施、加えて2010年度以降は朝顔によるグリーンカーテン実施）されており、2011年度と2012年度の差は、実施期間の違いによることも原因と考えられる。

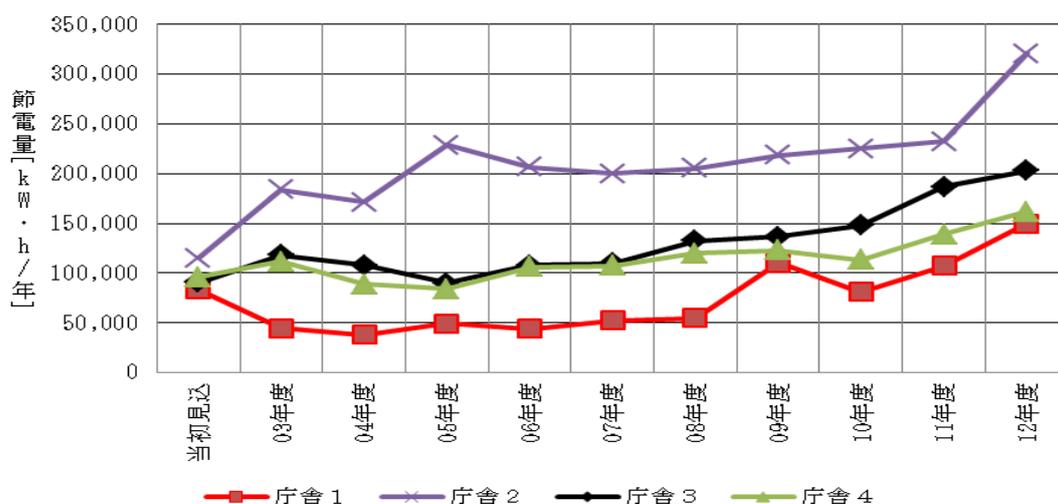


図-3.2 節電量推移

c 節ガス量の推移

図-3.3の節ガス量の推移では、庁舎4を除き、いずれも当初見込み量を上回っていない。2011年6月から実施された震災後の緊急対策による消灯や空調の室温管理の徹底（夏28℃、冬20℃）による節ガス量の増大は、庁舎1と庁舎3では確認できるが、庁舎2では確認できない。これは、以前に、どれだけ温度管理が徹底されていたかの差とも推測される。

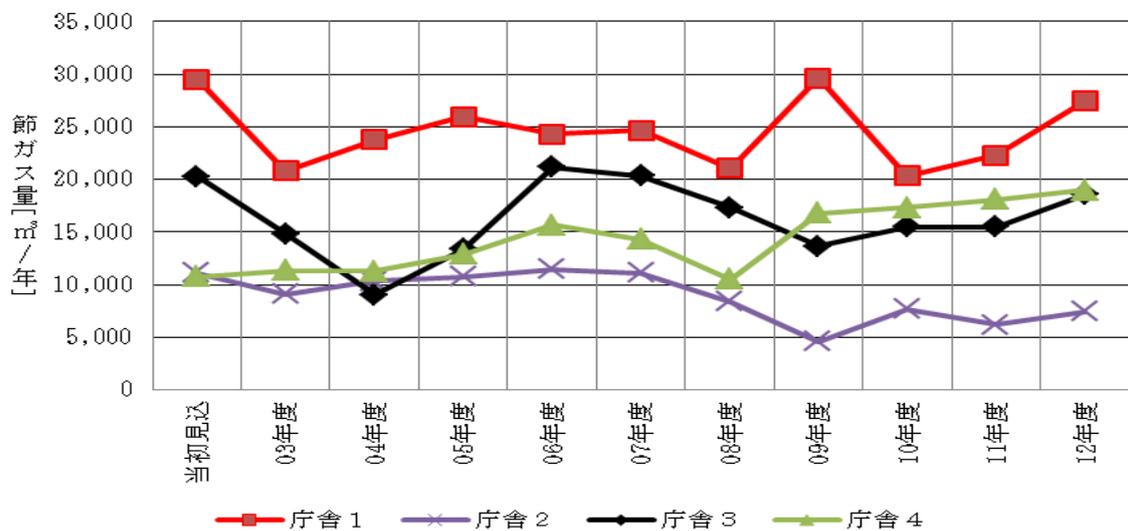


図-3.3 節ガス量推移

庁舎4は、唯一、当初見込みを上回る節ガス量を達成しており、特に2009年頃からの改善が著しい。庁舎4では、震災後の緊急対策と同様の取り組みを2009年度から実施しており、そのため、図-3.1に示すとおり、省エネ率の向上が2009年度から見られるが、図-3.2の節電量では、前倒し効果が見られない。庁舎4の熱源構成は、ガス熱源機器に加え、一部の熱源を電気式の水冷チラーが負担しており、また、数年前からガス熱源機の一部に故障が発生しているが、この対応策として熱源の一部をガスから電気にシフトしていたと推測すれば、

図-3.3 の節ガス量が、2009 年度から急に見かけ上の大きな改善が見られることがうまく説明でき、また、2009 年度から実施していた照明の間引き等の緊急節電対策の効果が、熱源の電気シフトによって相殺されたとすれば図-3.2 の節電量推移に、前倒し効果が見られないことも説明できる。なお、電気式の水冷冷凍専チラーは、2011 年度に同一能力で更新されており、ガス熱源の一部が電気熱源に代替されていた可能性と符合する。

2010 年以降も節ガス量が伸びているのは、2010 年度から実施されている朝顔のグリーンカーテンによる夏季空調負荷の低減効果の寄与も考えられる。

#### d 節水量の推移

図-3.4 の節水量の推移では、庁舎 1 の 2006 年度に大きなマイナスが見られるが、これは、追跡調査の結果、引き込み管から漏水事故が発生していたことがわかっている。庁舎 1 は、2008 年度まで設計値を下回る状況であったが、これは空調加湿器の不具合に起因するものではないかと推測され、加湿器の整備を行った 2009 年度以降大幅に節水量が増えている。

また、2010 年度以降、各庁舎で節水量が増えているのは、節水対策の強化とともに改修で自動水栓や小便器の自動洗浄装置を導入した影響と推測される。庁舎 2、4 は、経年で設計値を上回る効果を発揮出来ているが、庁舎 1、3 は、経年でバラツキが見られる。

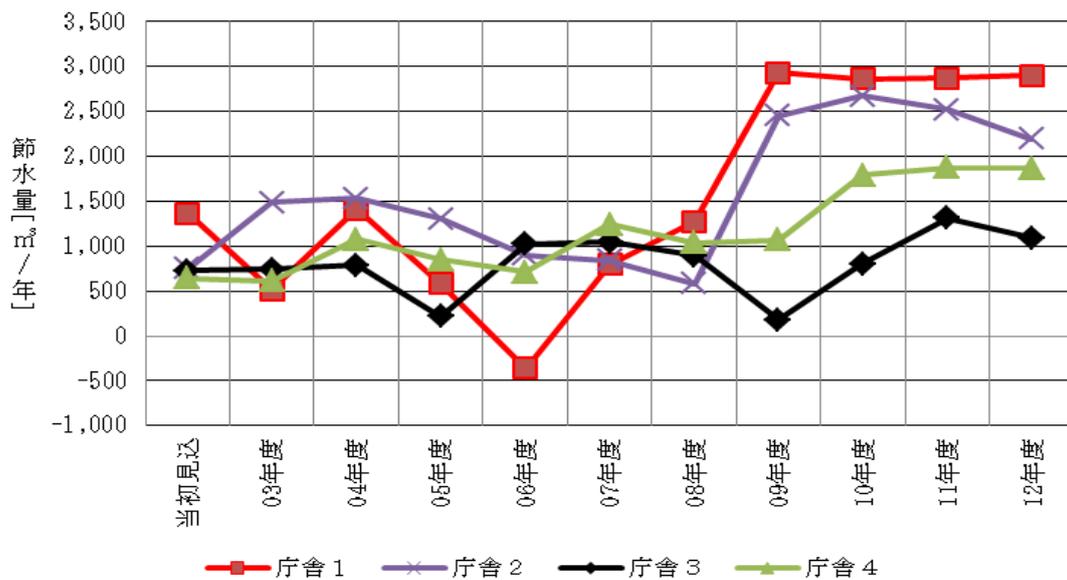


図-3.4 節水量推移

個々の省エネ改修手法の影響を判断するため、大きな効果のある省エネ手法の手法 i、手法 L による節電量、手法 a による節ガス量や節水量、手法 w による節水量の推移を確認する。

## (2) 主な省エネ手法の節電量推移

ESCO事業では、省エネ手法ごとにその成果を計測検証している訳ではなく、毎月の電気、ガス、水道の使用量を基礎データとし、最終的な光熱水費削減額を保証するので、手法毎の効果計測データがないため、本事例では、空調月（夏季：6、7、8、9月、冬季：12、1、2、3月）と非空調月（4、5、10、11月）の電力使用量の差から、各手法毎の節電量を算出することとした。算出の基礎とした各月毎の節電量は、庁舎毎に図-3.5~3.8のとおりであり、図中の着色部分は非空調期を示している。なお、前述の追加負荷分は、併せて補正している。

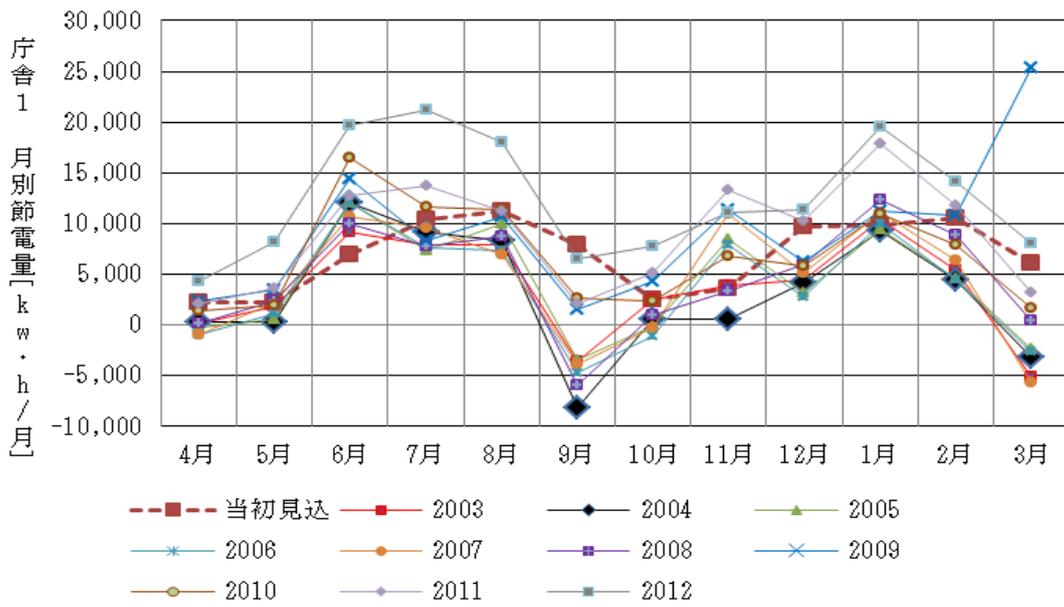


図-3.5 庁舎1の月別節電量推移

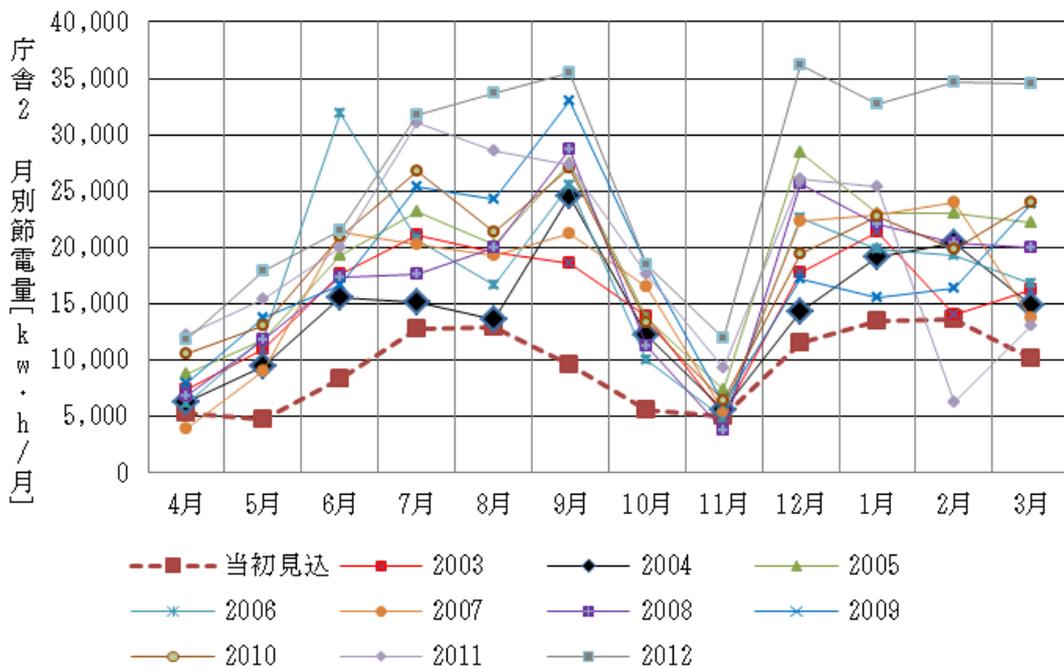


図-3.6 庁舎2の月別節電量推移

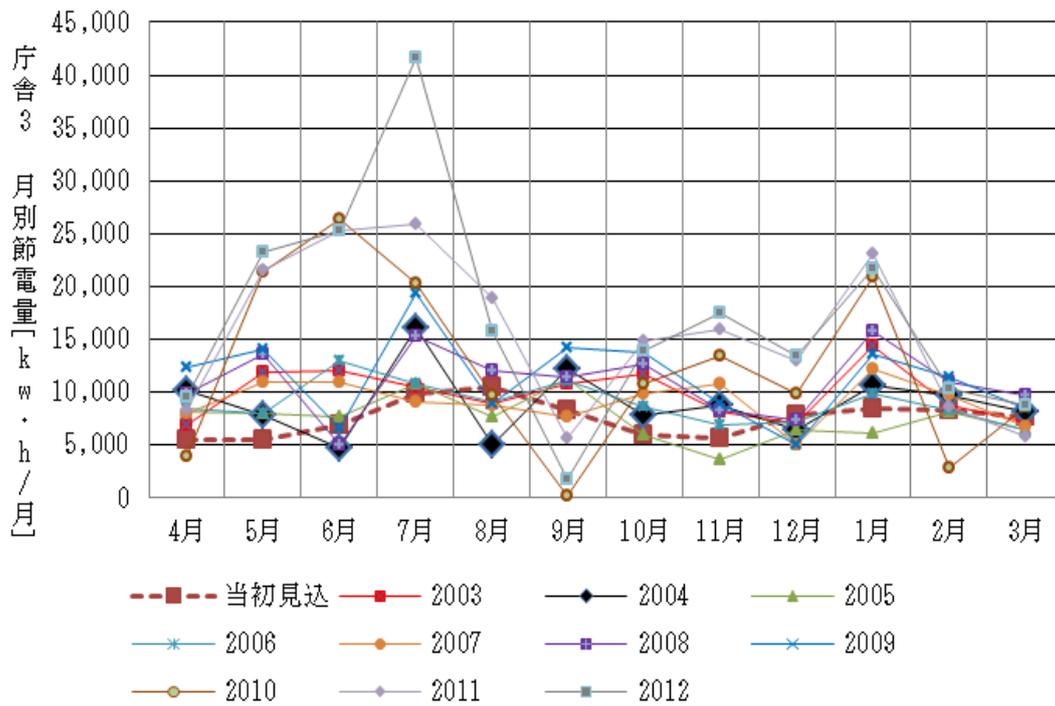


図-3.7 倉舎3の月別節電量推移

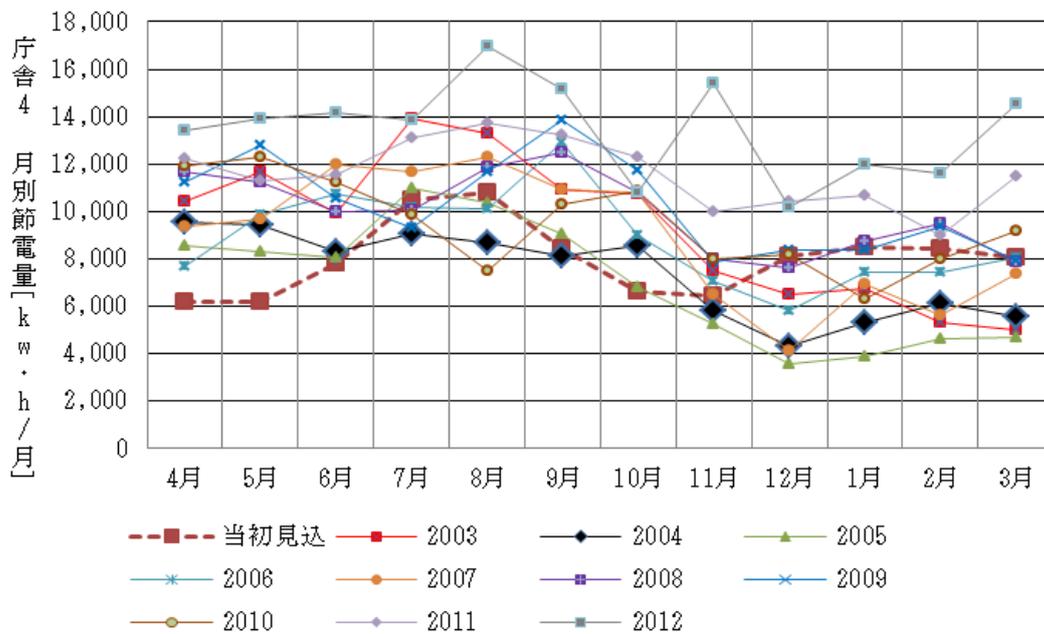


図-3.8 倉舎4の月別節電量推移

a 各手法による節電量の算出方法

手法Lによる年間節電量は空調の運転の有無にかかわらず一定であると考えられ、空調関係の省エネ手法の影響がない非空調期(4、5、10、11月)には手法L以外の節電手法がない(表-2.2参照)ため、非空調期の月間電力使用量の平均値を12倍して算出することで手法Lによる年間節電量を算出することとした。

空調関係の省エネ手法(手法i、手法r、手法c、手法a、手法tの合計)による年間節電量合計は、空調期にのみ効果を発揮するものであるため、空調各月節電量の中間期比増分(空調各月節電量から中間期月間平均値を減じた値の合計)となる。空調関係省エネ手法間の効果分解は、適当な方法がない為、設計値と同じ比率で効果が発揮されているものと仮定し、手法iによる節電量を算出することとした。

b 手法Lによる節電量の推移

手法Lによる節電量推移を図-3.9に示す。

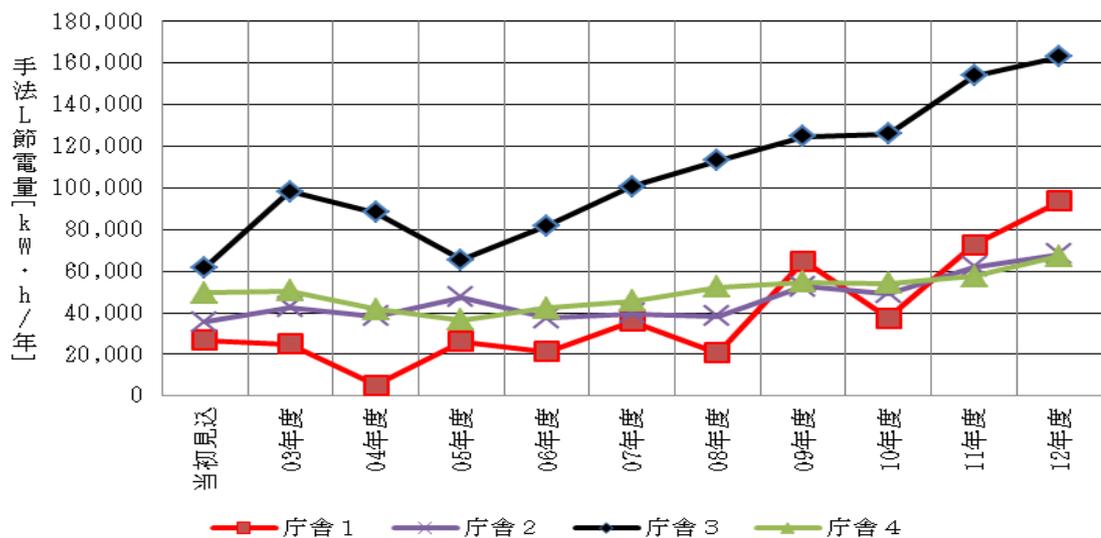


図-3.9 手法Lによる節電量推移

図-3.9 に示す手法Lによる節電量推移では、庁舎1を除き、設計値を相当上回る節電量で推移しており、概ね平行若しくはやや右肩上がりの推移で安定的な結果を残している。手法Lは、蛍光灯の安定器を高効率インバータ形に交換し、ランプを三波長色のパワーセーブ形に交換することで、高効率化による消費電力の削減を図るものであるが、事業終了後の2013年度に庁舎2で消費電力を測定したところ、初期の設計値である25Wとほぼ変わらない値を示しており、消費電力については、10年程度の事業期間内の経年劣化をほぼ考慮する必要がないことがわかる。事業期間を通じて、節電量が改善した原因としては、職員の省エネ意識の向上により、必要の無い部分のこまめな消灯などが実践されたのではないかと推測される。

庁舎1では設計値をやや下回り、特に2004年度は、異常に低い値が出ている。事業初期に特別に計測されていた電灯電力値の月別日平均値を確認したところ、前年と比べあまり増加がないので、BL補正式が省エネ手法の性能まで正確に評価できていない異常値と推測される。原因としては、残業の増加や休日運用などが推測される。

c 手法 i による節電量の推移

手法 i による節電量推移を図-3.10 に示す。

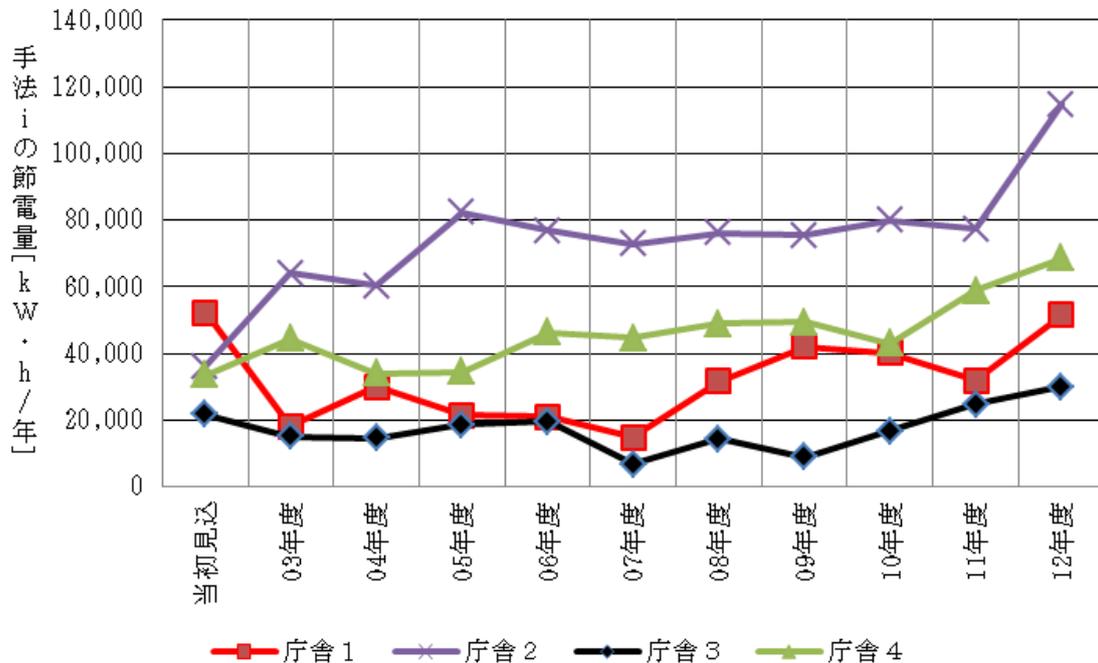


図-3.10 手法 i による節電量推移

図-3.10 の手法 i では、庁舎 1 と庁舎 3 で設計値を下回る状況が継続している。

手法 i は、ファンやポンプの搬送動力を、インバータで絞ることで大きな省エネ量を生み出すものであるが、主熱源であるガス吸収式冷温水器が、庁舎 4 を除き、ESCO 事業開始時点で既に製造から 15 年程度経過しており、経年劣化のため予定の冷温水温度が出ずに能力の限界を超えてフル稼働しており、搬送動力をインバータで絞るという手法 i の効果が十分に発揮できなかったためと考えられる。その後、何度かコイルや配管等のメンテナンスや機器のオーバーホールを実施することで、増減を繰り返した推移となっている。結果として、経年劣化の影響を、一定期間はメンテナンスで一定範囲に抑えられていると考

えられる。2011年以降は、震災後の節電対策の影響で照明の間引き点灯や空調温度管理を徹底した効果が見られる。

庁舎4は、ガス吸収式冷温水機が他の庁舎と比べて少し新しく、また電気式熱源機も併用した構成であるため、当初見込みを上回る安定した節電量が達成できたと考えられる。インバータの寿命は10年以上あるため、熱源に余力があり、絞り効果が発揮できる場合は、手法iは有効な手法と考えられる。

庁舎2では、見込みの倍程度、搬送動力の絞りが達成できているように見えているが、庁舎1、庁舎3と同様、ガス冷温水機は老朽化し、十分な能力が出ていない可能性が想定されるため、搬送動力をインバータで絞る効果が庁舎2だけ出ているという推論にはかなり無理がある。

むしろ、庁舎2の特徴としては、電気式パッケージエアコンの室外機に圧縮機コントローラを組み込む手法cを唯一導入しており、この手法cによる節電効果が按分によって、手法iに紛れ込んでいる可能性が考えられる。

#### d 手法cによる節電量の推移

手法cによる庁舎2の節電量は、図-3.11のとおりである。

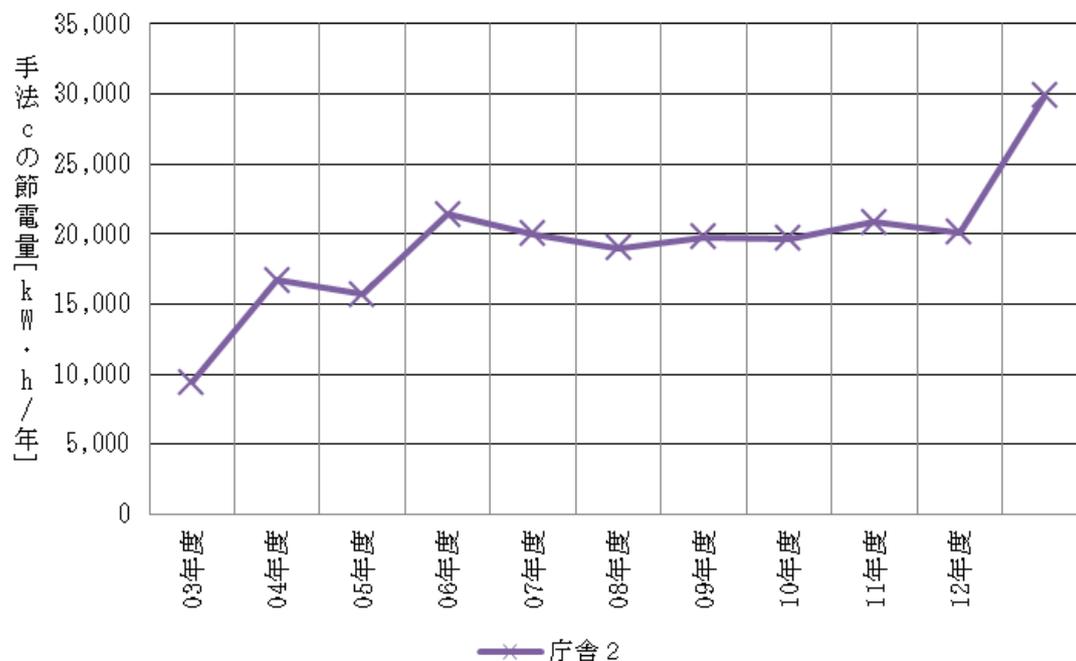


図-3.11 手法cによる節電量推移

図-3.11 に示すとおり、手法cは、当初見込みの倍程度にもなる節電量を発揮している。当初見込では、手法cに実績が少なく、室外機圧縮機を30分間で5分停止させる間歇運転制御であることから冷房期間のみの消費電力量の約15%の節電量が見込まれたが、現実にはその倍以上の節電効果を発揮し、取り扱いも容易で苦情もなく、有効な省エネ手法であったことが推測される。本事例では庁舎2のみの採用であるが、以降の他ESCO事業でも多く採用されており、機器も経年を通じて良好に作動していた。

また、手法iと手法cの節電量は、区別して計測できる体制ではなかったため設計値で按分して算出したが、そのため、庁舎2では、手法cの効果が手法i

の効果に紛れ込んだ可能性があり、庁舎2の手法iの効果が庁舎1と庁舎3の手法iの状況と同程度であり設計値に達しない程度だったとすれば、手法c自体の効果はさらに大きかった可能性がある。

### (3) 主な省エネ手法による節ガス量の推移

空調ガス使用量は、各省エネ手法が絡まって主熱源のガス吸収式冷温水器のガス消費量を節減しているため、各省エネ手法毎の効果は判別しづらく、設計上の比率で機能しているものとして節ガス量を算定する。なお、参考に、庁舎1～4の月毎の節ガス量推移を図-3.12～3.15に示す。

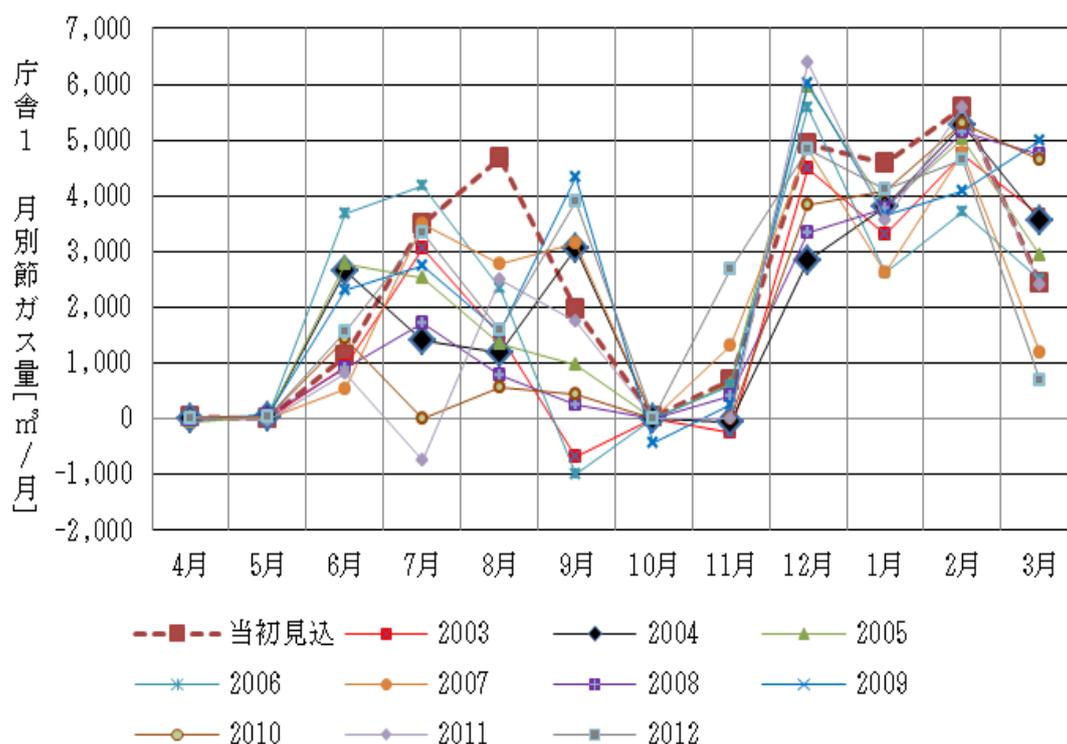


図-3.12 庁舎1の月別節ガス量推移

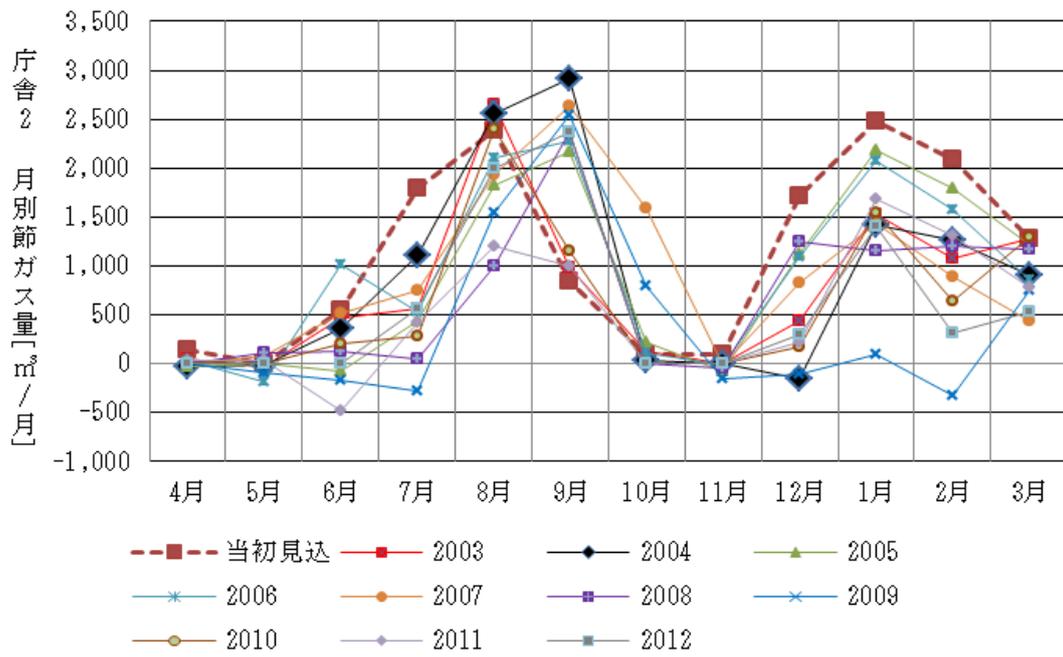


図-3.13 倉舎2の月別節ガス量推移

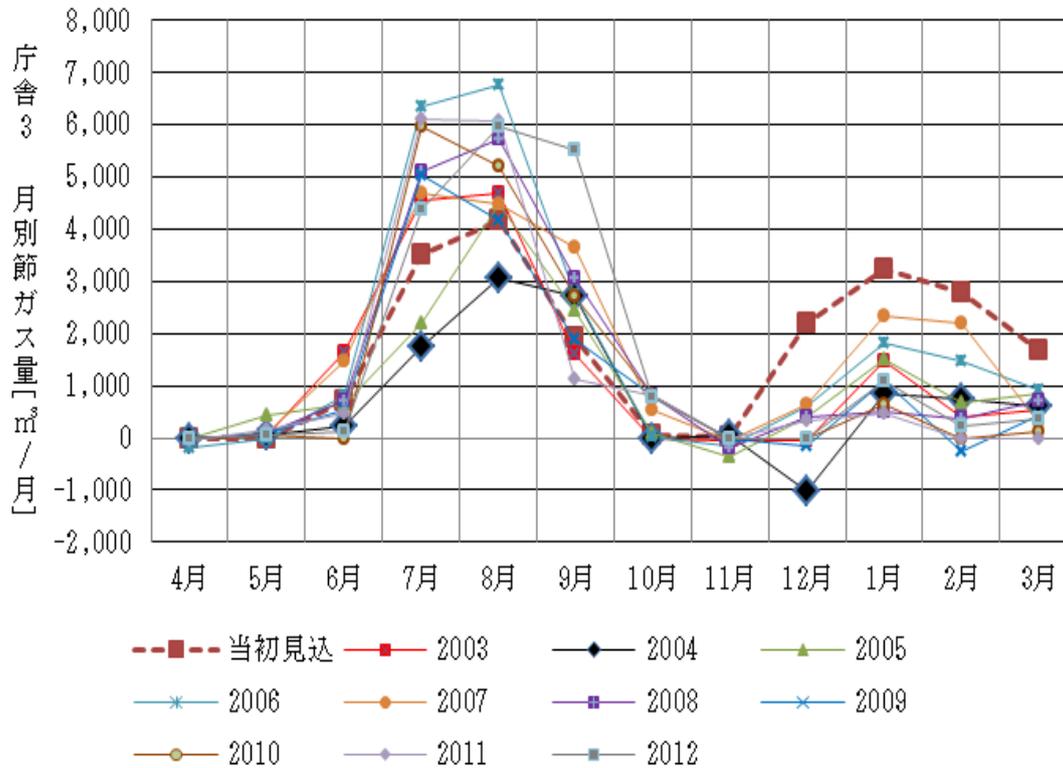


図-3.14 倉舎3の月別節ガス量推移

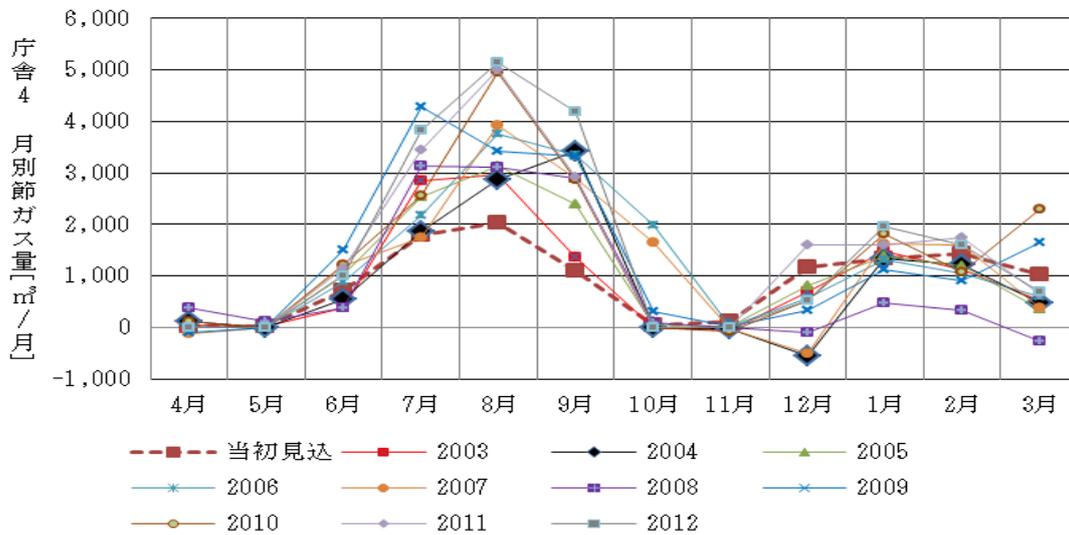


図-3.15 庁舎4の月別ガス量推移

空調ガスの節ガスは、空調運転をしない中間期には、ほとんどゼロに近く、また庁舎4では冷房期に経年を通じて設計値を上回る節ガスが達成されている。

次に、手法aによる節ガス量の経年変化を図-3.16に示す。

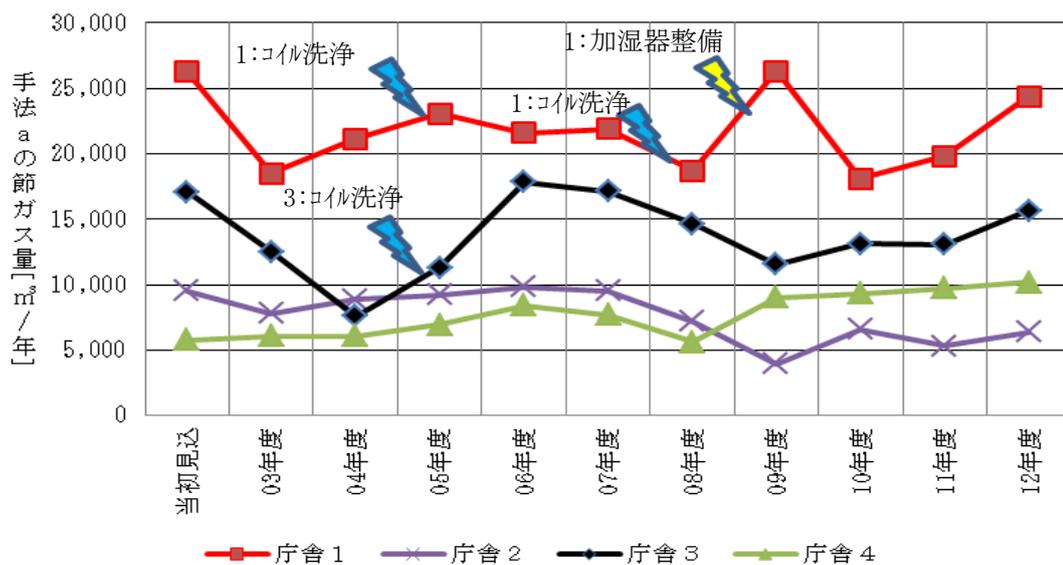


図-3.16 手法aによる節ガス量推移

節ガス量推移では、庁舎1でかなり設計値を下回っており、庁舎3でも2005年度、2006年度に改善が見られるが、それ以外はやや右肩下がり気味であり、主熱源のガス熱源機器の老朽化による経年劣化(初年度の2003年度時点で、庁舎1熱源機製造時より16年経過、庁舎3熱源機製造時より13年経過)の影響のため、熱源機がフル稼働状態であり、省エネ余地がなかったためではないかと推測される。庁舎1と庁舎3では、2004年度末に冷温水発生器のコイル洗浄を実施したため、一時的に、効率が向上し節ガスが図れたと推測される。庁舎1では、コイル洗浄による節ガス効果が4年程度で薄れており、2007年度末にも冷温水発生器のコイル洗浄をしているが、2008年度には効果が現れず、2009年度に一時的に改善がみられるものの、これは特異値とも考えら、以降は小康状態である。2009年度は、冷房期間、暖房期間共に、ベースラインと比較して外気温が低めであり、前年度のオーバーホールと相俟って冷房能力の低下していた熱源機に余裕を与え、省エネ余地を生み出した可能性が考えられるが、その後、効果が持続せず、経年劣化に対するオーバーホールの限界とも考えられる。

庁舎2(初年度時点で、12年経過)は、ゆるやかな右肩下がりの状況であり、熱源の老朽化による経年劣化の影響が推測される。

庁舎4は、他の庁舎に比べ、熱源機が比較的新しい(初年度時点で、熱源機製造時より6年経過)ため、経年劣化の影響は見受けられず、安定的に推移していた。

節ガスでは、省エネ手法の良否以外に、熱源機を如何に初期の能力に近い状況にキープ出来るかが、肝要であると考えられる。

なお、2011年度、2012年度に、庁舎2を除く各庁舎で節ガス量が若干増加しているのは、やはり、震災後の緊急対策による空調温度管理の徹底等によるものと推測する。

#### (4) 主な省エネ手法の節水量推移

各手法による節水量の算出に当たっては、手法wが通年で均等な効果を発揮すると考えられることから、その年間節水量を、空調系省エネ手法の影響を受けない中間期の月平均節水量を12倍して算出することとし、空調系省エネ手法に係る節水量の合計値は、空調期の冷却塔補給水及び加湿水の節減であるため、空調期の節水量合計から当該期間の中間期月平均節水量相当分を減じた値で算出される。空調系各手法の内訳は分解できないため、手法aによる節水量は、空調系節水量合計値から各手法の設計値の比率で按分して算出する。なお、参考に、庁舎1～4の月毎の節ガス量推移を図-3.17～3.20に示す。

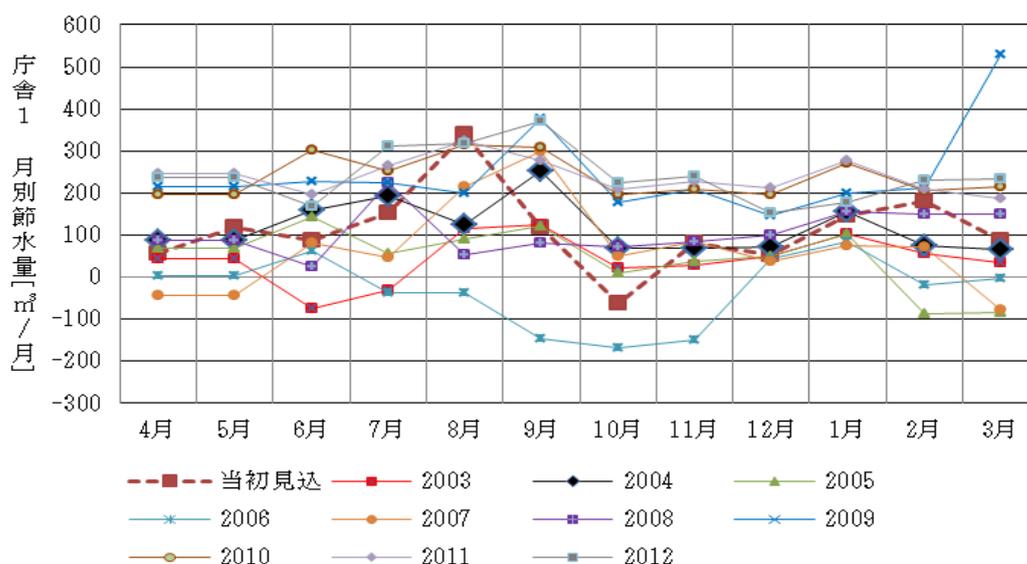


図-3.17 庁舎1の月別節水量推移

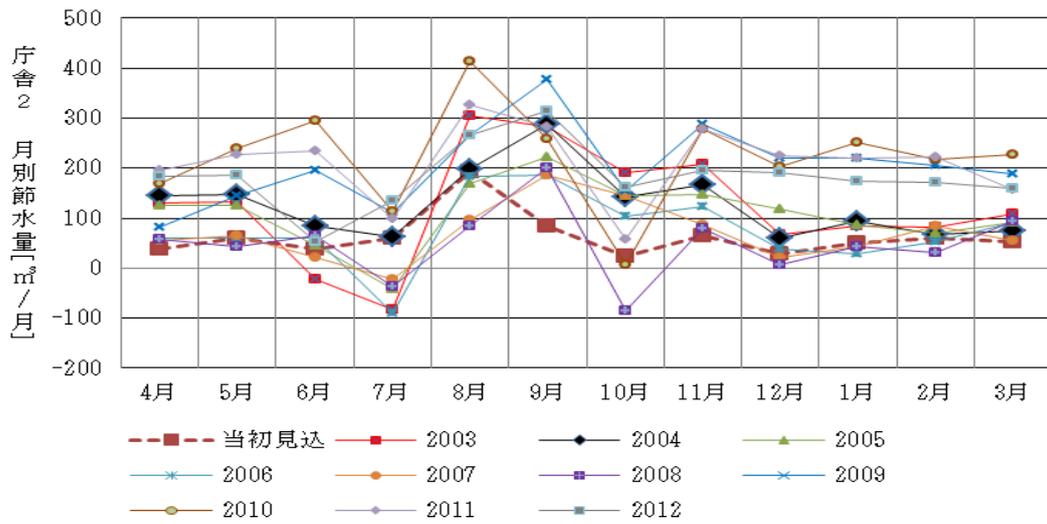


図-3.18 倉舎2の月別節水量推移

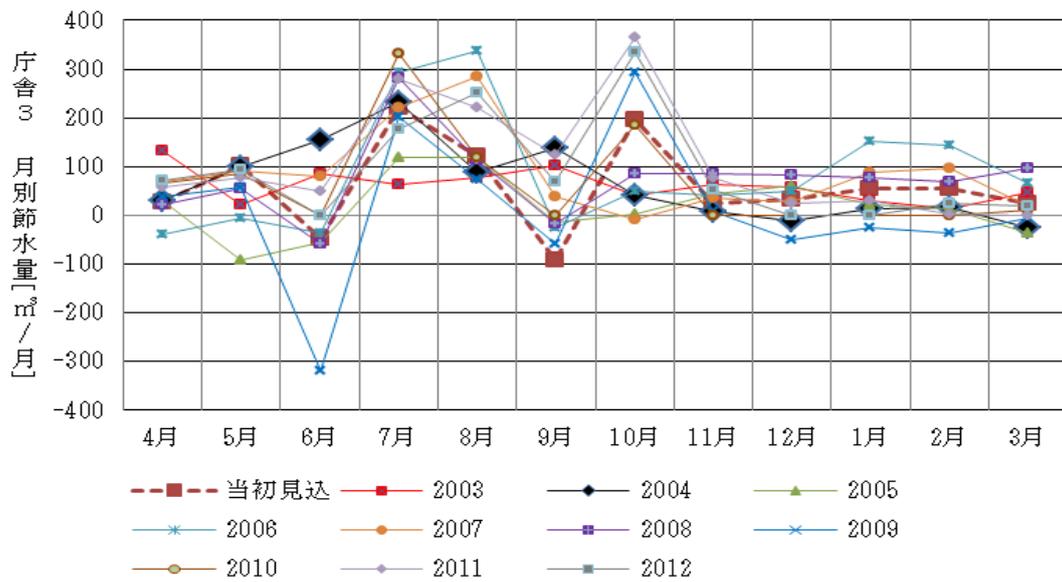


図-3.19 倉舎3の月別節水量推移

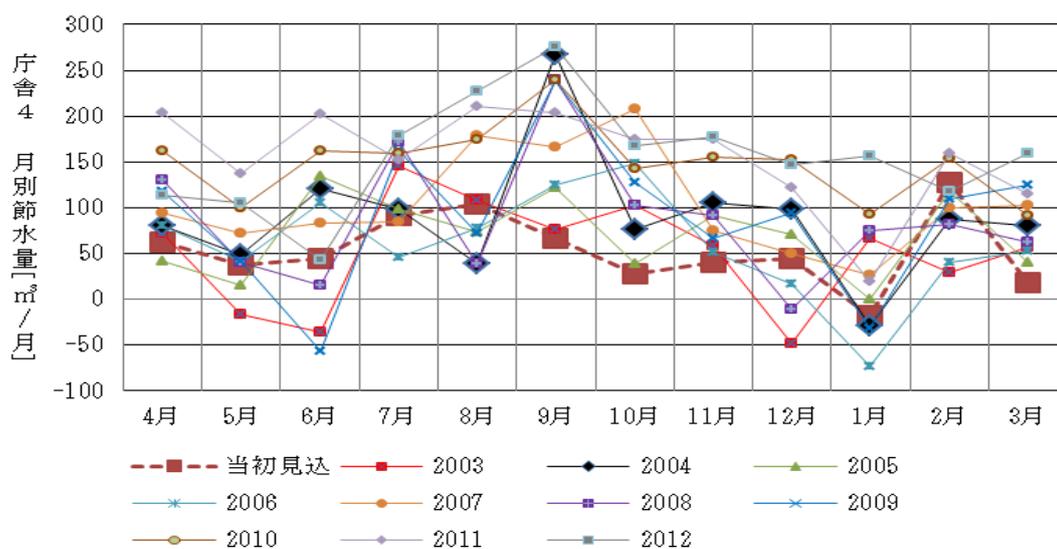


図-3.20 庁舎4の月別節水量推移

主な節水手法である手法wと手法aによる節水量の経年変動は、上述の手法で算出し、図-3.21、図-3.22のとおりである。

a 手法wによる節水量の推移

図-3.21の手法wによる節水量では、庁舎1の2006年度に異常値が見られるが、これは、漏水が原因であったため、これを除くと各庁舎とも概ね設計値を上回り堅調な推移が確認できる。

また、各庁舎とも、2009年度以降は、節水量が増加しているが、各庁舎独自に、小便器への自動フラッシュバルブが追加された可能性がある。

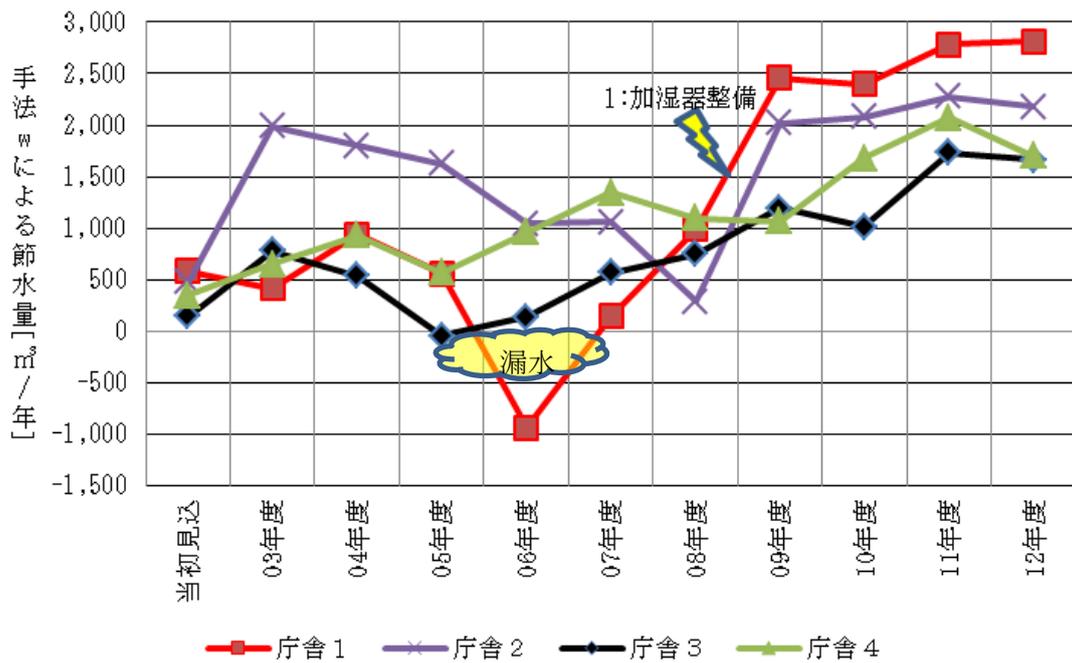


図-3.21 手法 w による節水量推移

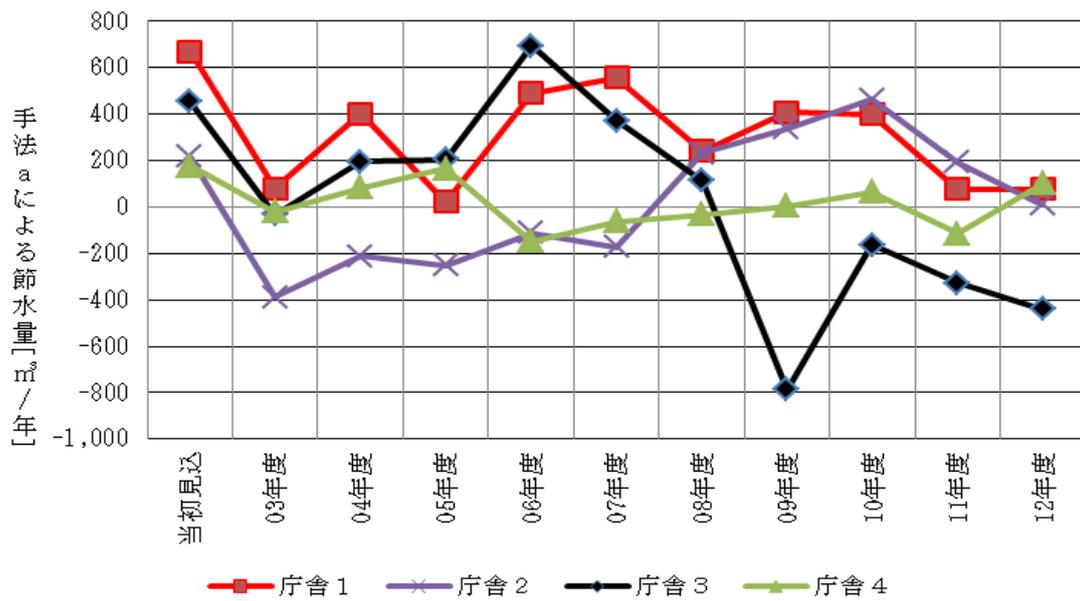


図-3.22 手法 a による節水量推移

b 手法 a による節水量の推移

図-3.22 の手法 a による節水量では、外気負荷の削減に伴う冷房時の冷却塔補給水の削減と、暖房時の加湿給水の削減を見込んでいるが、設計値を下回る動きが多く経年で上下を繰り返しており、主熱源のガス吸収冷温水機の老朽化やメンテナンスに引きずられた動きと考えられる。

### 3. 2 事務庁舎のESCO事業の省コスト実績

#### (1) 省エネ手法別省コスト額

ESCO事業（シェアード・セイビングス契約）では、毎年、光熱水費削減実績を算定し、実績が当初契約の削減保証額を上回っているかを判断し、サービス料の支払いが決定される。その際、事業の優劣と関係のない光熱水単価変動の影響を捨象する為、契約時の単価に置き直して削減効果が判断される。本事例では、契約当初の2002年3月単価で判断されている。

各省エネ手法毎の省コスト効果を省エネと同様の手法で算出し、併せて、各手法の実コストパフォーマンスを判断するため実際の単純償還年数も算出し、表-3.1に示す。

表-3.1 省エネ改修手法の実績省コスト率と実績償還年

略号	省エネ改修手法	省コスト率[%]								単純償還年[年]	
		庁舎1		庁舎2		庁舎3		庁舎4		設計	実績
		設計	実績	設計	実績	設計	実績	設計	実績		
r	熱源機運転変更	0.9	0.7	1.1	0.6	1.0	0.4	1.8	1.5	0.0	0.0
c	PAC室外機制御改修	-	-	0.9	1.6	-	-	-	-	11.2	6.3
i	ファン・ポンプインバータ化	5.5	2.1	3.5	6.0	2.2	1.6	3.4	4.5	12.0	14.9
a	外気量削減	11.4	8.9	6.3	6.6	7.5	3.4	4.0	3.7	1.7	3.0
t	室内設定温度変更	0.5	0.4	0.7	0.8	0.3	0.1	0.5	0.5	0.0	0.0
L	照明器具Hf化等	2.9	7.1	3.5	4.6	6.3	9.1	5.1	4.5	5.1	3.3
w	節水装置	1.5	3.7	1.0	3.5	0.3	1.9	1.0	3.9	1.4	0.2
	計	22.7	22.8	17.0	23.5	17.6	16.5	15.8	18.5	-	-

省コスト実績は、契約期間 10 年の平均値で算出したが、各手法とも凡そ設計値に近い効果を発揮できていることが確認できた。但し手法 c は、庁舎 2 のみの実施ではあるが、設計値の倍近い効果を発揮している。

コストパフォーマンスの観点からは、手法 i が平均値では契約期間 10 年を超える状況にあるが、個別に庁舎を見ると庁舎 1 と 3 の省コスト率が庁舎 2 と 4 の省コスト率の半分以下であり、手法 i の良否は、前述のように熱源機器の状況に左右され、庁舎 2 と 4 では良好なコストパフォーマンスを発揮できていると考えられる。

ESCO 事業では、光熱水費削減額は保証（本件は予定額の 95%）する必要がある、その達成状況が事業の成否の要であるため、削減保証達成率実績を、**図-3.23** に示す。

庁舎 1 と 3 では、当初、光熱水費削減保証目標に届かない状況が続いたが、これは熱源機器の能力や劣化状況把握で設計誤差が大きかったためと考えられ、経年ではやや右肩上がりの安定した推移が確認できた。特に本事例では 4 施設一括契約をしたため、全体では全ての契約期間において目標達成率保証を上回った。複数施設を一括契約することで、単一契約より経年の省コストの安定度が増していることが確認できる。

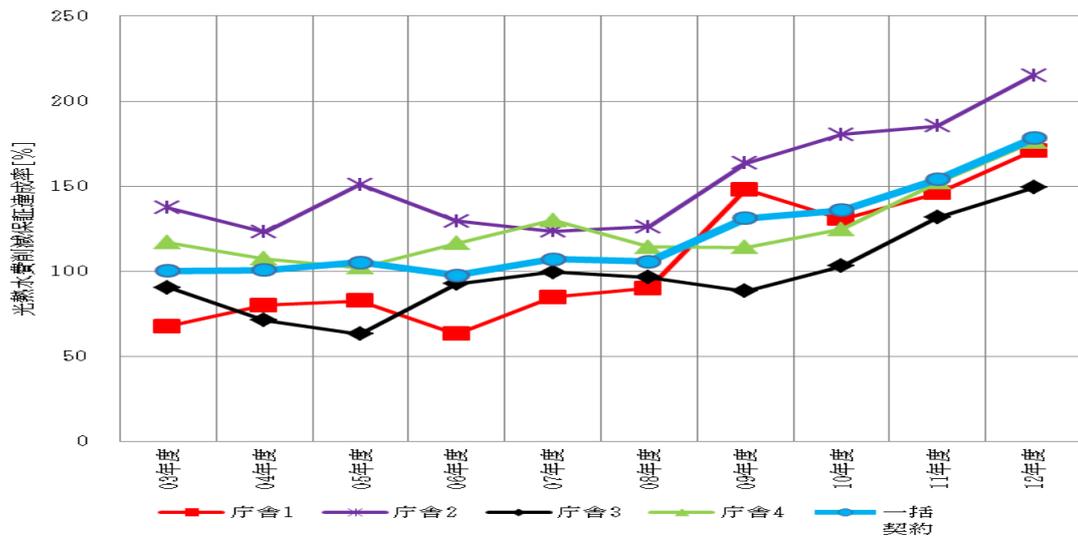


図-3.23 光熱水費削減保証達成率推移

### 3. 3 まとめ

事務庁舎の実E S C O事業の省コスト実績の経年変動は、経年劣化による影響がガス使用に係る部分に限定され、その割合が大きく、また、コイル洗浄などのオーバーホールで一定の範囲に収まるため、同様手法のE S C O事業であれば、初期の数年の成果確認で、設計誤差を確認すれば、熱源機等の保守を適正に行うことを条件に、その長期契約期間（本事例では10年）内の省コスト性能が保証される可能性を確認できた。

## 第4章 ベースライン補正式の精度検証

第4章では、第3章で未検証であったBL補正の精度を検証することとし、本研究対象の実ESCO事業で用いられたシミュレーションによる補正式の精度がどの程度の精度を有するかを明らかにすると共に、実際の誤差量を算出して必要となるベースラインデータ収集期間を導き出すこととする。また、他のESCO事業で一般的に用いられる回帰式による補正式の精度と比較して、本検討結果の汎用性を確認する。

### 4.1 ESCO事業のBL補正概要について

ESCO事業の省エネ化による光熱水費の節減量は、ESCO事業実施前3年間の光熱水費の平均値（BL）と改修後の実績値の差で把握されるが、光熱水費は外気温や単価変動、施設運営状況等によっても変動するため、これら外的要因を除外しESCO事業による省エネ効果のみを算定するBL補正が重要となる。

IPMVP（国際性能測定・実証議定書）<sup>文6)</sup>では、省エネ効果の確認方法として、照明改修など負荷の季節変動がほとんどないと見込まれる場合に、オプションAと呼ばれる、改修前後の消費電力等を実測してその差に点灯時間を乗じて削減効果を算出する簡易手法を認めている。しかし、施設全体で種々の省エネ改修を行う場合にはオプションCと呼ばれる回帰モデルによる統計的な手法によってBLを補正することを推奨しており、月単位データの場合には最低12月程度の改修前後の連続データを徴するよう求めている他には詳細の規定がない。

また、オプションDと呼ばれるシミュレーションによる方法も施設全体の省エネ改修には用いることができるとされているが、シミュレーションソフト等については規定がない。なお、IPMVPにはオプションBと呼ばれる改修機器の長期連続測定を用いる方法も規定されるが、計測費用がかさむため、実ESCO事業ではほとんど事例がない。

#### 4. 2 実ESCO事業のBL補正

本章では、これまで大阪府の実ESCO事業で採用されたBL補正手法を明らかにすると共に、第3章で省エネ性能を分析した庁舎1～4のBL補正式の精度を検証する。大阪府でこれまで実施された実ESCO事業におけるBL補正は、オプションCを採用しているものが多いが、中にはオプションDやオプションAを採用しているものもある。具体的なESCO各社の補正式を表-4.1に示す。また、庁舎1～4の概要は表-4.2のとおりである。

照明改修のみの場合にはオプションAも採用されるが、照明や空調、節水など施設全体の省エネ改修を行う場合には、ESCO事業者の多くはオプションCによって外気温と電気、ガス、水道の使用量との相関を確認し、回帰分析によって一次式若しくは二次式を補正式として用いている。本研究の対象である庁舎1～4は、いずれも主要部がガス吸収冷温水機による中央方式の空調であり、オプションDで構築されたBL補正式が用いられているが、シミュレーションの定数の算出方法は非公表となっている。

なお、各ESCO事業では、契約初年度の光熱水単価に置き換えて削減効果を算定する契約であるため、単価変動の影響は除外できている。

表-4.1 実 ESCO の BL 補正式

事業者	建物	契約年	延面積 [㎡]	補正対象			補正方法		説明変数			日 補 正
				電 気	ガ ス	水 道	オプション /主な補正式	温 度	人 員	時 間		
α	庁舎1	'02	7,271	○	○	○	D	シミュレーション式	○	○	○	
	庁舎2	'02	7,783	○	○	○	D	シミュレーション式	○	○	○	
	庁舎3	'02	7,695	○	○	○	D	シミュレーション式	○	○	○	
	庁舎4	'02	6,633	○	○	○	D	シミュレーション式	○	○	○	
	庁舎5	'05	6,455	○	○	○	D	シミュレーション式	○		○	
	複合1	'04	31,250	○	○	○	D	シミュレーション式	○		○	
	体育館	'06	28,206	○	○	○	D	シミュレーション式	○	○	○	
β	病院1	'01	39,205	○	○	○	C	2季回帰一次式	○	○		
	病院2	'04	43,234	○	○	○	C	2季回帰一次式	○	○		
	庁舎6	'05	64,094	○	○	○	C	2季回帰一次式	○			
γ	複合2	'03	8,080	○	○	-	C	2季回帰二次式	○			○
	複合3	'04	21,585	○	○	○	C	2季回帰二次式	○			○
	病院2	'03	68,841	○	○	○	C	2季回帰二次式	○			○
γ	複合4	'07	14,173	○	○	○	C	2季回帰一次式	○			
ε	複合5	'14	15,320	地冷			C	2季回帰一次式	○			
	図書館	'14	31,018	○	○	○	C	2季回帰一次式	○	○		
	宿泊1	'06	7,420	○	○	○	C	2季回帰一次式	○	○		
	宿泊2	'06	3,520	○	○	○	C	2季回帰一次式	○	○		
δ	庁舎8	'13	1,316	○	—	—	C	2季回帰一次式	○	○		
	庁舎9	'13	1,395	○	—	—	C	2季回帰一次式	○	○		
	庁舎10	'13	1,398	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎11	'13	6,930	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎12	'13	1,430	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎13	'13	2,836	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎14	'13	1,399	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎15	'13	3,077	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎16	'13	1,806	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
	庁舎17	'13	1,707	—	—	—	A	照明、節水改修のみ				
庁舎18	'13	3,123	—	—	—	A	照明、節水改修のみ					
η	研修所	'03	18,830	○	○	○	C	3季回帰一次式	○		○	
θ	庁舎7	'03	5,835	○	○	○	C	2季回帰一次/二次	○			

注 庁舎10~18は、照明、節水の改修のみである。

表-4.2 庁舎1～4の概要（表2.1再掲）

庁舎 no	延床 面積 [m <sup>2</sup> ]	階数	建設 年度	主要熱源機器		ESCO 契約 期間	エネルギー 原単位† [MJ/(m <sup>2</sup> ・ 年)]
				ガス吸収 冷温水機	その他の 熱源機器		
1	7271	4F1B	1972	280RT/1987製	-	'02-'12	1234
2	7783	4F1B	1972	160RT/1991製	PAC ; 196HP	'02-'12	1255
3	7695	4F1B	1972	40RT×8/°90製	-	'02-'12	1296
4	6633	4F1B	1974	236RT/1997製	水冷チラー50RT	'02-'12	1293

注 エネルギー原単位は、施設内での年間全エネルギー使用量を延床面積で除した値であり、DECCデータの平均値1126MJ/m<sup>2</sup>に比べ若干上回っている。電気は10.25MJ/(kW・h)、ガスは44.063 MJ/m<sup>3</sup>でエネルギー換算した。

#### 4.3 実ESCO事業のBL補正式の誤差検証

事業者αが庁舎1～4で用いたBL補正式は、式(4.1)のとおりである。ここで、気温調整定数*a*、*m*や稼働時間調整定数*b*、*m*は、ESCO事業者独自の非公開シミュレーションによって、各月ごとに定められているものである。

$$E_{est, m, y} = E_{real, m, ave} + a, m \times (T_{m, y} - T_{m, ave}) + b, m \times (X_{m, y} - X_{m, ave}) \quad \dots\dots (4.1)$$

*E<sub>est, m, y</sub>* : *y*年 *m*月の補正後のBL月間使用量

*E<sub>real, m, ave</sub>* : *m*月の改修前3年の実績値の平均値

*X<sub>m, y</sub>* : *y*年 *m*月の熱源機器稼働時間 [h]

*X<sub>m, ave</sub>* : *m*月改修前3年空調機器平均稼働時間 [h]

*T<sub>m, y</sub>* : *y*年 *m*月の月平均外気温 [°C]

$T_{m,ave}$  :  $m$ 月の改修前3年の外気温平均値 [°C]

$a, m$  :  $m$ 月の気温調整定数

$b, m$  :  $m$ 月の稼働時間調整定数

大阪府事務庁舎では人員や稼働時間に殆ど変動がなく、式(4.1)も実質的には外気温のみを説明変数とするため、庁舎1～4においても外気温のみを説明変数とするオプションCによる回帰一次式と二次式を作成し、庁舎1～4の実ESCO事業で用いられたオプションDによるシミュレーション補正式(以下、実ESCO補正式という)と補正精度を比較検証する。補正式の精度を検証するため、宮田らの研究<sup>7)</sup>でも用いられた相対誤差 $\Delta$ を式(4.2)で定義する。

$$\Delta = \sqrt{\left( \frac{\sum_{y=1}^3 \sum_{m=1}^{12} (E_{est,m,y} - E_{real,m,y})^2}{(3 \times 12)} \right)} / \left( \frac{\sum_{y=1}^3 \sum_{m=1}^{12} E_{real,m,y}}{(3 \times 12)} \right) \cdots \cdots (4.2)$$

#### (1) 電気使用量とBL補正式の誤差検証

庁舎1～4のBL電気使用量と式(4.1)の実ESCO補正式、及び、BL電気使用量の分布から作成した回帰式(2季;1次、2次)を図-4.1～4.4に示す。

##### a 実ESCO補正式と回帰式の精度

実ESCO補正式は、各月別に設定されており、式(4.2)による各庁舎の実ESCO補正式の相対誤差は、表-4.3に示すとおり、3.4～6.1%の範囲であった。

図-4.1～4.4に示す回帰式(2季;1次、2次)は、実績値を夏季(5～10月)と冬季(11～4月)の2季に分けて作成しており、庁舎4冬季を除きいずれも相関係数は0.6を超えて外気温と十分な相関が認められ、相対誤差は3.7%～12.3%であり、庁舎2を除き実ESCO補正式が最も精度が高く、また回帰2次式

は1次式より精度が高かった。庁舎2においても、実ESCO補正式は相対誤差が5.5%であり、回帰式とほとんど遜色のない精度を有していた。

なお、宮田らの研究<sup>文3)</sup>では、回帰式の策定において、夏季と冬季の2季に分けて策定するより、中間期（4、5月と10、11月）をも考慮した3季で策定した方が、精度が向上するケースが多いとされており、本事例で3季回帰式（1次、2次）を作成して検証したところ、表-3のとおり、2季回帰式に比して若干の精度向上が確認できたが、実ESCO補正式と3季回帰式（グラフは省略）を比較すると、庁舎1、3では実ESCO補正式の方が精度良く、庁舎2、4では3季回帰式が上回るものの大差のないレベルであることがわかった。

また、3季回帰式は相関係数が2季回帰式に比べ低くなっている。

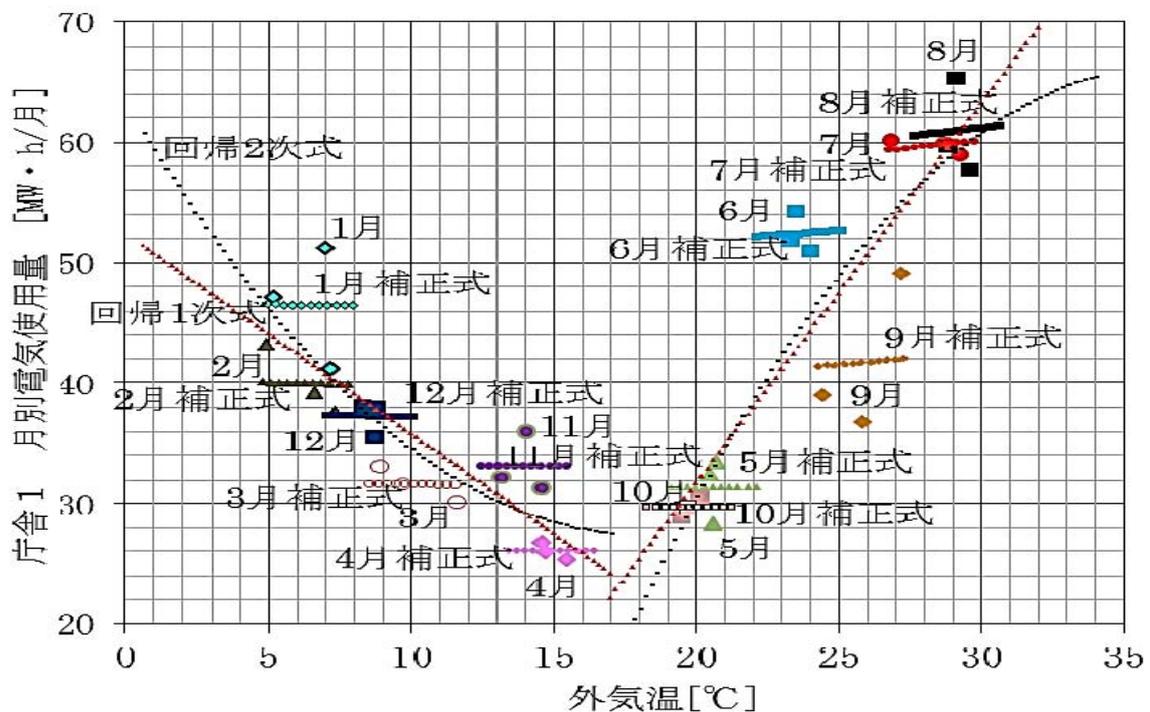


図-4.1 庁舎1 BL 月別電気使用量と BL 補正式

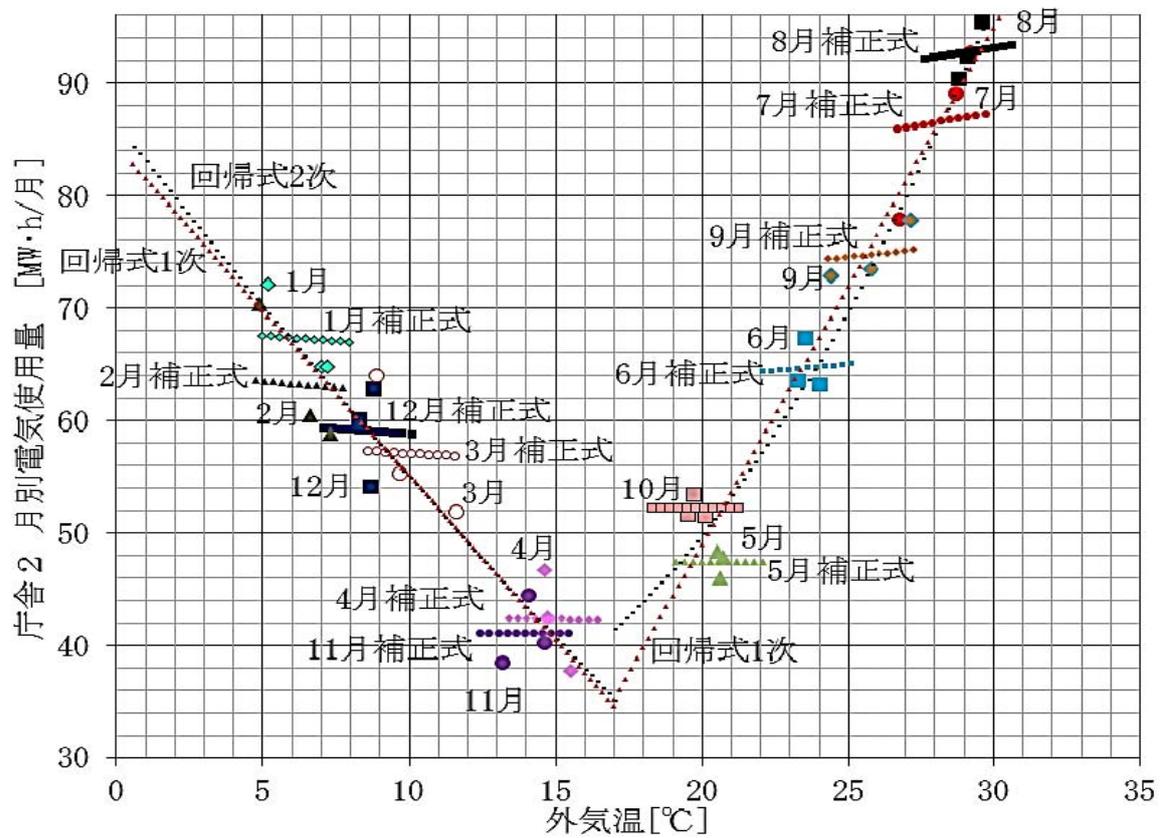


図-4.2 倉舎2 BL月別電気使用量とBL補正式

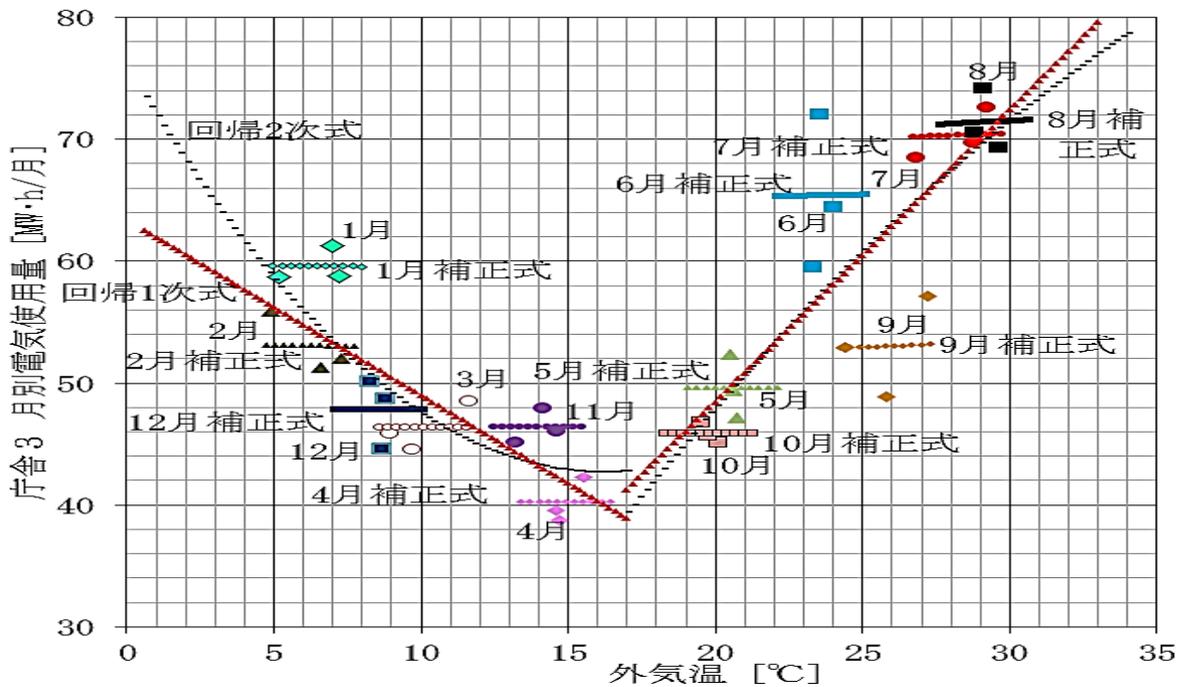


図-4.3 倉舎3 BL月別電気使用量とBL補正式

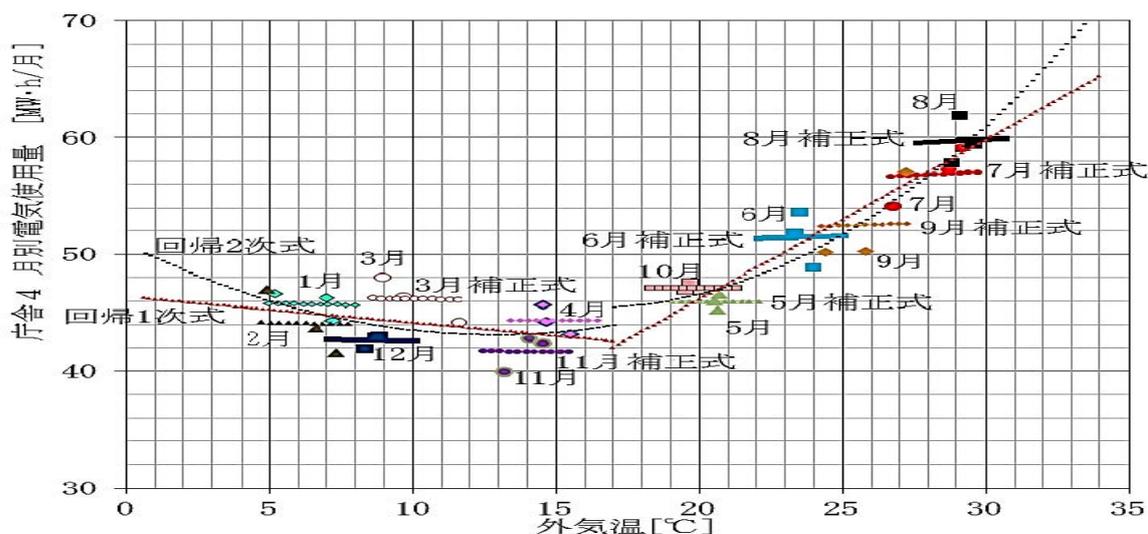


図-4.4 庁舎4 BL月別電気使用量とBL補正式

表-4.3 電気使用量各補正式の相対誤差

電気 使用 量	実ESCO 補正式 $\Delta$ [%]	2季回帰2次式		2季回帰1次式		3季回帰2次式		3季回帰1次式	
		相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数
		$\Delta$ [%]	$R^2$ 夏/冬	$\Delta$ [%]	$R^2$ 夏/冬	$\Delta$ [%]	$R^2$ 夏/中/冬	$\Delta$ [%]	$R^2$ 夏/中/冬
庁舎1	6.1	12.0	0.79/0.72	12.3	0.78/0.70	10.3	0.50/0.38/0.64	11.5	0.35/0.01/0.64
庁舎2	5.5	5.2	0.97/0.90	5.4	0.96/0.90	4.6	0.97/0.60/0.71	4.8	0.95/0.58/0.70
庁舎3	4.4	9.2	0.68/0.66	9.3	0.68/0.63	7.8	0.50/0.51/0.52	9.1	0.25/0.33/0.49
庁舎4	3.4	3.7	0.90/0.18	3.9	0.88/0.14	3.2	0.83/0.80/0.16	3.7	0.76/0.67/0.04

注 表中ハッチング部は最も精度の高い式を示す。

b 庁舎1～4の比較検討

庁舎1～4は、表-4.2のとおりいずれも床面積が7000m<sup>2</sup>前後であり、入居している部署もほぼ同等であるため、図-4.1～4.4に示す電力使用量も概ね似通

っているが、庁舎2は別館が電気式のパッケージエアコンを採用しているため、空調期の電気使用量が他の庁舎より大きくなっている。

回帰式は、外気温のみを説明変数とするため湿度要因が考慮できておらず、多湿期である6月データの乖離が懸念されたが、庁舎3(図-4.3参照)を除き、回帰式からの大きな乖離は見られない。庁舎3の6月実績値が回帰式より大きく上ぶれしている原因を詳細に分析したところ、1999年6月と2000年6月には閉庁日に大雨が頻発しており、主な入居部署である土木事務所が、洪水等の警戒のため休日や夜間に長時間の水防待機をしたものと推定され、中でも庁舎3は、他の庁舎と異なり奈良県内の降水を集中して引き受ける大和川水系を管轄するため、大阪府内の中小河川や、琵琶湖や上流ダムによって十分な洪水調節機能を有する淀川水系を管轄する他庁舎より長時間の待機出動を休日に行ったことが原因で照明点灯時間が伸びたことによるものと推測される。逆に、庁舎3では、9月実績値が回帰式より下回っているが、これは水防活動の反動で9月末期限の夏季休暇取得による残業減が生じた可能性が疑われる。

## (2) 空調ガス使用量とBL補正式の誤差検証

庁舎1～4のBL空調ガス使用量と、式(4.1)の実ESCO補正式、回帰式(2季；1次、2次)を図-4.5～4.8に示す。

空調ガス使用量回帰式の相関係数は、表-4.4のとおり、全て0.8を超え、外気温と強い相関が認められるが、相対誤差 $\Delta$ は実ESCO補正式を含め13.1～23.1%であり、電気使用量に比べ精度がかなり悪くなっている。

表-4.4 ガス使用量各補正式の相対誤差

ガス 使用 量	実ESCO 補正式 $\Delta$ [%]	2季回帰2次式		2季回帰1次式		3季回帰2次式		3季回帰1次式	
		相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数
		$\Delta$ [%]	R <sup>2</sup> 夏/冬	$\Delta$ [%]	R <sup>2</sup> 夏/冬	$\Delta$ [%]	R <sup>2</sup> 夏/中/冬	$\Delta$ [%]	R <sup>2</sup> 夏/中/冬
庁舎1	19.9	23.1	0.93/0.88	23.2	0.93/0.88	21.9	0.79/0.17/0.67	22.1	0.79/0.17/0.65
庁舎2	15.8	15.9	0.97/0.94	17.0	0.96/0.94	14.0	0.94/0.10/0.83	14.1	0.94/0.03/0.83
庁舎3	20.5	17.9	0.96/0.96	18.7	0.96/0.96	15.4	0.93/0.08/0.88	16.2	0.92/0.08/0.87
庁舎4	13.2	12.5	0.98/0.95	13.1	0.98/0.95	10.0	0.96/0.01/0.88	10.2	0.96/0.00/0.84

注 表中ハッチング部は最も精度の高い式を示す。

各庁舎とも BL 時期には VAV や VWV は導入されておらず、電気負荷は照明やポンプ、ファンなどの動力が定格に近い運転で安定しているが、空調ガス使用量は空調負荷に対応するため変動が大きく、ガス吸収冷温水機も部分負荷運転が多くなり、その変動によって補正式の精度が低下することが原因と推測される。回帰式については、電気使用量と同様に、中間期を設けない2季回帰式と中間期を考慮した3季回帰式（グラフは省略）を作成したが、表-4.4のとおり、相対誤差では3季回帰2次式が最も精度が高くなっている。一方、相関係数をみると、2季回帰式が3季回帰式より相関が高くなっているが、2季回帰式は、中間期に計算上負の値になる部分があり、これをゼロと置き換えることとしたため、実質的には3季式に近くなっている。行政庁舎では、画一的な空調運用期間を定めており、中間期は原則空調しないため、3季式の方が合理的だと考えられるが、通常の民間ビルなどで、外気温に応じて弾力的な空調運用をする場合には、必ずしも本事例があてはまるわけではない。

実 ESCO 補正式と2季、3季回帰式を比較すると、表-4.4のとおり、庁舎1では実 ESCO 補正式が最も高精度であり、庁舎2、3、4では3季回帰2次式の

方がやや精度が良いが、いずれも大きな優劣は認められなかった。また、庁舎3の6月や9月の電気使用量にあった回帰式からの乖離（図-4.3参照）は、ガス使用量では認められず（図-4.7参照）、水防待機時は無空調であったと推測される。

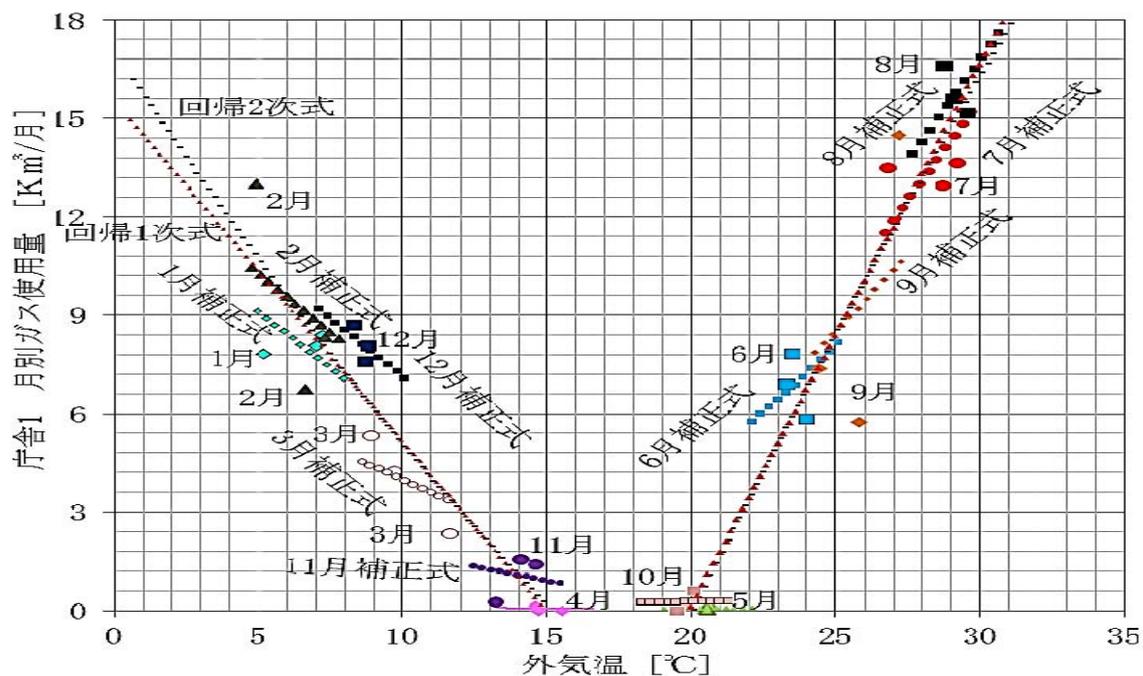


図-4.5 庁舎1 BL ガス使用量と BL 補正式

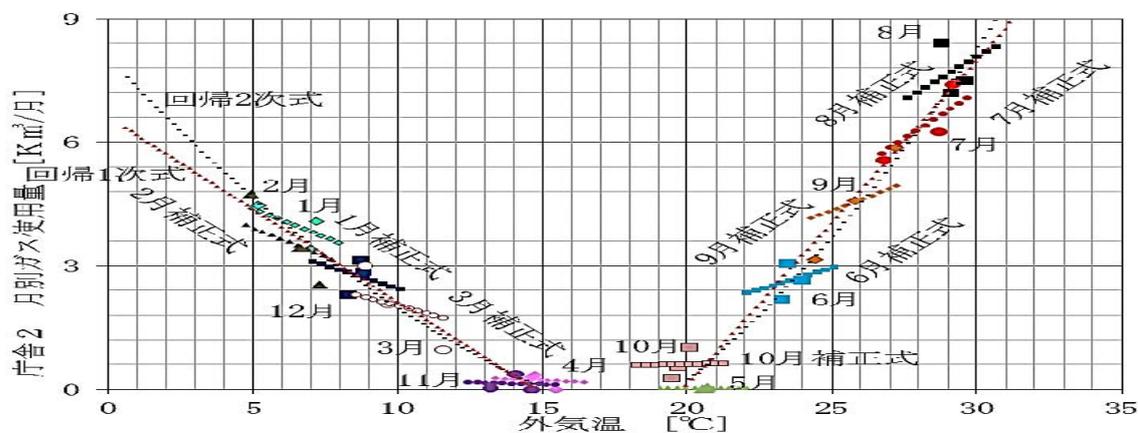


図-4.6 庁舎2 BL ガス使用量と BL 補正式

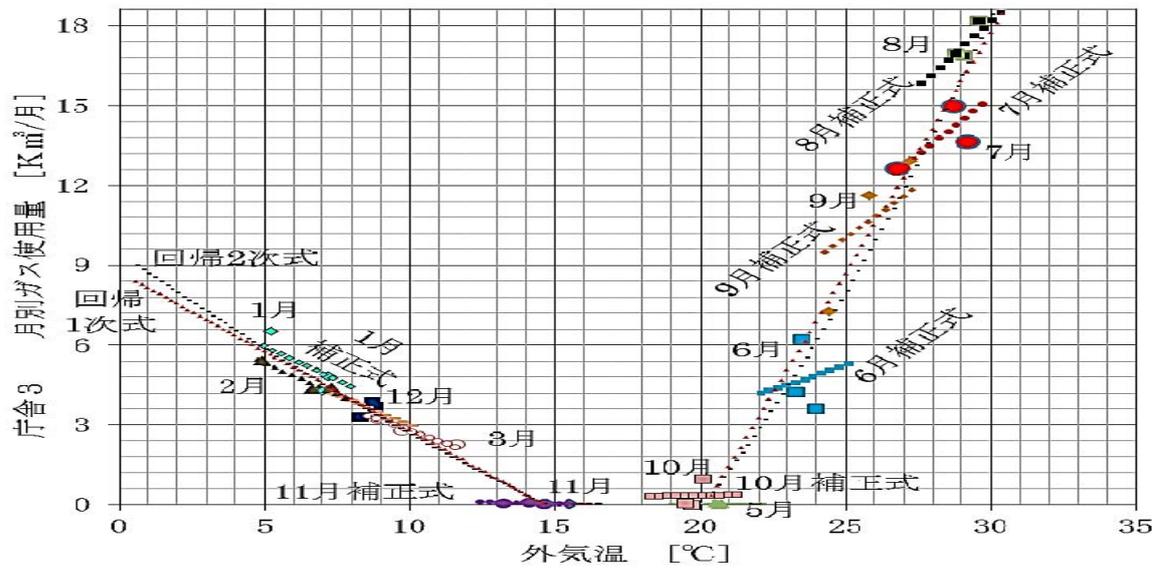


図-4.7 倉舎3 BL ガス使用量と BL 補正式

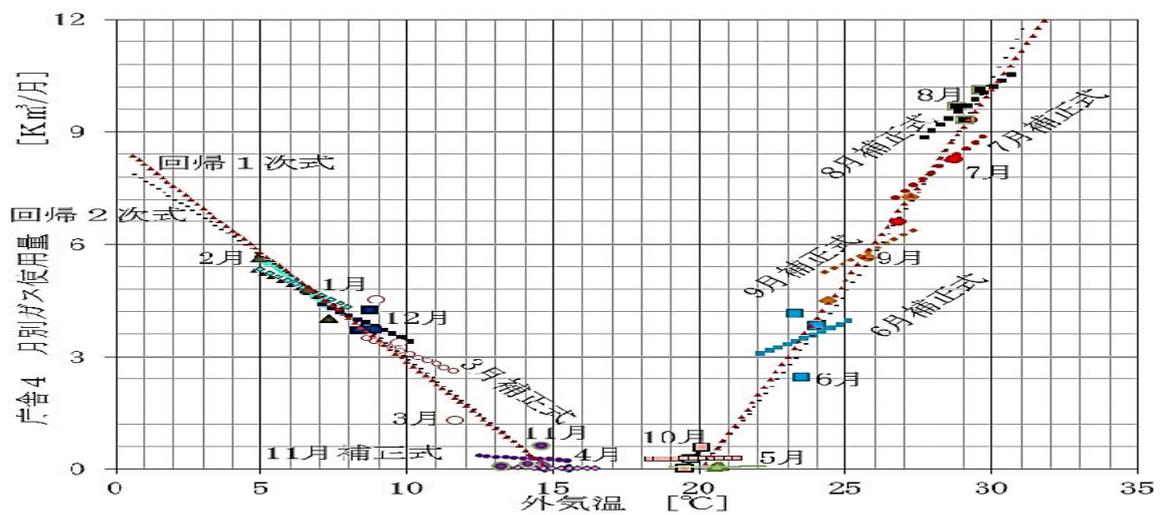


図-4.8 倉舎4 BL ガス使用量と BL 補正式

### (3) 水道使用量と BL 補正式の誤差検証

庁舎 1～4 の BL 水道使用量と、式(4.1)の実 ESCO 補正式、回帰式(2季;1次、2次)を図-4.9～4.11 に示す。また、BL 水道使用量補正式と回帰式の相対誤差及び相関係数を、表-4.5 に示す。

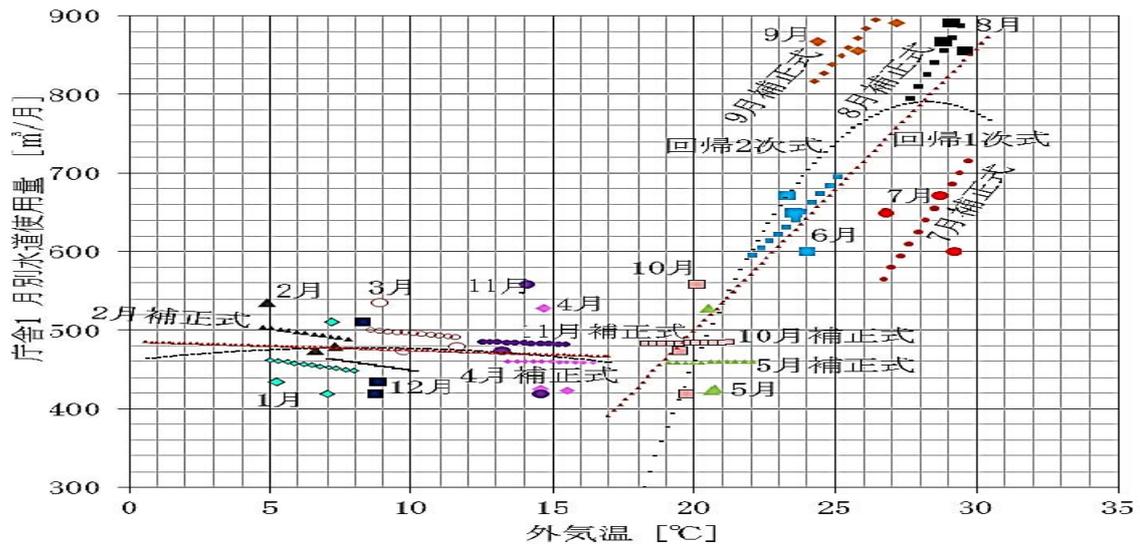


図-4.9 庁舎 1 BL 水道使用量と BL 補正式

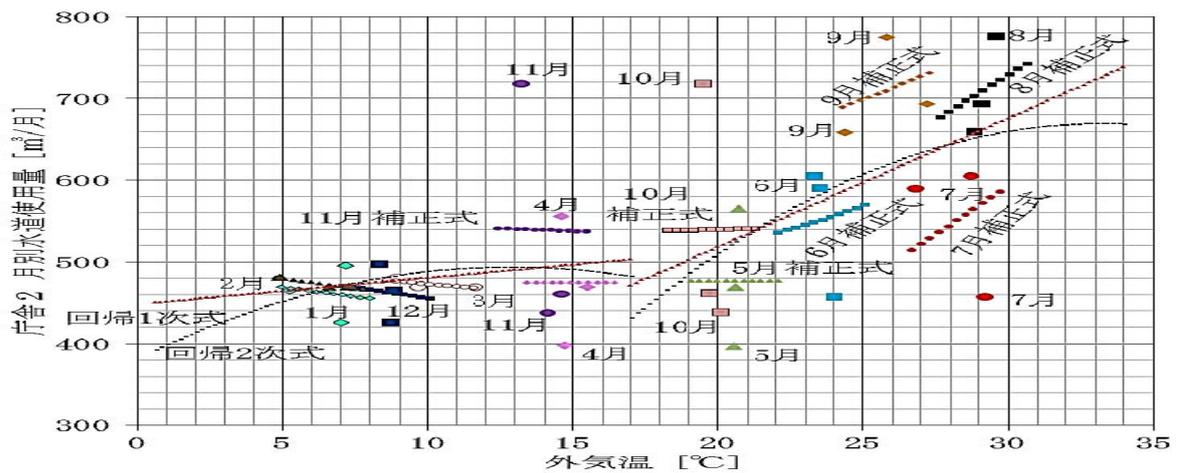


図-4.10 庁舎 2 BL 水道使用量と BL 補正式

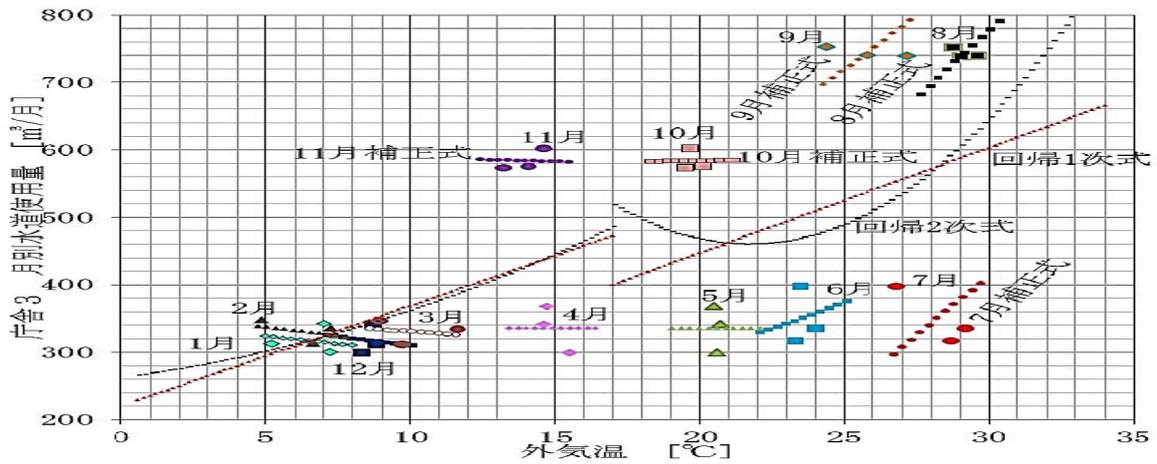


図-4.11 倉舎3 BL水道使用量とBL補正式

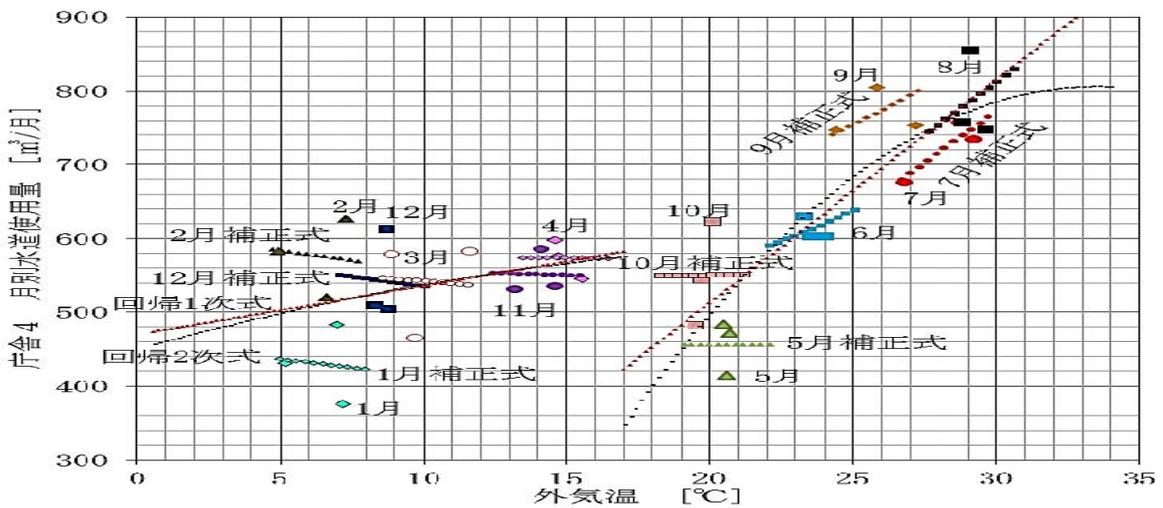


図-4.12 倉舎4 BL水道使用量とBL補正式

表-4.5 水道使用量各補正式の相対誤差

水道 使用 量	実SC0 補正式 Δ[%]	2季回歸2次式		2季回歸1次式		3季回歸2次式		3季回歸1次式	
		相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数	相対誤差	相関係数
		Δ[%]	R <sup>2</sup> 夏/冬	Δ[%]	R <sup>2</sup> 夏/冬	Δ[%]	R <sup>2</sup> 夏/中/冬	Δ[%]	R <sup>2</sup> 夏/中/冬
倉舎1	7.9	13.3	0.67/0.00	14.5	0.60/0.01	15.2	0.16/0.03/0.02	13.3	0.10/0.00/0.00
倉舎2	13.0	15.9	0.24/0.04	15.9	0.24/0.03	15.0	0.10/0.09/0.01	15.5	0.06/0.01/0.00
倉舎3	5.6	30.4	0.11/0.28	30.6	0.10/0.28	28.6	0.17/0.03/0.06	29.5	0.10/0.02/0.00
倉舎4	6.7	10.3	0.76/0.13	10.4	0.75/0.13	9.6	0.56/0.37/0.07	10.0	0.49/0.28/0.05

水道使用量については、回帰式の相関係数が庁舎 1 と 4 の夏季を除いて 0.4 以下であり、外気温との相関があまり見られず、特に冬季は相関が低い。水道使用量は、夏季の冷却塔補給水を除いてある程度一定であり、冬季は加湿補給水が必要となるものの冷却塔補給水に比べて量が著しく過小なため外気温との相関は乏しいためである。

相対誤差については、月毎にシミュレーションで定める実 ESCO 補正式の方が、**表-4.5** のとおり、良好な精度を確保できている。空調関係の水需要を除くと一定値とも考えられるが、月別に微妙に水量が異なるのは、散水や洗車水の影響が考えられる。回帰式については、2 季と 3 季で明確な有意差はみられないが、庁舎 3 を除き相対誤差は 15% 程度に収まっており、実 ESCO 補正式には及ばないものの一定の精度を有している。庁舎 3 では、相対誤差が 30% 程度とかなり精度が悪くなっている。水道使用量は、庁舎 1～3 では、2 ヶ月単位で偶数月に検針・請求が行われるため、各月等分に使用したものとして使用量を按分算出したので、夏季の 7 月と 8 月の差が大きくなり、特に冷却塔補給水量が大きい場合には、この誤差が顕著になることが原因と考えられる。なお、庁舎 4 では、各月検針であるため、回帰式も相対誤差が 10% 程度と比較的精度が良くなっており、この考え方の裏付けとなる。また、3 季式の方が 2 季式より僅かではあるが精度が良いという傾向も、電気やガスと同様に確認できる。**(表-4.5 参照)**

#### 4. 4 実 ESCO 事業の BL 補正式の実誤差

BL 補正式の精度については、**式(4.2)** で算定した相対誤差で確認を行ったが、実 ESCO 事業では、月ごとに事業成果を判断するのではなく 1 年単位で集計を行

って確認するため、誤差の正負は相殺されることになり、誤差の正負を考慮した実誤差を把握する必要がある。実誤差は、表-4.6のとおりであり、各年の電気、空調ガス、水道使用量の実誤差は、庁舎1の1999年と2000年の空調ガス使用量を除いて数%しか生じていない。

表-4.6 実 ESCO 補正式の実誤差年間集計値

実誤差 (年計)		実誤差年計 $\Sigma \delta / \Sigma E$ [%]				光熱水費 [百万円/年]
		1999	2000	2001	3年計	
庁舎1	電気使用量	-5.2	1.4	4.2	0.0	10.9
	空調ガス使用量	-12.5	11.6	4.2	0.0	5.7
	水道使用量	-5.1	4.4	1.2	0.0	3.8
	光熱水費換算	-7.2	4.8	3.7	0.0	小計 20.4
庁舎2	電気使用量	-1.0	-1.5	2.6	0.0	17.3
	空調ガス使用量	-8.0	2.8	6.5	0.0	2.7
	水道使用量	5.9	-3.4	-1.9	0.0	3.3
	光熱水費換算	-0.8	-1.3	2.4	0.0	小計 23.3
庁舎3	電気使用量	-2.2	3.1	-0.7	0.0	13.2
	空調ガス使用量	-3.6	-5.1	13.3	0.9	4.5
	水道使用量	-2.2	2.0	4.2	1.2	2.3
	光熱水費換算	-2.5	1.1	3.0	0.4	小計 20.0
庁舎4	電気使用量	-2.1	-0.4	2.6	0.0	11.2
	空調ガス使用量	-1.8	-3.6	6.0	0.0	3.4
	水道使用量	-4.2	1.8	2.7	0.0	3.8
	光熱水費換算	-2.5	-0.5	3.3	0.0	小計 18.2
庁舎1～4：光熱水費換算		-3.2	1.0	3.1	0.1	計 82.1

実 ESCO 事業では、光熱水費の削減額の多寡を判断するため、光熱水使用量に各費用のウェイトを考慮する必要があり、電気：ガス：水道の庁舎毎の比率を掛け合わせた値を算出すると、精度の比較的高い電気の影響が大きくなり、各年のBL補正誤差は庁舎毎では最大7%程度、4庁舎まとめた判断では最大3%程度となる。実用的に用いられている3年合計で判断すれば、ほぼ無視できるレベルとなるため、本研究対象の実 ESCO 補正式は十分な精度を有している

と判断できると共に、BL データの収集期間としては、3 年程度の期間で判定することが合理的な期間であると考えられる。

#### 4. 5 BL 補正式の精度検証まとめ

検討対象の実 ESCO 補正式は、表-4.3~4.5 のとおり、相対誤差が電気使用量で 3~6%、空調ガス使用量で 13~20%、水道使用量で 5~13%であり、回帰式と同等程度の補正精度があることが確認できた。

また、実 ESCO 事業では、各月毎に事業成果を判断するのではなく 1 年単位で確認するため、誤差の正負は相殺され、表-4.6 のとおり、各年の電気、空調ガス、水道使用量の実誤差は、一部の空調ガス使用量を除いて数%しか生じておらず、光熱水費に換算すれば、各年の BL 補正誤差は各庁舎では最大 7%程度、4 庁舎まとめた判断では最大 3%程度となり、実用的に用いられている 3 年合計で判断すれば、ほぼ無視できるレベルとなるため、本研究対象の実 ESCO 補正式は十分な精度を有している。

ベースラインデータの収集期間としては、3 年程度の期間で判定することが合理的である。

## 第5章 LCEM を活用した BL 補正式の適用可能性

### 5. 1 LCEM ツール構築の概要

実 ESCO の補正式はシミュレーション手法が不明なため、既公開で各機器の稼働量も推定できる LCEM ツールを用いた補正式を構築し、BL 補正への適用可能性を探った。LCEM は、国土交通省官庁営繕部ホームページ<sup>文8)</sup>に公開されている官庁施設のライフサイクル・エネルギーマネジメントツールであり、表計算ソフト・エクセルを用いて簡易に空調シミュレーションを行うことができる。

LCEM ツールに入力した機器の構成は、**図-5.1**に示すとおりであり、1時間毎の外気条件と室負荷を与えて、1時間毎の空調関係のガス消費量、電力消費量、使用水量を算出できる。

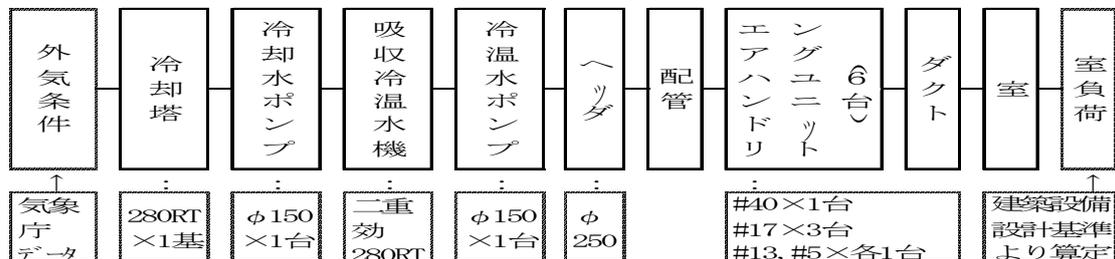


図-5.1 LCEM の構成

外気条件は気象庁の大阪の過去データを使用して1時間毎の外気温と湿度を入力し、室負荷は国土交通省監修建築設備設計基準に基づいて、構造体負荷、ガラス面負荷、照明負荷、人体負荷、OA 負荷、すきま風負荷、外気負荷を設定した。負荷の顕熱集計値は式 (5.1)、潜熱集計値は式 (5.2) のとおりである。空調関係のガスや消費電力、使用水量を LCEM で算出して月毎に集計し、月毎の使用実績値と LCEM で算出した空調関係各使用量の差の同月平均値を非空調関係

使用量として、LCEM 算出の空調関係値に非空調関係値を加えた値を LCEM 予測値として算出した。

$$q_s = A_k \times K_c \times ETD_j + I_G \times SC \times A_G + (A_G \times K_G + 0.33(Q_L + 1.005Q_o) \times (t_{o_j} - t_i) + A_F \times (19 + 0.15 \times 55 + 30 \times 0.6) \dots\dots (5.1)$$

$$q_l = 833 \times Q_L \times (X_{o_j} - X_i) + 0.33 \times Q_o \times (1.846 \times (X_o \times t_o - 0.0118 \times t_i) + 2501 \times (X_o - 0.0118)) + 0.15 \times A_F \times 66 \dots\dots (5.2)$$

- $q_s$  : 顕熱集計値 [W]
- $q_l$  : 潜熱集計値 [W]
- $A_k$  : 構造体の面積 [m<sup>2</sup>]
- $K_c$  : 壁体の熱通過率 [W/(m<sup>2</sup>・K)]
- $ETD_j$  : 時刻  $j$ 時の実効温度差 [°C]
- $A_G$  : ガラス面の面積 [m<sup>2</sup>]
- $K_G$  : ガラスの熱通過率 [W/(m<sup>2</sup>・K)]
- $t_{o_j}$  :  $j$ 時の屋外温度 [°C]
- $t_i$  : 屋内温度 [°C]
- $I_G$  : ガラス面標準日射熱取得 [W/m<sup>2</sup>]
- $SC$  : 遮蔽係数
- $A_F$  : 室面積 [m<sup>2</sup>]
- $Q_o$  : 外気量 [m<sup>3</sup>/h]
- $Q_L$  : すきま風量 =  $V \times 1$  で算定 ( $V$  : 室容積 [m<sup>3</sup>]) [m<sup>3</sup>/h]
- $X_{o_j}$  :  $j$ 時の屋外絶対湿度 [kg/kg (DA)]
- $X_i$  : 屋内絶対湿度 [kg/kg (DA)]

## 5.2 LCEM ツールの BL 補正への活用結果

空調ガス使用量に係る LCEM 予測値と実績値を比較した結果を図-5.2 に示す。

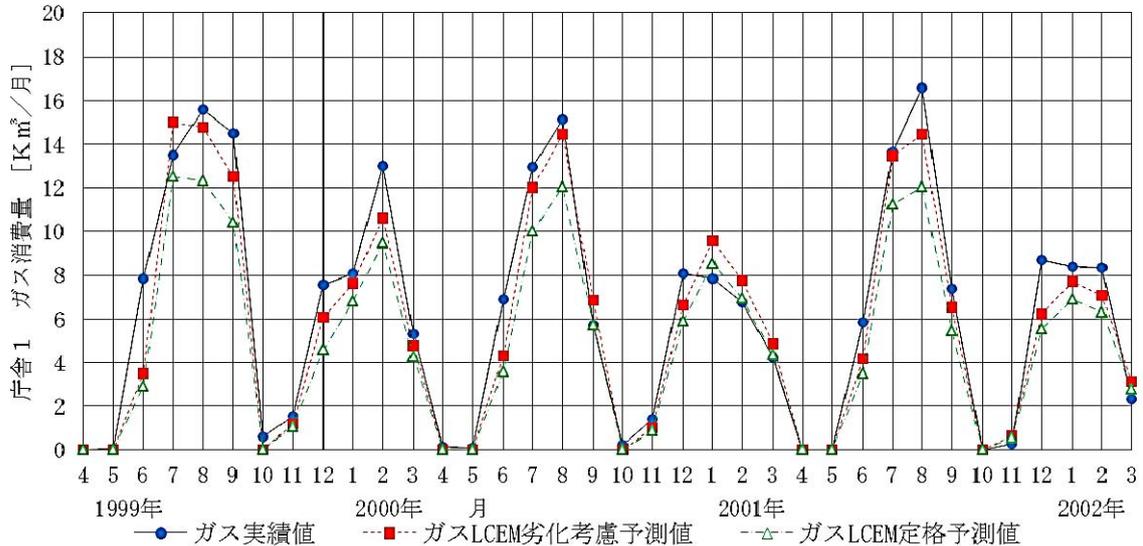


図-5.2 LCEM による庁舎 1 の空調ガス使用量予測

LCEM ツール で構築したガス吸収冷温水機の定格 COP は、冷房が 1.0、暖房が 0.85 であるが、図-5.2 に示すように、ガス消費量が実績値を大きく下回っているため、機器製造後 13 年の経年劣化が十分反映されていないと判断し、梶らの研究<sup>9)</sup> で示された経年劣化状況を参考に、COP が冷房で 0.88、暖房で 0.76 程度に劣化していると想定した LCEM 予測値も算出した。

表-5.1 に示すとおり、ガス吸収冷温水機の劣化補正をした LCEM 補正式は相対誤差が 21.6%と、定格計算の場合の 33.6%より大幅に改善しており、実 ESCO 補正式の 19.9%に近い精度に改善していることから、概ね経年劣化補正が妥当であると推定できる。LCEM ツールの精度が信頼性できるとすれば、熱源機器の劣化 COP の逆算推定にも活用できると考える。

表-5.1 LCEM を用いた補正式等の相対誤差（庁舎 1）

相対誤差 $\Delta$ [%]	電気使用量	ガス使用量	水道使用量
実ESCO補正式	6.1	19.9	7.9
LCEM(定格)予測値	6.1	33.6	8.0
LCEM(劣化補正)予測値	6.1	21.6	8.0
2季回歸式2次式	12.0	23.1	13.3
3季回歸式2次式	10.3	21.9	15.2

なお、庁舎 1 の空調運転は厳密な運用実績記録が残っていないため、冷房期が 7 月 1 日～9 月 20 日の平日の 9 時から 18 時であり、6 月や 9 月 21 日以降は弾力運転期間として概ね外気温が 27℃以上の時に 10 時から 16 時に運転すると  
の内規に沿った運転がなされているものとし、暖房期は 12 月 1 日から 3 月 20 日で平日の 9 時から 18 時に運転されており、11 月は弾力運転期間として 15℃を下回る時に 10 時から 16 時に運転されているとしてシミュレーションを行っているが、この弾力運転の見込み方や残業、休日出勤等の見込み方は記録が残っていないため、実績値と実 ESCO 補正式、LCEM 予測値の誤差になっている可能性がある。

次に、電気使用量と水道使用量の LCEM 予測値と実績値の比較を図-5.2、5.3 に示す。電気使用量は、表-5.1 に示すとおり、劣化補正の有無に係らず相対誤差は 6.1%であり、実 ESCO 補正式と同等の精度を有しており、水道使用量についてもほぼ同様の精度を示している。

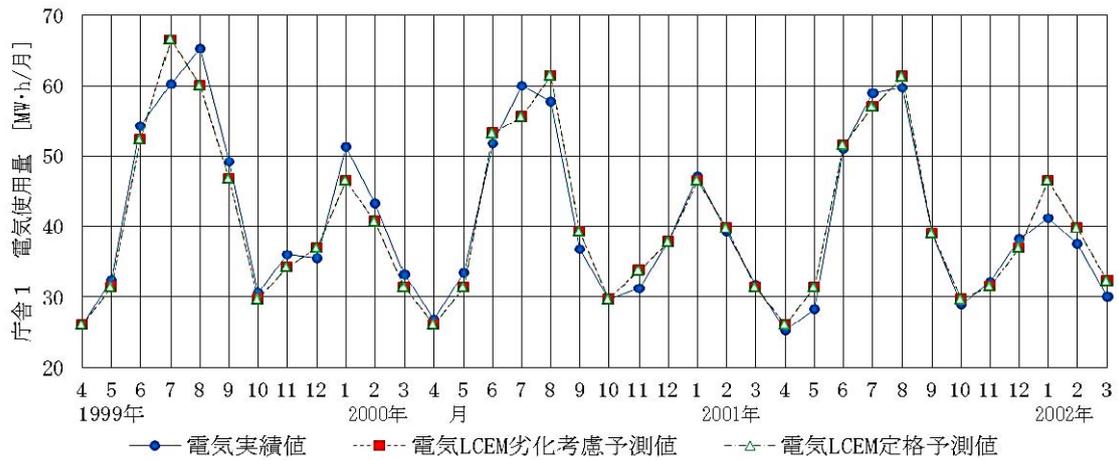


図-5.2 LCEMによる庁舎1の電気使用量予測



図-5.3 LCEMによる庁舎1の水道使用量予測

また、多くのESCO事業でよく用いられるオプションCの回帰式による補正式と比較しても、表-5.7に示すとおり、回帰式を上回る精度を有しており、一定の熱源機器劣化補正を行えば、LCEMツールは、構築に多くの労力を必要とすることは別として、BL補正に十分に適用できると考える。

### 5. 3 LCEM ツールによる機器エネルギー消費量予測

LCEM ツールでは、シミュレーション過程で各空調機器のエネルギー使用量も算出するため、LCEM（劣化補正有）で算出した主な空調関係機器の電気使用量を図-5.4に、空調関係の水道使用量内訳を図-5.5に示した。

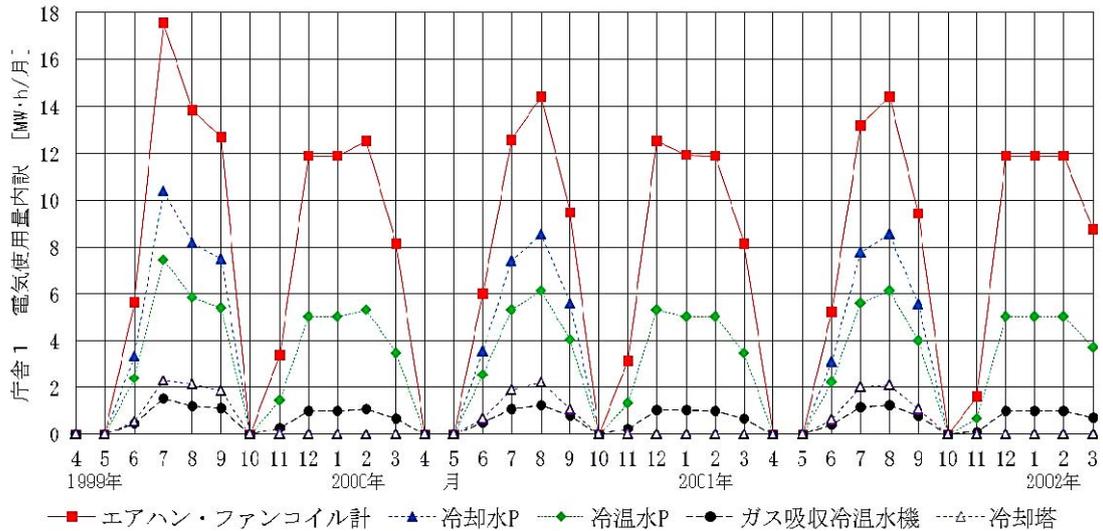


図-5.4 LCEMによる庁舎1の空調関係電気使用量予測内訳

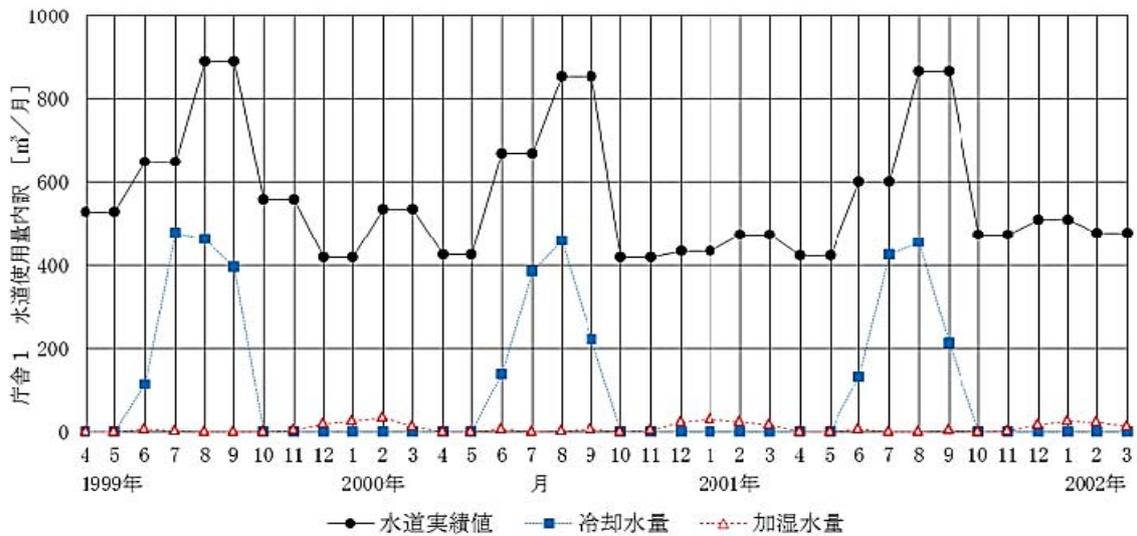


図-5.5 LCEMによる庁舎1の空調関係水道使用量予測内訳

図-5.4 に示す LCEM 予測（経年劣化有）による主な空調機器の消費電力内訳では、エアハン等の空気搬送動力が大きなウエイトを占めており、次いで冷却水ポンプ・冷温水ポンプの水系搬送動力が大きいことがわかる。表-5.1 より電気使用量の相対誤差が小さいことから、実績に近いシミュレーションが出来ていると考える。

シミュレーション構築は、回帰式作成に比べ大幅に労力を要するため、実 ESCO 事業では採用実績が乏しく（表-4.1 参照）、実用性が劣る面もあるが、各機器のエネルギー消費を推定できるため、省エネ量の正確な予測や省エネ保証に活用できる可能性の外、施設の運営状況が大きく変わった場合や、異常気象などで回帰式が妥当でなくなる場合にシミュレーションが効果を発揮することが考えられる。

図-5.5 に水道使用量予測値の内訳を示すが、水道使用量では冷却塔補給水が大きなウエイトを占めていることがわかる。実績値と冷却塔補給水の差は、トイレや手洗水、散水など衛生器具での使用量であるが、実績値が隔月検針のため、2ヶ月分の使用量を等分して月使用量を算出したため、衛生器具の月使用量に少し誤差が生じていると考える。

#### 5.4 LCEM ツールの BL 補正への活用結果まとめ

表-5.1 に示すとおり、LCEM ツールに吸収冷温水機の劣化補正を入れて作成した補正式も、実 ESCO 補正式と同程度の補正精度を有しているため、庁舎 1 のような中央方式の事務庁舎の場合に、LCEM ツールがベースライン補正式として活用でき、LCEM 予測によって各機器の稼働状況が類推できることも確認できた。

## 第6章 LCEM ツールによる省エネルギー量推定について

第5章では、本研究対象の庁舎の一つで空調設備のエネルギー推定ツールであるLCEM ツールをBL 補正式として活用し、LCEM ツールを使ったシミュレーション予測（以降LCEM 予測という）によって各機器の稼働状況を類推できることも確認した。本章では、このLCEM ツールによって、ESCO 契約期間内の各機器での省エネルギー量も推定する。

### 6. 1 LCEM ツールによる省エネルギー量推定方法

第5章では、本研究対象の庁舎1で空調設備のエネルギー推定ツールであるLCEM ツールをBL 補正式として活用し、LCEM 予測によって各機器の稼働状況を類推できることも確認したので、本報では、庁舎1を対象として、このLCEM ツールによって、ESCO 事業による省エネ改修内容も再現し、ESCO 契約期間内の各機器での省エネルギー量も推定する。

LCEM は、国土交通省官庁営繕部ホームページ<sup>文8)</sup>に公開されている官庁施設のライフサイクル・エネルギーマネジメントツールであり、表計算ソフト・エクセルを用いて簡易に空調シミュレーションを行うことができる。

LCEM ツールに入力した機器の構成は、**図-6.1**に示すとおりであり、第5章で行った手法と同様に、1時間毎の外気条件と室負荷を与えて、BL とESCO 改修後の両方の、1時間毎の空調関係のガス消費量、電力消費量、使用水量を算出した。外気条件は気象庁の大阪の過去データを使用して1時間毎の外気温と湿度

を入力し、室負荷は国土交通省監修建築設備設計基準平成 21 年度版に基づいて、構造体負荷、ガラス面負荷、照明負荷、人体負荷、OA 負荷、すきま風負荷、外気負荷を第 5 章と同じに設定した。

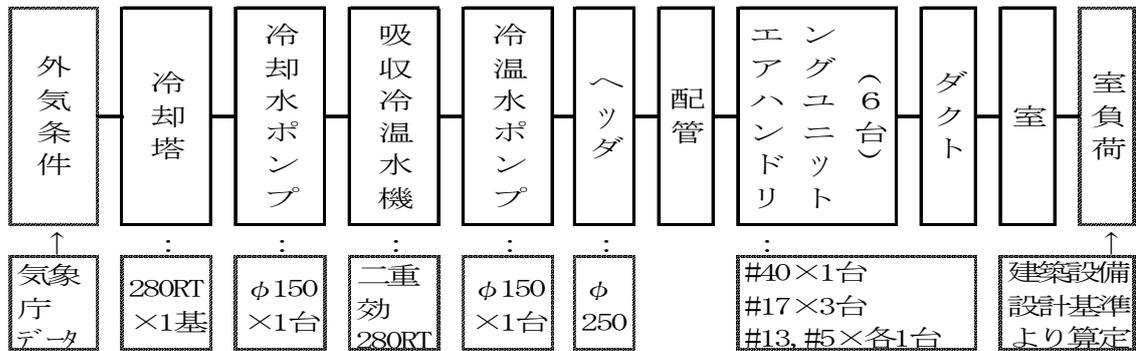


図-6.1 LCEM の構成 (図 5.1 再掲)

再掲になるが、負荷の顕熱集計値は式 (6.1)、潜熱集計値は式 (6.2) のとおりである。

また、機器の特性は竣工図面の機器表から諸元を拾い上げ、LCEM ツールに設定されている最も近い機器を選定すると共に、性能曲線もカタログ値に近くなるよう調整し、ポンプ、ファンの制御は最小吐出圧制御、最小給気圧制御を選択して、全館のシミュレーションを行っている。

$$q_s = A_k \times K_c \times ETD_j + I_g \times SC \times A_g + (A_g \times K_g + 0.33(Q_L + 1.005Q_o)) \times (t_{o,j} - t_i) + A_f \times (19 + 0.15 \times 55 + 30 \times 0.6) \quad \dots (6.1)$$

$$q_1 = 833 \times Q_L \times (X_{o,j} - X_i) + 0.33 \times Q_o \times (1.846 \times (X_o \times t_o - 0.0118 \times t_i) + 2501 \times (X_o - 0.0118)) + 0.15 \times A_f \times 66 \quad \dots (6.2)$$

$q_s$  : 顕熱集計値 [W]

$q_1$  : 潜熱集計値 [W]

$A_k$ : 構造体の面積	[m <sup>2</sup> ]
$K_c$ : 壁体の熱通過率	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
ETD $_j$ : 時刻 $j$ 時の実効温度差	[°C]
$A_G$ : ガラス面の面積	[m <sup>2</sup> ]
$K_G$ : ガラスの熱通過率	[W/(m <sup>2</sup> · K)]
$t_{o,j}$ : $j$ 時の屋外温度	[°C]
$t_i$ : 屋内温度	[°C]
$I_G$ : ガラス面標準日射熱取得	[W/m <sup>2</sup> ]
SC: 遮蔽係数	
$A_F$ : 室面積	[m <sup>2</sup> ]
$Q_o$ : 外気量	[m <sup>3</sup> /h]
$Q_L$ : すきま風量 = $V \times 1$ で算定 ( $V$ : 室容積 [m <sup>3</sup> ])	[m <sup>3</sup> /h]
$X_{o,j}$ : $j$ 時の屋外絶対湿度	[kg/kg (DA)]
$X_i$ : 屋内絶対湿度	[kg/kg (DA)]

熱源機器の劣化状況については、庁舎1では、ESCO 契約期間にわたって2度のコイル洗浄が行われ、**図-3.3**に示す節ガス量がある程度初期の状態が保たれているので、COP もある程度一定と推定し、第5章で設定したのと同様、ガス吸収冷温水機のCOPが冷房で0.88、暖房で0.76程度に劣化した状況が全期間に渡って継続したものとして算定した。空調関係のガスや消費電力、使用水量をLCEMで算出して月毎に集計し、月毎の使用実績値とLCEMで算出した空調関係各使用量の差の同月平均値(ESCO改修後については、改修後3年間の平均値)を非空調

関係使用量として、LCEM 算出の空調関係値に非空調関係値を加えた値を LCEM 予測値とした。

## 6. 2 LCEM ツールによる省エネ量推定結果

LCEM ツールで予測した ESCO 改修後のガス使用量、電気使用量及びその内訳、水道使用量及びその内訳を、**図-6.2~6.6**に示す。

LCEM ツールの予測精度を確認するため、宮田らの研究<sup>7)</sup>で用いられ、また第5章でも用いた、実データからの乖離割合を表す相対誤差  $\Delta$  を**式 (6.3)**で定義する。

$$\Delta = \sqrt{\left( \frac{\sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^{12} (Eest, m, y - Ereal, m, y)^2}{(10 \times 12)} \right)} / \left( \frac{\sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^{12} Ereal, m, y}{(10 \times 12)} \right) \cdots \cdots (6.3)$$

$Eest, m, y$  :  $y$ 年  $m$ 月の LCEM 算出の月間使用量

$Ereal, m, y$  :  $y$ 年  $m$ 月の実績値の月間使用量

また、年間集計値での誤差を把握するため、実績値との乖離の正負をも考慮する実誤差  $\delta$  を**式 (6.4)**で定義する。

$$\delta = \sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^{12} (Eest, m, y - Ereal, m, y) / \sum_{y=1}^{10} \sum_{m=1}^{12} Ereal, m, y \cdots \cdots (6.4)$$

### (1) 空調ガス使用量予測結果

ESCO 改修後の空調ガスの使用量予測は、**図-6.2**のとおりであり、実績値と LCEM 予測値の間の誤差は、**表-6.1**のとおりである。第5章で算出した BL 補正式の相対誤差と比べると若干精度が下がっているが、長期間におけるガス吸収熱源機の性能劣化とコイル洗浄による回復を無視して一定値として設定していること

に起因すると考える。実誤差が1%以下であるため、LCEM 予測値は、期間の省エネ量の判断では十分な精度があると考ええる。

LCEM 予測による熱源機器の月平均の COP は、全期間を通じて、BL では冷房時 0.86~0.91、暖房時は 0.76 で一定であったが、ESCO 改修後では、冷房時 0.90~0.93、暖房時は 0.76 で一定であり、外気量の削減やファン・ポンプのインバータ化による省エネ改修によって空調負荷が下がった分だけ COP が高いところで冷房運転が出来たと考えられるが、暖房時は熱源機器の効率改善はないことがわかった。

LCEM ツールによる省エネ量推定結果が実績値と近い結果を予測できたことは、COP が一定であると仮定して行った今回のシミュレーションが、大きな誤差を生じない仮定でのシミュレーションであったと考えられる。

表-6.1 ESCO 改修後の実績値と LCEM 予測値の比較

庁舎 1	実誤差			相対誤差			(参考)
	全期間	2003-10	2003-08	全期間	2003-10	2003-08	BL補正式
空調ガス	0.7%	-0.8%	-	24.9%	25.9%	-	21.6%
電気	2.6%	-1.2%	-	12.4%	9.3%	-	6.1%
水道	16.1%	8.7%	-4.2%	30.5%	24.4%	13.0%	8.0%

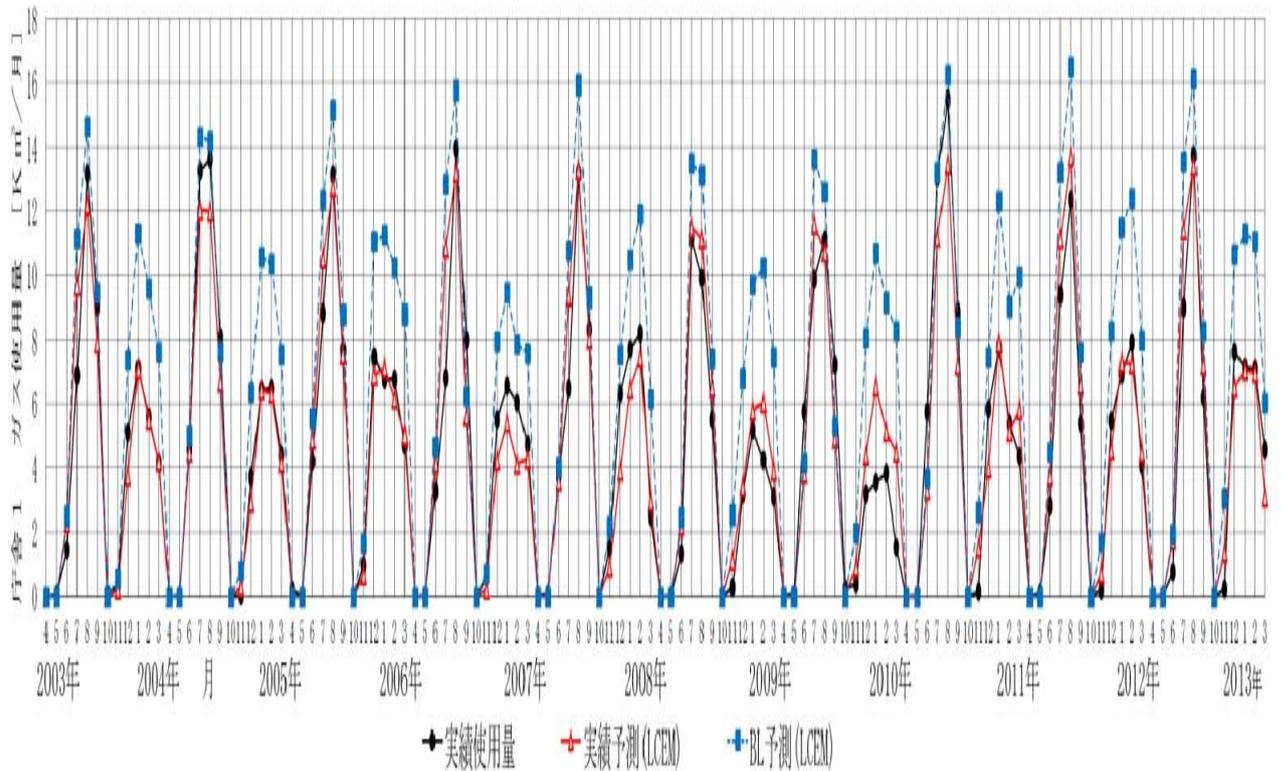


図-6.2 LCEM 予測ガス使用量推移 (ESCO 改修後) \*

\*実績使用量と実績予測(LCEM)の近接が LCEM 予測精度を表す。

実績予測(LCEM)と BL 予測(LCEM)の差が省エネ量を示す。以下同様

## (2) 電気使用量予測結果

ESCO 改修後の電気使用量予測は、図-6.3 のとおりであり、実績値と LCEM 予測値の間の誤差は、表-6.1 のとおりである。2011 年以降は、緊急節電対応で照明の間引きを追加したため、この期間を精度検証期間から除外すると、相対誤差は 9.3% であり、第 5 章で算出した BL 補正式の相対誤差に比し若干精度は下がるものの、照明の実節電量が残業の多寡の影響を受けることを考慮し、また表

-6.1 のとおり実誤差が1%程度であり、LCEM 予測値は、省エネ量の判断では十分な精度であると考える。

節電量の内訳は、図-6.4 のとおりであり、エアハンと冷温水ポンプをインバータ制御にしたことが大きく貢献していることがわかる。冷却水ポンプやガス吸収冷温水機からの節電量は僅少であり、表-2.2 に記す設計数値と同傾向であって、LCEM 予測値が省エネ量の判断で実績値と近い値を出せていることから、逆に言えば、インバータ制御が ESCO 期間を通じて安定して機能したことを物語る。

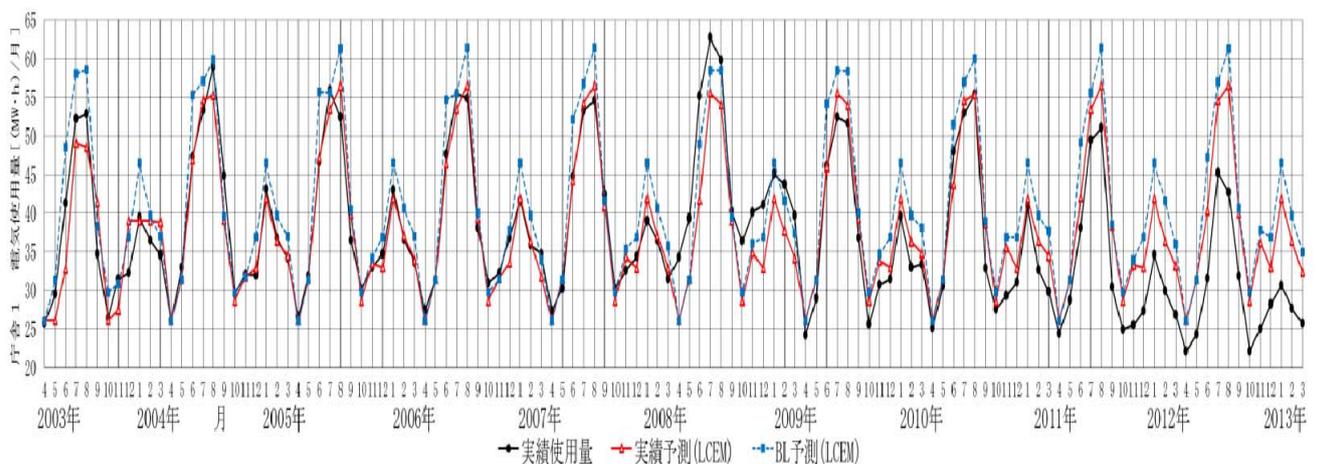


図-6.3 LCEM 予測電気使用量推移 (ESCO 改修後)

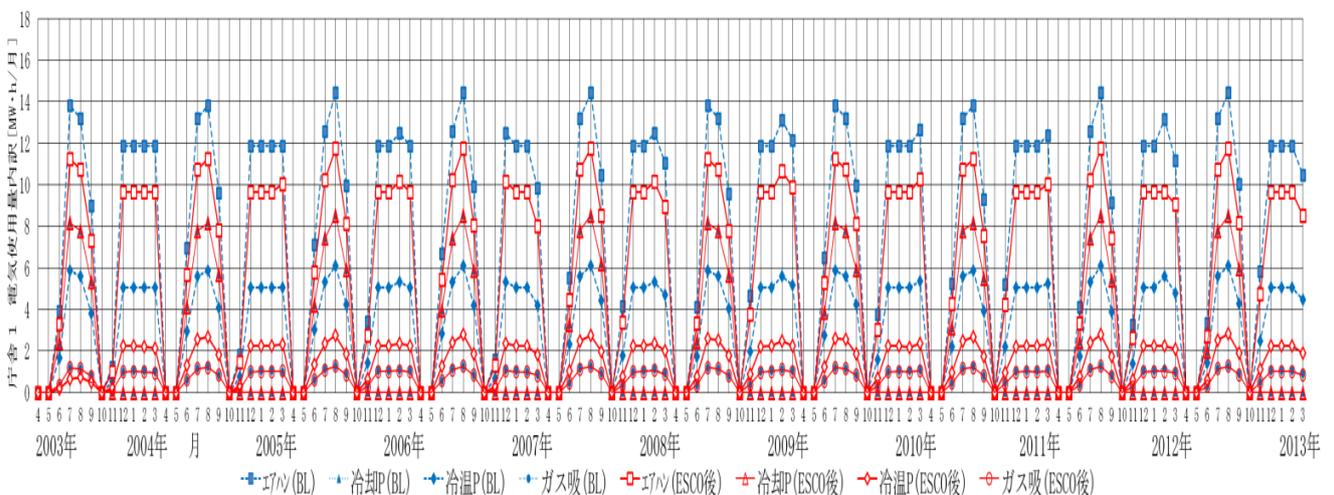


図-6.4 LCEM 予測電気使用量内訳推移 (ESCO 改修後)

### (3) 水道使用量予測結果

ESCO 改修後の水道使用量予測は、**図-6.5**のとおりであり、実績値と LCEM 予測値の間の誤差は、**表-6.1**のとおりである。

水道使用量実績値は、2009 年度以降、大幅に低下しており、追跡調査したところ、同時期に手洗いの自動水栓化と小便器の自動水栓化を庁舎 1 独自に実施していたことが判明し、そのため以後大幅に節水量が増加したものと考えられるので、2009 年度以降を除外して相対誤差を集計したところ、13%となり BL 補正式の精度は下回るものの空調関係の水量が全水道使用量の 2 割程度であり、節水こまによる節水量が不安定なことを考慮すれば、LCEM で算出した空調関係節水量も実誤差が 4%程度であり有効と考える。しかし、節水量の過半を占める節水こま等の効果は LCEM 予測からは判定できず、**図-6.5**に示す総節水量が自動水栓化を行うまでの期間、安定していたと言えるのみである。

水道使用量内訳の推移予測は、**図-6.6**に示しておく。冷却水量と実績使用量の差が、ほぼ節水こまの節水効果であり、その大きさがわかる。

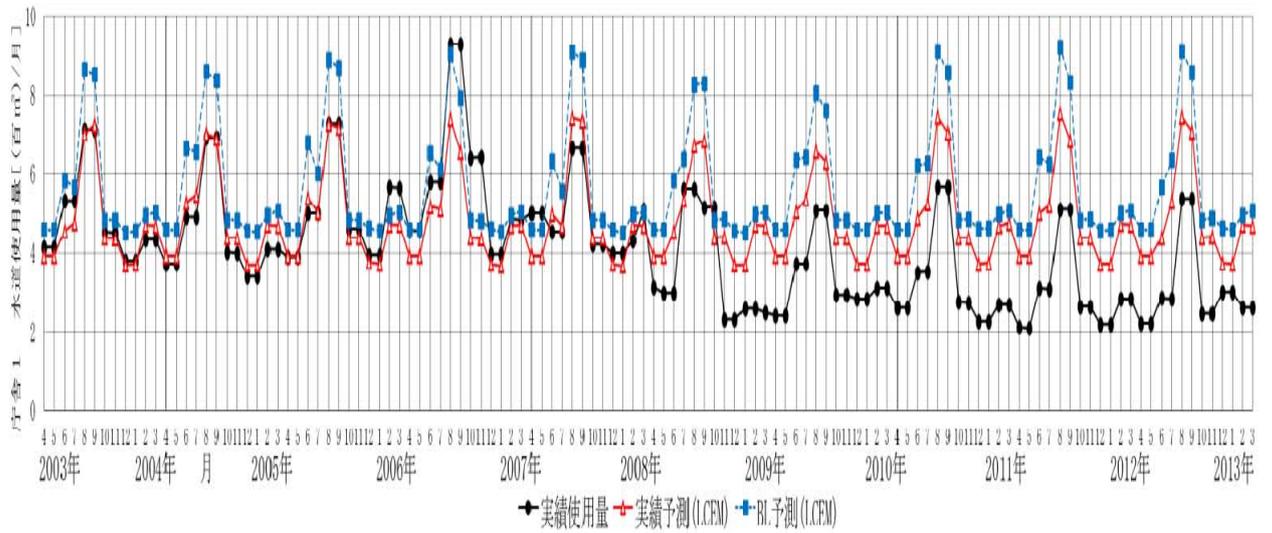


図-6.5 LCEM 予測水道使用量推移 (ESCO 改修後)

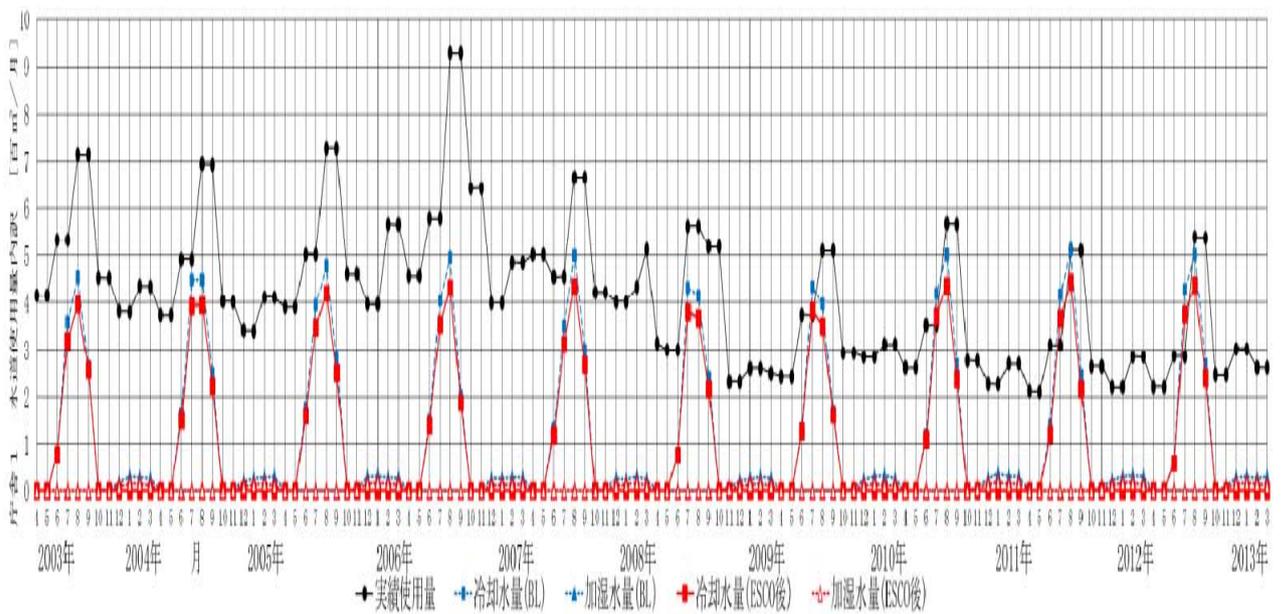


図-6.6 LCEM 予測水道使用量内訳推移 (ESCO 改修後)

## 第7章 省エネ性能検証期間の短縮について

### 7. 1 省エネ検証期間の短縮について

本章では、ESCO 事業普及拡大の障害とされる省エネ性能の長期保証を、短期省エネ性能の確認により代替できる可能性を検討する。実務的には、事業開始初期の数年間、保証値を上回る良好な成果を確認できれば、以後の計測検証を繰り上げ終了し、長期の全事業期間にわたって省エネ性能が発揮できていると推定できることとして、事業リスクを早期に収束させ、事業魅力を向上させることを目指すものである。

第3章では、大阪府の事務庁舎実 ESCO 事業の省エネ改修手法の長期省エネ性能を検証し、BL の補正精度が十分に高いと仮定すれば、省エネ実績がガス熱源機器の維持管理を適正に行うという条件下で長期に安定していることを確認した。

第5章では、当該 ESCO 事業で用いられた BL 補正式の精度を検証し、当該実 ESCO 補正式が十分な精度を有することも確認できている。

そこで本章では、初期の一定期間の省エネ性能の検証で、ESCO 契約期間（10年程度）にわたる長期の省エネ保証が代替できる可能性を検証する。

#### (1) 初期省エネ性能検証期間について

ESCO 事業による省エネ性能の長期保証を初期の一定期間の短期検証で代替できるかを考える場合、省エネサービスを開始した当初は、通常、ESCO 事業者が施設の特性や省エネ機器の運用をつかみ切れておらず、省エネ効果が不安定に

なる場合があるといわれているが、それでは、何年間を初期の検証期間とすることが妥当であるかを考える。

まず、研究対象とした大阪府の事務庁舎の概要を 表-7.1 に示し、研究対象としている ESCO 事業で用いられた省エネ手法の概要を表-7.2 に示す。

表-7.1 庁舎 1～4 の概要 (表 2.1 再掲)

庁舎 No.	延床面積 [m <sup>2</sup> ]	階数	建設年度	主要熱源機器		ESCO 契約期間	エネルギー原単位† [MJ/(m <sup>2</sup> ・年)]
				ガス吸収冷温水機	その他の熱源機器		
1	7271	4F1B	1972	985kW/1987製	-	'02-'12	1234
2	7783	4F1B	1972	563kW/1991製	PAC ; 146kW	'02-'12	1255
3	7695	4F1B	1972	141kW×8/'90製	-	'02-'12	1296
4	6633	4F1B	1974	830kW/1997製	水冷方式-176kW	'02-'12	1293

注 エネルギー原単位は、施設内での年間全エネルギー使用量を延床面積で除した値である。DECC データ<sup>文5)</sup> P20 官公庁施設の当該規模 J3 の平均値 1126MJ/m<sup>2</sup> に比べ若干上回っている。電気は 10.25MJ/kWh、ガスは 44.06368MJ/m<sup>3</sup> で 1 次エネルギー換算した。

表-7.2 省エネ改修手法の概要

略号	省エネ改修手法	具体的手法	消費エネルギー等の経年変動	関連図
r	熱源機種変更	冷温水出口温度変更 庁舎1, 3:7→8℃, 庁舎2, 4:6→8℃	熱源機経年劣化有	図-3.16
c	電気式パナソニックエアコン 室外機制御改修	圧縮機発停制御 30分毎5分停止(庁舎2のみ)	熱源機経年劣化有	図-3.11
i	ファン・ポンプインバータ化	空調ファン, ポンプ 電源側インバータ追加	顕著な経年劣化無	図-3.10
a	外気量削減	外気ダンパー調整により外気量削減	熱源機経年劣化有	図-3.16
t	室内設定温度変更	室内設定温度を冬季20℃, 夏季28℃に変更	熱源機経年劣化有	図-3.16
L	照明器具Hf化	照明器具安定器を銅鉄式→インバータ式に変更	消費電力の経年劣化無	図-3.9
w	節水装置	給水栓に節水こま追加	節水量の経年変化無	図-3.21

第3章において、大阪府の事務庁舎実 ESCO 事業の BL 補正式の実誤差を集計したところ、表-7.3 のとおり、各年の BL 補正誤差は庁舎毎の光熱水費換算の実誤差で最大7%程度（庁舎1の1999年度データ）あったが、実用的に用いられている BL データの収集期間である3年間の合計値では、各庁舎の光熱水費換算実誤差が庁舎3の0.4%を最大値としていずれの庁舎も1%未満（表中の点線付部分）となり、ほぼ無視できるレベルであった。

外気温等の変動要因を除外して ESCO 事業による省エネ成果のみを算定する BL 補正式自体にこの程度の誤差が内在することから、少なくとも初期の単年度の

成績で判断することは出来ず、BL データの収集期間と同じく、3年間で捉えることが必要であり、実務上、各年度に省エネ保証額を上回ることを義務付けているので、初期3年間の最悪値を本検討の基準値とする。

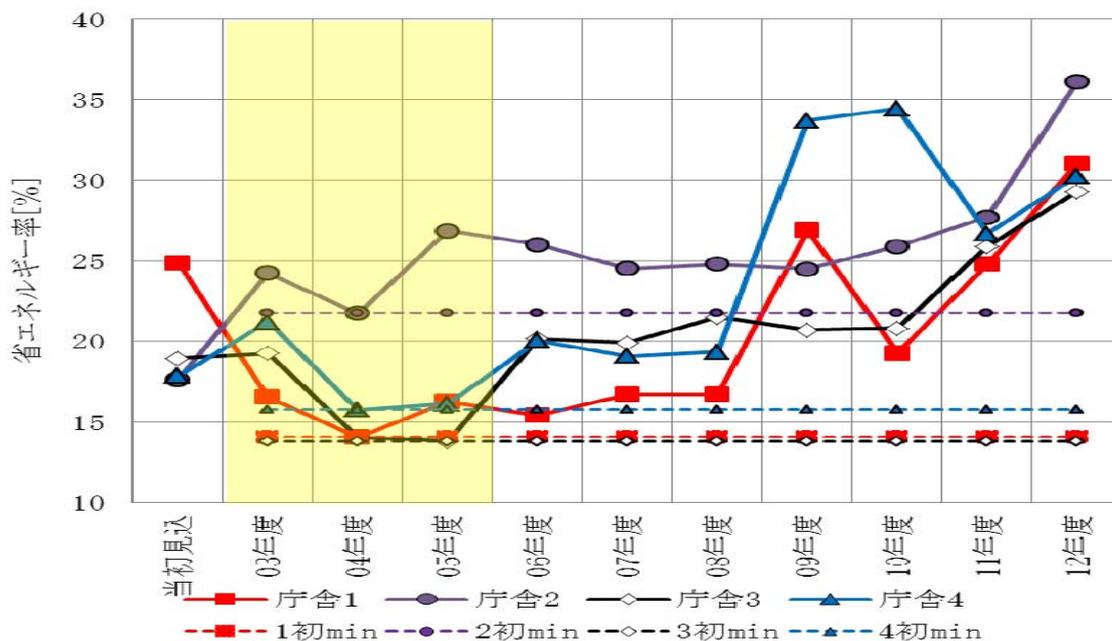
表-7.3 実 ESCO 補正式の実誤差年間集計値 (表 4.6 再掲)

実誤差 (年計)		実誤差年計 $\Sigma \delta / \Sigma E$ [%]				光熱水費 [百万円/年]
		1999	2000	2001	3年計	
庁舎1	電気使用量	-5.2	1.4	4.2	0.0	10.9
	空調ガス使用量	-12.5	11.6	4.2	0.0	5.7
	水道使用量	-5.1	4.4	1.2	0.0	3.8
	光熱水費換算	-7.2	4.8	3.7	0.0	小計 20.4
庁舎2	電気使用量	-1.0	-1.5	2.6	0.0	17.3
	空調ガス使用量	-8.0	2.8	6.5	0.0	2.7
	水道使用量	5.9	-3.4	-1.9	0.0	3.3
	光熱水費換算	-0.8	-1.3	2.4	0.0	小計 23.3
庁舎3	電気使用量	-2.2	3.1	-0.7	0.0	13.2
	空調ガス使用量	-3.6	-5.1	13.3	0.9	4.5
	水道使用量	-2.2	2.0	4.2	1.2	2.3
	光熱水費換算	-2.5	1.1	3.0	0.4	小計 20.0
庁舎4	電気使用量	-2.1	-0.4	2.6	0.0	11.2
	空調ガス使用量	-1.8	-3.6	6.0	0.0	3.4
	水道使用量	-4.2	1.8	2.7	0.0	3.8
	光熱水費換算	-2.5	-0.5	3.3	0.0	小計 18.2
庁舎1~4 : 光熱水費換算		-3.2	1.0	3.1	0.1	計 82.1

## 7. 2 初期省エネ性能と長期省エネ性能の関係

### (1) 省エネ性能の長短比較

第3章において明らかにした、各事務庁舎の ESCO 契約期間である 10 年間の長期省エネ性能と、ESCO 事業開始初期の 3 年間(図中着色部)の最悪値(最低値)が全契約期間に渡って続くと想定した場合の類推直線を図-7.1 に示す。



注 省エネルギー率とは、当該庁舎年間1次エネルギー使用量削減分を、当該庁舎のBL年間1次エネルギー消費量で除した値をいう

図-7.1 実績省エネ率と初期省エネ性能最悪値の比較

この事例では、いずれの庁舎でも、事業開始4年目以降の省エネ率実績値が初期3年間の最悪値を類推延長した直線より上回っていることがわかる。この最悪値直線は、必ずしも当初見込値を上回るわけではないが、初期3年間の最悪値から、以降の省エネ率下限を推定でき、契約期間内は初期3年間の最悪値以上で推移していることがわかった。

## (2) 省コスト（光熱水費削減）性能の長短比較

各事務庁舎の ESCO 契約期間である 10 年間の長期省コスト性能と、ESCO 事業開始初期の 3 年間の最悪値が全契約期間に渡って続くと想定した場合の類推直線を図-7.2 に示す。

ESCO 契約は光熱水費削減額を保証するため、実務的には省エネ率より省コスト率（光熱水費削減率（当該庁舎の B L 補正後の年間光熱水費削減額を、当該庁舎の当該年度の B L 年間光熱水費で除した値）の方が重要となる。なお、光熱水費削減額は契約時の光熱水費単価に置き換えて算出されるため単価変動自体の影響は除外されており、外気温度の変化による影響もベースライン補正で除外されている。省コスト性能での比較でも、図-7.2 の通り ESCO 契約期間に渡って、ほぼ初期 3 年間の最悪値を上回っていることがわかった。省エネ率や省コスト率が概ね右肩上がりで長期安定している要因を明らかにするため、電気、ガス、水道の使用量推移を分析する。

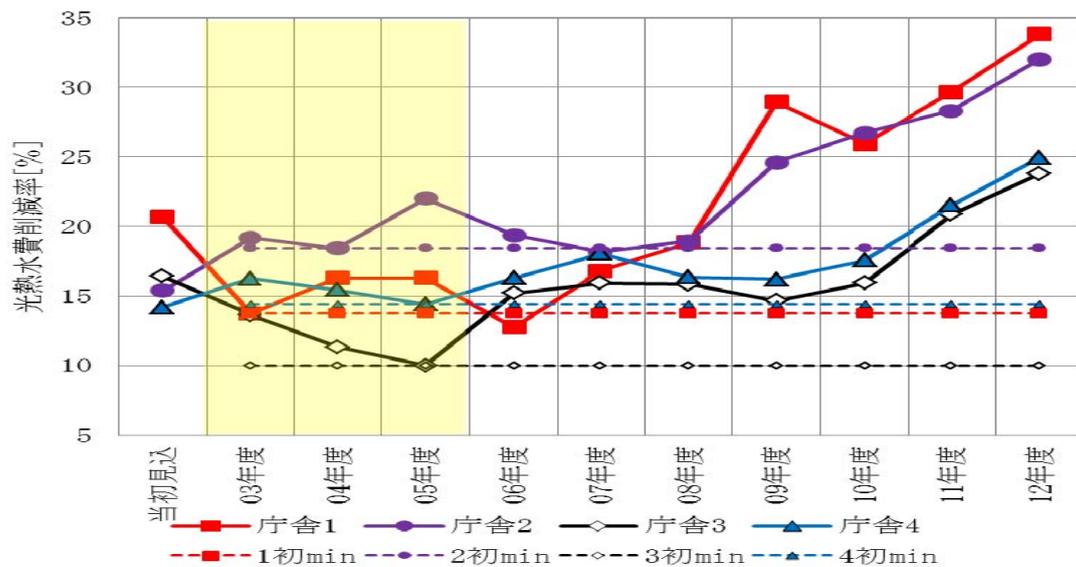


図-7.2 実績省コスト率と初期省コスト性能最悪値の比較

### (3) 節電性能の長短比較

各庁舎の節電量の長期性能と事業開始初期3年間最悪値の比較を、図-7.3に示す。また、省エネ手法及び設計上の省エネ量を表-7.4に示す。

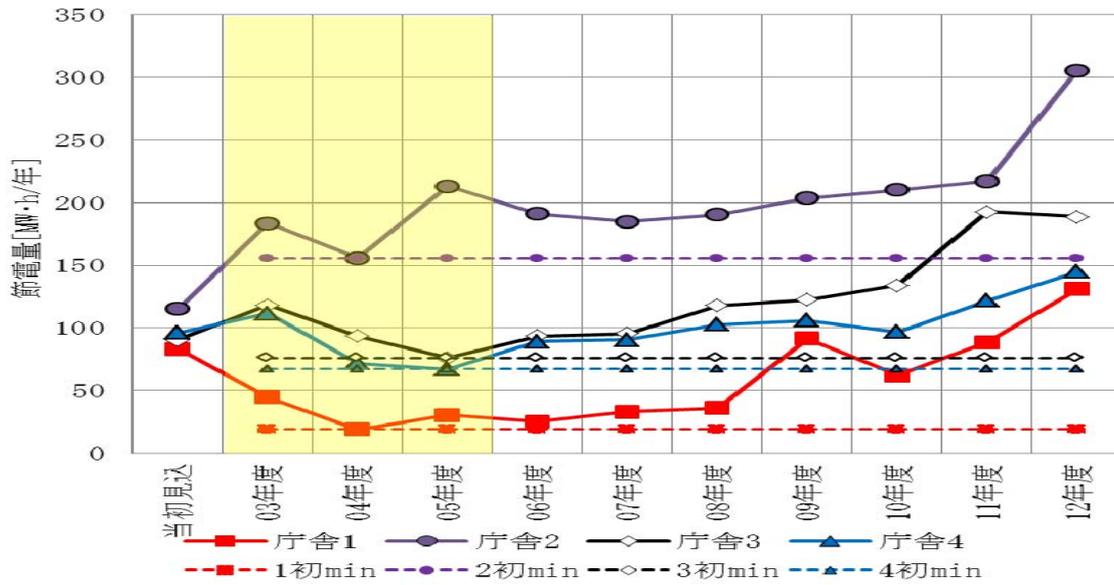


図-7.3 実績節電量と初期節電性能最悪値の比較

表-7.4 省エネ改修手法と設計上の年間省エネ量 (表 2.2 再掲)

略号	省エネ手法	庁舎1			庁舎2			庁舎3			庁舎4		
		節電量	節ガス量	節水量									
		kW・h/年	m <sup>3</sup> /年	m <sup>3</sup> /年	kW・h/年	m <sup>3</sup> /年	m <sup>3</sup> /年	kW・h/年	m <sup>3</sup> /年	m <sup>3</sup> /年	kW・h/年	m <sup>3</sup> /年	m <sup>3</sup> /年
空調系	r 熱源機運転変更	759	1,823	78	2,788	572	53	959	2,075	83	647	3,836	70
	出口温度変更,スケジュール停止	冷水: 7℃→8℃			冷水: 6℃→8℃			冷水: 7℃→8℃			冷水: 6℃→8℃		
	c PAC圧縮機制御改修	0	0	0	9,428	0	0	0	0	0	0	0	0
	i ファン・ポンプインバータ化	52,223	0	0	36,224	0	0	21,702	0	0	33,700	0	0
	a 外気量削減(量削減、立上時等停止)	3,517	26,242	670	27,832	9,516	217	6110	17110	455	11,931	5,784	176
	t 室内設定温度変更 夏27℃、冬20℃へ	124	1,288	22	3,419	1,029	9	162	620	26	252	1,153	20
照明	L 照明器具Hf化等	26,800	182	15	35,565			61,794	459	20	49,691	0	32
		40W862本 △14W/灯=39-25			40W792本 △18W/灯=43-25			40W974本 △25W/灯=50-25			40W890本 △25W/灯=50-25		
水	w 節水装置;節水こま	節水こま×57個		579	節水こま×51個		474	節水こま×33個		140	節水こま×41個		347
計	合計(節電量/節ガス量/節水量)	83,423	29,535	1,364	115,256	11,117	753	90,727	20,264	724	96,221	10,773	645
BL	ベースライン*;ガスは空調ガスのみ	490,211	76,185	6,810	748,067	34,570	6,422	649,043	63,016	5,321	577,800	44,283	7,113
AC	空調期ベースライン BL空調期	370,034	74,712	4,925	565,220	33,584	4,392	466,905	62,581	3,483	398,892	43,624	4,982
非	非空調期ベースライン BL非空調期	120,176	1,472	1,885	182,845	986	2,030	182,168	436	1,839	178,908	658	2,130

\*ベースラインとは、事業実施前3ヵ年の平均値をいう

図-7.3 のとおり、節電量は、いずれの庁舎でも、ESCO 契約期間を通じて初期 3 年間の最悪値を上回っており、節電性能が安定的に推移していることがわかった。本事例では、表-7.4 に示すように、節電量の大半が照明器具の Hf 化とファン・ポンプのインバータ化によって生み出されているため、当初の見込み違いは別として、インバータの寿命期間（概ね 10 年程度）は、経年劣化等の影響もほとんどなく、実績では安定した性能を発揮しているためと考えられる。

なお、2011 年度以降は、東北大震災による原発事故を受けた節電強化により、照明器具の間引き点灯を追加しているため間引き点灯による節電量が各 20MWh/年程度かさ上げされる計算になるが、この増分を除外しても初期 3 年間の最悪値を上回っていることが確認できた。また 2011 年度以降は、図-7.3 のとおり、間引き点灯による節電量 20MWh/年を超す節電量が達成されており、職員の間省エネ意識が醸成され、空室時の無駄な点灯などを意識的に消灯するなど人的要因も加わる効果が加味される影響もあるかと推測する。

#### (4) 節ガス性能の長短比較

空調ガスの節ガス量推移は、図-7.4 のとおりである。

各庁舎の省エネ方策は、熱源機器自体は更新しないものの、表-7.4 に示すように、外気取入量の削減や室内設定温度の変更、冷水出口温度の変更などで節ガスを図っている。いずれの庁舎も、主熱源はガス吸収冷温水機であり、事業開始当初において、庁舎 1 の熱源機が 15 年、庁舎 2 が 11 年、庁舎 3 が 12 年、庁舎 4 が 5 年の経年があり、機器効率の経年劣化が危惧される場所であるが、庁舎 1 と庁舎 3 では、梶らの研究<sup>文9)</sup>でも効果が明らかなコイル洗浄の適時実施により熱源機器の効率低下が防がれており、ESCO 契約期間を通じて初期 3 年間

の最悪値以上の節ガスが確保できている。

しかし、庁舎2と4では、ESCO 契約期間を通じてコイル洗浄が実施されておらず、熱源機がもともと古かった庁舎2では、初期3年の最悪値を下回る年度が、機器製造時から17年経過の2008年度以降に生じており、梶ら<sup>文9)</sup>の研究で示されている1万時間運転で7.8%の効率低下を援用すると、庁舎2は年1100時間程度の空調運転であるので17年間で約15%効率低下していることになり、表-7.4に示す設計上の節ガス率約30%と比して十分に大きな値となるためコイル洗浄未実施による経年劣化の影響が大であると推定する。計測検証期間を短縮して初期数年の検証で長期省エネ性能を保証しようとする場合は、コイル洗浄の適時実施など熱源機器の適正な管理が必須であることが確認できたのではないかと考える。なお、2011年度以降に若干節ガス量が増加しているのは、原発事故をうけた緊急節電対策に伴い、空調の室温設定管理などの運転が厳格化された影響と考えられる。

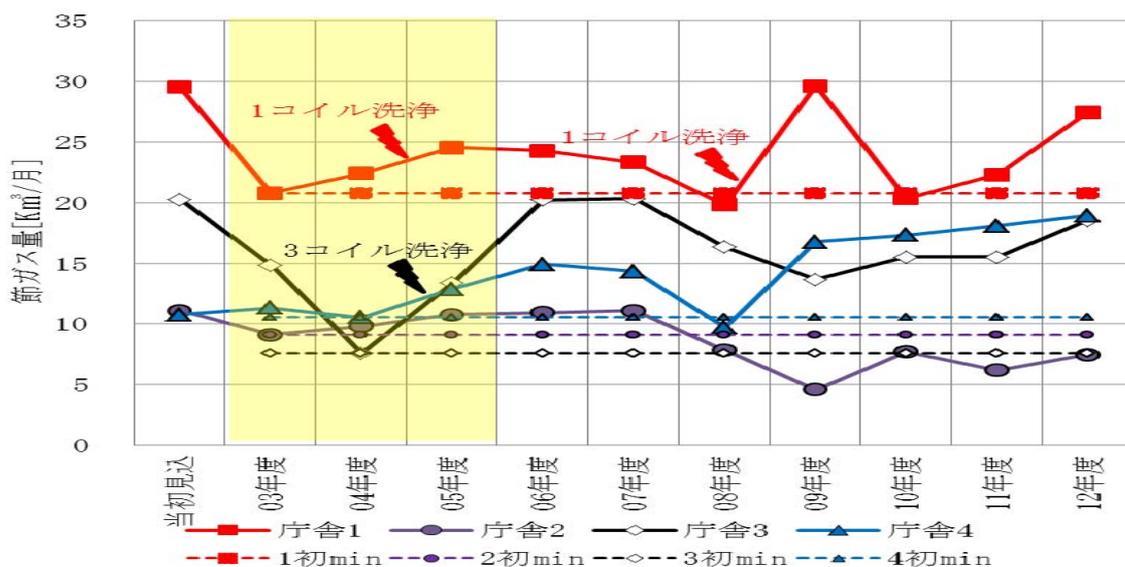


図-7.4 実績節ガス量と初期節ガス性能最悪値の比較

### (5) 節水性能の長短比較

節水量推移は、図-7.5 のとおりである。

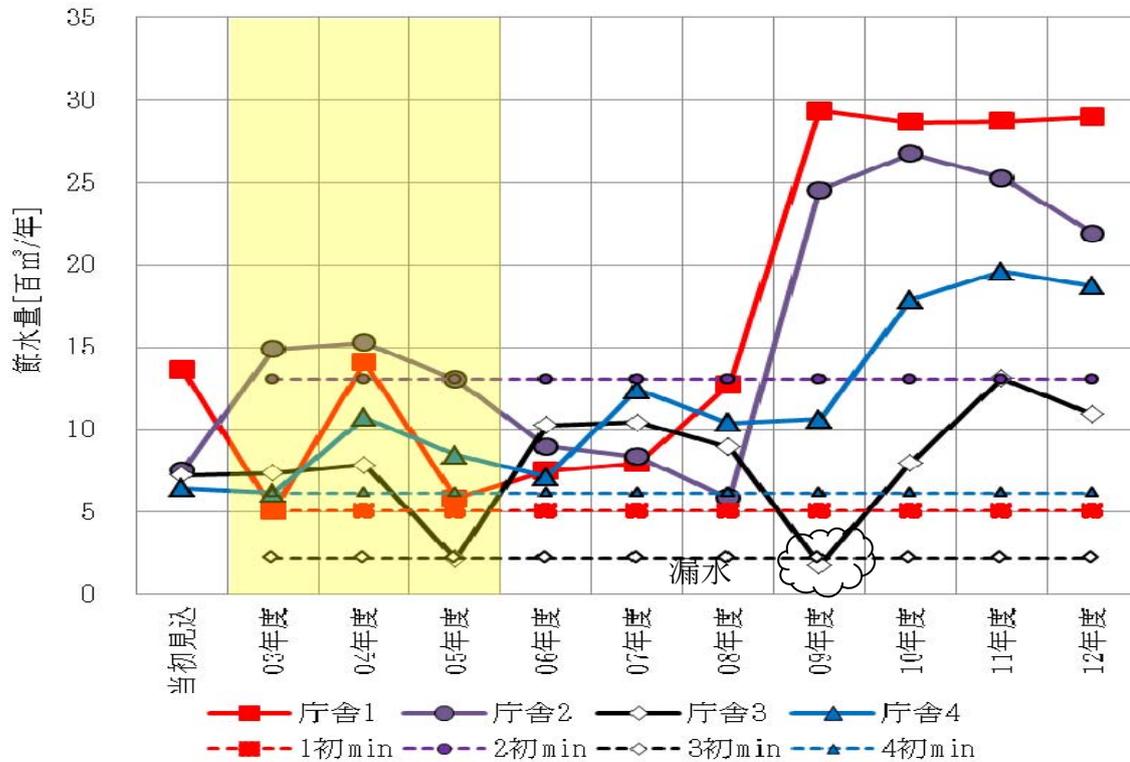


図-7.5 実績節水率と初期節水性能最悪値の比較

節水量は、表-7.4 に示すように、節水こまによる給水量の節減と外気取入量削減による空調負荷低減によって空調冷却水補給量が節減されることによって生み出される。庁舎3の2009年度の配管漏水事故による節水量低下を除外すれば、節水量は、庁舎1、3、4では、初期3年間の最小節水量をESCO契約期間に渡って上回って推移しているが、庁舎2では2006年度から2008年度の間、初期最小値を下回っている。庁舎2では、上述のとおりガス吸収冷温水機のコイル洗浄が行われておらず、熱源機器の劣化によるコイル内汚れ付着に起因する伝熱性能の低下による冷却水量増に伴う冷却水補給量節減効果の低下を疑っ

たが、機器効率低下による節ガス量低下は図-7.4のとおり 2008 年度以降に生じており、図-7.5 では 2008 年度以降は節水量が回復しているため、ガス吸収冷温水機の効率低下は主たる理由にはならない。庁舎 2 は、表-7.1 に示すように他の庁舎と異なり、熱源の約半分を電気式のパッケージエアコンで賄っているため、表-7.4 に示すように節水量の多くが節水こまによる給水系の節水で生み出されている。そのため、職員の節水意識の希薄化などの要因によって、洗車や散水などの使用により一時的に節水量が低下したと推測される。

初期数年間の計測検証で、長期省エネ量を確保するためには、省エネ・節水意識の継続も重要であるが、これは一義的には ESCO 事業者の責ではない。ESCO 事業では、光熱水費全体の削減量を保証しており、庁舎 2 では、水道使用量の割合が光熱水費全体の約 15%に過ぎないため、図-7.2 に示すように、この部分が全体としての光熱水費削減保証に悪影響を与えることはなかった。

#### (6) 長短比較まとめ

以上の分析から、本事例の事務庁舎 ESCO 事業のような省エネ内容の事例では、省エネ手法は表-2 に示すとおりであり第 3 章でも検討したように、手法 r 熱源機運転変更や手法 a 外気量削減、手法 t 室内設定温度変更は、単なる設定値の変更であるので経年劣化は熱源機の経年劣化に関連したものになる。その他の手法 i ファン・ポンプインバータ化と手法 L 照明器具 Hf 化はそれぞれインバータの寿命（約 10 年）の範囲でインバータが正常に稼働している限り照明効率の低下はあるものの電力消費量自体の増加といった変動は通常考えられず、手法 w 節水こまについても、経年劣化による節水量の変動を報告するような文献は見当たらず、これも除外すると、経年劣化の影響は手法 r, a, t に係る熱源

機器の経年劣化に起因するものしか残らないと考えられるので、ESCO 契約期間にわたる省エネ性能保証を初期 3 年間の省エネ性能確認に短縮して代替することは、コイル洗浄や一般的に必要なとされる冷却水の水質管理など熱源システムの性能確保を適正に行うことを条件に可能であると判断できる。

## 第 8 章 結論

### 8. 1 計測検証期間の短縮について

これまでの分析から、我が国で最先に実施され契約期間を満了した本事例の事務庁舎 ESCO 事業のような省エネ内容（ファン・ポンプのインバータ化、外気取入量の削減、ガス吸収冷温水機出口温度変更、照明器具の高効率化、節水こまの導入）の事例では、運転状況も期間を通じて安定しており十分な補正式の精度も確保されていたので、変動要因は主として外気温度であり、経年劣化要素は凡そ熱源機器の性能劣化に限定されると考えられるので、事後分析とは異なるが、コイル洗浄など熱源機器の性能確保を適正な時期に行うことを条件に ESCO 契約期間（10 年）にわたる省エネ性能保証を初期 3 年間の省エネ性能確認に短縮して代替することが、-7.1~7.5 のとおり可能な事例であったと確認できた。今後、-8.1, 8.2 に示すような更なる事例を積み重ねることで省エネ性能検証期間の短縮可能性が高まれば、ESCO 事業の発展に寄与できるものと考えているのである。

### 8. 2 他の ESCO 事業の状況について

大阪府で実施した他の事務庁舎若しくは事務庁舎に近い複合庁舎で、省エネ改修項目も本事例の庁舎 1～4 に近い庁舎の ESCO 改修後の省エネルギー率及び光熱水費削減率の推移は、-8.1, 8.2 に示すとおりである。

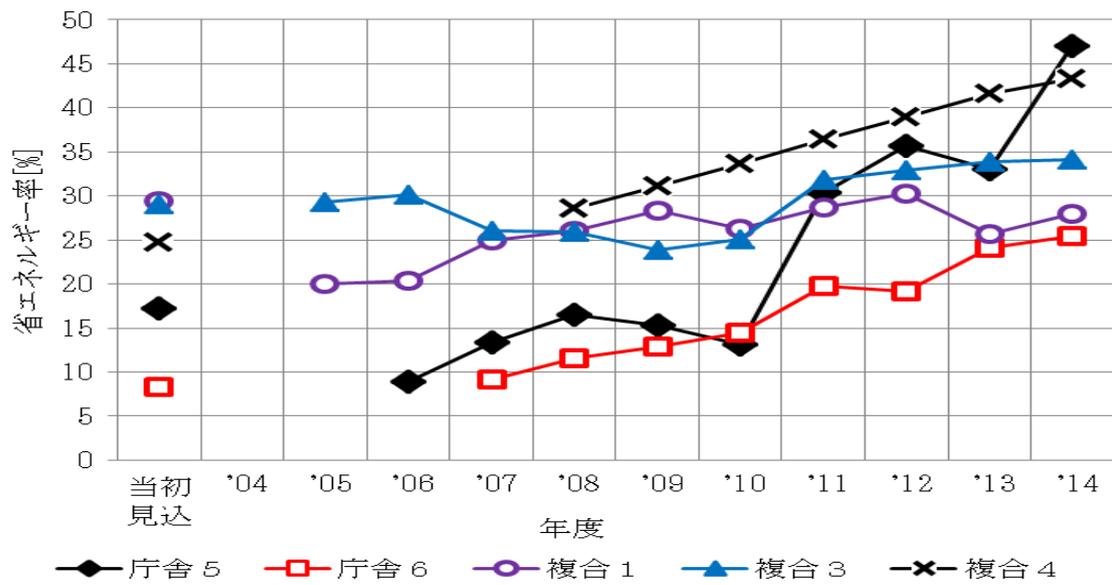


図-8.1 他の ESCO 事業の省エネルギー率推移

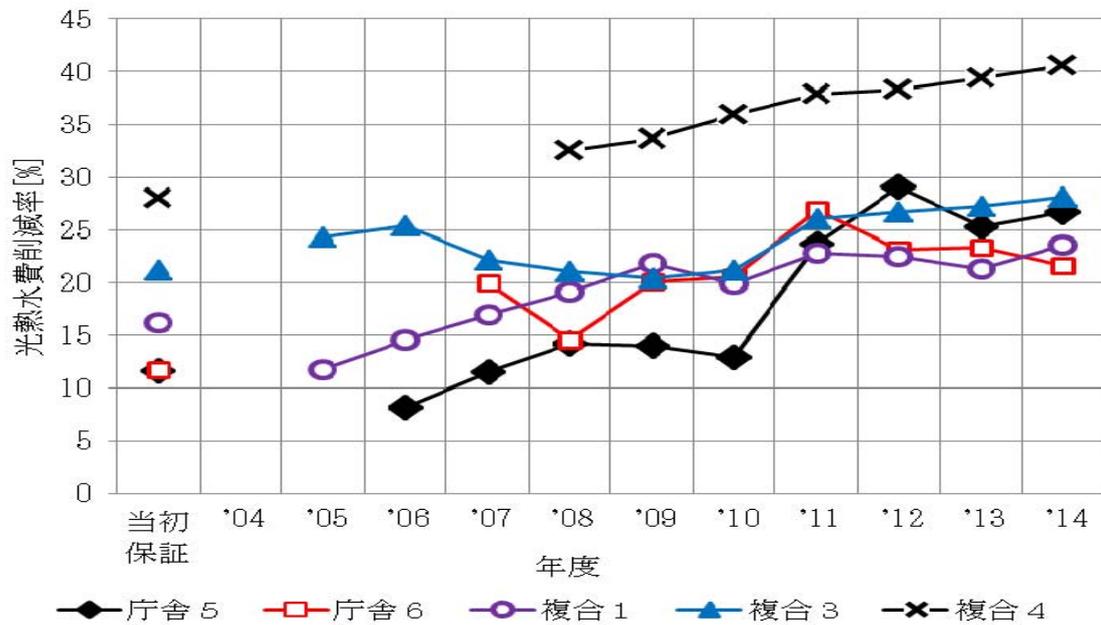


図-8.2 他の ESCO 事業の光熱水費削減率推移

未だいずれの庁舎も契約期間を満了していないため確定的なことは判断できないが、当初計画値との食い違いはあるものの、事業開始初期3年間の最悪値は、その後の期間では概ね上回る良好な経過を示している。設計上の見込み違いはあるものの、当初3年の経過を観察すれば概ね省エネ運転状況は安定するためと考えられる。複合3の4～6年目は、当初3年間の最悪値を若干下回っているが、これはガス吸収冷温水機の維持保全が不十分であったためであり、コイル洗浄など熱源機器の維持保全は、当然の前提となる。

### 8. 3 計測検証期間の短縮の効果について

大阪府では、本検討結果を先取りして、2013年度のESCO提案公募より、初期3年間を通じて光熱水費削減保証や省エネが達成された場合、以後の契約期間において省エネが達成されているものと推定する条項を追加してESCO提案公募を実施しており、一時期は応募者不足により事業を凍結せざるを得なかったが、**図-8.3**に示すとおり、2013年度以降（図中の着色期間）、一定数の応募者を確保し事業推進が確保できていることから、計測検証期間の短縮は一定の効果を発揮していると考えられる。

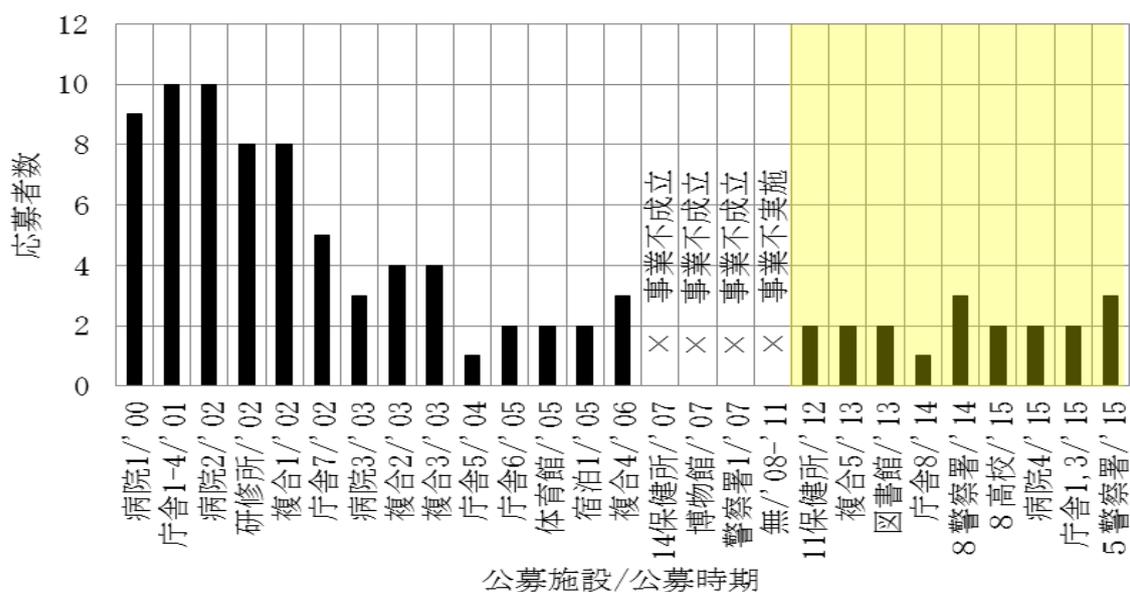


図-8.3 ESCO 事業の応募者数推移

#### 8. 4 あとがき

本事例の事務庁舎1～4は、ESCO 契約期間満了後の2013年度、2014年度もエネルギー使用量自体は引き続き良好に推移しているが、熱源機器が25年以上経過し老朽化による能力低下が著しく機器の更新が不可避となったため、昨今のLED照明の低価格化など新技术を取り込んで更なる省エネ化を図るべく再ESCOを実施することとした。

事務庁舎の場合、一般に通常型ESCO事業では省エネメリットだけで熱源機器更新費用を賄うことが難しいことから不足費用を別途加算して熱源機器更新と同時にESCO事業による省エネ化を行う設備更新型ESCO事業の公募を2015年度に実施し、36%省エネとなる再ESCO提案を採択したところである。本研究の成果が、ESCO事業の更なる進展と建築物の省エネルギー化の推進に繋がれば、幸甚である。

## 謝辞

本論文をまとめるにあたり、的確なご指導、ご鞭撻を頂きました立命館大学工学部建築都市デザイン学科・近本智行教授に心より感謝申し上げますと共に、本論文のご審査を頂き、貴重なご指導、ご提言を頂いた立命館大学工学部環境システム工学科・中島淳教授、立命館大学工学部建築都市デザイン学科・持田泰秀教授、大阪大学大学院工学研究科・相良和伸教授、事業実績データ等の開示にご協力頂いたE S C O事業者各位に、改めて御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

- 文 1) 村越、渡辺、赤司、中上：我が国における E S C O 事業の発展経緯と事業特性に関する研究、九州大学大学院人間環境学研究紀要第 12 号、2007 年 7 月
- 文 2) 一般社団法人 E S C O 推進協議会 2013 年度市場調査報告
- 文 3) 大阪府「中小規模施設の効率的な省エネルギー化改修事業化調査報告書」  
2006 年 2 月
- 文 4) 東京経済大学 桐生、室久保、山口：E S C O 事業を利用した環境金融の育成、2009 年日銀グランプリ
- 文 5) DECC データ：一般社団法人日本サステナブル建築協会ホームページにて公開 [http://www.jsbc.or.jp/decc\\_download/notes.html](http://www.jsbc.or.jp/decc_download/notes.html)
- 文 6) IPMVP Efficiency Valuation Organization: Concepts and Options for Determining Energy and Water Savings Volume 1、International Performance Measurement and Verification Protocol、January 2012
- 文 7) 宮田、吉田、浅田、岩田、田邊、柳沢：実 ESCO プロジェクトにおけるベースライン簡易補正手法の比較検討、空気調和・衛生工学会論文集 (119)、pp. 7-15、2007. 2
- 文 8) ライフサイクルエネルギーマネジメント (LCEM) ツール ver3. 10 は以下の国土交通省ホームページで公開  
[http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku\\_lcem\\_lcem.html](http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcem.html)

文 9) 梶、下田、松尾：空調システムの最適化を目的とした総合的設計と運転  
に関する研究(第 16 報)熱源機器のメンテナンスによる効率改善、空気調  
和・衛生工学会大会学術講演論文集 (2010. 9. 1-3)H-36