九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

ESCO事業における熱源ダウンサイジング効果

鈴木, 智也
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 : 修士課程

住吉, 大輔
九州大学人間環境学研究院都市・建築学部門

趙, 飛
九州大学大学院人間環境学府空間システム専攻 : 博士後期課程

村越, 千春
住環境計画研究所

他

https://doi.org/10.15017/1515827

出版情報：都市・建築学研究. 26, pp.73-78, 2014-07-15. 九州大学大学院人間環境学研究院都市・建築学部門
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

都市・建築学研究　九州大学大学院人間環境学研究院紀要　第26号，2014年7月
J. of Architecture and Urban Design, Kyushu University, No.26, pp. 73～78, July. 2014

ESCO事業における熱源ダウンサイジング効果

Effects by Downsizing of Heat Source Equipment in ESCO Business

鈴木智也*1，住吉大輔*2，趙　飛*3，村越千春*4，名古田知志*5，須田文隆*5
Tomoya SUZUKI, Daisuke SUMIYOSHI, Fei ZHAO,
Chiharu MURAKOSHI, Tomoji NAGODA and Fumitaka SUDA

The normal practice after air conditioner renovation is to retain the similar capacity of air conditioner equipment that has been selected before refurbishment. Therefore, there is a possibility that the system would be wasting energy. In order to create the appropriate design, the actual measurement data before air conditioner renovation process is analyzed. The purpose of this research is to construct a selection method of heat pump equipment capacity and to quantify the effect after renovation. In this paper, three simulation models of actual air conditioning system are developed and the effect of downsizing the heat pump equipment are investigated.

Keywords: *ESCO, Heat source equipment, Downsizing, Simulation*
ESCO 事業，熱源機器，ダウンサイジング，シミュレーション

1. はじめに

空調システムの熱源・ポンプ等の装置容量は建物の最大負荷計算 [1]に基づいて選定される．一般的に設計段階では，運用段階の負荷を多めに見込み装置容量に余裕をもたせる．そのため多くの場合，実際の負荷に対して装置容量が過大となり，エネルギーを浪費している事例が多い [2]．設計段階で運用段階での最大負荷を予測することは困難であり，ある程度余裕を見込むことは避けられないが，機器を更新する際は過去の実測データを分析し，より実態に即した空調システムの装置容量を選定することが可能である．しかし一般的には，新築時と同様の装置容量の機器が更新時にも設置される事例がほとんどである．

本研究では，熱源更新時に装置容量を変更した際の省エネルギー効果を明らかにし，改修時の適切な装置容量選定の効果を定量化することを目的としている．本報では，ESCO 事業で改修された 3 件の空調システムについて空調シミュレーションモデルを構築し，熱源機器を負荷に応じてより小さくした場合の効果（ダウンサイジング効果）について定量的に解析する．

2. 対象システム概要

対象システム図を**図 1** に，熱源機器リストを**表 1** に，

*1 空間システム専攻　修士課程
*2 都市・建築学部門
*3 空間システム専攻　博士後期課程
*4 住環境計画研究所
*5 アズビル

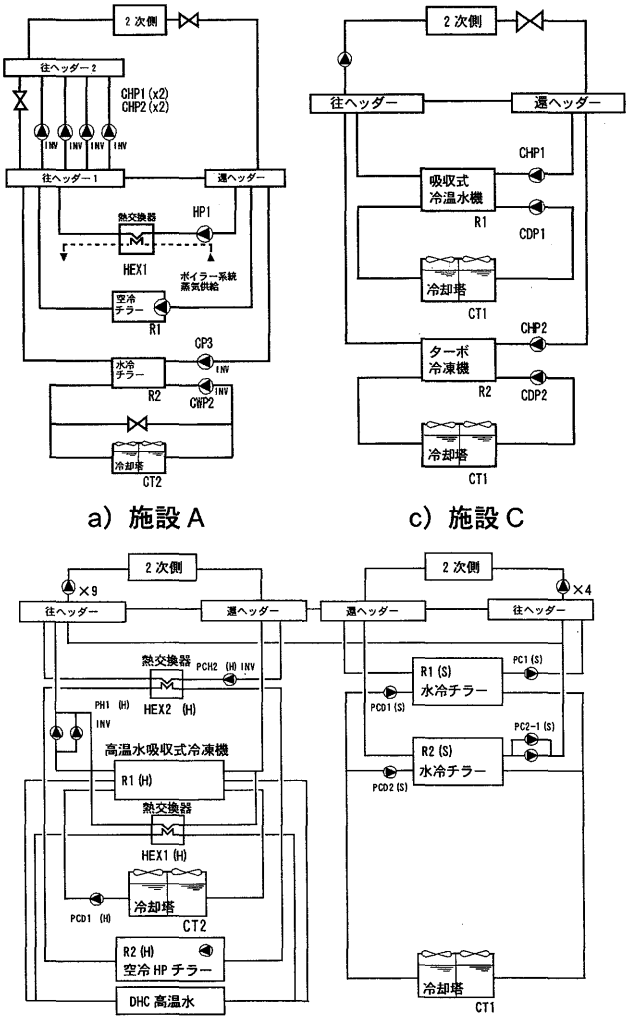


図 1　システム図

対象施設概要を**表 2** に示す．対象システムは山口県の病院（施設 A），北海道の商業施設（施設 B），沖縄県の商業施設（施設 C）である．

施設 A では 2 台の冷凍機及び熱交換器が設置されている．冷房期は R2（水冷スクリューチラー）が優先して稼動し，不足の際に R1（空冷モジュールチラー）も稼動する．暖房期は R1 が優先して稼動し，不足の際に H EX1（熱交換器）から熱を供給する．

施設 B では 4 台の冷凍機及び 2 台の熱交換器が設置されている．冷房期は R2(H)（空冷モジュールチラー），R2(S)（水冷スクリューチラー），R1(S)（水冷スクリューチラー），R1(H)（吸収式冷凍機）の順に稼動する．暖房期は R2（H）が優先して稼動し，地域暖房施設から HEX1（熱交換器）を介して熱供給する．

施設 C は 2 台の冷凍機があり，年間冷房を行っている．R2（ターボ冷凍機）が優先して稼動し，不足の際に R1（吸収式冷凍機）が稼動する．

3. 空調シミュレーションモデル

3.1 モデル概要

モデルは，2 次側負荷を入力値とし，1 次側システムを対象に構築した．計算時間間隔は 1 分である．負荷の実測データが 1 分間間隔でない場合は比例補完により 1 分データを作成した．気象データについても対象施設で計測されたデータを基に入力データを作成しているが，計測されていない場合は気象庁のデータで代用した．また，部分負荷特性が不明の熱源機器・ポンプに関しては同容量の機器の特性で代用した．

3.2 精度検証

実測値を用いて計算モデルの精度検証を行う．

施設 A における積算エネルギー消費量を**図 2** に示す．冷房期の誤差は 20%となった．1 次側熱源機で生産した熱を 2 次側の空調機で消費するため，1 次側の熱源機器が処理した熱量よりも 2 次側負荷熱量の方が大きくなることはあり得ないが,本施設の実測データではそうなっていた．原因としては温度センサーの測定誤差やセンサーの設置位置が不適切であるなどが考えられる．実測データから真の負荷熱量は分からないため，ここでは実測値の 2 次側負荷をそのまま入力データとして用いており，計算誤差の要因となっている．また，R1 の部分負荷特性を同程度である冷凍機の特性で代用していること，実際の制御では手動制御も行っており，制御ロジックを計算モデル上で再現しきれないことも原因である．暖房期の誤差は 25%となった．冷房期と同様の理由により誤差が生じていると考えられる．施設 B における積算エネルギー消費量を**図 3** に示す．冷房期の誤差は 15%となった．原因として，誤差の大きい R1（H），R1（S）の部分負荷特性を同容量の冷凍機の特性で代用していることが考えられる．また，実測値は経年劣化等によるエネルギー消費量の増加が含まれていることも挙げられる．暖房期の誤差は 13%となった．熱損失等による誤差が原因として考えられる．

いずれのモデルも実測値と計算結果に誤差が生じている．その原因は実測値の測定精度に問題が見られることや機器特性を代用したことによるものである．しかし，代用した機器特性も実機のものであり，シミュレーション同士の比較においてはダウンサイジングの効果等を十分再現できると考えられる．以降では，シミュレーションの計算結果を比較して検討する．

表 1　熱源機器リスト

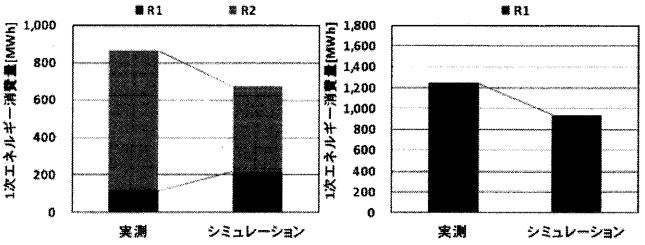
施設	機器名称	仕様	定格能力[kW]
施設A	R1	空冷ヒートポンプチラー（モジュール9台）	1,168 / 1,188（冷 / 暖）
	R2	水冷スクリューチラー	1,200
	HEX1	熱交換器	-
施設B	R1(S)	水冷スクリューチラー	1,440
	R1(H)	吸収式冷凍機	2,356
	R2(S)	水冷スクリューチラー	1,440
	R2(H)	空冷ヒートポンプチラー（モジュール11台）	1,111 / 651（冷 / 暖）
	HEX1	熱交換器	4,035
	HEX2	熱交換器	1,073
施設C	R1	吸収式冷凍機	2,461
	R2	ターボ冷凍機	2,812

表 2　施設概要

	所在地	延べ床面積[m²]	階層	用途
施設A	山口県	26,018	地上6階 地下1階	医療施設
施設B	北海道	106,137	地上5階 地下3階	商業施設
施設C	沖縄県	52,000	地上3階	商業施設

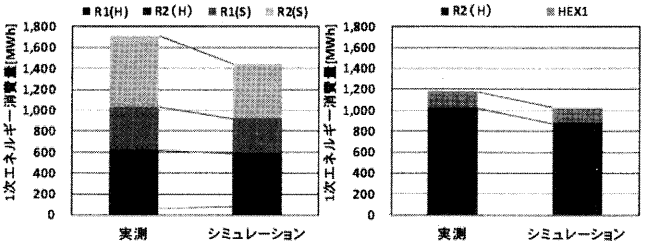
4. ダウンサイジング効果

対象施設における検討内容を**表 3** に示す．3 件の施



a）冷房期　　b）暖房期

図 2　積算エネルギー消費量（施設 A）

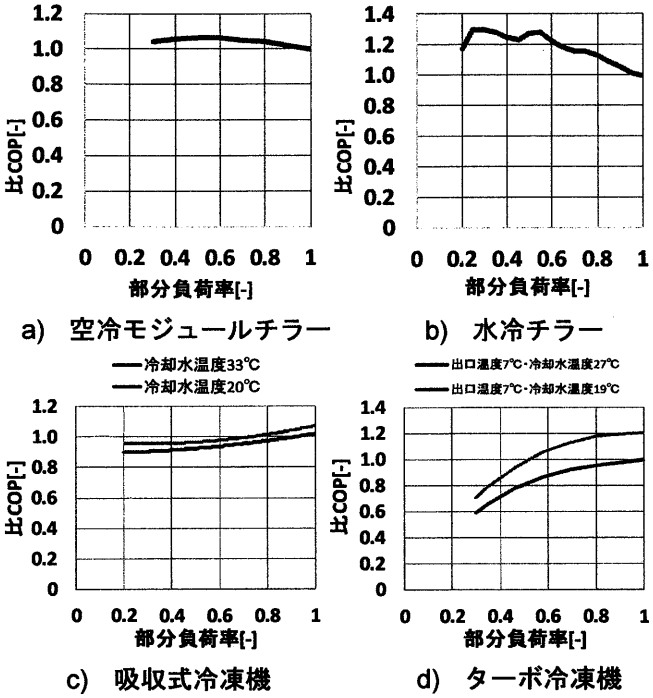


a）冷房期　　b）暖房期

図 3　積算エネルギー消費量（施設 B）

表３　検討内容

	ケース		システム構成	容量変更内容	備考
施設A	caseA1	100	R1：空冷モジュールチラー(INV) R2：水冷スクリューチラー(INV)	R1：100%　R2：100%	-
		R1-80		R1を20%ダウンサイジング	-
		R2-80		R2を20%ダウンサイジング	-
	caseA2	100	R1：空冷モジュールチラー(INV) R2：ターボ冷凍機	R1：100%　R2：100%	-
		R1-80		R1を20%ダウンサイジング R2：100%	-
		R2-80		R1:100%　R2を20%ダウンサイジング	-
	caseA3	100	R1：ターボ冷凍機 R2：ターボ冷凍機	R1：100%　R2：100%	-
		90・80		R1・R2を10%、20%ダウンサイジング	-
	caseA4	100	R1：ターボ冷凍機(INV) R2：ターボ冷凍機(INV)	R1：100%　R2：100%	-
		90・80		R1・R2を10%、20%ダウンサイジング	-
施設B	caseB1	100	R1(S)：水冷スクリューチラー(INV) R1(H)：吸収式冷凍機	R1(S)：100%　R1(H)：100% R2(S)：100%　R2(H)：100%	-
		80～120		各熱源機器を10%～20%容量変更	-
	caseB2	100	R2(S)：水冷スクリューチラー(INV) R2(H)：空冷モジュールチラー(INV)	R1(S)：100%　R1(H)：100% R2(S)：100%　R2(H)：100%	-
		1			変更
		2		R1(S)・R2(S)・R2(H)を10% R1(H)を50%ダウンサイジング	変更
	caseB3	100	R1(S)：ターボ冷凍機 R1(H)：ターボ冷凍機 R2(S)：ターボ冷凍機 R2(H)：空冷モジュールチラー(INV)	R1(S)：100%　R1(H)：100% R2(S)：100%　R2(H)：100%	-
		1			変更
		2		R1(S)・R2(S)・R2(H)を10% R1(H)を50%ダウンサイジング	変更
施設C	caseC1	100	R1：吸収式冷凍機 R2：ターボ冷凍機	R1：100%　R2：100%	-
		80～120		各熱源機器を10%～20%容量変更	-
	caseC2	100	R1：ターボ冷凍機 R2：ターボ冷凍機	R1：100%　R2：100%	-
		80～120		各熱源機器を10%～20%容量変更	-



a)　空冷モジュールチラー　　b)　水冷チラー

c)　吸収式冷凍機　　d)　ターボ冷凍機

図４　冷凍機の部分負荷特性

設の冷房期における検討を行った．今回の検討で使用した冷凍機の部分負荷特性を図 4 に示す．なお，ここで示すのは ESCO の効果ではなく，あくまでダウンサイジング効果であり，改修前後の比較ではない．

4.1　施設 A

施設 A に導入されている熱源機器能力は冷房ピーク負荷に対して 40%の余裕がある．caseA1 は現行システム，caseA2 はインバータ機器と定速機器を組み合わせた場合，caseA3・caseA4 はインバータ機器や定速機器同士を組み合わせた場合で，ダウンサイジングした際のエネルギー消費を計算した．こうしたケースを計算するのはダウンサイジング効果が熱源機器の特性によって変わると予想されるためである．特に定速機器を

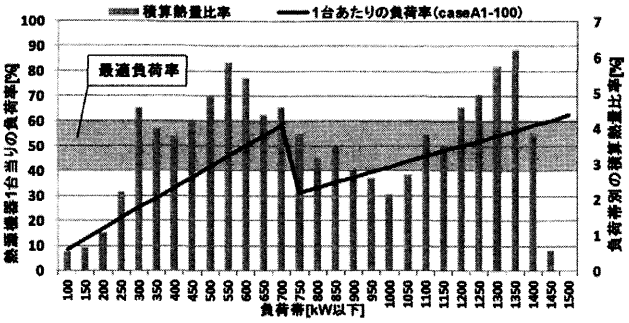
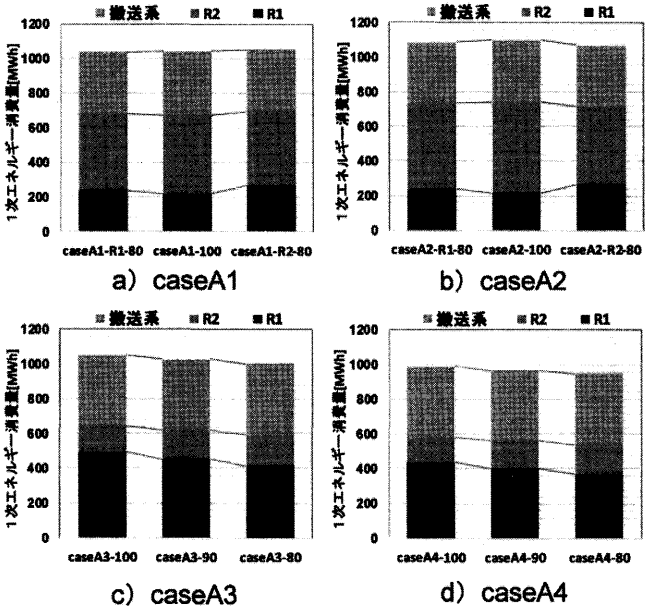


図５　積算熱量比率と１台あたりの負荷率（施設 A）



a）caseA1　　b）caseA2

c）caseA3　　d）caseA4

図６　case 毎の積算エネルギー消費量（施設 A）

採用するシステムにおいては効果的と考えられる．負荷帯別の積算熱量比率を図 5 に，各検討ケースにおけるエネルギー消費量の積算値を図 6 に示す．図 5 は負荷帯別に負荷熱量を積算し，負荷の合計値に対する比率を求めたものである．施設 A のシステムでは，R1 に対して R2 の COP が高く，R1・R2 共に低負荷時の効率が良い．このようなインバータの機器を採用しているシステムはダウンサイジング効果が得にくいと考えられる（caseA1）．R2 を定速ターボ冷凍機に変えた場合，優先して稼動する機器（R2:ターボ冷凍機）をダウンサイジングした際には，2.6%の省エネルギー効果が得られた（caseA2-R2-80）．部分負荷効率が低い機器はダウンサイジング効果を得やすいことが確認された．しかし，2 台目に稼動する機器が低効率の場合，その運転時間が増大することによってダウンサイジング効果は低下する．同じ特性の機器同士を組み合わせた場合，定速機器では 4.5%，インバータ機器では 4%の省エネルギー効果が得られた（caseA3・caseA4）．なお，インバータ機器で定速機器と同等の効果がでたのは，インバータターボ冷凍機の冷却水温度が高い時の部分

負荷特性が，定速機器同様に高負荷ほど効率が良くなるためである．

4.2 施設 B

施設 B に導入されている熱源機器能力は冷房ピーク負荷に対して 25%の余裕がある．caseB1 は現行システム，caseB2 は台数制御変更を組み合わせた場合，caseB3 は定速機器でシステムを構成し台数制御変更を組み合わせた場合で，機器容量を変更した際のエネルギー消費量を計算した．負荷帯別の積算熱量比率を図 7 に，各検討ケースにおけるエネルギー消費量の積算値を図 8 に示す．現行システムをダウンサイジングすると効率の悪い 4 台目の機器（R1（H）:吸収式冷凍機）の運転時間が増大するためエネルギー消費量が増加する．台数制御変更を組み合わせた caseB2 では，発生頻度の高い 1800kW～2000kW の負荷帯で 1 台あたりの負荷率が最適となるように台数制御の閾値を設定した．台数制御変更を行うことで 2%の省エネルギー効果が得られた（caseB2-1）．また，caseB1 ではダウンサイジング効果がなかったが，台数制御変更も行うことで省エネルギー効果が得られた（caseB2-2）．ただし，1～3 台目までの機器容量を小さくすると低効率な 4 台目の熱源機器の運転時間が増大するため，その効果は小さい．熱源機器の台数が多いシステムでダウンサイジング効果を出すためには台数制御を組み合わせて効率の良い部分負荷率でできるだけ運転させることが効果的である．定速機器でシステムを構成し台数制御変更を組み合わせた caseB3 では，最適負荷率が 80%～100%になる（図 7，b）．そこで発生頻度の高い 2000kW～3600kW の負荷帯で 1 台あたりの負荷率が最適となるように台数制御の閾値を設定した．台数制御変更を行うことで 7.3%（caseB3-1），ダウンサイジングも行うことで 8%（caseB3-2）の省エネルギー効果が得られた．4 台目の熱源機器の効率が他の機器と同等であれば，ダウンサイジングにより 4 台目の運転時間が増大しても効果は得られる．

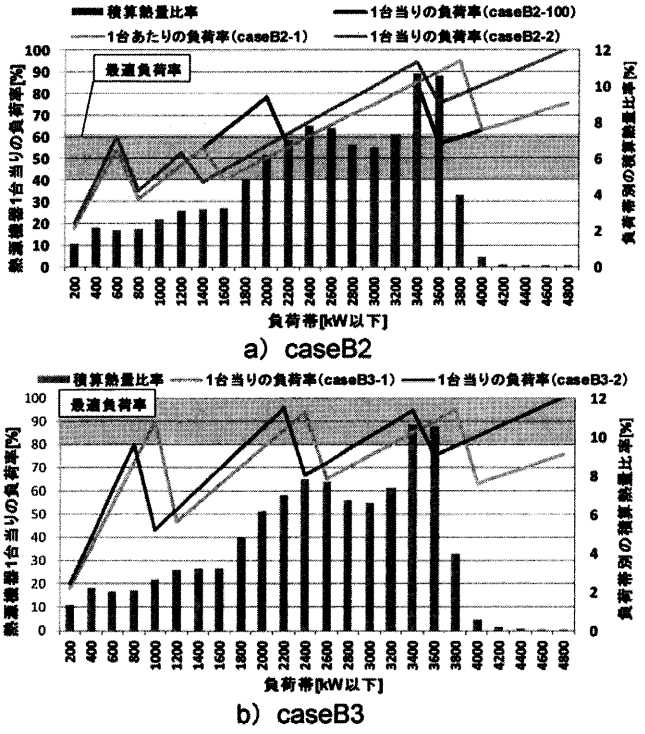


図 7　積算熱量比率と 1 台あたりの負荷率（施設 B）

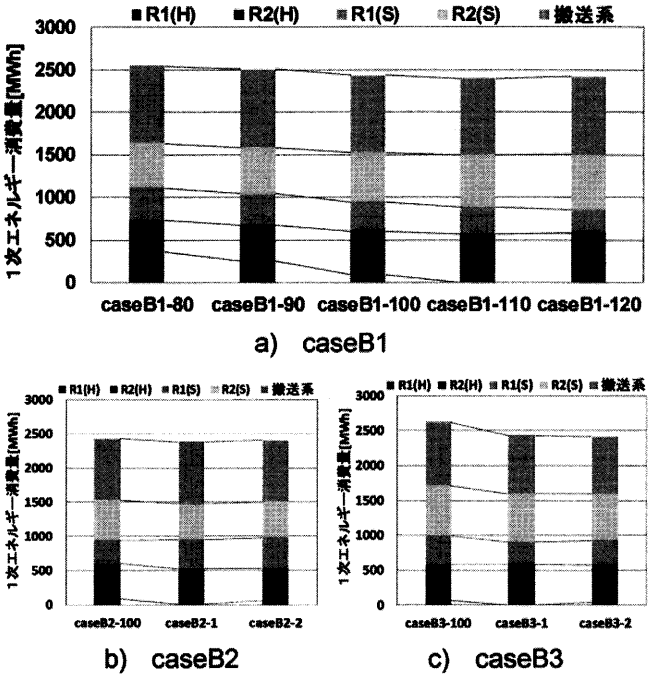


図 8　case 毎の積算エネルギー消費量（施設 B）

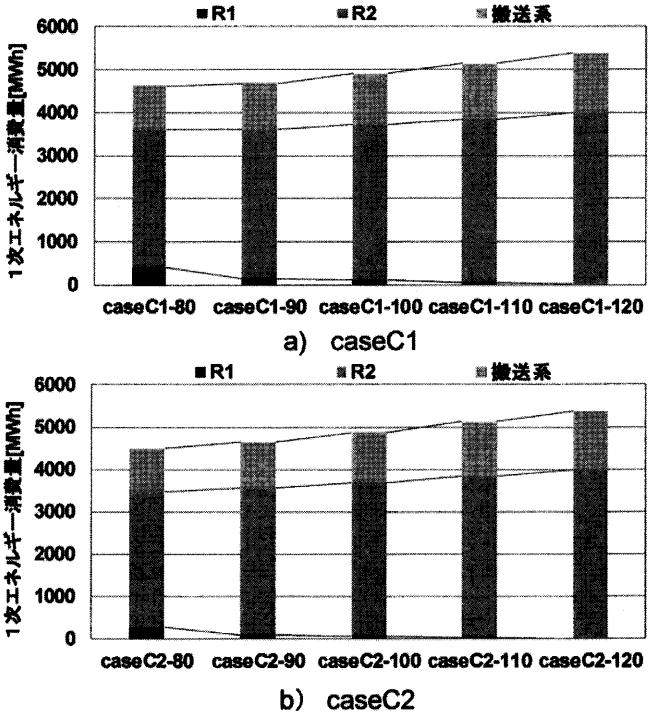


図 9　case 毎の積算エネルギー消費量（施設 C）

4.3 施設 C

施設 C に導入されている熱源機器能力は冷房ピーク負荷に対して 40%程度の余裕がある．caseC1 は現行システム，caseC2 は同じ定速機器でシステムを構成した場合で，それぞれ機器容量を変更した際のエネルギー消費量を計算した．各検討ケースにおけるエネルギー消費量の積算値を**図 8** に示す．現行システムの機器容量を変更した場合，最大で 6.7%の省エネルギー効果が得られた（caseC1-80）．ただし，ダウンサイジングし過ぎると効率の悪い機器（R1: 吸収式冷凍機）の運転時間が増加するため省エネルギー効果が得られない（case C1-70）．2 台目の機器を効率の良い機器に変更し容量を変更した場合，最大で 8.8%の省エネルギー効果が得られた（case C2-80）．

5. ダウンサイジング効果の標準化

前節までの検討システムの一部は北海道や沖縄に所在し，また，地域熱供給施設から熱を受け入れるなどやや特殊なものであった．そこで東京に所在するシステムを想定し，標準的な負荷パターンを与えて計算することで，より標準的なダウンサイジング効果を算出する．様々な建物におけるダウンサイジング効果を定量化するため，建物用途として医療施設，商業施設に加えて，オフィス，宿泊施設を追加する．気象条件として東京都の標準気象データを用いる．入力する負荷データは地域冷暖房施設の設計に用いられる月別時刻別負荷変動パターン [3]に基づいて作成した．これは用途別の複数の建物の負荷変動を集め一般化したものであり，標準的な負荷変動を表している．月別時刻別負荷変動パターンの代表例を**図 10**，**図 11** に示す．地域冷暖房施設の設計用データのためオフィスにおいては夜間も負荷が僅かに発生しているが，オフィスや商業施設では間欠空調が行われることが一般的であることから検討では 23 時～翌日 7 時までは非空調としている．建物によってばらつきがあるが平均的には冷房，暖房とも 40%程度の余裕率が見込めるものと考え，最大冷暖房負荷が設備容量の 60%となるようにしている．また，時刻別負荷を作成する際は月平均気温と日平均気温との差に応じて負荷値を補正し，日別のばらつきを表現している．

検討ケースと検討結果を**表 4** に示す．熱源機器の台数によって効果が異なることや同じ台数でも部分負荷効率が良いインバータ搭載の熱源機器と定速の熱源機器で効果が異なるため，熱源機器が 4 台と 2 台それぞれについてインバータ機器と定速機器で構成したシステムを検討した．熱源機器が 4 台の時の検討は前節までの検討での施設 B のシステムをベースに，熱源機器が 2 台の時の検討は施設 C のシステムをベースにし，冷房と暖房の両方に対応できるシステムとなるように工夫している．

熱源機器が 4 台あるシステムの場合，最大冷暖房負荷が設備容量の 60%と想定しているため，4 台中 3 台でほぼ全ての負荷に対応できる状況である．冷房時に

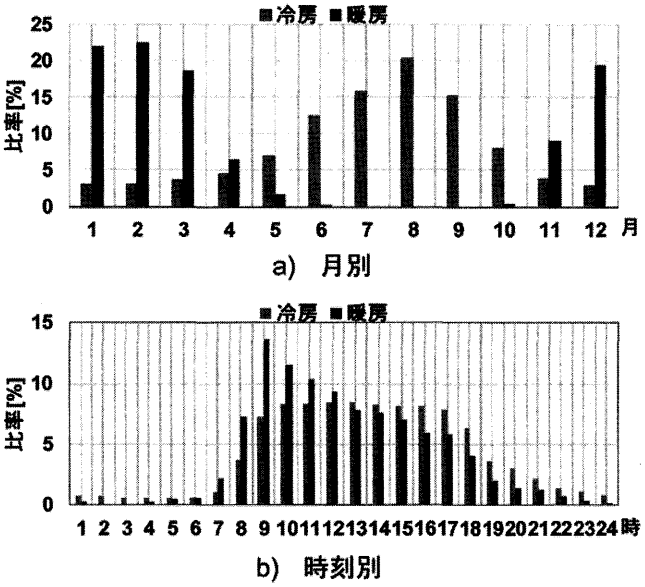


図 10 月別時刻別負荷変動パターン（オフィス）

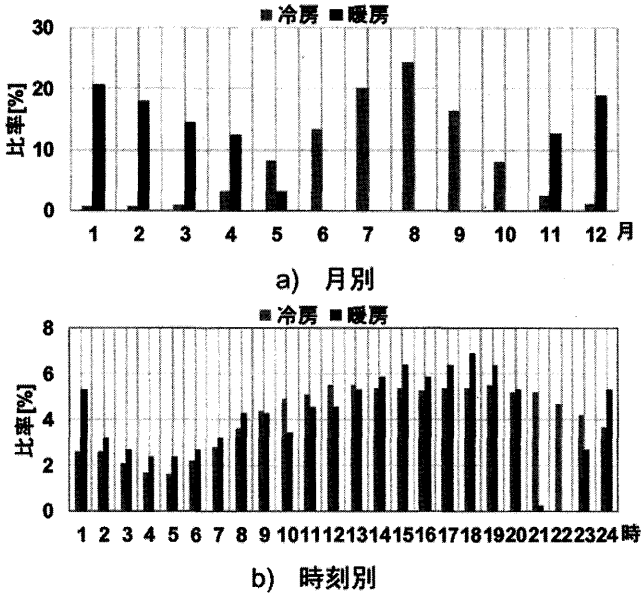


図 11 月別時刻別負荷変動パターン（宿泊施設）

表 4 検討ケースと結果

		空調熱源用エネルギーの省減率			
		1 オフィス	2 商業施設	3 宿泊施設	4 医療施設
A:熱源機器4台(INV)	冷房	7.2%増加	7.3%増加	7.3%増加	7.3%増加
	暖房	2.8%	2.9%	2.0%	1.9%
B:熱源機器4台(定速)	冷房	1.4%	1.1%	1.0%	1.4%
	暖房	2.0%	3.0%	0.8%	1.1%
C:熱源機器2台(INV)	冷房	4.0%	3.8%	3.3%	4.9%
	暖房	4.5%	4.2%	3.9%	3.8%
D:熱源機器2台(定速)	冷房	6.4%	6.4%	6.3%	7.7%
	暖房	10.4%	10.0%	6.3%	7.7%

インバータ機器をダウンサイジングすると，効率の悪い 4 台目の予備機の運転時間が増加するため，ダウンサイジング効果が得られない．暖房時は最大で商業施設において 2.9%の省エネルギー効果が得られた．定速機器をダウンサイジングする検討では冷房時は最大でオフィス・医療施設において 1.4%，暖房時は最大で商業施設において 3%の省エネルギー効果が得られた．熱源機器が 2 台の場合，インバータ機器よりも定速機器のほうがダウンサイジング効果は大きい．インバータ機器の場合はどの用途においても同等の効果が得られた．冷房時には医療施設において最大で 4.9%，暖房時にはオフィスにおいて最大で 4.5%の省エネルギー効果が得られた．定速機器をダウンサイジングすると冷房時に医療施設において 4.9%，暖房時にオフィスにおいて 10.4%の省エネルギー効果が得られた．

負荷パターンによって大きく違いがでたのは，定速の機器を採用し暖房時にダウンサイジングしたケースである．熱源機器の台数によらずオフィスと商業施設は宿泊施設と医療施設に比べてダウンサイジング効果が大きい．宿泊施設や医療施設は一日中暖冷房負荷が発生しており，年間の暖房負荷の割合がオフィスや商業施設に比べて大きい．宿泊施設や医療施設において暖房時にダウンサイジングすると台数制御で最後に稼動する熱源機器の処理熱量が増え，エネルギー消費量も増加するため，オフィスや商業施設に比べてダウンサイジング効果は小さくなる．

6. おわりに

本論文では，業務施設建物において熱源機器を更新する際に，元の機器容量よりも小さい機器を導入する熱源機器のダウンサイジングについて検討を行った．今回の検討では，ダウンサイジングによってオフィスや商業施設の暖房時において最大 10%程度の省エネルギー効果が得られた．ダウンサイジング効果が出やすいシステムは熱源機器の台数が少ないシステムや部分負荷効率の低い定速機器が採用されているシステムであることが確認された．また，ピーク負荷対応の熱源機器（台数制御の最後に稼動する機器）の効率が他の機器に比べて悪い場合，ダウンサイジング効果が低下する．ダウンサイジングによる省エネルギー効果は熱源機器の制御方法も含めて検討する必要がある．

業種毎にダウンサイジング効果を検討すると，冷房時の効果はどの業種も同程度である。一方，暖房時の効果は定速の機器を採用したケースで暖房負荷の小さいオフィスや商業施設において大きな効果が得られた．負荷パターンによってダウンサイジング効果が変わる業種もあるため業種の違いによる検討も重要である．

今後は，本報のダウンサイジング効果の検討結果を踏まえ，負荷パターンを分析し熱源機器の設備容量や台数，台数制御方法をどう組むか等の検討を行い，熱源機器の改修時に省エネルギーとなる機器の設計方法の構築を行う．

参 考 文 献

1) 国土交通省大臣官房官庁営繕部設備・環境課：建築設備設計基準，平成 21 年度版，2009 年 10 月
2) 猪岡達夫 ：空調設備設計における余裕と省エネルギー,日本建築学会大会学術講演梗概集,pp203-206, 2004 年 8 月
3) 一般社団法人都市環境エネルギー協会,地域冷暖房技術の手引書改定代 4 版，2013 年 11 月

謝 辞

本研究は，「平成 25 年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（業務部門における ESCO 事業の省エネ効果と普及課題に関する調査)」の 一環として経済産業省のご支援を頂くとともに(一社)ESCO 推進協議会のご支援を頂戴して行ったものである．ここに記して謝意を表する．

（受理：平成26年5月29日）