集中管理コントローラの料金按分機能を活用した個別分散型空調における適正な設備容量検討

AN EXAMINATION ON ADEQUATE CAPACITY FOR MULTI-SPLIT TYPE AIR CONDITIONING USING CENTRALIZED CONTROLLER WITH A FUNCTION OF GAS RATE PROPORTIONAL DIVISION

田中英紀 — * 1 恒川和久 — * 2
奥宮正哉 — * 3

Hideki TANAKA — * 1 Kazuhisa TSUNEKAWA — * 2
Masaya OKUMIYA — * 3

キーワード：
個別分散型空調, 集中管理コントローラ, 適正設計容量,
システムシミュレーション, LCEM ツール

Keywords:
Multi-split type air-conditioning system, Centralized controller,
Adequate design capacity, System simulation, LCEM tool

This paper discusses about an examination on adequate capacity for multi-split type air conditioner using centralized controller with a function of gas rate proportional division. The objective system is a gas heat pump air-conditioner of an agricultural research building. The effect of energy saving was analyzed by LCEM tool using the estimated actual thermal load under the assumption of retrofit / renewal for air-conditioning equipment. The energy savings from the current situation was that the case of proper capacity repair is 5% reduction, and the case of renewal can be reduced 15% of the operation energy consumption.

1. はじめに

我国において、中小規模のビルを中心に広く普及している、個別分散型空調方式のビル用マルチパッケージ型空調システムを導入する物件では、その設備容量に過剰な余裕が生じているケースが少なくない¹⁾²⁾。この背景には、設計時における空調熱負荷推定の精度や室内熱負荷と室内機容量のマッチング、室外機の室内機接続容量比や余裕率、機器容量ラインナップにおける選定の考え方など、様々な要因が影響していると考えられる。また、実運転で設備容量に大きな余裕が生じる際は低負荷運転時間数が多くなり、一般には年間エネルギー性能の低下を引き起こす要因になると考えられる。

従って、システム設計時における空調熱負荷推定の精度向上のために、室外機のみならず室除去熱量レベルの実運用データを長期にわたって取得し、傾向分析がなされれば、直接的には当該建物の機器更新時において、運転実態データが空調ゾーニングの再編や室内機選定の適正化、室外機容量決定時の同時負荷率の想定や台数分割などに有効に活用できると考えられる。また、多くの導入物件で運転実態データが取得・蓄積され、地域・建物・室用途などの条件別に整理されれば、新築建物の空調容量設計法に対するエビデンス³⁾や機器開発の拠り所としても大いに役立つと考えられる。

実運用データの取得手法としては、室外機の処理熱負荷については現場での簡易実測⁴⁾などが、室内機を含めた機器挙動データについては空調機メーカーの機器メンテナンス用チェッカーによる方法⁵⁾や空調メーカー等の遠隔監視サービスを介する方法⁶⁾などがある。

本報では、大学の生物・農学系研究施設を対象に、一般に長期的な測定が難しいビル用マルチパッケージ型空調システムの運転データを、賃貸オフィスビルの光熱費徴収などに用いられる汎用の集中管

理コントローラの料金按分機能を活用した簡便的な手法で取得して、室外機ならびに各室の熱負荷実態の傾向把握を行う。また、この方法により取得した実運転データを用いて、既存の個別分散空調設備の改修および機器再選定による空調設備容量適正化に対する省エネルギー効果を、シミュレーション評価した事例について報告する。

2. 対象建物・設備の概要

対象建物は、大学構内に建つ RC 構造 6 階建て、延べ床面積が約 6,500m² の生物・農学系研究棟である。室用途は、教員室、学生研究室、生物・化学系実験室、フリーザ室などである。対象建物の代表階プラン例を図 1 に示す。各室の空調には、一部を除きガスエンジン駆動のコンプレッサを搭載したビル用マルチパッケージ型ガスヒートポンプエアコン (GHP) が導入され、換気は第 3 種換気により各室毎になされる。本建物には GHP が 8 系統導入されており、この機器仕様は表 1 の通りである。導入された GHP は、1 系統につき室外機 2 台を連結したツインタイプであり、空調熱負荷の大きさに応じて室外機が台数制御される。また、GHP の群制御には集中管理コントローラが導入され、この機能の一部として光熱費按分機能がある。図 2 に集中管理・計量システムの概要を示す。

3. 熱負荷および機器運転実態の把握

3.1 集中管理コントローラの機能

対象建物に導入された集中管理コントローラは、管理者が機器の運転管理を一元的に行うことを主目的に開発されたものであるが、この付加機能の一つに光熱費按分機能がある。この按分方法には、各室内機の①運転時間、②サーモ ON 時間、③推定空調負荷に基づく

¹⁾ 名古屋大学施設・環境計画推進室 特任教授・博士 (工学)
(〒464-8603 名古屋市千種区不老町)

²⁾ 名古屋大学大学院工学研究科・施設整備推進室 准教授・博士 (工学)

³⁾ 名古屋大学大学院環境学研究科 教授・工博

¹⁾ Designated Prof., Campus Planning & Environment Management Office, Nagoya Univ., Dr. Eng.

²⁾ Assoc. Prof., Campus Planning & Management Office, Graduate School of Engineering, Nagoya Univ., Dr. Eng.

³⁾ Prof., Graduate School of Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

ものがあり、本検討では③の方法を選択して計測を行った。

この方法では、室内機毎の膨張弁開度と吸込温度(室温)をもとに各室内機の運転状態値(推定空調負荷)が微小タイムステップ毎に推計される。各室内機の運転状態値と室内機容量をもとに、室内機的能力指標値を時刻毎に求め、当該室内機的能力指標値を全室内機的能力指標合計値で除して、当該室内機の按分比を算出する。この按分比と時刻別室外機ガス消費量の積を、室内機別のガス消費量として毎正時に記録する。通常は、この室内機ガス消費量に料金単価を乗じて対象エリアの光熱費が算定される。なお、室内機運転状態値の推定には、使用機器ラインナップ毎の特性式が用いられる。この推定精度に対しては緻密な検証を行っていないが、機器特性を加味し、微小時間の精緻な機器運転情報をもとに運転状態値が推定されるため、機器挙動の傾向把握には有効な手段であると考えられる。

3.2 推定空調負荷による機器運転の傾向把握

上述の光熱費按分機能を用いて記録された、室外機および室内機毎の時刻別ガス消費量をもとに、本建物のGHPに対する機器運転の傾向把握を行った。図3にGHP系統毎の時刻別に求めた室外機部分負荷率(本報では、室外機2台分の定格ガス消費量に対する時刻別ガス消費の割合として算定した)のデューレーション・カーブを示す。この結果より、室外機の最大負荷率は冷房期で約50~75%、暖房期で約35~55%であり、冷房期間を通じて30%以下の室外機負荷率で運転された時間数が全体の7割余りであることが分かる。

各時刻の室外機ガス消費量を稼働している室内機毎に按分した結果として得られる、各室内機のガス消費量データに定格COPを乗じて室内機の推定空調負荷を求め、室内機の定格冷房能力・暖房能力で除して各室内機の部分負荷率を求めた。

冷房期におけるGHP-2系統の分析結果を、箱ひげ図として図4に示す。この結果より、教員室や学生研究室の室内機負荷率が特に小さく、これらの室用途で室内機選定容量が大きくなることが、室外機容量の過剰な余裕につながる一因となることが分かる。

4. 室外機容量の適正化シミュレーション

4.1 シミュレーションの概要

室外機部分負荷率の実績値から、対象建物では室外機容量の余裕が大きく、室外機の低部分負荷運転時間数が多くなっていることが分かった。そこで、室外機部分負荷運転時の効率改善を目的に、以下の既存設備改修ならびに機器再選定による空調設備容量適正化を実施した際の省エネルギー効果を、シミュレーションにて推計した。

①冷媒管繋ぎ替え改修(再接続ケース)：

GHP-2の室外機の使用を取りやめ、このGHP2系統下の室内機を他系統の室外機に繋ぎ直して運転時の室外機部分負荷率の改善を図る。

②室外機容量の再選定(適正容量ケース)：

室外機が実負荷に即した適正容量が選定された場合を仮定して、実測データによる推定空調負荷をもとに、機器容量の再選定を行う。

表2に、室外機の冷媒管の繋ぎ替え改修と適正容量を仮定したケースの機器表を示す。この室外機の改修・容量再選定では、既存の室内機を活用することを前提とした。改修では、室外機の室内機接続率が130%を超えないよう、さらに実測データをもとに最大負荷発生時刻に室外機容量を超えないように室の組み合わせを考えた。また、適正容量ケースでは、室内機接続率が120~200%となった。

図1 対象建物の代表階プランの例(現状GHPゾーニング)

図2 集中管理・計量システムの概要

図3 GHP系統毎の時刻別に求めた室外機部分負荷率

図4 時刻別に求めた室内機部分負荷率の箱ひげ図(GHP-2)

表 1 現状の GHP 機器仕様

系統 No.	室外機		室内機		
		定格能力 [kW]	定格 COP	接続 台数	合計能力 [kW]
GHP -1	冷房	71×2	1.22	24	137.6
	暖房	80×2	1.38		155.0
GHP -2	冷房	56×2	1.19	16	114.2
	暖房	63×2	1.36		128.2
GHP -3	冷房	56×2	1.19	14	107.6
	暖房	63×2	1.36		120.5
GHP -4	冷房	71×2	1.22	23	124.0
	暖房	80×2	1.38		138.7
GHP -5	冷房	45×2	1.27	12	82.0
	暖房	50×2	1.42		91.6
GHP -6	冷房	45×2	1.27	10	79.9
	暖房	50×2	1.42		89.9
GHP -7	冷房	71×2	1.22	16	127.1
	暖房	80×2	1.38		142.7
GHP -8	冷房	71×2	1.22	19	139.7
	暖房	80×2	1.38		155.6

※接続容量比：室内機合計定格能力／室外機定格能力

検討に用いたシミュレーションモデルは、LCEM ツール⁷⁾の GHP 室外機オブジェクトを実機に合わせて 2 台連結型に改造して作成した。GHP 室外機オブジェクトには、実機を模擬した性能特性（主に外気条件、部分負荷率に対する特性）が反映されている。

2 台連結型 GHP の室外機台数制御は、実態に即して室外機 1 台目の部分負荷率が 80% (全体容量の 40%) を超えたら、2 台目が増段して並列絞り運転となるよう、台数制御コントローラ・オブジェクトを新規に作成した。作成した 2 台連結型 GHP 室外機シミュレーションモデルを図 5 に、既存 GHP 室外機の部分負荷特性を図 6 に示す。

シミュレーションの境界条件は、左端で気象条件を、右端で実測推定空調負荷（室外機ガス消費量データに定格 COP を乗じて算出）を時刻毎に与えて、GHP のエネルギー消費量を求める。また、運転実績より 4/14～10/31 を冷房期間、11/1～4/13 を暖房期間とし、気象条件は名古屋市気象台データを用いた。なお、適正容量ケースでは容量選定の影響のみを検討するため、再接続ケースと同じ現状仕様と同等性能の標準型 GHP オブジェクトを LCEM ツールから選定した。

4.2 シミュレーション結果

シミュレーションは、同じ気象条件と空調負荷条件のもと、表 1 の現状ケース、表 2 の再接続ケースならびに適正容量ケースの 3 条件を対象に行った。図 7 に各ケースの年間積算ガス消費量の比較、表 3 および表 4 に各ケースの GHP 期間積算ガス消費量と対現状ケース削減率、GHP 系統毎の稼働時平均の負荷率と運転 COP を示した。また、図 8 と図 9 に GHP-1 に対する時刻別ガス消費量と運転負荷率と機器 COP のデュレーションカーブを示す。

再接続ケースでは、室外機を 1 台縮減して各室外機の部分負荷運転の効率向上を図ることにより、全 GHP における年間平均の部分負荷率は、現状ケースの 28% から 31% に向上、機器 COP は現状ケースの 1.43 から 1.50 に向上し、この結果として年間ガス消費削減率は 5% となった。適正容量ケースでは、実負荷に対して容量選定の適正化を図ったことにより、GHP 全体における年間平均の部分負荷率は 39%、機器 COP は 1.61 へと向上し、年間ガス消費削減率は 15% となった。この結果は、空調機器容量の選定において、過剰なゆとりを見込まないことが、省エネルギーに寄与することを示唆する。

5. まとめ

本報では、一般には詳細運用データを長期的に得ることが難しい

表 2 検討ケースの GHP 機器仕様

系統 No.	再接続ケース			適正容量ケース		
	内機接続台数	内機合計能力 [kW]	接続容量比* [%]	推定最大負荷 [kW]	外機定格能力 [kW]	定格 COP
GHP -1	24	137.6	97	72.9	45×2	1.30
		155.0	97	(冷房時)	50×2	1.46
GHP -2	切離	移設・撤去を想定		72.6	45×2	1.30
				(冷房時)	50×2	1.46
GHP -3	14	107.6	96	45.9	28×2	1.26
		120.5	96	(冷房時)	31.5×2	1.35
GHP -4	35	183.0	129	76.9	45×2	1.30
		198.3	124	(冷房時)	50×2	1.46
GHP -5	12	82.0	91	54.0	28×2	1.26
		91.6	91	(冷房時)	31.5×2	1.35
GHP -6	16	113.5	126	51.1	28×2	1.26
		127.7	128	(冷房時)	31.5×2	1.35
GHP -7	16	127.1	90	69.8	35.5×2	1.36
		142.7	90	(冷房時)	40×2	1.49
GHP -8	21	164.9	116	107.9	56×2	1.21
		184.1	115	(冷房時)	63×2	1.39

※各 GHP 室外機オブジェクトの通信部・演算部・属性部の記述詳細については LCEM ツール⁷⁾に同じ
図 5 2 台連結型 GHP 室外機シミュレーションモデルの構成

図 6 GHP 室外機部分負荷特性の例 (GHP-1)

表 3 各ケースの GHP 期間積算ガス消費量と対現状ケース削減率

単位 [MW]	現状ケース	再接続ケース	削減率	適正容量ケース	削減率
	ガス消費量	ガス消費量		ガス消費量	
冷房期	395	381	-3.5%	360	-8.9%
暖房期	353	331	-6.2%	275	-22.1%
年間	748	712	-4.8%	635	-15.1%

表 4 各ケースの GHP 系統毎の稼働時平均の室外機負荷率と機器 COP

系統 No.		現状ケース		再接続ケース		適正容量ケース	
		平均負荷率[%]	稼働時平均 COP	平均負荷率[%]	稼働時平均 COP	平均負荷率[%]	稼働時平均 COP
GHP-1	冷房	31	1.77	同左		42	2.10
	暖房	29	1.04			43	1.42
GHP-2	冷房	25	1.52	切り離し		28	1.51
	暖房	29	1.01			33	1.10
GHP-3	冷房	23	1.54	同左		36	1.56
	暖房	25	1.00			43	1.18
GHP-4	冷房	23	1.36	28	1.54	32	1.83
	暖房	20	0.80	36	1.13	32	1.22
GHP-5	冷房	44	2.27	同左		50	1.90
	暖房	30	1.12			43	1.20
GHP-6	冷房	35	1.99	42	2.15	47	1.84
	暖房	17	0.72	21	0.84	27	0.89
GHP-7	冷房	21	1.32	同左		38	1.73
	暖房	21	0.78			39	1.24
GHP-8	冷房	36	1.83	36	1.83	40	2.14
	暖房	41	1.24	42	1.26	47	1.45
期間平均	冷房	30	1.70	32	1.77	39	1.83
	暖房	26	0.96	29	1.02	38	1.21
	年間	28	1.43	31	1.50	39	1.61

図 7 (a) 各ケースの GHP 系統毎の期間ガス消費量(冷房期間)

図 7 (b) 各ケースの GHP 系統毎の期間ガス消費量(暖房期間)

個別分散型空調システムに対し、市販の集中管理コントローラの光熱費按分機能を活用して簡便に機器運用データを取得し、空調負荷実態の把握や改修効果シミュレーション等に利用する手法について具体的に示した。本論の検討のように、個別分散型空調においても既存設備の熱負荷や運転データが存在すれば、実態にもとづく精緻なシミュレーションが可能となり、対象設備の改修・更新等による効果検証を、従前の手法よりも比較的高い精度で実施することができる。

参考文献

- 河野匡志, 柳原隆司, 坂本雄三ら: 大学施設における環境負荷低減手法に関する研究, その 5 個別分散空調機の調査結果分析と更新手法の提案, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 927~930, 2010
- 大橋巧, 高橋直樹, 丹羽英治: 大学施設における個別空調システムの運用実態に関する研究, 大規模大学キャンパスにおける GHP の運転特性分析, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 169~172, 2016

図 8 (a) GHP-1 の期間ガス消費量(現状ケース)

図 8 (b) GHP-1 の期間ガス消費量(適正容量ケース)

図 9 GHP-1 室外機負荷率と機器 COP(現状と適正容量ケース)

- 岡本泰英, 赤司泰義ら: 総合大学における実効あるエネルギー管理システムに関する研究, 運用実態調査に基づいた個別分散空調機的设计・運用管理の合理化検討, 気調和・衛生工学会論文集 (224), pp. 63~69, 2015
- 山田恭輔, 清水拓ら: プローブ挿入法によるマルチパッケージ型空調機の運用実態調査, 空気調和・衛生工学会論文集 (193), pp. 19~26, 2013
- 岡本泰英, 柳原隆司ら: 大学施設における環境負荷低減手法に関する研究, その 18 年間運転データに基づく大学施設における個別分散空調機の使用実態, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, pp. 381~384, 2015
- 田中英紀, 青木康裕, 山口幸寛: 個別分散型空調に対する統合監視制御の省エネ効果に関する研究, その 1 大学の工学系研究棟における GHP 空調への適用事例, 日本建築学会大会学術講演論文集, pp. 1413~1414, 2005
- LCESM ツール Ver. 3.10, 国土交通省大臣官房官庁営繕部

【謝 辞】 本検討の分析・評価に際して多大なご協力を頂いた澤村茂貴氏(名古屋大学大学院生:当時)、東邦ガス(株)技術研究所の他、ご支援頂きました関係各位に心から謝意を表します。

[2016 年 10 月 4 日原稿受理 2016 年 12 月 16 日採用決定]