

自然換気・放射併用パーソナル空調を導入したテナントオフィスビルの評価研究
(第12報) システム及び建物全体のエネルギー評価

Evaluation Study of Tenant Office Building with Natural Ventilation and
Personal Air-Conditioning System combined with Ceiling Radiation
(Part 12) Energy Evaluation of System and The Whole Building

技術フェロー ○粕谷 敦 (竹中工務店) 正会員 小林 佑輔 (竹中工務店)
技術フェロー 和田 一樹 (竹中工務店) 正会員 桑山 絹子 (竹中工務店)
正会員 小林 知広 (大阪大学) 技術フェロー 山中 俊夫 (大阪大学)
正会員 袁 継輝 (豊橋技術科学大学) 正会員 川分 芳子 (竹中工務店)
正会員 藤田 有香 (竹中工務店) 正会員 西堀 啓規 (竹中工務店)

Atsushi KASUYA^{*1} Yusuke KOBAYASHI^{*1} Kazuki WADA^{*1} Kinuko KUWAYAMA^{*1}

Tomohiro KOBAYASHI^{*2} Toshio YAMANAKA^{*2} Jihui YUAN^{*3}

Yoshiko KAWAWAKE^{*1} Yuka FUJITA^{*1} Hiroki NISHIHORI^{*1}

^{*1} Takenaka Corporation ^{*2} Osaka University ^{*3} Toyohashi University of Technology

This study is aimed to evaluation of energy conservation and comfort and optimization for natural ventilation system and the personal air-conditioning system with ceiling radiation in tenant office building. In this paper, we report measurement energy evaluation of the system and the whole building.

はじめに

近年、環境負荷低減と快適性・知的生産性・健康性の向上への対応として、自然換気やパーソナル空調の導入が進められている。放射併用パーソナル空調システムは、自社オフィスビルだけでなく、多様なワークスタイルにフレキシブルな対応が求められるテナントオフィスビルへの導入も増えつつある。自然換気とパーソナル空調について、建物特性に合わせて省エネルギー性や温熱環境への影響を考慮した適正化が求められる。

本研究は、自然換気と放射併用パーソナル空調システムを導入したテナントオフィスビルを対象として、各システムの省エネルギー性や快適性の性能評価、複合利用による最適化を目的としている^{1)~4)}。本報では、各システム及び建物全体のエネルギー評価について報告する。

1. 建物概要

評価対象建物の概要を表1に示す。建物断面構成は1階にエントランス、2階に駐車場、3・4階に会議室・カフェテリア等、5階及び屋上に設備機械室、6階～22階に基準階オフィスを配置している。基準階オフィスは、階高4.40m、天井高2,850mm、OAフロア150mm、3.2mモジュール、最大6分割のテナント対応としており、自然換気と放射併用パーソナル空調を導入している。

表1 建物概要

所在地	大阪市中心区城見	建物用途	事務室・店舗
敷地面積	31,869.70㎡	建築面積	2,740.40㎡
延床面積	49,612.41㎡	階数	地上22階・塔屋2階
構造	RC造, S造, 免震構造	最高高さ	116.27m
竣工	2017年9月		

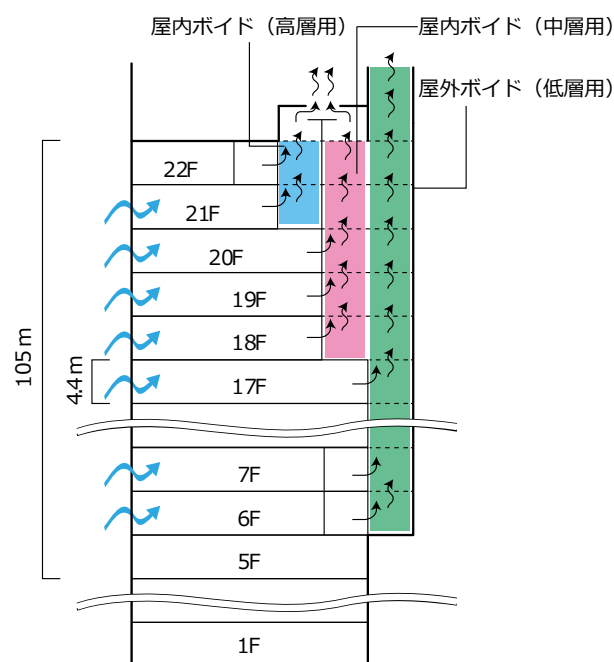


図1 自然換気概念図

2. 自然換気システム

2.1 システム概要

自然換気概念図を図1に示す。6～22階の基準階オフィスは、北西・北東・南東・南西の外周部窓台部の換気装置の自動開閉により自然換気を行う計画としている。コアゾーンには、自然換気に利用可能な屋外・屋内ボイドを計4箇所所有しており、頂部で外気に開放されている。ボイドについて、屋外ボイド2ヶ所を低層用（6～17階）、屋内ボイド1ヶ所を中層用（18～20階）、屋内ボイド1ヶ所を高層用（21～22階）とし、低層・中層・高層フロアによりボイドを各々使い分けるシステムとした。

2.2 自然換気の実績

自然換気の評価として、2018年4月16日～27日、10月15日～26日に19階を対象とした実測を行った。自然換気制御温度と気象条件を表2に示す。制御は許可条件で自然換気装置が全開となる設定とした。東・西・南面の代表点における自然換気口及びボイド開口（各1点）前後差圧の計測データと αA を用いて流入出量を、室内と屋外のエンタルピー差により冷房処理熱量を算出した。

9～18時における換気回数の平均値はそれぞれ2.20, 2.18, 1.39, 1.84[1/h]であった。春季に比べて秋季の換気量は小さく、これは季節間の主風向の違い（秋季：北風、春季：西風）が主な要因と考えられる。図2に自然換気による冷房処理熱量を示す。実測期間において、自然換気により冷房熱量を22～32%低減している。

3. 冷媒自然循環を利用した放射併用パーソナル空調

3.1 システム概要

熱源・空調システムの概念図を図3に示す。放射併用パーソナル空調に、冷水供給温度を高めた中温熱源を組み合わせることで、省エネルギー性を高める計画としている。熱源は、高効率空冷モジュールチラーと熱回収型水冷チラー、低水深温度成層型水蓄熱槽で構成し、冷水供給温度を9～13℃として熱源効率の向上を目指している。熱負荷状態に合わせて冷水送水温度の自動可変制御を行い、冷水を2段階でカスケード利用することで、熱源及び熱搬送効率を高める計画としている。冬季においては、中温冷水利用により冷却塔フリークーリングの有効運転範囲を広げており、冷暖房同時需要に対して熱回収型水冷チラーの熱回収運転により対応して、大幅な省エネルギー化を図る計画としている。

空調二次側は、中温冷水を利用した個別分散型冷媒自然循環システムであり、冷媒サイクルの適正化、搬送動力の最小化を図っている。室内ユニットファンは、熱負荷に応じて強風量と弱風量を自動で切り替えている。冷媒自然循環システムは、電子膨張弁のきめ細かな制御によりビル用マルチ等の課題であるサーモオフ状況を抑えて放射パネルを安定的に冷却することが期待できる。

表2 自然換気制御温度と気象条件

	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
	4/19	4/27	10/23	10/24
自然換気制御温度	18 [°C]	20 [°C]	16 [°C]	16 [°C]
風向	西南西	南南西	北北東	北
風速	5.0 [m/s]	4.3 [m/s]	3.3 [m/s]	5.8 [m/s]
外気温 T	20.9 [°C]	20.3 [°C]	18.8 [°C]	20.9 [°C]
室内外温度差 ΔT	4.3 [°C]	5.0 [°C]	6.2 [°C]	4.2 [°C]

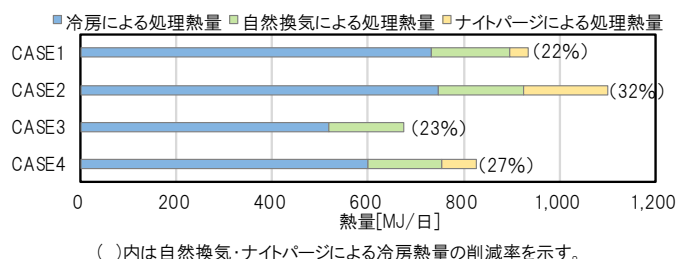


図2 自然換気による冷房処理熱量

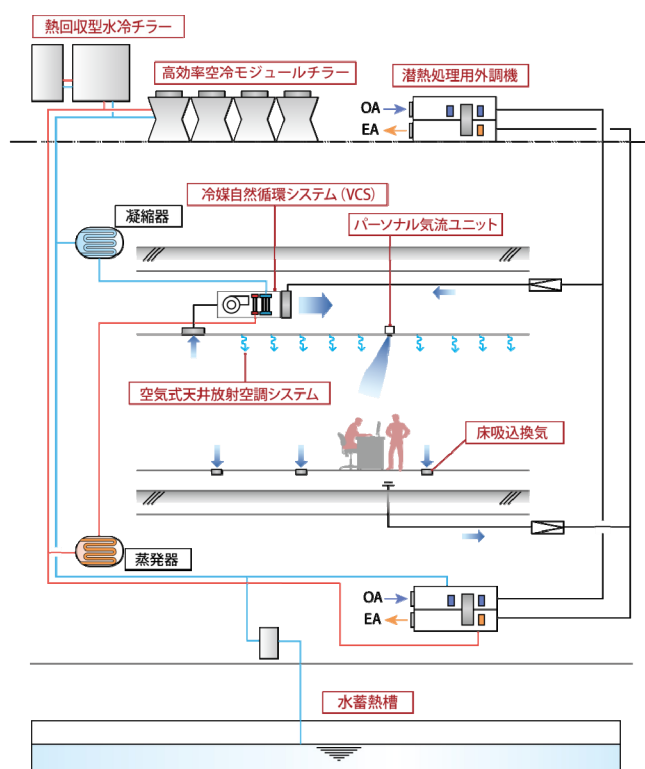


図3 熱源・空調システムの概念図

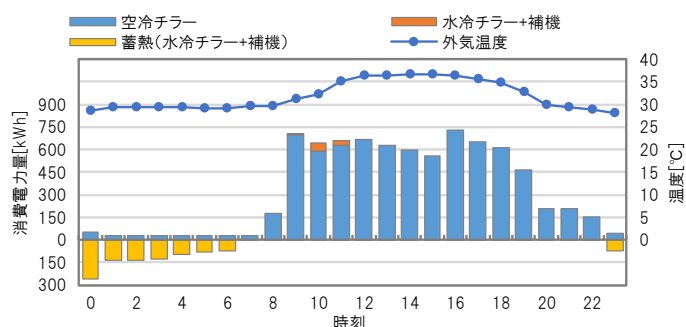


図4 時刻別の熱源消費電力量

3.2 中温熱源システムの実績

夏季2018年8月6日における時刻別の熱源消費電力量を図4に示す。夜間は水冷チラーで蓄熱運転を行い、日中は空冷チラー主体で運転している。6～10月の外気温と冷水システムCOPの散布図を図5に示す。冷水システムを評価するため、空冷チラー、水冷チラー共に冷水運転モードのみの期間としている。冷水システムCOPは、冷水製造熱量を、熱源機・一次ポンプ・冷却塔・冷却水ポンプの消費電力量の合計で除して算出しており、1時間値としている。外気温が20℃以下で一部のCOPが低い値となっているのは、冷房負荷の低下に伴い運転停止となった空冷チラーの待機電力の影響と考えられる。全体的には外気温が低下すると冷水システムCOPが上昇する傾向である。冷水システムの期間平均COPは4.5、温水システムを含めた年間COPは4.2であった。

12～3月における冷水可変温度制御による送水温度設定毎の積算稼働時間を図6に示す。凝縮器系統毎の冷水需要に対応して、送水温度設定は全体の70%程度が10℃以上で稼働しており、送水温度13℃以上の稼働時間は25%と最も高い比率となった。冷水需要に対応した冷水可変温度制御により、熱源機器の高効率運転に寄与していると考えられる。

冷却塔フリークーリング運転が行われた11～3月において、全体製造熱量とフリークーリングによる冷水製造熱量の内訳を図7に示す。フリークーリングによる冷水製造熱量は、外気湿球温度が低くなる12～3月に増加し、全体の冷水製造熱量に対して21～39%であった。また、フリークーリング運転の月平均COPは12～28であった。

3.3 中温冷水利用冷媒自然循環システムの実績

冷媒自然循環システムの検証として、冷暖房能力及び凝縮器・蒸発器・室内ユニットの制御性を確認した。夏季2018年7月27日における19階インテリアゾーンの室内ユニットの運転状況を図8に示す。冷房運転立ち上がり時に電子膨張弁が最大開度480パルス程度まで上がり、15分経過後には150パルス前後、冷媒液温度12～13℃、給気温度15℃程度で安定して制御していることが分かる。ファン風量状態については、冷房立ち上がり時に強風量で運転されており、30分経過後には弱風量で安定的に制御されている。ファン風量の自動切替制御により、ファン搬送動力を大幅に低減できていると考えられる。

空気搬送効率について、各階空調機VAV方式、冷媒自然循環システムとの比較条件を表3に、比較結果を図9に示す。各階空調機方式は、インテリアとペリメータの2系統型でVAVによる変風量制御とし、冷媒自然循環システムの定風量も比較対象とした。本計画の空調床面積で除した稼働時間当たりの搬送動力は、1.56W/m²であり、各階空調機VAV方式に比べて78%低減、冷媒自然循環システムの定風量方式に比べて34%低減している。

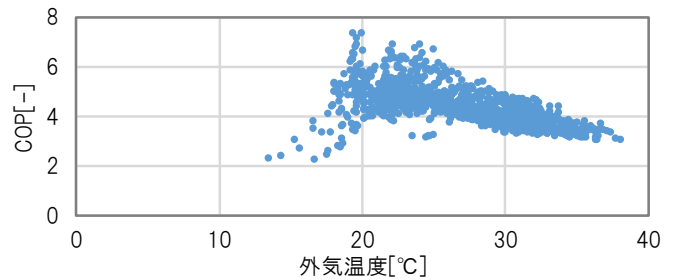


図5 外気温と冷水システムCOP

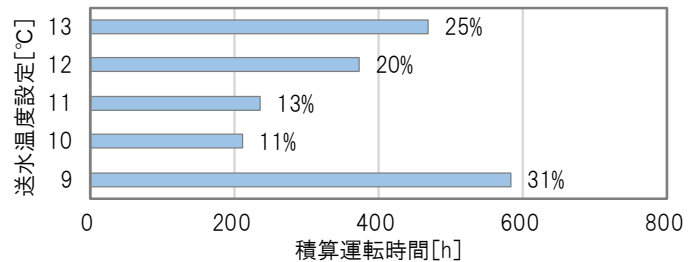


図6 冷水送水温度設定値の積算稼働時間（12～3月）

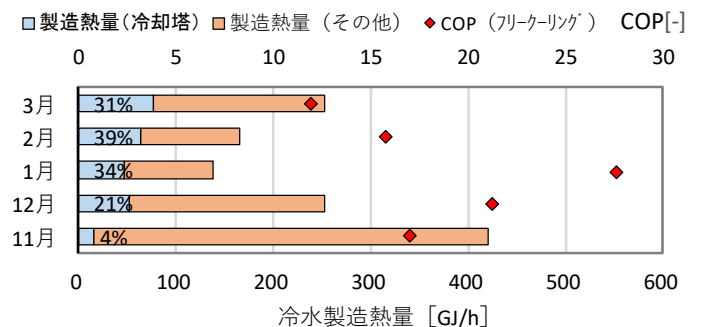


図7 フリークーリングによる冷水製造熱量（11～3月）

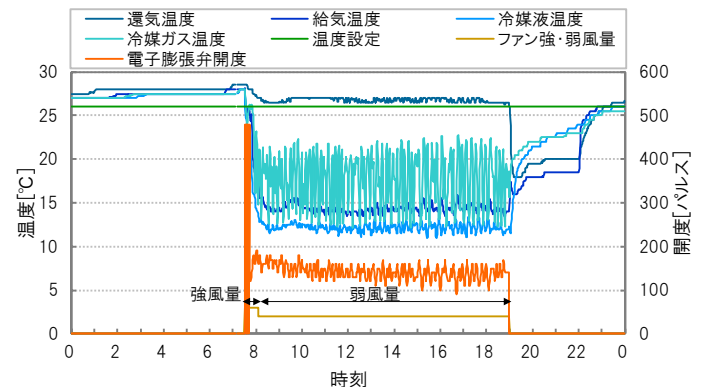


図8 冷媒自然循環システムの温度・電子膨張弁開度

表3 空気搬送動力の比較条件

		ファン動力		台数
		強風量	弱風量	
VCS	30D	0.151kW	0.066kW	14台
	30S	0.131kW	0.061kW	15台
	20D	0.100kW	0.046kW	3台
各階空調機方式	#150	3.7kW+1.5kW		1台
	#200	3.7kW+2.2kW		1台
	#250	5.5kW+2.2kW		2台

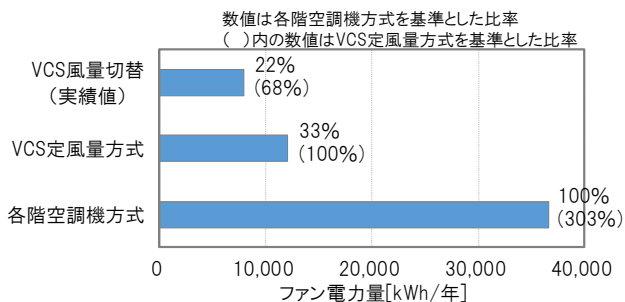


図9 冷媒自然循環システムの空気搬送動力

4. 建物全体のエネルギー消費量の実績

月別の冷水・温水積算熱量を図10に示す。年間を通じて冷水需要があり、年間積算熱量に対して冷水76%、温水24%である。月別の電力デマンドと電力消費量の内訳を図11に示す。電力消費量はテナントサーバー等の特殊電力量を除いた値としている。電力デマンドは最大1,830kW (37W/㎡)であり、全電化建物としては低い値である。空調の消費電力量が全体の33~50%を占めており、空気搬送は3~5%と非常に低い比率で推移している。

年間一次エネルギー消費量について、比較対象の一般建物を表4に、省エネルギー要素別の実績を図12に示す。削減効果について、自然換気・自然採光・ファサードで11%、照明・センシングで12%、中温熱源・VCS・搬送で16%、厨房換気・給湯・その他で5%である。全体で977MJ/㎡/年で一般建物に対して44%低減、コンセントを除くと53%低減と大幅な省エネルギー化を実現した。

5. まとめ

各システム及び建物全体のエネルギー評価により、以下の事が確認された。

- 1) 自然換気により冷房熱量を22~32%低減している。
- 2) 夏季における冷水システムCOPの期間平均は4.5、温水システムを含めた年間COPは4.2であった。
- 3) 冷水可変温度制御、フリークーリングの運転効果を確認した。
- 4) 冷媒自然循環システムの搬送動力は、1.56W/㎡であり、各階空調機VAV方式に比べて78%低減した。
- 5) 建物全体の一次エネルギー消費量は977MJ/㎡/年で一般建物に対して53%低減となった。

参考文献

- 1) 粕谷 他：自然換気・放射併用パーソナル空調を導入したテナントオフィスビルの評価研究 (第1~11報), 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2018.9~2019.9
- 2) 藤田 他：外部ボイドを有する高層オフィスビルの自然換気性能に関する研究 (その1~6), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2018.9~2019.9
- 3) 粕谷 他：放射併用パーソナル空調システムを導入したテナントオフィスビルの評価研究 (第1~3報), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019.9
- 4) 浅野 他：角度変化型ブラインドとセンシング制御による照明の消費エネルギーと視環境評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2019.9

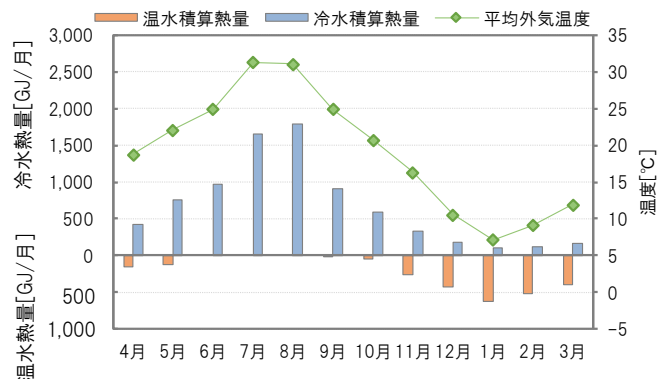


図10 月別の冷水・温水積算熱量

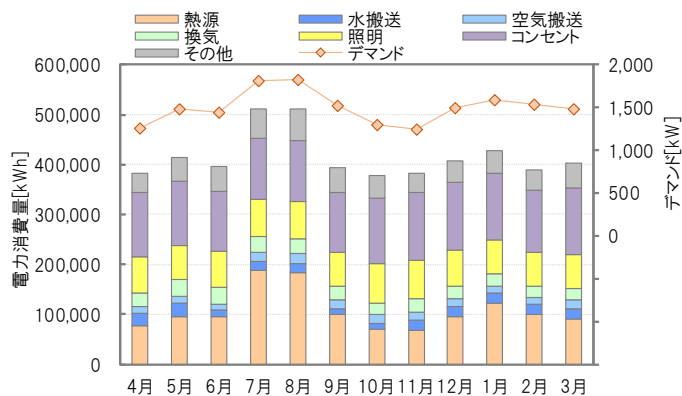


図11 月別の電力デマンドと電力消費量

表4 一次エネルギー消費量の比較対象条件

	比較対象(一般建物)	本計画
自然換気 自然採光	自然換気なし 一般型ブラインド	複数ボイドを活用した自然換気 角度変化型ブラインド ボイド利用の自然採光+太陽光集光装置
ファサード	庇なし 一般型Low-eガラス (日射熱取得率0.5, 熱貫流率1.8W/㎡/K)	高性能Low-eガラス (日射熱取得率0.3, 熱貫流率1.6W/㎡/K)
照明 センシング	LED照明(一部 蛍光灯) 調光制御なし	高効率LED照明(明るさを高める照明) 明るさセンサ+人検知センサによる調光制御
熱源	一般熱源(空冷ヒートポンプチラー) 冷水取出7℃ 冷水温水取出温度は年間一定	中温熱源(熱回収+フリークーリング) 冷水取出9~13℃ 冷水温水可変温度制御(VWT)
空調搬送	冷水二次ポンプインバータ(送水圧力制御) 各階空調機VAV方式	冷水二次ポンプインバータ(末端差圧制御) 個別分散型冷媒自然循環システム
厨房換気 厨房給湯	一般型換気+換気風量一定 ガス給湯システム	省エネ型換気+換気風量制御 ヒートポンプ給湯システム
その他	一般型ボンプ・ファン 外気導入量一定, 外気冷房なし 一般型エレベータ, 一般型変圧器 太陽光発電なし BEMSなし, エネルギーマネジメントなし	高効率モーター・直動式プラグファン CO ₂ 濃度による外気導入量制御, 外気冷房 エレベータ回生電力利用, 高効率変圧器 太陽光発電10kW BEMSの利用+エネルギーマネジメント

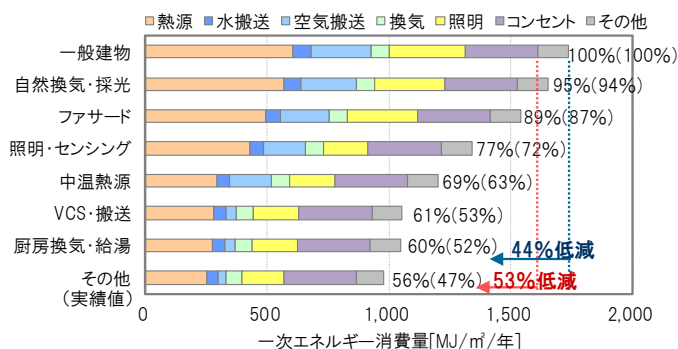


図12 要素別の一次エネルギー消費量