

ZEB を目指した中規模事務所ビルの計画と検証 (第 30 報) ダイナミックレンジ放射空調システムの検証および運用改善

○近 都 州 彦 (新菱冷熱工業)
 坂 本 裕 (新菱冷熱工業)
 松 川 安 樹 (新菱冷熱工業)
 平須賀 信 洋 (三菱地所設計)

秋 元 孝 之 (芝浦工業大学)
 中 村 勇 二 (新菱冷熱工業)
 羽 鳥 大 輔 (三菱地所設計)
 加 藤 駿 (三菱地所設計)

外気冷房など自然エネルギーを利用する場合、一般的な放射空調システムでは運用条件の制約が多く十分な省エネルギー効果を得られないことが多い。そこで、VWV-VT 制御 (可変流量 - 可変温度差制御) や無薬注型防食システムなどの技術を組み合わせて自然エネルギーを最大限活用するダイナミックレンジ放射空調システムを開発した。本報では、開発システムを実建物に導入した結果を報告する。

得られたデータを評価した結果、開発した放射空調における冷房時の自然エネルギー活用時間は、対流空調に比べて約 2 倍 (冷房期間の約 70%) となっており、自然エネルギーを有効に活用できていることがわかった。また、放射パネル樹脂管の酸素透過対策として導入した無薬注型防食システムの評価を行ったところ、配管材の寿命は約 50 年となり、腐食リスクは十分に低いことを確認した。

さらなる省エネルギー化を目的に、デシカント外調機湿度制御の設定を見直し電力消費量を約 25% 低減した。また、放射空調システムの送水温度設定方法も見直した結果、熱源システムの効率が約 15% 向上した。本冷房システムの年間総合効率 (システム COP) は 7.6 となり、高効率で運用されていることを確認した。

はじめに

既報¹⁾²⁾では、当ビルに導入したダイナミックレンジ放射空調システムの概要、制御状況およびチューニング方法の検討結果について報告した。

本報では、ダイナミックレンジ放射空調システムの運用状況および運用改善とその効果、熱源システムとしての年間総合効率について報告する。

1. 検証対象

当ビルの 6~8 階に開発導入したダイナミックレンジ放射空調システムの熱源設備 (高温冷水系統) を対象とした。検証期間は 2020 年 10 月 1 日~2021 年 9 月 30 日の 1 年間とし、平日コアタイム (8 時~18 時) 1 時間値の運転データを用いて検証した。

2. ダイナミックレンジ放射空調システムの運用状況

2.1 自然エネルギーの活用状況

冷房時における外気環境と熱源機器の運転状況を図-1 に示す。熱源機器の運転状況は、チラー、プレクーリング (冷却塔とチラーで冷却)、フリークーリング (冷却塔のみで冷却) の 3 とおりで分類した。また、自然エネルギー活用度を図-2 に示す。自然エネルギー活用度は、年間の冷房運転時間に対する自然エネルギーの活用時間の割合とする。比較対象として、当ビル 4 階の対流空調 (変

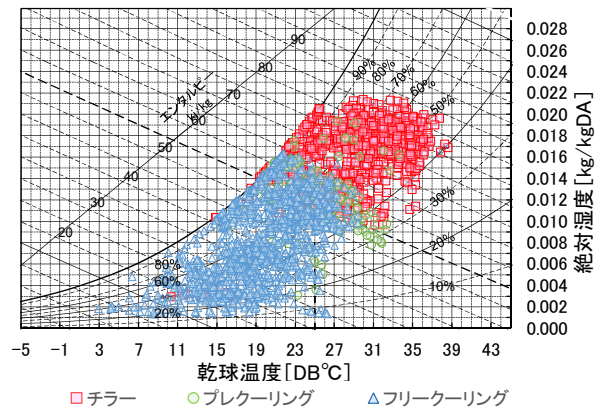
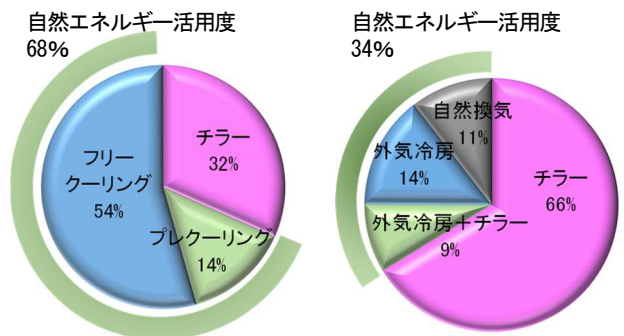


図-1 冷房時における外気環境と熱源機器の運転状況



(a) ダイナミックレンジ放射空調 (b) 対流空調
 図-2 自然エネルギー活用度

風量コアンダ空調システム)の運用実績の結果を示す。

外気環境と熱源機器の運転状況を見ると、外気環境が室内温度あるいは室内のエンタルピー以上(図中太破線)でも、フリークーリングあるいはプレクーリングで対応している時間帯が多くみられた。

一方、外気温度が低い条件では冷房運転はほとんどみられず、冬期の冷房時間が計画時の想定よりも少なかったものの、自然エネルギー活用度は計画時の70%に対し実績では68%であり、ほぼ期待どおりに自然エネルギーを活用できたことを確認した。また、対流空調における自然エネルギー活用度は34%であり、本放射空調システムの自然エネルギー活用度は対流空調の約2倍となる結果となった。

2.2 腐食対策の効果

当ビルでは、自然エネルギーの活用度向上を図るため、熱伝導率の高い放射パネルを導入している。この放射パネルに用いる樹脂管は酸素透過性を有しているため、空調システムの運転に伴い常に酸素が管内に供給される³⁾。そこで、ダイナミックレンジ放射空調システムの配管システムの腐食対策として、機械式脱酸素装置による脱酸素処理と循環水にアニオン交換処理水を採用した。腐食対策および腐食モニタリング装置の詳細は既報⁴⁾を参照されたい。

2020年10月と2021年9月における循環水中の溶存酸素濃度および鉄の腐食センサが示した腐食速度の挙動を図-3に示す。空調運転時間中の溶存酸素濃度は、配管系金属材料の腐食を抑制するために推奨される⁵⁾“1.0 mg/L以下”に概ね制御されていることを確認した。溶存酸素濃度と腐食速度の時間変化を見ると、空調運転の開始とともに溶存酸素濃度が増加し、それに追従して、鉄の腐食センサが示した腐食速度も増加する。その後、脱酸素装置の運転に伴って、溶存酸素濃度が低下し、腐食速度も小さくなった。これらの傾向は、2020年10月(図-3(a))と2021年9月(図-3(b))で大きな違いはみられなかった。検証期間中における循環水中の溶存酸素濃度と鉄のセンサが示した腐食速度の関係を図-4に示す。溶存酸素濃度が低いほど、鉄の腐食センサが示した腐食速度が小さい傾向が認められた。これらの結果より、脱酸素装置の運転による循環水中の溶存酸素濃度の低減が、腐食対策に効果的であることが示された。

また、検証期間中における鉄の腐食センサが示した腐食速度の平均値は、70.8 $\mu\text{m}/\text{y}$ であった。なお、既報⁴⁾の事前検討では、当ビルの循環水中における鉄の腐食センサの値を0.41倍することで、実際の鉄の腐食速度に換算できるとされている。これらの結果に基づくと実質の鉄の腐食速度は29.0 $\mu\text{m}/\text{y}$ (=70.8 \times 0.41)と想定される。そのため、15Aの炭素鋼鋼管(公称肉厚2.8mm)のねじ部(1.4mm、肉厚を公称肉厚の半分と仮定)であっても、

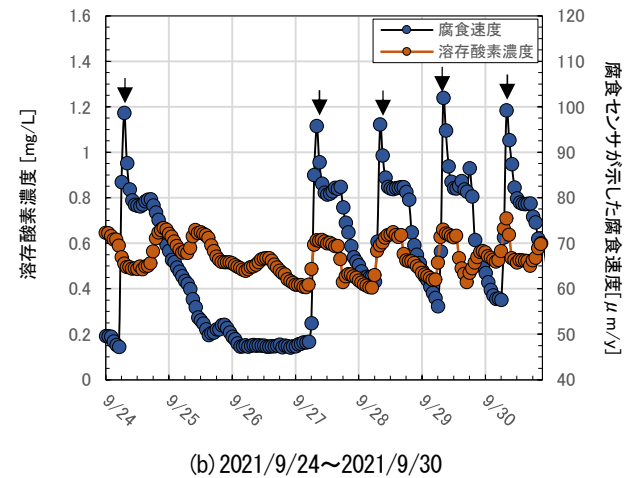
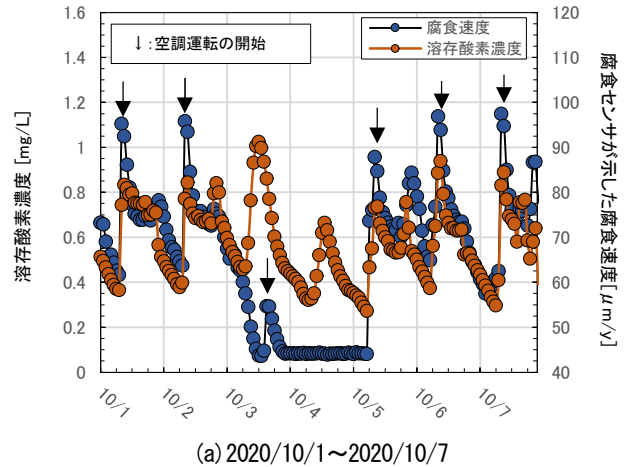


図-3 循環水中の溶存酸素濃度および鉄の腐食センサが示した腐食速度の挙動

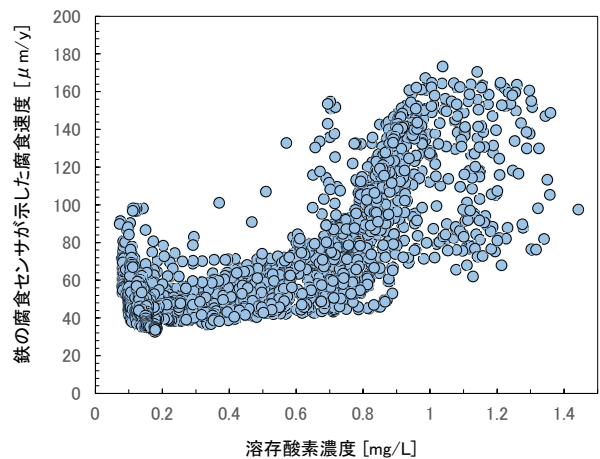


図-4 検証期間中における溶存酸素濃度と鉄の腐食センサが示した腐食速度の関係

約50年の寿命が期待できる。この期待寿命は、住宅以外の建築物における冷温水配管システム(12時間使用)の期待耐用年数である30年以上⁶⁾を満足する。

よって、当ビルで構築したダイナミックレンジ放射空調システムにおける腐食リスクは十分に低いと考えられる。

3. 熱源システム効率の改善

3.1 VVW-VT 制御条件見直しによる省エネルギー化

本システムは、負荷状況に応じて流量と往還水温度を可変にする VVW-VT 制御（可変流量－可変温度制御）を導入している。既報²⁾で報告したとおり、二次ポンプの消費電力が想定よりも大きかったことから、VT 制御時の送水温度の見直しを行い、運用に反映した。送水温度設定値を図-5 に示す。往還水温度差を現状より大きくして送水流量を減少させ搬送動力を低減するほうが熱源システム全体の効率が向上すると想定されたため、送水温度が運用当初よりも少し低くなる演算式に変更した。

送水温度設定方法の変更前後の運用結果を図-6 に示す。変更前に比べ変更後は、熱源システム COP が外気温度によらず全体的に向上した。対象期間全体の熱源システム COP は、設定方法変更前が 4.9、変更後が 5.7 であり 15% 程度の効率向上効果が確認された。

3.2 デシカント外調機の湿度制御改善

放射空調階の外気供給および潜熱処理は屋上に設置したデシカント外調機で行っている。図-7 にデシカント外調機の概要を示す。外調機はヒートポンプ圧縮機を内蔵し、デシカントロータの再生用に凝縮器を設け、蒸発器を給気側の冷却、除湿に利用することで外部からの温熱供給を不要としている。各階事務室の湿度制御方法は、室内の代表露点温度によりデシカント外調機の出口露点温度設定値をカスケード制御し、出口露点温度の制御は圧縮機のインバータ可変速制御としている。なお、室内露点温度設定値は高温冷水の送水温度設定値に応じ 15°C DP～18°C DP の範囲内でカスケード制御される。

夏期（2020 年 8～9 月、2021 年 8～9 月）における事務室内の温湿度測定結果を図-8 に示す。2020 年は室内の相対湿度が 50% を下回る時間が多くみられた。外気導入量は事務室の CO₂ 濃度により制御しているが、外気導入量が小さくなると蒸発器入口の温度は低くなるため、圧縮機の回転数をインバータにより低減しようとしても蒸発圧力の上限となり制限がかかる。そのため、設定した露点温度よりも低い露点温度の空気が室内に給気されることで除湿過多の状態となっていた。そこで、室内湿度環境の改善と過除湿によるエネルギー消費増大を抑制するため、以下の二つの制御を新たに追加した。

【追加制御】

- ① デシカントロータのバイパスダンパを比例制御に変更し、ロータをバイパスすることで除湿量を調整する。これにより給気・再生ファン動力の低減も図る。
- ② 過除湿時に再生ファン風量を大きくして再生温度を低くし除湿量を削減する。これにより圧縮機の効率も向上させる。

制御追加後である 2021 年の運用結果をみると、制御追加前の過除湿環境が改善された。

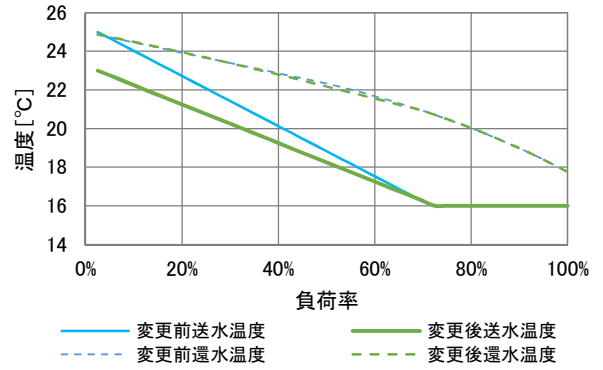


図-5 送水温度の設定値

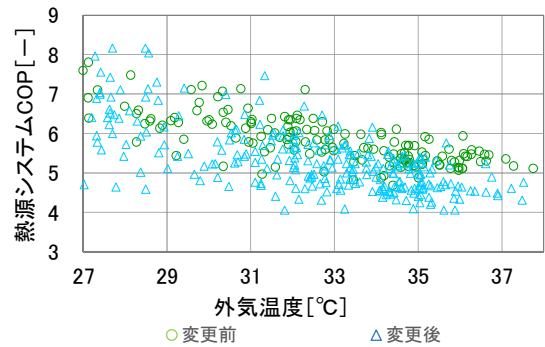


図-6 熱源システムの運用結果

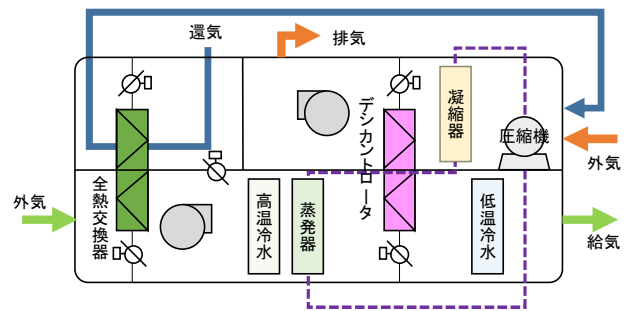


図-7 デシカント外調機の概要

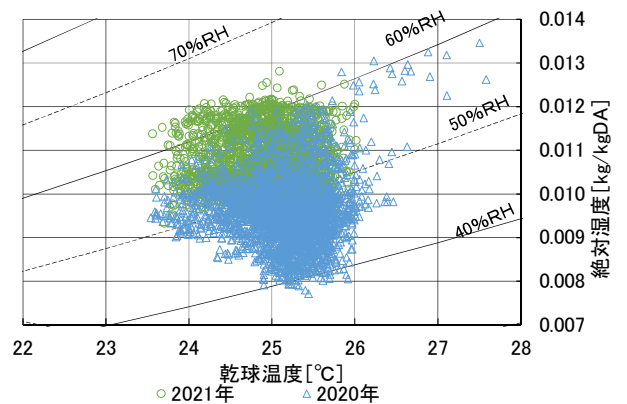


図-8 事務室内の温湿度測定結果

追加制御導入前後のデシカント外調機の消費電力量を図-9 に示す。追加制御導入によりデシカント外調機の

消費電力量は約 25%低減しており、大きな省エネルギー効果が得られた。

4. 熱源システムの総合効率

図-10 に冷房運転時の処理熱量と熱源システム COP の関係を示す。システム COP の最高値は30 程度であり、既報²⁾での試算結果と実績値がおおむね合致していることを確認した。

冷房運転時の高温冷水熱源（主にダイナミックレンジ放射空調システムに供給）と併設する低温冷水熱源（主に対流空調システムに供給）の月別のシステム COP を図-11 に示す。盛夏期（7~8月）では、フリークーリング運転はほぼないものの、それ以外の期間では高いフリークーリング率となっており、1~4月にはほぼフリークーリングで熱処理している。

検証期間における各運転の期間システム COP を表-1 に示す。フリークーリングのシステム COP は 12.8 とチラー単独運転時に比べ 2 倍程度であった。また、冷房運転時の熱源システムの年間総合効率は 7.6 であり、高効率で運用されている。

まとめ

本報では、ダイナミックレンジ放射空調システムの運用状況および運用改善とその効果、熱源システムの総合効率について報告した。

本放射空調システムは、冷房期間の約 70%の時間で自然エネルギーを活用できており、対流空調に比べて約 2 倍の活用率となった。また、検証期間における腐食速度を基にした配管材の期待寿命は約 50 年であり、腐食リスクは十分に低いことを確認した。

高温冷水熱源の運用改善として、送水温度の可変方法を見直した。その結果、熱源の期間システム COP が約 15%向上した。外気処理を行うデシカント外調機において、過除湿を抑制するため新たな制御を追加した。これにより、適正な温湿度環境にするとともに電力消費量を約 25%低減した。また、高温冷水熱源システムにおける年間総合効率は 7.6 であり、高効率で運用されている。

次報では、熱源システムの更なる省エネルギーを目指して構築した、中央監視装置と表計算ソフトを連携した最適制御システムについて報告する。

参考文献

- 1) 坂本ほか: ZEB を目指した中規模事務所ビルの計画と検証 第21報, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2021.9, pp245-248
- 2) 近都ほか: ZEB を目指した中規模事務所ビルの計画と検証 第22報, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2021.9, pp249-252

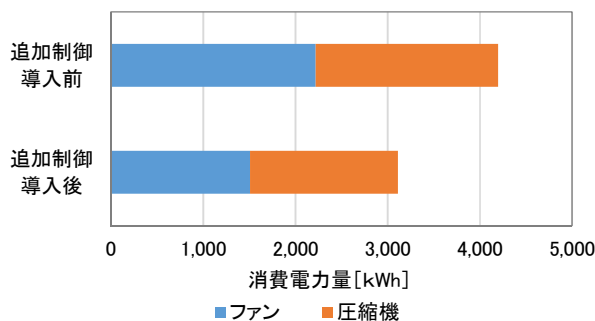


図-9 デシカント外調機の消費電力量

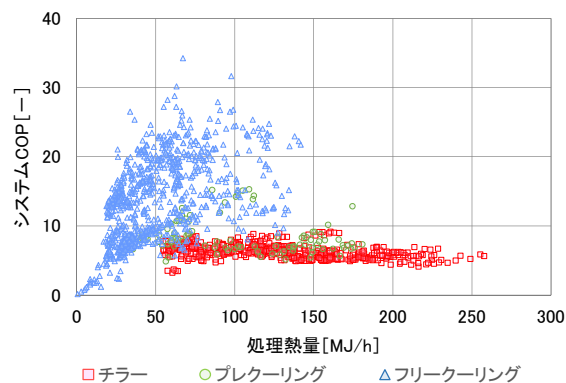


図-10 処理熱量と熱源システム COP の関係

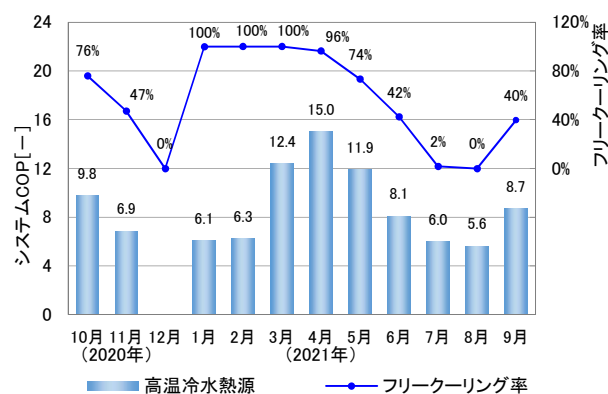


図-11 月別の熱源システム COP

表-1 各運転における期間システム COP

	チラー	プレクーリ ング	フリークー リ ング	総合効率
システムCOP [-]	6.0	7.8	12.8	7.6

- 3) 中村ほか: ZEB を目指した中規模事務所ビルの計画と検証 第15報, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2019.9, pp201-204
- 4) 中村ほか: ZEB を目指した中規模事務所ビルの計画と検証 第23報, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2021.9, pp253-256
- 5) 細谷ほか: 密閉系冷温水配管の水質管理, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, 2004.9, pp779-282
- 6) 日本建築設備診断機構 編, 現場で役立つ設備配管の診断と改修読本, 1997