

報告番号	※	第	号
------	---	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 中規模オフィスビルを対象とした太陽熱利用を含む
カスケードエネルギー型空調システムに関する研究

氏 名 鶴飼真貴子

論 文 内 容 の 要 旨

地球温暖化対策への国際的枠組みが採択される中、日本においては2030年までに2013年比で26%の排出削減を掲げており、この目標を達成するためには更なる省エネルギー対策の実施は必須である。日本の一次エネルギー消費量内訳をみれば、家庭部門と業務部門からなる民生部門での最終エネルギー消費の占める割合は34%と高く、建物の省エネルギー対策が求められている。建物のエネルギー消費の内、冷暖房から成る熱需要が多いことから、熱需要の駆動力や熱源水として再生可能エネルギーや排熱等のエネルギーを活用していくことが、排出量削減とエネルギーの安定供給や事業継続性に対して効果的である。そこで本論文では、エネルギーを効率的に用いるシステムとして、太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムを提案する。本論文で設定する空調システムは、敷地内で製造された太陽熱及びコージェネレーションシステム(CGS)からのエネルギーを、熱源の駆動力に、その後空調機への熱源として多段的に活用するものである。太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムを採用するメリットとしては、ポテンシャルの低い100℃未満の低温域の温水を有効活用できる点、エネルギーの総合利用効率が高い点、再生可能エネルギーやCGSを採用することでエネルギー自立性が確保できる点、電気エネルギーの代替として温水を利用する場合には建物の受電電力削減さらに大規模集中型電力系統への依存度の低減、システムの電力需要の平準化に貢献できる点が挙げられる。一方で、課題点として、システム構成や制御が複雑となる点、実運用時の挙動に関する知見や熱利用に関するマネジメント方法が不足している点、機器単体やシステム全体で評価する場合の明確で一貫性のある性能評価指標が不足している点、新規システムであるためシミュレーションモデルが未整備である点が挙げられる。本論文はこれらの課題に着目し、建築ストックの多い中規模オフィスを対象に、実運用での挙動や性能を把握し、不具合の検知や対応の検討及びその効果の検証、システムに対する運用改善提案をシミュレーションにより検証し、太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムの熱利用に関するマネジメント方法を示し、設計・運用指針を作成する際

に必要な知見を得ることが目的である。

まず、中規模オフィスに採用された2つのシステム（システムA、システムB）を対象に実測による挙動の分析と性能評価を行う。システムAは、太陽熱のみを駆動力として排熱投入型吸収式冷温水機により冷暖房を行うシステムである。システムBは太陽熱とCGSからの排熱を、排熱投入型吸収式冷温水機の駆動力さらにデシカント空調機の再生熱源として多段階利用するシステムであり、太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムの1例である。システムAは、太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムではないが、複雑化したシステムBの挙動の分析手法や評価手法の基礎となっている。システムAで各機器さらにシステム全体での温度推移を含めた挙動の分析や評価を行い、太陽熱利用の空調システムは年間で8%の一次エネルギー消費量の削減効果が有ることを示している。また、これらの評価結果を用いて企画段階における太陽熱利用冷暖房システムを導入した際の一次エネルギー削減率の推定方法を示している。

システムBでは、太陽熱システムや排熱投入型吸収式冷温水機に加え、CGSやデシカント空調機の挙動分析や評価を行っている。システムBも太陽熱とCGSの活用により、一次エネルギー削減に効果を有することを示している。しかし、システムBでは、各システムへの設定等の不具合が複数検知され、各機器・システムの挙動や性能が設計意図どおりに運用されていない実情を確認している。

そこでシステムBに対し、検知された不具合の原因を調査し、対応策を検討、実運用に適用した効果を検証している。システムBで検知された2つの不具合は太陽熱利用制御による不具合、デシカント空調機の除湿性能の低下による不具合が挙げられる。まず太陽熱利用制御による不具合では、太陽熱利用制御が行われている参照点のセンサーの不良、集熱された温水温度が蓄熱槽及び太陽熱熱交換器を介することで太陽熱熱交換器出口温度がCGS出口温度よりも低くなるのが原因で、排熱回収ループの温度が低下するという不具合を検知した。これに対し、センサーの交換と集熱器モジュールの配列変更を実施した。センサーの交換により、太陽熱利用制御が正常に実施されていることを確認している。集熱器モジュールの配列を4並列から2並列2直列へ変更することで、集熱器口温度と蓄熱槽内水温の高温化を図った。しかし、配列変更に伴う効果は、集熱器の性能の低下の影響により十分に発揮できなかった。これらの検証により、温度レベルが異なる熱源を組み合わせる場合には、それぞれの温度レベルを損なわないような制御の必要性が示唆された。

デシカント空調機では、予冷コイルと除湿ローターにてデシカント空調機の設定絶対湿度まで除湿を行うとしていたが、20℃程度の温度の高い井水が予冷コイルに送水されていたため、予冷コイルでの除湿量を満足できず、したがってデシカント空

調機の給気絶対湿度を満足できず、室内湿度が上昇した。室内湿度が上昇したことにより、運用者によって各階空調機の還気湿度制御を設定、すなわち冷却再熱運転を実施したことにより、排熱回収ループでの温水が夏期再熱/冬期暖房用熱交換器で多く利用され、熱供給側と熱需要側の熱需要バランスが取れず、排熱回収ループの温度が低下し、意図していた排熱投入型吸収式冷温水機とデシカント空調機の再生コイルでのカスケード利用には至らなかった。これに対し、井水の予冷コイルへの送水禁止、各階空調機での還気湿度制御の禁止を行った。更に、デシカント空調機の設定給気絶対湿度を現地での運用状況の確認を実施し、給気湿度の再設定を行った。まず井水の予冷コイルへの送水を禁止することで、デシカント空調機の設定給気絶対湿度を満足して処理できるようになった。デシカント空調機を導入する際は、デシカント空調機での処理潜熱を明確にし、設定すべき絶対湿度を満足するような温水温度、また再生コイル出口空気上限温度を適切に設定すべきである。各階空調機の還気湿度制御を禁止とすることで、CGS と太陽熱利用システムからの温水が排熱投入型吸収式冷温水機さらにデシカント空調機の再生コイルにカスケード利用されるようになった。また、本システムが熱供給側と熱需要側の熱量が、排熱回収ループの温度を変動しながらバランスするというような自律性のあるシステムであることが示された。

以上より、システム B 特有の問題ではあるが、不具合の検知、対応さらに効果検証を行うことにより、更なるシステムの運用改善に向けた出発点に立つことが可能であることを示している。

最後に、運用改善提案としてシステム B の実測分析によって得られた結果をもとに、シミュレーションによる運用改善提案を行い、熱源システム全体への影響や効果の検証を行っている。対象システムに対し、モデル化されていない機器や制御については新規開発を行い、再現性の検証を行っている。

デシカント空調機の最適化には、実測分析によりシミュレーションでパラメータとすべき項目を抽出し、そのパラメータを用いてシミュレーションを実施した。この検討により、他建物でデシカント空調機を採用する際に、様々な室内条件に対する予冷コイルでの出口設定温度とデシカント空調機設定給気温湿度をパラメータにデシカント COP が最大となる最適点を示した。

排熱投入型吸収式冷温水機の冷水出口温度と冷却水入口温度の変更により、熱供給側と熱需要側の熱平衡を取るために排熱回収ループの温度が変動することを示した。熱源システム COP は、冷水出口温度を 12℃、冷却水入口温度を 28℃と設定した場合に最大となる。

更に、冷水出口温度と冷却水入口温度の変更による排熱回収ループの温度低下に

伴い、太陽熱利用システムの制御条件について、現状制御である蓄熱槽内水温制御と、排熱回収ループの還温度と蓄熱槽内水温の温度差によって制御する温度差制御の比較を行っている。これにより、第3章及び第4章で示したように、自律性を持つシステムにおいては固定値での制御ではなく、相対値を用いた制御の方が適していることが示された

以上より、太陽熱利用を含むカスケードエネルギー型空調システムを採用する場合の運用時や設計時における重要となる項目について整理している。更に、実運用の挙動・性能の評価、不具合の検知と対応、更にシステムの運用改善提案までの一連の手法は、他のシステムを設定した場合にも利用することのできる手法であり、熱利用におけるマネジメント方法を示している。