

VII編 まとめ

本調査は、平成23年度から24年度の2カ年に渡り、空調システムの省エネルギー制御および給湯システムを分類し、実運転データの取得を行った。以下に、本調査の結果をまとめる。

(1) 本調査事業の目的と概要

本調査は、エネルギー消費量を評価指標とする業務用建物の新たな省エネルギー基準をより合理的なものとするために、空調システムの制御に係わる省エネルギー効果の実運転データ、並びに給湯システムに係わるエネルギー消費量の実運転データを取得して、省エネルギー基準の評価において活用可能な評価値としてとりまとめるものである。

空調システムでは、28施設、延べ制御件数70件について熱源機器での台数制御・蓄熱制御・熱源送水温度制御・冷却水温度制御、搬送機器での変流量(VWV)制御・変风量(VAV)制御、外気処理システムでの外気冷房制御・最小外気負荷制御・熱交換換気制御を対象とした。給湯システムでは、14施設、延べ制御件数15件について中央式給湯システム、局所式給湯システム、太陽熱利用システム・排熱利用システムを対象とした。両年度とも調査主体の4社と独立行政法人建築研究所との共同研究で進めた。調査全体の統制を行う委員会を設け、その傘下に部会および実務作業を行うWGを設けた。委員会には、学識経験者ならびに設計事務所の方々に参画いただいた。さらに年度ごとの最終取り纏めにおいては、本調査に係わる様々な専門家を招集し、調査結果のレビューを行う第三者的位置づけの委員会で議論した。

(2) 熱源機器の制御に係わる省エネルギー効果の実運転データ取得

冷熱源機器を中心として、冷房負荷の変動に応じた熱源機器の運転台数制御(自動制御7件、手動制御2件)、熱源送水温度制御(1件)及び冷却水温度制御(1件)、蓄熱槽を有する熱源設備の蓄熱制御(水蓄熱3件、氷蓄熱4件)の運転データを計測した。以下に計測結果をまとめる。

1) 熱源台数制御

- ・低負荷時やベース運転として効率の良い機器が優先して稼働されていた。
- ・自動制御に関しては、負荷に応じて熱源の発停が行われているが、負荷が低いにも拘わらず複数台の運転が行われている場合があった。
- ・手動制御に関しては、自動制御に比べて発停頻度が低い傾向にあった。自動制御と同様、負荷が低いにも拘わらず複数台の運転が行われている場合があった。

2) 熱源送水温度制御

- ・冷水送水温度設定値を7℃から10℃まで自動で変化させたが、冷凍機COPに明らかな差はなかった。これは設定温度変更が、負荷が少ない時期の短期間であったことが原因と考えられる。

3) 冷却水温度制御

- ・ターボ冷凍機3台については、2台が冷凍機入口冷却水温度の低下により熱源単体COP、冷却塔を含めたシステムCOPとも向上する傾向であったが、メーカー仕様値より若干低い値であった。その他1台については、冷却水温度によらずCOPは一定であった。
- ・吸収冷凍機1台については、冷凍機入口冷却水温度、COPともにほぼ一定であった。

4) 蓄熱制御

- ・水蓄熱に関しては、期間蓄熱効率 48%～81%、月別蓄熱効率の最大値 60%～86%であった。
- ・氷蓄熱に関しては、期間蓄熱効率 71%～95%、月別蓄熱効率の最大値 80%～97%であった。
- ・負荷が少ない月に蓄熱効率が低下する事例があり、蓄放熱量の運用改善により効率が向上する余地が残されている。
- ・東日本大震災後に、ピーク電力削減のため意図的に運転パターンを変更する事例があった。

(3) 搬送機器、外気処理システムの制御に係わる省エネルギー効果の実運転データ取得

搬送機器を中心として、水搬送機器の変流量（VWV）制御（22 件）、空調機・外調機の変風量（VAV）制御（18 件）、外気処理システムの外気冷房制御（4 件）、最小外気負荷制御（4 件）、熱交換換気制御（4 件）の運転データを計測した。以下に計測結果をまとめる。

1) VWV制御、VAV制御の省エネルギー効果の実態

- ・制御が理論通り（設計思想通り）動作していない事例も見受けられた。
多くは、設定値などの調整が適切に行われていないことが原因と考えられる。省エネルギー効果が期待される制御手法を導入しても、設計・運用・調整に不備があれば、所望の省エネルギー効果が得られないことに留意すべきである。
- ・一方で、理論性能に近い結果が得られた事例もいくつか見受けられた。
これらは、施工時のコミッショニングおよび運用時のチューニングが適切に実施されていた建築物であると推察される。

2) 外気処理システムの省エネルギー効果

- ・外気処理システムでは、運転実態と外気負荷の削減効果が確認できた。

3) 実運転データについて

- ・搬送機器・外気処理システムの制御にかかる実態データを多数収集できたことにより、様々な観点から事例を横並びで把握することができた。省エネルギー化を図るためには、このような実測を行う意義は高く、非常に貴重なデータが収集できたといえる。これらの実測データを分析することで、エネルギー消費量予測のための評価値を制御手法ごとに推察することが可能となる。

(4) 給湯システムに係わるエネルギー消費量の評価に必要とされる実運転データ取得

給湯設備に適用される代表的な給湯システムについて、中央式給湯システム（6 件）、局所式給湯システム（2 件）、太陽熱・排熱利用運転（7 件）の運転データを計測した。以下に計測結果のまとめを示す。

1) データ収集間隔

データ収集間隔では、給湯システムの運転特性を考慮した。

- ・中央式給湯システムの計測では、細かな変動を見逃さないために、データ収集間隔は 1 分を基本とした。なお、分析には 1 時間平均値を用いた。
- ・局所式給湯システムの計測では、更に細かな変動を把握するために、データ収集間隔は 1 秒または 2 秒とした。
- ・太陽熱システム・排熱利用システムの計測では、1 日ごと 1 ヶ月ごとの評価を行うためデータ収集間隔は 1 時間を基本とし、必要に応じて更に細かな間隔でデータ収集を行った。

2) エネルギー使用の実態

①中央式給湯システム

i)温水ヒーター

- ・1時間データにおけるボイラ効率は95%以下（高位発熱基準）であった。また1週間データにおけるボイラ効率は67.3～73.8%であった。
- ・1時間データにおけるボイラの負荷率は40%以下であった。
- ・病院06での温水ヒーターの更新事例では、更新後ボイラ効率が10%ほど改善された。
- ・給湯用温水ヒーターが導入される規模の建物では、空調加熱やろ過昇温等への熱供給のために多回路型の温水ヒーターが設置されることが多い。このとき給湯負荷が無く給湯以外の負荷（空調やろ過等）のみがある場合は、負荷率が下がり発停を頻繁に繰り返すことによってボイラの効率が低下する傾向が見られた。

ii)ヒートポンプ

- ・ヒートポンプ給湯機の実測例として偏流が起きやすいことがあり、この場合負荷のバランスが悪くなり熱源機器の効率が低下する傾向が見られた。
- ・機器のCOPは1.5～3であった。

②局所式給湯システム

- ・使用量が少ない場合は給湯熱量に対する放熱熱量の割合が高くなる傾向が見られた。

③太陽熱利用システム・排熱利用システム

i)太陽熱利用システム

- ・メーカー仕様値に比べて低い集熱効率であり、放熱の影響が大きいと考えられる。

ii)排熱利用システム

- ・総合効率（高位発熱基準）は55.8～68.9%程度であった。

④給湯設備の運転状況

- ・機器容量の過大選定や熱源系統の偏流など実際の給湯設備の運転状況は設計時の想定通りになっていない物件が見られた。

⑤機器容量

- ・給湯設備は湯切れ防止を重視して計画されるため、計算の随所に余裕を見込んで機器を選定している。そのため実際の運用では設計値を下回った能力で運転されていることが多い。
- ・過大に機器が選定されることにより負荷率が低下し、結果的にボイラ効率が機器仕様値より低い状態で運転されている物件が見受けられた。

⑥配管放熱

- ・配管放熱は配管の口径、保温厚さ・材質、給湯温度に依存するため配管放熱量は給湯負荷に拘わらずほぼ一定であった。
- ・給湯熱量が少ないときは、給湯熱量に対する配管放熱量の割合が高くなる傾向があった。

⑦給湯設備の課題

- ・給湯設備の運転状況を把握する上で、燃料消費量の他に給湯補給水量、製造熱量などの計測器を機器設置段階で導入し、得られた結果を分析することが望まれる。

(5) 実運転データに基づくエネルギー消費量予測のための評価値の作成

収集した 35 施設，延べ制御件数 85 件の実運転データを基に，エネルギー消費量予測のための評価値について解析した．以下に解析結果をまとめる．

1) 熱源機器の制御に係る省エネルギー効果の評価

熱源機器の制御に係るエネルギー消費量予測のための評価値として以下の指標をまとめた．

①台数制御

熱源台数制御では，増減段時の部分負荷率と熱源機群の負荷率に対する入力，システム COP を整理した．

整理の結果として，熱源台数制御の増段時と減段時とでヒステリシスがあることを確認した．さらに，代表建物について，増段時と減段時の熱源機器の負荷率を示した．

②熱源送水温度制御

熱源送水温度制御では，冷水設定値と冷凍機の効率向上を整理した．

整理の結果として，熱源送水温度を 7℃から 8℃に上昇したことで COP の向上が見られたが，高めの送水温度でのサンプル数が少なかったため熱源送水温度と COP の相関を整理するまでには至らなかった．

③冷却水温度制御

冷却水温度制御では，自動制御による冷却水温度の設定変更について，実運用段階での運転データを収集し，冷凍機の COP を整理した．

④蓄熱制御

蓄熱制御では，夜間移行率と蓄熱槽からの熱損失，蓄熱運転時における熱源機器の部分負荷特性を整理した．

整理の結果として，実測建物 7 件での夜間移行率および蓄熱効率を示した．さらに，参考として既往の文献から蓄熱制御の評価事例の一部を示した．

2) 搬送機器，外気処理システムの制御に係る省エネルギー効果の評価

搬送機器，外気処理システムの制御に係るエネルギー消費量予測のための評価値として以下の指標をまとめた．

①変流量（VWV）制御，変風量（VAV）制御

VWV 制御，VAV 制御について運転の実態を加味して，以下の機器単体のエネルギー効率についてその想定範囲を示した．

- ・流量（風量）比による消費電力の削減効果
- ・熱処理量比（負荷率）による消費電力の削減効果（熱処理量の温度差 ΔT は設計値で一定）
- ・熱処理量比（負荷率）による搬送効率 WTF(ATF) の向上効果（熱処理量の温度差 ΔT は設計値で一定）

整理の結果として，VWV 制御の熱処理量比と消費電力比の回帰分析から下限周波数と最小消費電力比には負の相関が見られた．

また，VAV 制御では，低風量比で温度差に変動が見られ，高風量比で温度差が低下する事例があった．この要因として給気風量制御と給気温度のロードリセットの不整合が想定できる．

②外気冷房制御，最小外気負荷制御，熱交換換気制御

- ・外気冷房制御

外気冷房の有無による外気冷房効果（コイル負荷の削減量）を整理した．

- ・最小外気負荷制御

最小外気負荷制御の有無による外気量の削減効果を整理した。

- ・熱交換換気制御

全熱交換器効率の実態について、風量比、給気風量、外気エンタルピーをパラメータとして整理した。

なお、運転実態では、外気冷房時の加湿を回避するために湿度もしくは露点温度で外気冷房の有無を判断する場合があるが、これら外気冷房の判断の妥当性については別途評価が必要である。また、外気条件によって最小外気負荷制御と外気冷房制御の効果はトレードオフの関係にあるので、データの件数を増やすことで外気冷房制御の有効時及び無効時ごとの整理が必要である。

3) 給湯システムに係るエネルギー消費量の評価

中央式給湯システム、局所式給湯システム、並びに太陽熱利用システム、排熱利用システムについて、エネルギー消費量を評価した。

①中央式給湯システム

- ・中央式給湯システム用熱源機器の効率は、定格値より下回る。これは、熱源機器の発停が頻繁なことが大きな要因である。
- ・中央式給湯システムでのエネルギー消費に影響する要因として、配管放熱がある。今回の実測データを整理すると、配管放熱量は、給湯製造熱量の2～5割に及ぶ。配管放熱の特性として、循環水量と実測による日平均配管放熱量から、温度差を除いて整理すると、通常の温度差5℃より若干小さな値であることを確認した。

②局所式給湯システムの特性

局所式給湯システムでは給湯量が短時間で変化し、加熱の電力も短時間の入力となっている。なお、局所式給湯機の貯湯槽損失は、給湯室において日変化が小さい。

また、局所式給湯システムの給湯負荷と貯湯槽損失の整理から、給湯利用回数によって給湯量の測定値が過大に評価される可能性が見られた。

③太陽熱利用システム

太陽熱利用システムでは、太陽熱集熱量と温熱源に対する太陽熱利用率の実例を示し、一例として、集熱量の減少する冬期に熱重要が多いものの、太陽熱利用率は負荷ベースで25%を達成することを確認した。

④排熱利用システム

排熱利用システム（CGS）の発電効率では、エンジンの型式に依存するものの、ほぼ計画通りの効率を発揮していることを確認した。

CGSの排熱の利用率では、建物用途が病院においては実際の利用率が計画値に近い値であったのに対して、事務所においては計画値を10ポイント程度下回った。

4) 制御方式の組合せと省エネルギー効果

空調方式の制御分類を整理した。さらに、制御方式の組合せの検討として、熱源・ポンプ回りと空調機回りについて、制御方式の組合せを絞り込んだ。これらの組合せに基づき、代表的な実測対象建物について、制御方式の組合せと省エネルギー効果を考察した。

①熱源台数制御とVWV制御の組合せの違い

負荷側の流量比が高く、温度差が広範であるほど、システムCOPが高い領域まで達した

運用となっている。ただし、流量比が高いことからポンプ動力が多めとなる

②VWV制御とVAV制御の組合せの違い

VAV制御を吐出圧一定から要求風量とすることで負荷側冷水の温度差の分布が狭まり、VWV制御での消費動力比が二次～三次式の省エネルギーな運用となっている。ただし、VAV制御のパラメータ設定によっては、冷水温度差が取れないことも生じる。

なお、エネルギー消費量予測のための評価値の特定に対しては、熱源システムの制御設定の違いによるVWV制御の動作、VAV制御の制御設定の違いによるVWV制御の動作など、制御条件を含めたトータルでの評価が必要である。