

空調運転データを活用した改修設計 ～国立国会図書館関西館の運用を踏まえた検討～

飯塚 淳悟

近畿地方整備局 営繕部 整備課 (〒540-8586大阪府大阪市中央区大手前1-5-44)

国立国会図書館関西館は、法律により納本された出版物を、国民共有の文化的資産として永く保存する施設であり、保存するための書庫の空気環境は年間通して一定に保たれている。開館後15年が経過して、空調熱源設備が老朽化してきているため、書庫の空気環境を確保するために空調熱源設備を更新する設計を行うことになった。

今回の設計では、既存設備の空調運転データから、実際の運転を分析して、環境負荷低減、省エネルギー化、長寿命化を考慮し、より効率的な運転が可能となる設計とすることを目指した。

キーワード 新手法, 改修, 設計

1. はじめに

国立国会図書館関西館では、エネルギーの消費傾向の計測を行い、それをもとにした運用改善・チューニングによって使用熱量の削減を可能とする「ビルエネルギー管理システム（以降、BEMS）」が設置されており、空調設備に関する運転データが蓄積されている。

一般的な空調設備の設計では、計算や実情の把握により検討を行うが、今回の設計では、BEMSのデータについて分析検証を行い、設計に取り込むことを検討した。今回、設計を行った図書館は、一般事務室に対しての書庫の占める割合が大きい特殊な施設である。そのため、BEMSによる実情の把握は有効であると考えた。

運用実態に則したシステム及び機器を選定することで、環境負荷低減、省エネルギー化、長寿命化に配慮した、より効率的な運転が可能となる設計とすることを目的とした。

- 氷蓄熱槽（内融式）（蓄熱量）7,458 kJ ×2基
（放熱量） 207 kW

表-1 建物概要

用途	図書館
所在	京都府相楽群精華町
敷地面積	82,655m ²
延床面積	約59,270m ²
階数	地下4階, 地上4階
竣工	2002年 3月
開館時間	9時30分～18時00分
休館日	日曜日, 国民の祝日・休日 年末年始, 毎月第三水曜日
室内条件（一般室）	夏期28℃ 50% 冬期19℃ 40%
室内条件（書庫）	通年22℃ 55%

2. 建物概要

建物概要を次の表-1に示す。

3. 熱源設備概要

熱源設備は、以下のような構成となっている。

- 吸収冷温水機 1,160 kW ×3台
- 水冷ブラインチラー（蓄熱時） 240 kW ×2台
（追掛け時） 348 kW



外観写真

4. 熱源運転データの検証

(1) データの収集

熱源設備の運転実績検証に先立ち、現地中央監視室内のBEMS装置から、運転データの収集を行った。

収集したデータの内容は次の通りである。

- ・ 収集日 2017年10月11日
- ・ 年間運転データ 竣工から収集日まで
- ・ 日データ 2011年1月1日～2017年10月10日
- ・ 時間データ 2016年9月11日～2017年9月30日

データの種類としては、熱源機器毎の冷暖房に用いる発生熱量を用いて、検証を行った。

(2) 年間データの検証

図-1に年間一次熱量積算値の推移を示す。なお、グラフの表現上、上向きに冷房に必要な冷熱量、下向きに暖房に必要な温熱量を示している。

竣工当初は、設計通りの運転を行っていたが、BEMSのデータをもとに、運用改善・チューニングを行っていくことにより、徐々に使用熱量を削減することができ、5年ほどで安定したと考えられる。使用熱量は当初から約40%の削減が行われている。

2010年から2011年に大きな変化がみられるため、施設管理者にヒアリングすると、2011年の東日本大震災を受け、省エネルギーの観点から書庫空調の24時間自動運転を、温湿度の設定値を外れた場合のみ手動で運転する運用に変更したとのことであり、それが要因であると考えられる。これにより、使用熱量は前年度比で約40%削減されている。

2012年以降も徐々に減少傾向がみられるが、運用の変更は特にないとのことである。



図-1 年間一次熱量積算値

(3) 日データの検証

前項の年間熱量と施設管理者へのヒアリング結果から、2014年以降の運用において、大きな変化がないため、2014年以降のデータを用いて、詳細な検討を行った。

図-2に2014年以降の日熱量の推移を示す。

グラフから、6月や11月など一般的な庁舎では冷房を行わない時期でも、空調の運転を行っていることが分か

る。そのため、一般的な庁舎と比較して、空調の運転期間が長く、また、低負荷時の運転が長いと考えられる。

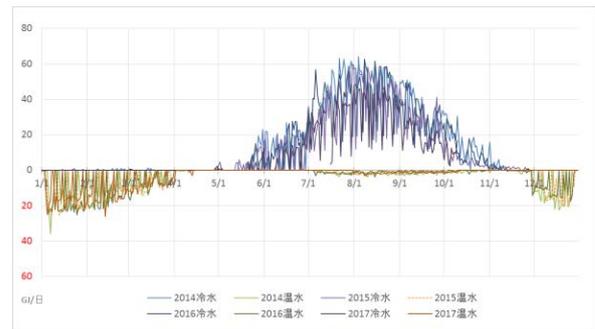


図-2 日冷温水熱量推移

冷水温水の最大熱量検証のため、図-2の7-8月と1-2月を拡大したものを図-3, 4 に示す。

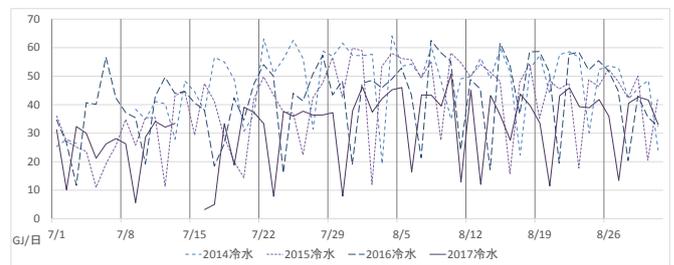


図-3 7-8月 日冷水熱量

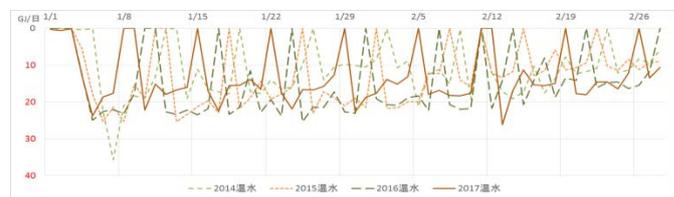


図-4 1-2月 日温水熱量

冷水熱量については、夏期においては、休日にも書庫システムは平日と同じ空調の運用がされているため、平日の1/2～1/3程度の熱量で、空調の運転を行っていることがグラフより読み取れる。

温水熱量については、各年に大きな差は見られない。また、冷水熱量と異なり休日には熱量が発生していないことから、冬期には書庫システムの温湿度が安定しているものと考えられる。

(4) 時間データの検証

BEMSに保存されている時間毎データの過去1年分から、日熱量の大きい上位10日分のデータを抽出し、時刻別の平均熱量から構成比率を算出し、2014年以降で日熱量が最大の日の時刻別の最大熱量を想定することとした。

上記の冷水熱量のグラフを図-5に示す。

2016, 2017年日熱量上位10日の時刻別熱量は、ほぼ同じような傾向を示している。

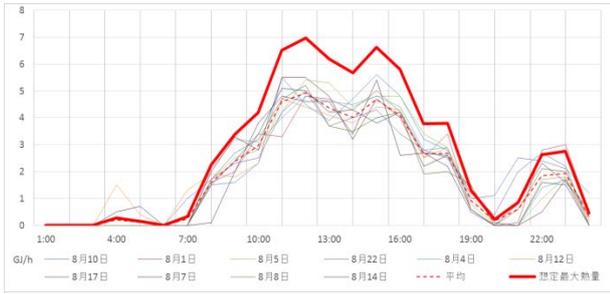


図-5 時間 冷水熱量

次に、熱量がどの程度発生しているか分析した。時刻別の熱量を大きい順に並び替えて、棒グラフにしたものを図-6に示す。この時に表現される曲線をデューレーションカーブという。

縦軸、横軸の目盛は、最大値を10等分している。これによると、最大熱量の80% (4.48GJ/h) を超える時間帯は50時間未満で全体の5%以下である一方、最大熱量の30% (1.68GJ/h) 以下の時間は全体のおよそ半数であり、低熱量時の運転が多いことが分かる。

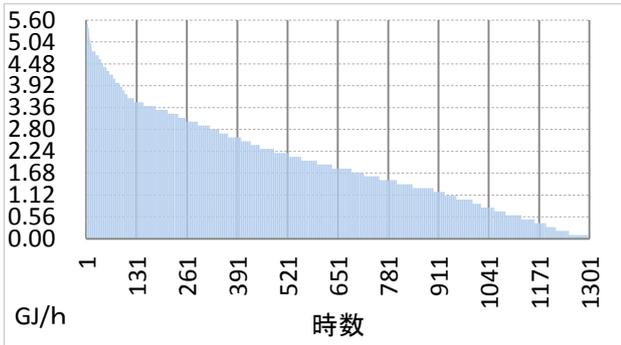


図-6 冷水熱量デューレーションカーブ

同じく、温水熱量のグラフを図-7に示す。

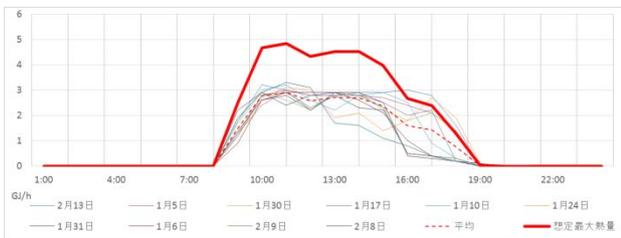


図-7 時間 温水熱量

次に、12-2月の温水熱量デューレーションカーブを図-8に示す。冷水熱量のカーブに比べて最大熱量及び発生時

数は少ないが、最大熱量の80% (2.64GJ/h) を超える時間帯は約150時間で全体の20%程度あり、最大熱量の50% (1.65GJ/h) を超えている時間は全体のおよそ半数と平均的であるが、最大熱量の10% (0.33GJ/h) の時間は30%となっており、低熱量時の運転が、冷水と同様に多くなっている。

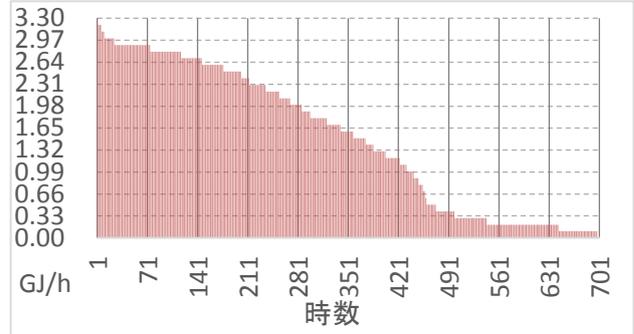


図-8 温水熱量デューレーションカーブ

最後に、時間外及び休日は、原則として書庫系統のみの空調運転であり、冷水熱量傾向の検証を行った。想定最大熱量グラフを図-9に示す。

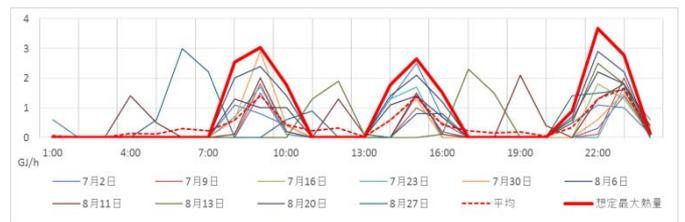


図-9 時間 休日 冷水熱量

休日冷水熱量のデューレーションカーブを図-10に示す。平日と比較すると、熱量は約半分だが、傾向は類似していた。

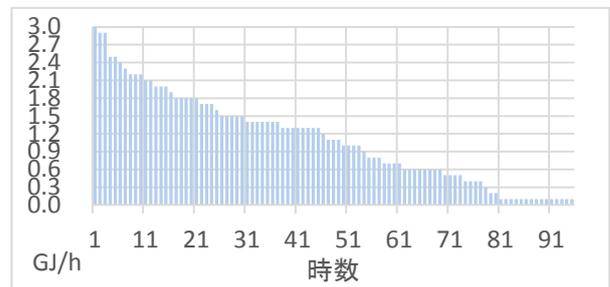


図-10 休日冷水熱量デューレーションカーブ

最大熱量の80%を超える時間は図-6と同じく全体の5%程度であり、最大熱量の40%以下である時間は全体のおよそ半数であることが分かる。

なお温水については、休日に熱量がほとんど発生していないため、検証からは省いた。

5. 熱源比較システムの考察

(1) 冷暖房最大熱量の設定

熱源運転データの検証から求めた時刻別の最大想定熱量より、冷暖房の最大熱量を以下のように設定した。

本施設の冷房熱量	6.97GJ/h
本施設の暖房熱量	4.84GJ/h

また、今回の設計においては、本施設の南側に建築中の新館が必要とする熱量を本施設の熱源容量にバックアップとして見込むこととなっている。

新館の建物概要を表-2に示す。

表-2 新館 建物概要

用途	図書館
延床面積	約24,966㎡
階数	地下1階、地上7階
竣工	2020年2月（予定）

必要となる熱源容量は以下の通りである。

新館冷房熱量	1.31GJ/h
新館暖房熱量	0.84GJ/h

上記を合計した値を、熱源選定の容量として設定した。

冷房最大熱量	8.28GJ/h
暖房最大熱量	5.68GJ/h

(2) 熱源機器の選定

a) 熱量の特性等

熱源運転データの検証から、本施設の熱量は以下のような特性を表している。

- ・年間の日熱量の傾向は一般庁舎のものとは大きな差はない。中間期に冷暖房熱量は発生していない。
- ・24h空調を要する書庫を有しているため、夜間や休日でも比較的大きな熱量が発生しているが、手動運転のため、発生頻度は高くなかった。
- ・時間熱量発生率の検証から、最大熱量の90%以上の発生時間は非常に少ない一方、冷房では30%以下の発生時間が全体の半数近くあり、また暖房では、10%以下の発生時間が30%あり、低熱量での運転時間が長いことが分かる。

b) ガス熱源の選定

ガス熱源としては、既設でも利用している、大熱量での運転の効率が良く、ベース熱源として適している吸収冷温水機を選定することとした。

c) 電気熱源の選定

電気熱源としては、休日や時間外運転において、低熱

量での運転時間が長くなることから、小容量の機器を複数台連結しており、容量制御性に優れた空冷ヒートポンプモジュールチラーが最適と考え選定することとした。

(3) 熱源分割台数の検討

現在稼働している機器は、吸収冷温水機3基のみとなっている。また、この吸収冷温水機が冷房・暖房の同時運転をすることはないことが分析結果より分かっている。

ここで、熱源分割数の妥当性について検証する。

図-11に図-6を熱源の機器容量に置き換えた冷水熱量のデュレーションカーブを示す。なお、機器容量にはポンプ熱量・配管損失・装置熱量、経年劣化、能力補償を考慮した係数を加算している。

分割する機器容量は、運転時間の均一化、メンテナンスや更新時の容量確保の面などから、原則として同一容量の機器を選定する。

グラフの目盛り線は、縦横とも10分割としている。熱源機器を既設と同じ3分割した場合を実線で、低熱量での運転が多いため、4分割した場合を破線で表している。

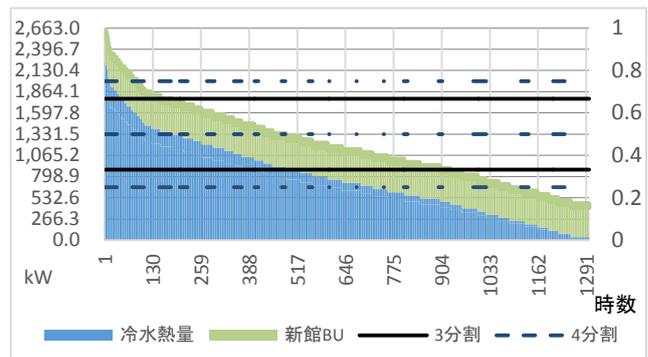


図-11 総冷水熱量デュレーションカーブ及び熱源分割ライン

現状と同じ3分割とした場合、1台運転（実線の下段）で熱量要求時間の30%程度を賄うことができる。2台運転では85%以上を賄うことができ、全台数同時運転は年間で約190時間以下であると想定できる。

4分割とした場合は、1台運転（破線の下段）で熱量要求時間の10%程度、2台運転では60%程度、3台運転では90%以上を賄うことができ、全台数同時運転は約100時間ほどと想定できる。

図-11と同じ内容で温水のグラフを図-12に示す。

温熱優先で機器を分割した場合、3分割と4分割では1台運転時の対応可能時間には大きな差はない。3分割時の2台運転では、60%程度が賄え、全台数同時運転は280時間程度発生すると想定できる。4分割時の2台運転では、45%程度、3台運転時では70%程度が賄え、全台数同時運転は200時間程度発生すると想定できる。

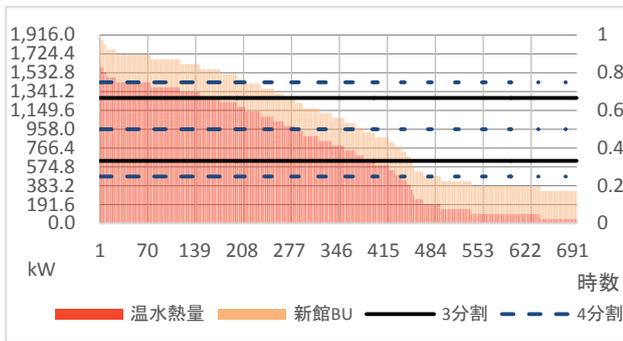


図-12 総温水熱量デグレションカーブ及び熱源分割ライン

一方、書庫のみの運転となる休日及び時間外では、図9、10より、想定最大熱量が957kWとなる。3分割とした場合の1台容量は約900kWとなるため、最大熱量の90%以下の時に対応できる。4分割とした場合の1台容量は約670kWで最大熱量の70%となり、図9、10より要求時間の約90%に対応できる。

以上の検討より、本施設においては、3分割と4分割ではあまり差がないことが分かった。そのため、両方の場合のシステムにおいて比較・検討を行うこととした。

(4) 更新システム案の検討

システムの比較検討を行うにあたって、更新案A～Dを検討した。機器容量は、運転時間の均一化、メンテナンスや更新時の容量確保の面などから、原則として同一容量の機器を選定する。また、機器の選定については、特注品ではなく、標準の製品を用いて、必要な熱量を満足する機器を選定して組み合わせるため、案により、機器能力の合計にはバラツキがでることになる。

<更新案A>

比較案のベースとして、現状のシステムと同じ構成としたものを更新案Aとする。

既設の熱源設備は、吸収冷温水機、水冷ブラインチラー、氷蓄熱槽（内融式）が設置されているが、使用熱量の削減により、現状は吸収冷温水機 3基のみの運転となっている。そのため、更新案Aは吸収冷温水機 3基とする。

- ・吸収冷温水機 1,055kW × 3基

<更新案B>

休日や時間外及び中間期の低熱量時の追従性を考慮して、モジュールチラーを1台選定したものを更新案Bとする。

この場合、モジュールチラーの容量については、夜間及び休日最大熱量の70%程度の機器を選定し、冷房要求

時間の約90%に対応できるものとする。

これにより、万が一、ガス途絶時にも冷房が必要な時間帯のうち、約90%で書庫の環境確保が可能となる。

- ・吸収冷温水機 1,055kW × 2基
- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 1基

<更新案C>

信頼性の向上や更新時の容量確保の面から、吸収冷温水機及び空冷モジュールチラーそれぞれを複数台設置したものを更新案Cとする。

モジュールチラーの容量については、更新案Bと同じ考えとする。

- ・吸収冷温水機 739kW × 2基
- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 2基

<更新案D>

全電化としたものを更新案Dとする。

1台あたり上記750kWとし、屋外設置スペースから4分割とする。また、冬期においては、3台で最大想定熱量熱量を賄えるため、1台を冷房専用機とする。

- ・空冷ヒートポンプモジュールチラー 750kW × 4基
(内、1台は冷房専用機)

図-13、14は、現行の熱源機器容量と熱源運転データから検証した想定最大熱量、熱源更新案A～D各方式における熱源機器の容量構成を示したものである。



図-13 熱源機器構成（冷房熱量）

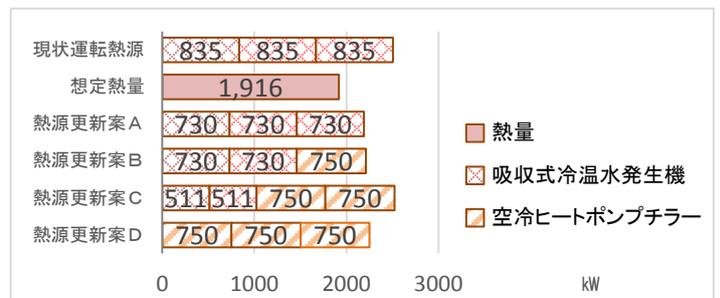


図-14 熱源機器構成（暖房熱量）

6. 熱源システム比較

今回の設計において、目標に掲げた「より効率的な運転」を達成するために、机上でシステムを構築し、年間のエネルギー消費量をシミュレーションにより算出することができる、ライフサイクルエネルギーマネジメントツール（LCEMツール）を使用して、更新案A～Dについて、定量比較を行った。LCEMはExcelを使用したシミュレーションソフトとなっており、機器の仕様や使用熱量を入力することにより、エネルギー消費量を算出することができる。このときの使用熱量としては、過去1年の実績データを用いた。また、電気・ガス・水道料金については、現在の契約単価を使用する。

表-3、4に、それぞれ現行システムに近い更新案Aを基準として、環境性・コストの定量比較結果を示す。

表-3 環境性定量比較結果

項目	更新案A	更新案B	更新案C	更新案D
CO ₂ 排出量	100	79	82	68
一次エネルギー消費量	100	80	84	70

環境性については、CO₂排出量、一次エネルギー消費量共に更新案Dが最も良く、次いで更新案Bが良いということが分かった。

表-4 コスト定量比較結果

項目	更新案A	更新案B	更新案C	更新案D
イニシャルコスト	100	115	129	140
ランニングコスト	100	88	95	89

イニシャルコストについては、電気熱源比率が高くなるほど高額となった。

ランニングコストについては、電気を使用する場合、ガスのみの場合と比較してやや安価となっている。

まず、環境性が最も良い更新案Dについて検討を行った。更新案Dは、全電化に伴う受変電設備の改修や、屋外設置スペース確保及び付帯建築工事など、ハード面への影響が大きいことと、設定している工事予算をオーバーしていることにより、採用は困難と判断した。

次に環境性が良い更新案Bについて検討を行った。更新案Bは、受変電設備の改修や機器の設置スペースの問題も無く、イニシャルコストについても、工事予算内に納まり、ランニングコストに関しては最も優れている。

以上より、更新案Bを採用することとした。

7. まとめ

今回の空調運転データを活用した設計では、一般的に行う空調設計に加え、データより実際の運転を把握を行った。空調運転データを分析・検証することは、運用実態に則したシステムの選定を行う際に効果的であった。

また、今回の設計では、図書館の様な特殊な施設の改修設計であったが、一般庁舎の改修設計においても同様に空調運転データを活用し、実際の最大熱量や傾向の把握を行うことにより、その施設に適した空調設備の設計が可能となり、より効率的な運転が可能になると考えられる。

本研究で行ったデータの分析・検証、機器選定の手法は、他の施設において、空調運転データを用いた改修設計を行う際の参考となれば良いと考える。