

空気調和システムのエネルギー性能の計測評価について

1. 目的

建築物のLCEMを進める上で、空気調和システム(以下「空調システム」という)の計測すべきポイントを認識し、適切に計測評価することが重要である。

主に評価する項目はLCEMガイドラインに記されたとおり、以下の指標である。

- (1) 空気調和システムの期間一次エネルギー消費量
- (2) 空気調和システムの期間成績係数
- (3) 機器単体の期間成績係数

2. 1 計測点一覧

代表的な空調システム系統図及び評価項目を算出するための計測ポイント例を図1～8、表1～4に示す。

表1～4の「◎検証に必須な計測ポイント」は、1. の評価指標の算出の為に最低限必要なポイントである。「○計測が望ましいポイント」は、部分負荷時の性能を評価し、改善点を抽出するために必要なポイントである。

なお、計測ポイントによっては、計器類を変更することで代替することが可能である。(例、冷温水の熱量を測定する場合、熱量計を用いれば、冷温水の往還温度差及び流量の測定は不要となる。ただし、冷温水の往還温度差及び流量は機器の挙動を把握する上で、重要なポイントにもなる。計測対象から外す場合は、デメリットも認識すること)

また、更に詳細に空調システムの計測を行いたい場合は、参考文献などを活用しつつ、設定する。詳細計測を行うことにより、不具合の要因抽出等の分析の幅が広がる。

※表はエネルギーマネジメントを目的とした計測ポイント表である。操作、警報監視などは建築設備設計基準等を参考にしつつ、別途検討すること。

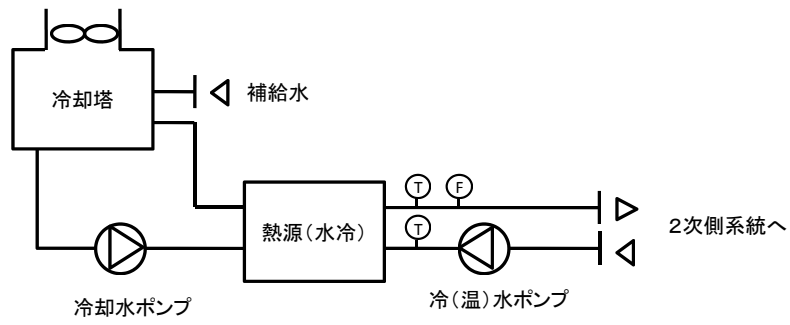


図1 熱源(水冷)系統例

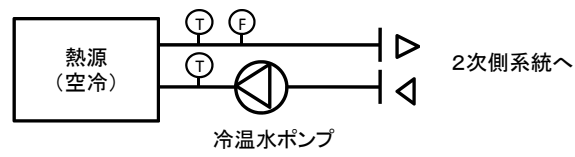


図2 熱源(空冷)系統例

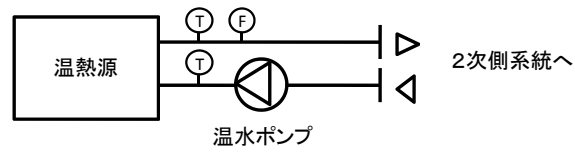


図3 温熱源系統例

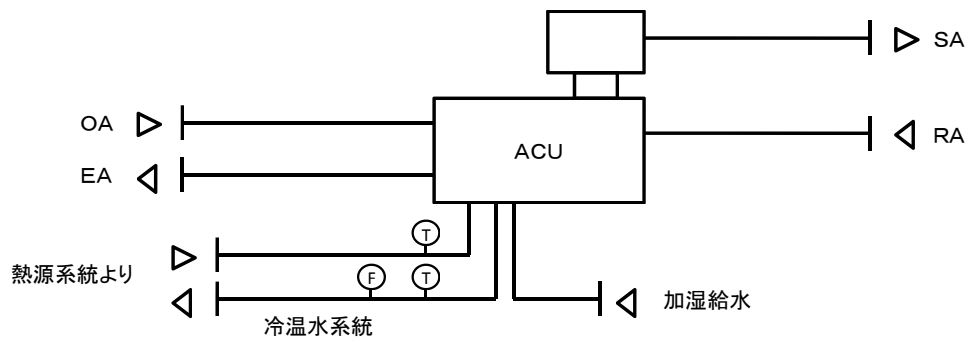


図4 空気調和機系統

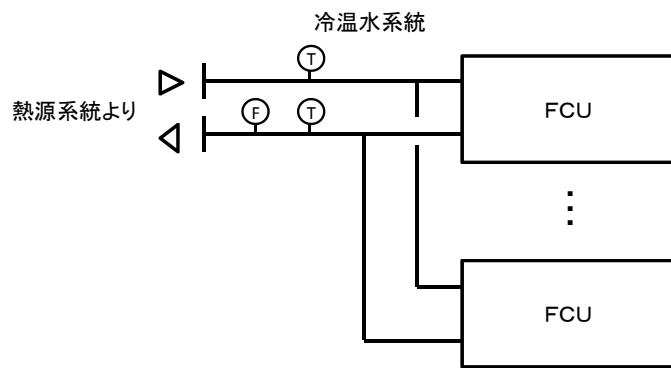


図5 FCU系統

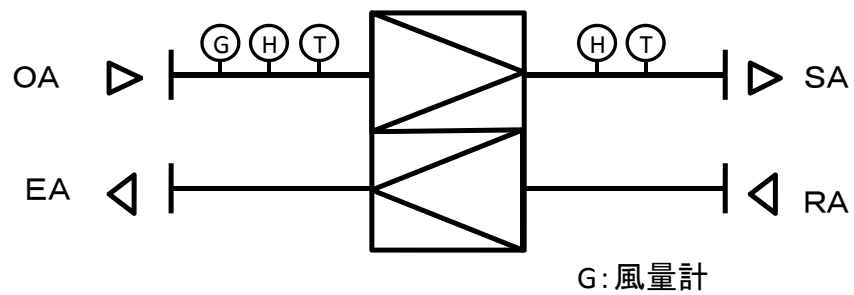


図6 全熱交換器系統

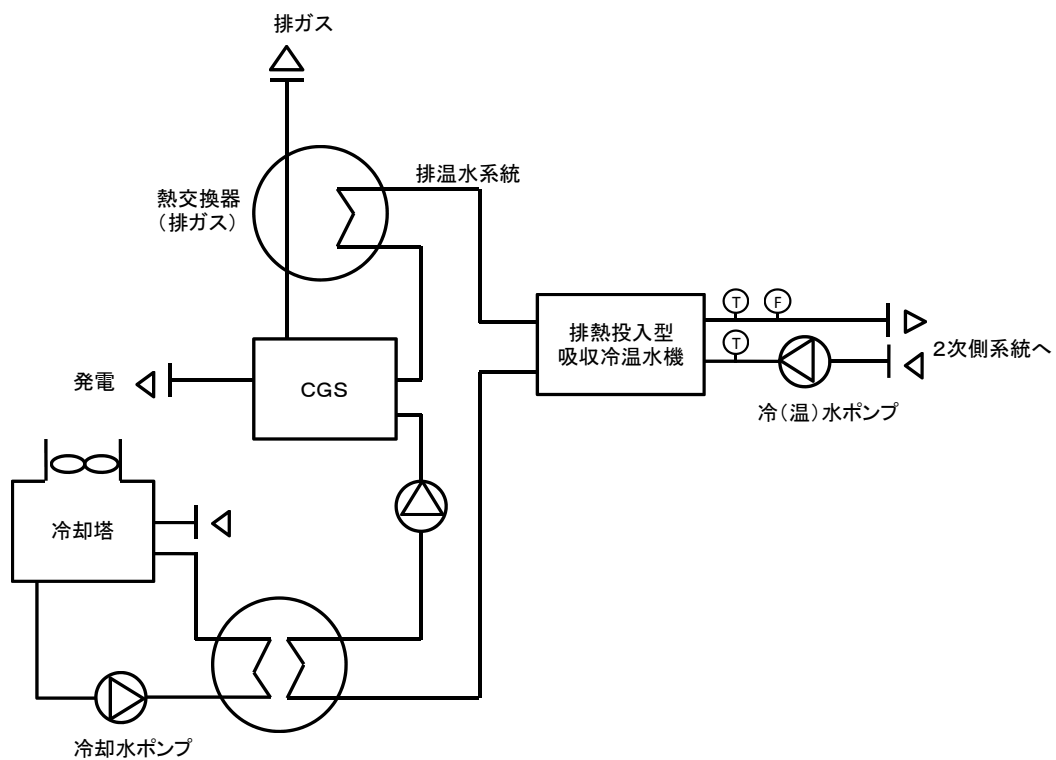


図7 排熱回収システム例

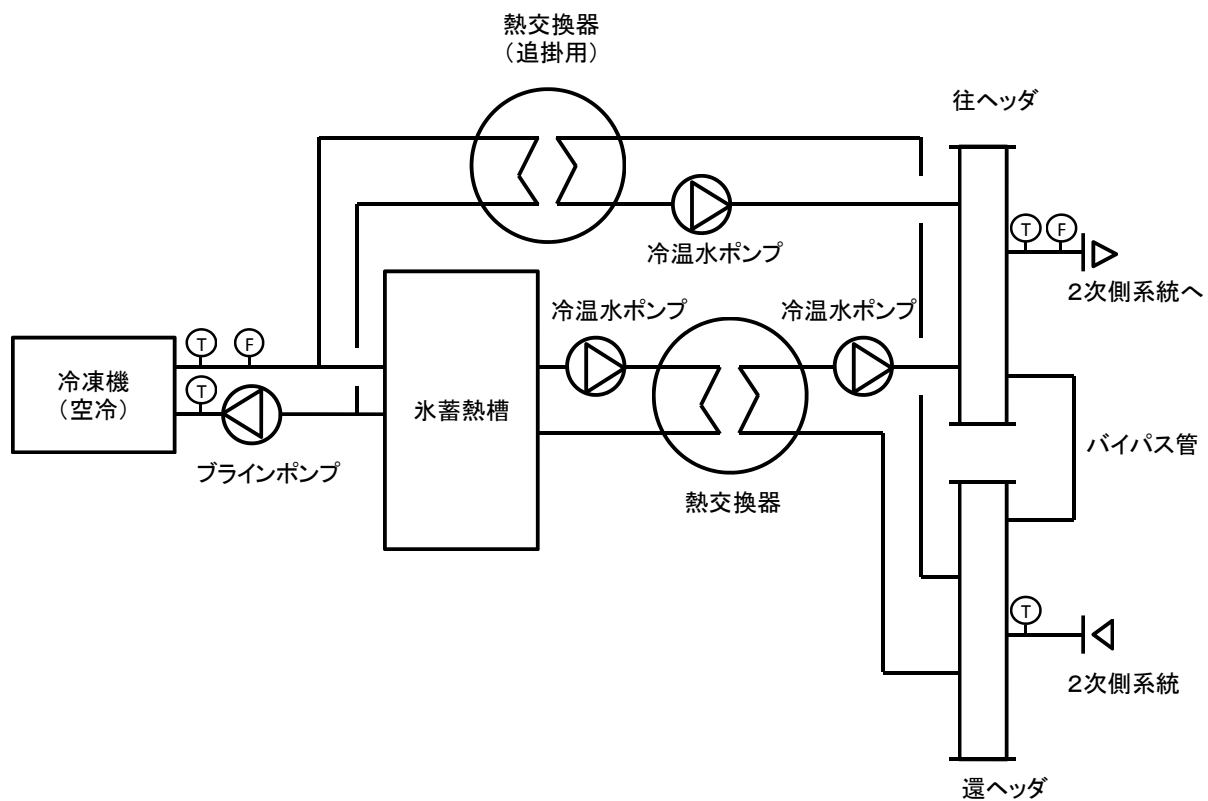


図8 氷蓄熱ユニット例

※表は熱源を1台と設定した場合の例である。複数台の場合は、別途検討すること。たとえば、「運転順位」、「ヘッダーまわりの冷温水温度、流量」が「○計測が望ましいポイント」となる。

表1 熱源システムの計測ポイント

システム構成	熱源まわり											エネルギー消費量					外気		備考
	運転状態	運転モード (冷/暖)	冷(温)水入口温度	冷(温)水出口温度	冷(温)水流量	冷却水入口温度	冷却水出口温度	冷却水流量	冷却塔補給水量	冷却水下限温度	熱源電力消費量	熱源燃料消費量 (ガス・油)	冷却塔ファン 電力消費量	冷却水ポンプ 電力消費量	冷温水ポンプ 電力消費量	外気乾球温度	外気湿球温度		
直焚き吸収冷温水機、冷却塔、冷温水ポンプ	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○			
冷凍機(水冷)、冷却塔、冷温水ポンプ	○	○	◎	◎	◎	○	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○			
冷凍機(空冷)、冷温水ポンプ	○	○	◎	◎	◎						◎		◎	◎	○	○			
温水発生機、温水ポンプ	○	○	◎	◎	◎						◎	◎							

表2 2次側システム (補機類)

系統	熱源まわり											エネルギー消費量				室内	外気		備考						
	運転状態	冷(温)水入口温度 (系統別)	冷(温)水出口温度 (系統別)	冷(温)水流量 (系統別)	給気風量	外気風量	給気乾球温度	還気乾球温度	外気乾球温度	給気相対湿度	還気相対湿度	外気相対湿度	外気入口乾球温度	外気出口乾球温度	排気入口乾球温度	外気入口相対湿度	外気出口相対湿度	排気入口相対湿度		送風機電力消費量	室内乾球温度	室内湿球温度	外気乾球温度	外気湿球温度	
空調機	○	◎	◎	◎	○		○	○	○	○	○								◎			○	○	○	○
FCU	○	◎	◎	◎															◎※			○	○		送風機消費電力量は小さいため、カタログ値でも良い。
全熱交換器	○				◎							○	◎	○	○	◎	○		◎			○	○	◎	◎

※排熱回収システム及び氷蓄熱システムは例以外にも様々な方式があるため、システムに応じ測定ポイントを検討すること。

表3 排熱回収システム（熱源側）の計測ポイント

システム構成	CGSまわり										エネルギー消費量					出力	冷温水機まわり										エネルギー消費量					外気		備			
	運転状態	排ガス熱源出口温度	排ガス最終出口温度	排温水入口温度	排温水出口温度	排温水流量	冷却水入口温度	冷却水出口温度	冷却水流量	冷却塔補給水量	CGS燃料消費量	CGS電力消費量	冷却塔ファン電力消費量	冷却水ポンプ電力消費量	排温水ポンプ電力消費量	発電量	運転状態	運転モード (冷/暖)	排温水入口温度	排温水出口温度	排温水流量	冷(温)水入口温度	冷(温)水出口温度	冷(温)水流量	冷却水入口温度	冷却水出口温度	冷却水流量	冷却水下限温度	熱源燃料消費量	熱源電力消費量	冷却塔ファン電力消費量	冷却水ポンプ電力消費量	冷温水ポンプ電力消費量		外気乾球温度	外気湿球温度	
CGS、排熱投入型吸収冷温水機、排温水ポンプ、冷温水ポンプ	○	○		○	○	○	○	○	○		◎	◎	◎	◎	◎		○	○	○	○	○	◎	◎	◎	○	○	○		◎	◎	◎	◎			○	○	※CGS側に同じ計測ポイント有り

表4 氷蓄熱システム（熱源側）の計測ポイント

システム構成	熱源まわり										エネルギー消費量					外気		備考				
	運転状態	運転モード (蓄熱/追掛)	ブライン入口温度	ブライン出口温度	ブライン流量	冷(温)水入口温度	冷(温)水出口温度	冷(温)水流量	バイパス流量	蓄熱槽内温度	追掛運転開始時刻	追掛運転停止時刻	蓄熱運転開始時刻	蓄熱運転停止時刻	熱源電力消費量	ブラインポンプ電力消費量	冷温水ポンプ電力消費量		外気乾球温度	外気湿球温度		
ブラインチラー(空冷)、ブラインポンプ、氷蓄熱槽、冷温水ポンプ	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	○		○	○	○	○		◎	◎	◎		○	○	

2. 2 計測精度・記録間隔

各項目の計測機器は計測レベル(精度)を考えつつ選定する。表5に計測レベル別の計測機器を示す。

なお、瞬時値を引用する場合は、計測精度が低下する可能性があるため、最低15分以下の計測間隔を設定し、平均値を用いることが望ましい。

表5 計測のレベル¹⁾

計測レベル	計測装置	記録方式	記録間隔	計測間隔	備考
3	電子式検出器、データログ、中央監視装置	磁気媒体による自動記録	瞬時値 15分 積算値1時間	瞬時値 15分以下 積算値1時間	
2	仮設の電子式検出器	ログシートあるいは磁気媒体による自動記録	〃	〃	仮設計測用のタッピングなどを導入しておくこと
1	現場据付け計器	目視による手動記録	1時間	1時間	

※レベル1を維持管理業者へ委託している場合は、エクセルなどの電子データ化も含めて委託することが望ましい。

表6に計測レベル別で想定される計測機器・方法の例を示す。

表6 計測レベル別の計測機器・方法例

計測項目	レベル 3,2	レベル 1	備考
水温	温度検出器	ガラス製棒状温度計 丸形温度計	
流量	超音波流量計、電磁流量計	瞬間流量計(面積式またはピトー管式) (着脱式も可)	
積算水量	パルス発信器付き積算流量計	量水器	
水圧	圧力発信器	ブルドン管圧力計	
ダクト内温湿度	温度検出器、湿度検出器(挿入形)	-	
風量	風量計	風速計	
電力量	発信装置付き電力量計	電力量計	
室内温湿度	温度検出器、湿度検出器(室内用)	データロガー付き温湿度計	

活用データの分析期間としては以下の場合が想定される。

評価期間：通年、冷房期間、暖房期間、月別、週別、日別、時刻別、瞬時値

従来、施設毎に空調運転時間や使われ方が異なる(外乱要素)ため、エネルギー消費量の挙動が異なる。これらの外乱要素を取り除き、エネルギー性能を解析することは、LCEMを進める上で重要な点となる。

表7に、外乱要素を取り除くためのデータの分類方法例を示す。

表7 活用データの分類方法例

概要	目的	備考
定時時間帯と残業時間帯を別に評価する。	残業時間は、組織、部局・課の違いや日々の業務量などにより異なるため、評価が難しい。したがって、定常的に運転されることが期待される定時(例：9時～17時)と不定期に運転される残業時間を別々に評価することにより、他施設との比較が実施しやすくなる。	
用途が特殊な部屋を分けて評価する。	会議室などの不定期に活用する部屋や、電算機室などの空調設定温度、運転時間が異なる部屋を分けて評価する。	計測ポイントも考慮する必要有り
来客者数が多い時期を分けて評価する。	税務署等では確定申告時、市役所等では3月末、4月上旬の時期など来客者が多く、空調の運転に影響が出る可能性がある時期を別々に評価する。	

3. 評価のグラフ化例

表8に、評価のグラフ化例を示す。

表8 評価のグラフ化の例

対象システム	横軸	縦軸①	縦軸②	備考
空調システム全体	時間(評価期間は任意設定)	一次エネルギー消費量	成績係数	LCEMツールによる計算結果、他施設のデータと比較する。
熱源システム	時間(評価期間は任意設定)	〃	〃	LCEMツールによる計算結果、他施設のデータと比較する。
2次側システム	時間(評価期間は任意設定)	〃	〃	LCEMツールによる計算結果、他施設のデータと比較する。
排熱回収システム	時間(評価期間は任意設定)	〃	〃	LCEMツールによる計算結果、他施設のデータと比較する。
氷蓄熱システム	時間(瞬時値は不可)	〃	〃	LCEMツールによる計算結果、他施設のデータと比較する。

4. 評価項目の計算式

計測データを用いて、エネルギー性能を評価する際の計算式は以下の通りとなる。

4. 1 熱源システム

熱源システムの期間一次エネルギー消費量

$$= \int \text{熱源の燃料消費量(ガスor油)} \times \text{燃料一次エネルギー消費原単位(高位発熱基準)} \\ + \int \Sigma \text{電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

Σ 電力消費量: 熱源、冷却塔ファン、冷却水ポンプ、冷温水ポンプの和(水冷の場合)
: 熱源、冷温水ポンプの和(空冷の場合)

熱源システムの期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量[MJ/h]}}{\text{熱源システムの期間一次エネルギー消費量[MJ]}}$$

冷温水製造熱量[MJ/h]

$$= \text{冷温水出入口温度差}[\text{°C}] \times \text{冷温水量[L/min]} \\ \times \text{比重[kg/L]} \times \text{比熱[kJ/(kg}\cdot\text{K)]} \times 60[\text{min/h}]/1,000[\text{kJ/MJ}] \\ = \text{冷温水出入口温度差} \times \text{冷温水量} \times 1.0 \times 4.19 \times 60/1,000$$

4. 2 2次側システム

※ここでの2次側システムとは、冷温水2次ポンプを含まない。

2次側システムの期間一次エネルギー消費量

$$= \int \Sigma \text{電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

Σ 電力消費量: 空調機ファン、FCUファン、全熱交換器ファンの和

全熱交換器処理熱量[MJ/h]

$$= \text{外気出入口エンタルピー差[kJ/kg]} \\ \times \text{風量[m}^3\text{/h]} \times \text{空気の密度[kg/m}^3\text{]}/1,000[\text{kJ/MJ}]$$

空気搬送エネルギー成績係数(水基準)(ATFw)

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量[MJ/h]} + \int \text{全熱交換器処理熱量[MJ/h]}}{\text{2次側システムの期間一次エネルギー消費量[MJ]}}$$

※冷温水2次ポンプを評価に含める場合は、以下の式を用いる。

熱搬送エネルギー成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量[MJ/h]}}{\int \Sigma (\text{冷温水2次ポンプ、空調機ファン、FCUファン電力消費量}) \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}}$$

(全熱交換器処理熱量の計測が困難な場合)

空気搬送エネルギー成績係数(水基準)(ATFw)

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量[MJ/h]}}{\int \Sigma (\text{空調機ファン、FCUファン電力消費量}) \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}}$$

4. 3 排熱回収システム

システムの期間一次エネルギー消費量

$$= \int \text{CGSの燃料消費量} \times \text{燃料一次エネルギー消費原単位} \\ + \int \text{熱源の燃料消費量} \times \text{燃料一次エネルギー消費原単位} \\ + \int \Sigma \text{電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

Σ 電力消費量: CGS、熱源、冷却塔ファン、冷却水ポンプ、冷温水ポンプの和

システムの期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量[MJ/h]}}{\int \text{一次エネルギー消費量[MJ]} - \int \text{発電量(一次エネルギー換算)[MJ]}}$$

冷温水製造熱量: 4. 1 熱源システムを参照

発電量(一次エネルギー換算)[MJ]

$$= \text{有効発電量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

4. 4 氷蓄熱システム

氷蓄熱システムの期間一次エネルギー消費量

$$= \Sigma \text{電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

Σ 電力消費量: 熱源、冷却塔ファン、冷却水ポンプ、ブラインポンプ、冷温水ポンプの和(水冷の場合)
: 熱源、ブラインポンプ、冷温水ポンプの和(空冷の場合)

氷蓄熱システムの期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量(2次側)[MJ/h]}}{\int \text{氷蓄熱システムの期間一次エネルギー消費量[MJ]}}$$

5. 機器単体の期間成績係数（参考）

機器単体の成績係数の評価を行う場合、対象機種を選定については、機器容量を考慮し決定する。また、その際の計測ポイントについては、2. 1に含まれていない場合があるため、適宜設定すること。

5. 1 熱源（ガス式）

熱源（ガス式）の期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量}[\text{MJ}/\text{h}]}{\text{熱源システムの期間一次エネルギー消費量}[\text{MJ}]}$$

熱源システムの期間一次エネルギー消費量

$$= \int \text{熱源の燃料消費量}(\text{ガスor油}) \times \text{燃料一次エネルギー消費原単位}(\text{高位発熱基準}) \\ + \int \Sigma \text{電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

（参考）

ガス式熱源の成績係数の算出方法は、上記以外にも以下の考え方等がある。

- ・ JISB8622 吸収冷凍機

成績係数（定格）

$$= \frac{\text{冷凍(加熱)能力}[\text{kW}]}{\text{燃料消費熱量(低位発熱基準)}[\text{kW}] + \text{消費電力}[\text{kW}]}$$

- ・ その他

成績係数（定格）

$$= \frac{\text{冷凍(加熱)能力}[\text{kW}]}{\text{燃料消費熱量(高位発熱基準)}[\text{kW}]}$$

5. 2 熱源（電気式）

熱源（電気式）の期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量}[\text{MJ}/\text{h}]}{\text{熱源システムの期間一次エネルギー消費量}[\text{MJ}]}$$

熱源（電気式）の期間一次エネルギー消費量

$$= \int \text{熱源の電力消費量} \times \text{電力一次エネルギー消費原単位}$$

※5. 3～5. 4については、2次エネルギー消費量を用いているため、扱いには注意すること。

5. 3 ポンプ

ポンプの総合効率(瞬時値)

$$= \frac{\text{水動力}}{\text{ポンプの電力消費量}}$$

水動力[W]

$$\begin{aligned} &= \text{水の密度} \times \text{流量} \times \text{重力加速度} \times \text{全揚程} \\ &= 1,000[\text{kg/m}^3] \times \text{流量}[\text{m}^3/\text{s}] \times 9.8[\text{m/s}^2] \times \text{全揚程}[\text{m}] \end{aligned}$$

インバータの検証では同時にWTFを用いることも有効である。

水の期間熱搬送効率(WTF)

$$= \frac{\int \text{冷温水製造(搬送)熱量}[\text{MJ}]}{\int \text{ポンプの電力消費量}}$$

5. 4 空調機

空気の期間熱搬送効率(ATF)

$$= \frac{\int \text{冷温水製造(搬送)熱量}[\text{MJ/h}]}{\int \text{ファンの電力消費量}}$$

※ATFの分子は空気の熱量で計算することも可能である。

5. 5 FCU

空調機と同様に、ATFを調べる方法が考えられるが、改善要素は少ない。

5. 6 全熱交換器

期間熱交換効率(全熱)

$$= \frac{\int (\text{外気エンタルピー}[\text{kJ/kg}] - \text{給気エンタルピー}[\text{kJ/kg}])}{\int (\text{外気エンタルピー}[\text{kJ/kg}] - \text{還気エンタルピー}[\text{kJ/kg}])}$$

5. 7 氷蓄熱システム

熱源機器単体の期間成績係数は、5. 2を参照すること。

氷蓄熱槽の期間成績係数

$$= \frac{\int \text{冷温水製造熱量(2次側)}[\text{MJ/h}]}{\int \text{ブライン投入熱量}[\text{MJ/h}]}$$

参考文献

- ・「設備システムに関するエネルギー性能計測マニュアル」(2005年、社団法人 空気調和・衛生工学会)
- ・「BEMSの普及と活用促進に向けて」(2007年、社団法人 空気調和・衛生工学会)
- ・BEMS データ解析・活用マニュアル(財団法人 省エネルギーセンター)
- ・建築設備設計基準(平成21年版)