

トータルシステムダイアグラム(TSD)構築ツール
説明書・使用マニュアル
2019.3.14¹

環境システック中原研究処
中原信生

¹ 改訂履歴

- | | |
|----------------|------------|
| ・初版： | 2017.1.20 |
| ・暫定改良版： | 2018.10.25 |
| ・夏冬切替表示ほか暫定改良版 | 2019.3.14 |

夏冬切替表示ほか暫定改良版序文

本ツール開発時点から2年近くなって、習得コースの研修会の講義の中でデモをしてみようと、あらためて使ってみたところ、連結槽の槽数入力について、コメント表記してあるものの、回路数(単式か複式か)入力のみと言うのは誤解しやすいし、折角想定槽数が判っているのにその数字を入力できないのは不便だということに気付いて、開発者の山田一樹氏と相談して改良を試みた。それと同時に、二次側空調機器の図示法に開発者との若干の見解不一致があったのでこれを修正したこと、省略していたエアソース機器やボイラ等の補助熱源の図示を付け加えたこと、また、システム図の表示に関して季節モードを導入し、夏回路と冬回路を切替表示するようにしたことなど、少なからぬ修正を行うと共に、エラーメッセージを充実させることにした。但しこの暫定改良版ではエラーメッセージの充実は未完成のままであるため、矛盾した入力でも不完全なダイアグラムを出力することがあるので、入力条件の整合性については十分ご注意願う、とすることを了解願いたい。対応ツールは「トータルシステムダイアグラム(TSD)構築ツール No3.01(夏季冬季表示切替)」である。

それでも未だ不便なところがあるかもしれない。ユーザーからの要望があればセンターまで連絡いただきたい。

2019年3月14日

中原信生

序文

トータルシステムダイアグラム(TSD)の原線図は、筆者が名古屋大学在職時代の1990年前後に、蓄熱シミュレーションプログラム TESP-W (MS-DOS ベースで N88BASIC によってコーディングされたもの、ヒートポンプ・蓄熱センター所有の TESEP-W がその発展版である)を作成しながら、システムの基準化を目し、蓄熱システム基本ダイアグラム構築ツールとして作り上げようと発案したものであるが、目標であるカスタマイズツール化するにはソフトウェアも筆者のコーディング技術も極めて未熟でそれ以上に発展し得なかった。その後、三重大学相良和伸教授の研究室で *Illustrator* によって作図したものに作り換えて下さり、原線図としては以降これを利用することとなったが、カスタマイズツールへの発展はなかった。

筆者が1997年頃からヒートポンプ・蓄熱センターに呼ばれて水蓄熱システム技術の体系化と基準マニュアル作りに取り組み始めたのちも、常にこの原線図を引用しながらマニュアル作りや研修会の説明用に活用したが、ツールとしてはいつの日か完成する予定である、と述べるに留まらざるを得なかった。

そして2015年3月に至ってすべてのマニュアル体系化を終えたのであるが、最終段階において「水蓄熱システムの制御シーケンスに基づく機能性能試験(FPT)マニュアル」の作成にご協力くださった、東洋熱工業株式会社の山田一樹氏に相談したところ、業務の合間を縫ってカスタマイズツール化の作業に取り組んでくださることになり、漸く約2年半後の今日、Excelを用いてコーディングされたカスタマイズツールが完成した。作成に当たっては幾たびかの追加修正作業があり、業務ご多忙の中で根気良く付き合ってくださいました山田氏に深く感謝の意を表明する次第である。このツールを手軽に活用していただくために本マニュアルを記述したもので、システムの基本とバリエーションはセンターの水蓄熱システム技術マニュアルにほぼ完全に整合している積りである。ツールの利用段階はコミッションングプロセスに従えば、企画フェーズ計画段階から設計フェーズ基本設計段階の間であり、そこで構築した基本ダイアグラムに基づいて蓄熱式空調システムの詳細設計、仕様決定に展開して頂きたい。

終わりに、改めて協力くださった山田氏への謝辞を述べるとともに、ヒートポンプ・蓄熱センターに置かれては、蓄熱用語集、蓄熱技術基準運用マニュアル及び蓄熱不具合検知診断ツール(C/E表)とともに、このTSDカスタマイズツールを広く一般に活用できるようにホームページ上に公開されんことを望んで序文を締めくくる。

2017年1月20日

名古屋大学名誉教授・ヒートポンプ・蓄熱センター技術顧問
環境システック中原研究所代表 中原信生

1. 概要

特定プロジェクトの水蓄熱システムのダイアグラムを、標準ダイアグラムである TSD より要素選択して構築するカスタマイズツールである。ヒートポンプ・蓄熱センサーで集大成した水蓄熱システム技術基準に基づく標準設計手法に準拠したシステムダイアグラムを作成する。蓄熱システムはヒートソース/ヒートシンク、熱源、蓄熱槽、二次側システムについて、それぞれの結び付け方につき各種のバリエーションが考えられるが、技術基準に基づく最も普遍的で高効率なシステム性能を期待できる標準的なシステムを構築する。プロジェクトにおける利用段階は、企画段階から基本設計段階において、蓄熱システム構想をまとめ、企画・計画書、さらには基本設計仕様の作成段階に活用されるものであり、設計図書における図面としてはより明細に展開した図面を作成する必要があるが、設計仕様書、設計趣旨書、運転操作説明書等のスケルトン説明書用として活用できる。

2. シートの構成

(1) 原線図(トータル)シート

現場築造型アイスオンコイル型氷蓄熱槽を含め、標準蓄熱システムを構成するすべての要素が書き込まれたもので、トータルシステムダイアグラムの語源となるものである。図中に系内のサブシステムに対する制御システムを①～⑩と番号付けして書き込んである。

(2) 部品シート

原線図作成のための作図用部品である。構築されたシステムに部品・配管等を書き加えたりする時の要素部品として活用されたい。

(3) システム構成ツール(三方弁なし)シート

原線図は二次側空調機の三方弁制御(定流量)系を含む初期のダイアグラムであり、現今エネルギー効率が悪く、蓄熱システムの蓄熱槽効率を高めるときの障害要因であったこの方式はすべて二方弁制御変流量システムに置き換えが可能であり、そうすべきであるので、空調機側三方弁制御系を削除したもので、これを以下のカスタマイズのための原線図として使用する。エクセルのマクロ機能を用いているので、マクロ機能を生かさなくてはならない。

右半分の初期画面は上述の二方弁制御変流量系に絞った原線図であり、シートの左半分はカスタマイズ用の選択画面であり、この画面で選択し決定されたシステム条件の下に夏・冬の何れかを選択して決定ボタンを押すと、カスタマイズされたシステムダイアグラムが現れる。

(4) 制御内容シート 1～10

原線図に書き込まれた①～⑩と示された制御系の説明シートである。この番号は文献 1)の「水蓄熱システムの制御シーケンスに基づく機能性能試験(FPT)マニュアル」の説明とも整合させてあるので、制御設計、試運転調整や機能性能試験のための詳細情報は当該マニュアルを参照していただきたい。

なお、カスタマイズにより不要となった制御ループは消去され、制御シートも非表示となる。

3. カスタマイズ条件の選択肢

一次側熱源、蓄熱槽まわり、二次側空調機のバリエーションを決め、□マークにチェック(☑)を入れる(選ぶ)。

(1) 熱源系

蓄熱用ヒートポンプとヒートソース/ヒートシンクの種類を選択する。ヒートポンプ(冷凍機)は水冷熱(水熱源、**water source**)か空冷熱(空気熱源、**air source**)かのみを区分し、かつ単機の代表表示となっており、同一機種 of 複数設置、異機種 of 並列設置の場合も図上は区別されない。ただし、水冷機と空気熱源機の併用の場合は、空気熱源機の存在を明記するようになっている。さらに二次側循環回路内に熱源を設置する場合には、二次側に(単機として)図示される。これは蓄熱システムに悪影響を及ぼさないような配管組みを明示するためである。

熱源機(ヒートポンプ)

1) 水冷熱(水熱源)

ヒートポンプが水冷熱(**water source**、水熱源)であるときにチェックする。空冷熱であっても熱回収モードとして冷水を取り出すための水冷蒸発器を備えるときはこれを選ぶ必要がある。

2) 空冷熱(**air source**、空気熱源)

ヒートポンプが空冷熱であるときに選択する。ダイアグラム上、空冷熱が図示され、4管式で利用する場合や空冷熱の熱回収として利用する場合は、暖房側の配管が図示される。

3) 冷温水同時取出し可能型空冷熱

エアソースが基調であるが熱回収可能時に熱回収モードとして冷温水同時取り出しを可能とするための水冷蒸発器を備えるエアソースヒートポンプの場合はこれを選ぶ。そのとき、前項の空冷熱の選択は必ずしも必要はないが、「水冷熱」「熱回収機」「4管式(空調機、FCU等)」が選ばれていなければならない。

4) 蓄熱用補助温熱源 (ボイラー/ヒーター)

ボイラ(燃料系、電熱器など)・ヒータの類の蓄熱用補助温熱減の有無を選ぶ。これを選べば他の機械と並列となるように図示される。

ヒートソース/ヒートシンク

ヒートポンプ(冷凍機)で汲み上げた温熱の排出先であるヒートシンク、或いは採熱源であるヒートソースを選ぶ選択肢である。ただし空気(大気)熱源の場合は特に選択肢はなく、図示もされない。言い換えればヒートソース・ヒートシンクの指定がなく図にも表れないときは大気熱源ヒートポンプであることを示す。(空気・ガス等の廃熱がヒートソースであるときは別に特記する必要がある)

1) 熱回収機(冷温水同時取り出し)

ヒートポンプによる冷温水同時取り出しの熱回収システムの場合に選択する。「水冷式」が選ばれ、同時に二次側で「4 管式(空調機、ファンコイルユニットの何れかまたは双方)」が選ばれていなければならない。

(注：熱回収の場合、冷水槽がヒートソースに、温水槽がヒートシンクになるので選択肢としてここに分類された)

2) 冷却塔

水冷式システムで夏期のみ冷却塔が用いられるときに選択する。この場合、暖房の必要な場合は暖房用熱源として、①空冷熱ヒートポンプが併用されているか、②蓄熱用補助熱源としてボイラ/ヒータが選択されているか、或いは③二次側循環系に補助熱源(吸収冷温水機、温水用熱交換器など)が設置されているかであるので、システム上の整合性に留意して選択する。

3) 冷却・加熱塔(ヒーティングタワー)

水冷熱機で、冬季にエチレングリーコール等の不凍液を用いて大気より採熱をする場合に選ぶ。さらに補助熱源(ボイラ/ヒータ)が追加されれば文字が表示される。

4) 未利用エネルギー(冷却のみ利用)

ヒートシンクとしてのみ水系の未利用エネルギー(井水・河川水・海水など)を用いる場合。この場合暖房熱源としては 2)冷却塔の項で記述した注意事項が当てはまる。

5) 未利用エネルギー(熱源水として利用、冷温廃熱)

ヒートシンク/ヒートソースとして水系の未利用エネルギー(井水・河川水・海水など)を冷・暖房用に用いる場合。この場合も補助熱源が必要な場合は 2)冷却塔の項で記述した注意事項が当てはまる。

(2) 蓄熱システム

ここでは蓄熱水槽数と蓄熱槽の形式を選ぶ。

水槽表示と夏冬モードについて

システム図においては、蓄熱槽は一つの単独温度成層型あるいは一回路の直列連結槽列が1槽として描かれ、それが並列に設けられているものとする。また、負荷ピークは冷房期にあるものとし、槽容積、槽数は冷房ピーク負荷から決められるものと仮定する。

- ① 水槽の数：どの形式の水槽でも、単槽(unit tank)の数を夏季と冬季に対して入力する。図では冷水槽は青色で、温水槽は赤色で表示される。また、水槽の中には温度計測用のセンサーが適当な間隔で設置されるので、これをⒹで示した。実際の設置個数と配置は設計図による。
- ② 単独温度成層型蓄熱槽の場合は水槽の数と図示の槽数とが一致し、それを並列に設置することによって季節ごとの容量調節が可能となる。そこで夏季および冬季の冷水槽と温水槽の利用槽数の指定を行う。この場合、水槽図の上下方向は次項の直列連結槽のように「槽」ではなく水槽の上下方向の「層」として計測評価等に適用する。
- ③ 直列の連結槽すなわち連結完全混合槽または連結温度成層槽の場合は、実際の槽数とは別に、図上の1槽を直列に連結された複数槽の組み合わせと考え、これを1回路と呼ぶ。従って冷温水切替型「単式」蓄熱槽の場合は図上の槽数は一つで表現され、表記された数の上下方向に直列に連結する槽が並びピストンフロー特性を実現すると解釈する。従って、熱回収式に対応する「複式」蓄熱槽では2槽表示(2回路)となり、冬季には一つ(右側)が冷水槽列、もう一つ(左側)が温水槽列となる。即ち、直列連結槽の場合は並列されるのは冷水および温水の2槽(2回路)に限られ、実際の槽数は図上に表記される。冷水槽は青色で、温水槽は赤色で表示される。

なお、(直列)連結槽の場合、2回路は夏季には統合されて1回路となるが、統合法には直列統合と並列都合とがあり、並列統合の場合は、水量バランスのためにはほぼ同数の槽からなる2回路とするのが望ましい。直列統合の場合はこの限りではないが、統合時の全体の水位差に留意せねばならない。この点で容量比の自由度の高い並列温度成層型蓄熱槽と異なる。
- ④ 季節モード：ダイアグラムは夏季モードと冬季モードを選択できる。いずれの場合も、冷水配管系は図の右側に、温水配管系は図の左に配置して描かれる。これは各期に冷水系の存在、温水系の存在を明示するもので、複数空調系統のうち冷水系と温水系の区分、その夏冬の相違等は、空調設計図に明記されるべきものであって、この概念設計用のトータルシステムダイアグラムでは明示されない。
- ⑤ 夏季に温水系が必要になる場合は、美術館の収蔵庫のような、恒温恒湿室の空調制御のためである。温水槽の容量は再熱負荷を賄う夏季と、暖房負荷を含む冬とで異なる

ので、実際の回路構成、切替え、統合の方法については設計図によるものである。

- ⑥ 並列回路数は単独温度成層型で5槽以上は必要ないと思われるので、最大値を5としている。直列連結槽型すなわち連結完全混合槽型および連結温度成層型は冬季(除湿のために年間温水が必要な場合は年間を通して)に冷水槽列と温水槽列に並列配置されるのが最大であるので、図示は2槽(2回路)までに制限している。
- ⑦ 熱回収システムのように冷温水同時蓄熱の場合の水槽数は冷房最大負荷日、暖房最大負荷日、熱回収時の冷暖房合計最大負荷日の何れかの最大値に対応した数が合計数となる。ただし前述のとおり、直列連結槽では実槽数に関わらず、冷温水切替槽(単式)では1槽表示、冷温水同時蓄熱(複式)の場合は2槽表示となり、実際の槽数が回路水槽の中に記される。

水槽入力

1) 水槽数

最初に蓄熱槽の単槽の槽数を入力する。これが冷房あるいは暖房のいずれか大きいほうのピーク(日)負荷に対応する槽数、槽容量である。

次に夏季モードと冬季モードの冷水単槽と温水単槽の数を入力する。夏季の冷水槽数、冬季の温水槽数がそれぞれ冷房負荷及び暖房負荷のピークに対応する。冬季の全槽数が夏季の槽数より少ない場合はその差に相当する単槽は遊休槽となり、メンテナンスに対応できる。この遊休槽は点線で無色の槽として表示される。

2) 氷(アイスオンコイル)蓄熱槽

氷蓄熱に関しては現場築造型アイスオンコイル型氷蓄熱槽の場合のみ対応しており、図示の原則も上述の水蓄熱槽に準じる。この場合、低密度(低充填率)の氷蓄熱槽を念頭に置いており、氷解後は温度成層型(またはピストンフロー型)水蓄熱槽として利用できることを念頭に置いている。

3) 蓄熱槽形式

連結完全混合槽型、連結温度成層型、単独温度成層型(単一または並列)およびバランス温度成層型より選択する。選択した形式が「蓄熱槽型式」枠内に文字列として残される。

なお、直列連結槽すなわち連結完全混合槽型蓄熱槽と連結温度成層型蓄熱槽の槽数と回路数の図示上の違いについてコメントを付しているので参照されたい。

(3) 2次側システム

冷温水配管方式

TSD では、蓄熱システム最適化の観点から、すでに大きくファンコイルユニット (FCU)系と空調機(AHU)系とに括ってあり、いずれも二方弁制御変流(VWV)システム、FCU の場合はファンコントローラーとインターロックされた大温度差時確保弁の個別設置を前提としているので、ここでは FCU 系、AHU 系の存否を選択するに留まる。

蓄熱様式が複式の場合は冷温水同時送水が必要で4管式配管が対応し、冷温水の切り替えは負荷に対応して自動で行われる。バリエーションとして個別4管かゾーン4管か、1コイル方式か2コイル方式かがあるが、それは設計図で指定する。2管式の場合はオペレーターあるいはBEMSのプリセットによる季節切替となる。

- 1) 4管式 FCU、冷温水自動切替
該当するときにチェックする。
- 2) 2管式 FCU、冷温水季節切替
該当するときにチェックする。
- 3) 4管式 AHU、冷温水自動切替
該当するときにチェックする。
- 4) 2管式 AHU、冷温水季節切替
該当するときにチェックする

非蓄熱システムとの併用

蓄熱回路と併用して2次側循環回路に熱源機を設置する場合に選択する。2次側空調機器の変流量制御によって得られた大温度差を、非蓄熱熱源機の冷温水バイパス回路によって乱されることなく蓄熱槽還水に確実に戻されるように、配管接続法に特に注意が必要であることを明示している。

密閉・開放

蓄熱槽と2次側とが冷温水直送か熱交換器を介するかを選択する。

- 1) 2次側密閉式(熱交換器有り)

高層ビルの場合は省エネルギーと配管腐食保護の関連から密閉式配管とすべきであるので、ここにチェックを入れる。数階程度の低層ビルの場合は還水圧力調整と水質保全に留意すれば熱交換機なしの直送システムとすることが可能である。

2次ポンプ

1) ポンプ過熱防止制御

VWV システムに対応して実施する送水ポンプインバーター制御・台数制御の、極小負荷に対する最終段としてのバイパス逃し弁開放制御において、極低負荷時に水温が過熱したときの対処に関するものである。

- ① 蓄熱槽汲み上げポンプ(密閉方式の場合は熱交換器1次ポンプ)バイパスの行き先がポンプ吸込みの場合と蓄熱槽に還す場合がある。システム図では作図上の問題でポンプ吸い込み循環回路にしてあるが、一般的には蓄熱槽始端槽に還す。水量を絞りすぎて水温上昇が過大になったとき、冷水の場合はシステムに悪影響を及ぼすのでバイパス量を修正し、還水バイパス冷水温を送水限界温度以内に保つ必要がある。別の方法として極低負荷であるがゆえに冷温水送水の要求なしと判断してポンプを停止してもよい。いずれにするかは設計図に記述する必要がある。以上のような配慮を行うときはここにチェックを入れる。
- ② 熱交換機2次側送水ポンプの場合はポンプバイパス再循環とせざるを得ないが、極低負荷であるがゆえにポンプを停止するのが妥当であろう。

本項に関しては参考文献 1)2)および制御内容シート⑨を参照されたい。

また、全般的に制御内容詳細については参考文献 1)を参照されたい。設計仕様の書き方に関しては参考文献 2)、3)を参照されたい。

参考文献

- 1) 水蓄熱システムの制御シーケンスに基づく機能性能試験(FPT)マニュアル、ヒートポンプ・蓄熱センター、2015.3
- 2) 蓄熱システムの設計・制御(新版)、ヒートポンプ・蓄熱センター、2007.1
- 3) 蓄熱式空調システムの設計ハンドブック(東京版)、ヒートポンプ・蓄熱センター、2008.1