

BEST - P

**水蓄熱式空調設備操作
マニュアル**

2009 年 3 月

E . 水蓄熱式空調設備操作マニュアル

BEST-P

The BEST Program

第1章 はじめに.....	1
第2章 操作方法説明	2
2.1 入力前に準備すべき内容	2
2.1.1 建築側データの入力	2
2.1.2 二次側空調機器の内容決定と入力.....	2
2.1.3 水蓄熱式空調システムの設計	2
2.1.4 準備すべき項目	3
2.2 水蓄熱式空調システムの入力操作説明	4
2.2.1 テンプレートを使用しない入力方法	4
操作1) 還水ヘッダーの入力.....	5
操作2) 流量拡大の入力	7
操作3) 3方弁(蓄熱槽用/2次側)の入力.....	10
操作4) 蓄熱槽の入力.....	11
操作5) 3方弁(蓄熱槽用/熱源側)の入力.....	13
操作6) 熱源還りヘッダーの入力	14
操作7) 熱源ポンプの入力	15
操作8) 熱源の入力.....	16
操作9) 熱源送りヘッダーの入力	17
操作10) 2次側ポンプの入力.....	19
操作11) 流量縮小の入力	20
操作12) 送水ヘッダーの入力.....	21
操作13) 熱源制御の入力	22
操作14) 熱源台数制御の入力.....	23
操作15) P I D制御(2次側送水)の入力.....	25
操作16) P I D制御(熱源送水)の入力	26
操作17) 蓄熱コントローラーの入力.....	28
2.2.2 テンプレートを利用した入力方法	30
操作1) テンプレートの内容確認	31

操作 2) テンプレートの選択.....	32
操作 3) テンプレートの内容確認	33
操作 4) テンプレートの応用.....	34
2.3 本章のまとめ.....	34
第 3 章 サンプルデータの説明.....	35
3.1 サンプルデータのダウンロード読込	35
3.2 サンプルデータの内容	36
3.3 計算の実行.....	39
3.4 本章のまとめ.....	41
第 4 章 水蓄熱式空調システム設計における要点	42
4.1 手計算における設計手法	42
4.1.1 設計フロー	42
4.1.2 蓄熱槽タイプの仮決定	43
4.1.3 設計用冷暖房負荷の準備.....	43
4.1.4 熱源運転パターンの決定.....	43
4.1.5 熱源必要容量の決定	44
4.1.6 二次側利用温度差の決定.....	45
4.1.7 蓄熱槽効率の決定.....	45
4.1.8 必要な蓄熱槽容量の決定.....	49
4.1.9 BEST 入力データの決定.....	49
4.2 TESEP-W を用いた設計例.....	50
4.2.1 プログラムの起動	50
4.2.2 サンプルデータの内容	51
4.2.3 データの読込.....	52
4.2.4 入力データの確認	54
4.2.5 計算の実行.....	64
4.2.6 計算の実行.....	66
4.2.7 槽容量調整 (手入力)	68
4.2.8 結果の出力.....	69
4.2.9 結果の表示.....	70
4.2.10 設計の終了	74
4.3 水蓄熱式空調システム設計要点のまとめ.....	74
第 5 章 水蓄熱式空調システム蓄熱槽水温計算理論概要..	75
5.1 連結完全混合槽型蓄熱槽水温計算手法	75
5.2 単槽および連結槽の温度成層型蓄熱槽	85

第1章 はじめに

BEST プログラムは、空調システムのみならず、建築、電気設備、衛生設備までも計算可能な、建物の総合的な検討ツールである。

水蓄熱式空調システムは、空調熱源方式の一種であるが、設計方法や運用方法については、他の熱源方式とは異なる部分もある。よって、BEST プログラムの使用においても、入力や設定方法については注意が必要となる。

以上のことから、BEST プログラムの水蓄熱式空調システムに関する内容を中心にまとめたマニュアルを作成することになった。本マニュアルを有効に活用し、正しい考えで設計された水蓄熱式空調システムが、BEST プログラムで検討されることを望んでいる。

なお、本マニュアルは、水蓄熱式空調システムに関わる内容についてのみ記述したものであるが、システムの計算には当然、建築側の入力、空調機の入力、必要に応じて衛生、電気関係の入力も必要となる。これらの入力方法や内容については、別途用意された各マニュアルを参照していただきたい。本マニュアルの構成は以下のようになっている。

第1章 はじめに

本マニュアルの内容と利用方法の説明を行っている。

第2章 操作方法説明

基本的な操作方法について説明している。入力すべき数値の意味については、簡単な説明は示しているが、詳細な内容については第4章以降を参照願いたい。

第3章 入力例

サンプルデータの内容について示している。第2章と合わせて、入力作業を行う上での参考としていただきたい。

第4章 水蓄熱式空調システムにおける設計の要点

既存のシステムを入力する場合は問題ないが、新たに設計を行う場合には、この章の記述されている内容、および参考文献を参照し、正しい設計をされることを願いたい。また、既存システムの入力においても、そのシステムの良否を判断する上でも、この章の内容は理解していただきたい。

第5章 水蓄熱システム計算理論概要

プログラム内で行われている計算処理の概要について示している。理論的な内容に興味のある方は、参考にしていただきたい。更に詳細な理論的内容については、紹介している参考文献を参照いただきたい。

以上のような構成となっているので、水蓄熱式空調システムの設計経験が無い場合には、最初に第4章の内容を十分に理解してからプログラムを操作していただきたい。設計経験が豊富、あるいは十分に検討が行われた設計物件の入力を行う場合には、第2章や第3章を参考にして入力作業を進めてもらえば良い。

第2章 操作方法説明

2.1 入力前に準備すべき内容

他の熱源システムにおいても同様なことが言えるが、実際に BEST プログラムを起動させて入力作業を行う前に準備しておく事項がある。ここでは、水蓄熱式空調システムの入力を行う上で準備すべき内容を説明する。

2.1.1 建築側データの入力

空調システムを考える上では、まず建物の空調熱負荷が必要となる。水蓄熱式空調システムの検討を行う上で、建築側データ入力における注意点は特には無い。しかし、算出された空調負荷については十分に検討し、蓄熱システムに適する負荷なのか、冷房と暖房の切り替え時期はいつにするのか、二次側は二管式、四管式等どのようなシステムにするのか等、蓄熱システムに限ったことではないが、各種検討をお願いしたい。また、設計用の冷房、暖房最大負荷日の時間別空調負荷は抽出しておくことが必要。

2.1.2 二次側空調機器の内容決定と入力

水蓄熱式空調システムは、熱源側のみで考えれば良いのではなく、二次側も含めた検討を行わないと、高効率なシステムは実現しない。よって、二次側空調機器の内容決定を行う段階で、水蓄熱式空調システムを意識した設計を実施する必要がある。具体的には、以下の項目について検討する。各項目の詳細な検討方法などについては、第4章に詳述してあるので、参照願いたい。

二次側の流量制御

蓄熱システムの場合は、全て変流量制御とするのが理想であり、定流量系の割合が大きくなると効率の低下を招く原因となる。

二次側温度設定

蓄熱槽の槽容量の低減のためには、二次側の利用温度差の拡大が有効である。通常の空調の 5deg に拘らず、10deg 以上の設計を行うことを推奨する。但し、その場合は大温度差に対応した空調機の選定が必要となる。

二次側送水温度の設定

蓄熱システムの場合は、蓄熱槽の水温が二次側送水温度に与える影響が大きい。そのため、二次側送水限界温度としては、熱源の出口水温よりも 1~2 程度高め(冷房時)の設定とすると良い。

2.1.3 水蓄熱式空調システムの設計

BEST プログラムにおいて、水蓄熱式空調システムの入力を行う場合に、他の熱源システムと比べて特別に入力する項目は、蓄熱槽の容量や槽数等であり、決して多くは無い。しかし、前述のように蓄熱槽自体の決定においても、システム全体として計画されないと非効率なシステムとなってしまう。第4章に水蓄熱システムの設計の要点が示されているので、その内容と参考文献などを基にして、正しい設計を行っていただきたい。

2.1.4 準備すべき項目

上記の内容をまとめ、プログラム起動前に準備すべき必要な項目を以下に示す。
建築側の入力と計算が終了し、算出された空調負荷に対して十分な検討が終わっていること。

算出された空調負荷を基に、水蓄熱システムの設計を行い、以下の項目が決定されていること。

< 二次側空調機 >

- ・ 入口、出口水温設定
- ・ 流量制御（二方弁による変流量、三方弁による定流量など）

< 二次側ポンプ >

- ・ ポンプ流量などの仕様
- ・ 流量制御方法

< 熱源 >

- ・ 使用機種、台数
- ・ 熱源の出入口水温
- ・ 熱源の入口水温制御手法
- ・ 熱源の運転可能時間

< 蓄熱槽 >

- ・ 種類（連結完全混合槽、温度成層型）
- ・ 1 槽の容量と槽数
- ・ 温度成層型蓄熱槽の場合は、流入出寸法
- ・ 蓄熱槽壁体の平均熱通過率（ $W/m^2 K$ ）

以上のものが全て用意出来てから、次節の操作説明に従い入力作業を進める。

2.2 水蓄熱式空調システムの入力操作説明

ここでの操作説明は、空調機の入力まで完了していることを想定し、それ以降の操作方法に関して説明を行う。建物側および空調機の入力操作については、別途の各マニュアルを参照いただきたい。

2.2.1 テンプレートを使用しない入力方法

BEST プログラムには、入力作業の労力を軽減するために、テンプレート機能と言うものが用意されている。しかしながら、よりシステムの自由度を求めるためには、各モジュールを選択し構築する必要がある。よって、本マニュアルでは、先にテンプレートを使用しない入力方法について説明し、次項でテンプレートを使用した入力方法について説明を行う。ここでは、図 2.1 に示すシステムについて入力する手順について説明を行う。

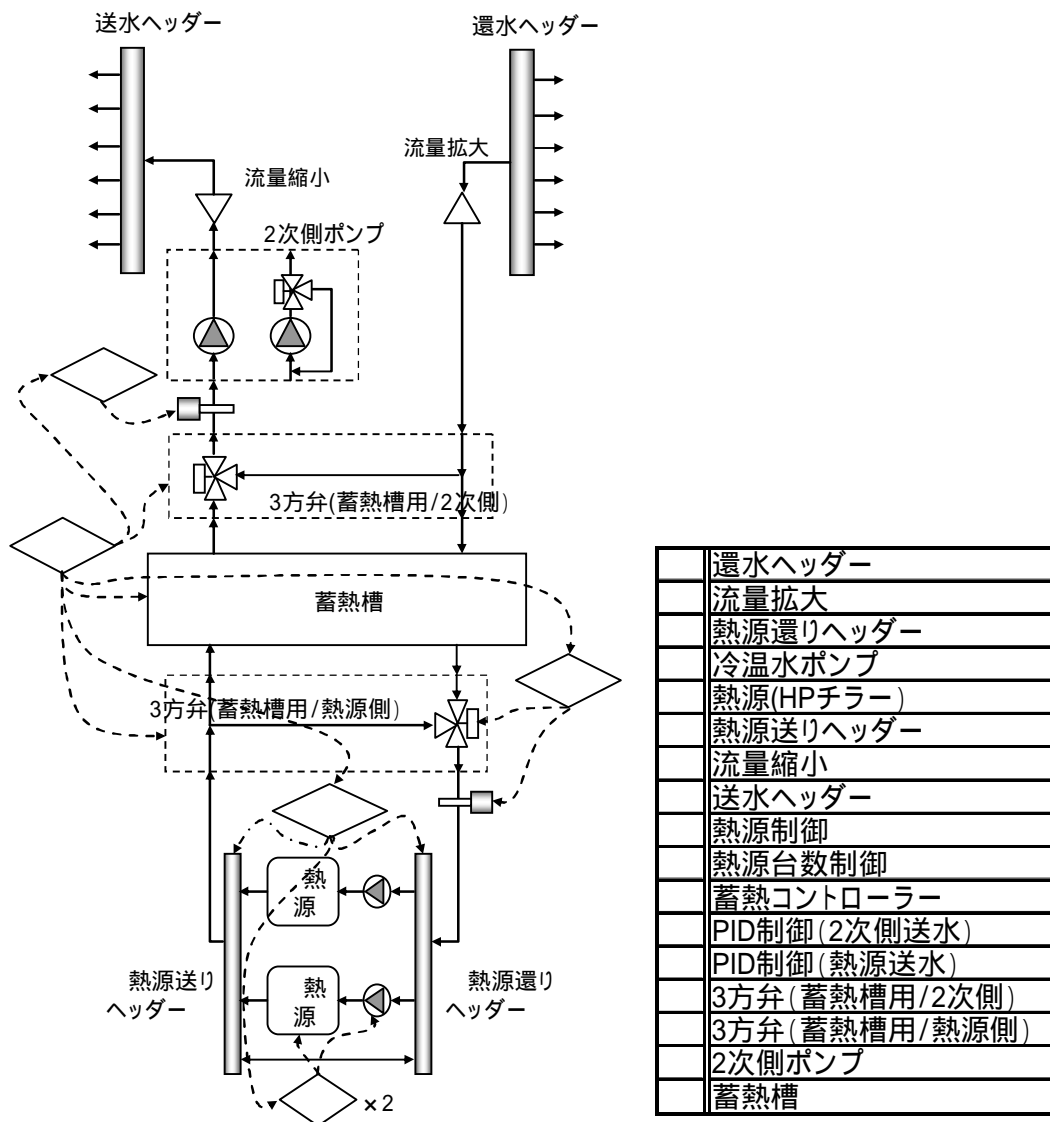
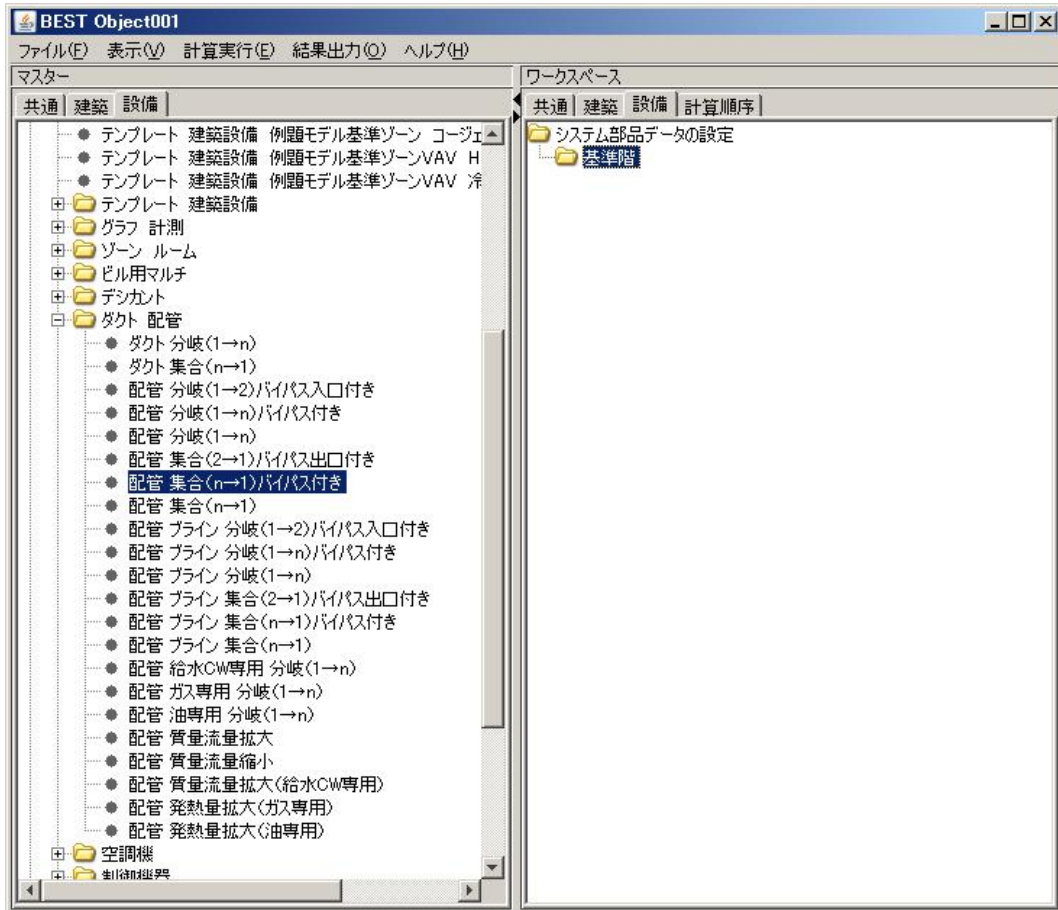


図 2.1 水蓄熱システムとモジュール構成

操作 1) 還水ヘッダーの入力

手順 : 還水ヘッダーは、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 集合(n-1)バイパス付き」
を利用する。画面 1 において、この文字の部分ダブルクリックすると、設定画
面が表示される。



画面 1 メイン画面における還水ヘッダーの選択

手順 : 画面 2 が表示されるので、名称、入口接続ノード数、ヘッダー出口最大流量を必
要に応じて変更する。



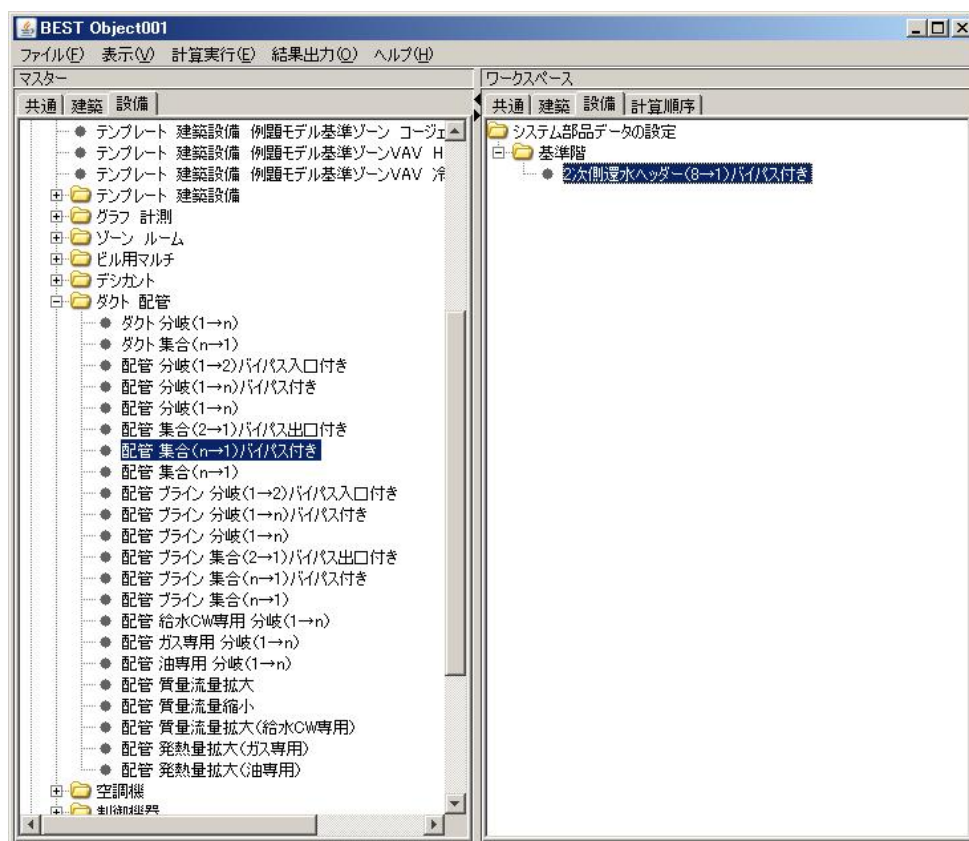
画面 2 還水ヘッダー設定画面

手順 : 名称および最大流量を変更した画面が、画面 3 である。この状態で「了解」をクリックする。この時に画面 1 でワークスペースの基準階の文字が反転している必要がある。



画面 3 還水ヘッダー入力完了画面

手順 : 画面 3 で「了解」をクリックすると、画面 4 のようにワークスペースに登録したモジュールが表示される。

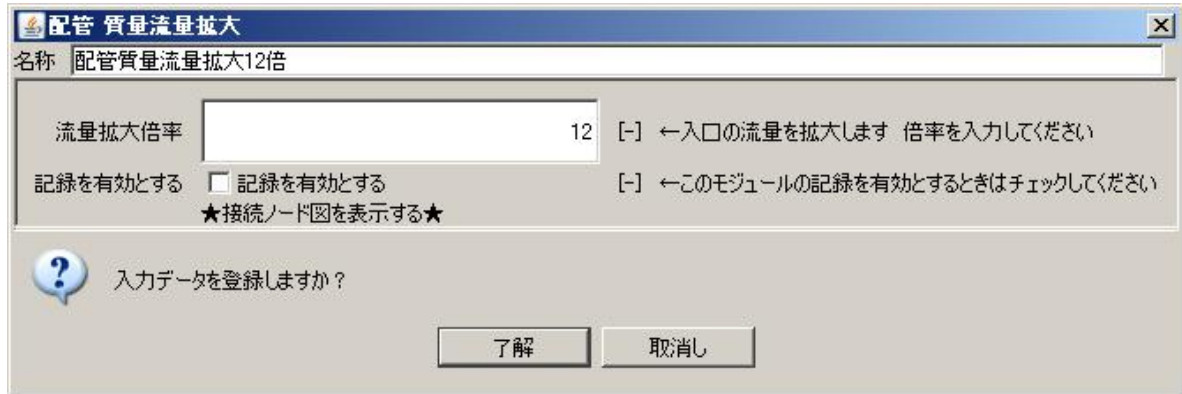


画面 4 2次側還水ヘッダー登録後のメイン画面

操作 2) 流量拡大の入力

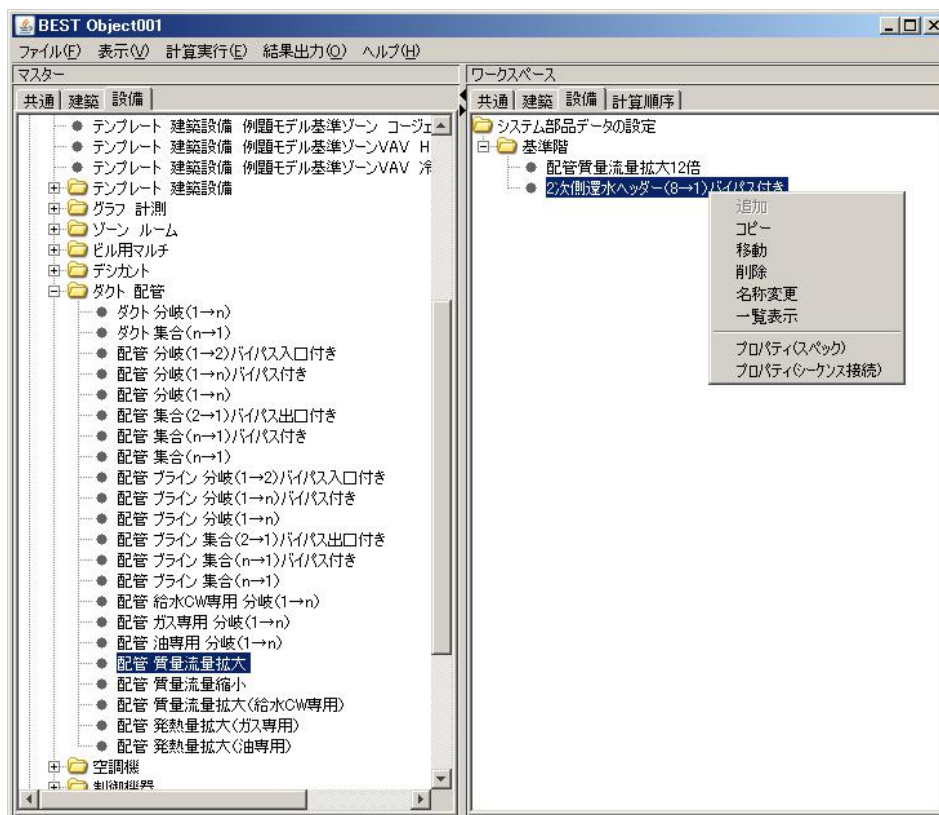
手順 : 流量拡大は、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 質量流量拡大」を利用する。

画面 5 が設定画面である。必要に応じて名称や流量拡大倍率を設定後、了解をクリックする。



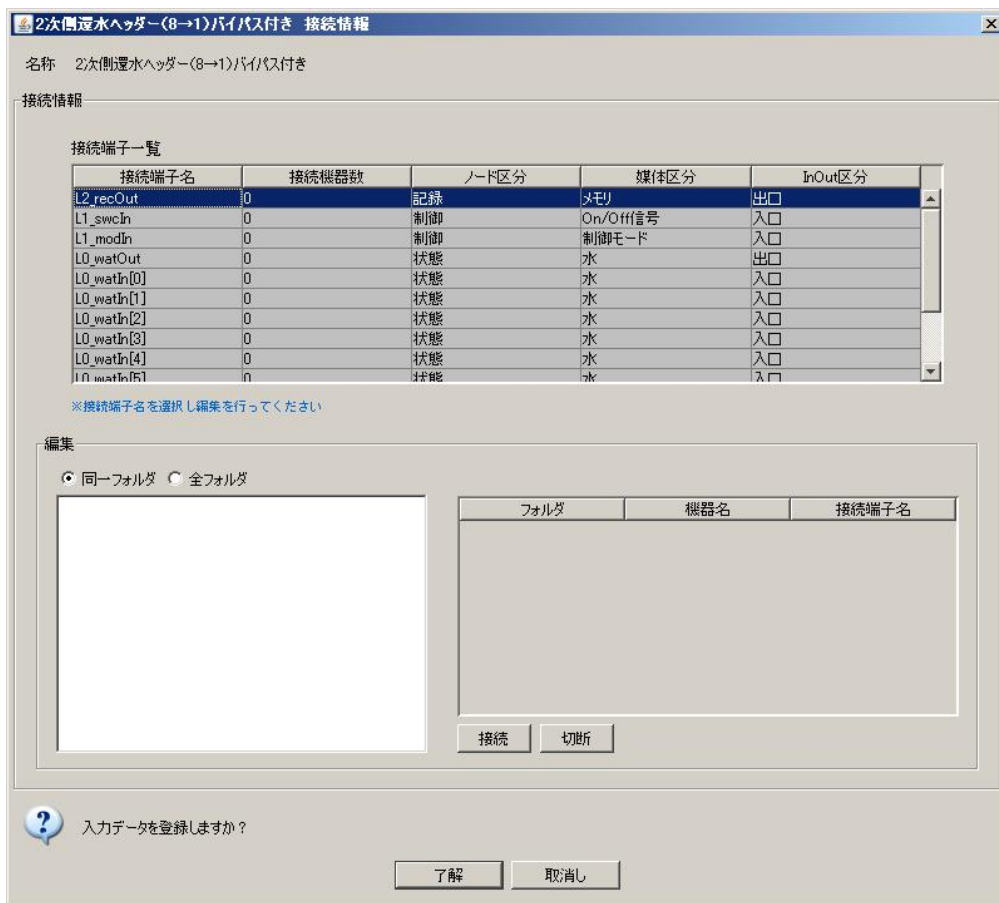
画面 5 質量流量拡大画面

手順 : 次に 2 次側還水ヘッダーと流量拡大の接続について説明する。画面 6 において、2 次側還水ヘッダー選択状態で、右クリックをすると画面 6 のようにメニューが表示される。この中のプロパティ (シーケンス接続) を選択する。



画面 6 接続開始画面

手順 : 接続としては、2 次側還水ヘッダーの水の出口が、流量拡大の入口に接続することになる。よって、接続端子一覧から L0_watOut を選択する。選択と同時に画面 8 のように、画面下部の編集内に接続候補が表示される。ここでは、配管流量拡大 12 倍の L0_watIn が表示されており、これが目的のものとなるので、選択状態で接続をクリックする。

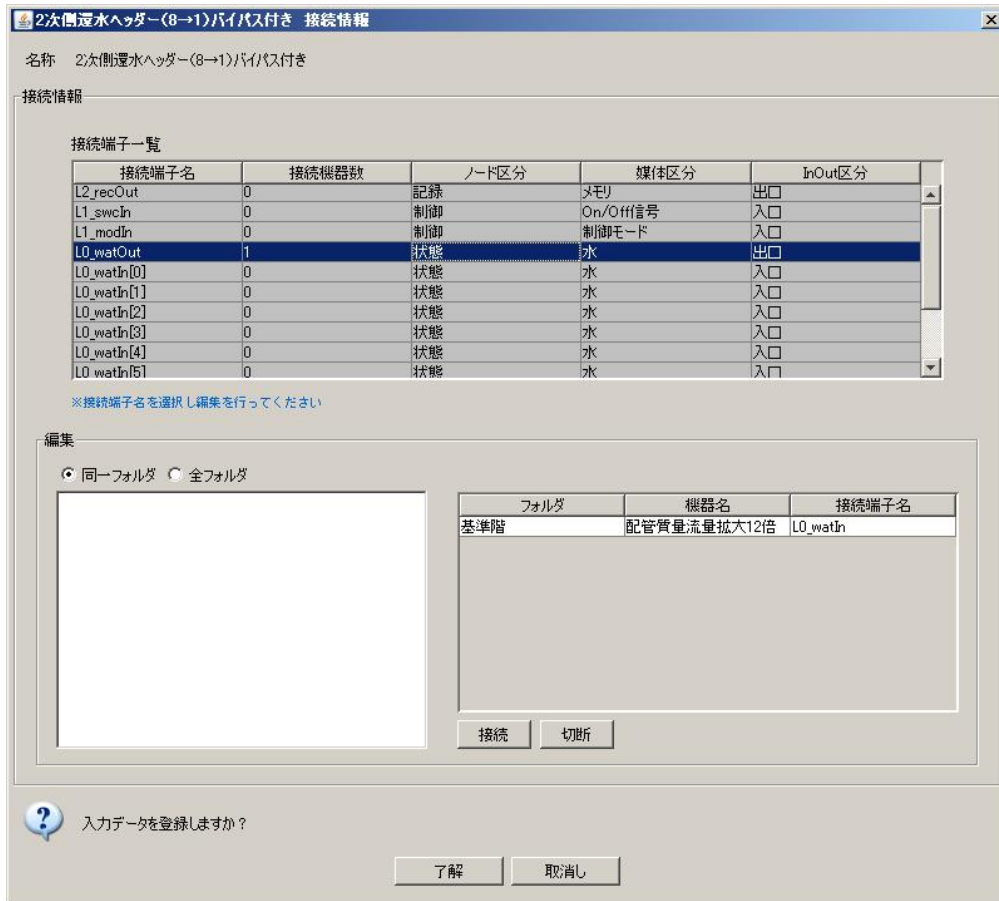


画面 7 接続設定画面



画面 8 接続先表示画面

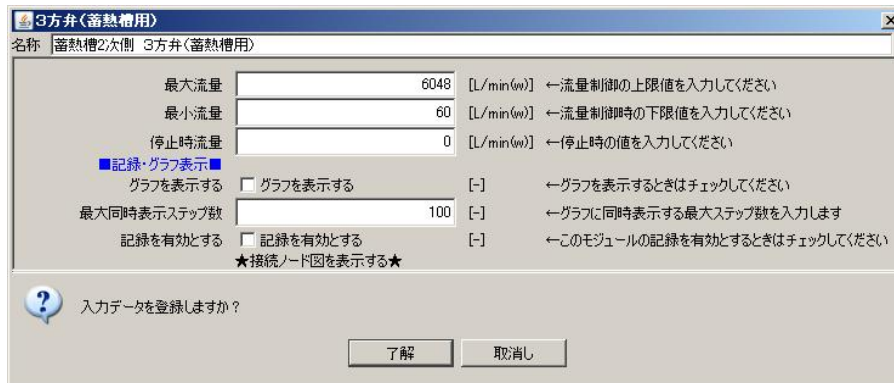
手順 : 画面 8 で接続をクリックすると、画面 9 の表示になる。画面上部には接続機器数が表示され、下部には接続先のフォルダ、機器名、接続端子名が表示される。ここでは、表示されていないが、L0_watIn〔0〕～〔7〕には空調機側からの出口が接続されている必要がある。



画面 9 接続完了後の画面

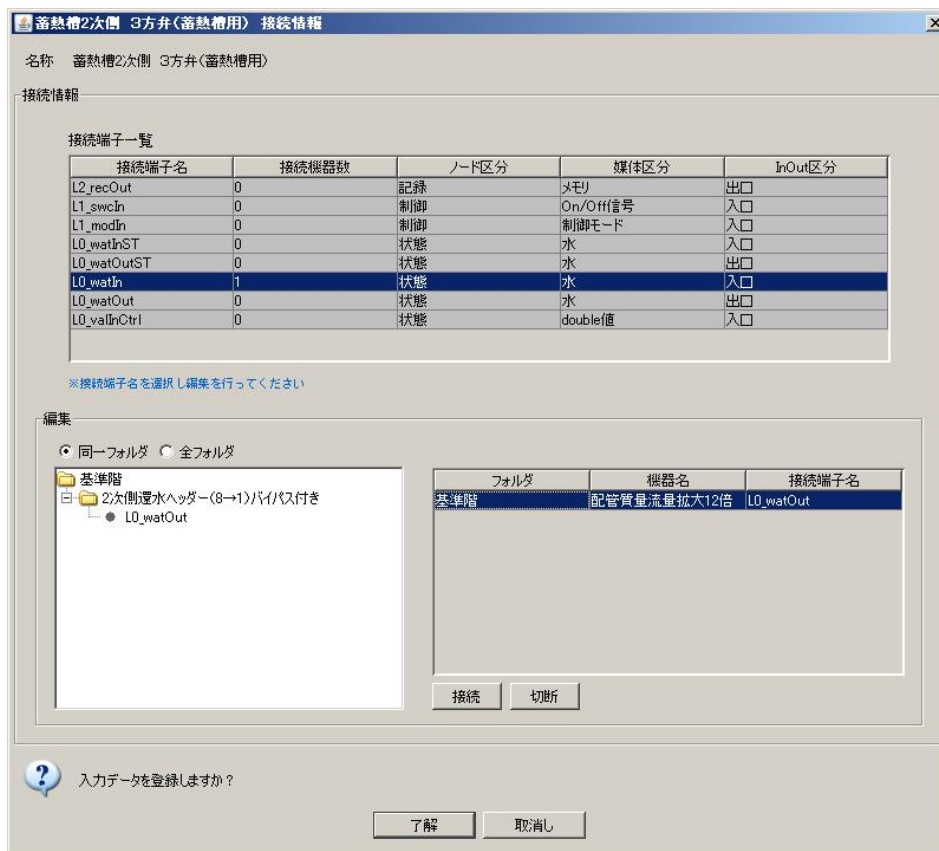
操作 3) 3 方弁 (蓄熱槽用 / 2 次側) の入力

手順 : 蓄熱槽用 3 方弁は、「蓄熱システム」のフォルダ内の「3 方弁 蓄熱槽用」を利用する。画面 10 が名称など変更後の画面である。



画面 10 蓄熱槽用 3 方弁設定画面

手順 : 図 2.1 から分かるように、流量拡大から三方弁の入口に接続されている。なお、この三方弁には二箇所出入口がある。画面 11 に示すように接続端子の最後に ST の表記があるものが蓄熱槽側である。よって、ここでは ST の付いていない L0_watIn と流量拡大の L0_watOut と接続することになる。



画面 11 三方弁と流量拡大接続完了画面

操作 4) 蓄熱槽の入力

手順 : 蓄熱槽は、「蓄熱システム」のフォルダ内の「水蓄熱槽(連結完全混合、温度成層)」を利用する。画面 12 は、名称などを変更した後の画面である。各入力値については、以下に示す用語解説と関連する第 3 章の内容を十分に検討して決定する。

項目	値	単位	備考
蓄熱槽タイプ	0_連結完全混合槽型	[-]	←「2_温度成層(連結槽)型」は開発中です
蓄熱槽本体の水容積	900	[m3]	
蓄熱槽本体の分割数	20	[-]	
蓄熱槽水深	2	[m]	
上部接続バッファ槽水容積	5	[m3]	
下部接続バッファ槽水容積	5	[m3]	
初期水温-上部接続バッファ槽	10	[°C]	
初期水温-下部接続バッファ槽	10	[°C]	
流入口の形状	0_円管	[-]	
流入口の面積	1	[m2]	
流入口の直径あるいは高さ	0.3	[m]	
設置空間への熱損失を計算する	<input checked="" type="checkbox"/>	[-]	
熱透過率	1	[W/(m2K)]	
グラフを表示する	<input checked="" type="checkbox"/>	[-]	←グラフを表示するときはチェックしてください
記録を有効とする	<input checked="" type="checkbox"/>	[-]	←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください
★接続ノード図を表示する★			

画面 12 水蓄熱槽設定画面

< 各用語に関する解説 >

蓄熱槽タイプ

連結完全混合型と単一温度成層型から選択できる。第 4 章の内容を参考に、建築側の条件も勘案して決定する。

蓄熱槽本体の容積

蓄熱槽全体の総容積である。第 4 章の内容を参考に設計された必要な蓄熱槽容量を入力する。

蓄熱槽本体の分割数

連結完全混合槽であれば槽数を入力。単一温度成層の場合は、温度を出力する分割数を入力する。

蓄熱槽水深

蓄熱槽の深さを入力する。但し、計算に影響するのは、温度成層型の場合のみであり、連結完全混合槽型選択時は計算への影響は無い。

バッファ槽

バッファ槽は、熱源、2 次側からの流入出水を蓄熱槽投入出前に、完全混合させるための槽である。0m3 の設定にすることは出来ないの、最小でも 5m3 程度の数値を入力する。

蓄熱槽本体への流入口

この数値も温度成層型の計算のみに影響を及ぼす。温度成層型の場合は、この数値の設定で槽内の性状が大きく変化するので、第4章の内容を十分に検討して値を決定する必要がある。

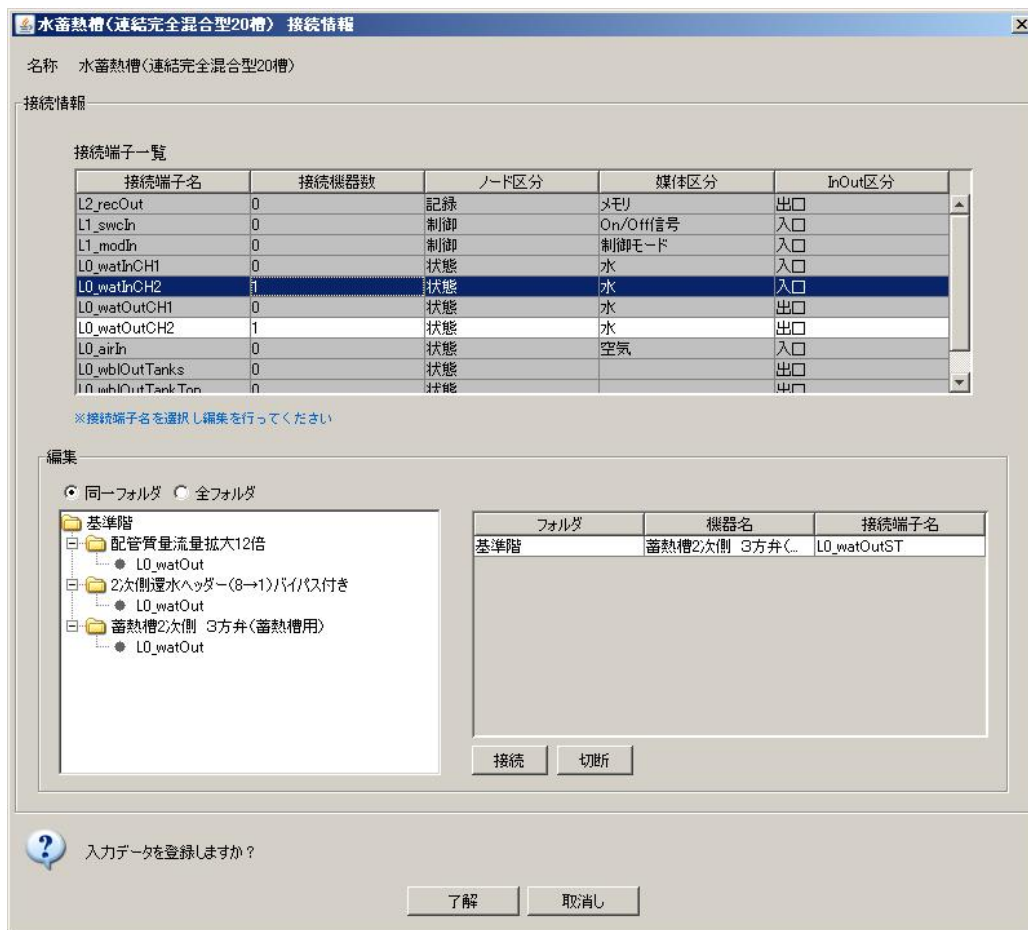
蓄熱槽からの熱損失

蓄熱槽は、壁体から土壌、室内などへの熱損失が生じる。その計算の有無と、熱通過率を設定する。熱通過率については、蓄熱槽の断熱などを考慮して決定する。

記録・グラフ

グラフを表示するにチェックを入れると、槽内水温プロフィールが計算中に表示される。記録を有効にするにチェックを入れると、槽内水温データが記録される。

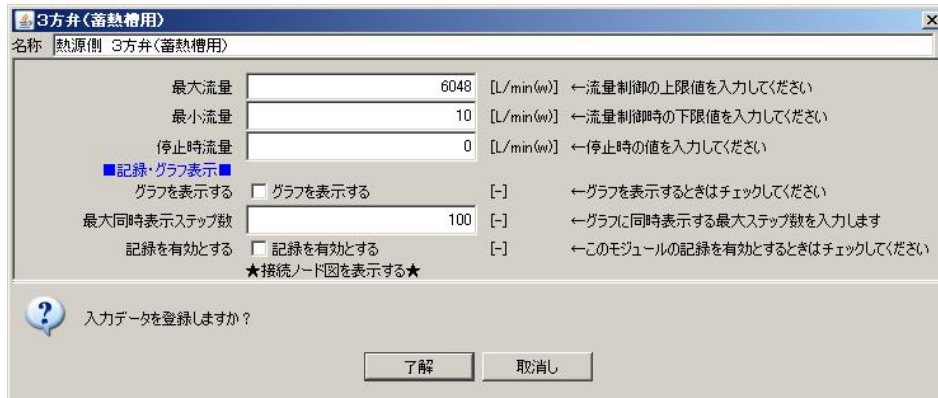
手順 : 蓄熱槽の接続を行う。この段階で接続できるのは、3 方弁（蓄熱槽用 / 2 次側）のみである。L0_watInCH2 が水蓄熱槽の 2 次側入力であるので、これと接続されるのは、蓄熱槽 2 次側 3 方弁の L0_watOutST である。同様に L0_watOutCH2 は、蓄熱槽 2 次側 3 方弁の L0_watInST と接続される。



画面 13 蓄熱槽と 2 次側三方弁の接続画面

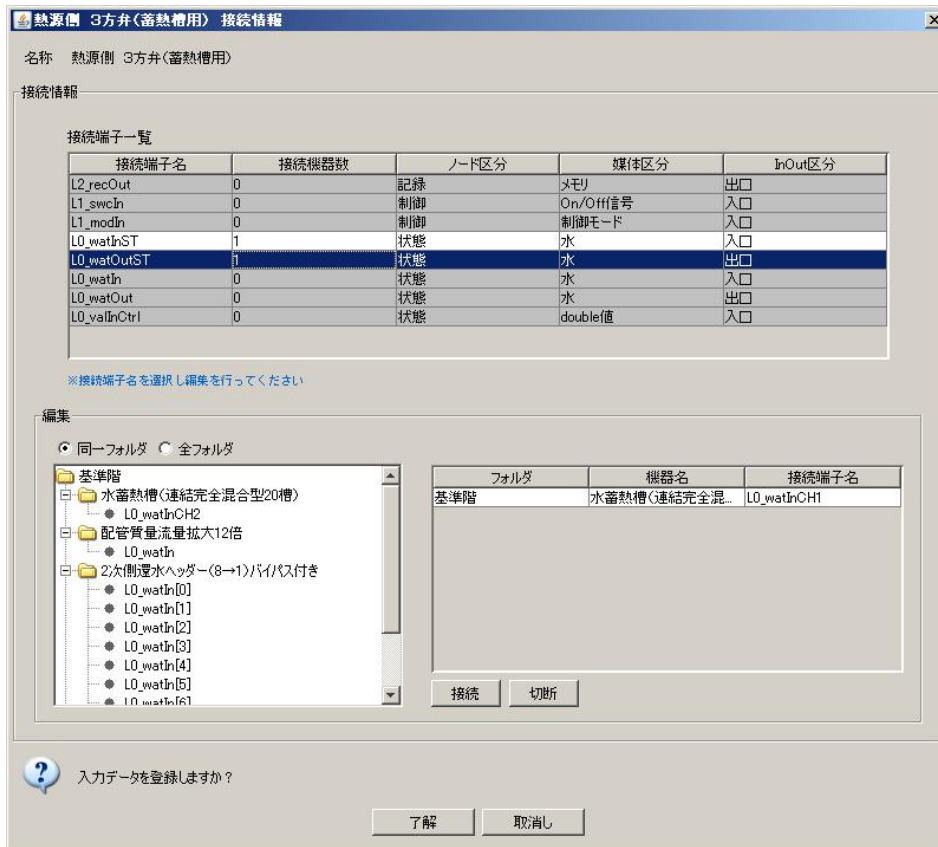
操作 5) 3 方弁 (蓄熱槽用 / 熱源側) の入力

手順 : 蓄熱槽用 3 方弁は、「蓄熱システム」のフォルダ内の「3 方弁 蓄熱槽用」を利用する。画面 14 が名称など変更後の画面である。



画面 14 蓄熱槽用 3 方弁設定画面

手順 : この時点で接続できるものは、蓄熱槽である。L0_watInST が蓄熱槽からの入力となるので、蓄熱槽の L0_watOutCH1 と接続し、L0_watOutST が蓄熱槽への出口になるので、L0_watInCH1 と接続される。



画面 15 熱源側三方弁と蓄熱槽の接続画面

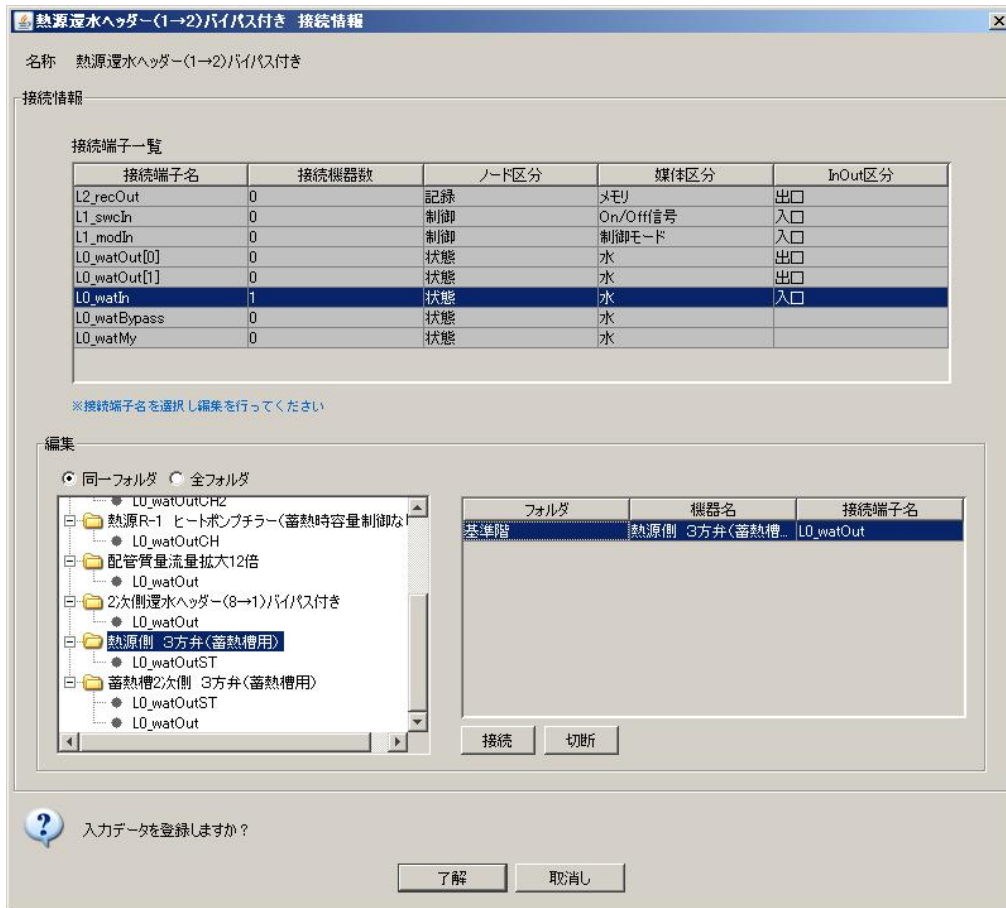
操作 6) 熱源還りヘッダーの入力

手順 : 熱源還りヘッダーは、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 分岐(1→n)バイパス付き」を利用する。画面 16 が、名称など変更後の設定画面である。



画面 16 熱源還りヘッダー設定画面

手順 : 熱源還りヘッダーとの接続は、3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) となる。熱源還りヘッダーの入口である L0_watIn と、3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) の蓄熱槽側ではない出口である L0_watOut を接続する。



画面 17 熱源還水ヘッダーと 3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) 接続画面

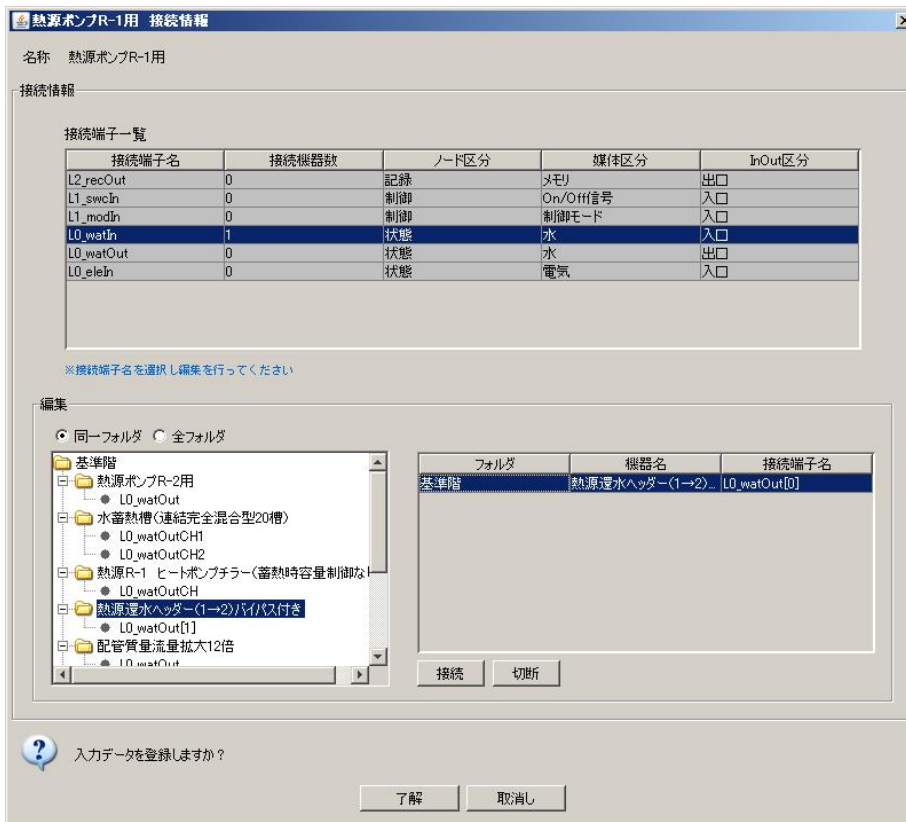
操作 7) 熱源ポンプの入力

手順 : 熱源ポンプは、「搬送機器」のフォルダ内の「ポンプ」を利用する。画面 18 が名称など変更後の設定画面である。図 2.1 で示したように、ポンプは 2 台であるので、2 つのポンプを登録する。



画面 18 熱源ポンプ設定画面

手順 : 熱源ポンプは熱源還りヘッダーと接続する。熱源ポンプの入口である L0_watIn と熱源還りヘッダーの出口の一つである L0_watOut [0] とを接続する。R-2 用のポンプは、L0_watOut [1] と接続する。



画面 19 熱源ポンプ R-1 と熱源還りヘッダーの接続画面

操作 8) 熱源の入力

手順 : 熱源は、「熱源機器」のフォルダ内の「熱源 ヒートポンプチャラ(蓄熱時容量制御なし)」を利用する。画面 20 が名称など変更後の設定画面である。熱源も 2 台あるので、2 台分の登録を行う。

熱源 R-1 ヒートポンプチャラ(蓄熱時容量制御なし)

名称: 熱源R-1 ヒートポンプチャラ(蓄熱時容量制御なし)

■ 定格能力 ■
 定格冷却能力: 530 [kW]
 定格加熱能力: 530 [kW]

■ 冷温水 ■
 冷水出口水温設定値: 7 [°C]
 温水出口水温設定値: 45 [°C]
 定格冷水量: 1518 [L/min(w)]
 定格温水量: 1518 [L/min(w)]

■ 電気 ■
 定格消費電力冷却時: 151 [kW]
 定格消費電力加熱時: 177 [kW]
 相数: 3 [-]
 電圧: 200 [V]
 周波数: 50 [Hz]
 力率: 0.8 [-]

■ 記録・グラフ表示 ■
 グラフを表示する: グラフを表示する [-] ←グラフを表示するときはチェックしてください
 最大同時表示ステップ数: 100 [-] ←グラフに同時表示する最大ステップ数を入力します
 記録を有効とする: 記録を有効とする [-] ←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください

★接続ノード図を表示する★

? 入力データを登録しますか?
 了解 取消し

画面 20 熱源設定画面

手順 : 熱源は熱源ポンプと接続する。熱源の入口である L0_watInCH と熱源ポンプの出口である L0_watOut と接続する。R-2 についても同様に接続する。

熱源 R-1 ヒートポンプチャラ(蓄熱時容量制御なし) 接続情報

名称: 熱源R-1 ヒートポンプチャラ(蓄熱時容量制御なし)

接続情報

接続端子一覧

接続端子名	接続機器数	ノード区分	媒体区分	InOut区分
L2_recOut	0	記録	メモリ	出口
L1_swcln	0	制御	On/Off信号	入口
L1_modln	0	制御	制御モード	入口
L0_watInCH	1	状態	水	入口
L0_watOutCH	0	状態	水	出口
L0_airIn	0	状態	空気	入口
L0_airOut	0	状態	空気	出口
L0_eleIn	0	状態	電気	入口
L0_rateOpeln	0	状態		

※接続端子名を選択し編集を行ってください

編集

同一フォルダ 全フォルダ

- 基準階
 - 熱源ポンプR-2用
 - L0_watOut
 - 水蓄熱槽(連結完全混合型20槽)
 - L0_watOutCH1
 - L0_watOutCH2
 - 熱源還水ヘッダー(1→2)バイパス付き
 - L0_watOut[0]
 - L0_watOut[1]
 - 配管質量流量拡大12倍
 - L0_watOut
 - 2次側還水ヘッダー(8→1)バイパス付き
 - L0_watOut

フォルダ	機器名	接続端子名
基準階	熱源ポンプR-1用	L0_watOut

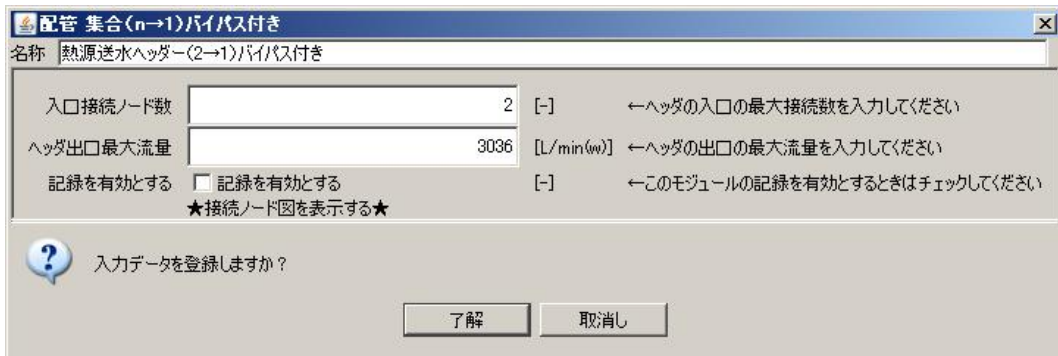
接続 切断

? 入力データを登録しますか?
 了解 取消し

画面 21 熱源と熱源ポンプの接続画面

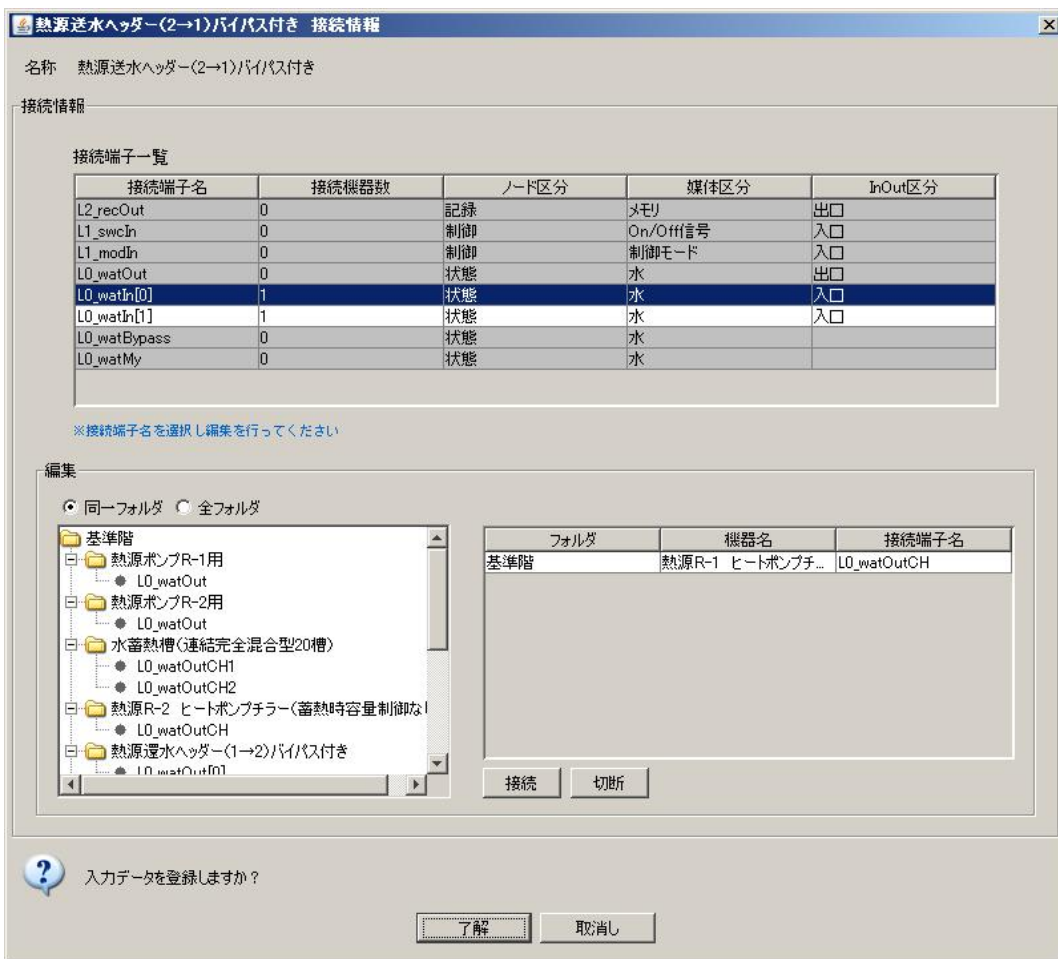
操作 9) 熱源送りヘッダーの入力

手順 : 熱源送りヘッダーは、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 集合(n-1)バイパス付き」を利用する。画面 22 が、名称など変更後の設定画面である。



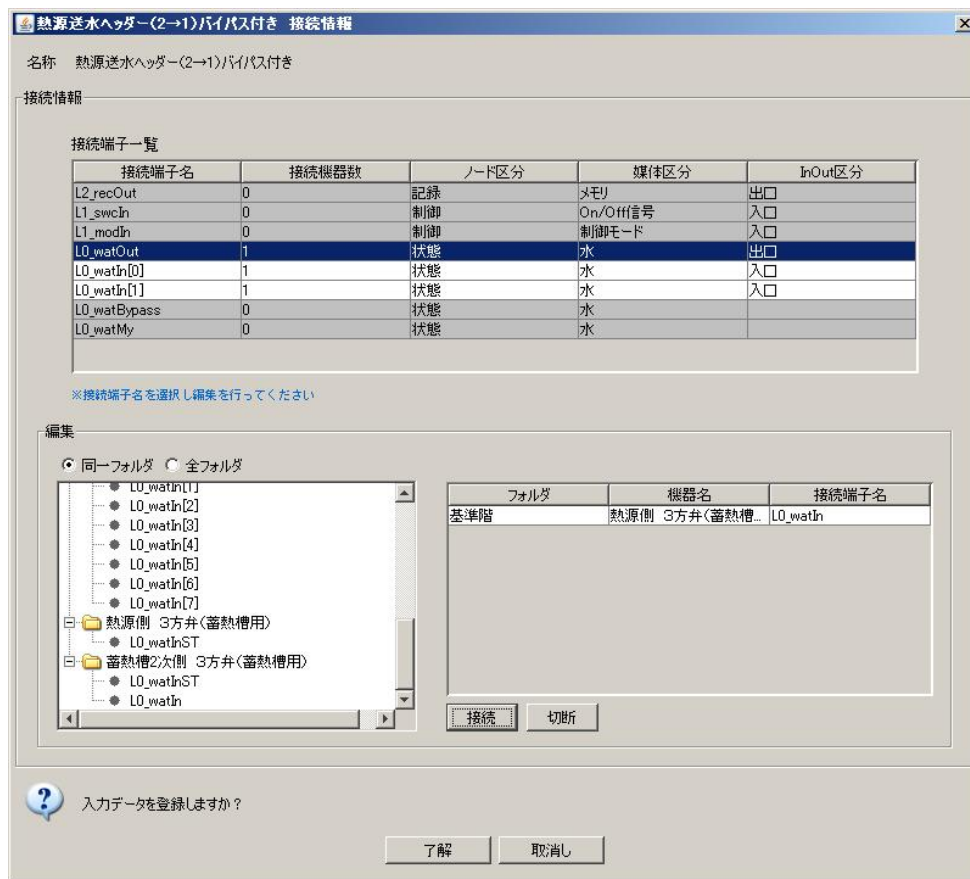
画面 22 熱源送水ヘッダー設定画面

手順 : 熱源送水ヘッダーには 2 つの入口があるので、それぞれを熱源の出口と接続する。熱源送水ヘッダーの L0_watIn[0] と熱源 R-1 の L0_watOutCH、L0_watIn[1] と熱源 R-2 の L0_watOutCH を接続する。



画面 23 熱源送水ヘッダーと熱源の接続

手順 : 熱源送水ヘッダーの出口は、3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) に接続される。3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) は既に登録済みであるので、接続が可能となる。画面 24 が接続画面であり、熱源送水ヘッダーの L0_watOut が 3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) の L0_wat_In に接続される。



画面 24 熱源送水ヘッダーと 3 方弁 (蓄熱槽用/熱源側) の接続画面

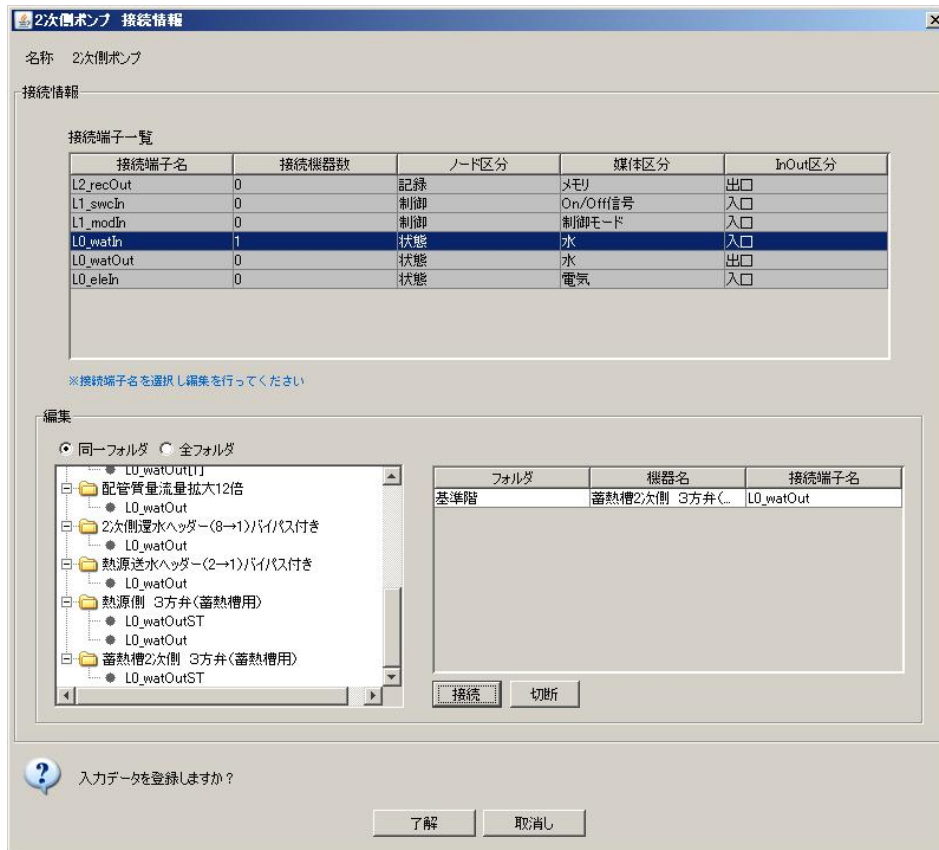
操作 10) 2 次側ポンプの入力

手順 : 2 次側ポンプは、「搬送機器」のフォルダ内の「ポンプ」を利用する。画面 25 が名称など変更後の設定画面である。



画面 25 2 次側ポンプ設定画面

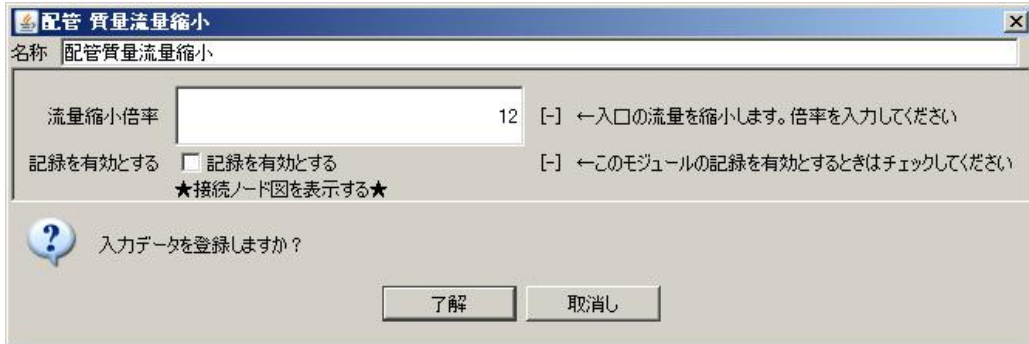
手順 : 2 次側ポンプの入口 L0_watIn は、蓄熱槽用 2 次側 3 方弁の出口 L0_watOut と接続する。画面 26 が接続画面である。



画面 26 2 次側ポンプと蓄熱槽 2 次側 3 方弁接続画面

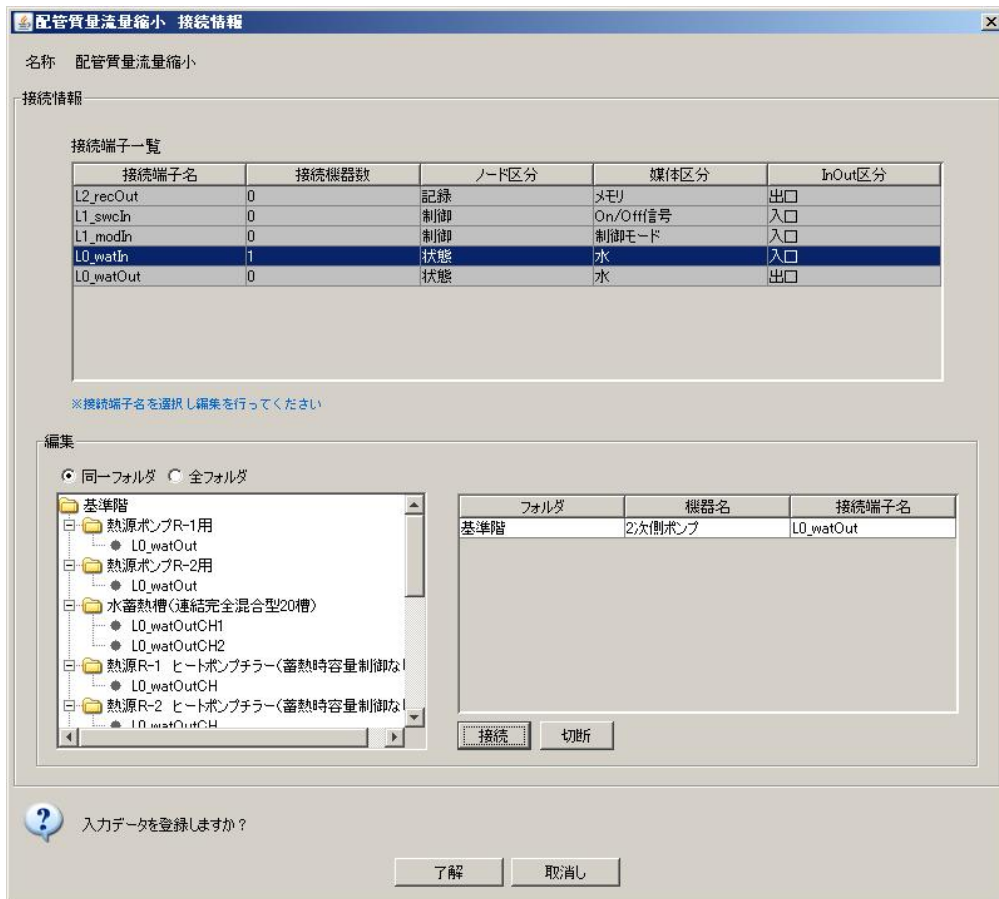
操作 11) 流量縮小の入力

手順 : 流量縮小は、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 質量流量縮小」を利用する。
画面 27 が設定画面である。必要に応じて名称や流量縮小倍率を設定後、了解をクリックする。



画面 27 配管流量縮小設定画面

手順 : 配管流量縮小の入口 L0_watIn は、2 次側ポンプの出口 L0_watOut と接続される。
画面 28 が接続完了後の画面である。



画面 28 配管流量縮小と 2 次側ポンプの接続

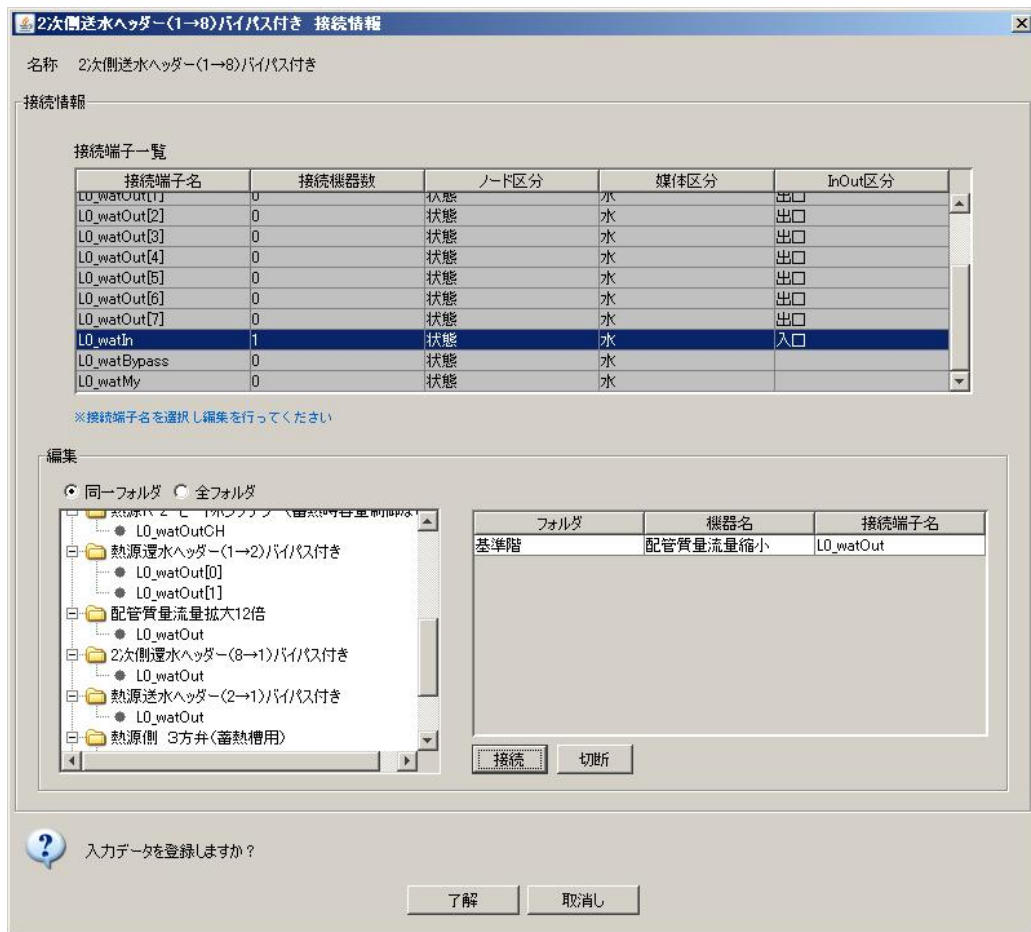
操作 12) 送水ヘッダーの入力

手順 : 送水ヘッダーは、「ダクト 配管」のフォルダ内の「配管 分岐(1→n)バイパス付き」を利用する。画面 29 が設定画面である。



画面 29 2次側送水ヘッダー設定画面

手順 : 2次側送水ヘッダーの入口 L0_watIn は、配管流量縮小の出口 L0_watOut と接続される。2次側送水ヘッダーの出口については、各空調機に接続されることになる。



画面 30 2次側送水ヘッダーと配管流量縮小の接続画面

操作 13) 熱源制御の入力

操作 12 までにおいて、必要な機器と接続は完了である。しかし、この状態ではまだ計算は実行できない。各機器の制御が必要となる。操作 13 以降では、各制御の入力方法について説明する。

手順 : 熱源制御は、「制御機器」のフォルダ内の「熱源制御」を利用する。画面 31 が設定画面である。熱源 1 台毎に設定する必要があるので、熱源制御は 2 つ登録が必要となる。なお、スケジュールに関しては、最上位の水蓄熱制御で行うので、「このスケジュールを使用する」のチェックははずしておく。

項目	設定値	単位	説明
このスケジュールを使用する	<input type="checkbox"/>		このスケジュールを使用する
このスケジュールを使用する	<input type="checkbox"/>		このスケジュールを使用する
熱源運転 開始時刻-終了時刻	8:00-22:00	[時分]-[時分]	←入力例[8:00-20:00] 時刻と分を半角の[]で、開始と終了を半角の[]で区切る。
周辺機器運転 開始時刻-終了時刻	8:00-22:00	[時分]-[時分]	←入力例[8:00-20:00] 時刻と分を半角の[]で、開始と終了を半角の[]で区切る。
冷房 開始月日-終了月日	5/1-11/30	[月/日]-[月/日]	←入力例[5/1-11/30] 月と日を半角の[]で、開始と終了を半角の[]で区切る。
暖房 開始月日-終了月日	12/1-4/30	[月/日]-[月/日]	←入力例[12/1-4/30] 月と日を半角の[]で、開始と終了を半角の[]で区切る。
swc日曜日	<input type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc月曜日	<input checked="" type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc火曜日	<input checked="" type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc水曜日	<input checked="" type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc木曜日	<input checked="" type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc金曜日	<input checked="" type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc土曜日	<input type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc祝日	<input type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
swc特別日	<input type="checkbox"/>		←運転する場合にチェックしてください。
グラフを表示する	<input type="checkbox"/>		←グラフを表示するときはチェックしてください
最大同時表示ステップ数	100		←グラフに同時表示する最大ステップ数を入力します
記録を有効とする	<input type="checkbox"/>		←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください

★接続ノード図を表示する★

入力データを登録しますか?

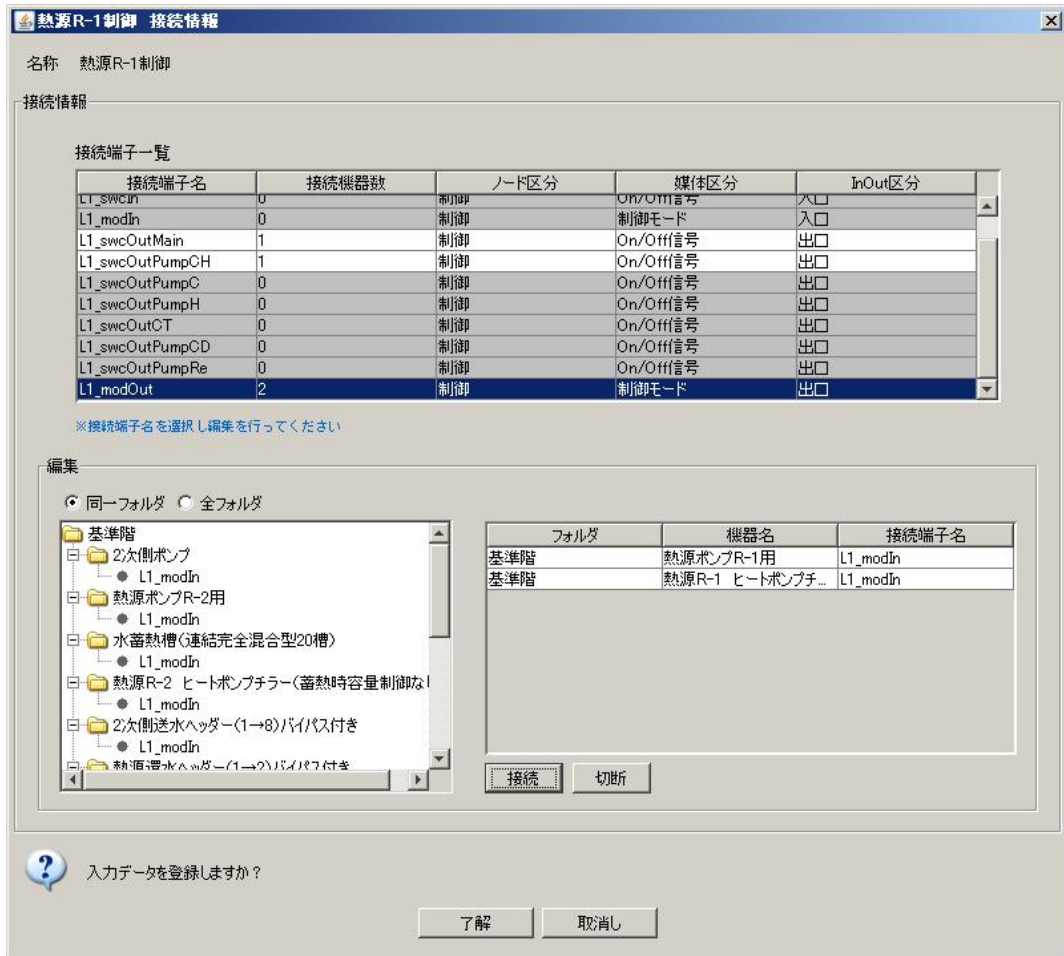
了解 取消し

画面 31 熱源制御設定画面

手順 : この段階で接続できるのは以下のものである。接続完了後の画面を画面 32 に示す。

L1_swcOutMain-----熱源 R-1 ヒートポンプチラー L1_swcIn
 L1_swcOutPumpCH-----熱源ポンプ R-1 用 L1_swcIn
 L1_modeOut-----熱源 R-1 ヒートポンプチラー L1_modeIn
 -----熱源ポンプ R-1 用 L1_modeIn

R-2 についても同様な接続を行う。



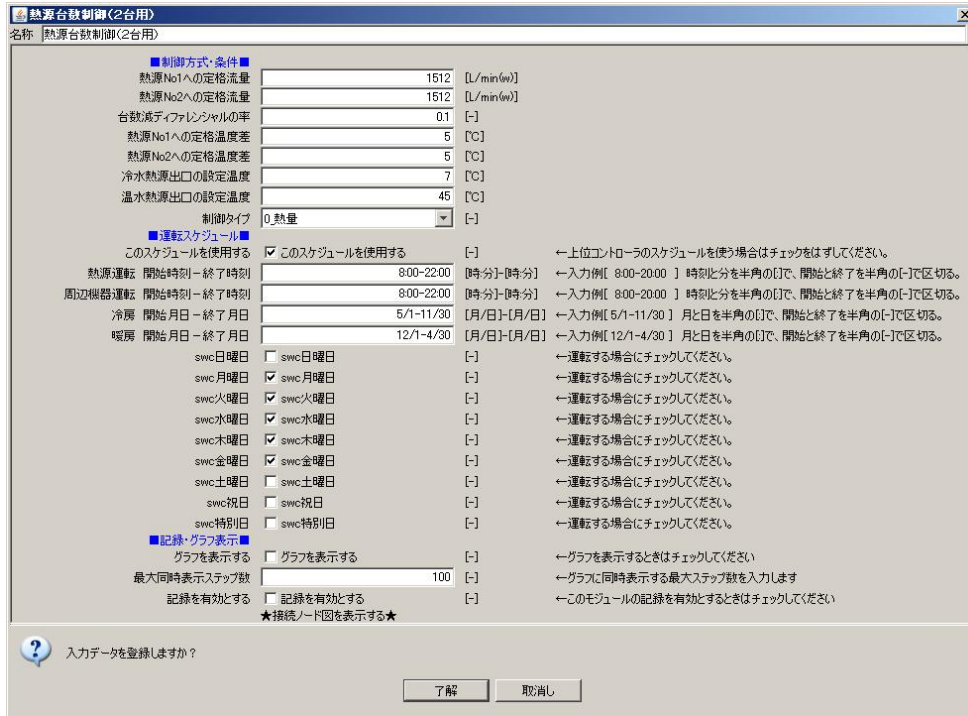
画面 32 熱源制御接続画面

操作 14) 熱源台数制御の入力

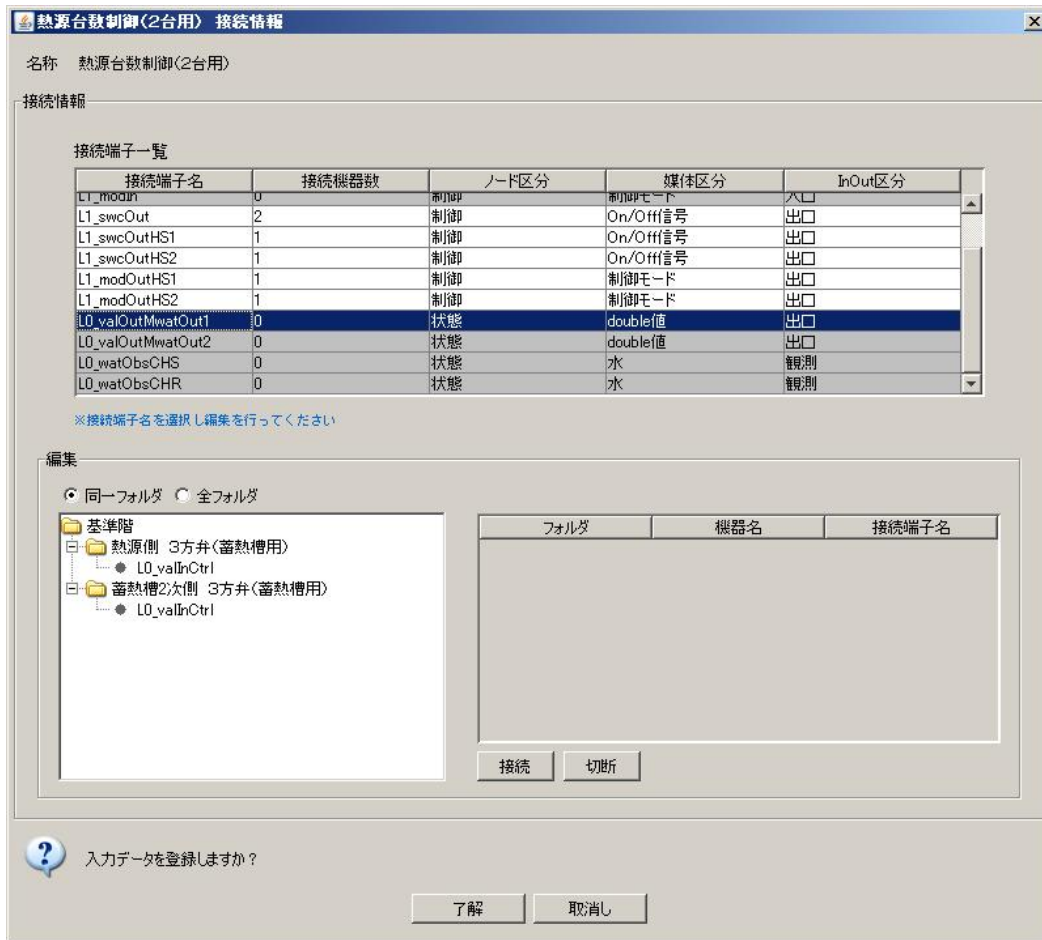
手順 : 熱源台数制御は、「制御機器」のフォルダ内の「熱源台数制御(2台用)」を利用する。画面 33 が設定画面である。

手順 : この段階で接続できるのは以下のものである。接続完了後の画面を画面 34 に示す。

L1_swcout----熱源送水ヘッダー L1_swcin
 ----熱源還水ヘッダー L1_swcin
 L1_swcoutHS1----熱源 R-1 制御 L1_swcin
 L1_swcoutHS2----熱源 R-2 制御 L1_swcin
 L1_modeOutHS1----熱源 R-1 制御 L1_modeIn
 L1_modeOutHS2----熱源 R-2 制御 L1_modeIn



画面 33 熱源台数制御設定画面



画面 34 熱源台数制御接続画面

操作 15) P I D制御 (2 次側送水) の入力

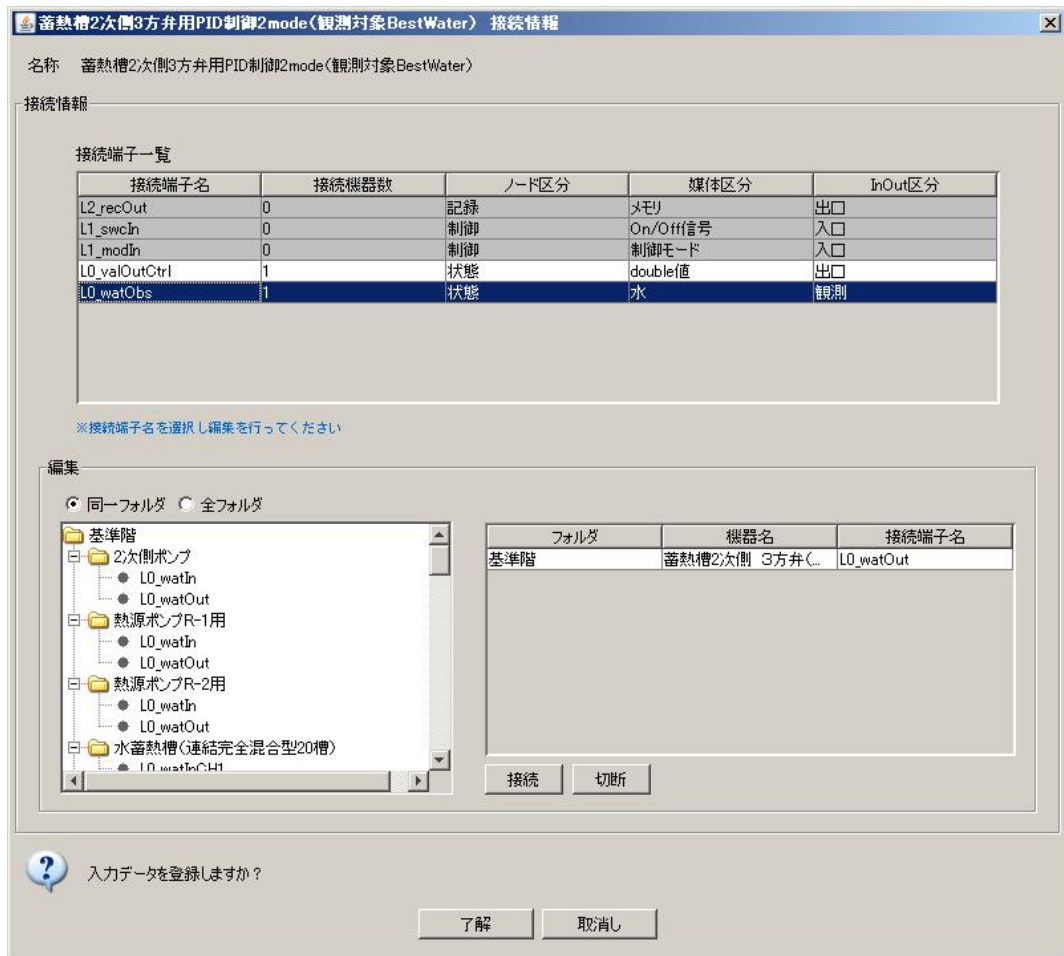
手順 : PID 制御(2 次側送水)は、「制御機器」のフォルダ内の「PID 制御 2mode (観測対象 BestWater)」を利用する。画面 35 が設定画面である。

画面 35 PID 制御設定画面

手順 : この段階で接続できるのは以下のものである。接続完了後の画面を画面 36 に示す。

L0_valOutCtrl-----蓄熱槽 2 次側 3 方弁 L0_valInCtrl

L0_watObs-----蓄熱槽 2 次側 3 方弁 L0_watOut



画面 36 PID 制御接続画面

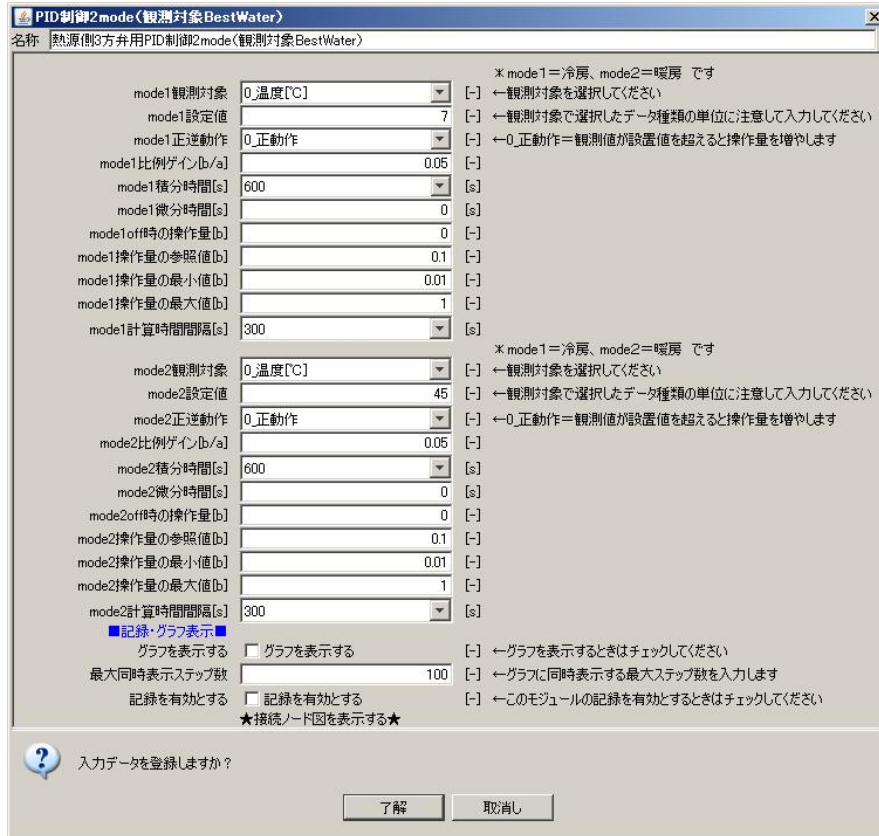
操作 16) P I D 制御 (熱源送水) の入力

手順 : PID 制御(熱源送水)は、「制御機器」のフォルダ内の「PID 制御 2mode (観測対象 BestWater)」を利用する。画面 37 が設定画面である。

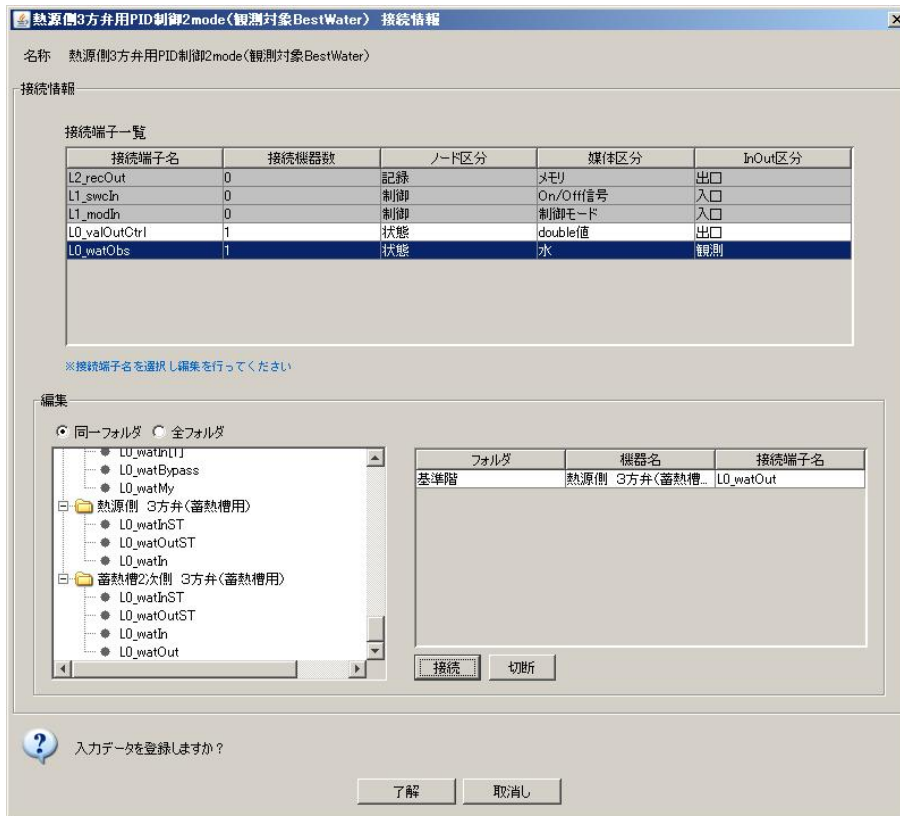
手順 : この段階で接続できるのは以下のものである。接続完了後の画面を画面 38 に示す。

L0_valOutCtrl----熱源側 3 方弁 L0_valInCtrl

L0_watObs----熱源側 3 方弁 L0_watOut



画面 37 PID 制御設定画面



画面 38 PID 制御接続画面

操作 17) 蓄熱コントローラーの入力

手順 : 蓄熱コントローラーは、「蓄熱システム」のフォルダ内の「水蓄熱制御(簡易制御)」を利用する。画面 39 が設定画面である。

画面 39 蓄熱コントローラー設定画面

手順 : この段階で接続できるのは以下のものである。接続完了後の画面を画面 40 に示す。

L1_swcOutMainTank-----水蓄熱槽 L1_swcIn

L1_swcOutVCharge-----熱源側 3 方弁 L1_swcIn、熱源側 3 方弁 PID 制御 L1_swcIn

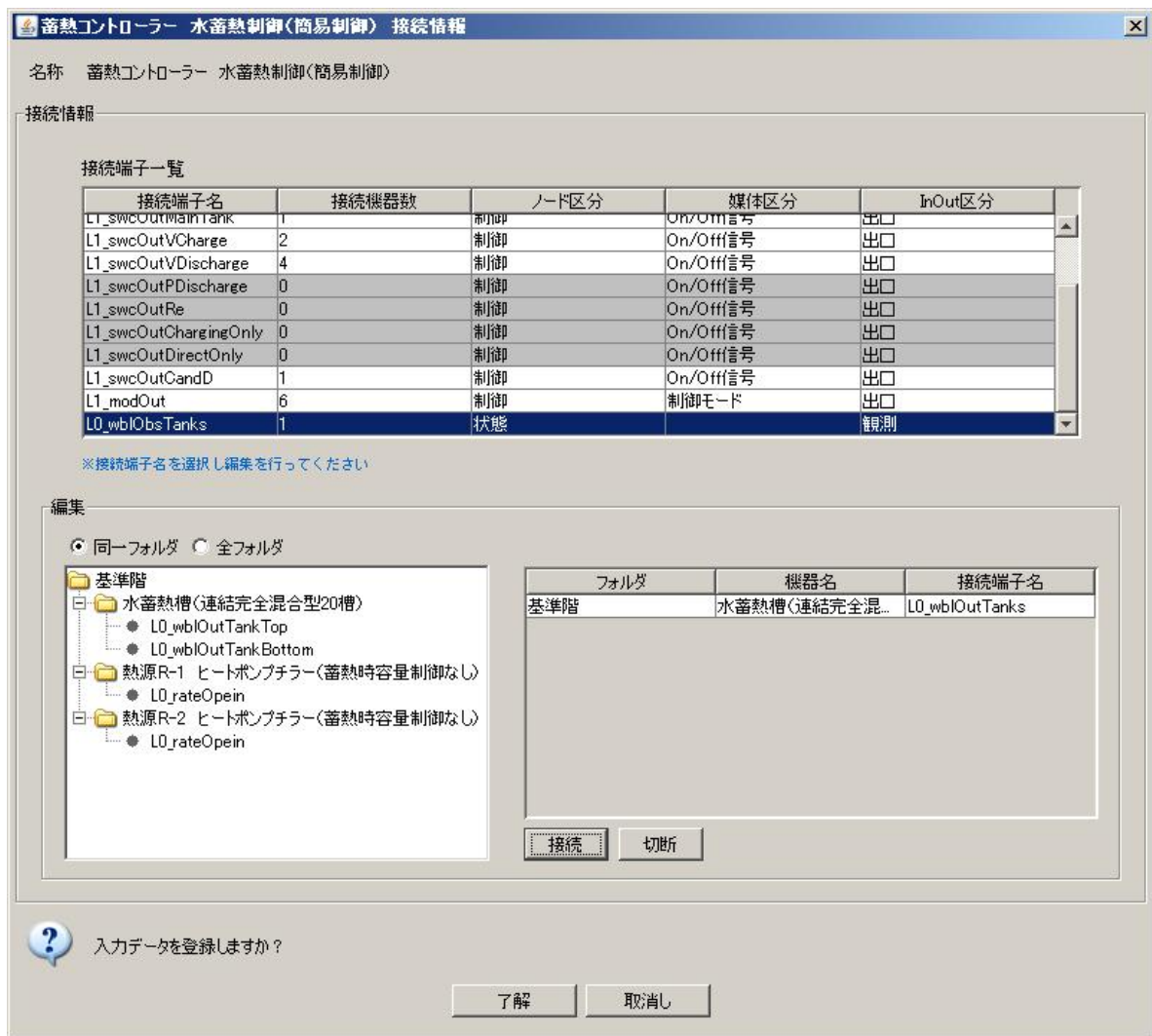
L1_swcOutVDisCharge-----2 次側三方弁 L1_swcIn、2 次側三方弁 PID 制御 L1_swcIn

-----質量流量拡大 L1_swcIn、質量流量縮小 L1_swcIn

L1_swcOutCandD-----台数制御 L1_swcIn

L1_modeOut-----熱源側 3 方弁、熱源側 3 方弁 PID 制御、2 次側三方弁、2 次側三方弁 PID 制御、水蓄熱槽、台数制御の L1_modeIn

L0_wblObsTanks-----水蓄熱槽 L0_wblOutTanks



画面 40 蓄熱コントローラー接続画面

2.2.2 テンプレートを利用した入力方法

2.2.1 で示したように、各モジュールによる入力は煩雑であり、接続の間違いも起きかねない。そのため、入力者の労力軽減のために用意されているのが、テンプレート機能である。テンプレートには様々なものがあるので、水蓄熱以外のテンプレートについては、他のマニュアルを参照願いたい。ここでは、水蓄熱槽のテンプレートについて説明する。図 2.2 の枠で囲った部分が、水蓄熱槽テンプレートとなる。以下にテンプレートの操作方法の説明を行なう。

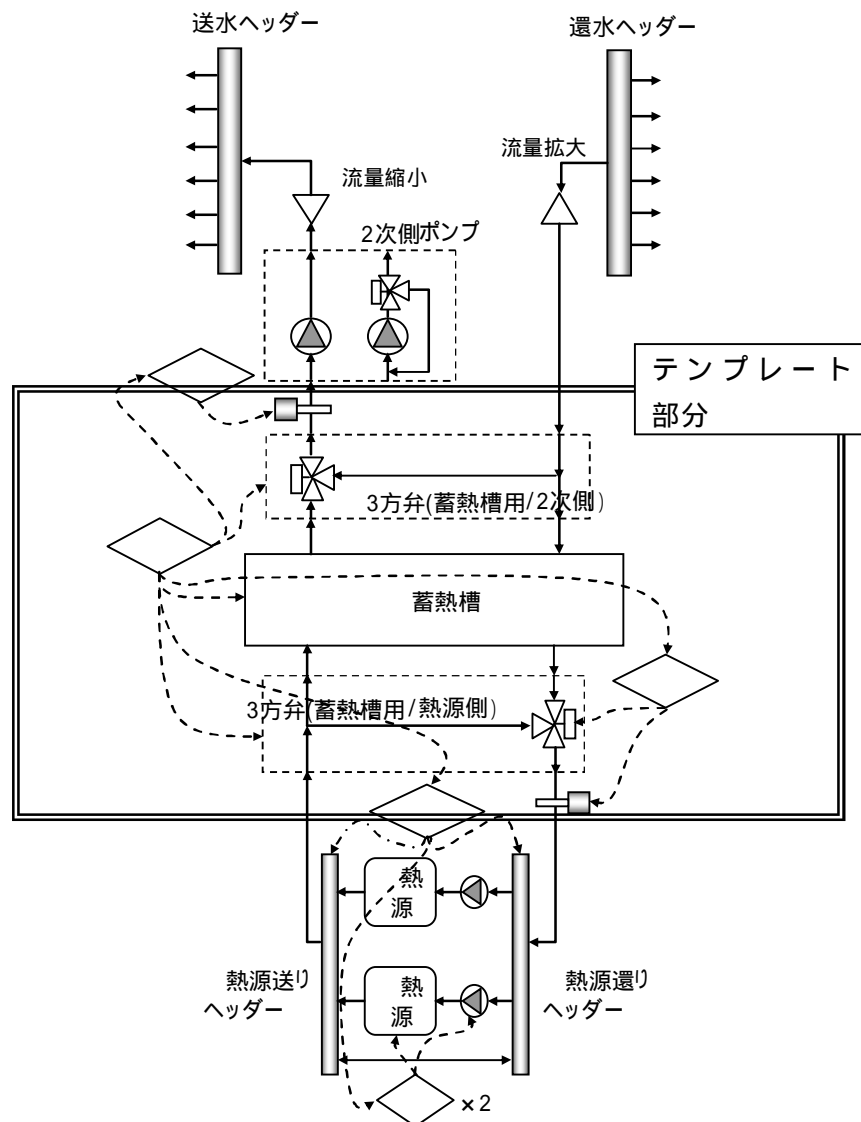
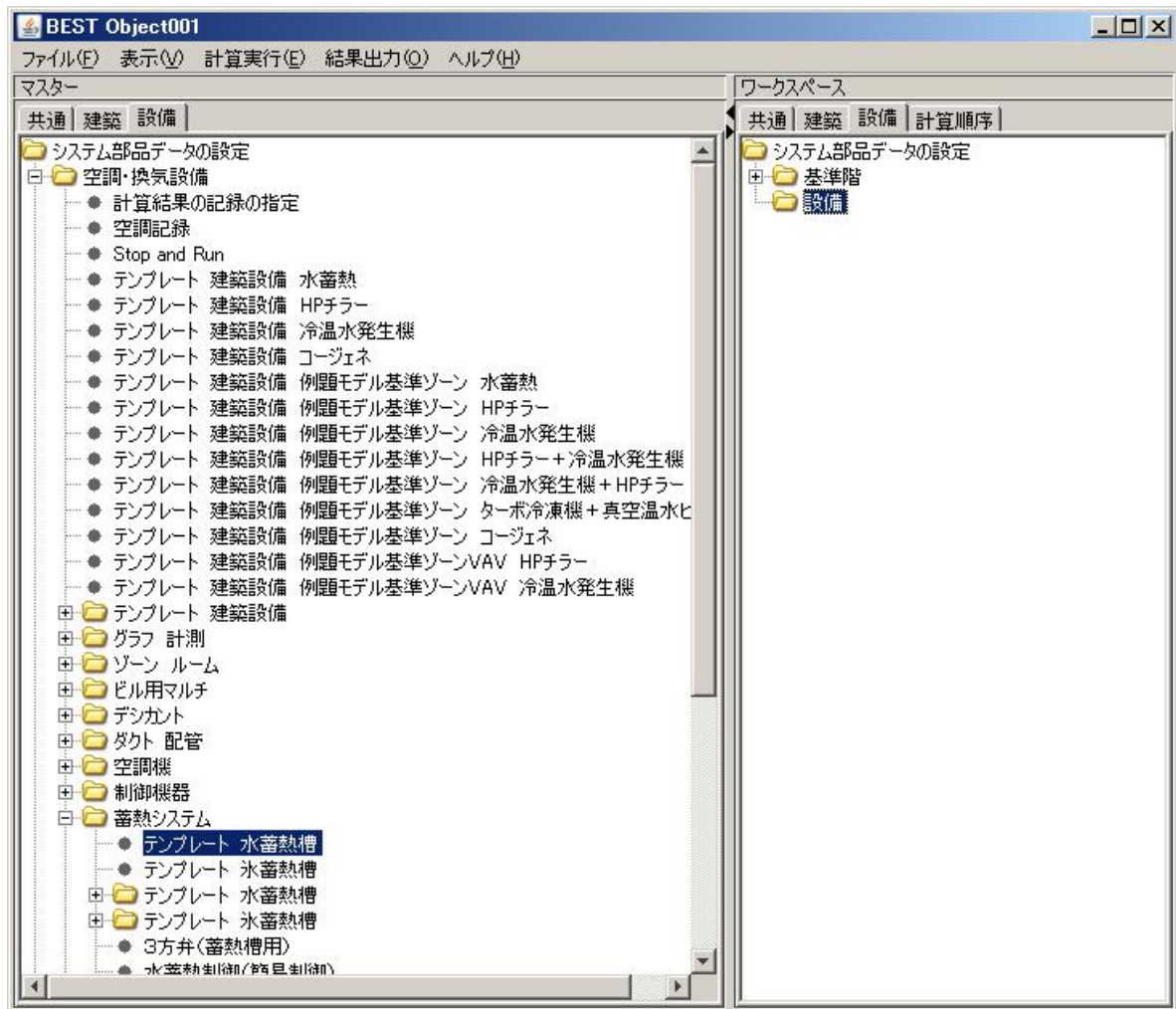


図 2.2 水蓄熱槽テンプレート

操作 1) テンプレートの内容確認

画面 41 に、メイン画面におけるテンプレートの表示状態を示す。蓄熱システムのフォルダ内に用意されている。テンプレートに含まれるモジュールは、テンプレート 水蓄熱槽のフォルダを展開することによって確認することが出来る。



画面 41 メイン画面におけるテンプレート表示

操作 2) テンプレートの選択

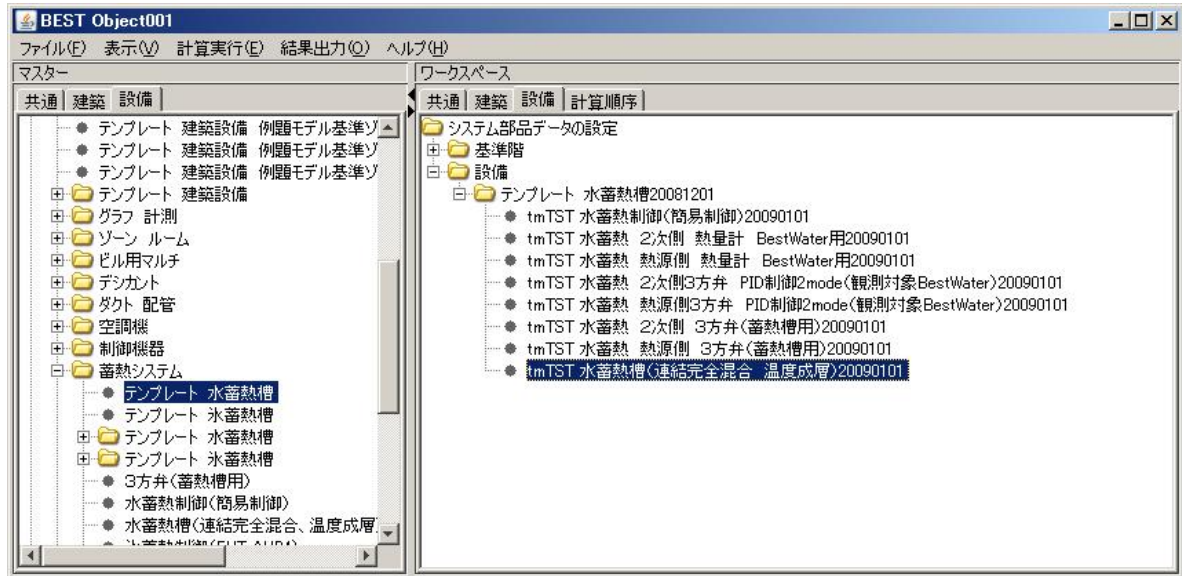
画面 41 において、「テンプレート 水蓄熱槽」をダブルクリックすると、画面 42 が表示される。この画面で、「了解」をクリックすれば、テンプレートが登録される。



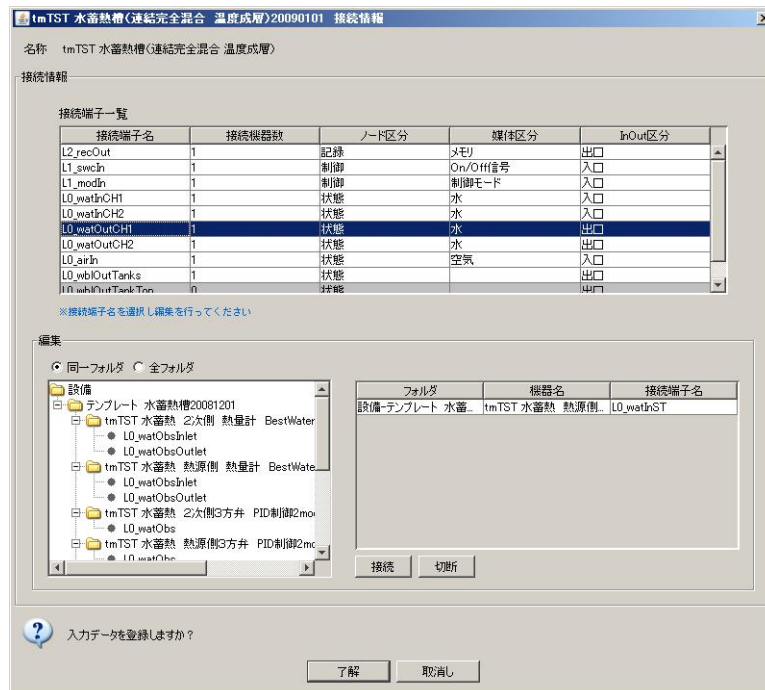
画面 42 テンプレート選択画面

操作 3) テンプレートの内容確認

テンプレートを登録すると、ワークスペースに各モジュールが登録される。この時点で、各モジュール内に数値は入っているが、当然、入力しようとするシステムとは異なっていることがほとんどであるため、各数値について変更が必要である。各モジュールの画面については、2.2.1 で説明済みである。ただ、設定が煩雑であった接続については、すでに済んでいるので、かなりの労力軽減となる。画面 44 に示すように、必要な接続作業は完了している。



画面 43 テンプレート選択後画面



画面 44 接続確認画面

操作 4) テンプレートの応用

テンプレートは最初の入力、設定を簡易にするものであり、一旦、ワークスペースに登録してしまえば、後は、通常の入力と変わりなく扱うことが可能である。よって、以下のような操作が可能である。

テンプレートで登録したモジュールの削除

テンプレートで登録後に、単一のモジュールの追加（接続は必要）

テンプレートで登録後に、他のテンプレートを追加（各テンプレート内での接続は完了しているが、テンプレート同士の各モジュールで接続が必要な場合は、接続作業が発生）

2.3 本章のまとめ

第 2 章では、水蓄熱システム部分の入力操作方法について、各モジュール単位での入力とテンプレート機能での入力について説明を行なった。テンプレートでの入力においても、各モジュールの内容や接続の意味、方法などは知っておく必要もあるため、2.2.1 で示した内容についても、一通りは理解していただきたい。

次章では、サンプルデータの内容を示しながら、入力・計算実行の内容について説明していく。

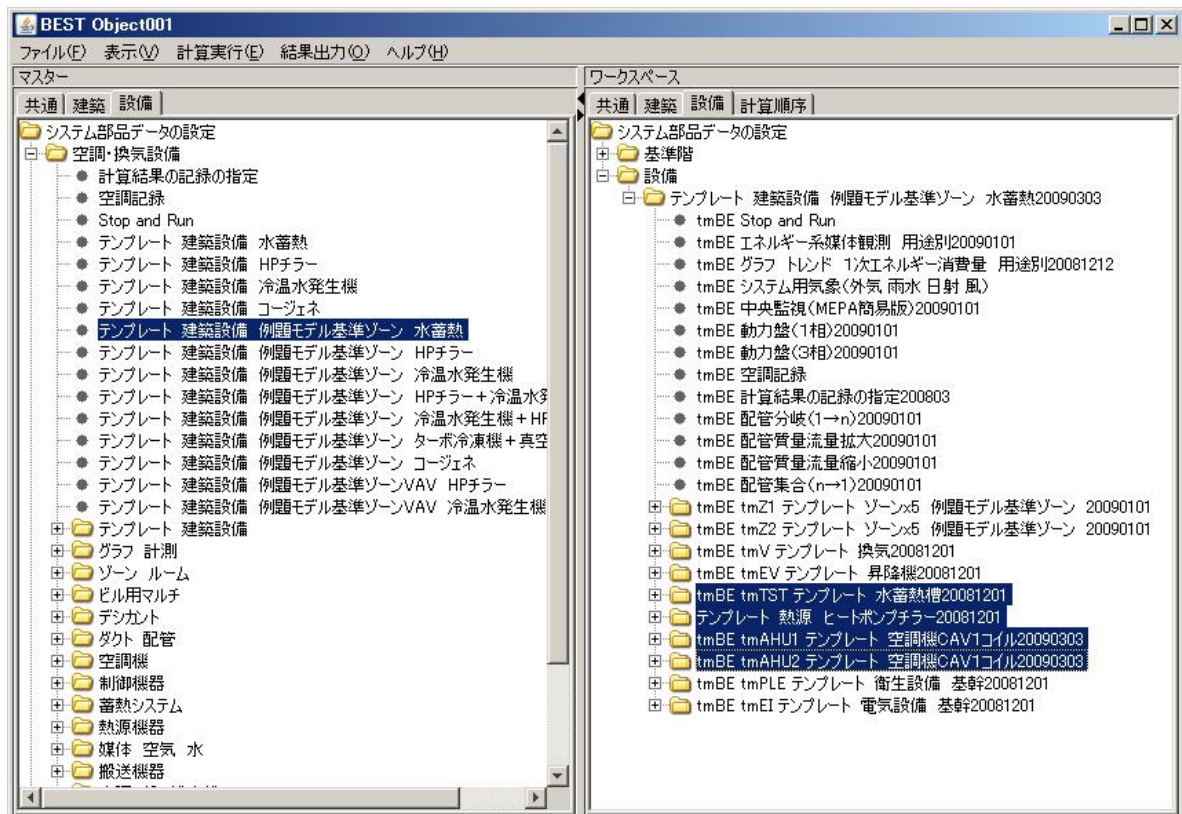
第3章 サンプルデータの説明

本章では、BESTのホームページからダウンロード出来るサンプルデータの内容、および操作方法について説明を行なう。

3.1 サンプルデータのダウンロード読込

ここで扱うサンプルデータは、「テンプレートによる建物全体 水蓄熱システム 20090303.zip」である。ダウンロード後は、「テンプレートによる建物全体 水蓄熱.zip」にファイル名は変わっている。このファイルは、BESTの登録ユーザー専用ページからダウンロード可能である。このデータには、電気や衛生に関する建物全ての情報が入力されているが、ここでは、水蓄熱式空調システムに関わる部分についてのみ説明する。なお、このデータに関しては、「テンプレート機能を使用した建物全体の計算例操作説明書」にも記述があるので、こちらの説明書の内容も参照いただきたい。

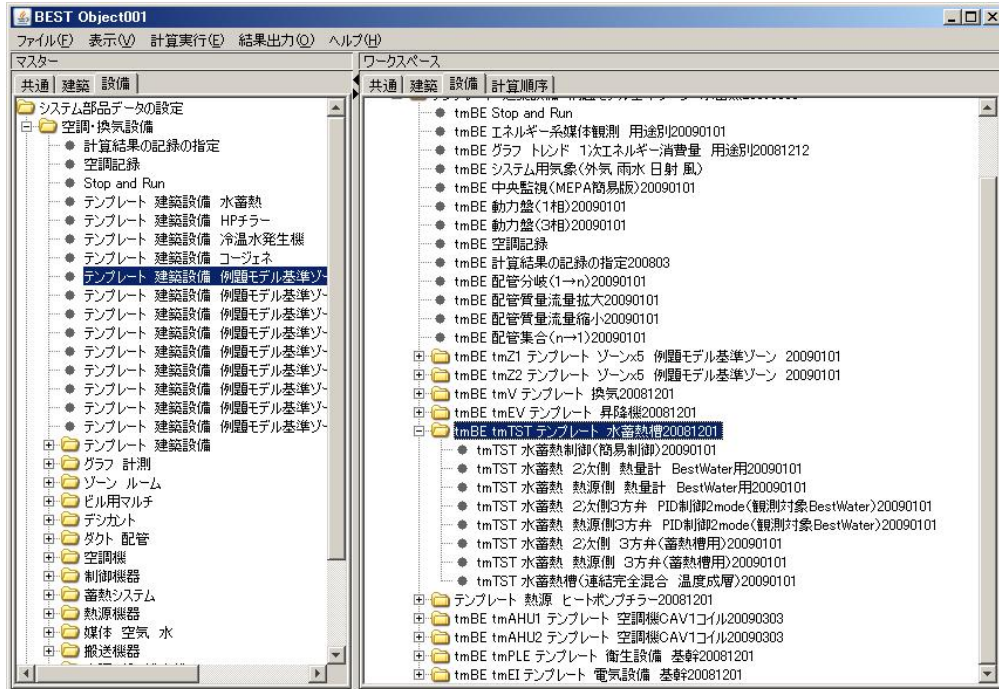
画面1にデータを読み込み後、ワークスペースの設備タブを選択し、設備のフォルダを展開した状態を示す。色を反転表示させている部分が、水蓄熱式空調システムに関する部分である。このサンプルデータは、ほとんどがテンプレートによって作成されたものである。



画面1 データ読み後のメイン画面

3.2 サンプルデータの内容

画面 2 に水蓄熱槽とヒートポンプチャラーのテンプレートを展開した画面を示す。この中の主要なモジュールについて内容の説明を行なう。



画面 2 水蓄熱槽、ヒートポンプチャラーテンプレート展開画面

画面 3 に水蓄熱槽設定画面を示す。蓄熱槽のタイプは、連結完全混合槽型である。蓄熱槽本体の水容積が 1000m³ で 20 分割であるので、1 槽 50m³ のものが 20 槽あるという設定である。初期水温については、長期間の計算で助走期間を数時間設定する場合には、ほとんど計算結果に影響は無いが、短期間の計算で助走期間が無い場合には、実状の水温に近い数値を入力する必要がある。蓄熱槽本体への流入口に関しては、温度成層型の場合には影響が大きくなるが、連結完全混合槽型の場合には、計算結果には影響を及ぼさない。グラフを表示するにチェックを入れておくと、計算実行時に水温プロフィールがリアルタイムに表示されるようになる。蓄熱槽が正常に運用されているか判断するためにも、グラフを表示するにチェックを入れておくことが望ましい。

画面 4 には、水蓄熱制御（簡易制御）設定画面の抜粋を示す。ここで、蓄熱時の熱源停止、追掛け運転時の熱源起動条件を決定している。この設定では、冷房時には 7 で蓄熱されるが、二次側への送水温度が 10 まで上昇した場合に追掛け運転が起動することになる。暖房時には 45 で蓄熱するが、42 まで低下した場合に追掛け運転が起動する設定である。蓄熱時には、冷房時は熱源入口水温が定格の 12 に対して 8、暖房時は定格の 40 に対して 44 となった時に停止する設定である。本来は、冷房時はもう少し高め、暖房時は低めの温度設定になると思われるが、採用する機器の特性に応じて設定すれば良い。

tmTST 水蓄熱槽(連結完全混合 温度成層)20090101		
名称 tmTST 水蓄熱槽(連結完全混合 温度成層)20090101		
■蓄熱槽本体■		
蓄熱槽タイプ	0 連結完全混合槽型	[-] ←「2_温度成層(連結槽)型」は開発中です
蓄熱槽本体の水容積	1000	[m3]
蓄熱槽本体の分割数	20	[-]
蓄熱槽水深	2	[m]
■バッファ槽■		
上部接続バッファ槽水容積	5	[m3]
下部接続バッファ槽水容積	5	[m3]
初期水温-上部接続バッファ槽	10	[°C]
初期水温-下部接続バッファ槽	10	[°C]
■蓄熱槽本体への流入口■		
流入口の形状	0_円管	[-]
流入口の面積	1	[m2]
流入口の直径あるいは高さ	0.3	[m]
■蓄熱槽からの熱損失計算■		
設置空間への熱損失を計算する	<input checked="" type="checkbox"/>	[-]
熱透過率	1	[W/(m2K)]
■記録・グラフ表示■		
グラフを表示する	<input checked="" type="checkbox"/>	[-] ←グラフを表示するときはチェックしてください
記録を有効とする	<input type="checkbox"/>	[-] ←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください
★接続ノード図を表示する★		
? 入力データを登録しますか?		
<input type="button" value="了解"/> <input type="button" value="取消し"/>		

画面 3 水蓄熱槽設定画面

■制御方式・条件■		
冷水出口温度の設定値	7	[°C]
温水出口温度の設定値	45	[°C]
冷房時熱源への限界送水温度	8	[°C] ←終端槽の水温<=冷房時熱源への限界送水温度 の時「蓄熱運転」停止する
暖房時熱源への限界送水温度	44	[°C] ←終端槽の水温>=暖房時熱源への限界送水温度 の時「蓄熱運転」停止する
冷房時2次側への限界送水温度	10	[°C] ←始端槽の水温>=冷房時熱源への限界送水温度 の時「自掛運転」開始する
暖房時2次側への限界送水温度	42	[°C] ←始端槽の水温<=暖房時熱源への限界送水温度 の時「追掛運転」開始する
簡易翌日熱源運転時間制御を行う	<input checked="" type="checkbox"/>	[-]
翌日熱源運転時間補正係数(0~1)	0.5	[-] ←翌日運転時間=実績-(当日予定-実績)×補正係数

画面 4 水蓄熱(簡易制御)画面(抜粋)

画面 5 にヒートポンプチラーの設定画面を示す。定格の能力と消費電力を入力することによって定格の COP が決定される。外気温による能力・COP の変化、および部分負荷運転による COP の変化は代表的な特性を利用して処理される。但し、水蓄熱式空調システムにおいては、全負荷運転が基本となるので、部分負荷時の COP 変化は、ほとんど影響無い。なお、制御については、画面 4 で示した水蓄熱(簡易制御)で行なわれるため、熱源制御モジュールでの設定は無視される。

tmHS ヒートポンプチャラ-20090101		
名称 tmHS ヒートポンプチャラ-20090101		
■定格能力■		
定格冷却能力	530	[kW]
定格加熱能力	530	[kW]
■冷温水■		
冷水出口水温設定値	7	[°C]
温水出口水温設定値	45	[°C]
定格冷水量	1500	[L/min(w)]
定格温水量	1500	[L/min(w)]
■電気■		
定格消費電力冷却時	177	[kW]
定格消費電力加熱時	177	[kW]
相数	3	[-]
電圧	200	[V]
周波数	50	[Hz]
力率	0.8	[-]
■記録・グラフ表示■		
グラフを表示する	<input type="checkbox"/> グラフを表示する	[-] ←グラフを表示するときはチェックしてください
最大同時表示ステップ数	100	[-] ←グラフに同時表示する最大ステップ数を入力します
記録を有効とする	<input type="checkbox"/> 記録を有効とする	[-] ←このモジュールの記録を有効とするときはチェックしてください
★接続ノード図を表示する★		
? 入力データを登録しますか？		
<input type="button" value="了解"/> <input type="button" value="取消し"/>		

画面 5 ヒートポンプチャラ設定画面

3.3 計算の実行

データの内容を一通り確認後、計算の実行が可能となるが、計算範囲の確認も必要である。ワークスペースの共通タブの計算範囲フォルダ内の計算範囲をダブルクリックすると、画面 6 が表示される。ここで、助走計算開始、本計算開始、計算終了日を指定する。初期状態では、画面 6 のように年間計算を行なう設定となっている。

計算タイプ	<input checked="" type="radio"/> 通常計算	<input type="radio"/> 最大負荷計算
建築計算	<input checked="" type="radio"/> する	<input type="radio"/> しない
設備計算	<input checked="" type="radio"/> する	<input type="radio"/> しない
本計算開始日*1	<input type="text" value="1/1"/>	西暦年/月/日を入力して下さい。
計算終了日*1	<input type="text" value="12/31"/>	西暦年/月/日を入力して下さい。
助走計算日数	<input type="text" value="20"/>	日
最小計算時間間隔	<input type="text" value="5"/>	分

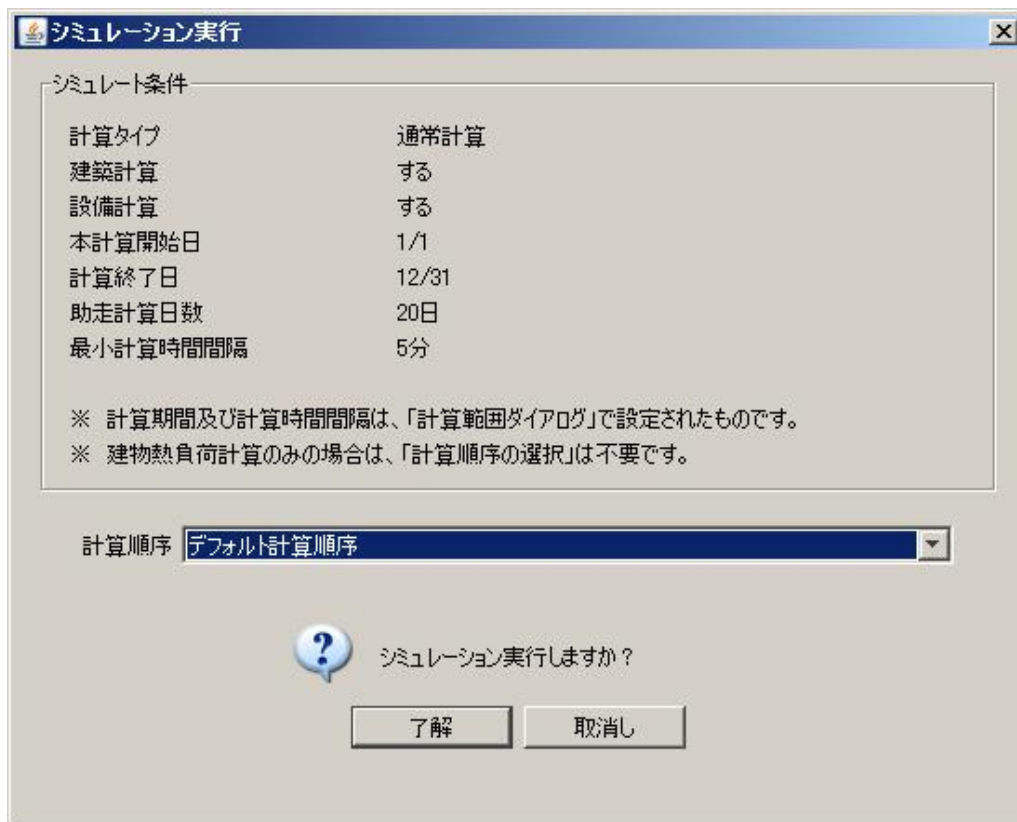
*1 西暦年/月/日を入力して下さい。標準年気象データを使用する場合、西暦年を省略して「月/日」を入力して下さい。

? 入力データを登録しますか?

了解 取消し

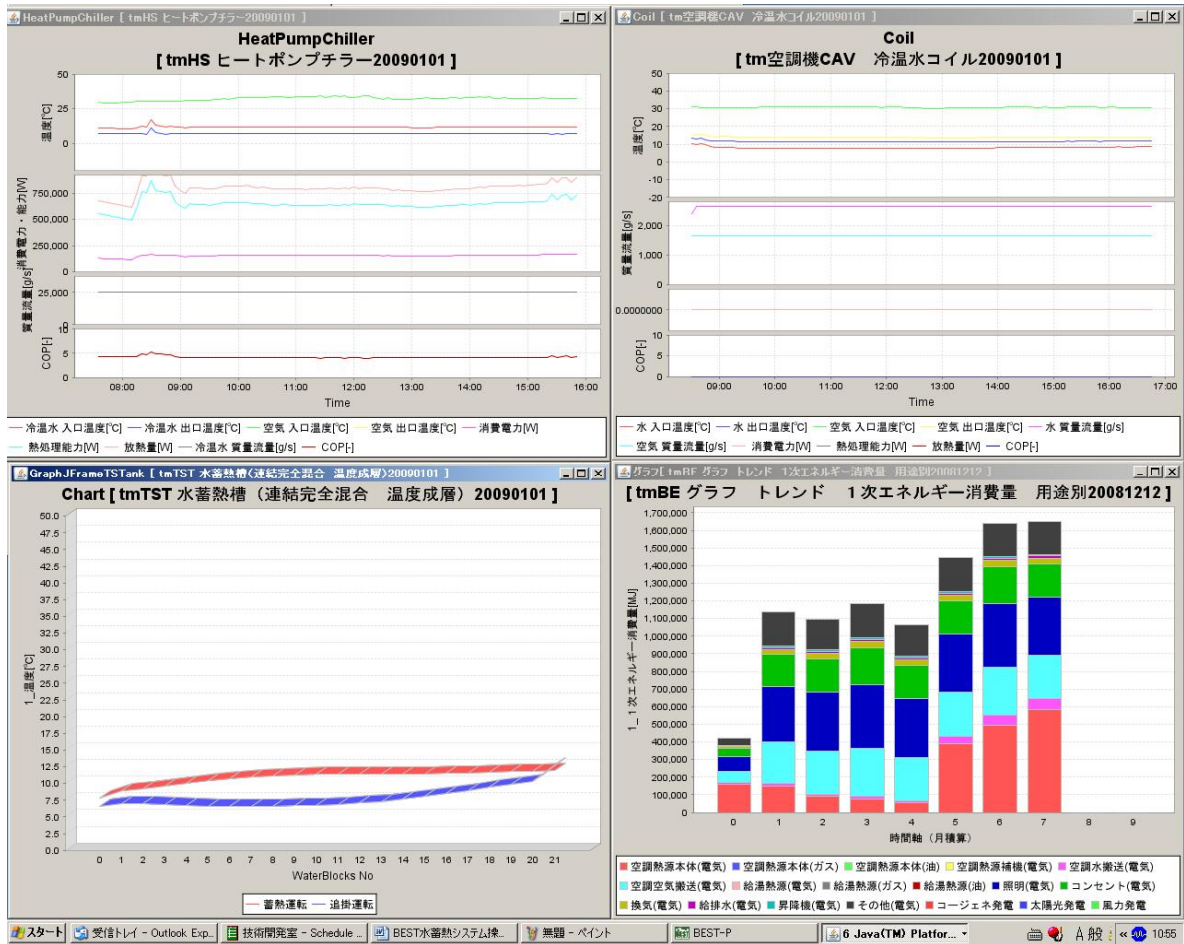
画面 6 計算範囲設定画面

画面 7 にシミュレーション実行画面を示す。シミュレート条件には、画面 6 での内容が表示される。計算順序を選択後、了解をクリックすれば、計算が開始される。



画面 7 シミュレーション実行画面

計算が開始すると、グラフを表示するにチェックを入れたものについては、グラフが表示される。グラフは重なった状態で表示されるため、ディスプレイ上で各グラフの大きさや配置を変更し、見易くすればよい。画面 8 には、グラフを再配置した画面例を示す。



画面 8 計算グラフ表示例

3.4 本章のまとめ

本章では、サンプルデータの内容について説明を行なった。データを一から作成し、計算が実行できるところまでにするには、慣れない間は多くの時間と労力を要するが、サンプルデータの利用により、一通り動作を体験することが可能となる。

正確な入力条件を準備することは当然であるが、ソフトの操作自体に慣れることにより、入力ミスや操作ミスを防ぎ、正しい計算の実行が可能となるため、サンプルデータを用いてソフトの操作に十分慣れていただきたいと考える。

第4章 水蓄熱式空調システム設計における要点

本章では、水蓄熱式空調システムの設計の要点を、具体的な設計例を利用して説明する。設計手法についても、手計算で行う方法と、BESTの蓄熱プログラムの基本プログラムであるTESEP-Wを用いた手法の2通りを示している。

4.1 手計算における設計手法

ここでは、手計算における水蓄熱式空調システムの設計手法について説明を行う。但し、詳細な部分までの記述は行っていないので、必要に応じて参考文献などを参照いただきたい。

4.1.1 設計フロー

図4.1にBESTに入力すべき値を得るまでの簡易フローを示す。実際の設計では、更に詳細な検討を要する部分も多いが、ここではBESTの入力値を決定することを目的としたフローとしている。また、基本的には作業の手順通りに上から並べてはいるが、実際には再検討が必要な場面も発生するので、矢印とは逆行することもあり得る。次項より、フローの各項目の内容について説明する。

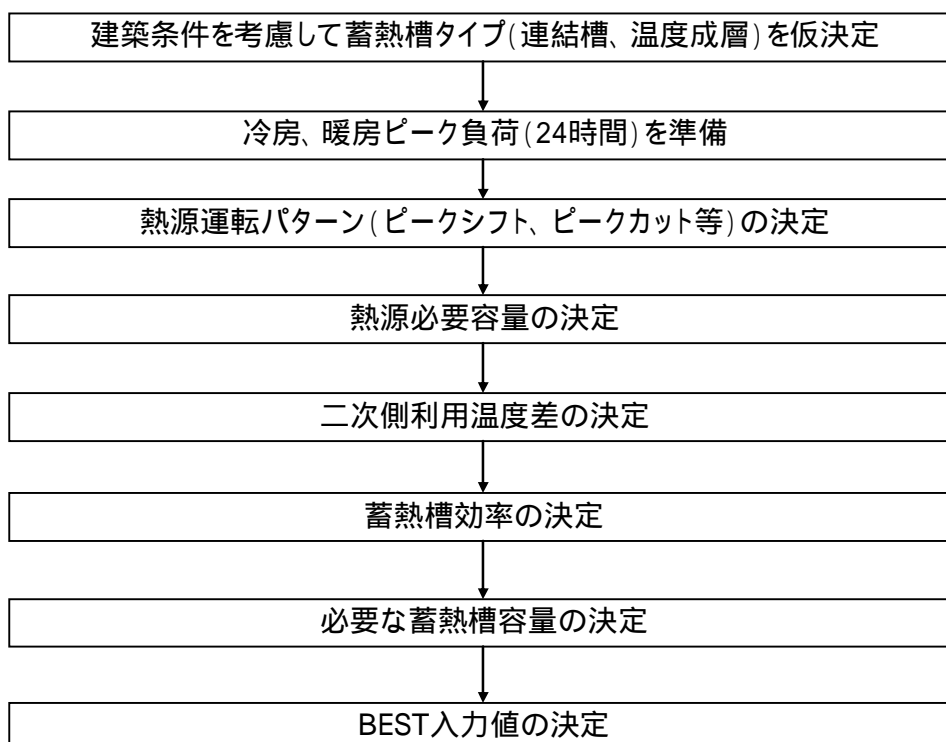


図 4.1 水蓄熱式空調システム設計簡易フロー

4.1.2 蓄熱槽タイプの仮決定

蓄熱槽には様々なタイプがあるが、代表的なものとしては、連結完全混合槽型と温度成層型である。温度成層型には、単槽のものと連結したものの両方がある。現在の BEST では、連結完全混合槽型と単槽の温度成層型しか扱えないため、いずれかを選択することになる。一般に性能的には温度成層型の方が優れると言われるが、設計、運転制御によって異なるので、特にこだわる必要は無い。建築側の条件を考慮して、より安価に蓄熱槽を構築できる方法を考えて、蓄熱槽のタイプを決定することが現実的である。

4.1.3 設計用冷暖房負荷の準備

水蓄熱式空調システムに限らず、空調システムの設計には、空調熱負荷を計算する必要がある。空調熱負荷計算の方法には様々な方法があるので、それぞれの環境で利用できるソフトなどを活用して計算すれば良い。設計時に必要となる負荷は、冷房時、暖房時のピーク負荷となる。BEST においても、建築側の条件を入力した段階で空調負荷の計算は可能となる。但し、BEST での計算結果はピーク負荷ではないため、注意が必要である。

非蓄熱式空調システムの場合には、極端な事を言えばピーク日の中の最大時間負荷のみ分かれば、熱源容量を決定することが出来る。しかし、水蓄熱式空調システムの設計においては、時間ピークのみでは不足であり、ピーク日の 24 時間の負荷を準備する必要がある。

4.1.4 熱源運転パターンの決定

設計用負荷を準備後、熱源の運転パターンを決定する。図 4.2 に代表的な熱源運転パターンを示す。図中の H_0 は、準備した設計用負荷の日積算値であり、 H_{s0} は蓄熱槽で蓄えた熱で処理する分の負荷である。また、 G_0 は熱源の出力である。図からもわかるように、熱源の運転時間を長くするほど、熱源容量は小さくなり、イニシャルコストが削減出来る。一方、夜間時間帯に熱源の運転時間を集中させると、ランニングコストは削減出来るが、熱源容量は非蓄熱システムと比べて小さくすることが出来ないため、イニシャルコストの削減は出来ない。ただ、(a)のタイプで設計した場合でも、常に 24 時間熱源を稼働させるのではなく、負荷が小さくなるに従って、熱源の運転時間は短縮させていく。

また、空調負荷の発生時間と熱源の運転時間が重複するほど、蓄熱槽容量は小さくて済む。そのため、蓄熱槽容量も考慮して熱源の運転パターンを決定する必要がある。よって、一旦、蓄熱槽容量を決定したとしても、その容量を建築条件的に確保できない場合には、熱源の運転パターンから見直すことが必要となる。

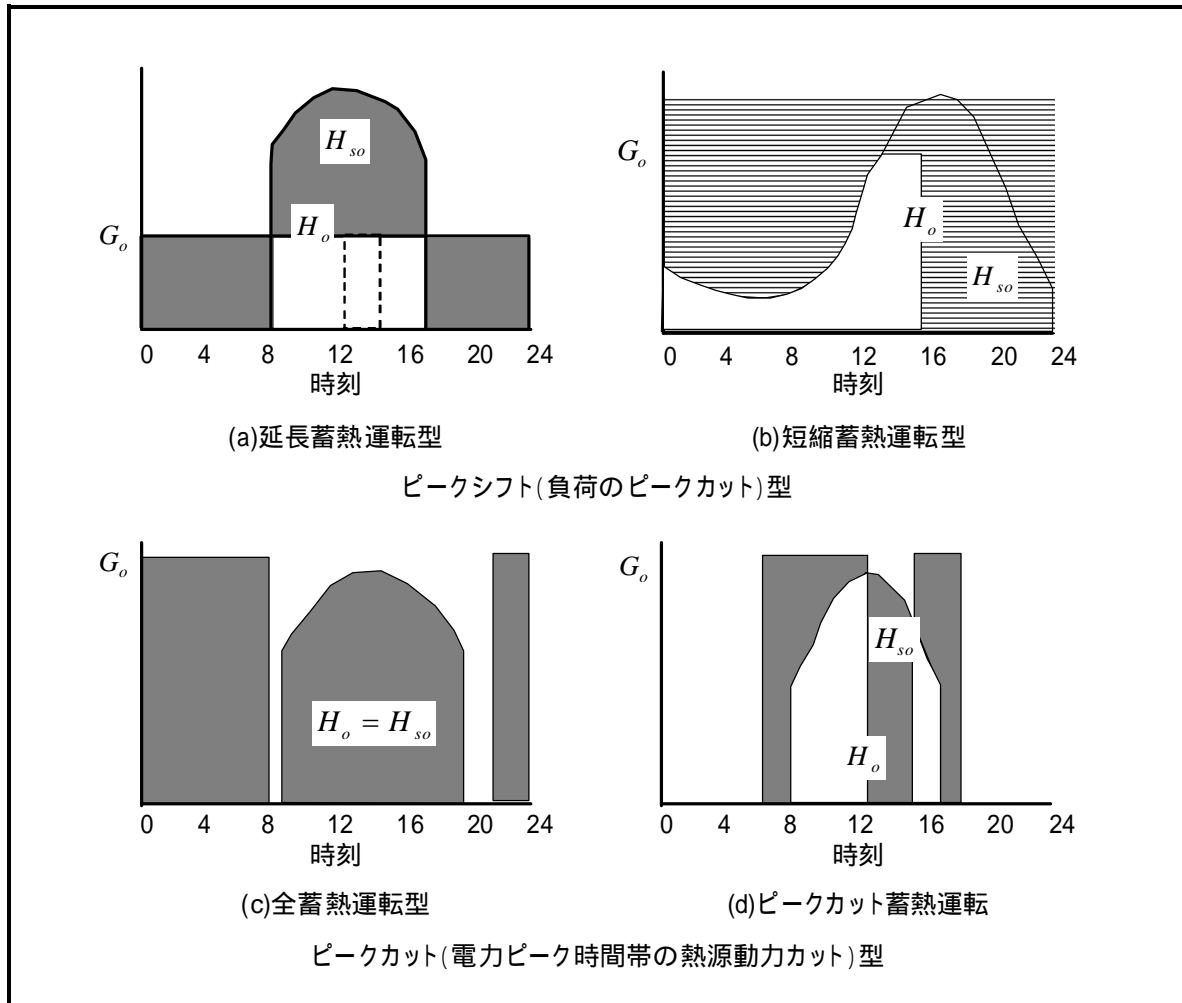


図 4.2 蓄熱システムにおける熱源運転パターン

4.1.5 熱源必要容量の決定

熱源の運転パターンを決定し、ピーク日における熱源の運転時間を決定すれば、熱源の必要容量が式(1)により算出できる。熱源の日平均負荷率は、蓄熱システムの場合には全負荷運転が基本ではあるが、制御の方法などによっては熱源の容量制御が入る可能性もある。その部分を考慮して 0.95 等の数値を使えば良い。もし、制御が正確に行われ常に全負荷運転が可能なシステムであれば、 ε は 1 で良い。

$$G_o = \frac{H_o}{T\varepsilon} \quad [\text{MJ/h}] \quad (1)$$

ここで、

H_o : 日負荷 [MJ/日]

T : 1 日の運転時間 [h/日]

ε : 熱源の日平均負荷率

4.1.6 二次側利用温度差の決定

通常の空調システムにおいては、二次側の利用温度差は 5 程度の場合が多い。水蓄熱システムにおいても、5 の利用温度差で設計されているものもある。しかしながら、後述するように、二次側利用温度差を大きくするほど、蓄熱槽容量は小さくて済む。蓄熱槽の構築費を考えれば、出来る限り蓄熱槽は小さくしたい。よって、出来る限り二次側は大温度差設計とする。当然、大温度差を実現するために、二次側の機器、制御は考慮する必要がある。

4.1.7 蓄熱槽効率の決定

蓄熱槽の必要容量は、式(2)によって求めることが出来る。しかし、この式中の蓄熱槽効率については、数値が決定出来ていない。蓄熱槽効率を決定しないと、蓄熱槽容量も計算できない。

$$V = \frac{H_{so}}{c \Delta \theta_0 \nu} \quad \text{「m}^3\text{」} \quad (2)$$

ここに、

- ν :蓄熱槽効率 (水蓄熱換算)
- H_{so} :蓄熱により賄われる負荷 [MJ/日]
- c :水の比熱 [MJ/(kg·K)]
- :水の密度 [kg/m³]
- V :蓄熱槽有効体積 [m³]
- $\Delta \theta_0$:利用温度差 [K]

蓄熱槽効率は図 4.3 に示すように、蓄熱完了時と放熱完了時の槽内水温プロフィールで囲まれた面積 (熱量) を、槽全体が二次側利用温度差で利用できたと想定した時の熱量で除したものである。次節で説明するシミュレーションプログラム TESEP-W では、蓄熱槽効率も算出可能であるが、通常は蓄熱槽効率を決定することは容易ではない。

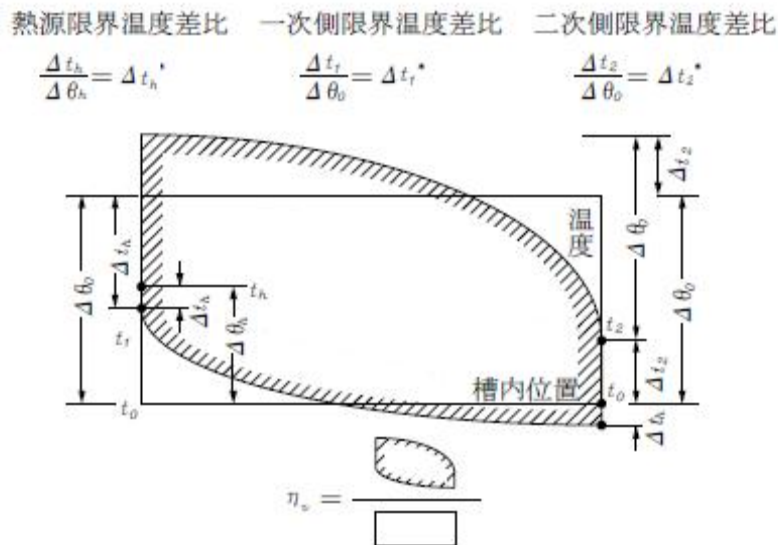


図 4.3 蓄熱槽効率の概念

蓄熱槽効率を比較的平易な方法で正確に求めるために用意されているのが、蓄熱槽効率推定表である。蓄熱槽効率効果推定表は、種々の設計条件下にて、実験計画法に基づいてシミュレーションを行い、蓄熱システムの高効率化のための要因分析と蓄熱槽効率推定表が設計資料として整理されたものである。シミュレーションで対象とする蓄熱システムは、全蓄熱、部分蓄熱およびピークシフトの3パターンで、二次側は変流量・定流量の両系統を含み、熱源側は入口三方弁による冷凍機出口温度制御を前提としている。さらに蓄熱槽への二次側還水温度を保証するために二次側定温度送水も考慮できるようになっている。蓄熱槽効率 η_{st} に影響を及ぼす設計要因の中で、分散分析の結果で有意となったものに限って表 4.1 に示す。また蓄熱槽効率推定表を表 4.2 に示す。設計要因欄に示されている B × D 等の意味は、B と D の設計要因が独立して蓄熱槽効率 η_{st} に影響するのではなく互いに干渉（交互作用）していることを示している。蓄熱槽効率 η_{st} は、それぞれの設計要因の水準の組み合わせによる要因効果を補正することで求められる。

$$\eta_{st} = \eta_0 + \sum_i \Delta\eta_{\bar{y}_i} + \sum_{i \times i'} \Delta\eta_{\bar{y}_i \times i'_{j'}} \quad (\text{信頼限界 } \pm 0.012)$$

第一項は基準値で全平均値（ここでは 0.964）、第二項は要因で水準 j の主効果、第三項は要因 i（水準 j）と要因 i'（水準 j'）との交互作用効果を示し、それぞれ表から読みとることができる。連結完全混合槽型蓄熱槽の場合は、各槽内でいかによく完全混合させ、かつ連続する槽間で温度の逆転現象を防止できるかが高蓄熱槽効率化へのポイントとなる。それは推定表からわかるように、蓄熱性能に対する蓄熱槽廻りの制御方法や設定温度に大きく左右される。また、いたずらに槽数を多くしても蓄熱性能の大幅な向上は望めず、逆にイニシャルコストへの経済的なデメリットが派生することになり、性能と経済性のバランスも十分に検討すべきである。

なお、ここでは一例として、連結完全混合槽型蓄熱槽のみについてしめしているが、温度成層型蓄熱槽については、参考文献などを参照いただきたい。

表 4.1 連結完全混合槽型蓄熱槽の蓄熱槽効率に影響する設計要因とその水準

要 因 名	水 準		
	1	2	3
<i>B</i> : 定流量負荷の最小値/最大値	0.8	0.5	0.2
<i>C</i> : 定温送水の有無	あり(2)	あり(1)	なし
<i>D</i> : 定流量負荷比	0.2	0.5	0.8
<i>E</i> : 熱源限界温度差比 (Δt_b^*)	0.6	0.4	0.2
<i>F</i> : 二次側限界温度差比 (Δt_2^*)	0.4	0.3	0.2
<i>G</i> : 分割槽数	40	20	10
<i>H</i> : 運転時間帯	0:00-24:00	18:00-12:00	22:00-8:00
<i>I</i> : 入力方式	個別	汲上部統括 還水部個別	統括

注 1. 要因と水準は連結完全混合槽型に適用する。

2. 要因についての補足説明

- 1) *B*: 定流量負荷の最小値/最大値と変流量系統負荷の最小値/最大値は同一の比率としている。したがって、変流量負荷の最小値/最大値が定流量負荷より大きい場合は蓄熱槽効率が悪くなる方向で危険側となるので、表 3.2 の蓄熱槽効率推定表の値よりマイナス側に見積もる必要がある。
 - 2) *C*: 定温送水の有無の水準は下記のとおり。
 - ・あり(1)は、送水設定温度=設計コイル入口温度 t_2
 - ・あり(2)は、送水設定温度=設計コイル入口温度 $t_2+2^\circ\text{C}$
 - 3) *E*: 熱源限界温度差比 (Δt_b^*) は、「(熱源入口温度 t_i -熱源限界温度 t_l)/(熱源入口温度 t_i -熱源出口温度 t_o)」で定義される。
 - 4) *F*: 二次側限界温度差比 (Δt_2^*) は、「(送水限界温度 t_2 -熱源出口温度 t_o)/基準利用温度差 $\Delta \theta_0$ 」で定義される。ここで、基準利用温度差 $\Delta \theta_0$ は、流量で加重平均した二次側コイル設計温度差である。
 - 5) 上記の各種温度などの記号については、図 3.3 参照のこと。
4. 本表には、基本的に統計上 5%以上の有意性を有する要因と交互作用とを採用した。以下の表において**付き要因は 1%有意水準、*付き要因は 5%有意水準である。

表 4.2 連結完全混合槽型蓄熱槽の蓄熱槽効率推定表

要因名 (<i>i</i>)	基準値 $\eta_0 = 96.4\%$ 水準(<i>j</i>)			
	1	2	3	
$\Delta \eta_{ij}$	<i>B</i> **	3.4	1.1	-4.5
	<i>C</i> **	10.3	1.8	-12.1
	<i>D</i> **	4.2	-0.3	-3.8
	<i>E</i> **	4.0	-0.1	-3.9
	<i>F</i> **	7.8	0.2	-8.0
	<i>G</i> **	5.4	0.8	-6.2
	<i>H</i> **	6.1	-8.6	2.5
	<i>I</i>	-0.8	-0.1	0.9
	$\Delta \eta_{ij \times i'j'}$	<i>B</i> × <i>D</i> **	-5.3	-1.8
-2.4			0.8	1.6
7.7			1.0	-8.7
<i>C</i> × <i>D</i> **		-6.3	-0.6	6.9
		-0.9	0.3	0.6
		7.2	0.3	-7.5
<i>H</i> × <i>I</i> *		-1.6	4.2	-2.6
		2.7	-4.1	1.4
		-1.1	-0.1	1.1

注 1. 要因名の記号は表 2.3 を参照のこと。

2. 交互作用の順序 (*j* × *j'*)

1 × 1 1 × 2 1 × 3

2 × 1 2 × 2 2 × 3

3 × 1 3 × 2 3 × 3

3. 要因 *I* は 5% 以上の有意性を持たないが、*H* × *I* の交互作用効果のための主要因効果として加算する。

4.1.8 必要な蓄熱槽容量の決定

蓄熱槽効率が決まれば、式(2)によって蓄熱槽容量も算出できる。この時点で必要な蓄熱槽容量が建築的に確保可能かどうかを確認する必要がある。もし、建築的な制約から必要な蓄熱槽容量が確保できない場合には、以下の検討が必要となる。

1) 二次側利用温度差の拡大

既に大温度差設計であれば変更の余地も無いが、5 程度で設計している場合には、二次側機器との兼ね合いも考慮したうえで、可能であれば二次側利用温度差を 10 程度まで拡大する。

2) 蓄熱槽効率の向上

蓄熱槽効率として 70%以下の値を使っている場合には、蓄熱槽効率の向上の余地がないかを検討する。蓄熱槽効率推定表を利用している場合には、温度条件などの変更により、蓄熱槽効率の向上が可能か検討する。目標としては、蓄熱槽効率 80%以上を目指す。

3) 熱源運転時間の変更

負荷発生時間と重複しない熱源の運転を短縮し、1 日の熱源運転時間を減らす。これにより、熱源容量は大きくなってしまいが、蓄熱で処理すべき負荷 H_{s0} は小さくなるため、蓄熱槽容量を低減することが可能となる。

4.1.9 BEST 入力データの決定

以上の検討が全て終了すれば、BEST に入力すべきデータを用意することが出来る。熱源については、 G_0 の値を元に選定する。ラインアップ上で近いものがあるが良いが、実在の機種と G_0 の差が大きくなってしまいう場合には、実際の熱源容量による運転時間帯、蓄熱槽の必要容量などの再チェックを行うことが望ましい。

4.2 TESEP-W を用いた設計例

TESEP-W を用いた設計手法については、TESEP-W 操作マニュアルに記載されているサンプルデータによる操作方法を掲載することにより説明を行う。より、詳細な使用方法や理論的な内容を知りたい場合には、TESEP-W 付属の操作マニュアル、理論マニュアルおよび HPTCJ 発行の各種マニュアルなどを参考にしていきたい。

4.2.1 プログラムの起動

最初にプログラムを起動します。ショートカットを作成している場合にはショートカットから、そうでなければスタートメニューからプログラムを起動してください。プログラムを起動するとモニター中央に画面 4.1 が現れます。この画面をクリック、あるいは 5 秒待つことによって、この画面は閉じます。



画面 4.1 初期画面

初期画面が閉じると、以下のメニュー画面が表示されます。この画面から各種操作を行っていきます。



画面 4.2 メニュー画面

4.2.2 サンプルデータの内容

以下にサンプルデータの内容について示します。

< 建物概要 >

用途：アイススケート競技場

建物規模：地上3階

収容人員：8,000人

延べ床面積：約16,000 m²

< 設備概要 >

下図に空調システム系統図を示します。各種設定条件は以下に示す通りです。

熱源方式：水蓄熱システム + 水冷ヒートポンプチャラー

二次側空調方式：各系統空調機（変風量方式）

設計温度条件

熱源入口：10 以上 熱源出口：5 （三方弁制御）

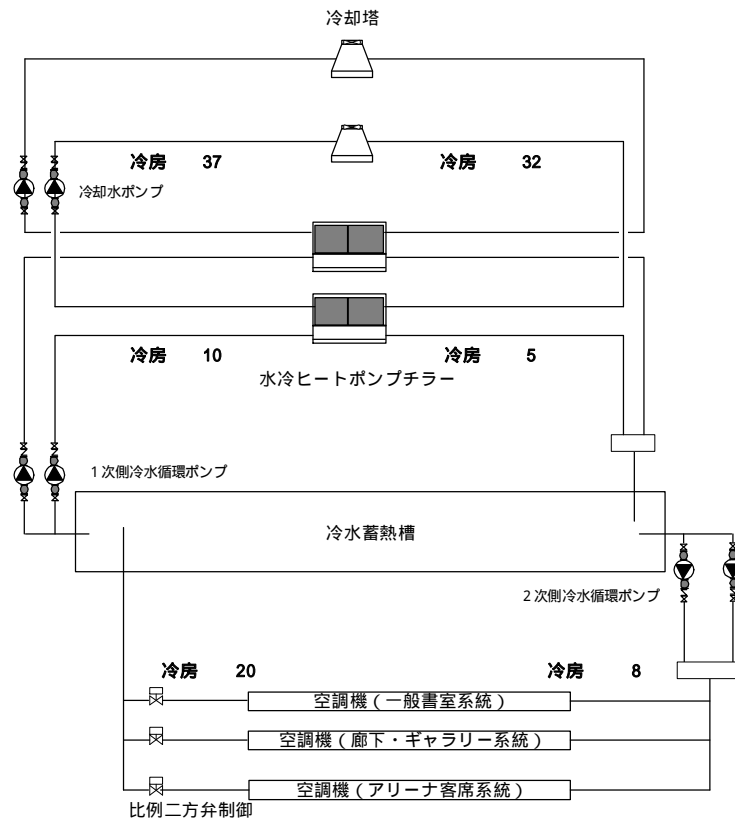
冷却塔入口：37 冷却塔出口：32

空調機入口：8 空調機出口：20 温度差：12deg

空調運転時間：9～20時（一般諸室系統）

10～21時（アイスアリーナ系統）

熱源運転時間：0～24時（24時間）



空調システム系統図

< 空調負荷 >

下表に対象建物の冷房ピーク時の空調負荷計算結果を示します。このように、系統毎で空調運転時間が異なっても構いません。暖房時の計算を行う場合には、暖房ピーク時の空調負荷を計算します。このプログラムでは、冷房か暖房の両方を一度には計算できませんので、冷房、暖房両方計算する場合には2回プログラムを走らせる必要があります。

本プログラムは空調負荷を計算する機能はありませんので、各種負荷計算プログラムを用いて算出してください。

表 冷房ピーク時の空調負荷計算結果

	二次側制御方式	時刻別冷房負荷 (Mcal/h)					
		9時	10時	11時	12時	13時	14時
1系統	比例二方弁 + 変風量	68.7	78.5	91.0	90.4	97.3	85.7
2系統	"	121.9	125.6	128.4	131.3	131.2	124.4
	二次側制御方式	時刻別冷房負荷 (Mcal/h)					
		10時	11時	12時	13時	14時	15時
3系統	比例二方弁 + 変風量	1287.1	1338.6	1373.2	1378.2	1364.8	1347.7
	二次側制御方式	時刻別冷房負荷 (Mcal/h)					
		15時	16時	17時	18時	19時	20時
1系統	比例二方弁 + 変風量	80.7	79.5	77.0	74.7	74.2	72.7
2系統	"	116.3	113.2	107.4	103.8	96.7	92.8
	二次側制御方式	時刻別冷房負荷 (Mcal/h)					
		16時	17時	18時	19時	20時	21時
3系統	比例二方弁 + 変風量	1324.3	1307.1	1274.8	1250.3	1224.1	1202.8

4.2.3 データの読込

サンプルデータを読み込みます。この画面の矢印で示したフォルダの絵のボタンをクリックします。

ここをクリック



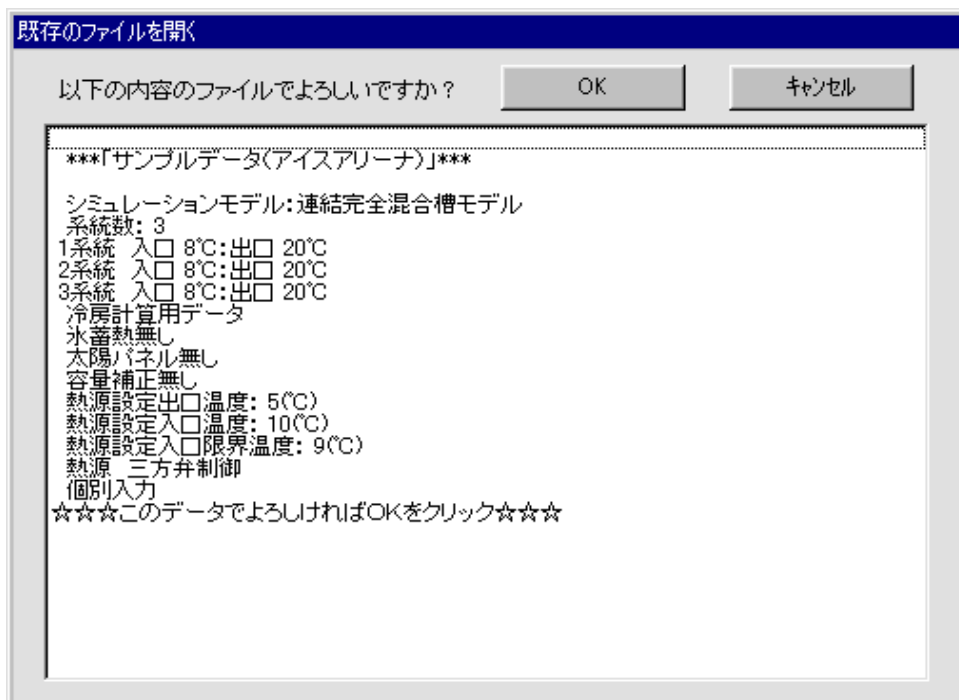
画面 4.3 メニュー画面

以下の画面のようなダイアログボックスが表示されますので、sample フォルダを保存した場所を指定し、そのフォルダを開いた状態にします。画面のように、アイスアリーナ ver2.sto2 が表示されている状態です。入力したデータを保存した場合には、全て拡張子「sto2」が付けられます。この画面では、この拡張子のファイルのみ表示します。



画面 4.4 読込データ選択画面

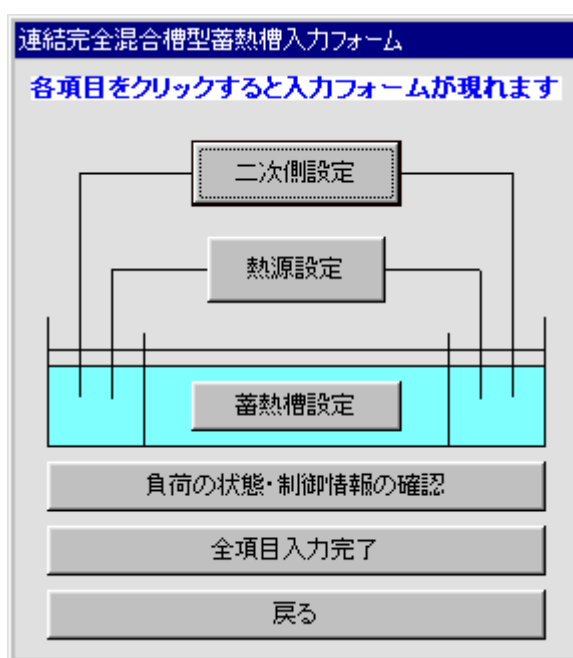
アイスアリーナ ver2.sto2 をマウスで選択し（ファイル名のところに表示される）、開くボタンをクリックします。すると下の確認画面が表示されます。ここで、データの概要が確認できます。



画面 4.5 読込ファイルの内容確認画面

4.2.4 入力データの確認

先の画面で OK がクリックされると、以下の画面が表示されます。この画面から各設定内容を確認・変更することが出来ます。この画面の全項目入力完了をクリックすると、次の処理に進みますが、ここでは、各設定の内容を見てもらうために、二次側、熱源、蓄熱槽の各設定ボタンをクリックしてもらいます。



画面 4.6 入力項目選択画面



二次側設定のボタンをクリックすると以下の画面が表示されます。この画面では、二次側の各系統の空調負荷と水量、および空調機器の温度設定、流量制御方法などについて、入力が行われています。

画面左上に配置されている、空調負荷の設定の枠について説明します。空調負荷の入力方法にはファイルからの読込と手入力の2通りがあります。

次に、二次側各系統の水量設定の枠について説明します。水量については、自動計算とファイル読込、手入力の3通りから選択できます。詳細については、第5章で説明しますが、ここでは自動計算となっています。自動計算では流量制御方法に応じた、水量を計算し、その水量を用いて蓄熱槽水温の計算を行います。

各系統二次側状態の設定の枠について説明します。二次側の系統は最大10系統まで入力可能ですので、10系統について設定が可能な準備がありますが、空調負荷が入力された系統数のみが有効となり、それ以外は無効と表示されタブをクリックしても画面は表示されません。設定の内容としては、入口水温と出口水温の入力、流量制御方法、定温送水、変流量制御の選択です。詳細については第5章で説明しますが、ここでは比例二方弁が選択されていますので、コイルシミュレーションを行い、二次側での設定温度差が実現されるような水流を計算します。

現段階では全体の流れを確認してもらうための操作ですので、いずれの設定も変更せずに、このフォームを閉じるボタンをクリックしてください。

画面 4.7 二次側条件設定画面

熱源設定のボタンをクリックすると以下の画面が表示されます。ここでは熱源関係の制御方法について設定します。熱源運転時間については、1 時間単位での設定が可能です。この例では 24 時間運転させることになっています。熱源運転時間は熱源容量の決定に影響を与えますが、詳細については第 5 章で説明します。熱源制御の枠の中には、三方弁制御、二方弁制御、制御無し、の 3 通り方式が用意されています。ここの設定を変えると、系統図も変化します。三方弁制御では始端槽と終端槽の水を混合させ熱源設定入口水温を実現します。熱源機器の外気温等による補正については第 5 章で説明しますので、この設定項目があることのみを覚えておいてください。成績係数は計算に使用していません。熱源の運転負荷率についても第 5 章で説明します。

ここでも、設定は変更せず、設定を変更して終了、あるいはキャンセルボタンをクリックしてこの画面を閉じてください。設定を変更してしまった場合でも、キャンセルボタンでこの画面を閉じると、設定はこの画面を開いた状態に戻ります。

熱源条件入力フォーム

熱源関係の設定

熱源容量固定時チェック

熱源容量 (Mcal/h)

ピークシフト (24時間運転)
 ピークカット
 全蓄熱
 任意

0	1	2	3	4	5	6	7
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	9	10	11	12	13	14	15
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	17	18	19	20	21	22	23
<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

時間の説明: 表示時間を起点とした1時間と考える。例えば、01は0時0分から0時59分59秒を示す。赤字が夜間割引適用時間帯、紫色の斜体文字がピークカット時間帯。熱源容量未入力の場合は、ここでチェックされた時間数によって、熱源容量が算出される。

熱源機器の外気温等による補正

容量補正を行う

補正を行う場合は熱源機器と条件の入力が必要です。
※補正しない場合は何もしないでください。

機器・条件の入力

熱源制御

三方弁制御
 制御無し
 二方弁制御 (変流量大温度差)

成績係数・運転負荷率

成績係数

熱源の運転負荷率 (%) を仮定

一次ポンプ定格流量 (L/min)

熱源入口水温

熱源出口水温

熱源限界入口水温

熱源機

蓄熱槽

終端槽

始端槽

設定を変更して終了

キャンセル

画面 4.8 熱源関係設定画面

蓄熱槽設定のボタンをクリックすると以下の画面が表示されます。ここでは、蓄熱槽容量を変更させる上での制約条件の設定、蓄熱槽の熱的性能値、および配管方式について設定しています。

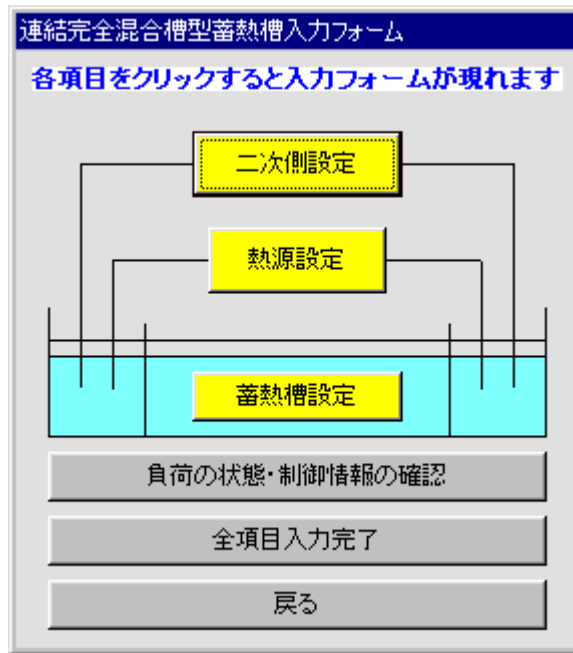
この画面で現在設定されている内容について説明します。槽全体の最大容量は制限していません。一槽の容量は 30 m³としますが、槽数を最大まで増やしても槽容量が不足する場合には変更も可能であるとしています。槽数は最大 100 槽まで可能としています。このように設定しておく、一槽の容量は 30 m³とし槽数を増減させることによって最適な槽容量を求めていきます。もし、100 槽でも不足する場合には、一槽の容量を増加させて最適槽容量を求めることになります。

熱損失率は画面上でも説明されているように、蓄熱槽から逃げる熱の割合です。実際の計算ではこの割合だけ空調負荷が増加したものとして計算が行われています。蓄熱槽効率は最初の計算をはじめの時に使用する槽容量を求めするために使用されます。この値が大きいほど槽容量は小さく、逆に蓄熱槽効率を小さくすると槽容量が大きくなります。しかしながら、これはあくまでも計算開始時の容量であり、最適容量を求めていく段階で変化していきます。

ここでも、設定は変更せず、設定を変更して終了、あるいはキャンセルボタンをクリックしてこの画面を閉じてください。設定を変更してしまった場合でも、キャンセルボタンでこの画面を閉じると、設定はこの画面を開いた状態に戻ります。

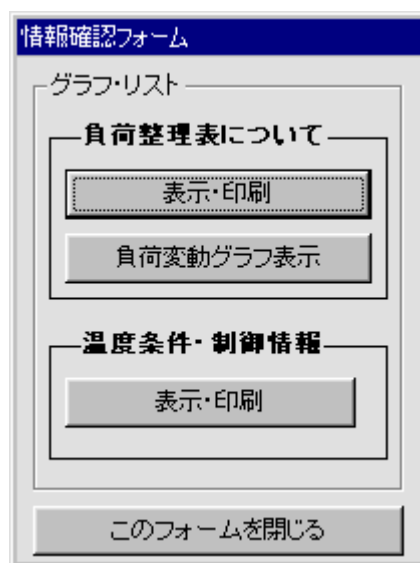
画面 4.9 蓄熱槽関係設定画面

3つの画面の確認が終了すると、以下の画面のようにボタンの色が黄色になっています。ただし、キャンセルボタンで画面を閉じた場合には、黄色にはなっていません。



画面 4.10 入力項目選択画面

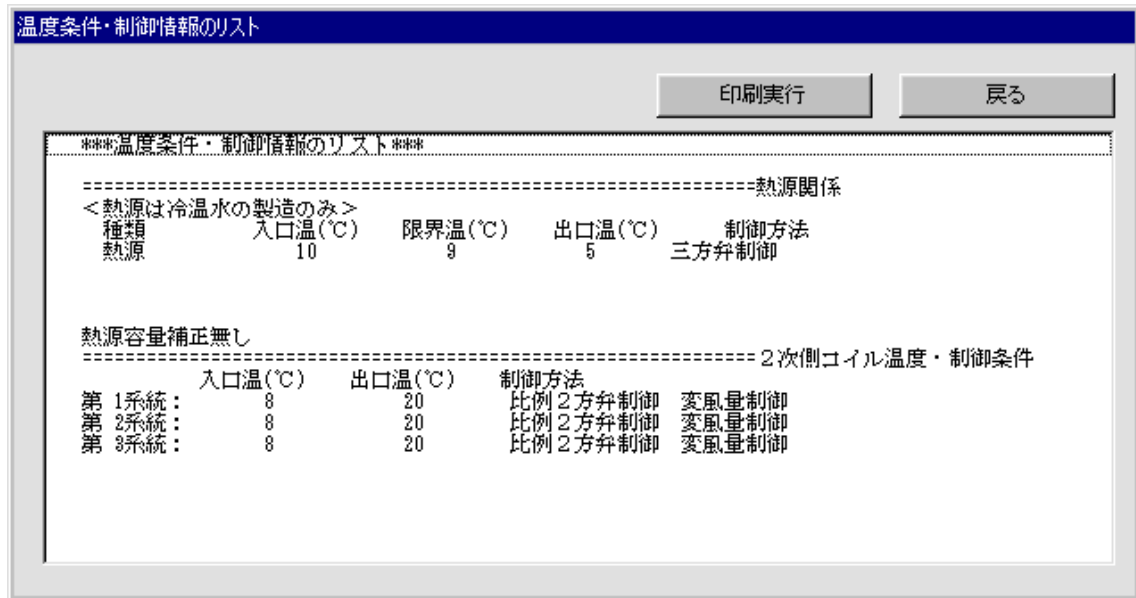
次に、負荷の状態・制御情報の確認について説明します。この操作は行わなくても計算には何の影響はありませんので、確認したいときだけ行ってください。ここでは、入力された空調負荷を数値とグラフで確認することが出来ます。負荷整理表についての枠の表示・印刷をクリックすると数値で確認できます。負荷変動グラフ表示をクリックすると、グラフで確認できます。



画面 4.11 空調負荷・制御方法確認画面

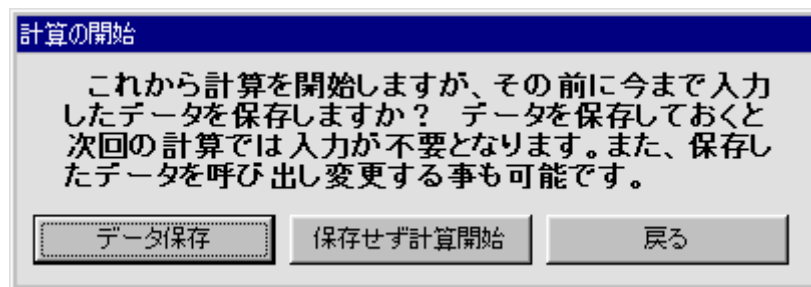
温度条件・制御情報の枠の表示・印刷をクリックすると、以下の画面が表示されます。この画面では熱源と2次側の温度設定や流量制御方法などについて確認できます。

空調負荷や設定に問題がある場合には、それに該当する入力画面を再度開き、修正することが出来ます。

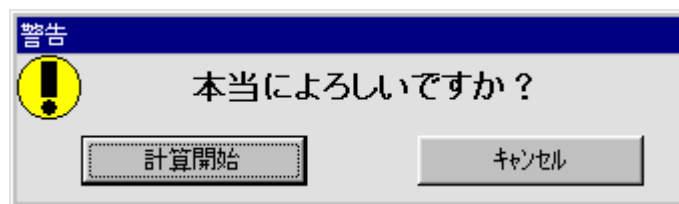


画面 4.12 温度条件・制御情報確認画面

画面 4.10 で全項目入力完了をクリックすると、画面 4.13 が表示されます。今までに入力したデータを保存するか聞いてきます。今回の場合は、既存データを読み、変更も行っていませんので、保存する必要はありません。保存せず計算開始をクリックしてください。画面 4.14 の確認画面が出ますので、計算開始をクリックしてください。



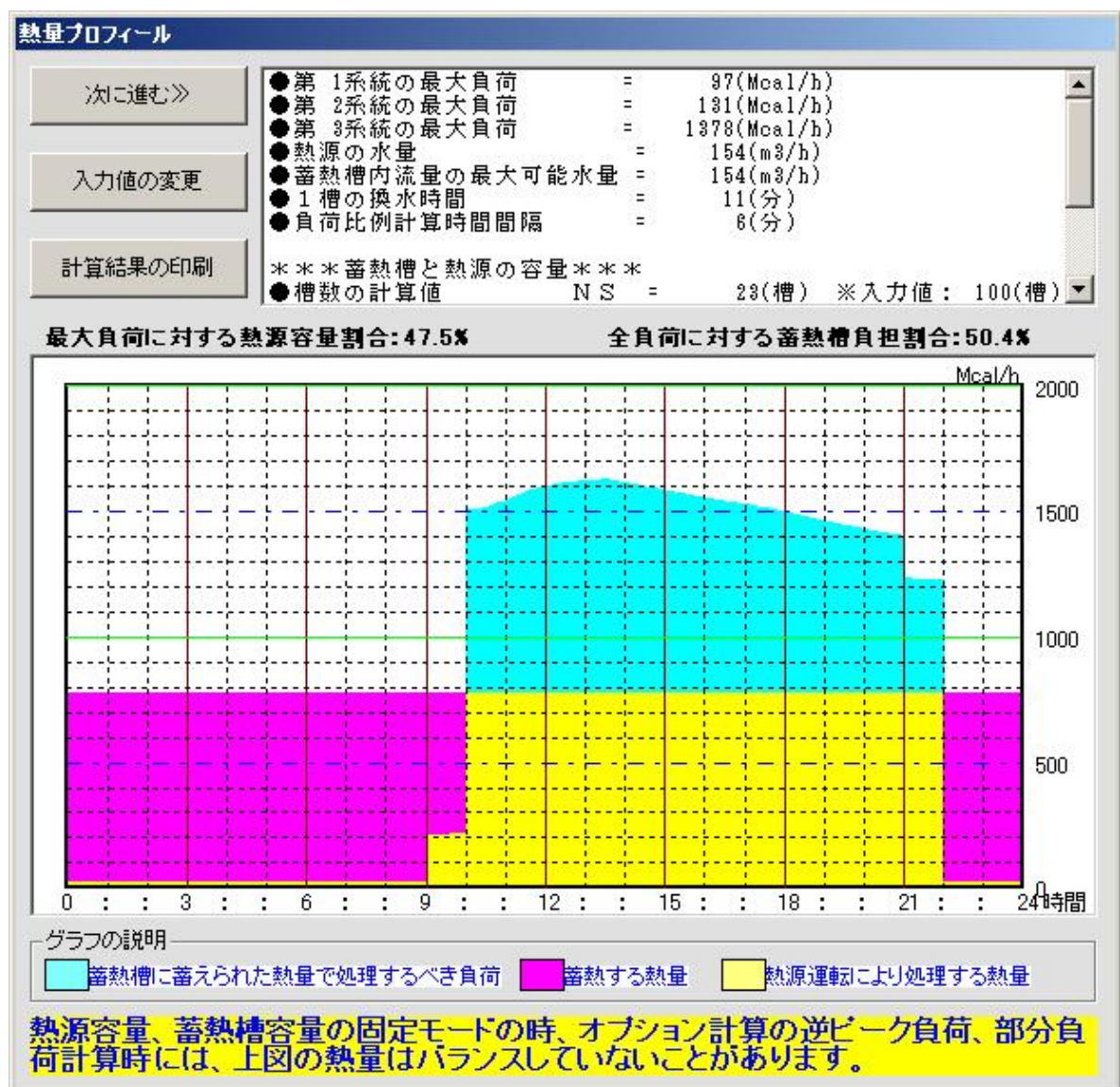
画面 4.13 データ保存選択画面



画面 4.14 データ保存確認画面

画面 4.14 で計算開始がクリックされると、画面 4.15 が表示されます。この画面では入力された諸条件より算出された、熱源容量・水量、計算を開始するときの槽容量等の情報が表示されます。画面上部の数値画面はスクロールバーによってスクロールできますので、隠れている内容についても確認出来ます。

これらの数値が問題無ければ次に進むのボタンをクリックします。ここでは、行いませんが、もし数値を変更したい場合には入力値の変更ボタンをクリックすることによって、画面 4.10 に戻ることが出来ます。



画面 4.15 計算開始時の状態表示画面

画面 4.15 で次に進むのボタンをクリックされると、画面 4.16 が表示されます。ただし、この画面が現れるのは二次側の制御として比例二方弁を選択した場合のみです。もし、どの系統についても比例二方弁が選択されていない場合には、画面 4.19 が表示されます。

画面上部に計算条件が表示されていますので確認してください。これらのうち空気の入出口温度と湿度については変更が可能です。それ以外は変更できません。画面には系統毎にコイル列数、空気の入出口温湿度の入力欄が用意されています。コイルの列数は分かっているならば入力しますが、そうでなければ空白のままにしておきます。プログラムで必要な列数を計算します。空気の入出口温湿度についても変更が無ければ空白のままでかまいません。ここでは、設定を変更せず処理開始のボタンをクリックしてください。全系統について行ってください。

水量の計算

以下の条件にてコイル列数計算を行い、それによりシミュレーションを行って水量率を求めます。

計算条件

△風量 = 8000m ³ /h	△面風速 = 2.5m/s	△チューブ呼径 = 15mm
△コイルエレメント長 = 1000mm	△コイルピッチ = 38.1mm	
△チューブ1m当たりフィン表面積 = 0.7824m ² /m	△フィン効率(乾) = 0.8	△フィン効率(湿) = 0.6
△管内汚れ係数 = 0.0002m ² ·h/kcal	△フィンと管との接触抵抗 = 0.00001m ² ·h/kcal	
空気の入口温度 = 29℃、 空気の入口絶対湿度 = 0.015kg/kg ¹		
空気の出出口温度 = 16℃、 空気の出出口絶対湿度 = 0.010kg/kg ¹		

コイル列数既知の場合も入力。空気条件も変更の必要があれば入力。コイル列数空白時は必要列数を算出。

	第1系統	第2系統	第3系統
コイル列数	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の入 口温度 =	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の出 口温度 =	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の入 口絶対湿度 (kg/kg ¹) =	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の出 口絶対湿度 (kg/kg ¹) =	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コイル列数 計算結果	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
	<input type="button" value="処理開始"/>	<input type="button" value="処理開始"/>	<input type="button" value="処理開始"/>

画面 4.16 コイルシミュレーション条件表示画面

処理開始がクリックされると、画面 4.17 のようにボタンが黄色に変わり、算出された列数が表示されます。そして、全系統の処理が終了すると次の処理へというボタンが現れます。

各系統の処理が終了する毎に画面 4.18 が表示されますが、この内容については第 5 章で説明しますので、ここでは無視して次の処理へ進んでください。

水量の計算

以下の条件にてコイル列数計算を行い、それによりシミュレーションを行って水量率を求めます。

計算条件

△風量	=8000m ³ /h	△面風速	=2.5m/s	△チューブ呼径	=15mm
△コイルエレメント長	=1000mm	△コイルピッチ	=38.1mm		
△チューブ1m当たりフィン表面積	=0.7824m ² /m	△フィン効率(乾)	=0.8	△フィン効率(湿)	=0.6
△管内汚れ係数	=0.0002m ² ·h/kcal	△フィンと管との接触抵抗	=0.00001m ² ·h/kcal		
空気の入口温度	=29℃	空気の入口絶対湿度	=0.015kg/kg		
空気の出ロ温度	=16℃	空気の出ロ絶対湿度	=0.010kg/kg		

コイル列数既知の場合は入力。空気条件も変更の必要があれば入力。コイル列数空白時は必要列数を算出。

	第1系統	第2系統	第3系統
コイル列数	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の入ロ温度	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の出ロ温度	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の入ロ絶対湿度 (kg/kg)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
空気の出ロ絶対湿度 (kg/kg)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
コイル列数計算結果	12	12	12
	<input type="button" value="処理開始"/>	<input type="button" value="処理開始"/>	<input type="button" value="処理開始"/>

次の処理へ>>

画面 4.17 コイルシミュレーション処理終了後の画面

	0時	1時	2時	3時	4時	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時
熱量比											0.93	0.97
水量比											0.93	0.97
	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時
熱量比	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87		
水量比	1.00	1.00	0.99	0.98	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87		
	特別グラフ表示				1日一覧表示				閉じる			

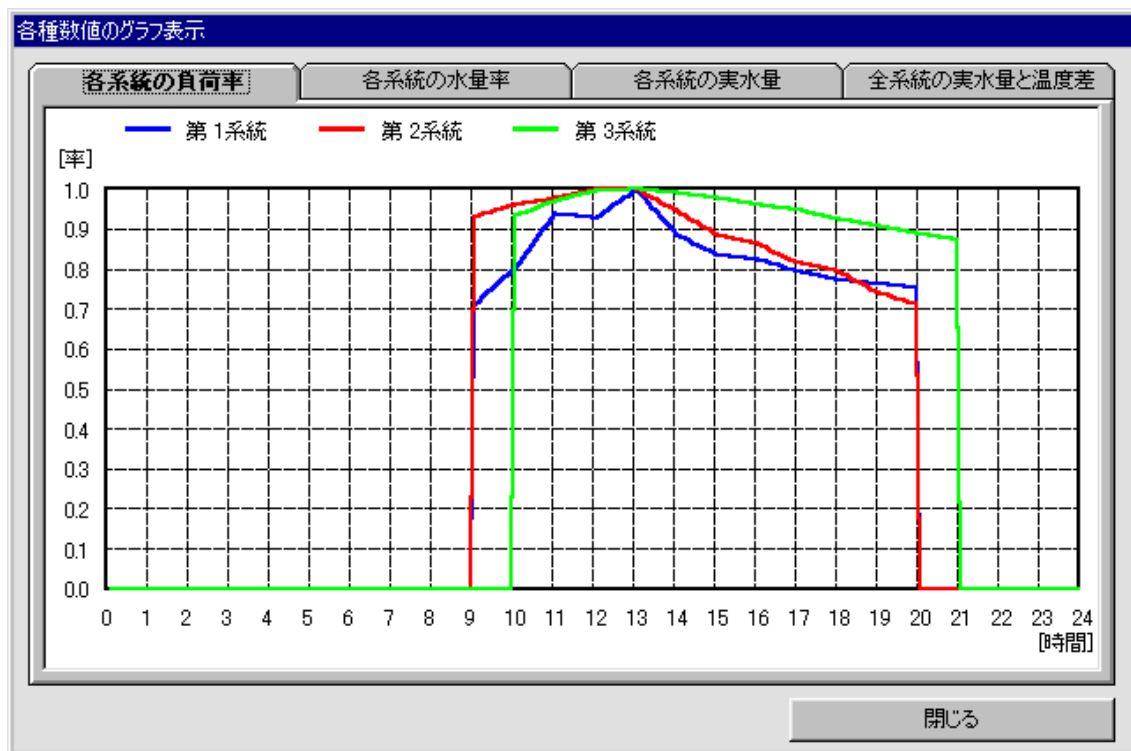
画面 4.18 熱量比と水量比の計算結果

画面 4.17 で次の処理へのボタンをクリックされると画面 4.19 が表示されます。グラフ表示をクリックすると画面 4.20 のようにグラフで表示されますが、内容は全て同じです。これらのデータを元に蓄熱槽の運転シミュレーションが実行されます。

次に進むのボタンをクリックしてください。



画面 4.19 負荷・水量・温度差の数値表示画面

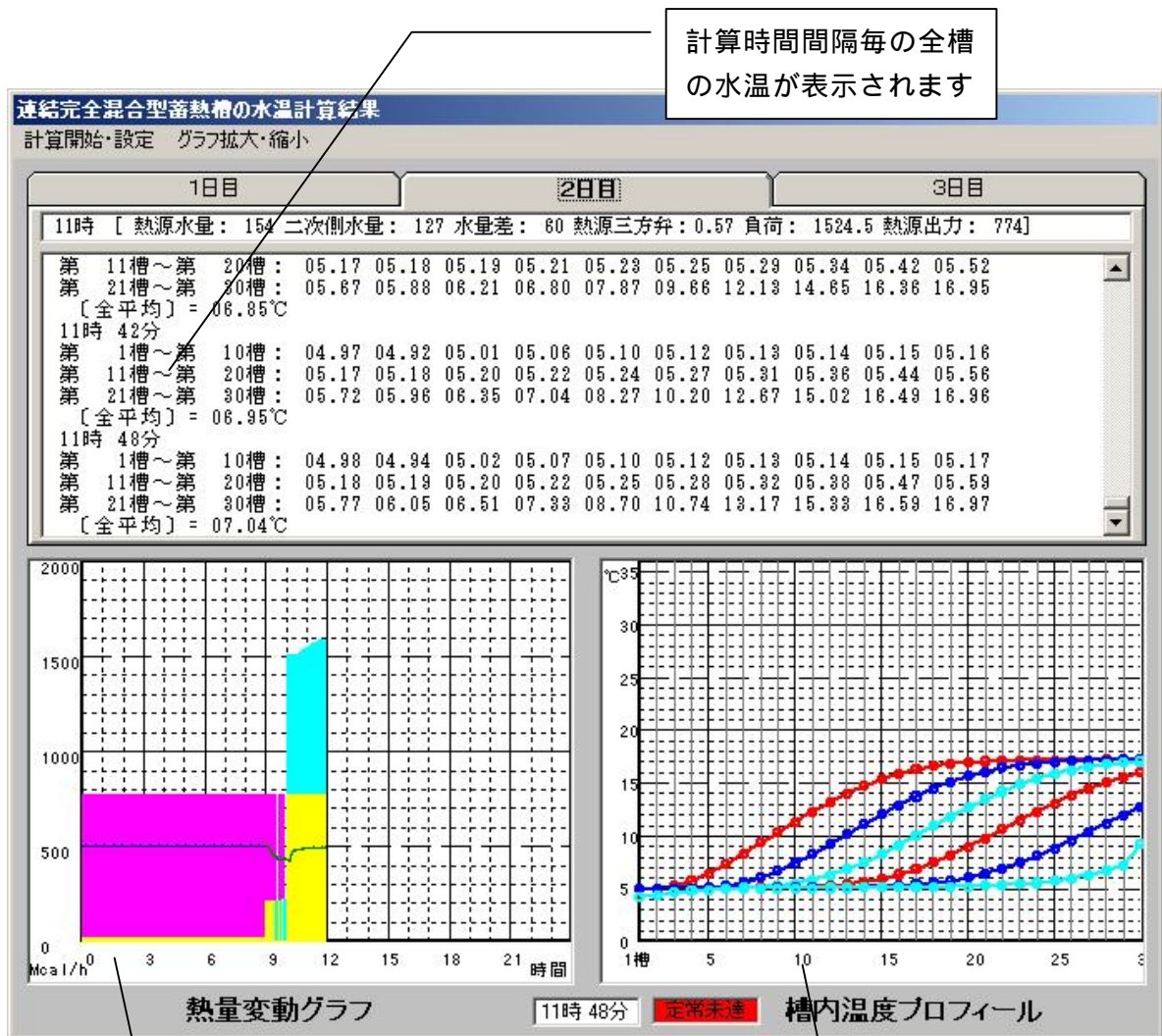


画面 4.20 負荷・水量・温度差のグラフ表示画面

4.2.5 計算の実行

画面 4.19 で次に進むのボタンをクリックすると、画面 4.21 が表示され蓄熱槽の運転シミュレーションが実行されます。

各ウィンドウの内容は以下に示すとおりです。また、この画面における操作の詳細については第 5 章で行いますので、ここでは、画面の動きを見ていてください。槽内水温の変動が定常状態に達するまで繰り返し計算を行います。このサンプルデータでは 2 日目で定常状態となり、計算が停止します。



画面 4.21 蓄熱槽水温計算実行画面

画面 4.21 の計算が停止すると画面 4.22 が表示されます。これには、現状での蓄熱槽容量についての判定結果が表示されています。この場合は二次側への送水温度が設定温度よりも 0.72 高くなることもあり、空調時間中に設定値を守ることが出来なかった状態が発生したことを示しています。よって、蓄熱槽容量が不足していると判定しています。画面に示すように槽容量の不足以外にも改善する方法はありますが、ここでは、槽容量を増加させることによって設定条件をクリアすることを考えます。

次節より槽容量調整の方法について説明します。

最適容量調整

定常状態になりました。現段階での蓄熱槽の状況は以下の通りです。

ここでの判定は、あくまで二次側送水限界温度が守られているかを判定しているものであって、最適性を示すものではありません。蓄熱槽数・容量、温度設定、流量制御などを比較検討し、蓄熱槽効率が最大になる状態を見つけください。

二次側送水限界温度を判定要因とした場合の蓄熱槽の状況

二次側送水限界温度よりも二次側送水温度が0.25℃以上(0.72℃)高くなりました。二次側の条件が満たされていません。原因として以下のことが考えられます

- ①槽容量の不足
- ②二次側制御方法の問題(無制御や三方弁がないか?)
- ③槽数が少ないために、ピストンフローが実現できない

現在の蓄熱槽 槽数: 22 槽容量: 30.0m3

二次側送水限界温度による容量調整を行いますか?

容量調整を行う 終了(蓄熱槽効率確認) 入力からやり直し

画面 4.22 槽容量過不足判定結果表示画面

4.2.6 計算の実行

槽容量の調整には自動で行うものと、任意の数値を手入力で行うものの2つの方法があります。ここでは、自動で行う場合について説明します。画面 4.22 で、“容量調整を行う”をクリック>自動計算選択>“確定”クリックを行うと、画面 4.23 の状態になります。

この画面では、槽数か単槽容量のいずれを変更させて槽容量の調整を行うのかの選択と、収束精度の設定を行います。入力条件を元にして優先して変更させる要因が選択状態となっていますが、変更することも可能です。収束精度についても変更可能ですが、あまり小さな値にすると収束しなくなる場合もありますので、注意してください。

ここでは、何の設定も変えずに計算実行をクリックしてください。

最適容量調整

定常状態になりました。現段階での蓄熱槽の状況は以下の通りです。

ここでの判定は、あくまで二次側送水限界温度が守られているかを判定しているものであって、最適性を示すものではありません。蓄熱槽数・容量、温度設定、流量制御などを比較検討し、蓄熱槽効率が最大になる状態を見つけてください。

二次側送水限界温度を判定要因とした場合の蓄熱槽の状況

二次側送水限界温度よりも二次側送水温度が0.25℃以上(0.72℃)高くなりました
二次側の条件が満たされていません。原因として以下のことが考えられます

- ①槽容量の不足
- ②二次側制御方法の問題（無制御や三方弁がないか？）
- ③槽数が少ないために、ピストンフローが実現できない

現在の蓄熱槽 槽数: 22 槽容量: 30.0m³

二次側送水限界温度による容量調整を行いますか？

容量調整を行う 終了(蓄熱槽効率確認) 入力からやり直し

調整方法の選択

手入力…任意の槽数、単槽容量を入力し、その状態で計算を実施

自動計算…ニュートンラフソ法により収束計算を実施

自動計算による槽容量の変更

入力条件：
最大容量は制限なし
槽数は変更可能(最大: 100槽)
単槽容量は変更可能

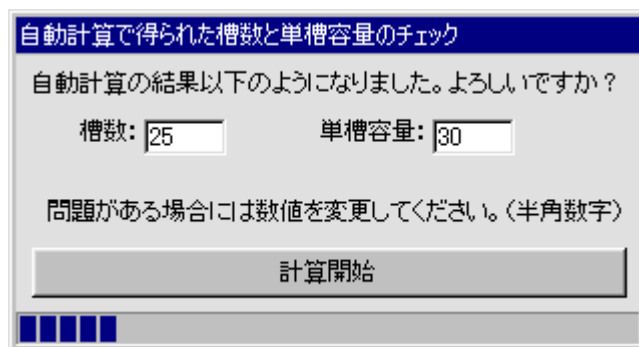
変更させる要因選択
 槽数 槽容量

収束精度は±0.25℃(デフォルト値)のままでよろしいか？変更の場合は入力

計算実行

画面 4.23 槽容量自動調整設定画面

画面 4.23 で計算実行をクリックすると、画面 4.24 が表示されます。算出された槽数と単槽容量が表示されます。この場合、槽数を変更させるように設定していますので、槽数のみ 22 槽から 25 槽に増加しています。この画面が表示されて約 15 秒（画面下のバーが右端に到達するまで）で自動的に槽内水温の計算が始まります。また、計算開始をクリックすることによって計算が始まります。いずれかの方法で計算を開始してください。



画面 4.24 槽容量自動調節算出結果表示画面

画面 4.21 が表示され再度蓄熱槽内水温が定常状態になるまで計算が繰り返されます。そして、定常状態に達すると、画面 4.25 が表示されます。この画面では前回の結果と今回の結果を表示しています。前回の結果が槽容量が不足しているとの判定であったため、槽容量を増加しましたが、今回の結果では逆に過剰になってしまっている結果となりました。よって、再度槽容量を変化させて計算を行う必要があります。画面 4.24 と同様に 15 秒待つか、変更して再計算をクリックすると計算が始まります。



画面 4.25 前回と今回の計算結果比較画面

再度、画面 4.21 が表示され定常状態になるまで計算が行われます。定常状態に達すると画面 4.26 が表示されます。今回の結果では、蓄熱槽から二次側への送水温度の最高値が二次側送水限界温度より 0.01 低い結果となり、収束条件である 0.25 をクリアしているため、適正容量であると判定されています。適正容量と判定されると、自動計算においてはこれ以上槽容量を変化させることが出来ませんので、自動計算機能は停止し、この画面も自動的に切り替わりません。

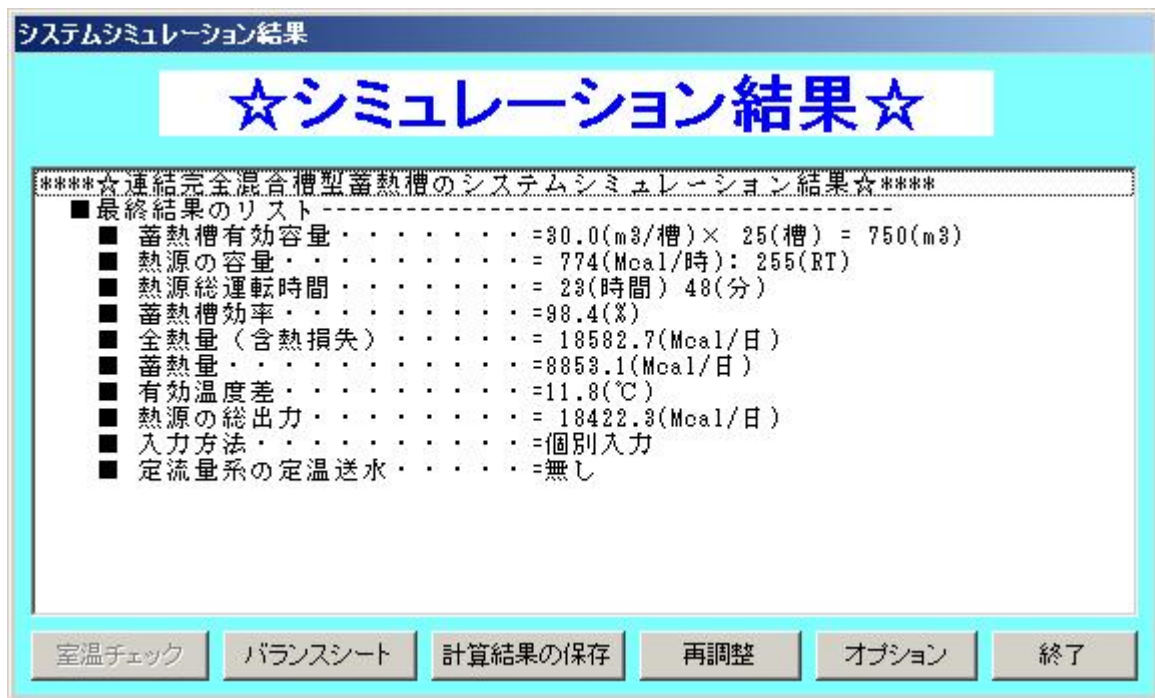
画面 4.26 適正容量算出時の画面

4.2.7 槽容量調整（手入力）

槽容量の調整を手入力で行う場合には、画面 4.22 で、“容量調整を行う”をクリック＞手入力選択＞“確定”クリックを行うと、槽数と単槽容量の入力欄が表示されますので、そこに数値を入力し、計算を実行してください。それ以降は、自動計算の場合と同じように、計算毎の結果が表示されますので、希望の状態になるまで槽容量を変更して計算を実行してください。

4.2.8 結果の出力

画面 4.26 で計算終了（蓄熱槽効率確認）ボタンをクリックすると、画面 4.27 が表示されます。この画面では、現時点での槽容量や熱源運転時間、蓄熱槽効率などが表示されています。もし、この内容に問題がある場合には、再調整をクリックすると画面 4.26 に戻り、槽容量を変更して再計算を行うことも可能です。計算結果の印刷をクリックすると、画面に表示されている内容がプリンターに出力されます。計算結果の保存をクリックすると画面 4.28 が表示され、ファイル名を入力して保存をクリックすると、計算結果データが保存されます。このファイルには自動的に拡張子.csv が付けられます。



画面 4.27 計算結果表示画面



画面 4.28 計算結果保存ファイル入力画面

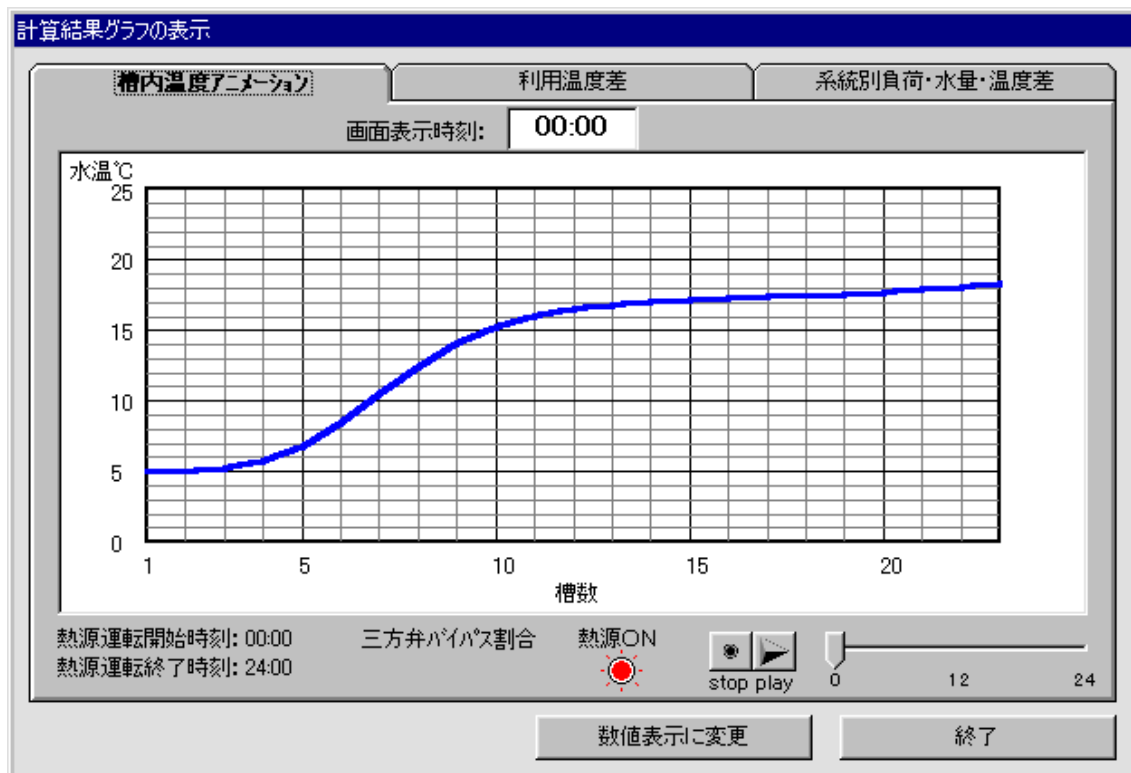
4.2.9 結果の表示

前節で保存したファイルは、プログラムで読込、表示させることができます。画面 4.29 に示すように、左から 5 番目のボタンをクリックします。データ読込画面が表示されますので、そこで先ほど作成したファイルを選択して読み込んでください。



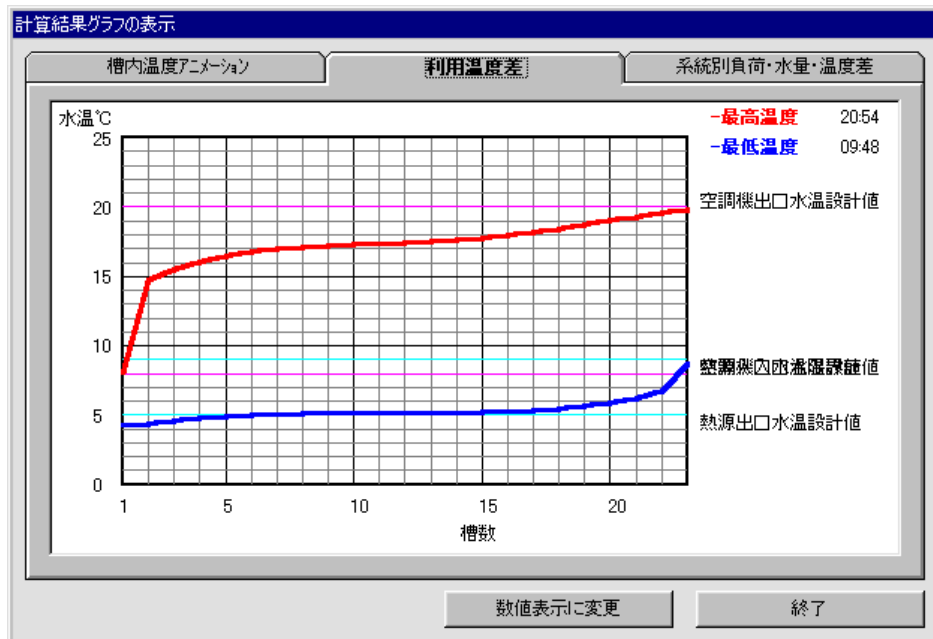
画面 4.29 メニュー画面

データの読込が終わると画面 4.30 が表示されます。この画面では槽内温度プロフィールの時間変化を見ることが出来ます。Play をクリックするとアニメーションが始まります。熱源の状態や三方弁の開度などについても表示されます。



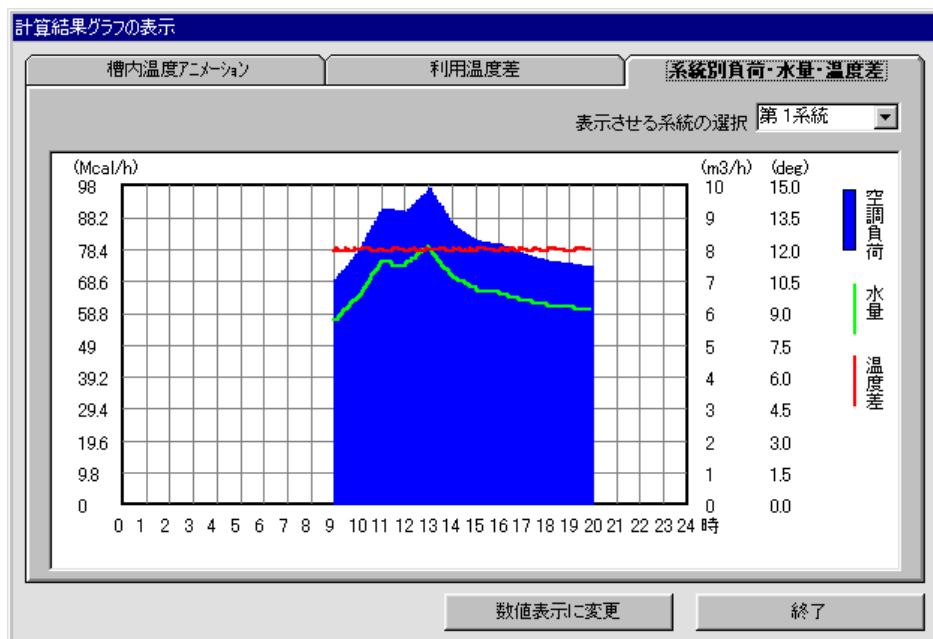
画面 4.30 槽内温度アニメーション表示画面

画面 4.30 で利用温度差のタブをクリックすると画面 4.31 の表示になります。ここでは、熱源や空調機の設定温度および、槽内温度プロファイルの最高値と最低値を示しています。これらを元に蓄熱槽効率を算出しています。



画面 4.31 利用温度差表示画面

画面 4.31 で系統別負荷・水量・温度差のタブをクリックすると、画面 4.32 の表示になります。ここで、各系統の空調負荷、水量、温度差が確認できます。表示させる系統の選択により、全系統について表示可能です。



画面 4.32 系統別負荷・水量・温度差表示画面

画面 4.32 で数値表示に変更をクリックすると、画面 4.33 が表示されます。ここでは、計算時間間隔毎に全槽の水温が表示されます。



画面 4.33 時間別全槽内温度表示画面

画面 4.33 で空調負荷のタブをクリックすると、画面 4.34 の表示になります。この画面では各系統の空調負荷が表示されます。空調負荷は元々は1時間毎の値ですが、ここで表示されるのは計算時間間隔で直線補間された値です。



画面 4.34 計算時間間隔毎の空調負荷表示画面

画面 4.34 で水量のタブをクリックすると画面 4.35 の表示になります。ここでは、計算時間間隔毎の熱源流量と二次側の各系統の流量が表示されます。熱源流量を二方弁による変流量制御とした場合には、時間により水量が変化します。

計算結果数値の表示											
時間別槽内温度		空調負荷(Mcal/h)			水量(m ³ /h)						諸数値
時間	熱源流量	1系統	2系統	3系統	4系統	5系統	6系統	7系統	8系統	9系統	10系統
00:00	154.8	0	0	0							
00:06	154.8	0	0	0							
00:12	154.8	0	0	0							
00:18	154.8	0	0	0							
00:24	154.8	0	0	0							
00:30	154.8	0	0	0							
00:36	154.8	0	0	0							
00:42	154.8	0	0	0							
00:48	154.8	0	0	0							
00:54	154.8	0	0	0							
01:00	154.8	0	0	0							
01:06	154.8	0	0	0							
01:12	154.8	0	0	0							
01:18	154.8	0	0	0							
01:24	154.8	0	0	0							
01:30	154.8	0	0	0							
01:36	154.8	0	0	0							
01:42	154.8	0	0	0							
01:48	154.8	0	0	0							
01:54	154.8	0	0	0							
02:00	154.8	0	0	0							
02:06	154.8	0	0	0							
02:12	154.8	0	0	0							

画面 4.35 計算時間間隔毎の水量表示画面

画面 4.35 で諸数値のタブをクリックされると画面 4.36 の表示となります。ここでは、温度の設定条件や各種計算結果が表示されます。

終了ボタンのクリックによって、この画面を閉じることが出来ます。

計算結果数値の表示			
時間別槽内温度	空調負荷(Mcal/h)	水量(m ³ /h)	諸数値
蓄熱槽タイプ:	連結完全混合槽モデル		計算種別: 冷房計算結果
蓄熱槽数 :	23槽	蓄熱槽容量: 30.m3	蓄熱槽総容量: 690m3
熱源設計出口温度:	5°C	熱源設計入口温度: 10°C	熱源設計入口限界温度: 9°C
二次側設計入口温度:	8°C	空調負荷と流量から算出される二次側最大温度差: 12.0°C	
熱源機器容量:	774.0Mcal	最大空調負荷: 1626.8Mcal	熱源容量減少割合: 47.6%
総空調負荷:	18577.1Mcal	蓄熱量: 8157.5Mcal	蓄熱槽分担割合: 43.9%
熱源運転時間:	22時間 0分	熱源総出力: 17029.0Mcal	蓄熱槽効率: 98.5%
<small>・熱源機器容量は必要熱源容量を運転負荷率で除した値 ・空調負荷は槽熱損失分を割増した値</small>			

画面 4.36 計算結果諸数値表示画面

4.2.10 設計の終了

以上の作業によって、BEST に入力が必要な項目について決定することが可能となる。但し、TESEP-W の計算結果についても十分に検討は必要である。少しの入力値の違いによっても、蓄熱槽効率が大きく変動し、必要槽容量も大きく異なる場合もある。一回の入力結果をそのまま使うのではなく、TESEP-W を用いて試行錯誤を繰り返し、蓄熱槽効率の高い蓄熱式空調システムが構築できた後で、BEST への入力を行なうことが必要である。

4.3 水蓄熱式空調システム設計要点のまとめ

以上、手計算と TESEP-W を使った、水蓄熱式空調システムの設計手法について説明を行なった。ただ、ここで示したことが全てではないので、他の文献、設計資料、マニュアル等を参考にして、正しい設計をしていただきたい。以下に、設計の要点をまとめたので、BEST に入力を行なう前にチェックしていただきたい。

- 1) 蓄熱槽効率は 80%以上となることが望ましい。
- 2) ピーク時での全蓄熱運転を考えない場合は、熱源容量はピーク負荷よりは小さくなっていることが望ましい。ピーク負荷の 50%程度の容量が経済的には望ましい。
- 3) 二次側の流量は、変流量制御が望ましく、定流量制御の系統は極力減らす努力をする。
- 4) 蓄熱槽容量低減のためにも、二次側利用温度差は出来る限り大きくとることが望ましい。但し、大温度差が実現できるように、空調機の機器・流量制御を考える必要がある。
- 5) 二次側を大温度差にした場合も、熱源側を大温度差にしてはいけない。二次側の還水温度と熱源の入口水温設定値には、ある程度の温度差をつけなければ、熱源の運転が十分に行えない場合がある（例：熱源側 10℃、二次側 7℃）。

< 第 4 章関連参考文献一覧 >

- 1) 蓄熱システムの設計・制御マニュアル【新版】、財)ヒートポンプ・蓄熱センター
- 2) 蓄熱式空調システム設計ハンドブック【東京版】、財)ヒートポンプ・蓄熱センター
- 3) 蓄熱システムの設計例集 1～5、財)ヒートポンプ・蓄熱センター
- 4) TESEP-W マニュアル（操作編）、財)ヒートポンプ・蓄熱センター

第5章 水蓄熱式空調システム蓄熱槽水温計算理論概要

BESTにおける水蓄熱槽の水温計算は、基本プログラムとなっているTESEP-Wと同じである。そのため、ここではTESEP-Wマニュアル(理論編)の抜粋を示し、水温計算理論の概要について示す。より、詳細な内容を知りたい場合には、参考文献などを参照されたい。

5.1 連結完全混合槽型蓄熱槽水温計算手法

5.1.1 初期水温の計算

初期水温とは水温の計算を開始する時点での、水温を与えるために算出するものである。TESEP-Wでは下式により求めているが、BESTでは上部、下部のバッファ槽の水温が指定できるので、その値を元に各槽の初期水温は計算されている。

$$\theta_{START}(I) = (\theta_{I1} - (\theta_{Rout} + (\theta_{I1} - \theta_{Rin})/2)) \times ((I-1)/(N-1))^{(N/5)} + \theta_{Rout} + (\theta_{I1} - \theta_{Rin})/2$$

$\theta_{START}(I)$: 第I槽の初期水温[]

θ_{I1} : 熱源限界入口水温[]

θ_{Rout} : 熱源出口水温[]

θ_{Rin} : 熱源入口水温[]

N: 槽数

5.1.2 各槽の温度計算

各槽の温度計算方法を状況別に次項以降に示す。

<記号一覧>

V: 単槽の容量 [m³]

t: 一計算時間間隔 [分]

: 一計算時間間隔における水温変化 []

H_{LOS}: 槽からの貫流熱などにより空調負荷の処理に使われない熱量 [cal/h]

L_{sto}: 蓄熱槽内流量 [m³/h] (始端槽へ向かう流れを正、終端槽へ向かう流れを負とする)

1: 熱源入口側に設置された三方弁の開度 [%]

2: 二次側定温送水系統に設置された三方弁の開度 [%]

L₁: 熱源流量 [m³/h]

L_{2non}: 定温送水系統以外の二次側流量 [m³/h]

L_{2con}: 定温送水系統の二次側流量 [m³/h]

R_{out}: 熱源からの出口水温 []

(i): 第i槽の水温 []

Q_{non}: 定温送水系統以外の空調負荷 [cal/h]

Q_{con}: 定温送水系統の空調負荷 [cal/h]

A_{in}: 定温送水系統以外の空調機器送水温度 []

con: 定温送水系統の送水温度 []

N: 蓄熱槽数

条件 1 : システムから槽への入出力が個別
 始端槽についての計算
 槽内の流れは始端槽から終端槽 (L_{sto} は負)

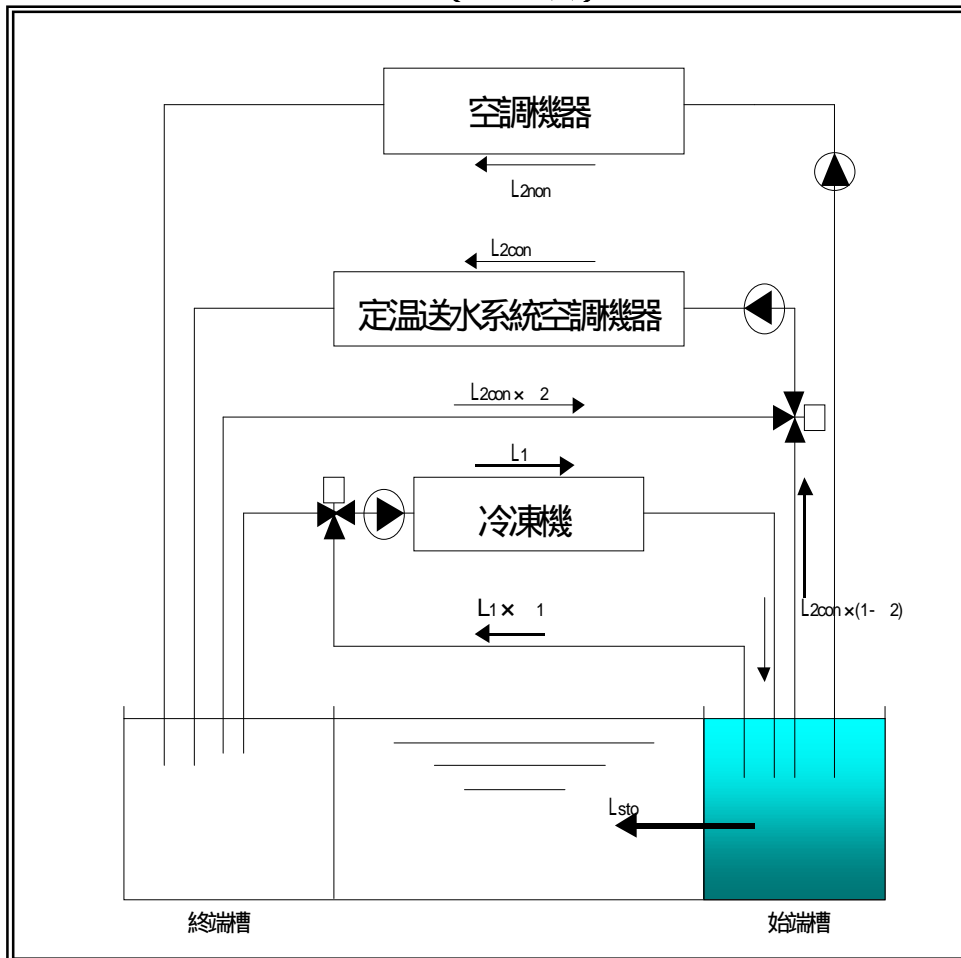


図 5.1 槽への入出力が個別、槽内流れが始端槽から終端槽の始端槽水温計算

始端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$\begin{aligned}
 &= (H_{LOS} + L_1 \times R_{out} - L_1 \times 1 \times (1) - (L_{2non} + L_{2con}(1 - 2)) \times (1) \\
 &+ L_{sto} \times (1)) / (60 \times V / t)
 \end{aligned}$$

考慮される熱量 (始端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

熱源からの流入熱量

熱源三方弁バイパスへの流出熱量

定温送水系統以外の二次側へ送られる流出熱量

定温送水系統三方弁の低温側に送られる流出熱量

第 2 槽への流出熱量

条件 2 : システムから槽への入出力が個別

始端槽についての計算

槽内の流れは終端槽から始端槽 (L_{sto} は正)

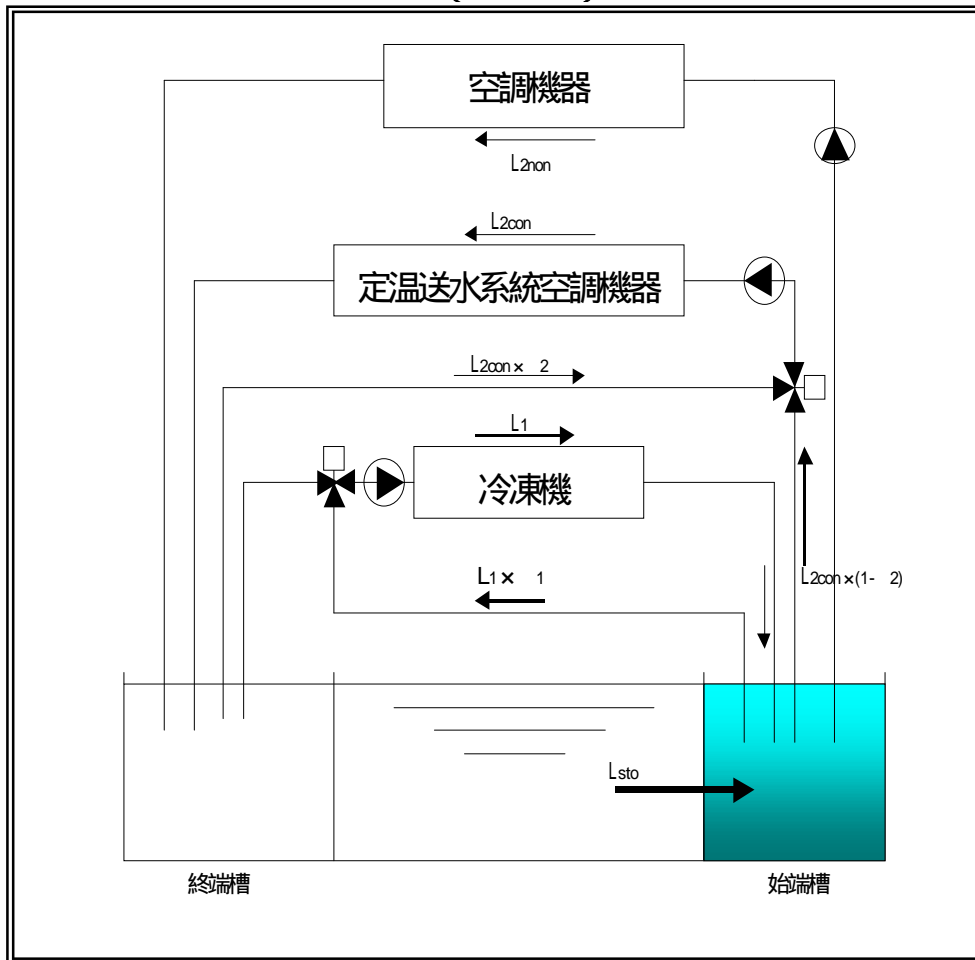


図 5.2 槽への入出力が個別、槽内流れが終端槽から始端槽の始端槽水温計算

始端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$= (H_{LOS} + L_1 \times R_{out} - L_1 \times (1) - (L_{2non} + L_{2con}(1 - 2)) \times (1) + L_{sto} \times (2)) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量 (始端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

熱源からの流入熱量

熱源三方弁バイパスへの流出熱量

定温送水系統以外の二次側へ送られる流出熱量

定温送水系統三方弁の低温側に送られる流出熱量

第 2 槽からの流入熱量

条件 3 : システムから槽への入出力が個別

終端槽についての計算

槽内の流れは始端槽から終端槽 (L_{sto} は負)

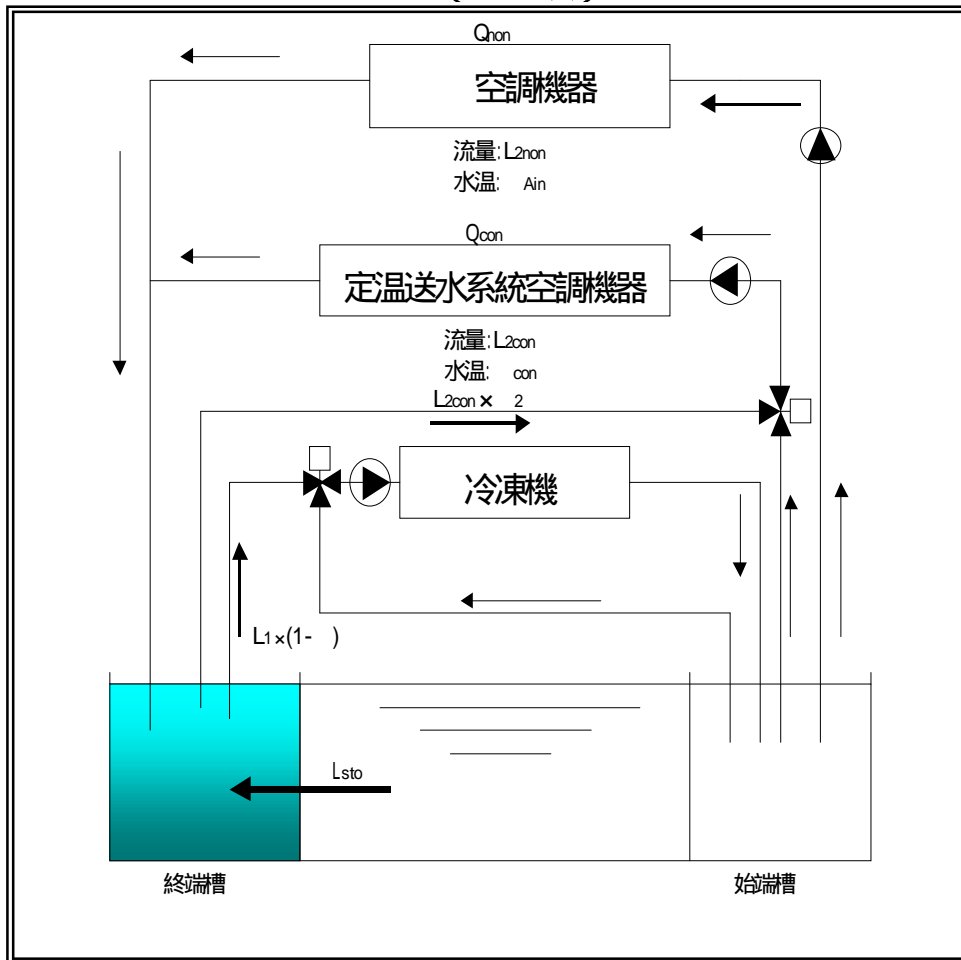


図 5.3 槽への入出力が個別、槽内流れが始端槽から終端槽の終端槽水温計算

終端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$= (H_{LOS} - L_{sto} \times (N - 1) + L_{2non} \times A_{in} + Q_{non} + L_{2con} \times con + Q_{con} - (L_1 \times (1 -) + L_{2con} \times 2) \times (N)) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量 (終端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

隣槽からの流入熱量

定温送水系統以外の二次側からの還水による流入熱量

定温送水系統からの還水による流入熱量

熱源三方弁高温側へ送られる流出熱量

定温送水系統三方弁の高温側に送られる流出熱量

条件 4 : システムから槽への入出力が個別

終端槽についての計算

槽内の流れは終端槽から始端槽 (L_{sto} は正)

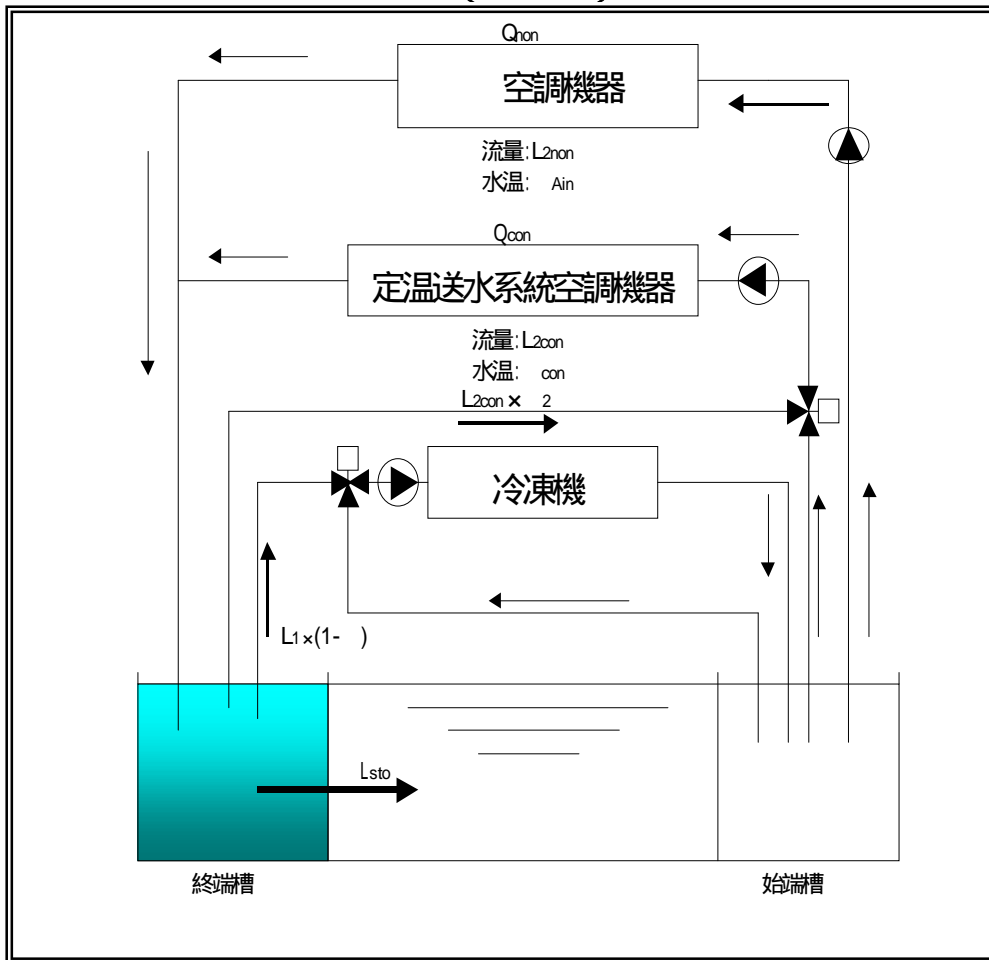


図 5.4 槽への入出力が個別、槽内流れが終端槽から始端槽の終端槽水温計算

終端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$= (H_{LOS} - L_{sto} \times (N) + L_{2non} \times t_{ain} + Q_{non} + L_{2con} \times t_{con} + Q_{con} - (L_1 \times (1 -) + L_{2con} \times 2) \times (N)) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量 (終端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

隣槽への流出熱量

定温送水系統以外の二次側からの還水による流入熱量

定温送水系統からの還水による流入熱量

熱源三方弁高温側へ送られる流出熱量

定温送水系統三方弁の高温側に送られる流出熱量

条件 5 : システムから槽への入出力が統括

始端槽についての計算

槽内の流れは始端槽から終端槽 (L_{sto} は負)

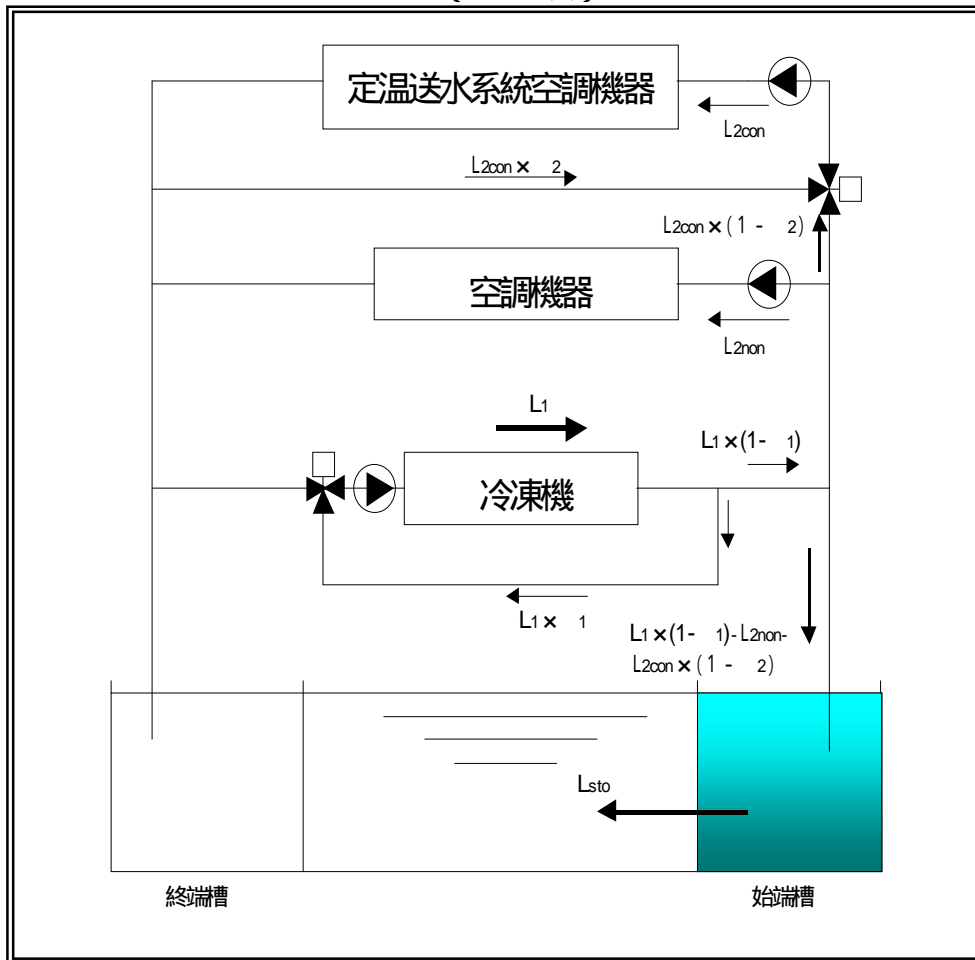


図 5.5 槽への入出力が統括、槽内流れが始端槽から終端槽の始端槽水温計算

始端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$= (H_{LOS} + R_{out} \times (L_1 \times (1 - \alpha_1) - L_{2non} - L_{2con} \times (1 - \alpha_2)) + L_{sto} \times \dots) / (60 \times V / t) \quad (1)$$

考慮される熱量 (始端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

熱源からの流入熱量

第 2 槽への流出熱量

条件 6 : システムから槽への入出力が統括

始端槽についての計算

槽内の流れは終端槽から始端槽 (L_{sto} は正)

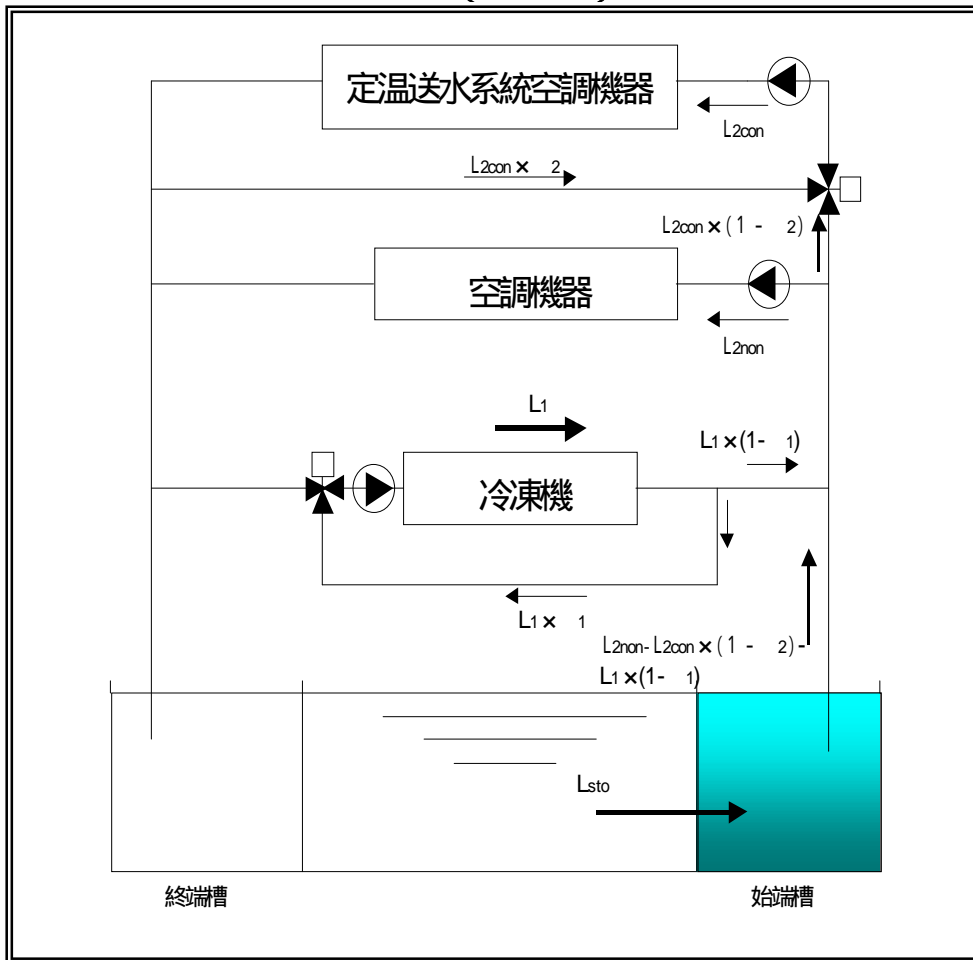


図 5.6 槽への入出力が統括、槽内流れが終端槽から始端槽の始端槽水温計算

始端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$=(H_{LOS} + L_{sto} \times (2) - (1)) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量 (始端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

第 2 槽と始端槽の温度差から生じる流入熱量

条件7：システムから槽への入出力が統括
 終端槽についての計算
 槽内の流れは始端槽から終端槽（ L_{sto} は負）

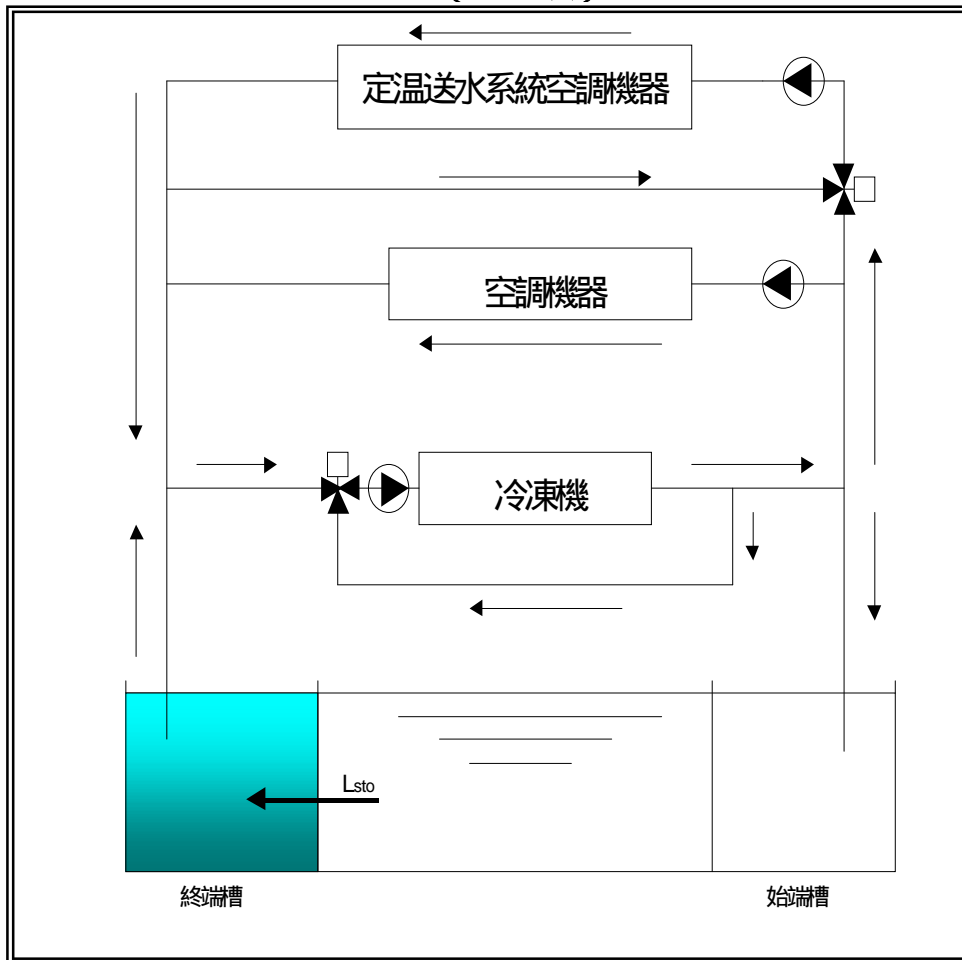


図 5.7 槽への入出力が統括、槽内流れが始端槽から終端槽の終端槽水温計算

終端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$=(H_{LOS} + L_{sto} \times (N) - (N - 1)) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量（終端槽からみた熱の流入出）

槽熱損失による流出熱量

終端槽と隣槽の温度差から生じる流入熱量

条件 8 : システムから槽への入出力が統括

終端槽についての計算

槽内の流れは終端槽から始端槽 (L_{sto} は正)

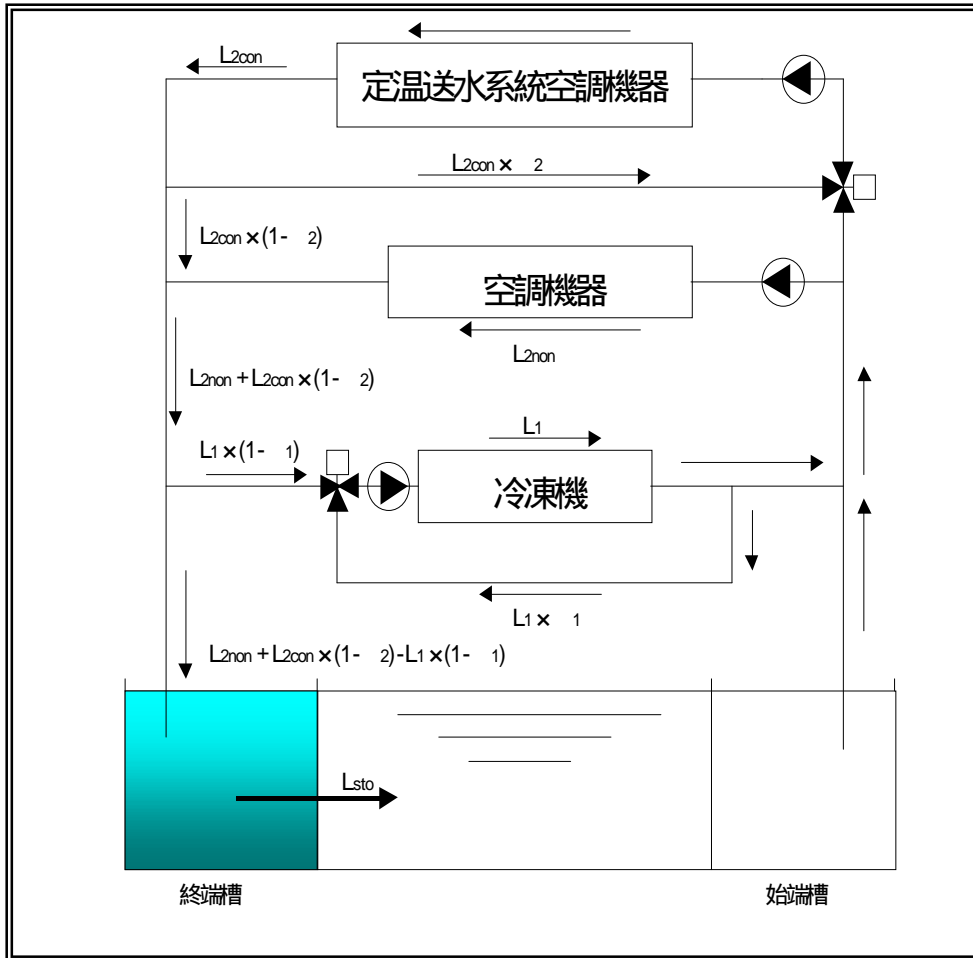


図 5.8 槽への入出力が統括、槽内流れが終端槽から始端槽の終端槽水温計算

終端槽での熱収支を考えて、水温変位を以下の式によって計算する。

$$= (H_{LOS} - L_{sto} \times (N) + (L_{2non} + L_{2con} \times (1 - 2) - L_1 \times (1 - 1))) \times (A_{in} \times L_{2non} + Q_{non} + L_{2con} \times (con + Q_{con}) / (L_{2non} + L_{2con})) / (60 \times V / t)$$

考慮される熱量 (終端槽からみた熱の流入出)

槽熱損失による流出熱量

終端槽から隣槽への流出熱量

二次側還水による流入熱量

条件 9 : 第 2 槽から (終端槽 - 1) 槽までの計算

この場合は隣槽との温度差による計算を行う。下式により求められる。

$$=(H_{LOS}+L_{sto} \times K \times ((A) - (B))) / (60 \times V / t)$$

ここで、

$A = S1 \times (N + 1) - S2 \times (I - 1)$: 現在計算しようとしている槽の上流側の隣槽

$B = S1 \times (N + 1) - S2 \times I$: 現在計算しようとしている槽

< L_{sto} が正 : 槽内流れの方向は終端槽から始端槽 >

$K = 1$

$S1 = 1$

$S2 = 1$

よって、A が終端槽側、B が始端槽側

< L_{sto} が負 : 槽内流れの方向は始端槽から終端槽へ >

$K = - 1$

$S1 = 0$

$S2 = - 1$

よって、A が始端槽側、B が終端槽側

5.1.3 ヒートバランスの計算

計算誤差が積み重なることを避けるために、計算時間間隔ごとに槽内水温から求めた熱量の増減が、熱源出力と負荷との差から求まる熱量増減に等しくなるように、誤差を各槽に重み付けして分散させることとしている。ヒートバランス計算サブルーチンの内容を、放熱時を例にとり以下に示す。

現在の蓄熱槽所有熱量と、計算時間が 1 つ前の蓄熱槽所有熱量の差を求める。これは、蓄熱槽の温度プロフィールから求めた、計算時間間隔における放熱量である。

蓄熱槽内の最低水温を求める。

現時点の蓄熱槽保有熱量と、蓄熱槽内が で求めた最低水温で、全槽一定の場合の保有熱量の差を求める。

放熱量(熱負荷+槽の熱損失)と(熱源)蓄熱量との差から求まる、計算時間間隔における理論蓄熱量(正負)を計算する。

先に示した と の差を計算する。これが、槽内温度プロフィールから求めた熱量と、理論蓄熱量から求めた差となる。この値が等しければ問題はないが、差異が生じた場合には槽内温度の修正が必要となる。

算出された の値が 0 となるように、槽内温度の修正を行う。

5.2 単槽および連結槽の温度成層型蓄熱槽

5.2.1 はじめに

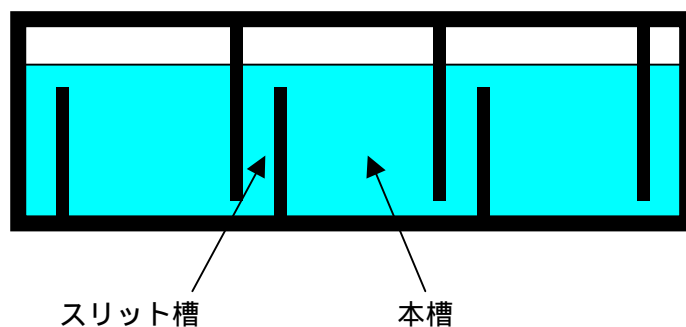
本節では、単槽および連結槽の温度成層型蓄熱槽の水温計算手法について示す。連結完全混合槽型蓄熱槽では、各槽内は完全混合していると考え、均一温度として扱っているの
で、水温計算方法も比較的単純である。しかしながら、温度成層型蓄熱槽では、槽内で上
下温度分布が生じるため、計算は複雑になる。なお、蓄熱槽内の水温は上下方向にのみ温
度差が生じるものとして、同じ深さにおいては均一温度であるものとして計算されている。
温度成層モデルは辻本・相良・中原らによる R 値モデル^{文献 10,11,12}である。

5.2.2 水温計算の流れ

図 5.9 に温度成層型蓄熱槽の槽内温度計算の流れを示す。この図は水温計算部分の内容
についてのみ示している。温度成層型蓄熱槽の槽内水温計算における特徴を以下に示す。

- (1)槽内は完全混合域と一次元拡散域に分けられるので、完全混合域の深さを求める必要が
ある。
- (2)完全混合域は槽内への流れ込みが 1 つの場合には、上部か下部のいずれかに形成される
が、2つの流入がある場合には上部と下部に完全混合域が形成され、その間に一次元拡
散域が形成される。
- (3)完全混合域の深さは、槽内の水温と槽に流入する温度、流速によって影響を受ける。こ
のときにアルキメデス数が重要となる。

以下、特別な記述がない限り蓄冷時（冷房時）について述べるものとする。また、連結
方式がもぐりぜきの場合には、スリット槽と本槽という表現を用いているが、その定義は
下図に示すように、もぐりぜきとあふれぜきで囲まれた部分をスリット槽、それ以外を本
槽としている。



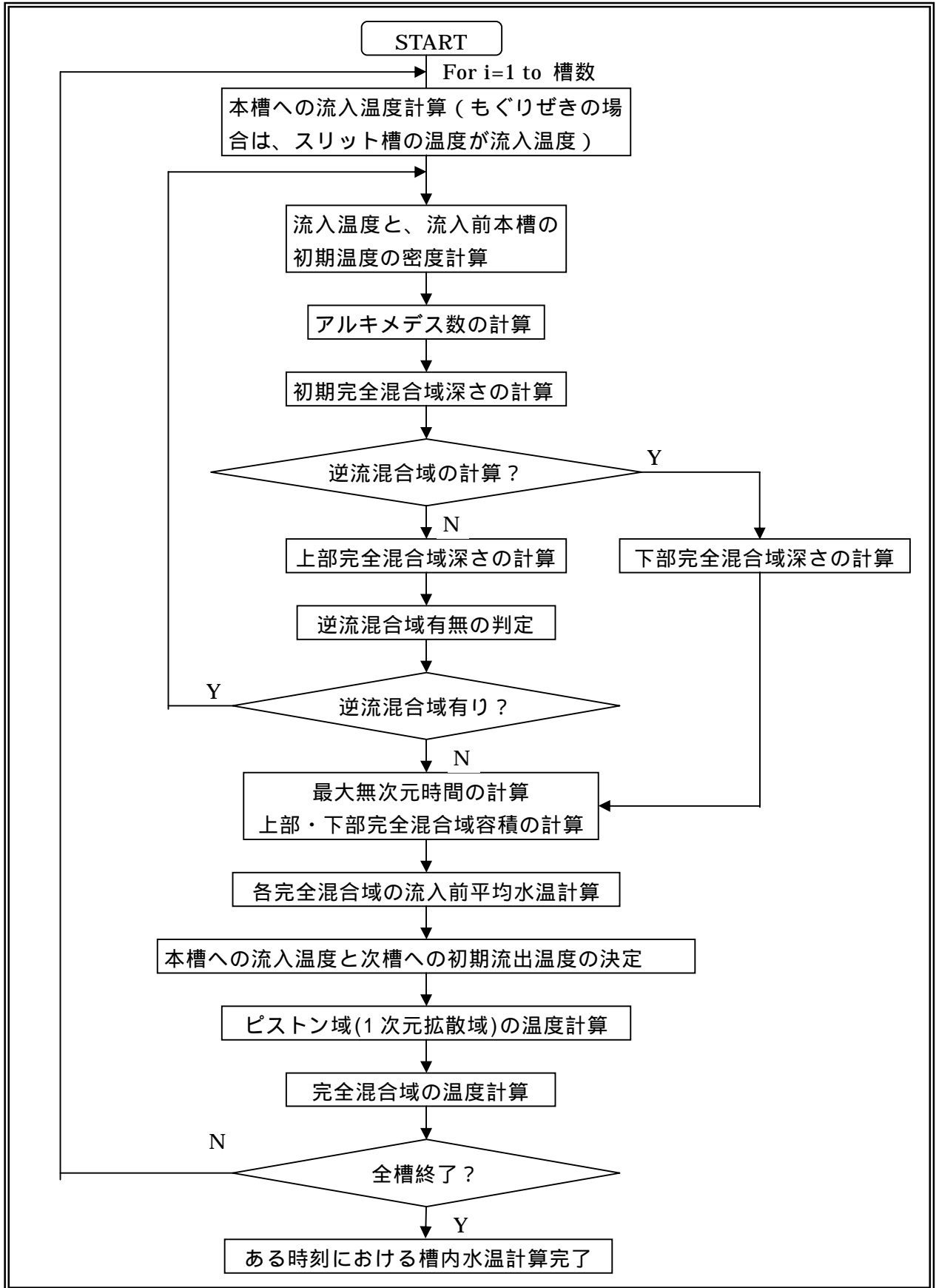


図 5.9 単槽および連結槽温度成層型蓄熱槽水温計算フロー

5.2.3 蓄熱槽水温計算方法

ここでは、図 5.9 で示した各処理の内容について示す。

5.2.3.1 スリット槽連結（もぐりぜき）の場合の本槽への流入温度計算

前記したように槽内の完全混合域深さを求めるには、槽へ突入する温度や速度が重要となる。もぐりぜきの場合には本槽への流入はスリット槽から行われる。よって、スリット槽の水温を求めることが必要である。スリット槽は混合入力(低部高温入力或いは上部低温入力)となるので完全混合としている。スリット槽水温の計算においては様々な場合分けが必要となる。以下に、各条件における計算方法を示す。

(1) 熱源・二次側が停止している場合

この場合は、槽内での流れが発生しない。よって、本槽への流入も無く、本槽の水温計算を行う場合は、槽の壁などからの熱損失による温度変化のみ考慮すれば良い。

(2) 槽内の流れが終端槽から始端槽の時（放熱）の最終スリット槽計算

図 5.10 に示す位置のスリット槽を計算する場合の方法を示す。

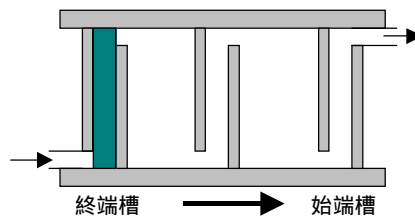


図 5.10 計算位置イメージ図

(a) 換水回数が 5 回以上の場合

換水回数が 5 回以上の場合には、流入水温がスリット槽の温度になると考え、この場合の最終スリット槽の水温は二次側からの還水温度となる。還水温度の計算方法は、二次側への送水温度、流量、処理熱量から求める事が出来る。槽内温度については、二次側還水温度で問題無いが、本槽への流入温度として考えると、元々槽内に存在した水の温度が無視されてしまうので、以下のような計算を行っている。

$$\theta_{input} = (\theta_{SLIT} \times K + \theta_{before}) / (K + 1)$$

ここで、

θ_{input} : 本槽への流入水温[]

θ_{SLIT} : スリット槽の水温(二次側還水温度)[]

θ_{before} : 元々スリット槽内に存在していた水温[]

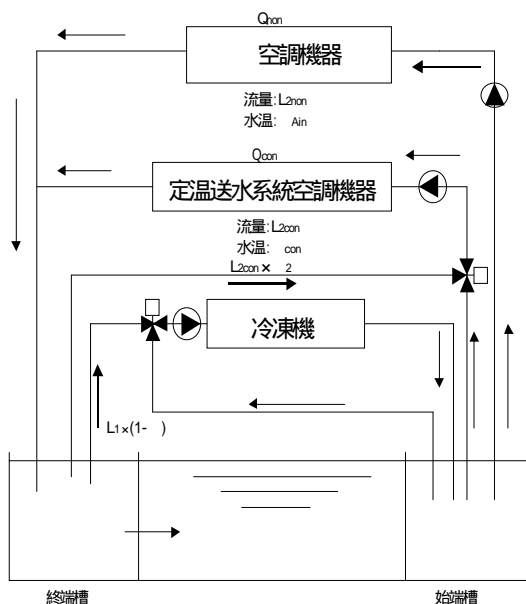
K : スリット槽の換水回数

以下、換水回数が 5 回以上の場合には、各条件においても同様な処理を行っている。

(b) 換水回数 5 回未満の場合

換水回数が 5 回未満の場合には、完全混合差分計算を行う必要がある。一次側・二次側と蓄熱槽との入出力方式によって計算方法が異なるので、以下に、それぞれの計算方法を示す。

() システムから槽への入出力が個別の場合



最終スリット槽の入出力には、図 5.11 に示すような入出力が考えられる。入出力の要因をまとめると、以下のとおりである。

- 入力：二次側からの還水
- 出力：本槽への流出、一次側への流出、二次側定温送水系統への流出

図 5.11 最終スリット槽の熱収支

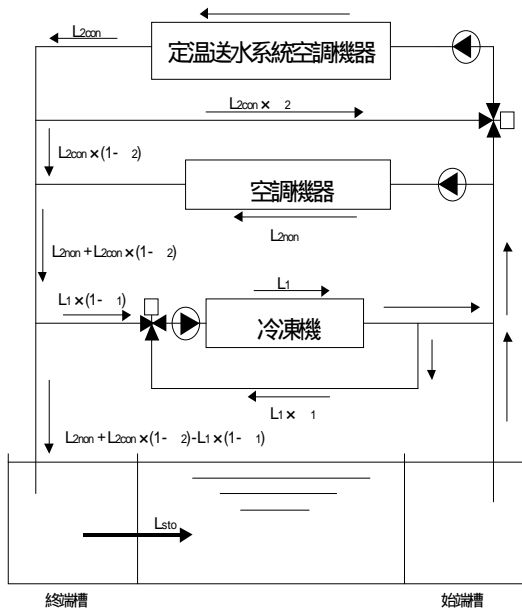
以上より、水温変位は以下の式で求められる。

$$= (H_{LOS} + L_{2non} \times A_{in} + Q_{non} + L_{2con} \times con + Q_{con} - L_{sto} \times s(N+1) - (L_1 \times (1 -) + L_{2con} \times 2) \times s(N+1)) / (60 \times V_s / t)$$

実際の計算においては、 t をさらに細かく分割し、その微小時間による水温変化を積算する事によって、 t 後のスリット槽水温を求めている。換水回数が 5 回以上の場合と同様に、本槽への流入温度については、別処理を行っている。微小時間毎の水温の t における平均値を本槽への流入水温としている。

以下、換水回数が 5 回未満の場合は、同様な処理で本槽への流入水温を求めている。

()システムから槽への入出力が統括の場合



最終スリット槽の入出力は、図 5.12 に示すとおりであり、入出力は以下の要因が考えられる。

入力：二次側からの還水
出力：本槽への流出

図 5.12 最終スリット槽の熱収支

以上より、水温変位は以下の式で求められる。

$$= (H_{LOS} - L_{sto} \times s_s (N + 1) + (L_{2non} + L_{2con} \times (1 - 2) - L_1 \times (1 - 1))) \times (A_{in} \times L_{2non} + Q_{non} + L_{2con} \times c_{con} + Q_{con}) / (L_{2non} + L_{2con}) / (60 \times V_s / t)$$

(3) 槽内の流れが始端槽から終端槽の時 (蓄冷) の第 1 スリット槽計算

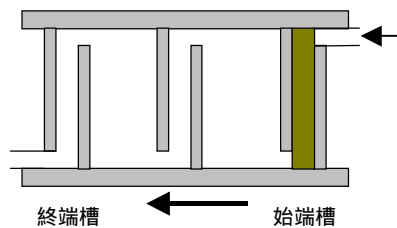


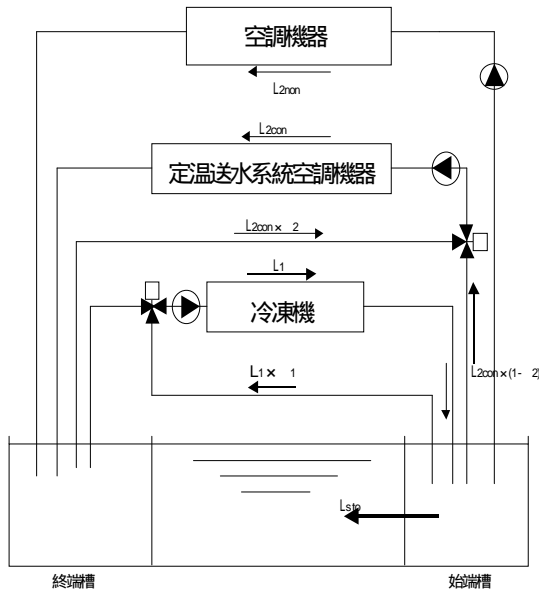
図 5.13 計算位置イメージ図

(a) 換水回数が 5 回以上の場合

換水回数が 5 回以上の場合には、流入水温がその槽の温度に即座になると考えられる。流れの方向から、第 1 スリット槽に流入するのは熱源通過後の水である。よって、スリット槽の水温は熱源出口温度と等しくなる。

(b) 換水回数が5回未満の場合

() システムから槽への入出力が個別の場合



第1スリット槽の入出力には以下の要因が考えられる。

入力：熱源からの流入

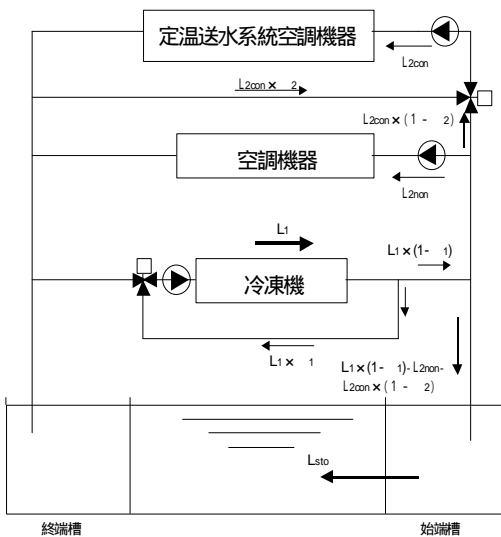
出力：本槽への流出、二次側への流出、
二次側定温送水系統への流出、
熱源三方弁への流出

以上より、水温変位は下式による求められる。

図 5.14 第1スリット槽の熱収支

$$= (H_{LOS} + L_1 \times R_{out} - L_1 \times 1 \times s(1) - (L_{2non} + L_{2con}(1 - 2)) \times s(1) + L_{sto} \times s(1)) / (60 \times V_s / t)$$

() システムから槽への入出力が統括の場合



第1スリット槽の入出力には以下の要因が考えられる。

入力：熱源からの流入

出力：本槽への流出

以上より、水温変位は下式により求められる。

図 5.15 第1スリット槽の熱収支

$$= (H_{LOS} + R_{out} \times (L_1 \times (1 - 1) - L_{2non} - L_{2con} \times (1 - 2)) + L_{sto} \times s(1)) / (60 \times V_s / t)$$

(4)槽内の流れが始端槽から終端槽の時（蓄冷）の最終スリット槽計算

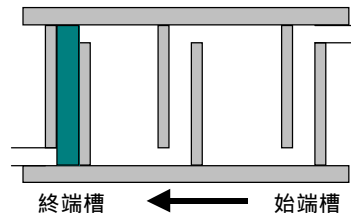
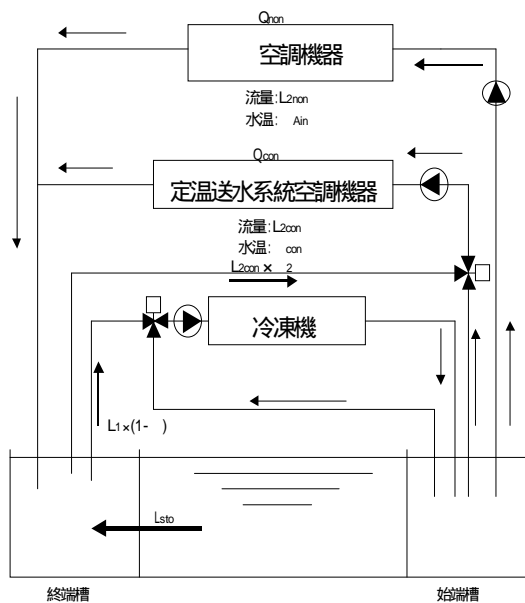


図 5.16 計算位置イメージ図

(a)換水回数が5回以上の場合

換水回数が5回以上の場合には、流入水温がその槽の温度に即座になると考えられる。

(i)システムから槽への入出力が個別の場合



最終スリット槽には、本槽の終端槽からの流入と、二次側からの還水の流入が考えられる。

図 5.17 最終スリット槽の熱収支

以上のことから、最終スリット槽の水温は下式で求められる。

$$s(N+1) = (-L_{sto} \times (N) + L_{2non} \times A_{in} + Q_{non} + L_{2con} \times c_{con} + Q_{con}) / (L_{2non} + L_{2con} - L_{sto})$$

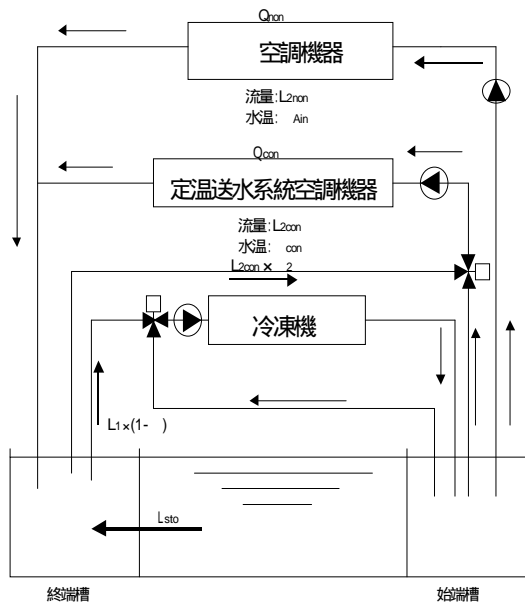
() システムから槽への入出力が統括の場合

システムから槽への入出力が統括の場合には、最終スリット槽には最終本槽からの流入しか考えられない。よって、最終スリット槽への流入温度は終端槽の本槽の温度となる。

(b) 換水回数が 5 回未満の場合

換水回数が 5 回未満の場合には、完全混合差分計算を行う必要がある。

() システムから槽への入出力が個別の場合



最終スリット槽の入出力には以下の要因が考えられる。

入力：二次側からの還水、
本槽の終端槽からの流入

出力：一次側への流出、
二次側定温槽水系統への流出

以上より、水温変化は下式により求められる。

図 5.18 最終スリット槽の熱収支

$$= (H_{LOS} - L_{sto} \times (N) + L_{2non} \times A_{in} + Q_{non} + L_{2con} \times con + Q_{con} - (L_1 \times (1 -) + L_{2con} \times 2) \times s(N+1)) / (60 \times V_s / t)$$

() システムから槽への入出力が統括の場合

この場合には最終スリット槽への入力は、本槽の終端槽からの流入のみである。よって、水温変化は下式により求められる。

$$= (H_{LOS} + L_{sto} \times (s(N+1) - (N))) / (60 \times V_s / t)$$

(5) 槽内流れが終端槽から始端槽の時（放熱）の第1スリット槽計算

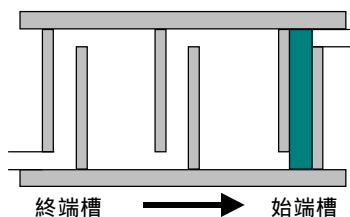
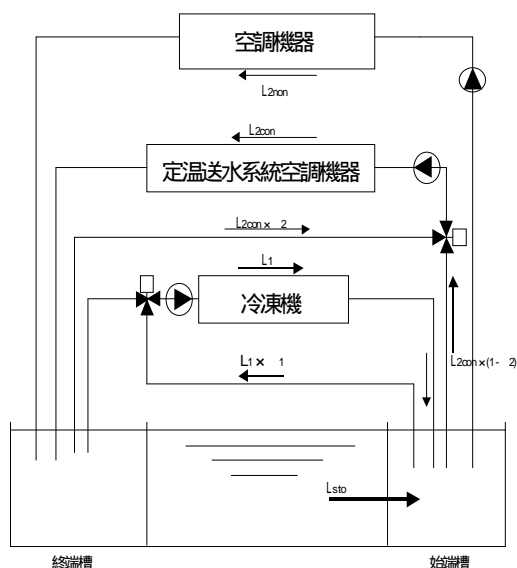


図 5.19 計算位置イメージ図

(a) 換水回数が5回以上の場合

換水回数が5回以上の場合には、流入水温がその槽の温度に即座になると考えられる。

(i) システムから槽への入出力が個別の場合



第1スリット槽には、本槽の始端槽からの流入と、一次側からの流入が考えられる。

図 5.20 第1スリット槽の熱収支

以上のことから、第1スリット槽の水温は下式で求められる。

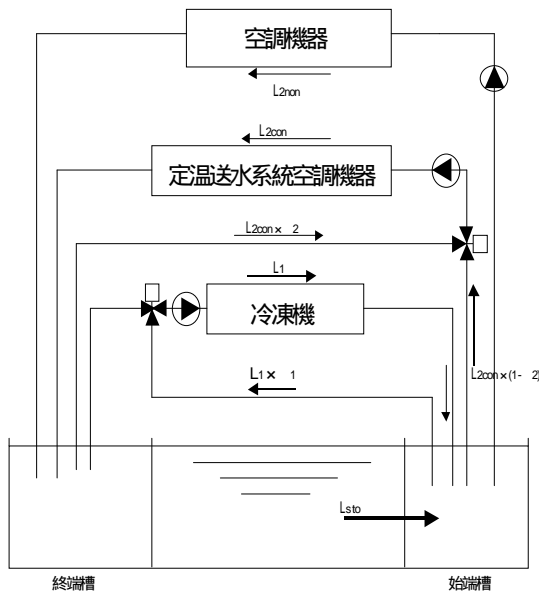
$$s(1) = (L_{sto} \times (1) + L_1 \times R_{out}) / (L_{sto} + L_1)$$

() システムから槽への入出力が統括の場合

システムから槽への入出力が統括の場合には、第1スリット槽には本槽の始端槽からの流入しか考えられない。よって、第1スリット槽への流入温度は本槽の始端槽の温度となる。

(b) 換水回数が5回未満の場合

() システムから槽への入出力が個別の場合



第1スリット槽の入出力には以下の要因が考えられる。

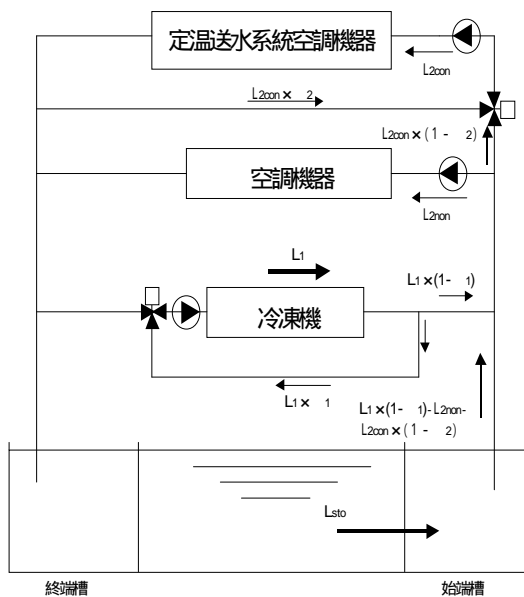
- 入力：熱源からの流入、
本槽の始端槽からの流入
- 出力：二次側への流出、
二次側定温送水系統への流出、
熱源三方弁への流出

以上より、水温変位は下式により求められる。

図 5.21 第1スリット槽の熱収支

$$= (H_{LOS} + L_1 \times R_{out} - L_1 \times 1 \times s(1) - (L_{2non} + L_{2con}(1 - 2)) \times s(1) + L_{sto} \times (1)) / (60 \times V_s / t)$$

() システムから槽への入出力が統括の場合



第1スリット槽の入出力には以下の要因が考えられる。

- 入力：本槽の始端槽からの流入
- 出力：一次・二次側への流出

以上より、水温変位は下式により求められる。

図 5.22 第1スリット槽の熱収支

$$= (H_{LOS} + L_{sto} \times (1) - s(1)) / (60 \times V_s / t)$$

(6) 中間スリット槽

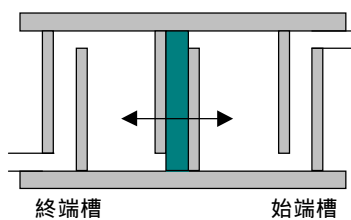


図 5.23 計算位置イメージ図

(a) 換水回数が 5 回以上の場合

換水回数が 5 回以上の場合には、本槽からの流入水温がスリット槽の水温となる。よって、上流側の隣槽の温度が流入温度となる。

(b) 換水回数が 5 回未満の場合

換水回数が 5 回未満の場合には、完全混合差分計算を行う必要がある。

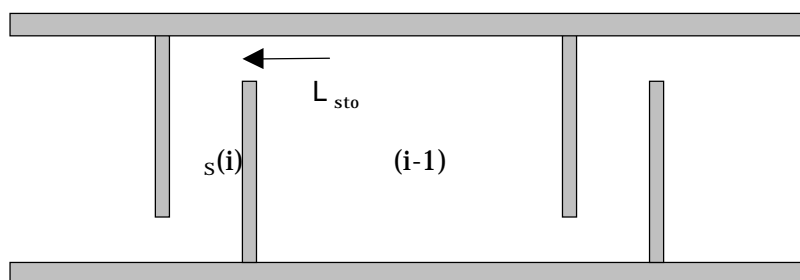


図 5.24

図 5.24 のように、スリット槽と上流側の本槽の温度と流量から下式により求める。

$$=(H_{LOS} + L_{sto} \times ((i-1) - s(i))) / (60 \times V_s / t)$$

5.2.3.2 パイプ連結の場合の本槽への流入温度計算

ここでは、パイプ連結の場合の本槽への流入温度について示す。パイプ連結の場合も位置や運転状態による場合分けが必要となる。以下に各条件における計算内容を示す。

(1) 単槽 or 放熱運転における終端槽への流入 or 蓄熱運転における始端槽への流入

この状況は、二次側や一次側からの流入が考えられる状況であるので、運転状態による場合分けが必要となる。

(a) システムから槽への入出力が個別の場合

() 熱源のみ稼動中の場合

熱源のみ稼動中の場合には、単槽の場合か蓄熱運転における始端槽への流入しか考えられない。そして、この場合の流入温度は熱源出口温度となる。

() 二次側のみ稼動中の場合

二次側のみ稼動中の場合には、単槽の場合か放熱運転における終端槽への流入しか考えられない。そして、この場合の流入温度は二次側還水温度となる。

() 熱源・二次側共に稼動中の場合

槽内の流れの方向が終端槽から始端槽であれば終端槽の計算となり、終端槽への流入温度は二次側還水温度となる。槽内の流れの方向が始端槽から終端槽であれば始端槽の計算となり、始端槽への流入温度は熱源出口温度となる。

(b) システムから槽への入出力が統括の場合

() 熱源のみ稼動中の場合

熱源のみ稼動中の場合には、槽内は始端槽から終端槽の流れとなるため、始端槽には熱源出口温度を流入する。

() 二次側のみ稼動中の場合

二次側のみ動作中の場合には、槽内は終端槽から始端槽の流れとなり、終端槽には二次側還水温度が流入する。

() 熱源・二次側共に稼動中の場合

熱源・二次側が共に稼動中にはその流れの大きさによって槽内の流れの方向が決定される。二次側の流量が一次側よりも大きければ、槽内は終端槽から始端槽の流れとなるため、終端槽に二次側還水温度が流入する。逆に一次側の水量が大きければ、槽内は始端槽から終端槽の流れとなり、始端槽に熱源出口温度が流入する。

(2) 多槽連結蓄熱槽で中間槽の場合

この場合は、流れ方向上流側の本槽の水が流れ込むので、流入温度もその水の温度となる。

5.2.3.3 アルキメデス数の計算

以下、温度成層本槽の計算に入る。槽内の温度成層の形成には、アルキメデス数に依存することが、数多くの実験や理論解析から求められている。アルキメデス数は以下の式で求められる。

$$Ar = \frac{d_o g \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_o} \right)}{u^2} \quad \dots (\text{パイプ入力の場合})$$

$$Ar = \frac{d_s g \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_o} \right)}{u^2} \quad \dots (\text{スロット入力の場合})$$

ここで、

Ar : アルキメデス数

d : パイプの場合は直径、もぐりぜきの場合は入口の高さ方向の幅[m]

g : 重力加速度[m/s²]

u : 入口流速[m/s]

$\Delta\rho$: 槽内初期水温と入力水温での水の密度差[kg/m³]

ρ_o : 槽内初期水温での水の密度[kg/m³]

この式からわかるように、アルキメデス数を求めるには、水の密度と流入口での流速が必要となる。水の密度については流入水温での密度と、流入前の基準温度での密度が必要となる。流入水温については前節で求めた水温を利用し、基準温度については完全混合域深さの2倍部分の平均水温を使用している^{文献 13}。

流入口での流速については、以下の場合分けに従い行う。

もぐりぜきの場合

もぐりぜきの場合は、本槽には直接一次側や二次側の水は流入しない。よって、流入流速は槽内流入流速となる。

パイプ連結型蓄熱槽で中間槽（始端槽と終端槽以外）の場合

中間槽においては、槽内の流れ以外の要因は無いので、槽内流入流速となる。

パイプ連結型蓄熱槽で槽内流れが始端槽から終端槽で、始端槽の場合

この場合は熱源からの出口水が流入するので、流入速度は熱源の流量から求める。

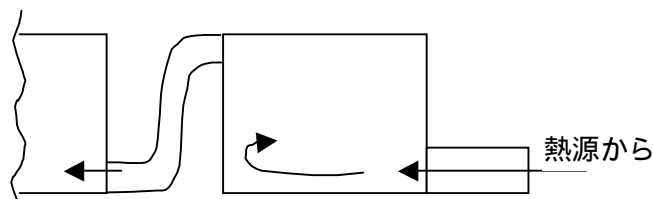


図 5.25 多槽パイプ連結蓄熱槽蓄冷時の始端槽での水の流入

パイプ連結型蓄熱槽で槽内流れが終端槽から始端槽で、終端槽の場合
 この場合は二次側からの還水が流入するので、流入速度は二次側流入流速を用いる。

二次側還水

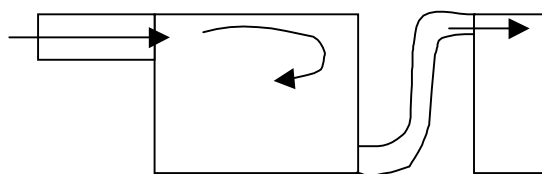


図 5.26 多槽パイプ連結型蓄熱槽放熱時の終端槽での水の流入

パイプ連結型蓄熱槽で槽内流れが始端槽から終端槽で、終端槽の場合

この状況は基本的には蓄熱運転であるが、同時に放熱されている可能性もある。熱源のみ動作している場合には、終端槽に流れこむのは隣槽からの流入のみであるので、槽内流入流速を用いる。二次側還水によって形成される完全混合域深さを計算する場合には、二次側流入流速を用いる。

二次側還水

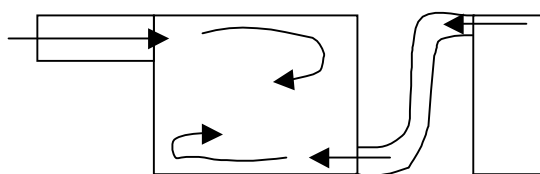


図 5.27 多槽パイプ連結型蓄熱槽蓄冷放熱同時運転時の終端槽での水の流入

パイプ連結型蓄熱槽で槽内流れが終端槽から始端槽で、始端槽の場合

この状況は基本的には放熱運転であるが、同時に熱源が動いている可能性も有る。熱源が停止している場合には、始端槽に流入するのは隣槽からのみであるので、槽内流入流速を用いる。熱源流量が有る場合には、熱源流入流速を用いる。

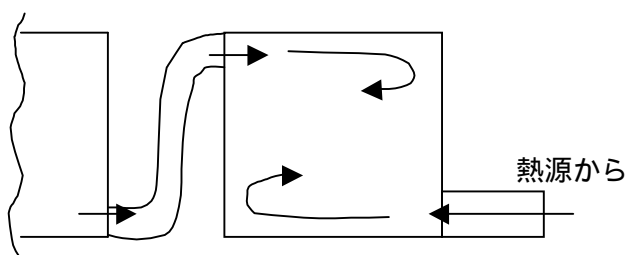


図 5.28 多槽パイプ連結型蓄熱槽蓄冷放熱同時運転時の始端槽での水の流入

単槽の場合

単槽の場合は、熱源のみ動いていれば熱源からの流入流速、二次側のみ動いていれば二次側からの流入流速をそれぞれ用いて計算を行う。

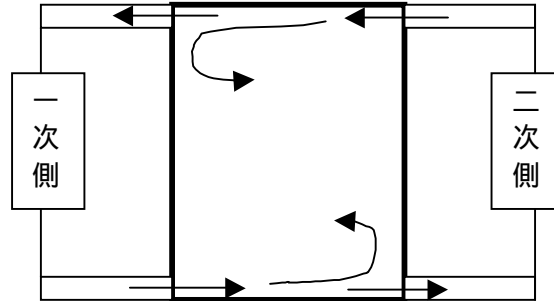


図 5.29 単槽温度成層型蓄熱槽の水の流入

5.2.3.4 完全混合域の深さの計算

ここでは、完全混合域深さの計算方法について示す。

(1) アルキメデス数による状態判断

前節において、アルキメデス数の計算方法について示した。完全混合域深さの計算にアルキメデス数は使用されるが、アルキメデス数の正負により、計算状態が判断できる。

(a) アルキメデス数が正の場合

初期水温よりも低い温度の水が流入している状態。冷房運転時において、この状態が発生する状況を以下に示す。

- ・ 熱源運転中の始端槽
- ・ 蓄熱運転中の全槽

(b) アルキメデス数が負の場合

初期水温よりも高い温度の水が流入している状態。冷房運転時において、この状態が発生する状況を以下に示す。

- ・ 二次側運転中の終端槽
- ・ 放熱運転中の全槽

(2) 初期完全混合域深さの計算

完全混合域深さを計算する場合には、最初に初期完全混合域深さを下式により求める。この式は実験から求められた、回帰式である。

$$l_o = d_o \times 0.7 \times Ar_{in}^{-0.5} \text{ (円管入力)}$$

$$l_o = d_s \times 2.0 \times Ar_{in}^{-0.6} \text{ (スロット入力)}$$

しかしながら、完全混合域深さは、流入する前の槽内の温度分布状況に影響を受け、槽内が均一なほど深くなり、温度分布が形成されていると、噴流温度差が小さくなり対向壁に到達するエネルギーが減少するため、完全混合域の深さは浅くなる。

(3)完全混合域深さの収束計算

前述したように、流入前の槽内の温度分布により、完全混合域の深さが異なることから、収束計算を行い、完全混合域の深さを求める。

実験結果より、完全混合域の2倍の深さまでの領域が完全混合域の形成に影響を与え、その深さがそこに到達すると槽全体が完全混合に至る事が分かっている。この性質を利用して、図 5.30 に示すフローに従い、完全混合域の深さを求めている。また、図 5.31 には概念図を示す。

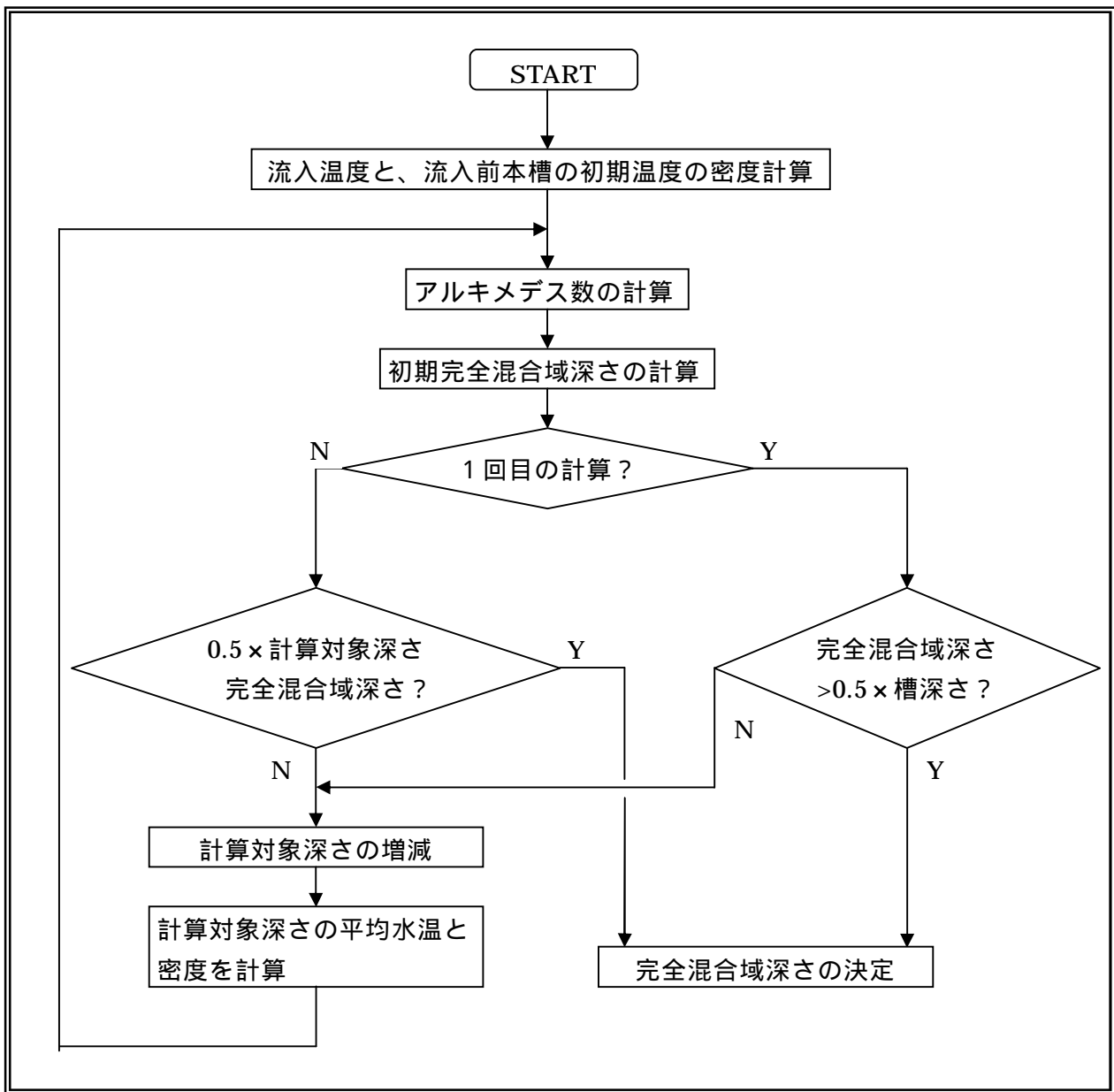


図 5.30 完全混合域深さ決定のための計算フロー

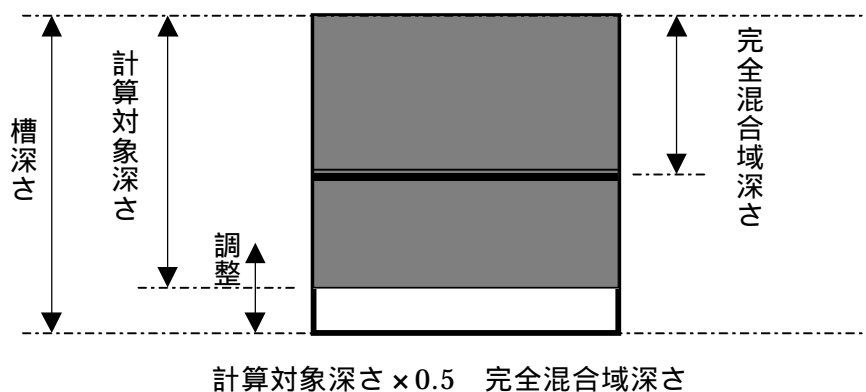


図 5.31 完全混合域深さの概念図

5.2.3.5 逆流混合域有無の判定条件

逆流混合域とは1つの槽に、2つの方向の異なる入力が発生する事によって、上部と下部に別々の完全混合域が発生することを示している。なお、槽全体の流れ方向によって形成される混合域を順流混合域、それ以外のものを逆流混合域としている。よって、順流混合域、逆流混合域は槽の上部、下部いずれにも形成される。

ここでは、上部、下部に別々の完全混合域が必ず発生しない条件について示す。以下の状態の時には、逆流混合域が発生する事は無い。

システムから蓄熱槽への入出力が統括の場合

この場合には、一次側と二次側の配管が纏まって蓄熱槽に接続されるため、1つの槽に対して2つの入力が発生する事は無い。

始端槽、終端槽を除く中間槽の場合

中間槽では隣槽からの入力しかないので、逆流混合域は発生しない。

もぐりぜきの場合

本槽においては、2つの入力が発生する事は無いので、逆流混合域は発生しない。

放熱運転で熱源が停止している場合

この状況では流れの方向は1方向しかないので、逆流混合域は発生しない。

蓄熱運転で二次側が停止している場合

この状況では流れの方向は1方向しかないので、逆流混合域は発生しない。

パイプ連結蓄熱槽の始端槽で蓄熱運転の場合（入出力は個別）

この状況では、始端槽の入力は一次側からの入力のみであるので、逆流混合域は発生しない。

パイプ連結蓄熱槽の終端槽で放熱運転の場合（入出力は個別）

この状況では、終端槽の入力は二次側からの入力のみであるので、逆流混合域は発生しない。

単槽で一次側か二次側のいずれかしか動作していない場合

この場合には、蓄熱槽への入力は1つしかなく、逆流混合域は発生しない。

以上のことから、逆流混合域が発生する条件は以下の通りである。

連結パイプ結合、システムから槽への入出力は個別、槽内流れが始端槽から終端槽、二次側流量有り、の各条件が満たされている場合の終端槽。

連結パイプ結合、システムから槽への入出力は個別、槽内流れが終端槽から始端槽、一次側流量有り、の各条件が満たされている場合の始端槽。

単槽で一次側、二次側流量ありの場合。

5.2.3.6 各混合域の容積と最大無次元時間の計算

前節では各混合域の深さを求めた。その深さを利用して、ここでは完全混合域の槽容量を算出している。また、無次元時間とは、水蓄熱槽においてはある経過時間までの流入水量の槽容量に対する比をいい、その時間までの換水回数として表したものであり、下式により求める。

$$t^* = \frac{Q \times t}{V}$$

式から分かるように、無次元時間は計算時間間隔における換水回数を表している。

ここで、

t^* : 無次元時間

Q : 流量(m^3 / sec)

V : 槽容量(m^3)

t : 計算時間間隔(sec)

以下に、各条件における槽容量の求め方、無次元時間に用いる流量と槽容量について説明する。

条件 1：順流混合域が、槽の深さ以上である場合

この状態の時は槽内が完全混合状態であるので、槽内は均一温度となる。よって、混合域の容積は槽容積と等しくなる。

無次元時間については、槽内流量と槽容量から求める。

条件 2：システムの入出力が統括であり、条件 1 以外である場合

システムの入出力が統括である場合には、逆流混合は発生しないので、逆流混合域は無い。よって、順流混合域の容積のみを計算する。容積の計算は順流混合域深さから求める。

無次元時間については、槽内流量と槽容量から求める。

条件 3：逆流混合域無し、条件 1、2 以外

この場合は逆流混合が発生しないので、逆流混合域は無い。よって、順流混合域の容積のみを計算する。容積の計算は順流混合域深さから求める。

無次元時間については、槽内流量と槽容量から求める。

条件4：逆流混合域あり、逆流混合域深さが槽の深さ以上である場合

この状態は槽内が完全混合状態であるので、槽内は均一温度となる。最大無次元時間は熱源の流量から求めたものと、槽内流量から求めたものの、大きい方としている。

条件5：逆流混合域あり、逆流混合域は槽の深さよりも浅い、順流と逆流の混合域深さの合計値が槽の深さよりも浅い場合

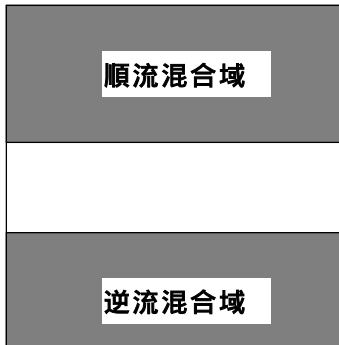


図 5.32 順流・逆流混合域イメージ図

順流、逆流の完全混合域深さから、各槽容量は計算する。無次元時間については、蓄熱槽内の流れの方向が終端槽から始端槽の場合には熱源流量と逆流混合域容量から求めたもの、槽内流量と順流混合域容量から求めたもの、槽内流量と順流混合域容量から求めたものの中で最大のものを最大無次元時間としている。蓄熱槽内の流れが始端槽から終端槽の場合には、熱源流量の代わりに二次側流量が用いられる。

条件6：逆流混合域あり、逆流混合域は槽の深さよりも浅い、順流と逆流混合域の合計値が槽の深さよりも深い場合 文献 14, 15

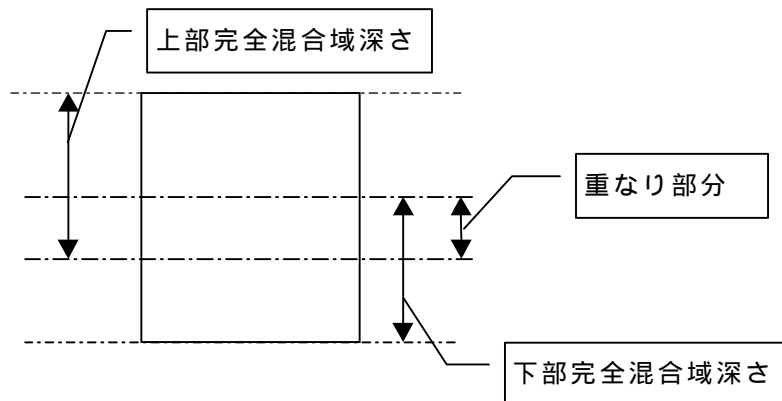


図 5.33 上部完全混合域と下部完全混合域の重なりについて

ここでは、順流、逆流混合域は槽上部、下部いずれにも発生するので、便宜上、上部、下部混合域と表現している。

< 重なり部分が槽の深さの三分の一よりも小さい場合 >

上部と下部に完全混合域が形成されるものとし、上部・下部の完全混合域深さを下式により求める。最大無次元時間の計算方法は、条件5の場合と同じ。

- ・ 上部完全混合域 = 上部完全混合域 - 重なり部分 / 2 の整数部分
- ・ 下部完全混合域 = 槽深さ - 上部完全混合域 - 1

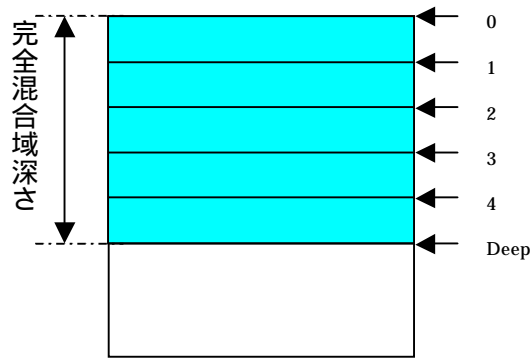
< 重なり部分が槽の深さの三分の一よりも大きい場合 >

この場合には重複域の回転攪乱力が倍増して槽内全体が完全混合するものとする。よって、無次元時間の計算においても槽容量全体を用いる。流量は熱源出口と槽内流量を用いて求め、大きい方を最大無次元時間としている。

5.2.3.7 各混合域の平均水温計算

前節において、各混合域の深さが求められた。ここでは、その各混合域の平均水温を求める方法について示す。この温度は、隣槽などからの流入がある前の、初期温度として利用される。

$$\theta_{AVE} = \frac{\theta_0 + \sum_{i=1}^{Deep-1} 2 \times \theta_i + \theta_{Deep}}{2 \times Deep}$$



各分割層の温度は分割面で定義されており、各混合域の平均温度は下式により求める。

図 5.34 混合域の平均水温の求め方

Deep は完全混合域の分割層数、式から分かるよう各層の平均水温の平均を取っている。言い換えれば両端の影響が小さくなるようにして、平均水温を求めている。上部完全混合域の場合も下部完全混合域の場合も同様な方法である。

5.2.3.9 本槽への流入温度と次槽への初期流出温度の決定

槽の水温計算を行う場合に必要となる要因は、連結方式や槽の位置により異なる。分類すると以下ようになる。

(1) 連結方式がもぐりぜきの場合

連結方式がもぐりぜきの場合には、本槽へ流入するものは、スリット槽内の水しか考えられず、スリット槽内の水温については 4.3.1 で求めているので、本槽の計算にはこの水温を用いればよい。

(2) 連結槽で連結方式がパイプの場合で始端槽、終端槽以外

この場合は、本槽への流れ込みは上流側の槽からのみである。よって、1 つ上流側の槽の水温を用いて、本槽の水温計算を行う。この流入温度については 4.3.2 で求めている。

(3) 連結槽で連結方式がパイプの場合で始端槽、終端槽

この場合は、隣槽からの流れ込みのほかに、一次側、二次側からの流入が考えられる。これらの要因も考慮に入れて水温の計算をする必要がある。

(4) 単槽で入出力方式がパイプの場合

この場合は、一次側、二次側からの流入が考えられるので、これらの流入水温を考慮して槽内水温の計算を行う。

以上のことから、本槽の計算を行う場合に、流入してくる温度と、次槽へ流出する温度

が必要になってくることになる。

5.2.3.10 ピストン域の温度計算

ピストン域とは完全混合になっていない部分のことを示し、高さ方向に温度変化が生じている状態である。順流混合域や逆流混合域が槽内に存在しないときには、槽全体がピストン域と言える。混合域が存在する場合には、それ以外の部分がピストン域である。槽全体が完全混合している場合には、その槽にはピストン域は存在しない。

図 5.35 に槽内の状態の一例を示す。この時は、上部に順流混合域、下部に逆流混合域が形成され、その間がピストン域となっている。ピストン域のある区間の水温 θ_j は下式により求める。完全混合域との境界では完全混合域の温度を与え、槽底部では断熱条件とし、移流項に風上差分を用いて算出している。完全混合域との境界は時間とともに移動するため、計算格子の中間であっても近似的に最寄りの格子に一致するとして計算しているが、格子間隔が十分小さければ問題はない。

$$\theta_j^{n+1} = \theta_j^n + \Delta t \left(\kappa_0 \frac{\theta_{j+1}^n + \theta_{j-1}^n - 2\theta_j^n}{\Delta z^2} - \frac{U\Delta\theta}{\Delta z} \right)$$

$$\Delta\theta = \theta_j^n - \theta_{j-1}^n \quad (U > 0)$$

$$\Delta\theta = \theta_j^n - \theta_{j+1}^n \quad (U < 0)$$

ここで、

κ_0 : 水の温度伝導率

U : 槽への正味流量による槽水平断面流速

Δz : 計算の際の深さ方向の距離間隔

添え字

n : 時刻($n\Delta t$)を示す

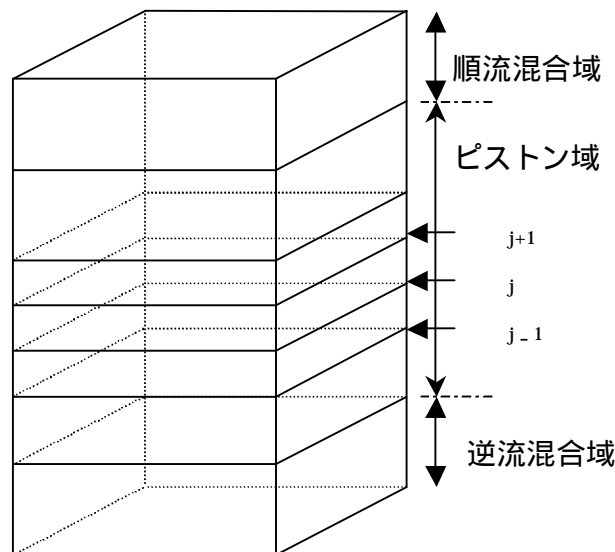


図 5.35 ピストン域の概念図

5.2.3.11 完全混合域の温度計算

完全混合域の計算には、一つの槽内がすべて均一温度になった場合と、上部、下部に出来る完全混合域の3種類が考えられる。また、もぐりぜきの場合と、パイプ連結で始端槽と終端槽以外については、隣槽やスリット槽からの入力のみであるので、処理方式は単純である。以下に、発生可能な状況における、完全混合域の水温度計算方法を示す。

(1) もぐりぜきの場合

もぐりぜきの場合、スリット槽からの流入のみを考えればよい。以下に流れの方向別の処理方法を示す。

(a) 終端槽から始端槽への流れ

槽内では図 5.36 に示す状態になり、槽上部に混合域が形成される。この混合域にもぐりぜきから流入があった後の水温度は下式により算出する。

$$\theta = \theta_f + (H_{LOSS} + L_{sto} \times (\theta_g - \theta_f)) \times \Delta t / V$$

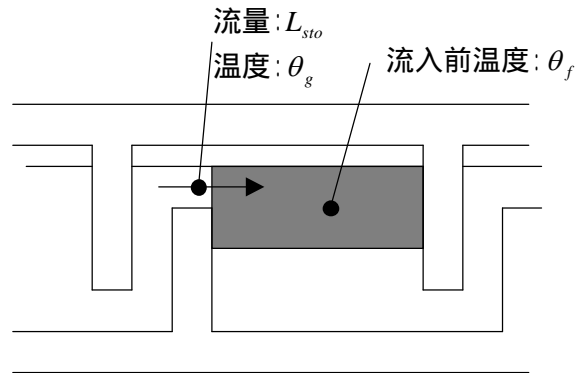
ここで、

θ : θ_g 流入後の水温度

H_{LOSS} : 槽からの熱損失

Δt : 計算時間間隔

V : 完全混合域の容積

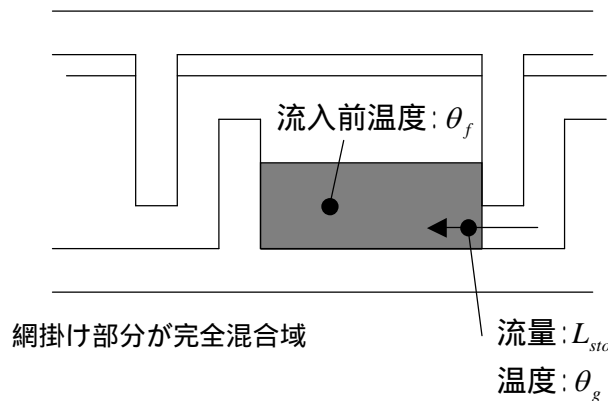


網掛け部分が完全混合域

図 5.36 もぐりぜきの完全混合域水温度計算の概念図

(b) 始端槽から終端槽への流れ

この場合は図 5.37 に示す状態になり、槽下部に混合域が形成される。(a)と同様な計算式で、完全混合域の水温度を求めることが出来る。



網掛け部分が完全混合域

流量: L_{sto}
温度: θ_g

図 5.37 もぐりぜきの完全混合域水温度計算の概念図

(2)パイプ連結で始端槽、終端槽以外

パイプ連結で始端槽、終端槽以外では隣槽からの流入しか考えられない。よって、もぐりぜきの場合と同様に処理することが出来るので、詳細については省略する。

(3)パイプ連結で始端槽の場合

この場合には、隣槽からの流入の他に、熱源からの流入や二次側への流出などの要因が考えられる。以下に、各状況の処理内容について示す。なお、ここでは蓄熱槽と各系統の入出力が個別の場合についてのみ示している。統括の場合は、完全混合槽型蓄熱槽で示した処理を参考にすればよい。統括の場合は逆流混合域が発生しないため、処理内容としては単純である。

(a)槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で、槽内が完全混合している場合

この場合は、始端槽が均一温度となっているので、槽の熱量の収支を考慮すればよい。始端槽への熱の出入りは、図 5.38 に示す要因が考えられる。これらのことから、水温は下式で求められる。ここで示す二次側への流量 L_2 は、全系統の合計流量を示している。

$$\theta = \theta_f + (H_{LOSS} + \theta_{Rout} \times L_1 + \theta_g \times L_{sto} - \theta_f \times (L_1 \times \phi_1 + L_2)) \times \Delta t / V$$

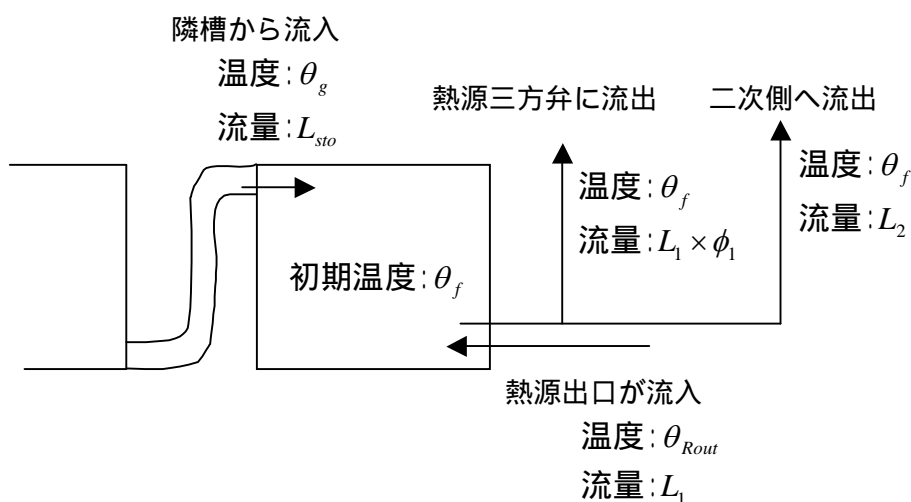


図 5.38 槽内完全混合時の始端槽水温計算の概念図

(b)槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で熱源停止状態

この場合には、水温を変化させる要因は(2)と同じように隣槽からの流入のみであるので、(2)と同じ処理方法でよい。

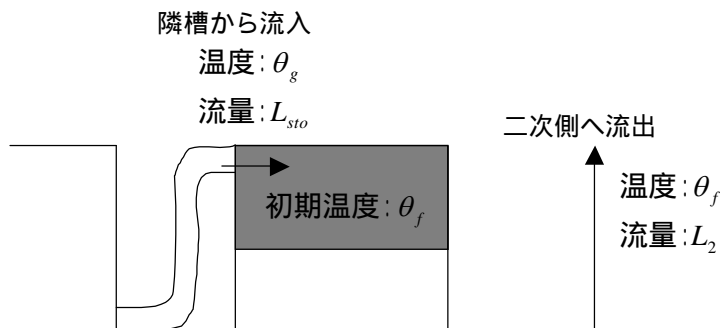


図 5.39 槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で始端槽の順流混合域の概念図

(c)槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で逆流混合域の計算

逆流混合域とは、槽全体の流れとは逆方向の流れのことを示しているので、この場合の逆流完全混合域は、熱源出口の流入により槽下部に形成される。(a)の場合と異なる点は、隣槽からの流入温度ではなく、逆流混合域の境界面近傍の温度が流入することと、計算対象槽容量が、逆流混合域の部分のみになることである。

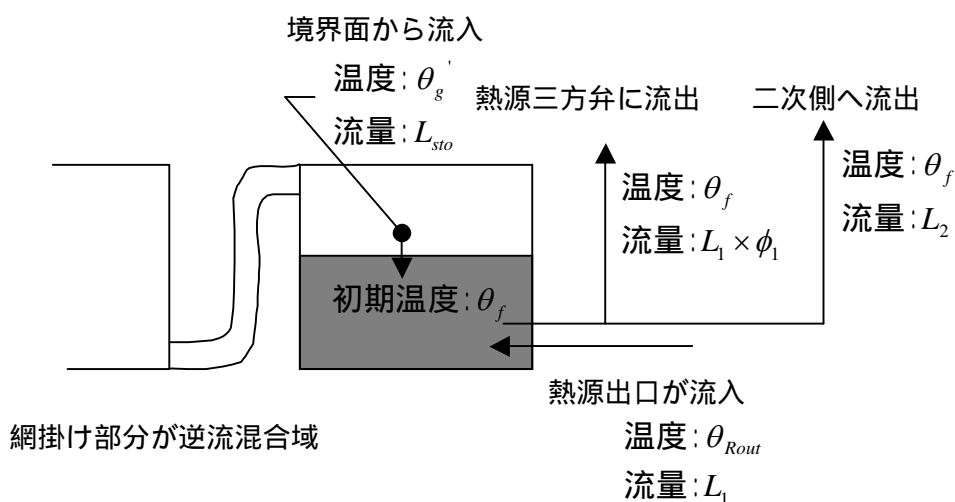


図 5.40 槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で始端槽の逆流混合域の概念図

(d)槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で、槽内が完全混合している場合

この状態は、(a)に比べて隣槽からは流入であったのが、隣槽へ流出に変わるのみである。よって、計算式もその部分を変更するのみでよい。

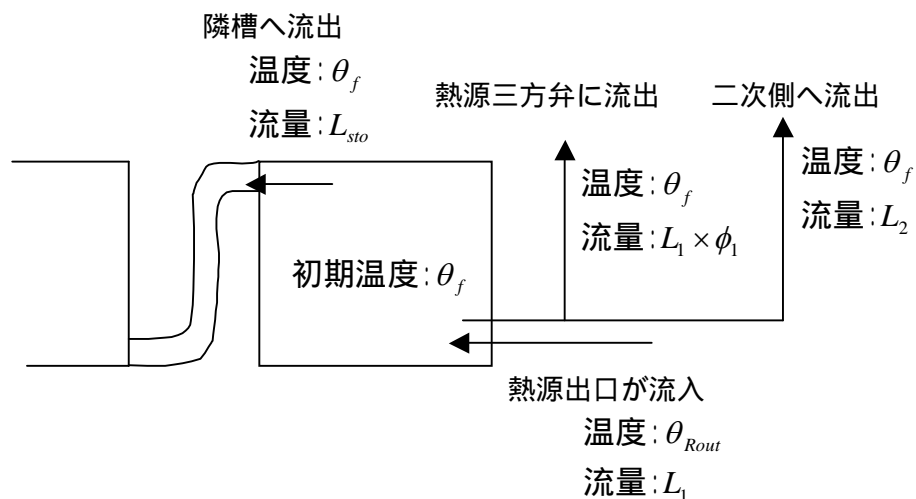


図 5.41 槽内完全混合時の始端槽水温計算の概念図

(e)槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で、槽内が完全混合していない場合

(d)の状態と比べて異なることは、隣槽への流出ではなく、混合域外への流出になることである。よって、式的には同じとなり対象槽容量が槽全体ではなく、混合域のみと変更するだけでよい。

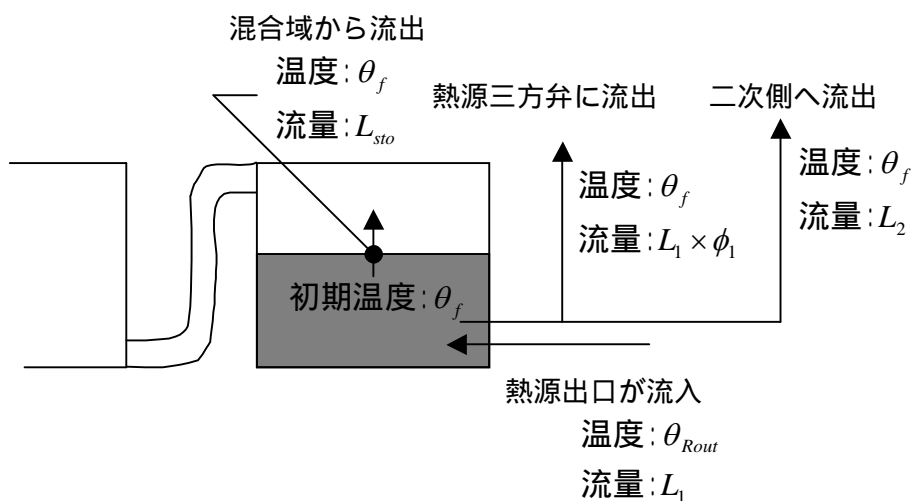


図 5.42 槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で始端槽の順流混合域の概念図

(4)パイプ連結で終端槽の場合

この場合には、隣槽からの流入のみでなく二次側の還水の流入、熱源三方弁、二次側定温送水系統三方弁への流出が考えられる。以下に、状況に応じた処理方法を示す。ここでも、個別方式について示している。

(a)槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で、槽内が完全混合している場合

図 5.43 にこの時の熱収支の状態を示す。これらの影響を考慮すれば、槽内水温を算出することができる。図中の二次側三方弁へ流出とあるのは、二次側定温送水系統への送水のことを示している。

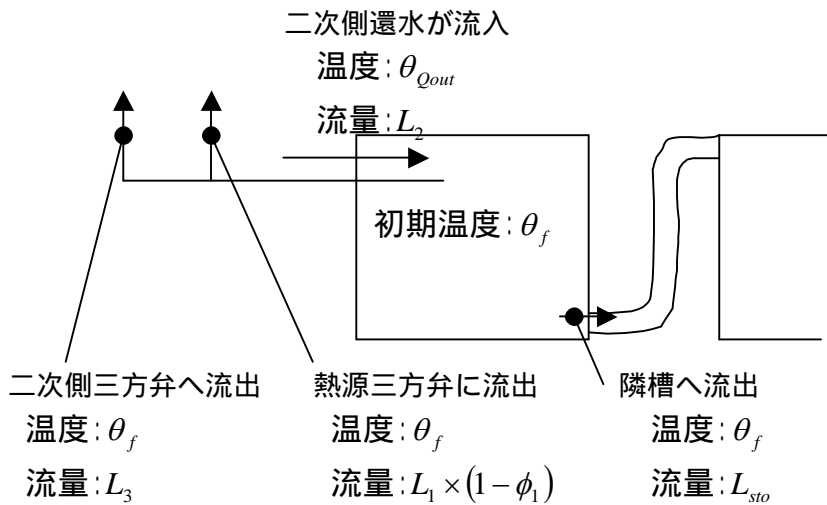


図 5.43 槽内完全混合時の終端槽水温計算の概念図

(b)槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で、槽内が完全混合していない場合

(a)の完全混合の場合と異なる点は、隣槽への流出ではなく混合域外への流出になると、計算対象容量が混合域のみとなることである。

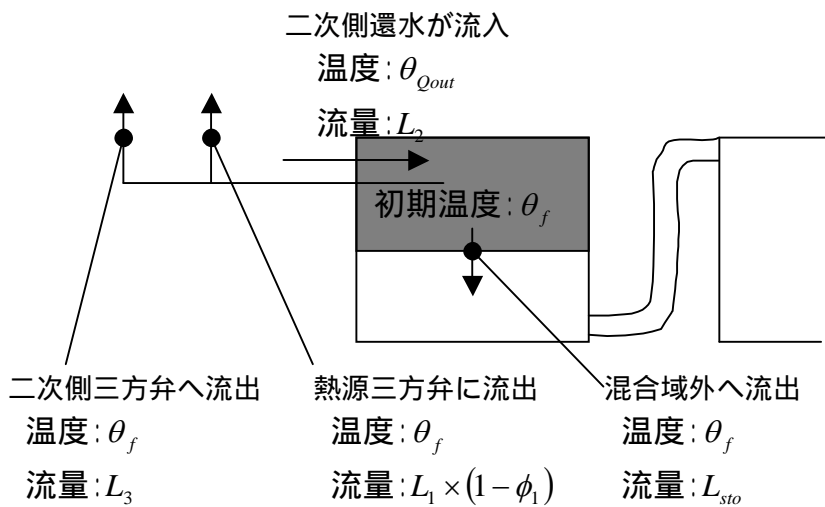


図 5.44 槽内の流れが終端槽から始端槽の場合で終端槽の順流混合域の概念図

(c)槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で、槽内が完全混合している場合

この場合は、(a)と比較すると隣槽への流出が、隣槽から流入に変わるのみである。これらの要因について計算を行えば、水温を計算することが出来る。

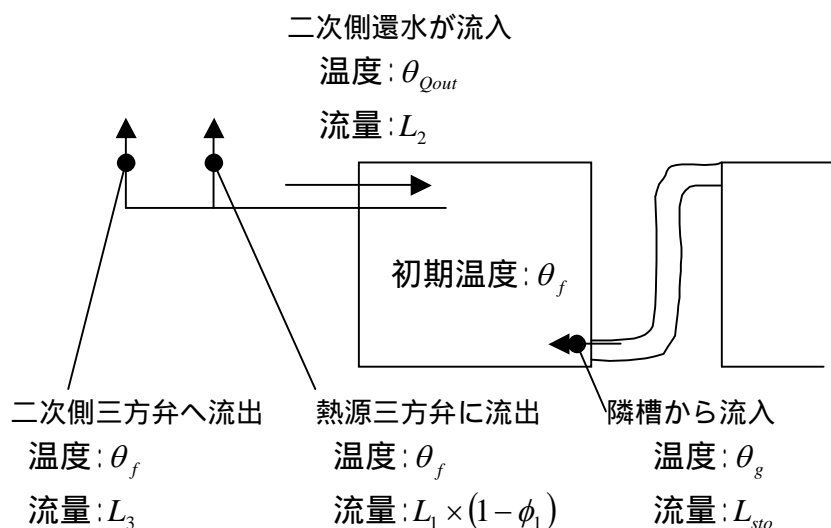


図 5.45 槽内完全混合時の終端槽水温計算の概念図

(d)槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で、槽内が完全混合していない場合

この状態では混合域は槽下部に形成される。この部分の温度に影響を与えるのは、隣槽からの流入のみである。よって、(2)と同様な処理を行えばよい。

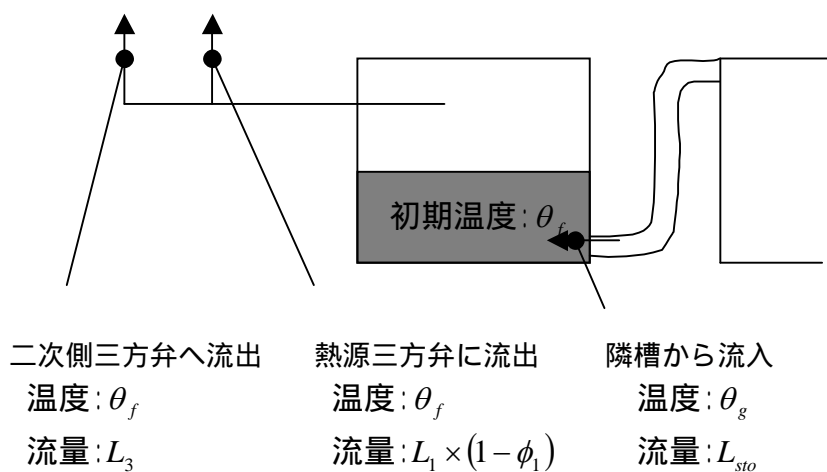


図 5.46 槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で終端槽の順流混合域の概念図

(e) 槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で逆流混合域の計算

槽全体の流れに逆行しているのは二次側還水の流入である。よって、逆流混合域は槽上部に形成される。この部分について図に示す熱収支を計算すれば逆流混合域の水温は計算できる。(c)の完全混合の場合と比較すると、隣槽からの流入であったものが、逆流混合域境界面近傍からの流入になる点が異なる。

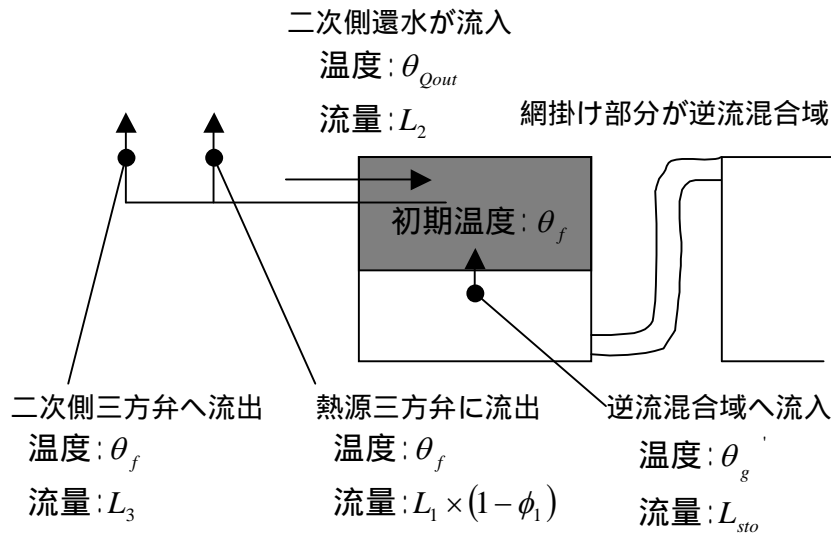


図 5.47 槽内の流れが始端槽から終端槽の場合で終端槽の逆流混合域概念図

(5) 単槽で入出力がパイプの場合

単槽の場合は、一つの槽に一次側と二次側の入出力があるため、これらを考慮して計算する必要がある。以下に、各状況に応じた処理方法を示す。ここでも、入出力が個別の場合についてのみ示す。統括の場合は、上部下部のいずれか一つの入力しか発生しない。

(a) 槽が完全混合している場合

槽の入出力は図 5.48 に示す要因が考えられる。槽が完全混合している場合には、一次側と二次側の流量の大小は関係なく同じ計算式でもとめられる。

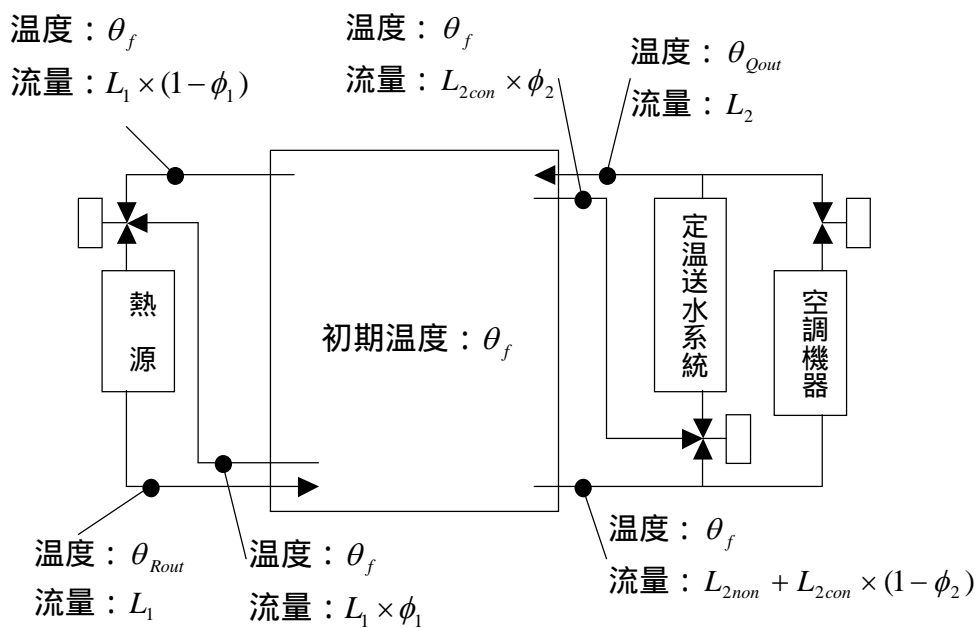


図 5.48 単槽で完全混合している場合の概念図

(b)二次側の流量が一次側よりも大きく、槽が完全混合していない場合

この場合は、槽内の流れは図 5.49 に示すように上部から下部の方向となるので、順流混合域は上部に形成される。この部分における熱の収支を考慮すれば、混合域の水温が計算できる。

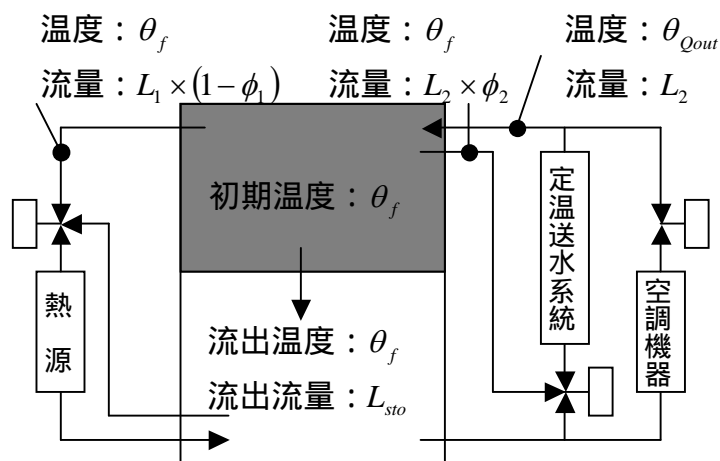


図 5.49 二次側の流量が一次側よりも大きい場合の順流混合域概念図

(c)二次側の流量が一次側よりも大きく、逆流混合域が発生している場合

この状態では、順流は上部から下部の方向であるので、逆流混合域は槽下部に形成される。

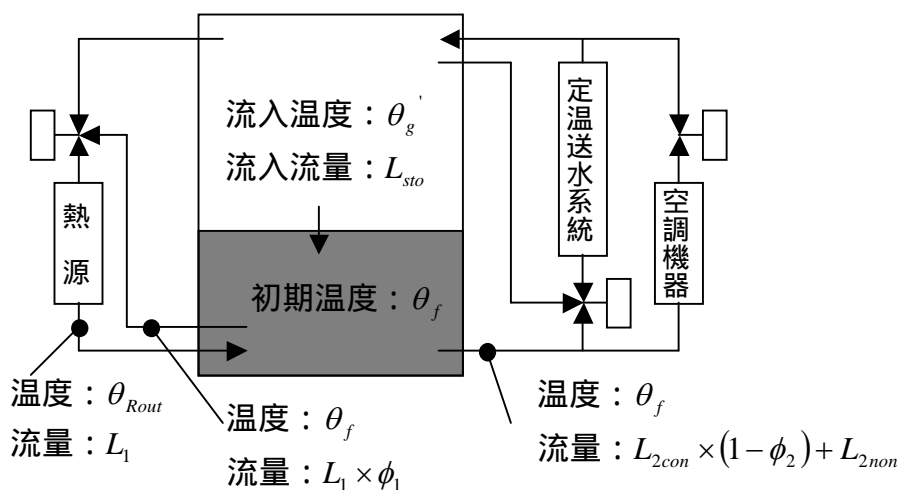


図 5.50 二次側の流量が一次側よりも大きい場合の逆流混合域概念図

(d)二次側の流量が一次側よりも小さく、完全混合していない場合

この場合、槽内の流れは下部から上部へ方向になるので、順流混合域は下部に形成される。

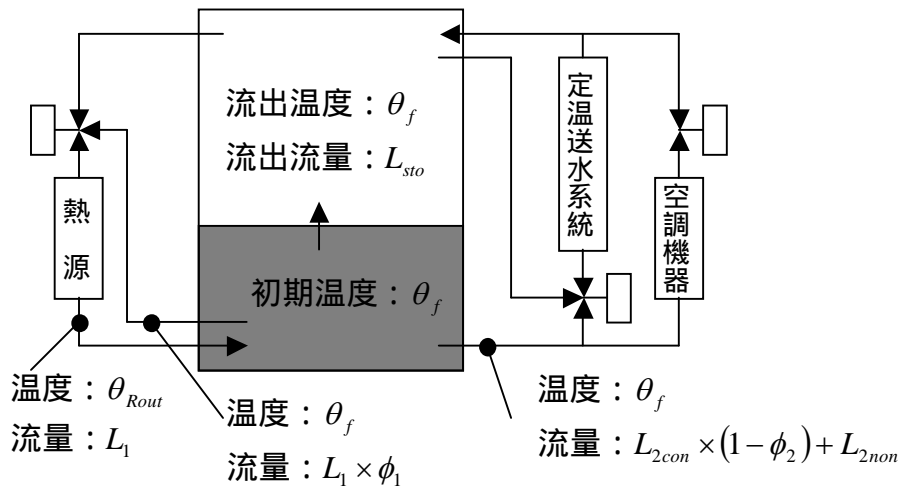


図 5.51 二次側の流量が一次側よりも小さい場合の順流混合域概念図

(e)二次側の流量が一次側よりも小さく、逆流混合域が発生している場合

この状態では、順流は下部から上部の方向であるので、逆流混合域は槽上部に形成される。

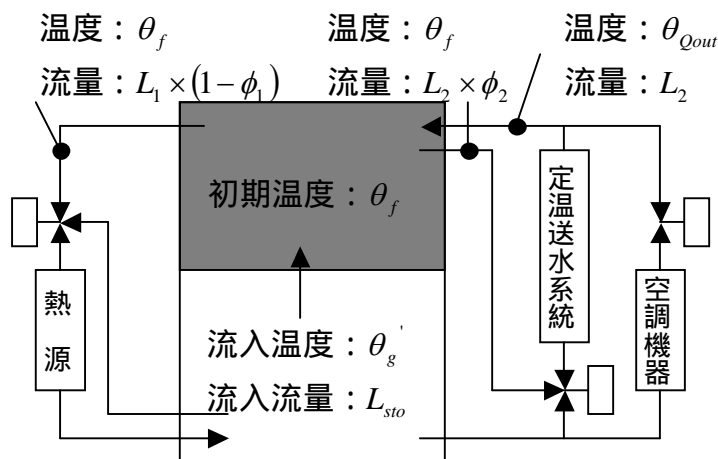


図 5.52 二次側の流量が一次側よりも小さい場合の逆流混合域概念図

5.2.4 まとめ

本節では、単槽および連結槽の温度成層型蓄熱槽の水温計算手法について示した。連結完全混合槽型蓄熱槽の場合に比べ、計算内容は複雑になっている。温度成層型蓄熱槽では、槽内のある一部が均一温度となる完全混合域、深さによって温度成層が生じるピストン域が形成される。完全混合域には、槽内の全体の流れ方向によって生じる順流混合域、それとは逆方向の流れによって生じる逆流混合域の二種類がある。これらの深さは槽へ流入する水温や流速によって影響を受ける。このような状態を随時判断、処理することによって温度成層蓄熱槽の水温計算が可能となっている。このモデルについての理論的根拠を知りたい方は文献 10～15 を参考にされたい。

< 第 5 章関連参考文献一覧 >

- 1) 中原信生、祝家燕、中井一夫、城田全嗣他：既設蓄熱システムの運転実態性能診断に関する研究その 1～その 4、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.645～660、1997
- 2) 中原信生、相良和伸、辻本誠：蓄熱槽に関する研究、第 3 報 - 運転シミュレーションを用いた実験計画法による連結完全混合型蓄熱槽の蓄熱槽効率の推定、空気調和・衛生工学会論文集、No.20、pp.59～72、1982
- 3) 相良和伸、中原信生：蓄熱槽に関する研究、第 5 報 - 運転シミュレーションを用いた実験計画法による温度成層型蓄熱槽の蓄熱槽効率の推定、空気調和・衛生工学会論文集、No.35、pp.15～26、1987
- 4) 奥宮正哉、中原信生：バランス型蓄熱槽に関する研究、第 2 報 - シミュレーションに関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.31、pp.69～77、1986
- 5) 編著：中原信生、宮武修：蓄熱技術 - 理論とその応用、第 編「蓄熱技術概論、顕熱蓄熱」、モデル化と蓄熱システムシミュレーション、pp.41～49、信山社
- 6) 蓄熱式空調システム 基礎と応用、11.蓄熱槽効率の詳細検討手法、pp.253～266、編集：空気調和・衛生工学会
- 7) 蓄熱式空調システム 基礎と応用、蓄熱式空調システム用語一覧、pp.17、編集：空気調和・衛生工学会
- 8) 山岸勝己、唐木彰：空気冷却減湿用冷却コイルの静的解析法、空気調和・衛生工学会、第 48 巻、第 10 号、pp.35～45、1974
- 9) 中原信生、相良和伸：空調システムフォルトの動的シミュレーション、その 3 蓄熱システム制御におけるフォルト、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.365～368、1993
- 10) 辻本誠、相良和伸、中原信生：蓄熱槽に関する研究、第 1 報 - 成層型蓄熱槽の槽内混合機構に関する実験的研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.16、pp.23～35、1981
- 11) 相良和伸、辻本誠、中原信生：蓄熱槽に関する研究、第 2 報 - 数値シミュレーションによる成層型蓄熱槽の槽内混合機構についての研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.17、pp.29～39、1981
- 12) 相良和伸、前田茂哉、浅野勝弘、中原信生：蓄熱槽に関する研究、第 4 報 - 幾何学的条件と変流量・変温度入力成層型蓄熱槽の槽内混合機構に与える影響に関する研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.30、pp.9～19、1986
- 13) 川端秀樹、中原信生、相良和伸：蓄熱槽の特性解析に関する研究、-その 14-運転シミュレーションのための実用 R 値モデル、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.521～524、1985
- 14) 相良和伸、上宮晃雄、中原信生：蓄熱槽の特性解析に関する研究、-その 15-1 次側・2 次側同時運転の場合の運転実績とモデルによるシミュレーション、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.525～528、1985
- 15) 中原信生、相良和伸：蓄熱槽の特性解析に関する研究、-その 16-運転シミュレーションによる温度成層式蓄熱槽の性能に関する検討、空気調和・衛生工学会学術講演会講演論文集、pp.529～532、1985
- 16) 奥宮正哉、中原信生：バランス型蓄熱槽に関する研究、第 1 報 - 実験による研究、空気調和・衛生工学会論文集、No.24、pp.21～34、1984
- 17) 中原信生：知多市民病院、空気調和・衛生工学会、No.7、Vol.59、pp.33～42、昭和 60 年 7 月
- 18) TESEP Ⅱ マニュアル(理論編)、財)ヒートポンプ・蓄熱センター