

4. 空気調和設備における蓄熱式熱源システムの定温蓄熱制御

4.1 適用

空気調和設備の自動制御技術のうち、蓄熱式熱源システム（熱源システムの中に蓄熱槽が組み入れられたシステム）を対象とした定温蓄熱制御の性能試験法を定める。ここでは、汎用の現場築造型水蓄熱システムを対象とし、直結循環式熱源との併用、及び蓄熱・直結循環切替利用システムにおける切替運転制御は含まない。また、製品化された氷蓄熱システムはメーカー独自の制御システムが組み入れられており、汎用的な試験法を作成することが困難であるため対象とはしない。

定温蓄熱制御とは、始端槽(層)を二次側限界上昇温度内に収めるために、熱源機器からの流入水の温度を常に設定された温度に保持することを目的とした制御である。具体的には、次のいずれかの方法で対応する必要がある。

- ・ 入口温度を調節するために始端槽(層)水または熱源出口からのバイパス水を混ぜる。
- ・ 変流量型熱源機として水量を調節して温度差を調整する。

対象とするシステムの範囲は図 4.1.1 の一点鎖線で囲んだ部分である。図 4.1.1 は、三方弁制御系を除いて二次側送水方式と空調機の変流量制御のオプション別に描いている。ここで、二次側送水方式オプションとは、熱交換器を経由する場合と直送方式との別を言う。変流量制御オプションとは、通常の二方弁制御方式と、特にファンコイルユニット制御対応の大温度差確保弁を適用した場合の別を言う。

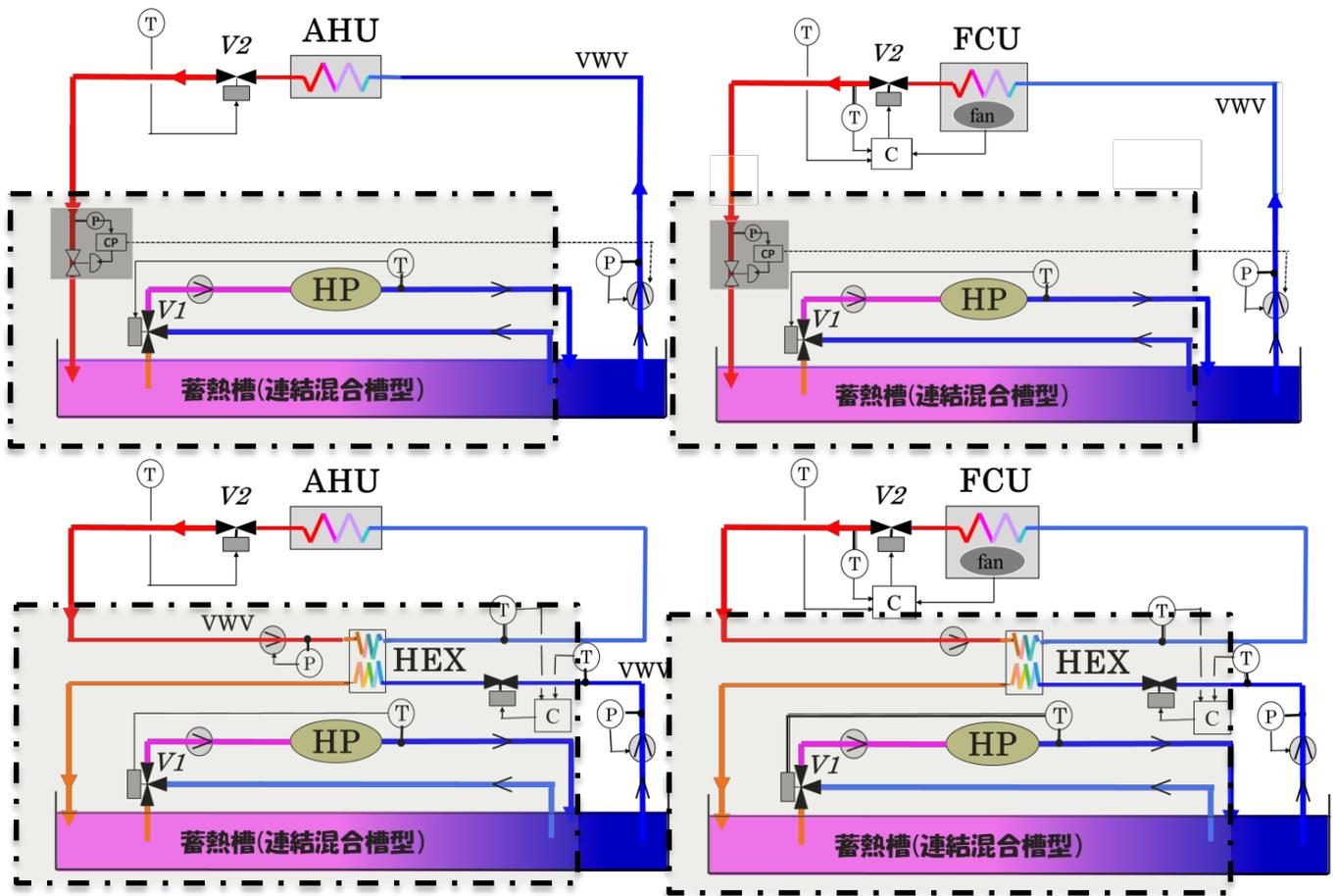


図 4.1.1 蓄熱式空調システム制御オプションの全体像概念図と

検証対象範囲(変流量対応のみ)

上段: 直送方式、下段: 熱交換器経由方式

左側: 通常の空調機二方弁制御方式、右側: FCU に大温度差確保制御弁適用方式

(図中の AHU は空調機、FCU はファンコイルユニット、HP はヒートポンプ、

HEX は熱交換器、VWV は変流量制御、

T は温度、P は圧力、V はバルブ、C はコントローラを意味する)

4.2 引用規格・参考文献

- 1) 中原信生・宮武修編著：蓄熱技術—理論とその応用—第 I 編—「蓄熱技術概論、顕熱蓄熱」、信山社、1996
- 2) 射場本忠彦他：蓄熱式空調システム、基礎と応用、空気調和・衛生工学会、1995
- 3) 空気調和・衛生工学会：SHASE-M 0007-2005、設備システムに関するエネルギー性能計測マニュアル
- 4) ヒートポンプ・蓄熱センター編、蓄熱技術基準
- 5) ヒートポンプ・蓄熱センター編、蓄熱システムの最適化制御 計画・設計マニュアル
- 6) ヒートポンプ・蓄熱センター編、蓄熱式空調システムのコミッショニングガイドブック

4.3 用語の定義

4.3.1 蓄熱式熱源システム

熱源システムの中に蓄熱槽が組入れられ、空調負荷或いは電力負荷のピークカット、ピークシフトにより熱源システムの高効率・経済的運転を達成するように構成されたシステム

4.3.2 水蓄熱システム

蓄熱の媒体として蓄熱槽に蓄えられた水を利用し、その温度差による顕熱を蓄熱(一次側熱源の出力を蓄える)或いは放熱(二次側負荷を処理する)するシステム。蓄熱水はシステムを貫流する熱媒と兼用するが、二次側との関係においては、熱交換器を介して分離する場合と分離せずに蓄熱槽水が直接二次側空調システム系に送られる場合とがある。一次側熱源とは直接接続する 경우가多いが、熱交換器を介する場合もある。

4.3.3 連結完全混合槽型蓄熱槽

建物の地中梁或いはその間に設けられた間仕切り壁、ベースマット並びに上部の床で区切られた空間で作られた水槽(これを単槽と呼ぶ)を直列に連結し、連通管を通して水を蓄え、循環できるようにした蓄熱槽を言う。各単槽内の水は完全に混合することを前提としているので連結完全混合槽型蓄熱槽と呼ぶ。連結槽全体としては端部の槽から反対の端部の槽に向けて押し出し特性(ピストンフロー特性)を持たせて低温水と高温水とを分離させる効果がある。連結槽の数が多いほどピストンフロー特性が強くなる。

4.3.4 温度成層型蓄熱槽

高温になるほど密度が小さくなる水の特性を利用し、槽内水と流入水の関係において冷たい側の水と暖かい側の水が浮力によって分離する現象を利用してピストンフロー特性を実現する蓄熱槽。単一槽から成るのが原則である。密度の温度特性が逆転する 4℃以下では温度成層効果は利用できないこと、流入水の攪乱効果によって流入側に一定の深さの完全混合領域が生じること、4℃以上の領域で上下に温度逆転(下部の温度より上部の温度の方が低温になる)があると重力混合により逆転が解消するまで速やかに均一温度になって温度成層が弱められることなどの特徴がある。

4.3.5 連結温度成層型蓄熱槽

温度成層型蓄熱槽を直列に接続して、全体として温度成層型としてのピストンフロー特性を実現させる蓄熱槽。連結完全混合槽型蓄熱槽にするには槽数が確保できず、温度成層型とするには深さと槽容量が確保できないときに利用される。コストの見地から見て連結温度成層とする限界槽数は10槽程度であり、15槽以上では連結完全混合槽型とするのが良い。連結時に温度成層が解消しないように水流方向逆転が必要であり、その方法としてスリット槽接続(潜り堰接続とも言う)、パイプ接続とがあり、パイプ接続の場合は流入水による完全混合域を小さくするために水の流速を下げ、輻流上に放出させるディストリビューターを設けることが多い。

4.4 記号等

本章で使用する記号等を表 4.4.1 に定義する。

表 4.4.1 記号、単位、略語

記号	意味	単位
T	温度センサー	
P	圧力(水頭)センサー	
F, Q	流量計(瞬時または積算)	
V	弁	
CP, DDC	コントローラー	
P,I,D	制御動作、制御パラメーター(比例、積分、微分)	
R, HP	冷凍機、ヒートポンプ	
t, θ	温度(水温)	°C
V	水量	m ³
P, p	水圧または水頭	KPa, mAq
dP	差圧	KPa
q, Q, H	熱量(瞬時または積算)	kW, MJ/h, kWh, GJ
E	エネルギー消費量	kWh, (k,M,G)J(/d, a)
INV	インバータ周波数 (Inverter Frequency)	Hz
O	バルブ開度	%

4.5 制御方式

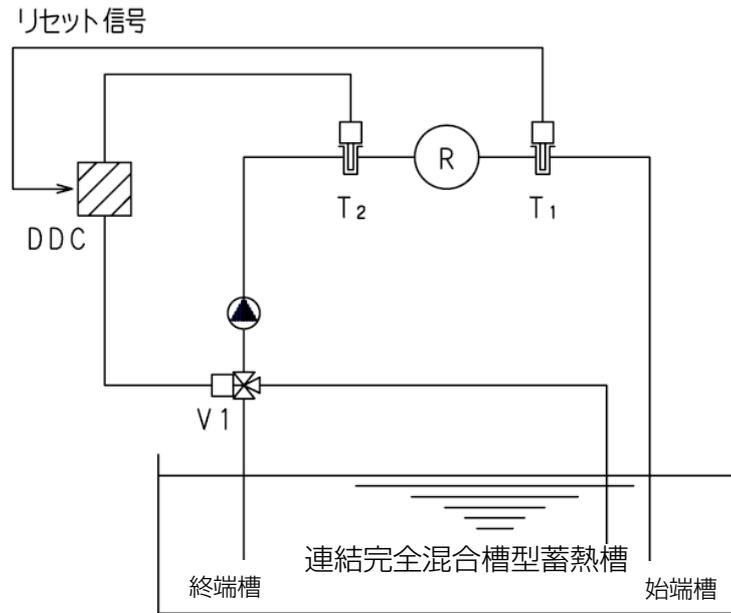
定温蓄熱制御のうち、表 4.5.1 に示す制御方式を対象とする。

表 4.5.1 対象とする定温蓄熱制御の分類

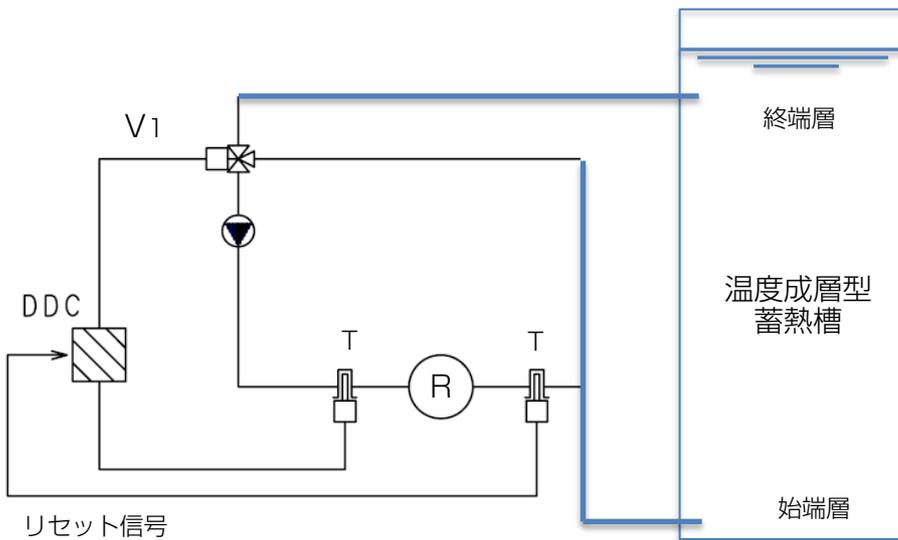
タイプ	吸込み三方弁制御			ポンプ回転数 制御
	熱源出口 温度一定	熱源入口温度一定		熱源出口 温度一定
タイプ A1	■			
タイプ A2		■		
タイプ A3		■	出口温度で補正	
タイプ A4		■	出入口温度差で補正	
タイプ B				■
タイプ C1		■		■
タイプ C2		■	出口温度で補正	■
タイプ C3		■	出入口温度差で補正	■

4.5.1 吸込み三方弁制御方式（タイプA）

入口温度を調節するために始端槽(層)水または熱源出口からのバイパス水を混ぜることにより、熱源機器からの流入水の温度（熱源出口温度）を一定にする方式。混合三方弁(または大口径の場合は二方弁の組み合わせ)を用いるので吸込み三方弁制御と通称される。図 4.5.1 にシステム図を示す。なお、図中の R は冷凍機を意味する。



(a) 連結完全混合槽型蓄熱槽の場合



(b) 温度成層型蓄熱槽の場合

図 4.5.1 吸込み三方弁制御方式（タイプA）（冷水蓄熱時）

どの温度で制御するかによって次の4方式に分類される。

タイプA1：

初期のシステムで採用されたが、制御の応答がすぐ出口温度に現れて、ほぼリアルタイムで偏差が感知され訂正動作が指令されるので、弁のハンチングが起きやすく、それを避けるために比例帯を大きく設定することがあり、定温蓄熱が実現しなくなることが多い。制御精度に限界がある。

タイプA2：

多くの蓄熱システムで採用されている方式であり、制御結果が制御量に直接の影響を与えないのでハンチングは起こらず安定動作をするが、熱源能力と水量の齟齬、ヒートシンク(冷却塔など)の温度の変動による熱源能力の季節変動等によって、目的の出口温度が厳密には定温にならない。

タイプA3：

タイプA2の欠点を除くために、出口温度の目標値からの偏差によって入口温度の設定値を修正するカスケード制御を行うことにより定温蓄熱制御を安定的に実現する。

タイプA4：

タイプA3と同様の効果が有り、汎用メーカーの標準仕様があり実在する実施例に対応するために別記したもの。

なお、タイプA3は、吸込み三方弁制御方式に於いて制御の安定性を求めるために、熱源入口温度を制御量として三方弁制御を行い、さらに熱源出口温度における目標値からの偏差によって入口温度設定値をリセットするカスケード制御とすることによって安定的に定温蓄熱を達成することを意図したものである。

4.5.2 変流量制御方式（タイプB）

熱源機器からの流入水の温度（熱源出口温度）を一定にするために、変流量型熱源機として水量を調節して温度差を高める方式。ポンプにインバータを取り付けて流量を変化させる。ポンプ動力が節減できるが、変動流量割合にはメーカー指定の限度値がある（一般には 50%まで）のでそれを超えるときは前節の吸込三方弁制御を併用するタイプ C となる。図 4.5.2 にシステム図を示す。なお、図中の R は冷凍機を、TIC は温度指示調節計を意味する。

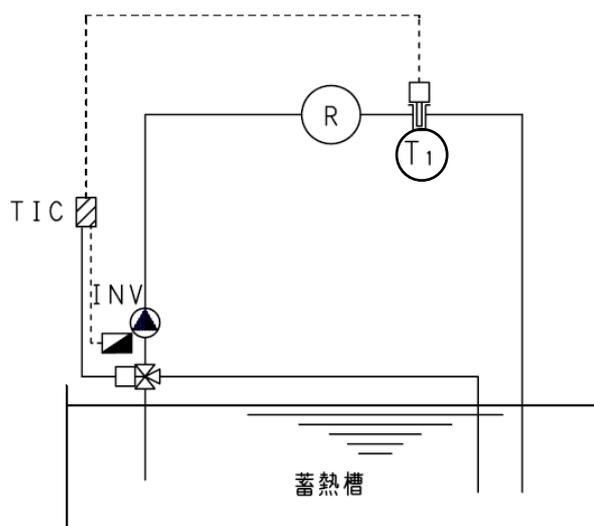


図 4.5.2 変流量制御方式

4.5.3 併用方式 (タイプC)

変流量割合に限界がある場合(一般には 50%程度)において、変流量制御とバイパス制御と併用する方式。例えば 10°C以上の大温度差の場合にこの方式を採用。なお、吸込み三方弁制御と変流量制御では主制御量が切り替わるので、切替時点の熱源入口温度を記憶しておく必要がある。また、変流量制御中は三方弁の始端槽(層)側ポートは全閉となる。図 4.5.3 にシステム図を示す。なお、図中の R は冷凍機を、F は流量計を、TIC は温度指示調節計を意味する。

タイプ C1 :

二次側大温度差による省エネルギー効果と熱源変流量制御による省エネルギー効果を併存させることができるが、出口温度制御とすると前述の通りハンチングしやすい。

タイプ C2 :

タイプ C1 で三方弁制御域では入口出口温度制御とするもの。出口温度を制御量とするタイプ C1 の動作域とで切り替える必要が有る。切替は設定温度または設定流量で行う。

タイプ C3 :

三方弁制御のタイプ A4 に対応するもの

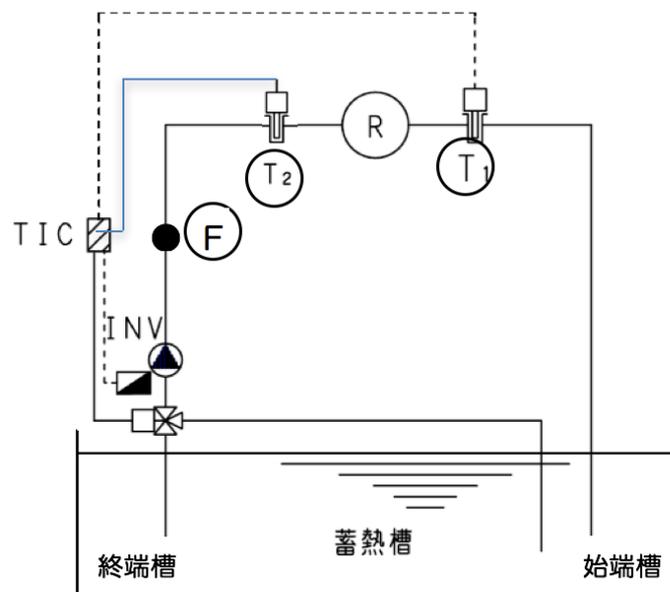


図 4.5.3 併用方式

4.6 性能試験のフロー

蓄熱式熱源システムの定温蓄熱制御の性能試験では、次の試験を実施する。

TEST-1：熱源出口温度の制御性の検証

熱源出口温度が設定値どおりに運転されていることを検証する。

4.7 システムの要求性能に関する情報

性能試験を実施するために必要な情報として、以下の資料を用意する。具体的な図面の例はヒートポンプ・蓄熱センター編「蓄熱システムの最適化制御 計画・設計マニュアル」を参照のこと。

4.7.1 設計図書

- ・ 機器リスト
- ・ 系統図
- ・ 自動制御図（制御ロジック）
- ・ 台数制御ロジック
- ・ ポンプ回転数制御ロジック

4.7.2 納入仕様書

- ・ 機器納入仕様書
- ・ 自動制御納入仕様書
- ・ 性能試験に必要な各種パラメータをまとめた資料

4.8 データ計測

必要なデータを計測するためのセンサーが既に設置されており、中央監視装置等によりデータを自動で収集されていることとする。ただし、計測値の確からしさの検証を実施することが必須である。具体的なセンサーの例は、ヒートポンプ・蓄熱センター編「蓄熱式空調システムのコミッショニングガイドブック」を参照のこと。

4.9 試験方法

4.9.1 TEST-1： 熱源出口温度の制御性の検証（タイプ A、B、C）

このテストでは、熱源出口温度が設定値どおりに運転されていることを検証する。

STEP 1 熱源機器の起動

次の手順で熱源機器を起動させる。

1. 起動可能条件を確認する。起動可能条件の例を以下に示す。

- ・ 冷水槽高温部(上部)が 15℃ 以上になっていること。
- ・ ヒートポンプ稼働条件が冷水主体モードになっていること。
 - ◇ 凝縮器回路は、外気温度が 10℃以上であれば冷却塔回路を生かし、10℃以下であれば(当該システムが複式蓄熱熱回収方式であるから)温水蓄熱モードに切り替える。温水蓄熱モードの場合は温水吸い込み三方弁制御は生かさず、手動で吸込み温度が 20～30℃になるよう調整して固定する。
- ・ 1 次冷水ポンプ、冷却水ポンプ、冷却塔が何れも支障なく運転可能であること。

2. 熱源機器を起動する。

- ・ 起動スケジュールを優先し、スケジュール時刻を現時刻に合わせて起動条件を与える。
- ・ BEMS 上でトレンド記録を確認し、また三方弁のハンチングの有無を確認する。
- ・ 冷水ポンプが起動、次いでオイルポンプ、その後冷却水ポンプが(夫々30～60 秒の遅れの後) 起動するのを観察する。
- ・ 先発チラーの起動を確認、ベーンが閉止状態で起動し、開き始めるのを確認する。

STEP 2 運転データの計測

次の運転データを計測する。

- ・ 熱源機器の入口温度・出口温度・始端槽温度・終端槽温度
- ・ 三方弁開度
- ・ 各ポートの流量(計量されていれば)、合計流量

STEP 3 制御動作の確認

チラーの入口温度、出口温度の動き、三方弁の動きを観察する。変流量チラーの場合は三方弁制御に先行して冷水ポンプのインバータが駆動し、大温度差により下限水量に達した後は三方弁制御が作動する状態を観察する。

STEP 4 熱源出口温度の分析

熱源出口温度の時系列変化をグラフ化（横軸：時刻、縦軸熱源出口温度）する。

STEP 5 あるべき性能の把握

熱源出口温度の設定値を STEP-4 で作成したグラフの上に描く。

STEP 6 性能の判断

熱源出口温度が設定値 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ の範囲内で運転されていることを確認する。