

6. 空気調和設備における二次ポンプの変流量制御

6.1 適用

空気調和設備の自動制御技術のうち、二次ポンプシステムを対象とした変流量制御の性能試験法を定める。二次ポンプの変流量制御とは、二次ポンプによる搬送動力低減を目的として、負荷等に応じて二次ポンプの運転台数やインバーター周波数を変化させる自動制御システムである。

対象とするシステムの範囲を図 6.1.1 に示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。本章では、圧力等を検知して自動で流量を変化させるシステムのみを対象とし、ローテーション運転を目的とした台数制御や手動によるインバータの調整は対象とはしない。

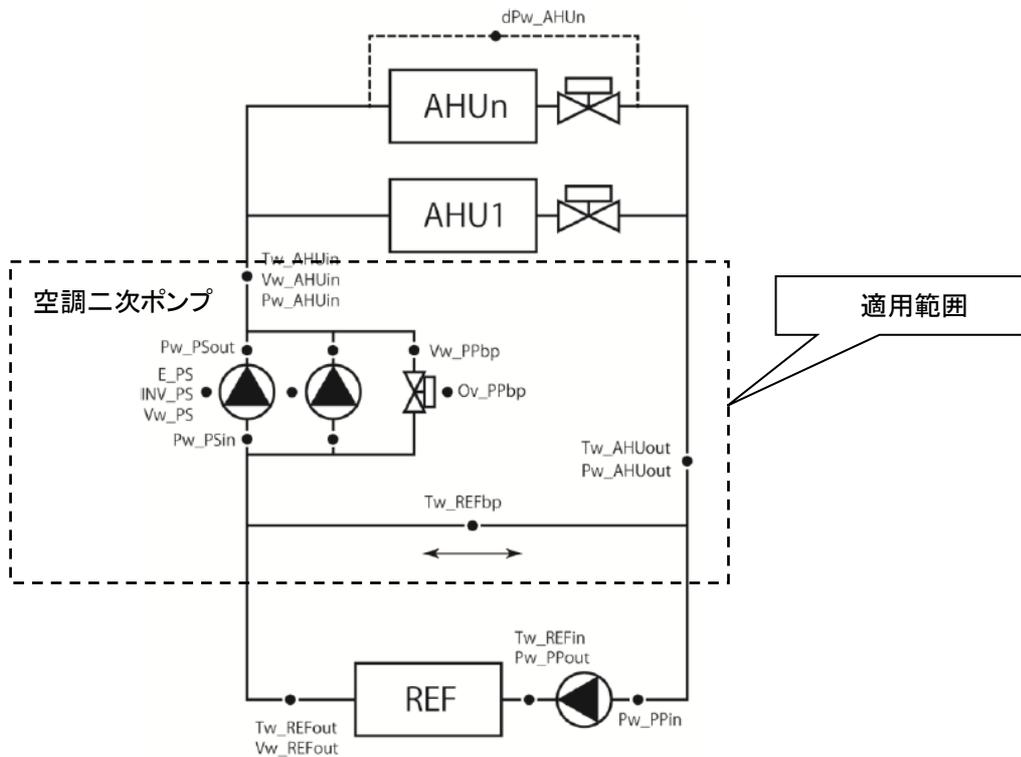


図 6.1.1 対象とする二次ポンプシステム

6.2 引用規格・参考文献

- 1) CIBSE, Industry Code AM3, UK
- 2) ES 5695/2006 = EN 13779/2004
- 3) ES 5821/2007 = EN 13053
- 4) ES 6409/2007 = EN 1886/1998
- 5) ES 6474/2008 = EN 1751

- 6) ES 6481/2008 = EN 13030/2001
- 7) ES 6602/2008 = EN 12792
- 8) ES 7177/2010 = BS EN 12239/2001
- 9) 空気調和・衛生工学会：設備システムに関するエネルギー性能計測マニュアル
- 10) NPO 法人建築設備コミッション協会：建築設備性能検証マニュアル
- 11) 一般社団法人日本ビルエネルギー総合管理技術協会：ビルエネルギー総合管理手法

6.3 用語の定義

6.3.1 二次ポンプシステム

中央熱源方式の空気調和設備の構成要素であり、熱源システムで生成した冷水または温水を空調機やファンコイルユニット等の負荷側機器に搬送するためのポンプの集合体。

6.3.2 二次ポンプの変流量制御

二次ポンプで搬送される冷温水を、二次側の負荷等に応じて自動的に変化させる制御。

6.3.3 ポンプ台数制御

二次ポンプが複数台からなるシステムにおいて、空調機やファンコイルユニット等の負荷機器へ流れる冷温水の流量または熱量に応じて、ポンプの運転台数を変化させる制御。

6.3.4 二次ポンプ回転数制御

二次ポンプの吐出圧力やヘッド差圧が目標値に達するように、インバータ等を利用して二次ポンプの回転数を変化させる制御。

6.3.5 二次ポンプ回転数制御（吐出圧一定方式）

二次ポンプ回転数制御のうち、吐出圧力やヘッド差圧の目標値を一定とする制御。

6.3.6 二次ポンプ回転数制御（吐出圧可変方式）

二次ポンプ回転数制御のうち、システムの末端にある空調機やファンコイルユニット等の負荷機器と制御弁の差圧（末端差圧）等により、吐出圧力やヘッド差圧の目標値を自動的に変化させる制御。

6.4 記号等

本章で使用する記号等を表 6.4.1 に定義する。

表 6.4.1 記号等の定義

記号	意味	単位
θ_w	水温	℃
V_w	水量	m ³ /h
P_w	水圧	Pa
dP_w	差圧	Pa
Q_w	熱量	kW
E	消費電力	kW
F	インバータ周波数	Hz
O_v	バルブ開度	%

6.5 制御方式

変流量制御のうち、表 6.5.1 に示す制御方式を対象とする。

表 6.5.1 対象とする変流量制御

タイプ	台数制御	ポンプ回転数制御		計装図
		送水圧力一定制御	送水圧力可変制御	
タイプ A				図 6.5.1
タイプ B		■		図 6.5.2
タイプ C	■			図 6.5.3
タイプ D	■	■		図 6.5.4
タイプ E	■		■	図 6.5.5

6.5.1 二次ポンプ定流量システム (タイプ A)

二次ポンプの流量制御を行わず、常に定流量とするタイプ。図 6.5.1 にシステム図を示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。

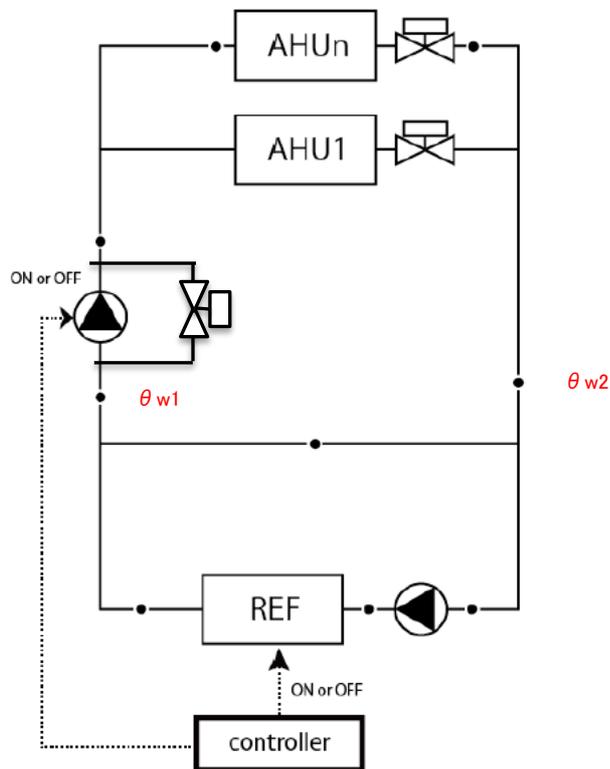


図 6.5.1 二次ポンプ定流量システム (タイプ A)

6.5.2 変流量システム (タイプ B)

二次ポンプの吐出圧力やヘッド差圧が一定となるように、インバータ等を利用して二次ポンプの回転数を変化させる制御。「送水圧力一定制御」という。図 6.5.2 にシステム図を示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。

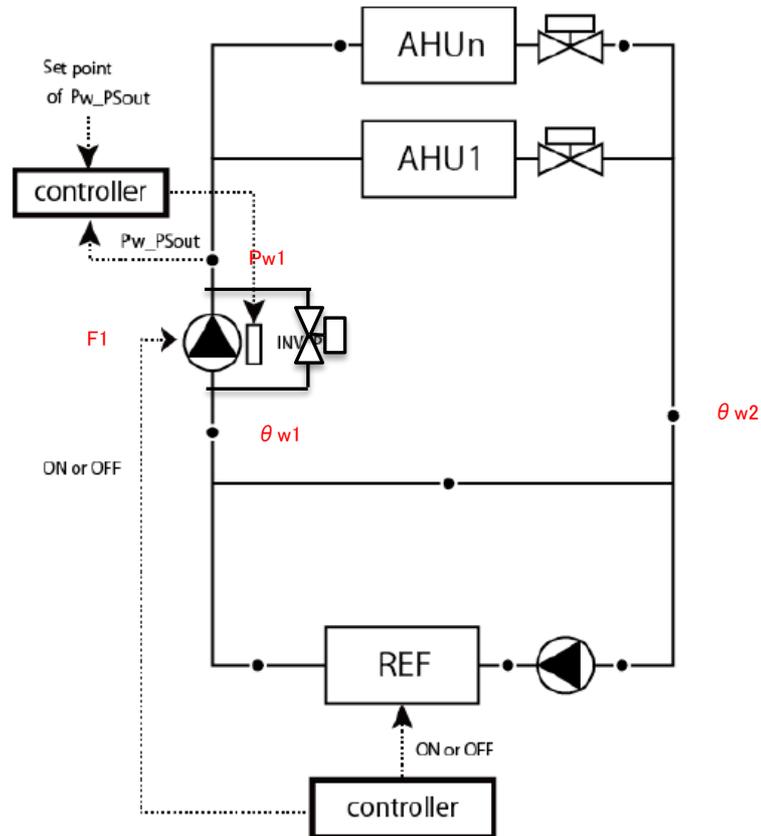


図 6.5.2 二次ポンプ変流量システム (タイプ B)

6.5.3 変流量システム (タイプ C)

二次ポンプが複数台設置される空調システムにおいて、空調機やファンコイルユニット等の負荷機器へ流れる冷温水の流量に応じて、ポンプの運転台数を変化させる制御。「二次ポンプ台数制御」という。図 6.5.3 にシステム図を示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。

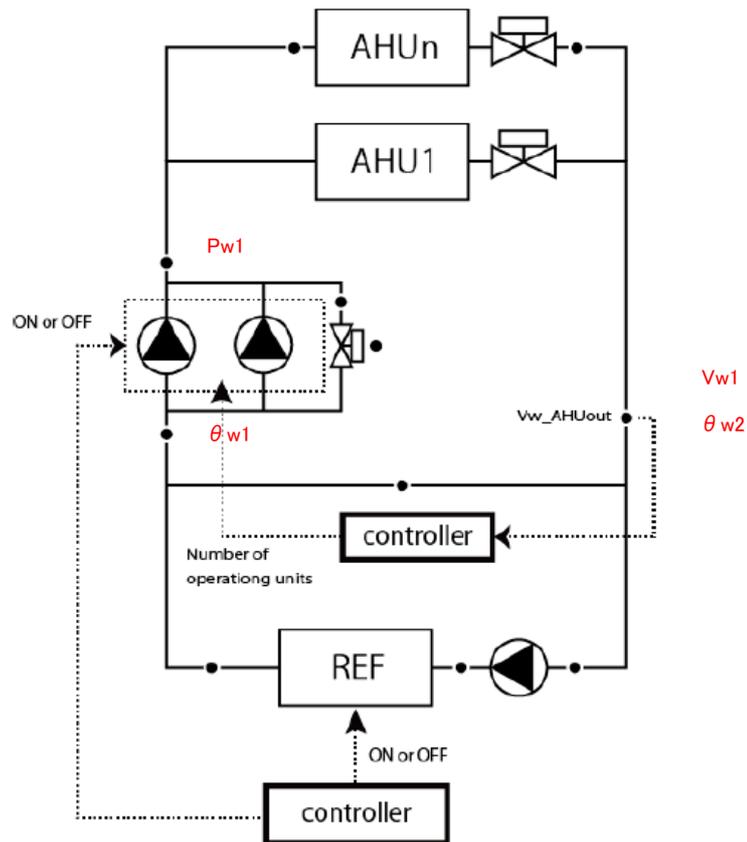


図 6.5.3 二次ポンプ変流量システム (タイプ C)

6.5.4 変流量システム (タイプD)

二次ポンプ台数制御と送水圧力一定制御を組み合わせたシステム。図 6.5.4 にシステム図を示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。

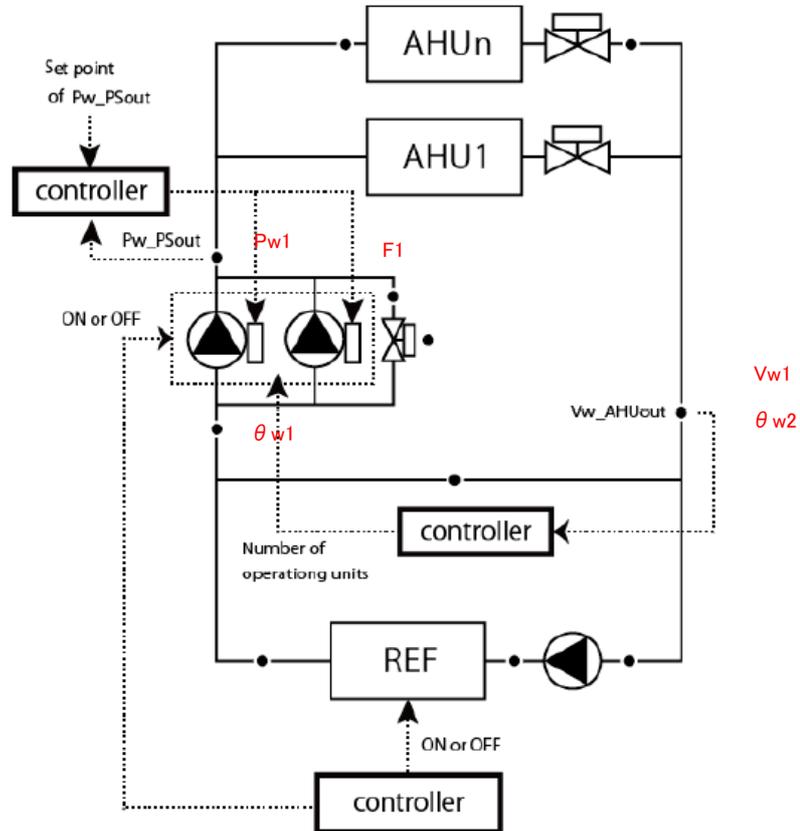


図 6.5.4 二次ポンプ変流量システム (タイプD)

6.5.5 変流量システム (タイプ E)

二次ポンプ回転数制御のうち、システムの末端にある空調機やファンコイルユニット等の負荷機器と制御弁の差圧 (末端差圧) 等により、吐出圧力やヘッド差圧の目標値を自動的に変化させる制御。この方式を「送水圧力可変制御」という。

本システムは、二次ポンプ台数制御と送水圧力可変制御を組み合わせたシステムである。図 6.5.5 にシステム図を示す。なお、図中の REF は熱源機を、AHU は空調機を意味する。

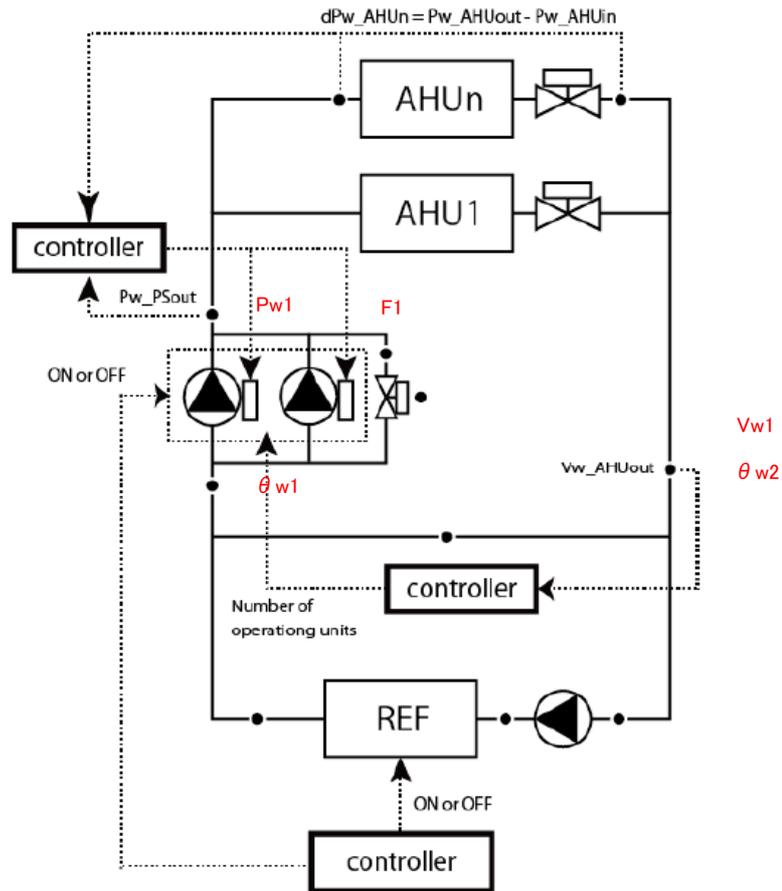


図 6.5.5 二次ポンプ変流量システム (タイプ E)

中央監視盤より冷水ポンプ群指令をONとする事により、冷水ポンプの台数制御を開始します。冷水ポンプの増減段判断は、廻り配管に設置された電磁流量計（FM）で計測された負荷流量によって行われます。台数制御用の負荷流量は、瞬時値に対して5分間の移動平均を行う事により求められます。移動平均値が増段設定値を超えた場合、冷水ポンプを1台運転します。また移動平均値が減段設定値を下回った場合、冷水ポンプを1台停止します。増段判断流量はポンプ定格の60%とします。増段または減段後は一定時間経過するまでは台数制御の判断を行わないものとします。（効果待ちタイマー）

低層冷水ポンプ台数制御

低層冷水ポンプ運転パターン一覧表

グループ	記号	名称	能力 (m ³ /h)	運転パターン毎の運転順序			
				1	2	3	4
1	WL-T-PC-WB1-01	冷水熱交一次ポンプ	224	停止	ローテーション 1台	ローテーション 2台	ローテーション 3台
	WL-T-PC-WB1-02	冷水熱交一次ポンプ	224				
	WL-T-PC-WB1-03	冷水熱交一次ポンプ	224				

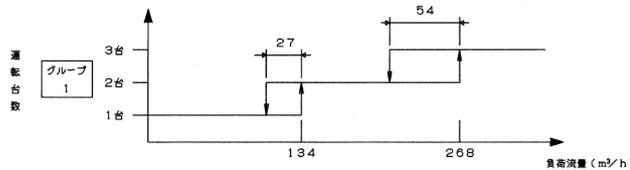


図 6.7.4 制御仕様書(ポンプ台数制御) の例

往還に設置された差圧発信器（dPE1）の計測値が、台数制御器にて設定された値に追従するよう、バイパス弁及び、冷水ポンプのインバータ制御を行います。往還差圧設定値は、負荷流量上昇時は設定を高く、負荷流量下降時は設定が低くなるよう、台数制御器内部にて自動的に変更されます。

往還差圧設定値演算

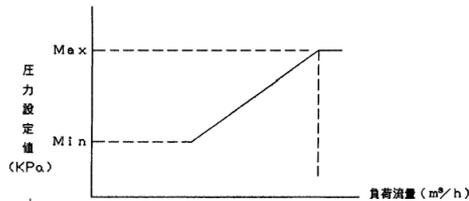


図 6.7.5 制御仕様書(ポンプ回転数制御) の例

表 6.7.1 制御パラメータ設定値一覧表の例

系統名称	冷水・温水 二次ポンプ	制御メーカー 一名
制御方式	差圧一定方式+台数制御	
【ポンプ納入仕様書より】		
ポンプ流量（合計）	m ³ /h	
ポンプ1 流量	m ³ /h 動力	kW 台数 台
ポンプ2 流量	m ³ /h 動力	kW 台数 台
ポンプ3 流量	m ³ /h 動力	kW 台数 台
【自動制御 取扱い説明書より】		
INV 出力	Hz（最大）	Hz（最小）
設定流量	m ³ /h（最大）	m ³ /h（最小）
ポンプ電力量	kW（最大設定流量時）	kW（最小設定流量時）
二次側差圧設定値 （推定末端圧制御の 場合）	k Pa（最大）	kPa（最小）
二次側差圧設定値 （吐出圧制御の場合）	k Pa（最大）	kPa（最小）
末端差圧設定値 （末端圧制御の場合）	k Pa	
バイパス弁差圧設定 値	kPa	
増段（1台→2台）	L/min	増段（2台→3 台） L/min
減段（3台→2台）	L/min	減段（2台→1 台） L/min
冷水温度（設計値）	℃（往）	℃（還）
温水温度（設計値）	℃（往）	℃（還）
WTF（設計値）	WTF = 冷水最大流量 (m ³ /h) × (冷水還温度 - 冷水往温度) ポンプ動力 (kW) / 0.86	

6.8 データ計測

6.8.1 必要となるデータ

各テストを実施するために必要となるデータを表 6.8.1 に示す。

表 6.8.1 性能試験に必要な計測データ

必要データ テスト	負荷側流量	ポンプ消費電力	吐出圧力	冷温水往温度	冷温水還温度
TEST-1: 流量と運転台数の関係の検証	■	■			
TEST-2: 流量と圧力の関係の検証	■		■		
TEST-3: 流量と消費電力の関係の検証	■	■			
TEST-4: 流量と往還温度差の関係の検証	■			■	■

6.8.2 データ収集

必要となるデータは、次のいずれかの方法で収集を行う。

- ・ 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。
- ・ 機器等から発信される制御用の信号値を仮設ロガーで収集する。
- ・ 別途計測センサーやロガーを設置して収集する

各データについて、データ収集方法の例を表 6.8.2 に示す。

(必要に応じ、データの代替方法、加工方法等を記載する。)

表 6.8.2 データ収集方法の例

(「○」は一般的な方法であるが、これに限定はしない)

	中央監視装置 +既設セサ-	仮設ロガー +制御用信号 等	仮設ロガー +仮設セサ-	代替方法
負荷側流量	○			
消費電力	△ (積算値であることが多い)		○	電流値でも可とする
INV 周波数		○		
送水圧力		○		圧力ゲージを目視で確認することでも可とする。
ヘッド間差圧		○		
水温			○	表面温度の計測でも可

6.8.3 計測機器

性能試験に必要なデータは、表 6.8.3 に示す計測器を用いて計測する。

表 6.8.3 計測器の条件

データ項目	単位	センサー精度	レンジ	センサーの例
水温	℃	±0.3℃	0-60℃	熱電対
水量	m ³ /h	±2%	システムによる	電磁流量計 (困難な場合は、超音波流量計などによる)
電力量	Wh	計量法に基づく 電力量計	システムによる	クランプ式電力量計
水圧	Pa	±1%	システムによる	
インバータ 出力	Hz	±3%	0-60Hz	クランプ式電力量計

6.8.4 計測時間間隔及び計測期間

計測時間間隔及び計測期間は、次のいずれかであるとする。

- ・ 1 時間間隔のデータを 1 年間連続して計測する。
 - 中央監視装置によるデータが利用できる場合等
 - 1 分間隔のデータを、次に示す時期に 1 週間程度連続して計測する
- ・ 1 分間隔のデータを、冷水ポンプは年 3 回程度（夏期、中間期、冬期）、温水ポンプは年 2 回（中間期、冬期）、1 週間程度連続して計測する。
 - 夏期（7 月下旬などの冷房負荷が大きい時期）
 - 中間期（10 月上旬などの冷房負荷が小さい時期）
 - 冬期（1 月下旬などの暖房負荷が大きい時期）

6.9 試験方法

6.9.1 TEST-1 流量と運転台数の関係の検証（タイプ C、D、E）

このテストでは、二次ポンプの台数制御が適切に機能することを検証する。従って、ポンプは複数台あることを前提とする。

STEP 1) 運転データの計測

各ポンプについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 負荷側流量
- ・ 負荷側熱量（負荷側熱量で制御している場合のみ）
- ・ ポンプの消費電力 又は 電流値 又は インバータ周波数

STEP 2) ポンプ運転台数の算出

各ポンプの消費電力（もしくは、電流値、インバータ周波数）から、各ポンプの運転状態（消費電力の値が0より大きい場合は、ポンプは運転していると判断）を明らかにし、ポンプの運転台数を時系列で整理する。

STEP 3) 負荷側流量と運転台数の関係の分析

負荷側流量と運転台数から、図 6.9.1 に示すグラフ（横軸：負荷側流量、縦軸：運転台数）を作成する。二次ポンプ負荷流量別・運転台数別の年間運転時間がわかるように、頻度分布のグラフも作成する。

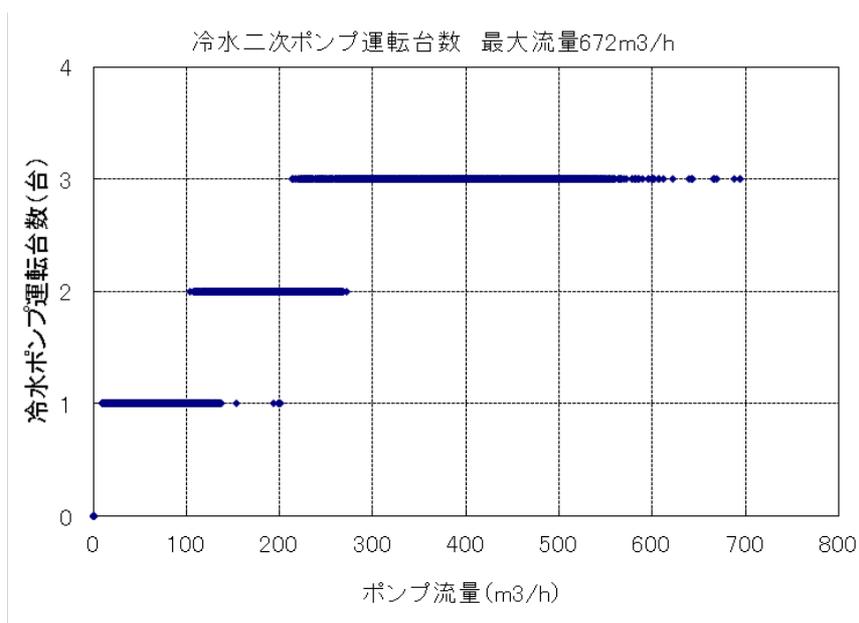


図 6.9.1 ポンプ流量と運転台数の関係の例（計測値）

STEP 4) あるべき性能の把握

「制御パラメータ設定リスト」に記載されている「二次ポンプ増減段流量パラメータ」を確認し、どのように台数が変化すべきかを前 STEP で作成したグラフ上に記入する。また、負荷流量別、運転台数別の頻度分布のグラフも追加する。

STEP 5) 性能の判断

実測データから得られた運転台数の変化と設計時に想定したポンプ運転台数の変化を比較して、設計意図通りに動いているかどうかを判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 二次ポンプ運転台数が、増減段パラメータ通りに増減段されているか。
- ・ 各運転台数における二次側流量が、上位への増段流量を上回っていないか。
- ・ 各運転台数における二次側流量が、下位への減段流量を下回っていないか。
- ・ 運転台数が増減段パラメータから外れた部分の運転時間が、年間運転時間の 5%以下であれば「適」と判断する。

6.9.2 TEST-2 流量と圧力の関係の検証（タイプ B、D、E）

このテストでは、二次ポンプ吐出圧力が、負荷流量に応じて設計意図通りに制御されていることを検証する。ポンプが複数台ある場合は、回転数制御が導入されているポンプそれぞれについて、この試験を適用する。なお、末端圧力一定制御の場合は、「吐出圧力」を「末端圧力」と読み替えて適用することとする。

STEP 1) データの収集

各ポンプについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 負荷側流量
- ・ 吐出圧力（ヘッド間差圧で制御している場合はヘッド間差圧）

STEP 2) 負荷側流量と吐出圧力の関係の分析

負荷側流量と吐出圧力から、図 6.9.2、図 6.9.3 に示すグラフ（横軸：負荷側流量、縦軸：吐出圧力）を作成する。

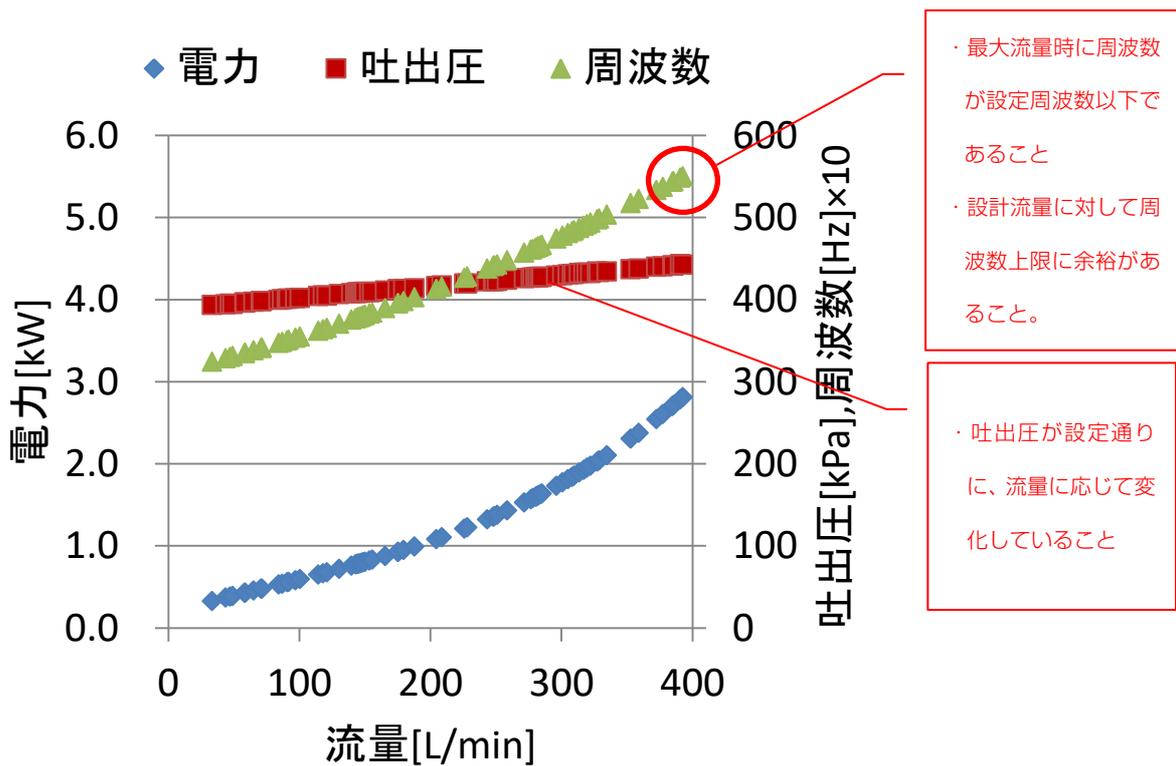


図 6.9.2 ポンプ流量と吐出圧力の関係の例（推定末端圧方式）

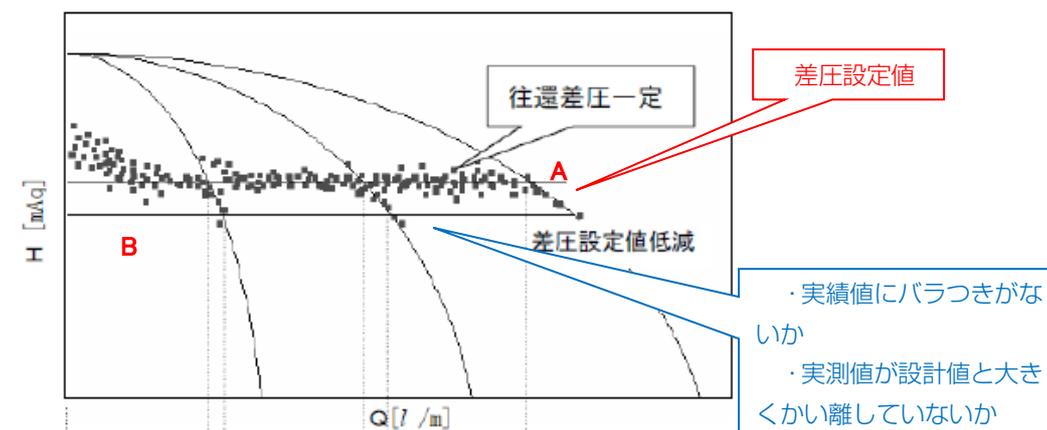


図 6.9.3 ポンプ流量と吐出圧力の関係の例（吐出圧一定方式）

STEP 3) あるべき性能の把握

制御パラメータ設定リストに記載されている「二次ポンプ吐出圧力設定パラメータ」を確認し、どのように吐出圧力が変化すべきかをグラフに記入する。

- ・ 吐出圧力一定方式の場合、吐出圧設定値は負荷流量に関わらず一定になる。
- ・ 推定末端圧方式の場合、吐出圧設定値は通常右上がりの直線になる。
- ・ 末端圧力一定方式の場合、末端圧力設定値は負荷流量に関わらず一定になる。

1) 「吐出圧一定方式」の場合

制御パラメータ「吐出圧力設定値」を確認し、前 STEP で作成したグラフ上に記入する。

2) 「吐出圧可変方式（推定末端圧方式、末端圧力一定方式）」の場合

制御パラメータ「二次側最大差圧、最小差圧設定値」及び「最大流量・最小流量設定値」を確認し、前 STEP で作成したグラフ上に記入する。

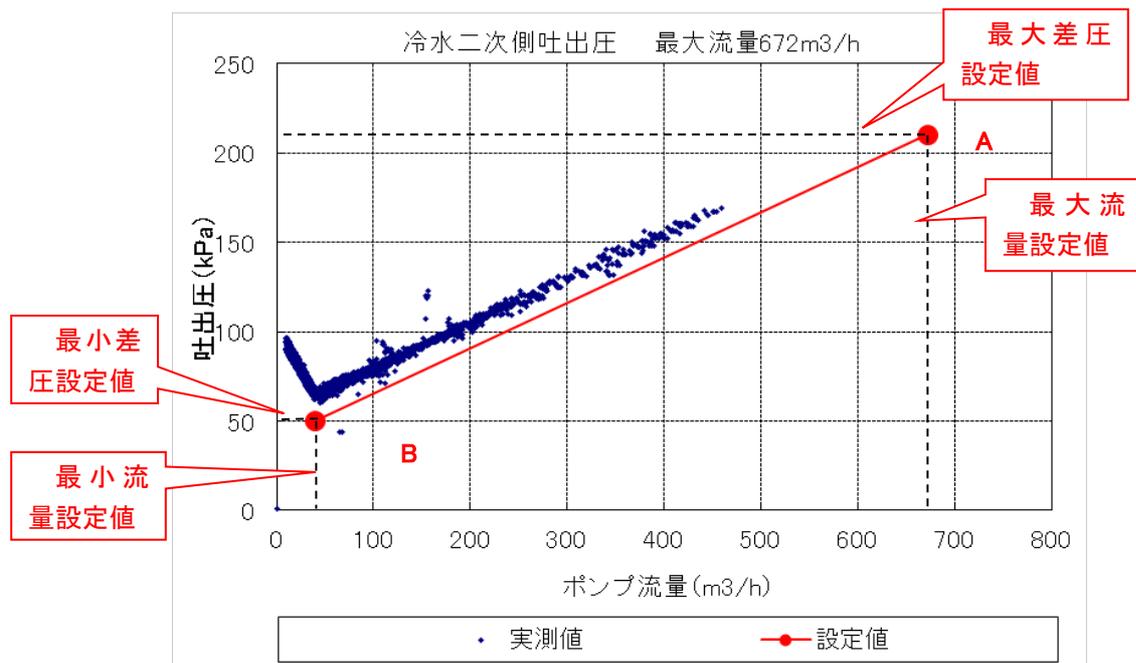


図 6.9.4 ポンプ流量と二次側差圧の関係の例（吐出圧可変制御）

STEP 4) 性能の判断

実測データから得られた圧力の変化と設計時に想定した圧力の変化を比較して、設計意図通りに動いているかどうかを判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 二次ポンプ吐出圧力の計測値が、設定値通りに推移しているか。
- ・ 計測値の年間積算値と設定値の年間積算値との差が、設定値の年間積算値の5%以下であれば「適」と判断する。

6.9.3 TEST-3 流量と消費電力の関係の検証（タイプ A、B、C、D、E）

このテストでは、二次ポンプ消費電力が、負荷流量に応じて設計意図通りに推移しているかを検証する。ポンプが複数台ある場合は、回転数制御が導入されているポンプそれぞれについて、この試験を適用する。

STEP 1) データの収集

各ポンプについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 負荷側流量
- ・ ポンプの消費電力

STEP 2) 負荷流量と消費電力の関係の分析

負荷側流量と消費電力から、図 6.9.5 に示すグラフ（横軸：負荷側流量、縦軸：消費電力）を作成する。また、負荷流量別およびポンプ電力量別の頻度分布グラフも追加する。

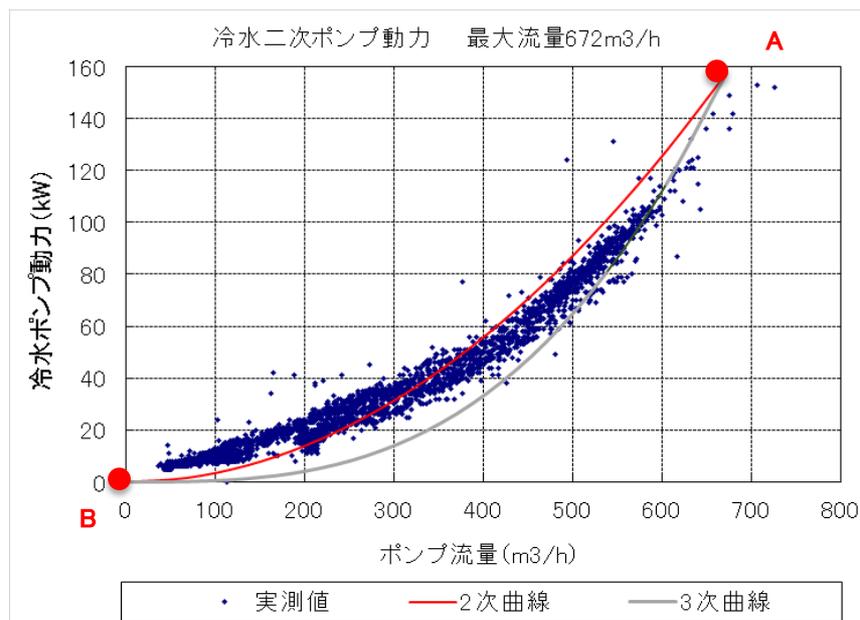


図 6.9.5 ポンプ流量とポンプ動力の関係の例

STEP 3) あるべき性能の把握

納入仕様書等より、「最大流量設定値におけるポンプ消費電力（A点）」及び「最小流量設定値におけるポンプ消費電力（B点）」を確認し、前STEPで作成したグラフ上に次の線を記入する。

- 以下の計算式から、あるべき二次ポンプ消費電力を推計し、グラフ上に記入する。

① 吐出圧力制御、推定末端圧制御の場合

$$\text{消費電力[kW]} = \text{流量[m}^3/\text{s]} \times \text{吐出圧力設定値[kPa]} / \eta_1 / \eta_2$$

$$= 2 \times \text{流量[m}^3/\text{s]} \times \text{吐出圧力設定値[kPa]}$$

(η_1 : ポンプ効率、 η_2 : モータ効率、 $\eta_1 \times \eta_2 = 0.5$ と仮定した場合)

② 末端圧力制御の場合

$$\text{最小消費電力[kW]} = 2 \times \text{流量[m}^3/\text{s]} \times \text{末端圧力設定値 [kPa]}$$

$$\text{最大消費電力[kW]} = 2 \times \text{流量[m}^3/\text{s]} \times (\text{末端圧力設定値} + \text{配管圧力損失}) [\text{kPa}]$$

STEP 4) 性能の判断

実測データから得られた消費電力の変化と想定した消費電力の変化を比較して、設計意図通りの性能を発揮していることを確認する。特に確認すべき点を以下に示す。

- 二次ポンプ消費電力の計測値が、推計値通りに推移しているか。
- 計測値の年間積算値と推計値の年間積算値との差が、推計値の年間積算値の10%以下であれば「適」と判断する。

6.9.4 TEST-4 流量と往還温度差の関係の検証 (タイプ A、B、C、D、E)

このテストでは、往還温度差が、設計意図通りに保たれているかを検証する。

STEP 1) データの収集

次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 負荷側流量
- ・ 冷温水往温度
- ・ 冷温水還温度

STEP 2) 往還冷温水温度差の確認

負荷流量と冷温水往温度、還温度の計測データから、図 6.9.6 に示すグラフ (横軸: 負荷側流量、縦軸: 往還温度差) を作成する。さらに、二次ポンプ負荷流量別・温度差別の年間運転時間がわかるように、頻度分布のグラフも作成する。

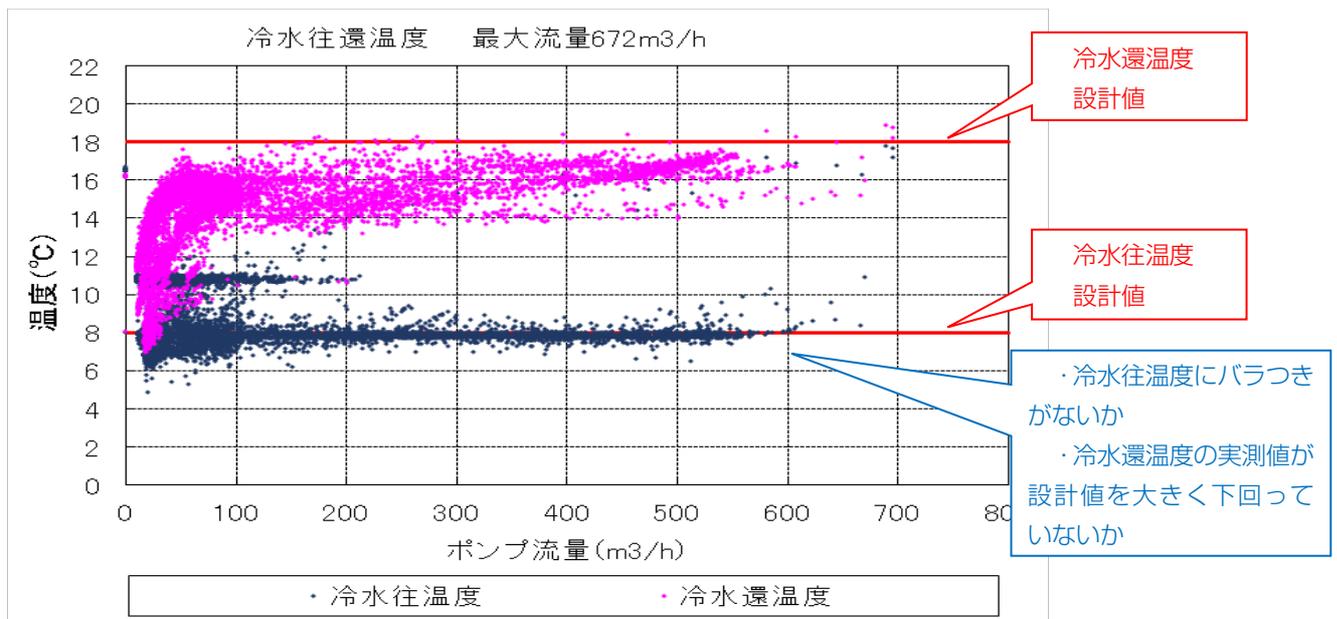


図 6.9.6 ポンプ流量と往還温度差の関係の例

STEP 3) あるべき性能の把握

設計図書に記載されている冷温水往温度設計値及び還温度設計値を確認し、両者の差を往還冷温水温度差の設計時として、前 STEP で作成したグラフ上に記入する。

STEP 4) 性能の判断

実測データから得られた往還温度差の変化と設計時に想定した往還温度差の変化を比較して、設計意図通りに動いているかどうかを判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 往還温度差の計測値が、設定値通りに推移しているか。

- 往還温度差計測値の年間積算値と設計温度差の年間積算値との差が、設計温度差の年間積算値の10%以下であれば「適」と判断する。