

3. 空気調和設備における熱源機器の台数制御

3.1 適用

空気調和設備の自動制御技術のうち、熱源システムを対象とした熱源機器の台数制御の性能試験法を定める。熱源機器の台数制御とは、熱源システムの省エネルギー化を目的として、熱源負荷や熱源流量等に応じて熱源機器の運転台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 3.1.1 に示す。本章では、熱源機器の台数制御のうち、冷温水または蒸気の流量や熱量に応じて冷凍機やボイラなどの運転台数を変化させる制御を対象とし、月や季節に応じて運転台数を変更する制御（スケジュール制御）、ローテーション運転を目的とした発停制御、タイマーやオペレータの操作による発停制御は対象とはしない。また、蓄熱槽を有する熱源システム、ソーラー集熱システム、コジェネレーションシステム等の排熱利用システムにおける熱源台数制御も対象としない。

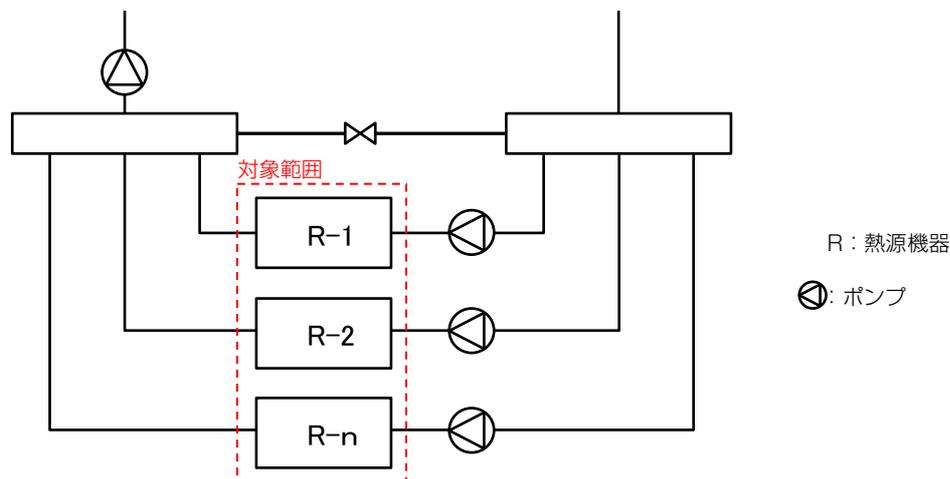


図 3.1.1 対象とする熱源システム

熱源システムを構成する熱源機器として、本章では次に示す熱源機器を想定している。

- ・ ターボ冷凍機（水冷）
- ・ チリングユニット（空冷/水冷）
- ・ ヒートポンプユニット（空冷/水冷）（熱回収型を除く）
- ・ 吸収式冷凍機（直焚/蒸気熱源）
- ・ 吸収式冷温水発生機（冷温水同時取出を除く）
- ・ ボイラ（蒸気/温水）

3.2 引用規格・参考文献

- 1) 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
- 2) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生用語辞典
- 3) 国土交通省 建築基準整備促進事業：『空調・給湯システムの制御に関する分類整理と省エネルギー効果の実測』調査報告書
- 4) 国土交通省 建築基準整備促進事業：『空調・給湯システムの制御に関する運転データの取得とエネルギー消費量予測のための評価値の作成』調査報告書
- 5) NPO 法人 建築設備コミショニング協会：建築設備性能検証マニュアル

3.3 用語の定義

3.3.1 熱源システム

熱源機本体（冷凍機、ボイラなど）と、冷温水ポンプ（2 ポンプシステムの場合は一次ポンプのみ）、冷却水ポンプ、冷却塔（ファン、循環ポンプ、自動ブロー装置、薬注ポンプ、凍結防止ヒータを含む）、ボイラ給水ポンプ、燃料ポンプ、熱交換器、クッションタンクなどの機器を含めたシステム。2 ポンプシステムの場合の二次ポンプや、ボイラ室用の給気ファンなどは熱源システムには含めない。

3.3.2 熱源機器

冷凍機、ボイラなど、冷水、温水を製造する機器。

3.3.3 熱源補機

ある熱源機器に対して、その熱源機器が冷水、温水、蒸気などを供給するために必要な冷温水ポンプ（2 ポンプシステムの場合は一次ポンプのみ）、冷却水ポンプ、冷却塔（ファン、循環ポンプ、自動ブロー装置、薬注ポンプ、凍結防止ヒータを含む）、ボイラ給水ポンプ、燃料ポンプ、熱交換器、クッションタンクなどの機器。

3.3.4 空気調和機（空調機）

エアハンドリングユニット(AHU)、ファンコイルユニット(FCU)など、冷水または温水を使用する機器。尚、本来はパッケージ型空調機等も含まれるが、本節では対象外とする。

3.3.5 台数制御

熱源機器や冷温水ポンプなど複数台設置し、負荷または流量、圧力等に応じて運転台数を調整することで、省エネルギーを図る制御。

3.3.6 製造熱量

熱源機器で製造した冷水または温水の熱量。

3.3.7 負荷流量

空気調和機と通過する冷水、温水、または蒸気の流量。

3.4 記号等

本章で使用する記号等を表 3.4.1 に定義する。

表 3.4.1 記号等の定義

記号	意味	単位
θ_w	水温	°C
V_w	水量	kg/s
V_s	蒸気量	kg/s
P_w	水圧	Pa
dP_w	差圧	Pa
P_s	蒸気圧	Pa
Q_w	熱量	kW
E	消費電力	kW
E_g	ガス消費量	m ³ (N)/s
E_f	燃料消費量	kg/s

3.5 制御方式

熱源台数制御のうち、表 3.5.1 に示す制御方式を対象とする。

表 3.5.1 対象とする熱源台数制御の制御方式

制御方式	検出量			システム図
	流量	熱量	圧力	
タイプ A	■			図 3.5.1
タイプ B		■		図 3.5.2
タイプ C			■	図 3.5.3

3.5.1 流量による台数制御方式（タイプ A）

空気調和機へ流れる冷温水または蒸気の流量（要求水量）に応じて、熱源機器の運転台数を変化させる制御。図 3.5.1 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を意味する。

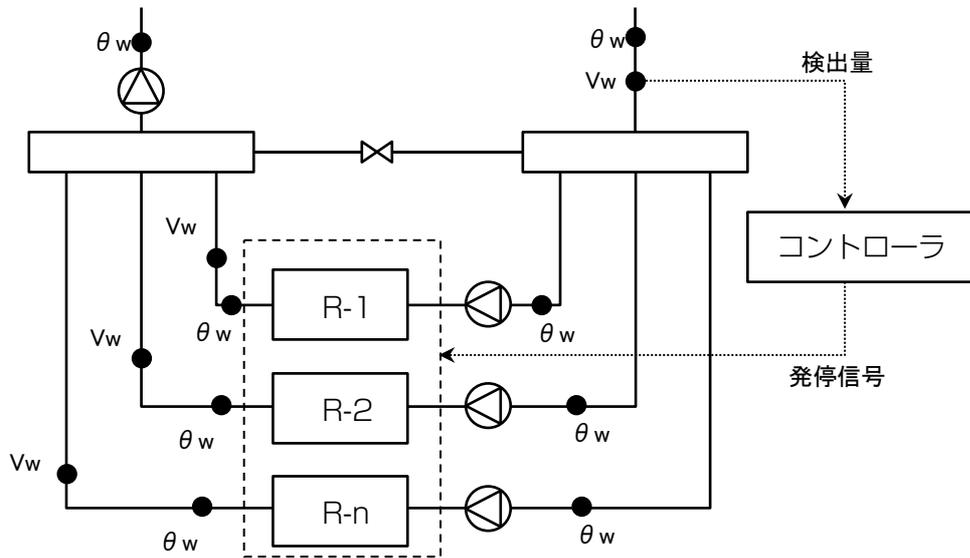


図 3.5.1 熱源機器の台数制御（タイプ A）

3.5.2 熱量による台数制御方式（タイプ B）

空気調和機で処理される冷温水または蒸気の熱量（要求熱量）に応じて、熱源機器の運転台数を変化させる制御。図 3.5.2 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を意味する。

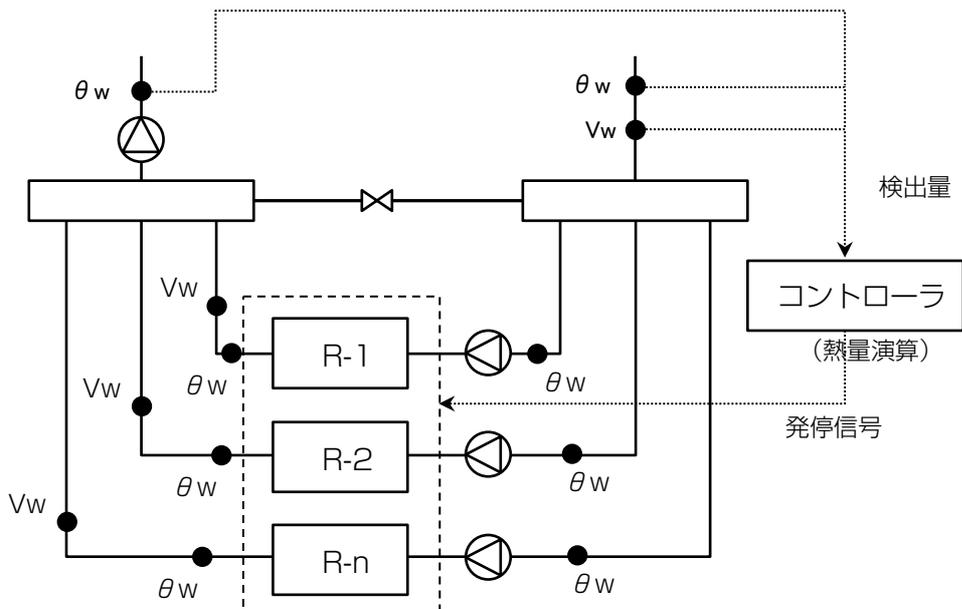


図 3.5.2 熱源機器の台数制御（タイプ B）

3.5.3 圧力による台数制御方式（タイプ C）

空気調和機へ送る蒸気等の圧力（ヘッド圧力）に応じて、熱源機器の運転台数を変化させる制御。

図 3.5.3 にシステム例を示す。なお、図中の B はボイラを意味する。

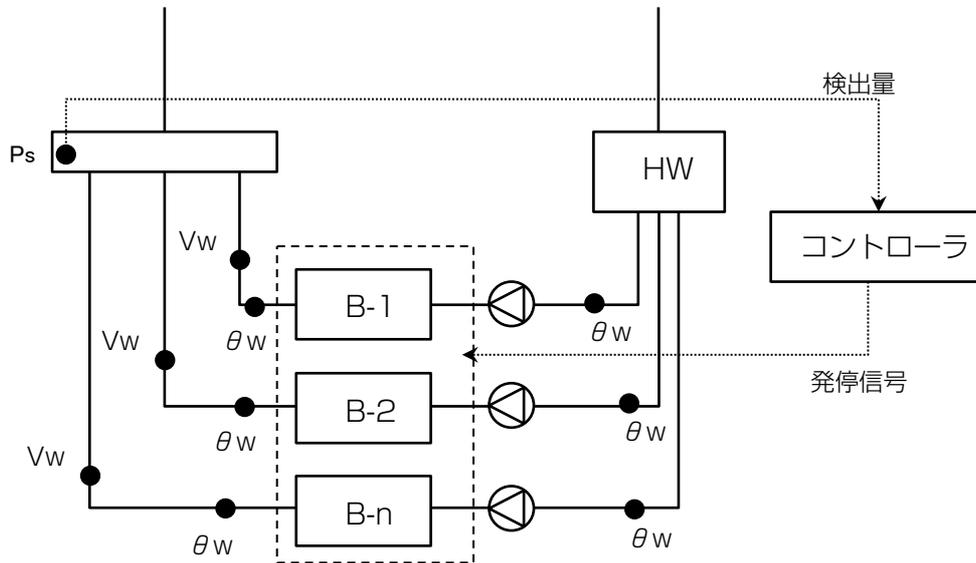


図 3.5.3 熱源機器の台数制御（タイプ C）

3.6 性能試験のフロー

熱源機器の台数制御の性能試験は、次の 3 つの試験から構成される。試験のフローを図 3.6.1 に示す。

TEST-1：流量、熱量または圧力と運転台数の変化の確認

負荷側流量、熱量または圧力と熱源機器の運転台数の変化を時系列データにより確認する。

TEST-2a：流量と運転台数の関係の検証

負荷側流量と熱源機器の運転台数の関係を確認する。

TEST-2b：熱量と運転台数の関係の検証

負荷側熱量と熱源機器の運転台数の関係を確認する。

TEST-2c：圧力と運転台数の関係の検証

ヘッド圧力と熱源機器の運転台数の関係を検証する。

TEST-3：起動優先順位の検証

熱源機器の起動優先順位が設計意図どおりになっていることを検証する。

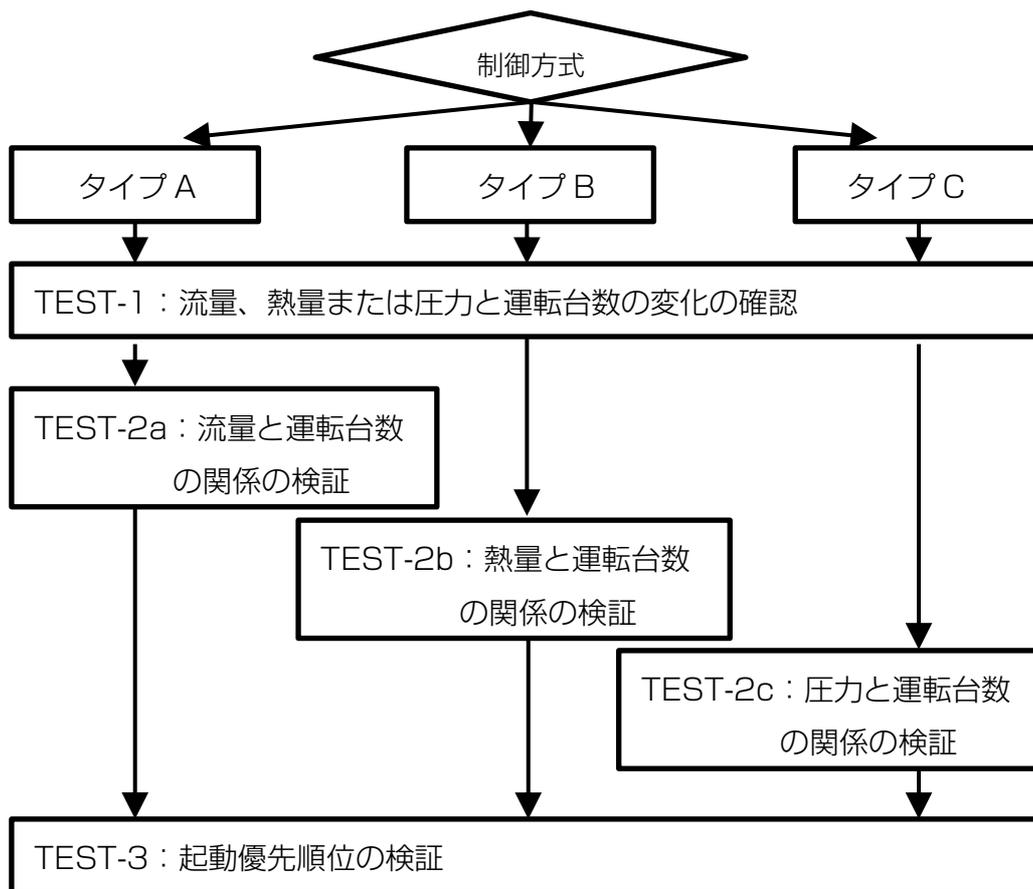


図 3.6.1 性能試験フロー

3.7 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、次の資料を用意する。

3.7.1 設計図書等

- ・ 熱源機器リスト：設置されるべき熱源機器の種類、性能、設計条件等を明確にする。

番号	設置場所	機器名	型番	系統名並機器名	内 容	動 力						台数	備 考			
						KW	V	起動	停止	制御	その他					
1F	冷凍機室	E-R-1		冷凍機	蒸気二重効用吸収式冷凍機	6.15	3 ^φ 200	L-S	R	O	O	1	E-COP-1, E-CP-1			
					冷却能力									とインターロック		
					冷水出入口温度	7°C~12°C	冷水量	1,430 t/h							コンクリート基礎	
					冷却水出入口温度	32°C~37.4°C	冷却水量	2,430 t/h							1,400 ^φ x 500 ^φ x 150 ^φ x Z	
					蒸気消費量	872 t/h	(蒸気圧力	8 t/cm ² G)								
1F	冷凍機室	E-R-2		冷凍機	水冷式冷凍リングユニット						R	O	O	1	E-COP-2, E-CP-2	
					冷却能力	70 t/h										とインターロック
					冷水出入口温度	7°C~12°C	冷水量	580 t/h								コンクリート基礎
					冷却水出入口温度	32°C~37°C	冷却水量	870 t/h								2,500 ^φ x 1,200 ^φ x 150 ^φ
					圧縮機				30x2	3 ^φ 200	Δ-Δ					

図 3.7.1 機器リストの例

- ・ システムフロー：各機器の接続関係等を明確にする。

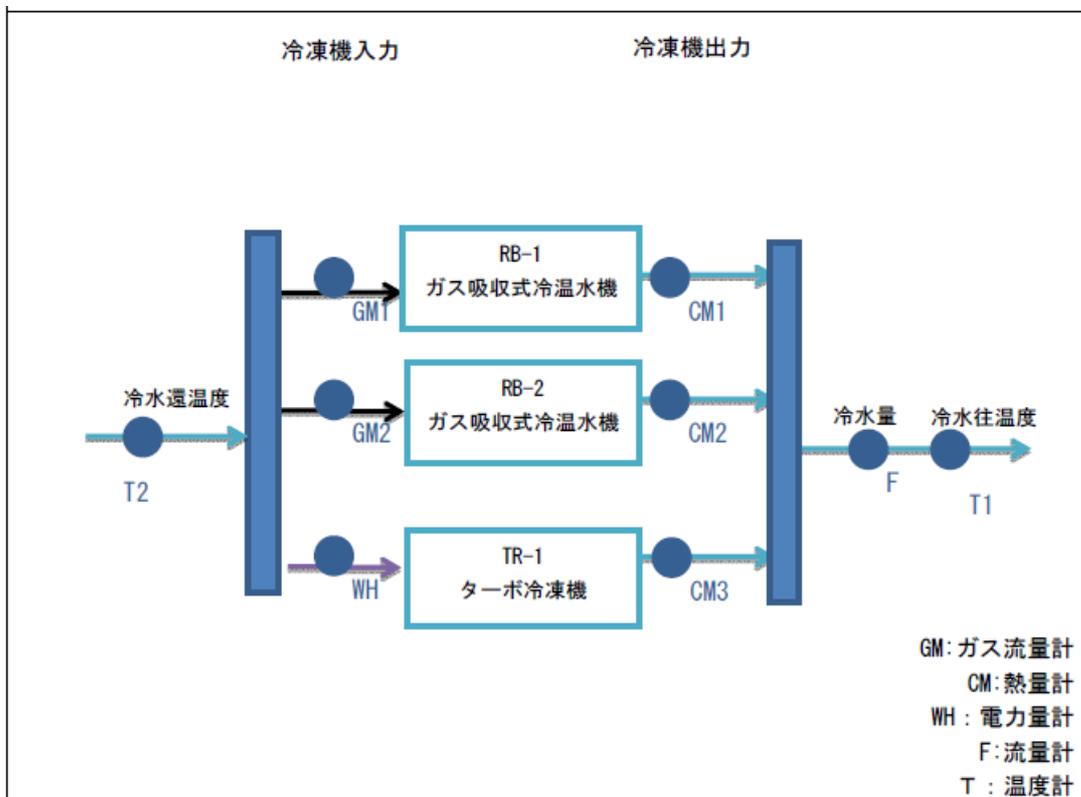


図 3.7.2 システムフローの例

- 自動制御図（制御概要書、特記仕様書等）：どのようなロジックで熱源機器の運転台数は制御されるべきかを明確にする。

Ⅱ. 冷凍機

- （１）負荷熱量により、冷凍機必要台数を判断して冷凍機台数制御を行う。
- （２）故障時は代替機の運転を行う。
- （３）中央との通信を行う。（群発停，状態，警報，監視，計測）

図 3.7.3 特記仕様書の例

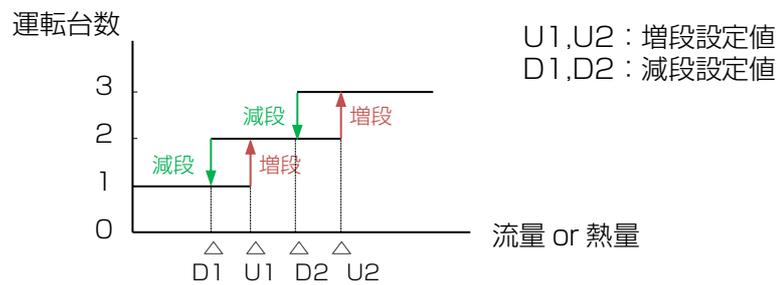


図 3.7.4 熱源機器の制御概要の表示例

3.7.2 納入仕様書等

- 機器納入仕様書、試験成績書：実際に納入された熱源機器の仕様を把握する。また、熱源単体で規定通りの性能が出ているかどうかを確認する。
- 自動制御納入仕様書（制御概要、制御パラメータ設定リスト）：設計図書では規定されていない詳細な制御ロジックや初期パラメータ等を明確にする。

4.1 性能確認

表1に示した冷房/暖房の各条件における冷温水出口温度を合せた試運転を実施しました。設備負荷（冷温水入口温度）、及び外気温度については成り行きとなります。試運転結果の一覧を表2に記します。

表2. 試運転結果一覧

項目	単位	冷房1	冷房2	暖房1	暖房2
冷房/暖房能力	kW	218	146	438	389
	%	41.3	27.8	103.0	91.5
冷温水入口温度	℃	10.3	14.1	36.8	34.6
冷温水出口温度	℃	7.0	11.8	45.1	42.0
冷温水流量	m ³ /h	56.9	57.0	45.8	45.8
乾球温度	℃	18.4	19.4	17.6	16.4
湿球温度	℃	15.0	17.5	15.1	13.6
消費動力	kW	32.1	21.9	107.9	95.9
計測COP	-	6.78	6.69	4.06	4.05
読取COP	-	6.5	6.1	4.1	4.3
誤差（計測/読取）	%	4.33	9.67	1.05	5.70
許容計測誤差	%	15.0	21.6	9.0	10.0
評価 (誤差<許容計測誤差)	-	OK	OK	OK	OK

※ 上表は5分間の平均データを記しております。
 ※ 消費動力は、パワーメータにて計測。補機の動力も含みます。
 ※ 計測結果から算出されるCOPが提出済み部分負荷曲線に対して許容計測誤差の範囲内であることを確認し、評価を行いました。

図 3.7.5 試験成績書の例

表 3.7.1 熱源台数制御に関するパラメータリストの例

冷凍機	優先順位		熱量[kW]	負荷率[%]	備考
ターボ冷凍機 (TR-1)	1	増段条件	1,760	100	
		減段条件	-	-	
ガス焚冷温水 発生器 (GAR-1)	2	増段条件	1,760	100	GAR-1 と GAR-2は2台 運転時、耐久性 を考慮して交 互(ローテーシ ョン)運転とす る。
		減段条件	704	40	
	3	増段条件	1,760	100	
		減段条件	939	53	
ガス焚冷温水 発生器 (GAR-2)	2	増段条件	1,760	100	
		減段条件	704	40	
	3	増段条件	1,760	100	
		減段条件	939	53	

3.8 データ計測

3.8.1 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 3.8.1 に示す。

表 3.8.1 性能試験に必要な計測データ

テスト \ 必要データ	負荷側流量	冷温水往温度	冷温水還温度	ヘッド圧力	熱源運転台数	熱源流量	熱源入口 冷温水温度	熱源出口 冷温水温度
TEST-1: 流量、熱量または圧力と運転台数の変化の確認	■	■	■	■	■			
TEST-2a: 負荷側流量と運転台数の関係の検証	■				■			
TEST-2b: 負荷側熱量と運転台数の関係の検証	■	■	■		■			
TEST-2c: 圧力と運転台数の関係の検証				■	■			
TEST-3: 起動優先順位の検証						■	■	■

3.8.2 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 3.8.2 に示す。

表 3.8.2 データ収集方法の例

	中央監視装置 + 既設センサ —	仮設ロガー + 制御用信 号等	仮設ロガー + 仮設セン サー	代替方法	加工方法
流量	○				
冷温水温度	○		○		配管表面温 度を流体温 度とみなす
ヘッド圧力	○	○		圧力ゲージ を目視で確 認すること でも可とす る。	
熱源運転台数	○		○	電力量また は電流値で も可とする	各熱源の発 停信号から 算出する

3.8.3 計測機器

性能試験に必要なデータは、表 3.8.3 に示す計測器を用いて計測する。

表 3.8.3 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)
蒸気量	kg/h	±5%	システムによる	オリフィス流量計
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
ガス量	m ³ /h	計量法に基づくガス量計	システムによる	ガスメータ
水圧	Pa	±1%	システムによる	
蒸気圧	Pa	±2%	システムによる	ブルドン管圧力計

3.8.4 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ことを基本とする。

- ・ 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。
 - 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）

3.9 試験方法

3.9.1 TEST-1 流量、熱量または圧力と運転台数の変化の確認（タイプ A、B、C）

このテストでは、流量、熱量または圧力と運転台数の時系列変化を確認することによって、計測期間中に熱源機器の台数制御が行われていることを検証する。

STEP 1) データの収集

各熱源機器について、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、またはヘッダ圧力
- ・ 熱源機器の運転状態（ON-OFF）

STEP 2) 運転台数の算出

熱源機器の運転状態信号から、熱源運転台数を算出する。運転状態信号が無い場合は、熱源機器のエネルギー消費量、消費電力などから運転台数を推定する。つまり、エネルギー消費量または消費電力が待機状態の値を上回っている場合にその熱源機器は運転中であると判断する（図 3.9.1）。

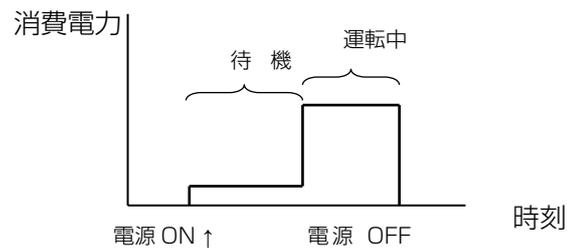


図 3.9.1 熱源機器の運転状態の推定例

STEP 3) 流量、熱量または圧力と運転台数の分析

負荷側流量、負荷側熱量、またはヘッダ圧力と熱源機器運転台数について、図 3.9.2 に示すトレンドグラフ（横軸：時刻、縦軸：流量、熱量または圧力、および運転台数）を作成する。

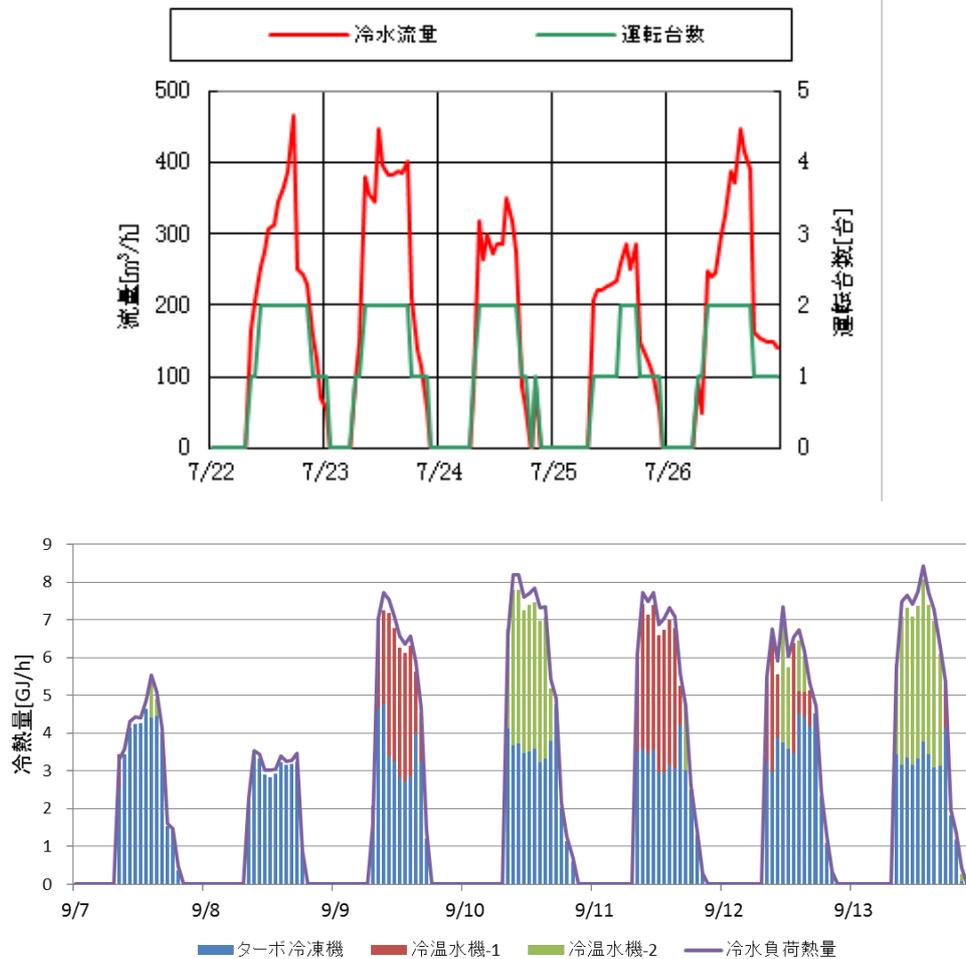


図 3.9.2 負荷側流量・熱量と運転台数のトレンドグラフの例

STEP 4) あるべき性能の把握

流量、熱量または圧力について、制御パラメータ設定リストに記載されているパラメータ「増段設定値及び減段設定値」を確認し、STEP3 で作成したグラフの期間中に流量、熱量または圧力が増減段の設定値をまたいで変化していることを確認する。

STEP 5) 性能の判断

流量、熱量または圧力が変化した際に、熱源の運転台数が変化していれば、測定期間中に台数制御が機能していると判断する。

3.9.2 TEST-2a 流量と運転台数の関係の検証（タイプ A）

このテストでは、冷温水または蒸気の流量に応じて熱源機器の運転台数を増減する制御が正しく行われていることを検証する。

STEP 1) データの収集

各熱源機器について、次の項目の時系列データを計測する。

- 冷温水または蒸気の流量
- 熱源機器の運転状態（ON-OFF）

STEP 2) 熱源機器運転台数の算出

熱源機器の運転状態信号から、熱源運転台数を算出する。運転状態信号が無い場合の扱いは3.9.1と同様とする。

STEP 3) 流量と運転台数の関係の分析

冷温水または蒸気の流量と熱源運転台数から、図 3.9.3 に示すグラフ（横軸：冷温水または蒸気の流量、縦軸：運転台数）を作成する。

複数種類の熱源機器で構成される熱源群で、各種条件（季節や時間帯等）によって優先順位および増減段のタイミングが異なる場合には、当該条件毎にグラフ化を行う。

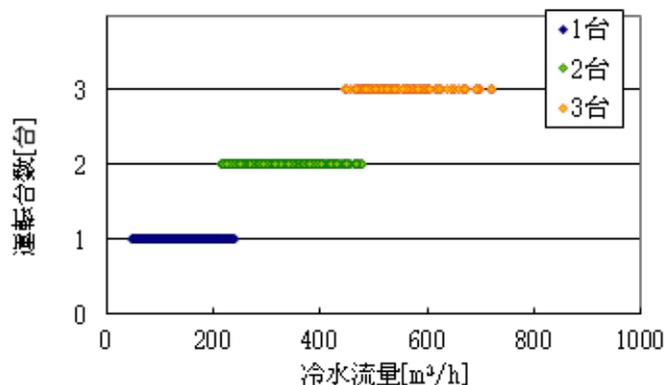


図 3.9.3 流量と運転台数の関係の例

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パラメータ「熱源増段流量及び熱源減段流量」を確認し、どのように台数が変化すべきかをSTEP3で作成したグラフ上に記入する。

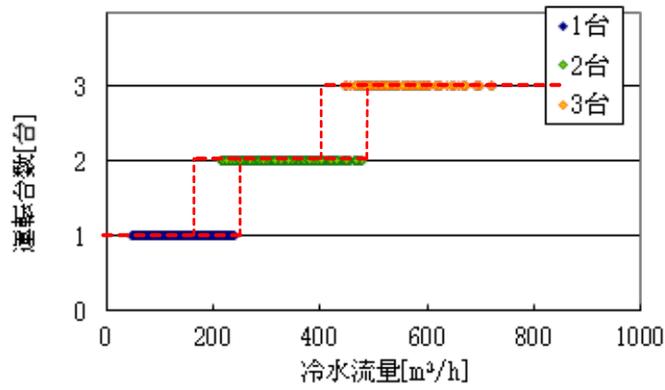


図 3.9.4 流量と運転台数の関係の例（制御パラメータの記載）

STEP 5) 性能の判断

計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熱源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を判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 各運転台数における冷温水または蒸気の流量が、上位への増段流量を 5 %以上上回っていないか。
- ・ 各運転台数における冷温水または蒸気の流量が、下位への減段流量を 5 %以上下回っていないか。

3.9.3 TEST-2b 熱量と運転台数の関係の検証（タイプ B）

このテストでは、冷温水または蒸気の熱量に応じて熱源機器の運転台数を増減する制御が正しく行われていることを検証する。

STEP 1) データの収集

各熱源機器について、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 冷温水または蒸気の熱量
- ・ 熱源機器の運転状態（ON-OFF）

STEP 2) 熱源機器運転台数の算出

熱源機器の運転状態信号から、熱源運転台数を算出する。運転状態信号が無い場合の扱いは 3.9.1 と同様とする。

STEP 3) 流量と運転台数の関係の分析

冷温水または蒸気の熱量と熱源運転台数から、グラフ（横軸：冷温水または蒸気の熱量、縦軸：運転台数）を作成する。

複数種類の熱源機器で構成される熱源群で、各種条件（季節や時間帯等）によって優先順位および増減段のタイミングが異なる場合には、当該条件毎にグラフ化を行う。なお、熱源起動直後は生成熱量が安定せず、生成熱量と運転台数の関係が想定通りにならない可能性が高い。このような過渡状態（例えば起動後 1 時間分）のデータは除外してグラフ化をする。

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パラメータ「熱源増段熱量及び熱源減段熱量」を確認し、どのように台数が変化すべきかを STEP3 で作成したグラフ上に記入する。

STEP 5) 性能の判断

計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熱源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を判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- ・ 各運転台数における冷温水または蒸気の熱量が、上位への増段熱量を 5%以上上回っていないか。
- ・ 各運転台数における冷温水または蒸気の熱量が、下位への減段熱量を 5%以上下回っていないか。

[判断の例]

設計では、1台運転時に定格の約75% (3.7 GJ/h) を超える負荷になると2台目が起動すると記されている。しかし、実測データでは定格の100% (5.0 GJ/h) 程度で2台目が起動しており、設計意図通りの設定になっていないことが確認できる。

なお、図3.9.5において(1)と記した部分(1台運転時に冷水負荷が定格能力を超えている部分)は2台から1台に減段した直後の残留運転によるものと考えられる。また、2台運転時に冷水負荷が小さくなっている部分(図中(2))は、起動直後で1時間未満の運転となっているものと考えられる。前述のとおり、このような過渡状態のデータは除外をして判断すべきである。

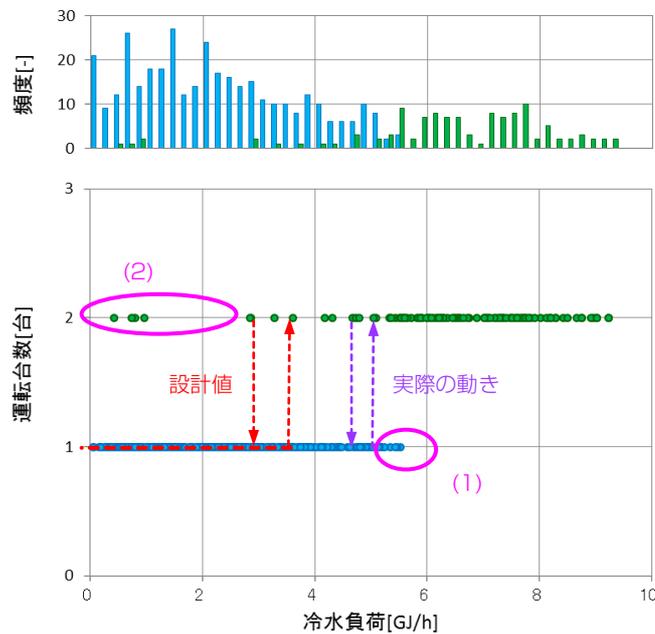


図 3.9.5 積算熱量 (冷熱) と運転台数の関係の例

3.9.4 TEST-2c 圧力と運転台数の関係の確認（タイプ C）

このテストでは、冷温水または蒸気のヘッド圧力に応じて熱源機器の運転台数を増減する制御が正しく行われていることを検証する。

STEP 1) データの収集

各熱源機器について、次の項目の時系列データを計測する。

- 冷温水または蒸気のヘッド圧力
- 熱源機器の運転状態（ON-OFF）

STEP 2) 熱源機器運転台数の算出

熱源機器の運転状態信号から、熱源運転台数を算出する。運転状態信号が無い場合の扱いは3.9.1と同様とする。

STEP 3) 流量と運転台数の関係の分析

冷温水または蒸気のヘッド圧力と熱源運転台数から、図 3.9.6 に示すグラフ（横軸：冷温水または蒸気のヘッド圧力、縦軸：運転台数）を作成する。3.9.3と同様、過渡状態のデータは除外してグラフ化を行う。

複数種類の熱源機器で構成される熱源群で、条件によって優先順位および増減段のタイミングが異なる場合には、個別に分析を行う。

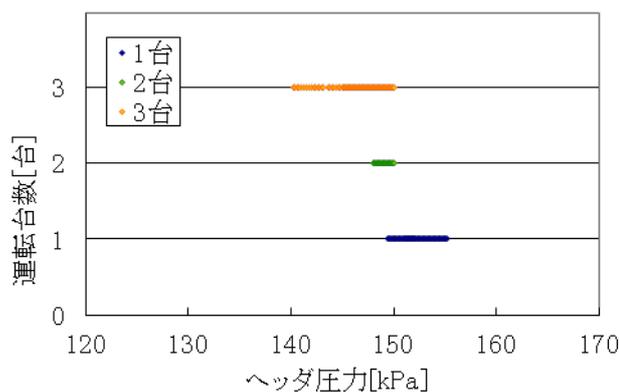


図 3.9.6 ヘッド圧力と運転台数の関係の例（計測値）

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パラメータ「熱源増段圧力及び熱源減段圧力」を確認し、どのように台数が増減すべきかを STEP3 で作成したグラフ上に記入する。

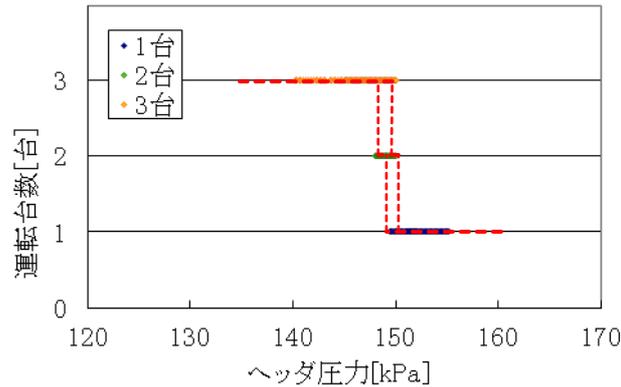


図 3.9.7 ヘッド圧力と運転台数の関係の例（制御パラメータ記載）

STEP 5) 性能の判断

計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熱源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を判断する。特に確認すべき点を以下に示す。

- 各運転台数におけるヘッド圧力が、上位への増段圧力を 10%以上上回っていないか。
- 各運転台数におけるヘッド圧力が、下位への減段圧力を 10%以上下回っていないか。

3.9.5 TEST-3 起動優先順位の検証（タイプ A、B、C）

このテストでは、熱源機器の起動優先順位が設計意図どおりになっていることを検証する。

STEP 1) データの収集

各熱源機器について、次の項目の時系列データを計測する。

- 熱源側流量
- 熱源入口冷温水温度
- 熱源出口冷温水温度

STEP 2) 製造熱量の算出

熱源側流量および熱源出入口温度差から熱源機器別の製造熱量を算出し、合計したものを熱源システム全体の製造熱量とする。

STEP 3) 製造熱量の分析

STEP 2 で算出した製造熱量を降順に整列し、図 3.9.8 に示す棒グラフ（デュレーションカーブ）（横軸：出現順、縦軸：熱源全体の製造熱量）を作成する。優先順位が月別や季節別等で異なる場合は、当該条件毎にグラフを作成する。グラフ化の際、図 3.9.8 に示すように熱源機器別の積み上げ棒グラフとして描くとシステム全体の挙動が把握できる。

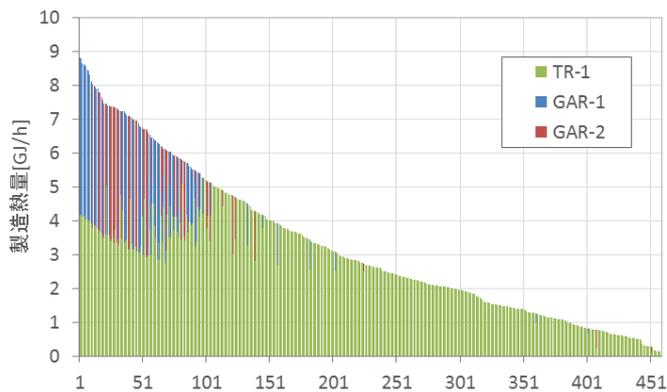


図 3.9.8 熱源全体の製造熱量（デュレーションカーブ）の例
 （凡例の TR はターボ冷凍機、GAR はガス吸収式冷凍機を意味する）

STEP 4) あるべき性能の把握

自動制御納入仕様書に記載されている動作説明を確認し、どのような優先順位で熱源機器が運転されるべきかを確認する。

STEP 5) 性能の判断

製造熱量に対して、設計意図通りの優先順位で熱源機器が運転されているかどうかを判断する。