

5. 空気調和設備における熱源機器の冷却水温度制御

5.1 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冷却水温度制御の性能試験法を定める。冷却水温度制御とは、熱源機器の保護及び冷却水搬送動力の低減を目的として、負荷等に応じて冷却塔ファンの運転台数やインバータ周波数、バイパス弁開度、冷却水ポンプのインバータ周波数など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 5.1.1 に示す。本章では、開放式冷却塔を持つシステムの冷却水温度制御のうち、冷却塔ファンの運転台数やインバータ周波数を変化させる制御、及び冷却水の入口温度に応じてバイパス弁の開度または冷却水ポンプのインバータ周波数を変化させる制御を対象とする。密閉式冷却塔の制御、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。

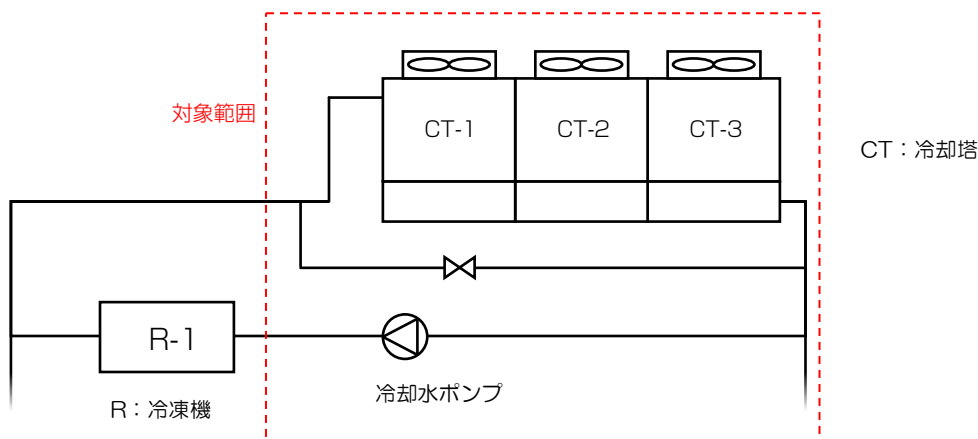


図 5.1.1 対象とする冷却塔システム

5.2 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 建築設備コミッション協会：建築設備性能検証マニュアル
- 6) 荏原冷熱システム（株）：技術資料「補給水量」

5.3 用語の定義

5.3.1 セル

冷却塔内をいくつかに分けし、冷却塔の一部だけで単独運転できる最小単位。

5.3.2 バイパス弁

冷凍機の冷却水下限温度を守るために冷却水の一部または全部を、冷却塔を通さずに冷凍機に送るための二方弁または三方弁。

5.3.3 フリークーリングシステム

冬期や中間期に、冷却水を直接または熱交換器を介して冷水として利用するシステム。

5.3.4 冷凍機入口冷却水温度

冷却水が冷凍機に入るときの温度。バイパス弁開度が0%のとき、冷却塔出口温度に等しい。

5.3.5 冷凍機出口冷却水温度

冷却水が冷凍機から出るときの温度。

5.3.6 冷却塔入口冷却水温度

冷却水が冷却塔に入るときの温度。冷凍機が複数ある場合は、冷却水流量を重みとした冷凍機出口温度の加重平均に等しい。

5.3.7 冷却塔出口冷却水温度

冷却水が冷却塔から出るときの温度。

5.3.8 冷却塔の供給熱量

冷却塔が冷却水を冷却する熱量（＝冷却水流量×冷却塔出入口温度差×比熱）。

5.3.9 冷却塔 COP

冷却水の供給熱量を冷却塔で使用したエネルギーに対する比（＝供給熱量／冷却塔消費エネルギー）で表したものの。

5.4 記号等

本章で使用する記号等を表 5.4.1 に定義する。

表 5.4.1 記号等の定義

記号	意味	単位
θ_w	水温	℃
F	インバータ周波数	Hz
O	バルブ開度	%

5.5 制御方式

冷却水温度制御のうち、表 5.5.1 に示す制御方式を対象とする。

表 5.5.1 対象とする熱源台数制御の制御方式

制御方式	目的	検出量	制御対象
タイプ A	冷凍機の保護	冷却水の冷却塔出口温度	冷却塔ファンの発停
タイプ B	冷凍機の保護	冷却水の冷却塔出口温度	冷却塔ファンの INV 周波数
タイプ C	冷凍機の保護	冷却水の熱源機器入口温度	バイパス弁開度
タイプ D	搬送動力の低減	冷却水の熱源機器入口温度	冷却水ポンプの INV 周波数

5.5.1 冷却塔出口温度によるファン運転台数制御方式（タイプ A）

1 セルまたは複数セルで構成される冷却塔において、冷却塔出口冷却水温度に応じて、冷却塔ファンの運転台数を変化させる制御。図 5.5.1 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を、CT は冷却塔を、INV はインバータを意味する。ファンインバータ周波数制御方式（タイプ B）と併用する場合は、インバータ周波数が最小となった時にファンの発停を制御することを基本とする。

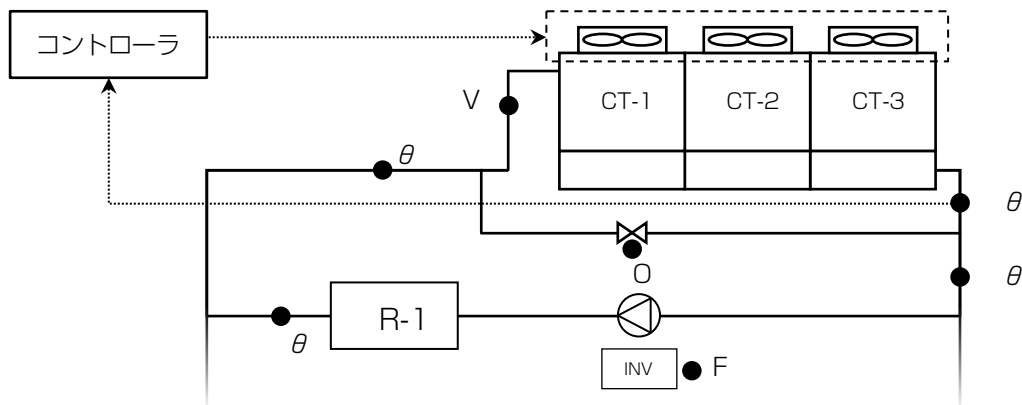


図 5.5.1 タイプ A のシステム例

5.5.2 冷却塔出口温度によるファン INV 周波数制御方式（タイプ B）

1 セルまたは複数セルで構成される冷却塔において、冷却塔出口冷却水温度に応じて、冷却塔ファンのインバータ周波数を変化させる制御。図 5.5.2 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を、CT は冷却塔を、INV はインバータを意味する。ファン運転台数制御方式（タイプ A）と併用する場合は、停止しているファンがあるときは最小周波数で運転し、すべてのファンが運転しているときにのみインバータ周波数を変更することを基本とする。

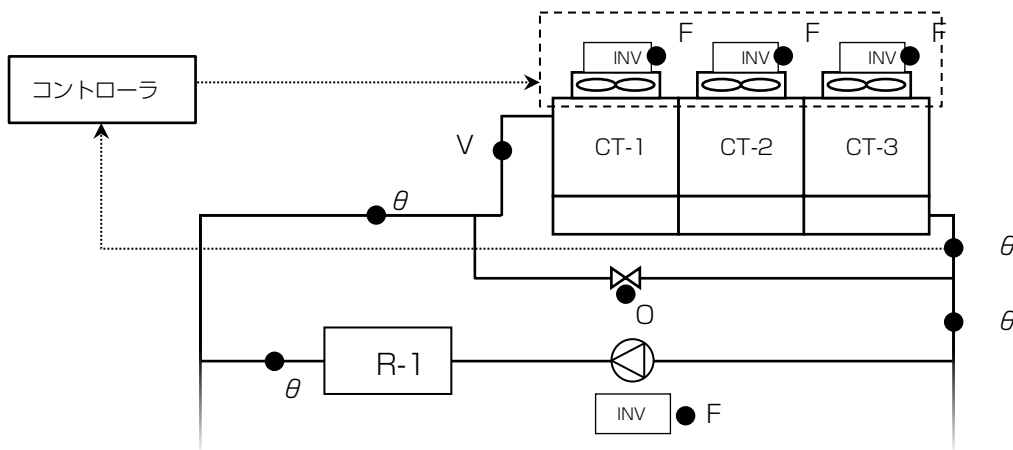


図 5.5.2 タイプ B のシステム例

5.5.3 冷凍機入口温度によるバイパス弁制御方式（タイプ C）

冷却水の一部を冷却塔に送らずにバイパスさせる二方弁または三方弁（バイパス弁）のあるシステムにおいて、冷凍機入口冷却水温度に応じて、バイパス弁の開度を変化させる制御。図 5.5.3 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を、CT は冷却塔を、INV はインバータを意味する。冷却水ポンプインバータ周波数制御方式（タイプ D）と併用する場合は、インバータ周波数が最小になったときにバイパス弁開度を制御することを基本とする。

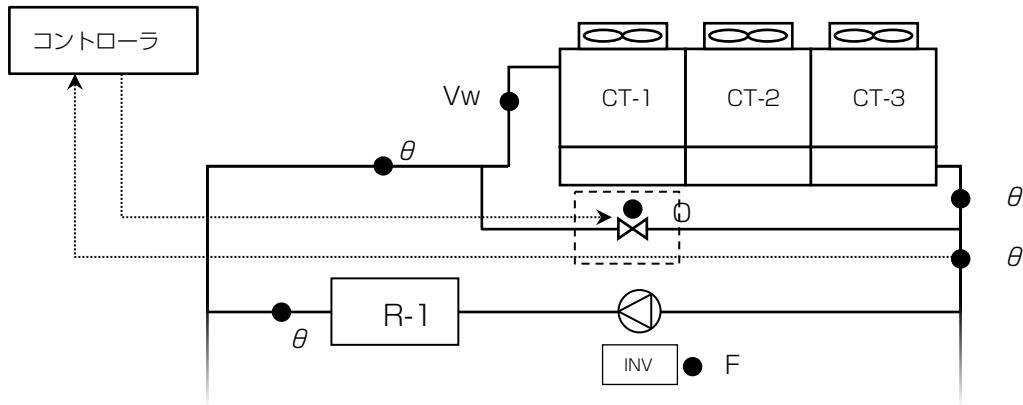


図 5.5.3 タイプ C のシステム例

5.5.4 冷凍機入口温度による冷却水ポンプ INV 周波数制御方式 (タイプ D)

冷凍機出入口冷却水温度差に応じて冷却水ポンプのインバータ周波数を変化させる制御。図 5.5.4 にシステム例を示す。なお、図中の R は冷凍機を、CT は冷却塔を、INV はインバータを意味する。バイパス弁制御方式 (タイプ C) と併用する場合は、バイパス弁が開いているときは最小周波数で運転し、バイパス弁開度が 0% (全閉) のときのみインバータ周波数を変更することを基本とする。

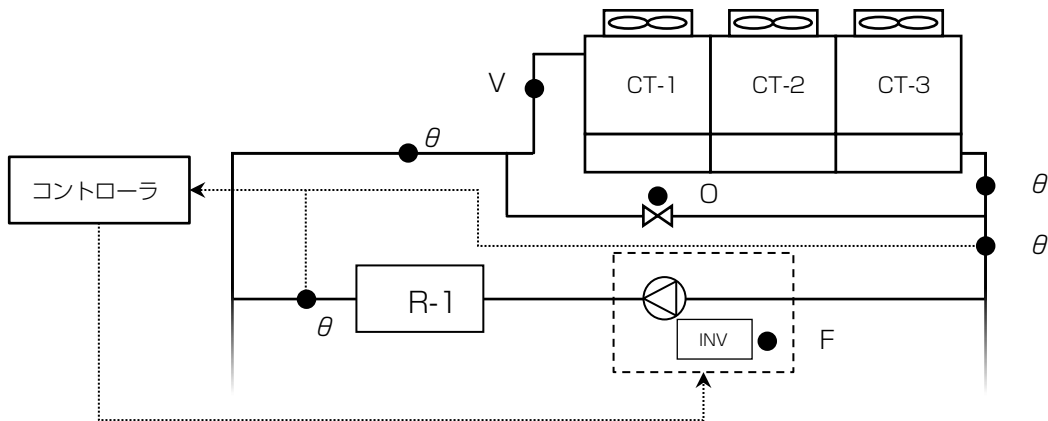


図 5.5.4 タイプ D のシステム例

5.6 性能試験のフロー

熱源機器の冷却水温度制御の性能試験は、次の4つの試験から構成される。

TEST-1：冷却塔出口温度とファン運転台数の関係の検証

冷却水の冷却塔出口温度と冷却塔ファンの運転台数の関係を時系列データにより検証する。

TEST-2：冷却塔出口温度とファン INV 周波数の関係の検証

冷却水の冷却塔出口温度と冷却塔ファンINV周波数の関係を時系列データにより検証する。

TEST-3：冷凍機入口温度とバイパス弁開度の関係の検証

冷却水の冷凍機入口温度とバイパス弁開度の関係を時系列データにより検証する。

TEST-4：冷凍機出入口温度差と冷却水ポンプ INV 周波数の関係の検証

冷却水の冷凍機出入口温度差と冷却水ポンプINV周波数の関係を時系列データにより検証する。

- 計装図（制御ロジック）

制御概要（制御の方式、目的、動作内容等）、特記仕様

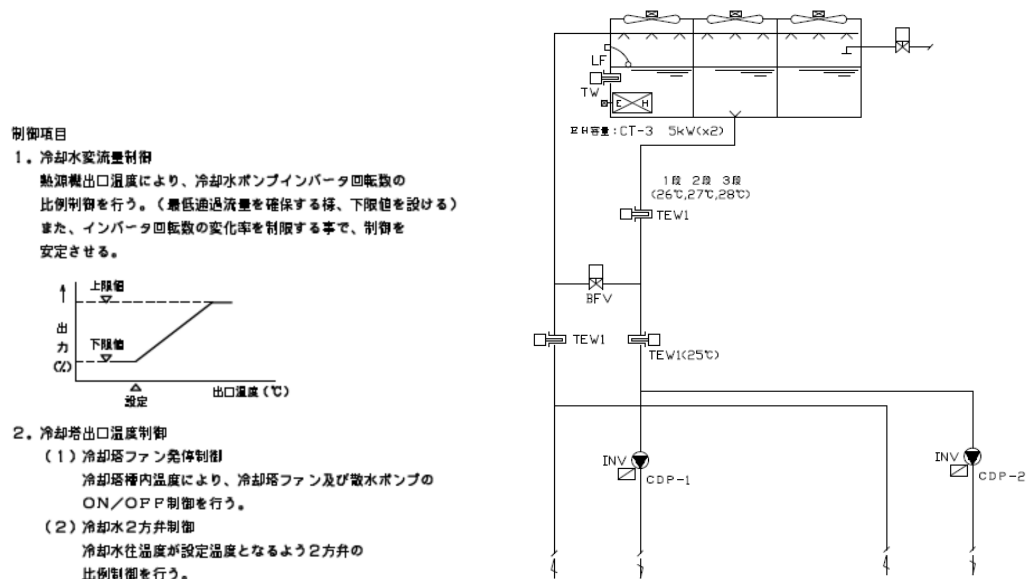


図 5.7.2 制御概要の例

5.8 データ計測

5.8.1 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 5.8.1 に示す。

表 5.8.1 性能試験に必要な計測データ

テスト	必要データ	冷却塔出口冷却水温度	冷凍機入口冷却水温度	冷凍機出口冷却水温度	冷却ファン運転状態	冷却塔ファン連 INV 周波数	バイパス弁開度	冷却水ポンプ運転状態	冷却水ポンプ INV 周波数	冷却水流量
TEST-1: 冷却塔出口冷却水温度とファン運転台数の関係の検証		■			■			■		
TEST-2: 冷却塔出口冷却水温度とファン INV 周波数の関係の検証		■				■				
TEST-3: 冷凍機入口冷却水温度とバイパス弁開度の関係の検証			■				■			
TEST-4: 冷凍機出入口冷却水温度差と冷却水ポンプ INV 周波数の関係の検証			■	■					■	■

5.8.2 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 5.8.2 に示す。

表 5.8.2 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
冷却塔出口 冷却水温度	○		○		配管表面温 度を流体温 度とみなす
冷凍機入口 冷却水温度	○		○		配管表面温 度を流体温 度とみなす
冷凍機出口 冷却水温度	○		○		配管表面温 度を流体温 度とみなす
冷却塔ファン 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
冷却塔ファン インバータ 周波数	○	○			
バイパス弁 開度	○	○			
冷却水ポンプ インバータ 周波数	○	○			

※ 一般的な方法を ○ で示すが、これに限定はしない。

5.8.3 計測機器

性能試験に必要なデータは、表 5.8.3 に示す計測器を用いて計測する。

表 5.8.3 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

5.8.4 計測時間間隔期間及び計測期間

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）

5.9 試験方法

5.9.1 TEST-1 冷却塔出口温度とファン運転台数の関係の検証（タイプ A）

このテストでは、冷却塔ファン運転台数が、冷却塔出口温度に応じて設計意図通りに制御されているかを検証する。

STEP 1) データの収集

冷却水と各冷却塔ファンについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 冷却塔出口冷却水温度
- ・ 冷却塔ファンの運転状態（ON-OFF）
- ・ 冷却水ポンプの運転状態（ON-OFF）

STEP 2) 運転台数の算出

冷却塔ファンの運転状態信号から、冷却塔ファン運転台数を算出する。運転状態信号データが無い場合は、以下のように運転台数を推定する。

- ・ 冷却塔ファン消費電力がファン個別に計測されていれば、この値から運転台数を推定する。ただし、ファンが停止しているときにも微量の電力を消費するため、停止時でも消費電力は 0 にならない可能性があることに注意する。
- ・ 冷却塔全体でファン消費電力を計測している場合は、ファン 1 台あたりの定格消費電力で除した値を整数で近似値したものを運転台数とする。

STEP 3) 分析対象期間の決定

冷却塔の運転状況をグラフ化し、分析行う期間や、温度等の変動範囲等を絞り込む。具体的には次の 2 点についてグラフ化を行う。

- ・ 冷却塔ファン運転台数の推移の確認
 - 年間の冷却塔ファン運転台数データのグラフ（横軸：日付、縦軸：運転台数）を作成する。
 - グラフより冷却塔が運転している期間を特定し、これを分析対象期間とする。
- ・ 冷却塔出口温度の推移の確認
 - 冷却塔出口冷却水温度データのグラフ（横軸：日付、縦軸：冷却塔出口冷却水温度）を作成する。
 - グラフは、冷却塔が運転している時間帯のみ抽出してプロットする。
 - グラフより、冷却塔出口冷却水温度の推移幅を読み取る。

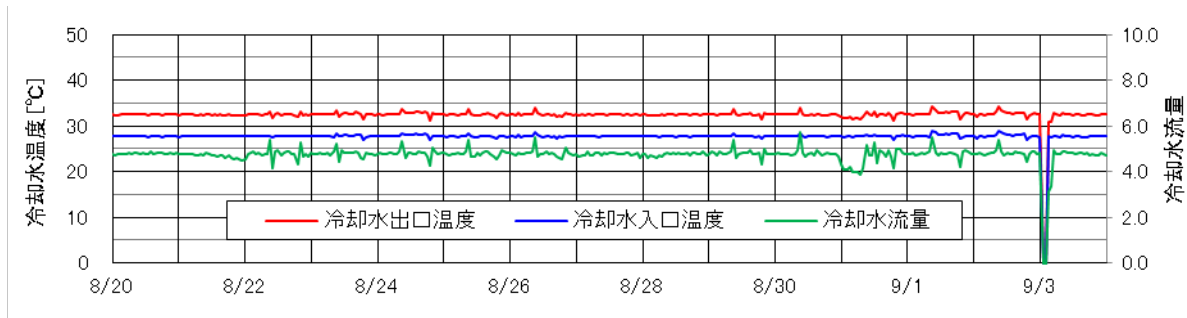


図 5.9.1 時系列グラフの例

STEP 4) 冷却塔出口冷却水温度とファン運転台数の分析

冷却塔出口冷却水温度と冷却塔ファン運転台数から、図 5.9.2 に示すグラフ（横軸：冷却塔出口温度、縦軸：運転台数）を作成する。

- ・ 運転データをそのままプロットすると、冷凍機が停止しているのか、冷却塔ファンだけが停止しているのか区別がつかないため、冷却水ポンプが ON のときのデータだけを抜き出してプロットする。
- ・ さらに、冷却塔出口温度別・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。

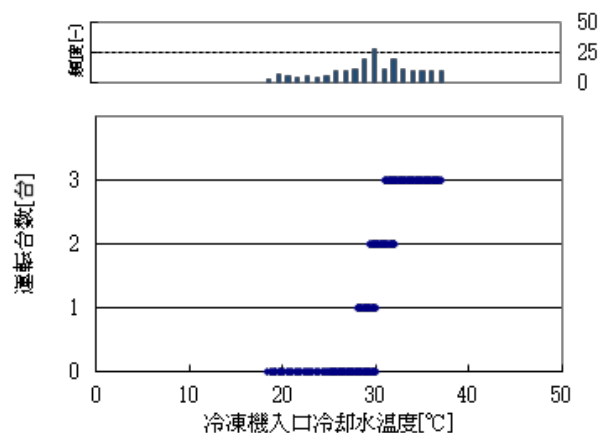


図 5.9.2 冷却塔出口温度とファン運転台数の関係の例（計測値）

STEP 5) 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「冷却塔ファン増減段温度パラメータ」を確認し、どのように台数が変化すべきかをSTEP4で作成したグラフ上に記入する。

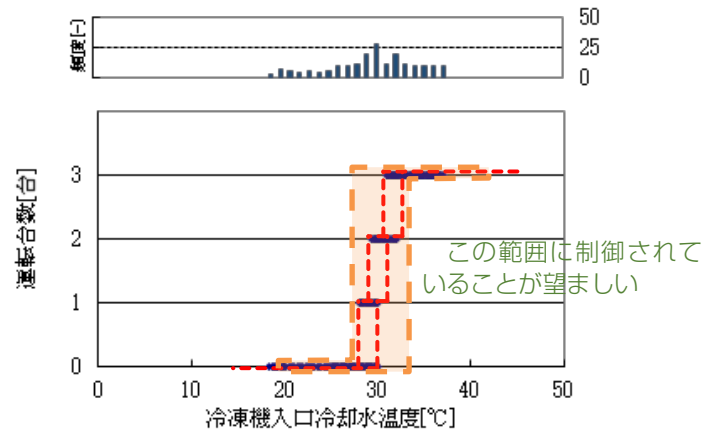


図 5.9.3 冷却塔出口温度とファン運転台数の関係の例（制御パラメータ記載）

STEP 6) 性能の判断

計測データから得られた冷却塔ファン運転台数の変化と、設計時に想定した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。

- ・ 冷却塔出口温度が設定温度を上回っているときに、ファン運転台数が最大になっているか。
- ・ 冷却塔出口温度が設定温度を下回っているときに、ファン運転台数が最小になっているか。
- ・ 冷却塔ファン運転台数が、増減段パラメータ通りに増減段されているか。
- ・ 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の積算値が、年間運転時間の5%であれば「適」と判断する。

5.9.2 TEST-2 冷却塔出口冷却水温度とファン INV 周波数の関係の検証 (タイプ B)

このテストでは、冷却水の冷却塔出口温度に応じて冷却塔ファンのインバータ周波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

冷却水と各冷却塔ファンについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 冷却塔出口冷却水温度
- ・ 冷却塔ファンのインバータ周波数

STEP 2) 分析対象期間の決定

5.9.1 と同様の方法で、分析対象期間を決定する。

STEP 3) 冷却塔出口温度と INV 周波数の関係の分析

冷却塔出口温度と冷却塔ファンのインバータ周波数から、図 5.9.4 に示すグラフ (横軸：冷却塔出口温度、縦軸：INV 周波数) を作成する。

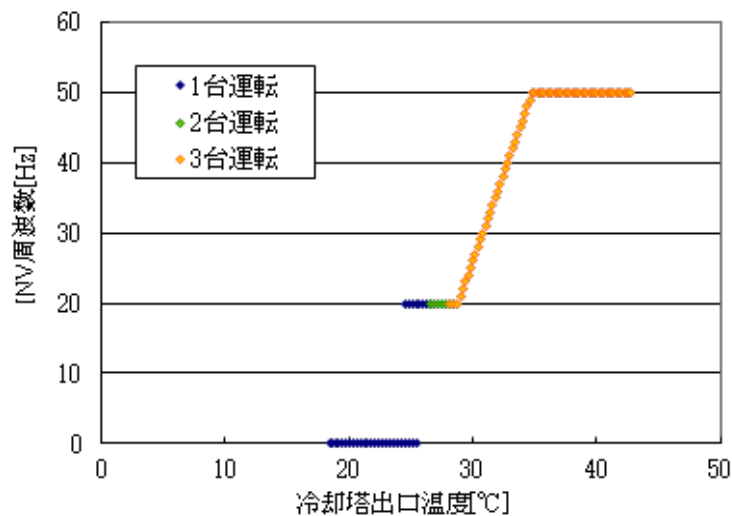


図 5.9.4 冷却塔出口温度と INV 周波数の関係の例 (計測値)

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「冷凍機入口温度に対応する INV 周波数」を確認し、どのようにインバータ周波数が変化すべきかを STEP3 で作成したグラフ上に記入する。

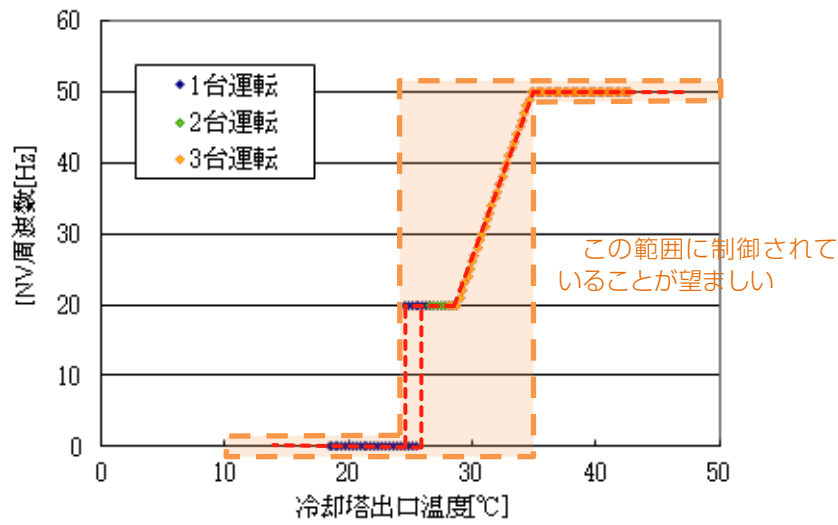


図 5.9.5 冷却塔出口温度と INV 周波数の関係の例（制御パラメータ記載）

STEP 5) 性能の判断

実測データから得られた冷却塔ファンインバータ周波数の変化と設計時に想定したインバータ周波数の変化を比較し、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。

- 冷却塔出口冷却水温度が設定温度を上回っているときに、INV 周波数が最大になっているか。
- 冷却塔出口冷却水温度が設定温度を下回っているときに、INV 周波数が最小になっているか。
- 実測による INV 周波数と想定した INV 周波数の差が±5%以内に収まっていれば「適」と判断する。

5.9.3 TEST-3 冷凍機入口冷却水温度とバイパス弁開度の関係の検証（タイプ C）

このテストでは、冷却水の冷凍機入口温度に応じてバイパス弁の開度を調節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

冷却水と各冷却塔ファンについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 冷凍機入口冷却水温度
- ・ バイパス弁開度

STEP 2) 分析対象期間の決定

5.9.1 と同様の方法で、分析対象期間を決定する。

STEP 3) 冷凍機入口冷却水温度とバイパス弁開度の関係の分析

冷凍機入口冷却水温度とバイパス弁開度から、図 5.9.6 に示すグラフ（横軸：冷凍機入口冷却水温度、縦軸：バイパス弁開度）を作成する。

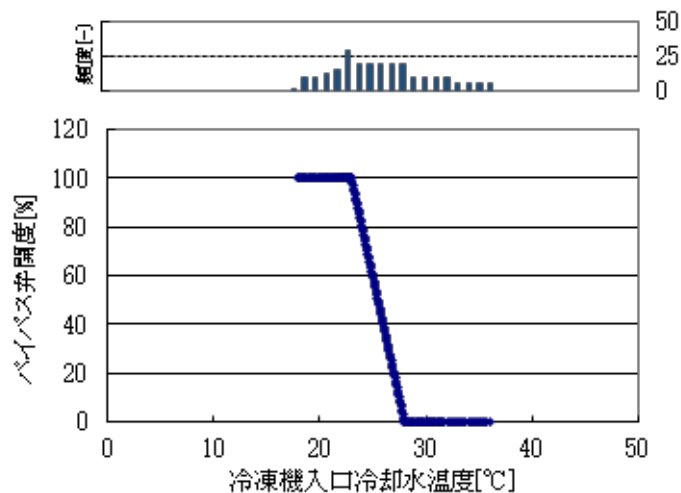


図 5.9.6 冷凍機入口温度とバイパス弁開度の関係の例（計測値）

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「冷凍機入口冷却水温度に対応するバイパス弁開度」を確認し、どのようにバイパス弁開度が変化すべきかを STEP3 で作成したグラフ上に記入する。

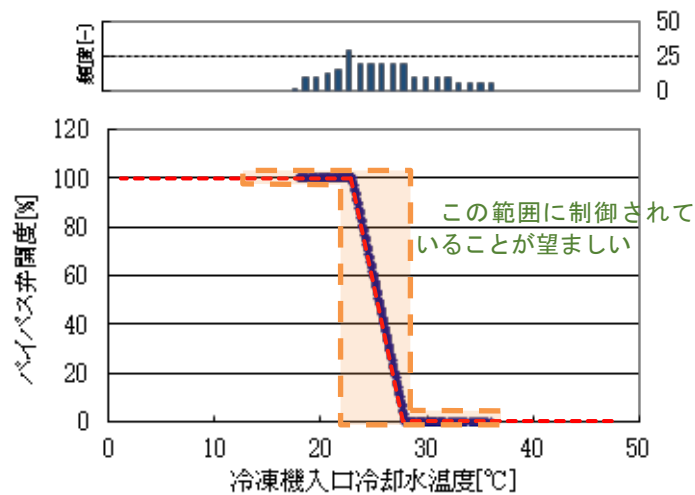


図 5.9.7 冷凍機入口冷却水温度とバイパス弁開度の関係の例（制御パラメータ記載）

STEP 5) 性能の判断

計測データから得られた冷凍機入口冷却水温度の変化と設計時に想定したバイパス弁開度の変化を比較して、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。

- ・ 冷凍機入口冷却水温度が設定温度を上回っているときに、バイパス弁開度が最小になっているか。
- ・ 冷凍機入口冷却水温度が設定温度を下回っているときに、バイパス弁開度が最大になっているか。
- ・ 実測によるバイパス弁開度と想定したバイパス弁開度の差が±5%以内に収まっていれば「適」と判断する。

5.9.4 TEST-4 冷凍機出入口冷却水温度差とポンプ INV 周波数の関係の検証 (タイプ D)

このテストでは、冷却水の冷凍機出入口冷却水温度差に応じて冷却水ポンプのインバータ周波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

冷却水および冷却水ポンプについて、次の項目の時系列データを計測する。

- ・ 冷凍機入口冷却水温度
- ・ 冷凍機出口冷却水温度
- ・ 冷却水ポンプの INV 周波数
- ・ 冷却水ポンプの冷却水流量

STEP 2) 分析対象期間の決定

5.9.1 と同様の方法で、分析対象期間を決定する。

STEP 3) 冷凍機出入口冷却水温度差とポンプ INV 周波数の関係の分析

冷凍機出入口冷却水温度差と冷却水ポンプのインバータ周波数から、図 5.9.8 に示すグラフ (横軸：冷凍機出入口冷却水温度差、縦軸：INV 周波数) を作成する。

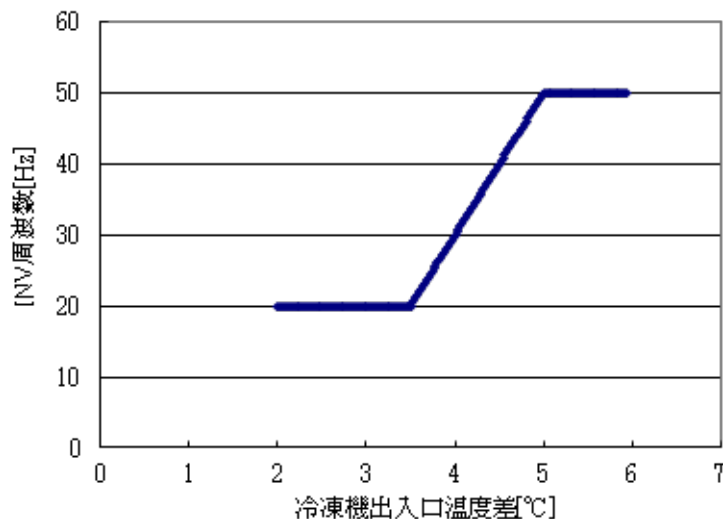


図 5.9.8 冷凍機出入口冷却水温度差と INV 周波数の関係の例 (計測値)

STEP 4) 冷凍機出入口冷却水温度差と冷却水流量の関係の分析

冷凍機出入口冷却水温度差と冷却水ポンプのインバータ周波数から、図 5.9.9 に示すグラフ (横軸：冷凍機出入口冷却水温度差、縦軸：冷却水流量) を作成する。

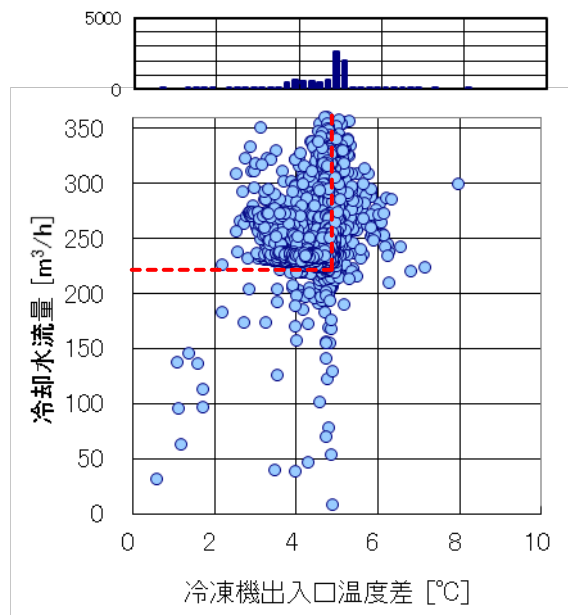


図 5.9.9 冷凍機出入口冷却水温度差と冷却水流量の関係の例

STEP 5) 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「冷凍機出入口温度差に対応するインバータ周波数」を確認し、どのようにインバータ周波数が変化すべきかを STEP3、4 で作成したグラフ上に記入する。

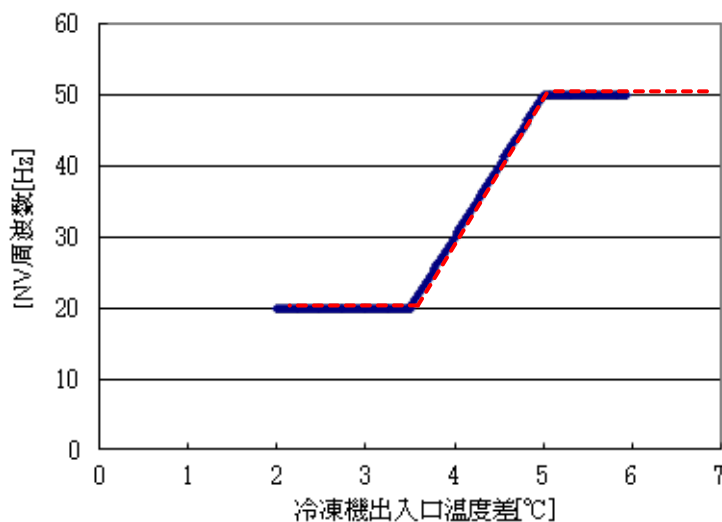


図 5.9.10 冷凍機出入口温度差と INV 周波数の関係の例（制御パラメータ記載）

STEP 6) 性能の判断

計測データから得られた冷却水ポンプインバータ周波数の変化と設計時に想定したインバータ周波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。

- ・ 冷凍機出入口温度差が設定温度を上回っているときに、INV 周波数が最大になっているか。
- ・ 冷凍機出入口温度差が設定温度を下回っているときに、INV 周波数が最小になっているか。
- ・ 実測による INV 周波数と想定した INV 周波数の差が±5%以内に収まっていれば「適」と判断する。