

## 事例4) 「大阪駅地域冷暖房施設」

— 地域冷暖房施設のコミッシヨニング事例 —



株式会社 大林組

島 潔

1

## 全体概要

2

## 建物概要

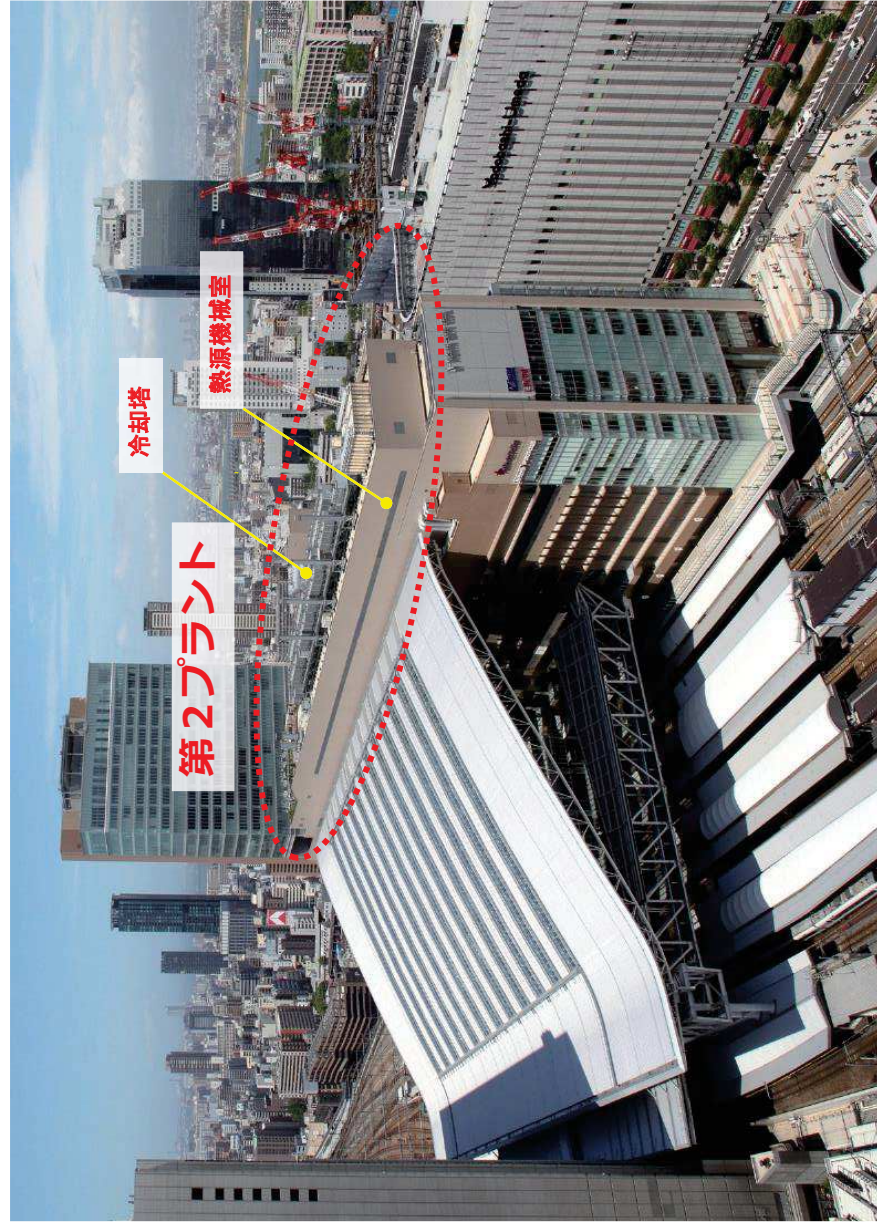
大阪駅周辺を供給区域とする地冷会社が大阪駅の駅ビル  
建て替えに合わせて新設した地冷第2プラントの熱源設備



3

## 建物概要

### 大阪駅駅ビル全景



4

# コミッシヨニング体制

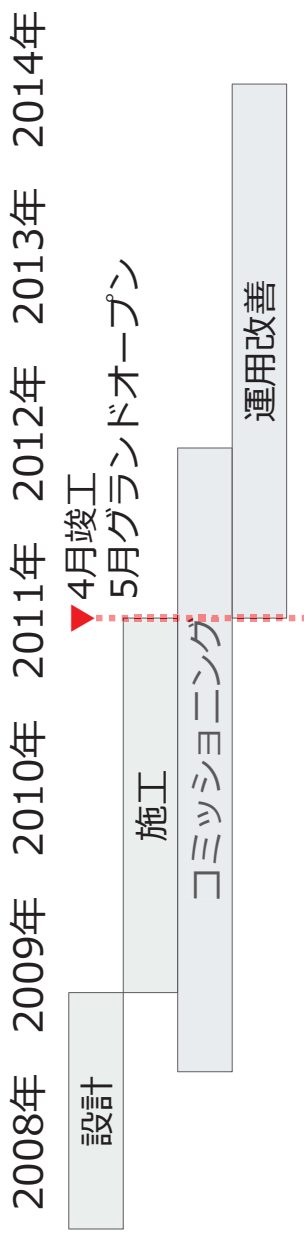
5

## 設計、施工体制

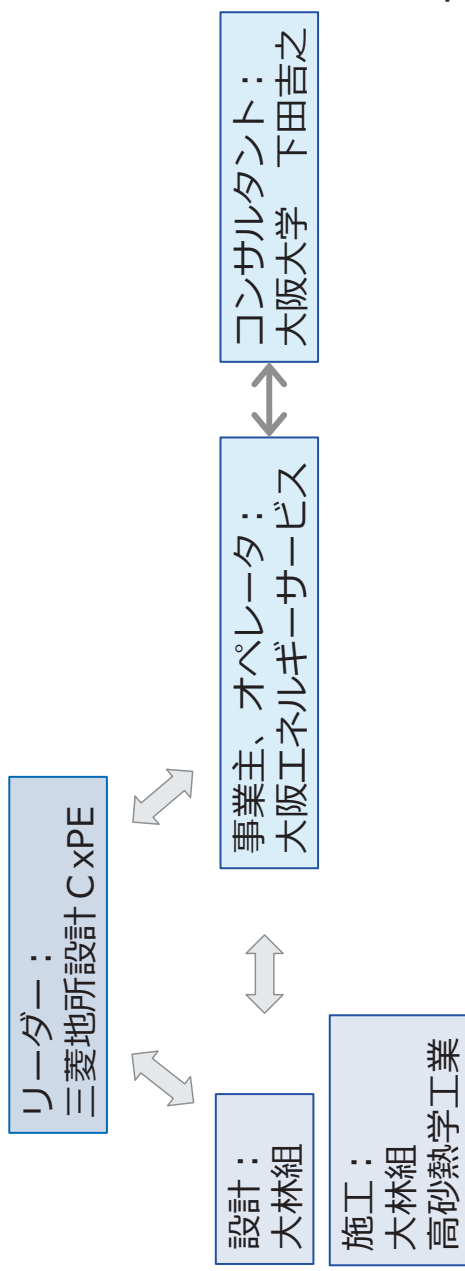
- 事業者  
大阪エネルギーサービス株式会社  
西日本旅客鉄道株式会社  
大阪ターミナルビル株式会社
- 基本設計・監修  
株式会社 三菱地所設計
- 実施設計  
株式会社 大林組
- 施工  
株式会社 大林組  
高砂熱学工業株式会社
- 検証  
大阪大学 下田吉之

6

● 設計から運用改善までの工程



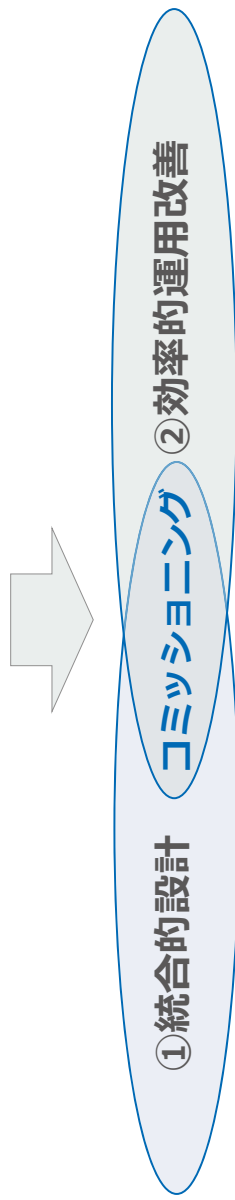
● コミッションニング、運用改善体制



発注者要求

発注者要求：高効率で運用しやすいプラントシステムの構築

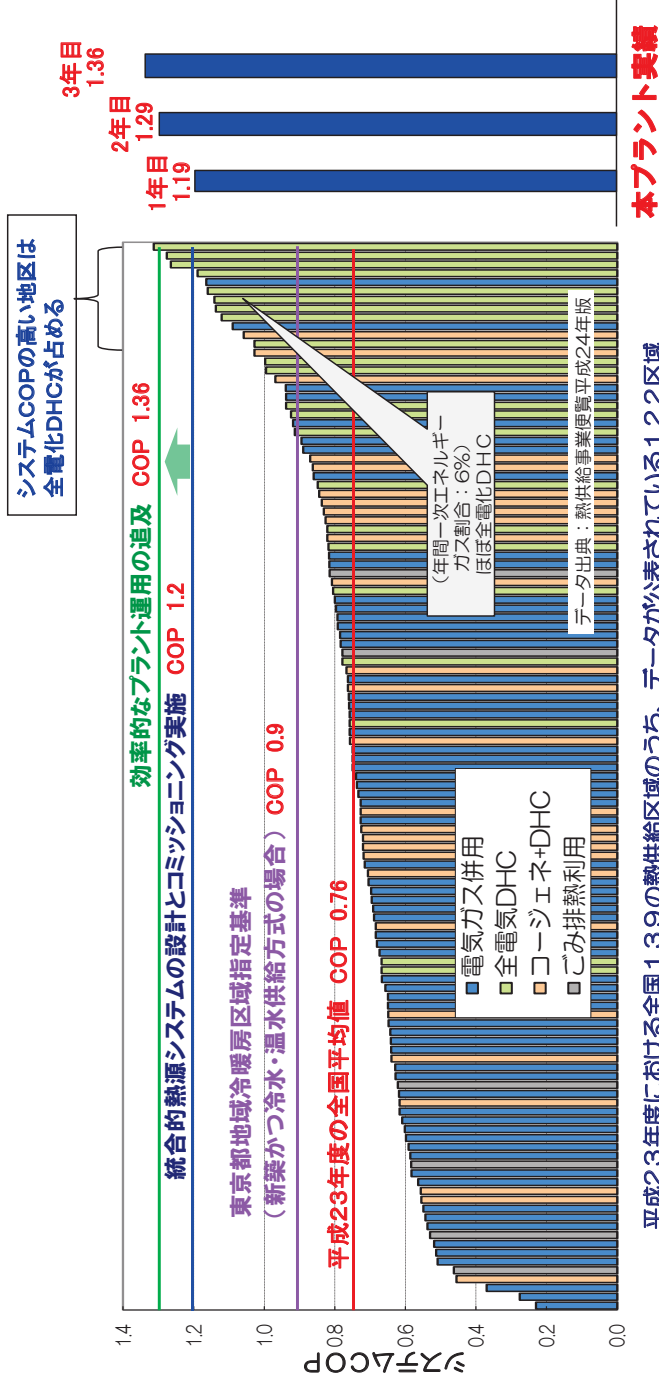
経済性：リーズナブルな熱製造単価  
環境性：トップレベルのプラントシステムCOP (1.2以上)  
冗長性：エネルギー情勢への柔軟な対応 (ガス、電気ミックス)



システムCOP = 販売熱量/熱製造に要する全エネルギー (一次エネルギー換算)  
全エネルギーには、プラント運用に要する換気、照明、需要家までの熱損失も含む

## コミッションニングの成果

発注者要求レベルの経済性を維持しつつ、統合的設計、コミッションニング、効率的なプラント運用によって年間システムCOP 1.3以上を達成

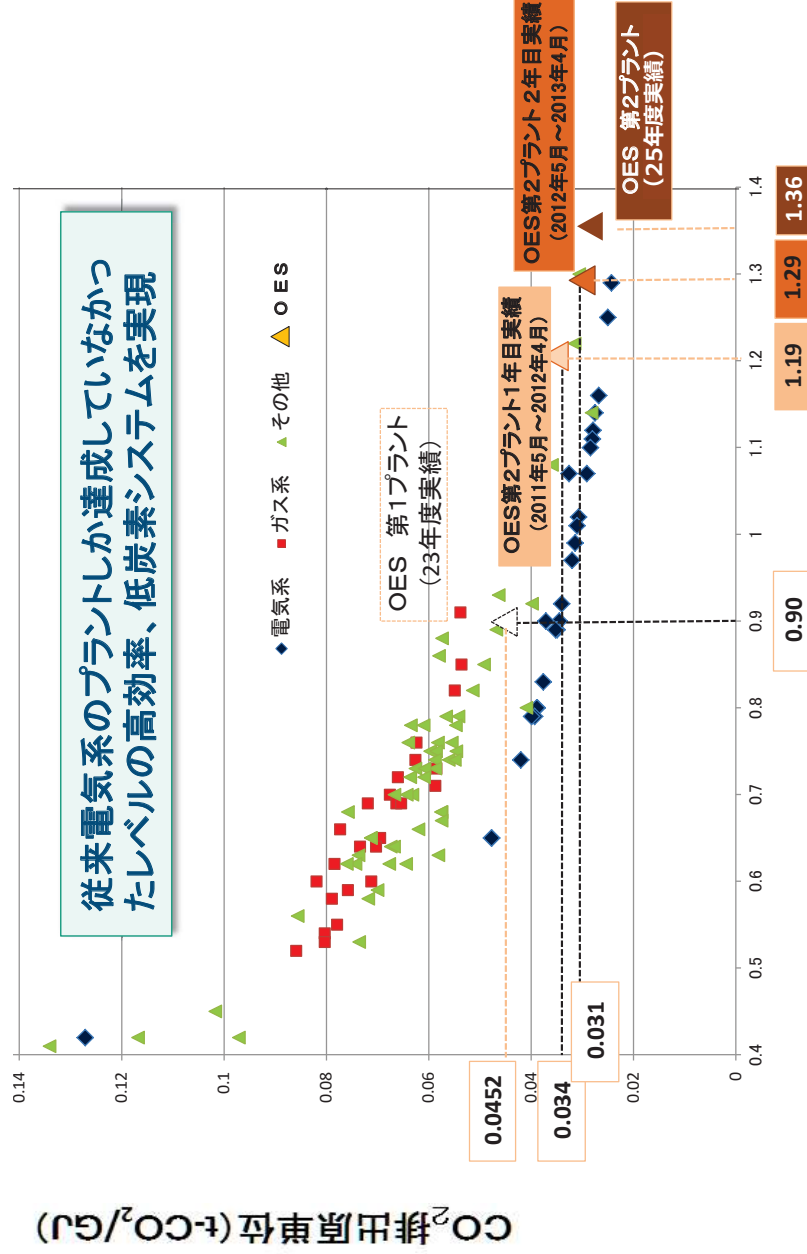


平成23年度における全国139の熱供給区域のうち、データが公表されている122区域のエネルギー使用量及び販売熱量から算出したシステムCOPを低いものから順に並べた

9

## コミッションニングの成果

### システムCOPとCO<sub>2</sub>排出原単位比較

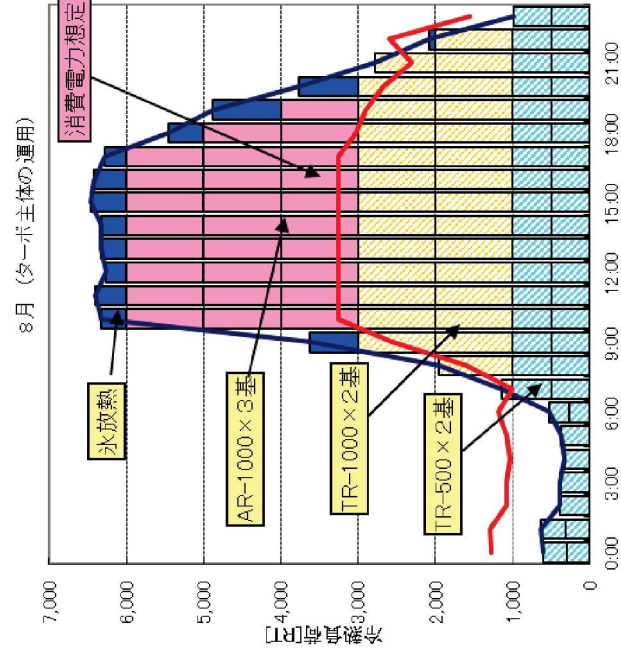


10

## 節電要請対応（運転順位の見直し）

プラント効率を優先した電動ターボ優先運用

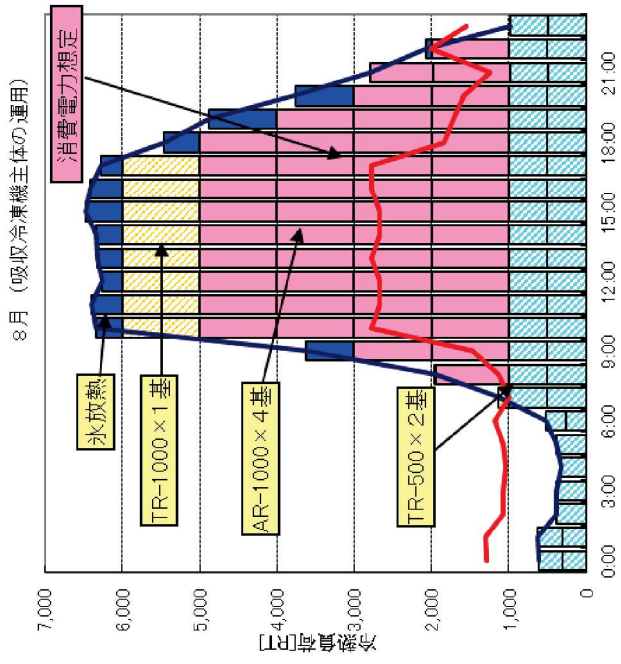
電力デマンド：3,260kW COP=1.22



電動ターボ優先運用  
(COP=1.22)

ピーク電力抑制に対応したガス系冷温水発生機優先運用

電力デマンド：2,770kW (▲15%) COP=1.07

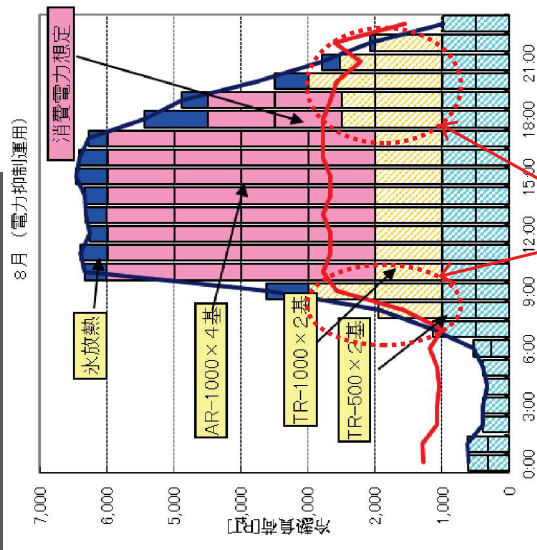


ガス冷温水発生機優先運用  
(COP=1.07)

## 節電要請対応（運転順位の見直し）

節電要請とプラント効率・経済性を両立させた運用（2011年夏期）

電力デマンド：2,770kW COP=1.15



電力抑制と経済性を両立させる熱源運用

熱源運用法による冷熱製造エネルギーの変化(ピーク日)

	電気優先	ガス優先
ピーク電力 [kW]	3,263	2,774
消費電力量 [kWh/日]	54,391	43,393
消費ガス量 [Nm <sup>3</sup> /日]	6,761	11,705
1次換算エネルギー量 [GJ/日]	835	950
熱負荷 [GJ/日]	1,022	←
1次換算COP [-]	1.22	1.07

電力抑制	2,774
	49,390
	9,014
	888
	←
	1.15

冷却水温度の低い朝夕にできるだけターボ冷凍機を運転

「高価な省エネ手法のないオーソドックスな熱源構成  
+ ガス電ミックス + 温熱負荷20%以上」  
にも関わらず、堅実にコミッシヨニングを行った結果、  
「経済性を維持しつつ全国トップレベルの高効率を実現」



- 平成25年度空気調和衛生工学会賞  
技術賞（建築設備部門）受賞
- 平成27年度省エネ大賞  
会長賞受賞

## 建築、設備概要

冷熱源容量：36,871kW (10,500RT)  
 温熱源容量：15,430kW

記号	機器名	仕様	台数
AR1~5	冷温水発生機	冷却能力：1,000RT 加熱能力：2,900kW	5台
TR1,2	ターボ冷凍機 (熱媒過流量制御)	冷却能力：1,000RT	2台
TR3,4	インバーターターボ冷凍機 (熱媒過流量制御)	冷却能力：500RT	2台
BTR1,2	ブラインターボ冷凍機	追掛能力：447RT 製氷能力：369RT	2台
IST1,2	氷蓄熱槽	蓄熱容量：3,300RT <sub>h</sub>	2台
HEX1,2	追掛用熱交換器	交換能力：447RT	2台
HEX3,4	放熱用熱交換器	交換能力：825RT	2台
BO1,2	温水ボイラ	加熱能力：465 kW	2台

部分負荷への対応

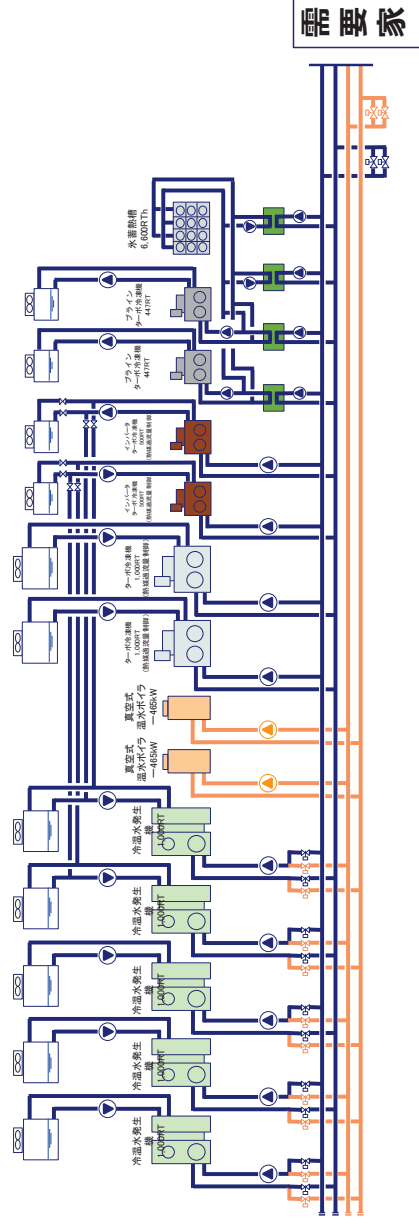
- 最適な冷凍機台数分割
- 熱媒過流量制御の採用
- インバーターターボ冷凍機の採用
- 氷蓄熱システムの採用

搬送動力の低減

- 1ポンプ変流量方式の採用
- 冷却水変流量システムの採用
- 末端差圧制御の採用
- 搬送動力を低減する機器配置計画

効率的・経済的なプラント運用

- 冷凍機モジュールの均一化
- オペレータへの運転支援ガイドダンス



供給温度・圧力の安定

- 最適ヘッドバイパス制御
- 冷凍機バイパス制御

高効率運用の追求

- 冷却塔切り替えシステムの採用
- 冷却水温度制御の安定化

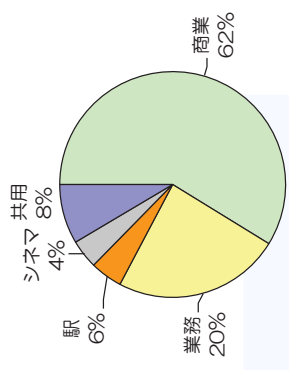
建築計画との整合

- 熱源機械室換気ファン動力削減
- 徹底した防振対策
- 搬入計画を容易にする将来対応



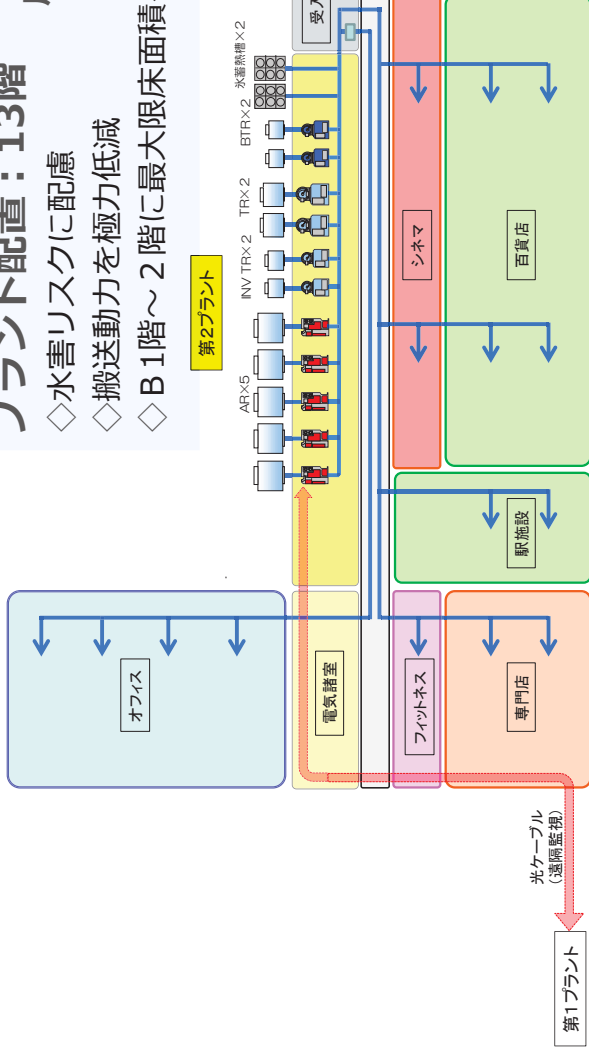
## ノースゲートビル、駅施設の建物概要

- 事業者 : 西日本旅客鉄道株式会社、大阪ターミナルビル株式会社
- 所在地 : 大阪市北区梅田3丁目
- 階数 : 地上28階、地下3階
- 主要用途 : 駅、百貨店、専門店、オフィス・映画館
- 建物規模 : 約218,000㎡、最高高さ : 約150m
- 竣工 : 平成23年4月 (グラントオープン: 5月)



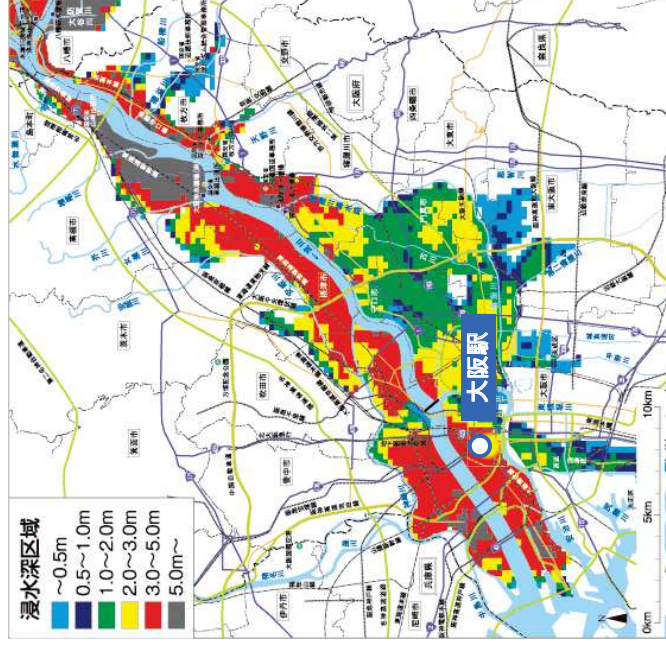
### プラント配置：13階

- ◇ 水害リスクに配慮
- ◇ 搬送動力を極力低減
- ◇ B1階～2階に最大限面積を確保



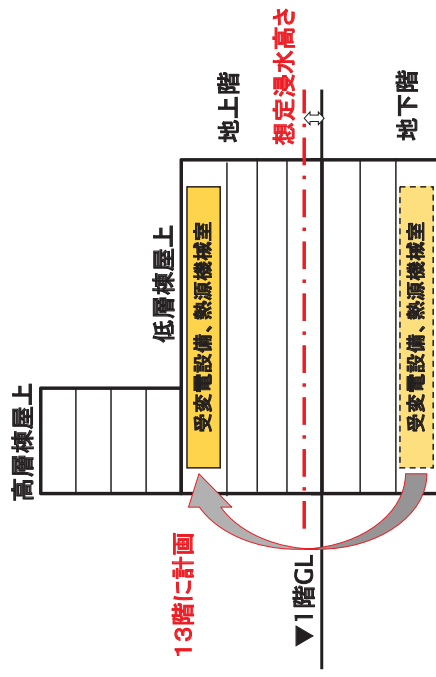
光ケーブル (温隔監視)

## 非常時対応 (水害リスク軽減)



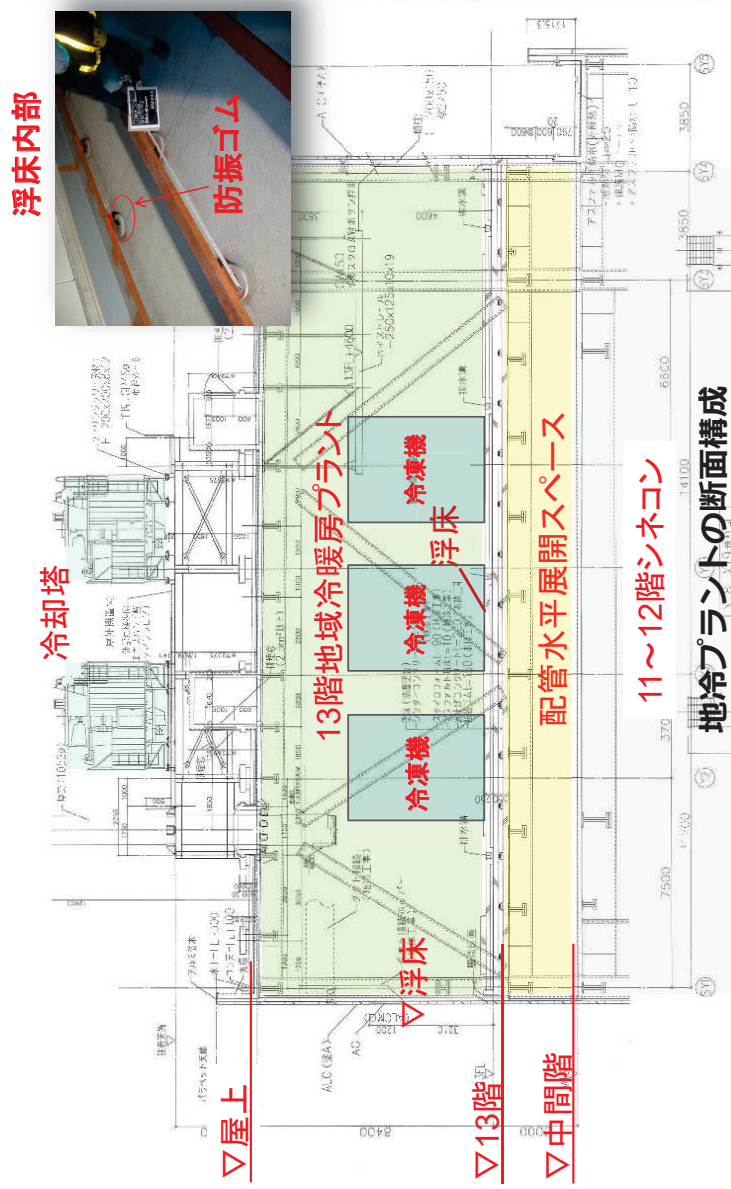
大阪駅は淀川など複数の河川に囲まれており、浸水被害を受ける恐れあり

冷却塔の直近で建物高さのほぼ中心に位置する13階に設備重要諸室を設置



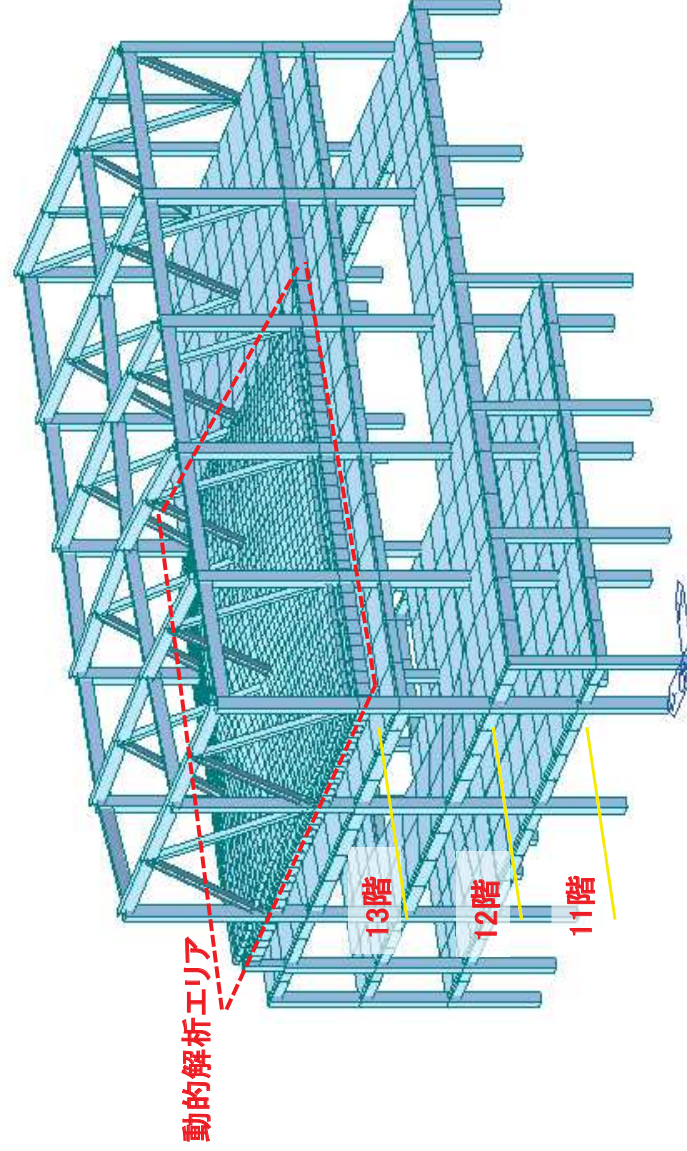
## 浮床・緩衝空間により防音性を高める断面計画

下階シネマへの振動と騒音の伝搬を防止するため、機械室の床全体を乾式浮床構造とした



19

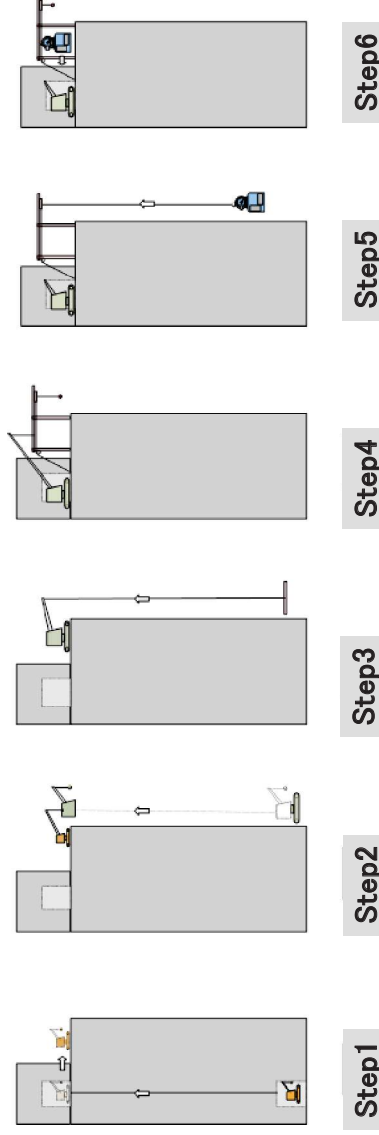
冷凍機の動的加振による構造体の動的解析により、浮床を支える防振ゴムの仕様、配置を決定



構造体の動的解析結果の3D画像

20

将来の搬出入は、1階の荷取りスペースから低層棟屋上広場まで直接揚重



搬入ステップ説明図

## 統合的熱源システムの設計

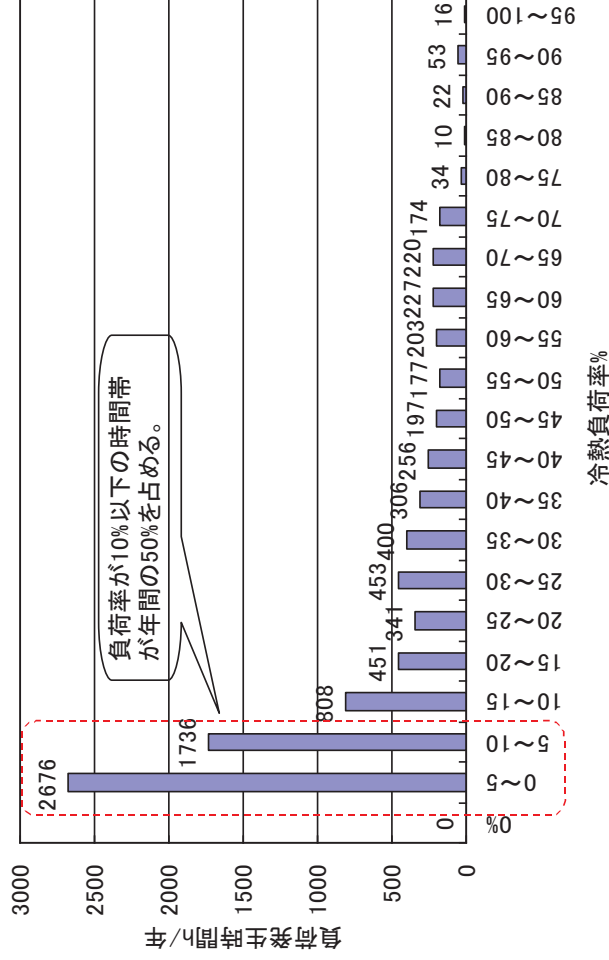
年間の運転において、冷水、冷却水の運転条件、機器特性などによる相互影響の検討や感度分析を実施し、LCEMにより性能を検証しながら、システムの最適化を図る統合的設計を行った。

- 熱源負荷想定手法の検討
- 最適な熱源システムの計画
- 低搬送動力システムの計画
- 冷却塔切替システムの採用
- 熱媒過流量システムの採用
- 設計目標システムCOPの設定

## インバーターボ冷凍機（小負荷対応冷凍機）の選定フロー

負荷率5%（300RT）以下の負荷が発生時間が最も多い。

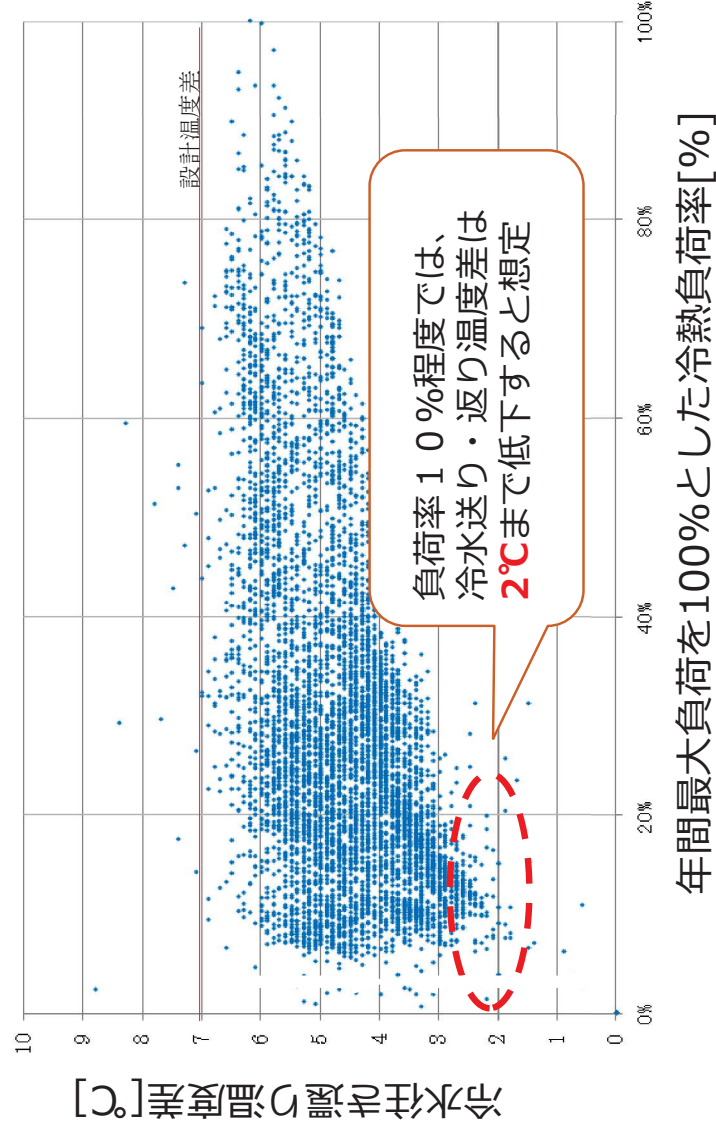
冷凍機の下限負荷率を考慮し、200RTの負荷を効率よく運転できる冷凍機を選定



23

## インバーターボ冷凍機（小負荷対応冷凍機）の選定フロー

既存プラントのデータから冷水温度差を想定

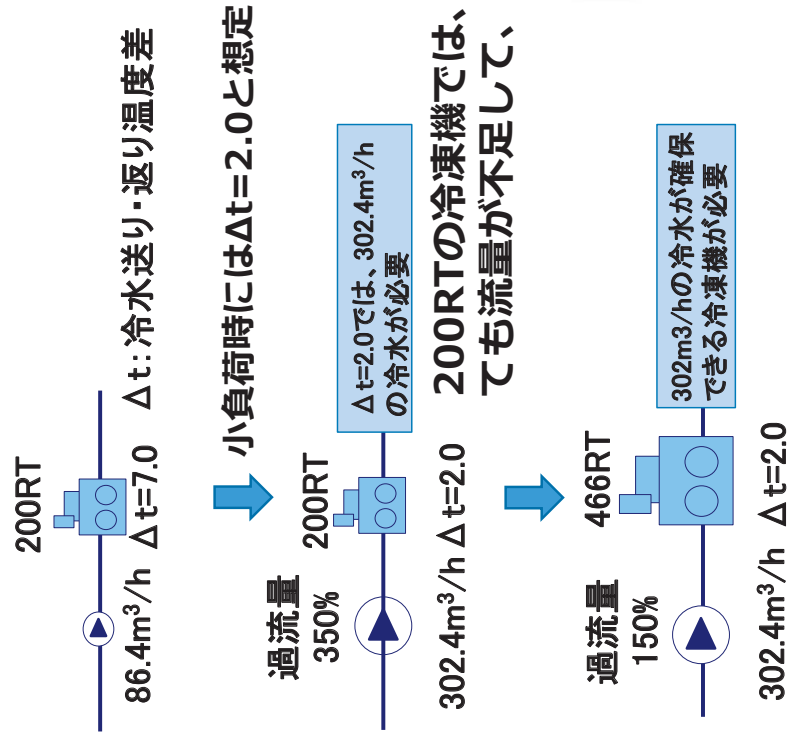


24

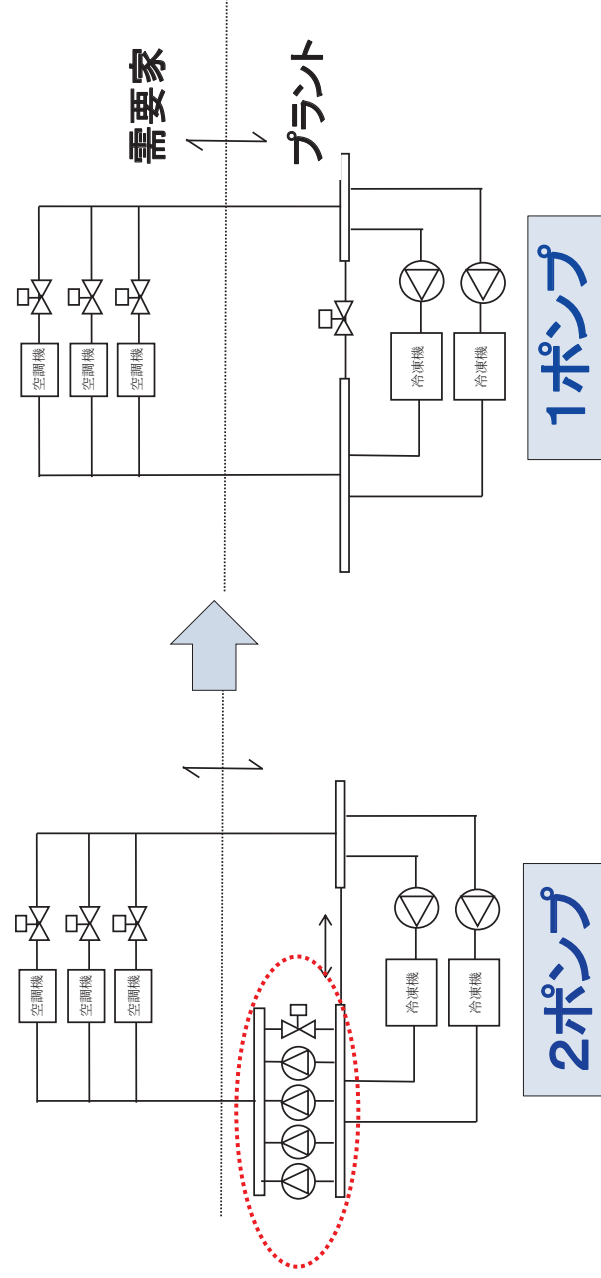
## インバーターボ冷凍機（小負荷対応冷凍機）の選定フロー



■ インバーターボ冷凍機



25

冷水一次系（1ポンプ変流量方式を採用）  
省エネルギー効果：送水ポンプ周りの抵抗分削減

26

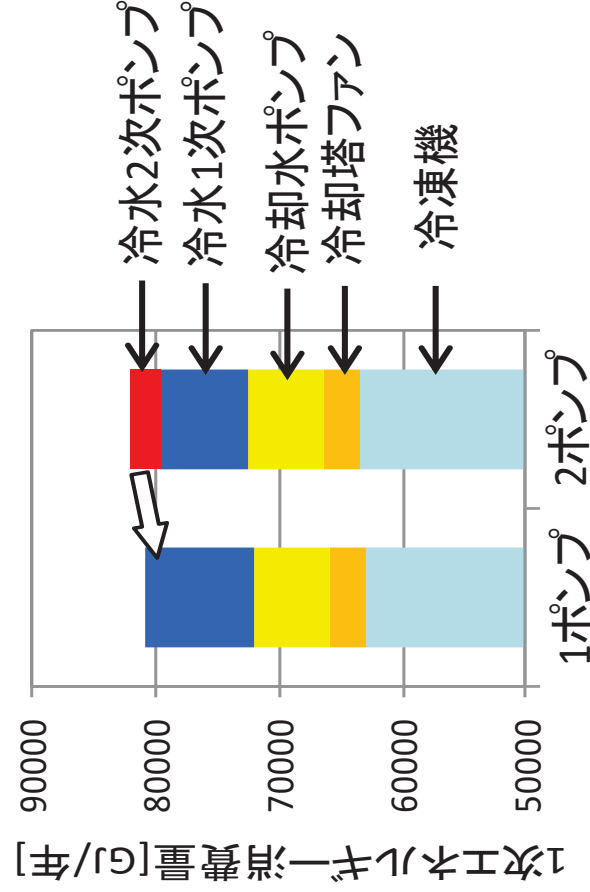
## 1ポンプ変流量方式流量制御上の改善点

	課題	改善点
共通事項	差圧バイパス弁開度と1次ポンプ流量制御の相互干渉	差圧バイパス弁開度と1次ポンプ流量設定値の制御を1つの調節器でシーケンシャルに制御する。
起動時	冷凍機起動時の冷凍機冷水下限流量の確保	冷凍機起動時は下限流量を確保する。また、下限流量を下回っても一定時間は冷凍機が停止することなく運転を続けるよう時限タイマーを設置。
増減段による流量変更	1次ポンプ流量設定値変更時のハンチング	1次ポンプ流量設定値の変更を緩やかに行う。

27

設計

## 1ポンプ変流量システムの省エネルギー効果

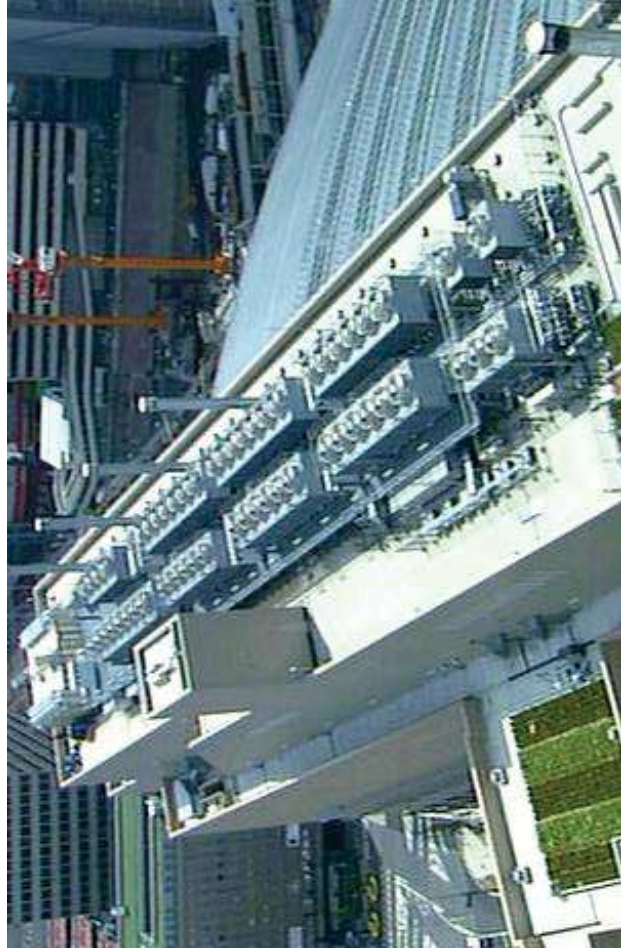


ポンプインバータ用調節計の周波数設定値（実績値）を盛り込みLCEM試算

年平均COPで0.014（1.2%）向上

28

## 通風性に配慮した冷却塔配置計画

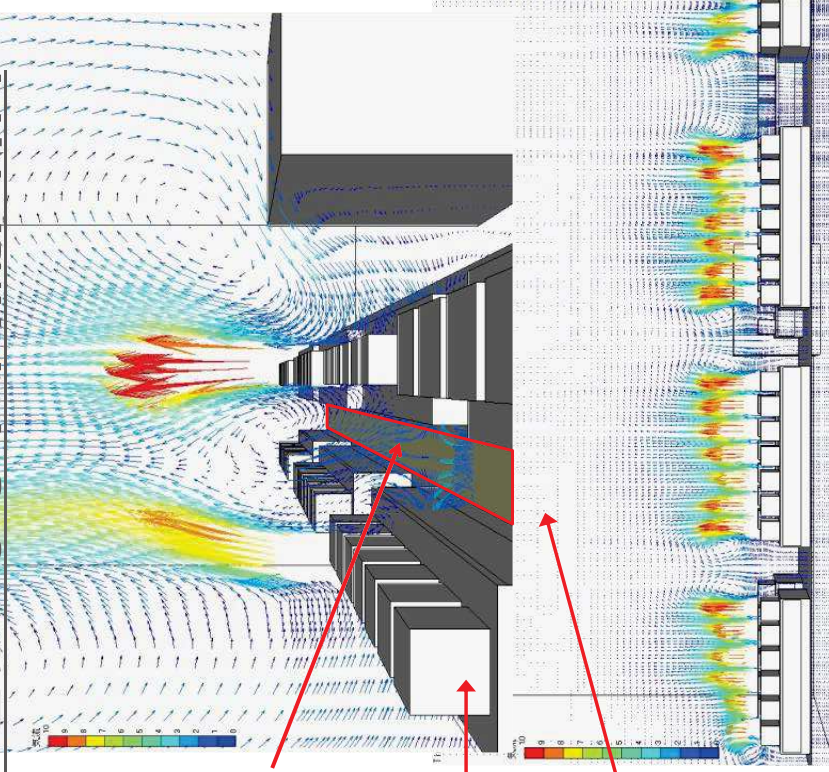


冷凍機はすべて水冷式熱源機器

できるだけ効率よく低い冷却水温度を確保したい

通風性に十分配慮した冷却塔配置計画

## 気流シミュレーションによる冷却塔配置計画



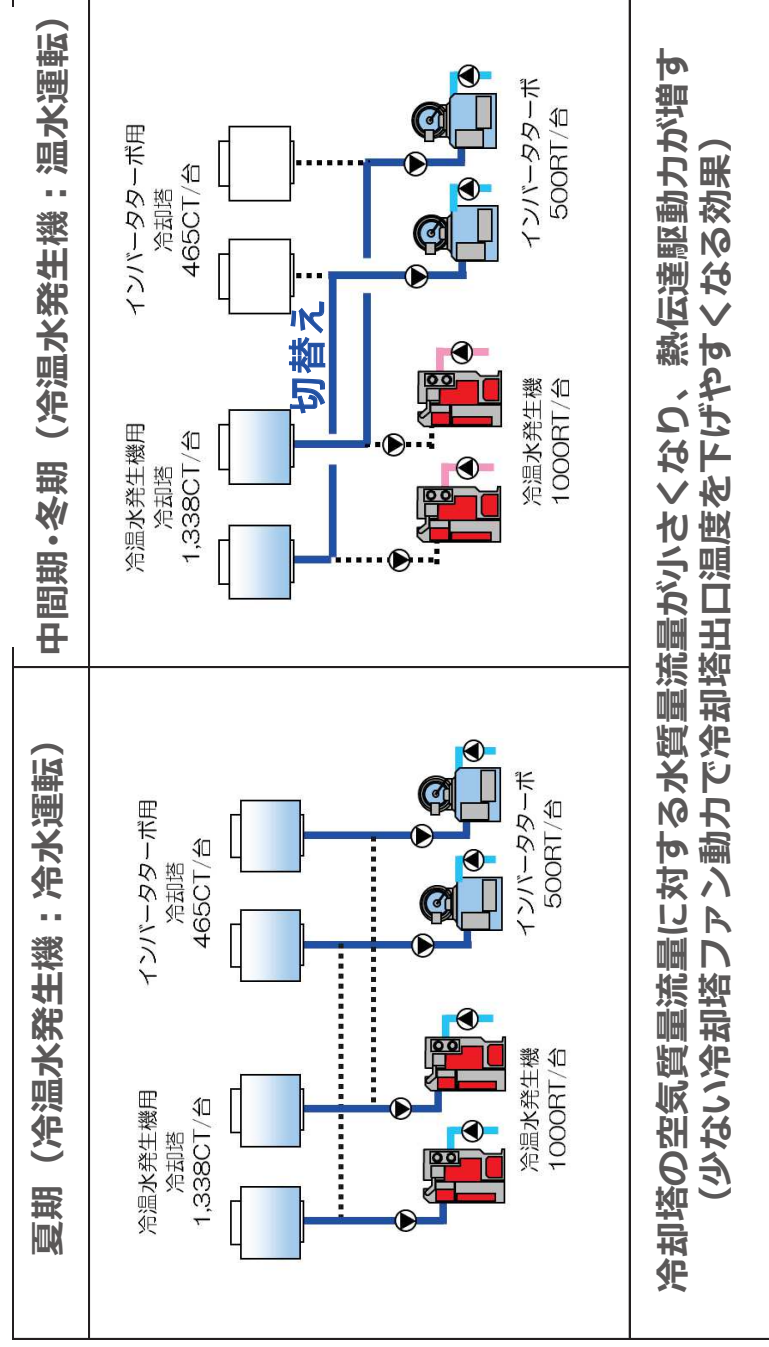
● 十分な点検歩廊開口率

● 高いファンケーシング

● 十分な冷却塔設置間隔

● 冷却塔設置長手方向の外気風の影響確認

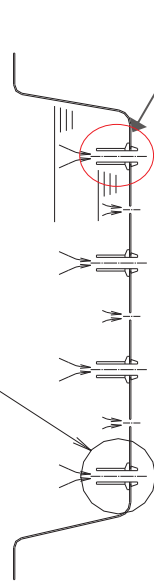
## 冷却塔切り替えシステムの採用



31

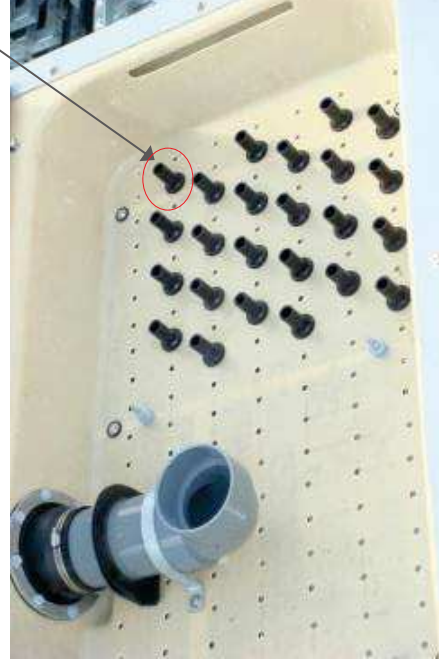
## 冷却水均等通水のための工夫

流量調整ソケット



少量時でも満遍なく  
落水できるよう流量調  
整ソケットを設置

冷却塔上部水槽断面図

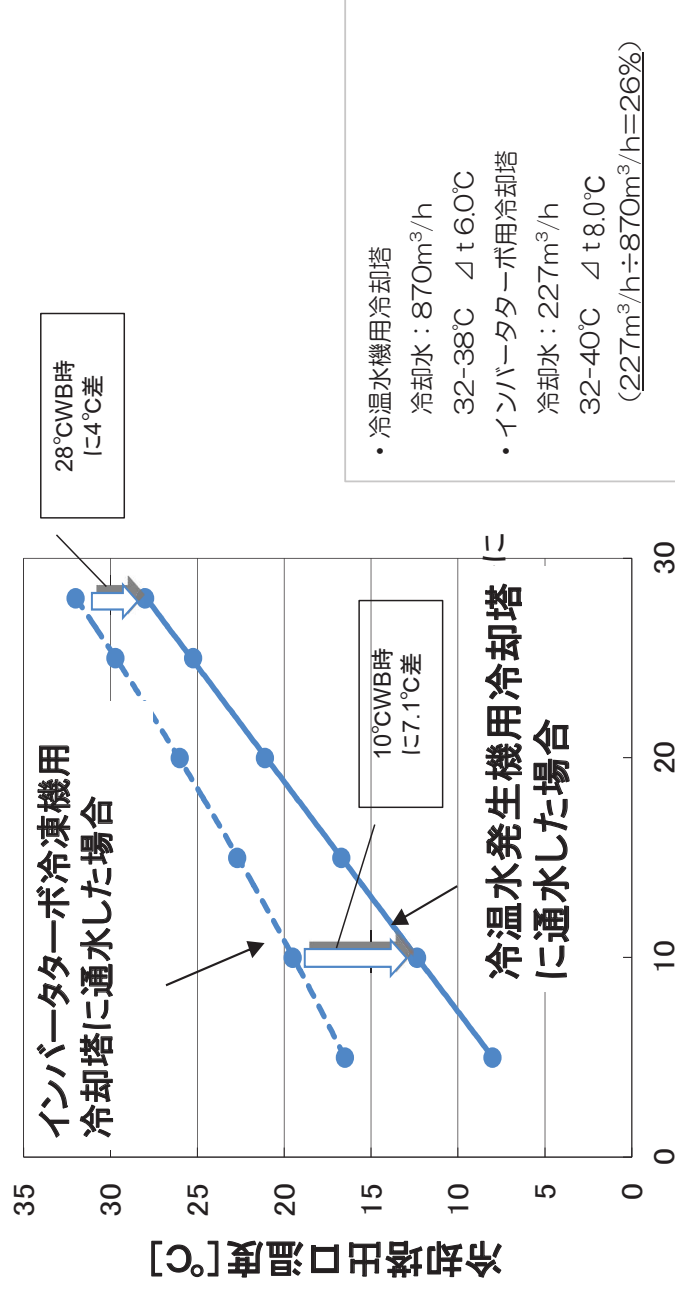


冷却塔上部水槽

32



## 冷却塔性能曲線上における切り替えシステムの効果

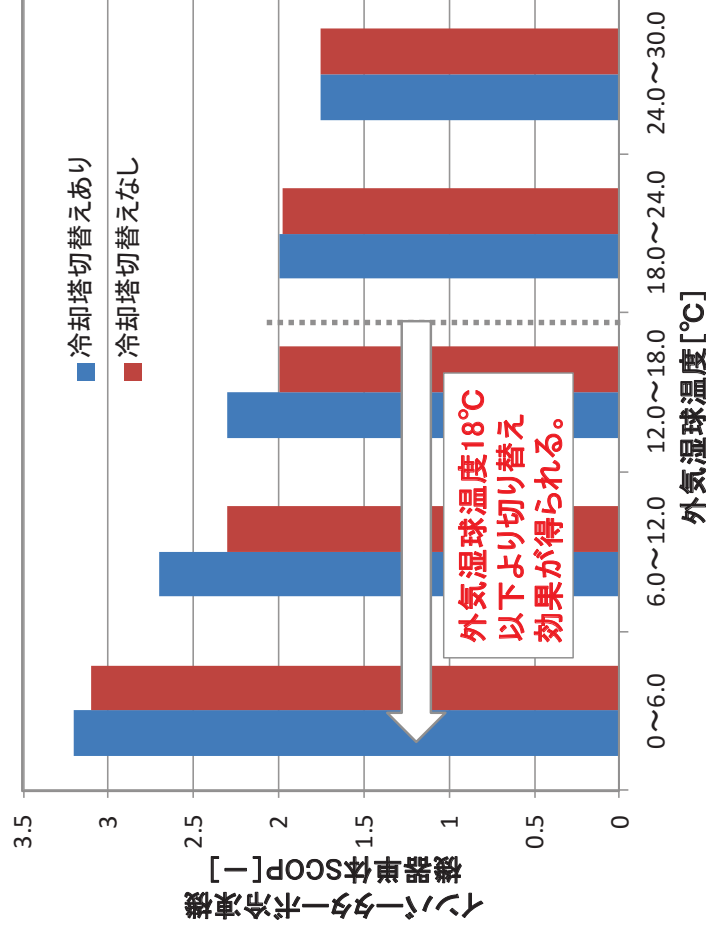


冷温水発生機用の冷却塔に通水した方が低い冷却水が得られる

33

## 冷却塔切換システムのLCEMによる効果確認

切り替えの有無による省エネルギー効果の試算結果（中間期・冬期10月～5月）



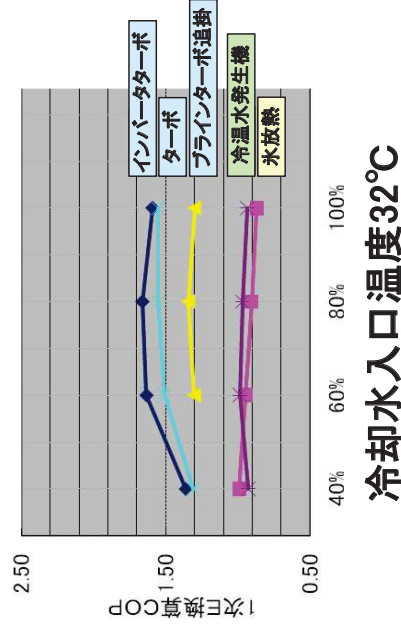
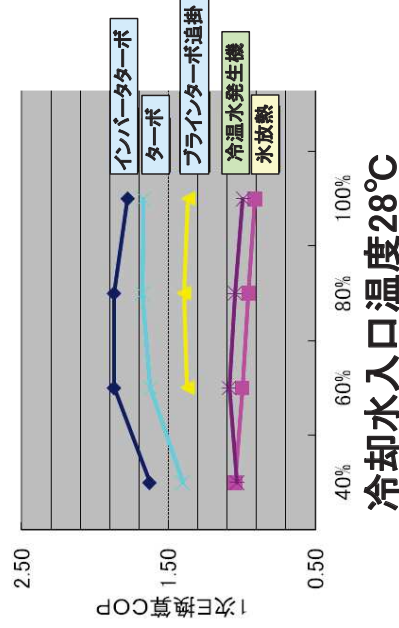
年間の消費エネルギー効果は0.4%

34

# 熱源機器単体のシステムCOPから見た運用方法

## (負荷率・冷却水温度と熱源システムCOPの関係)

- ・冷却水温度に関わらず、電動系がガス系より優位
- ・冷却水温度に関わらずインバーターの方が氷蓄熱よりも優位



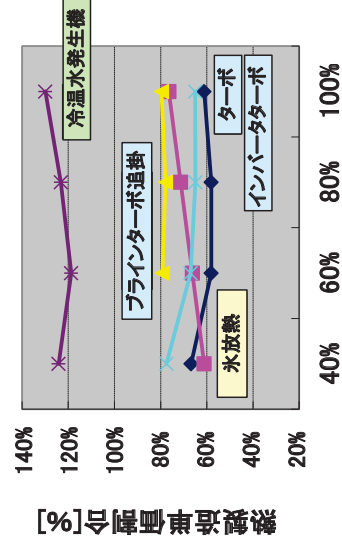
冷却水入口温度24°C

35

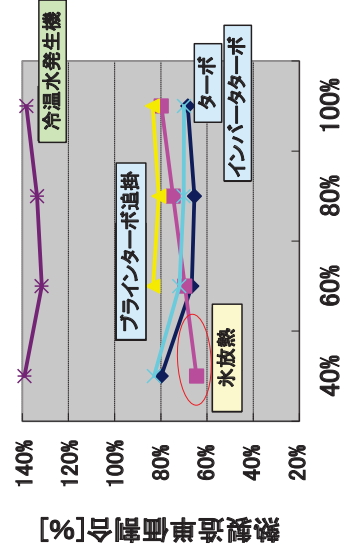
# 熱源機器単体のシステムCOPから見た運用方法

## 負荷率・冷却水温度と熱源製造単価の関係

- ・従量料金で単純計算した場合、ガス系に比べ電動系が優位。
- ・冬季・中間期は、氷蓄熱よりインバーターの方が優位
- ・夏の低負荷時は氷放熱が優位  
→ 盛夏時には熱製造単価が低くなる氷蓄熱システムを積極的に稼動



冷却水入口温度28°C

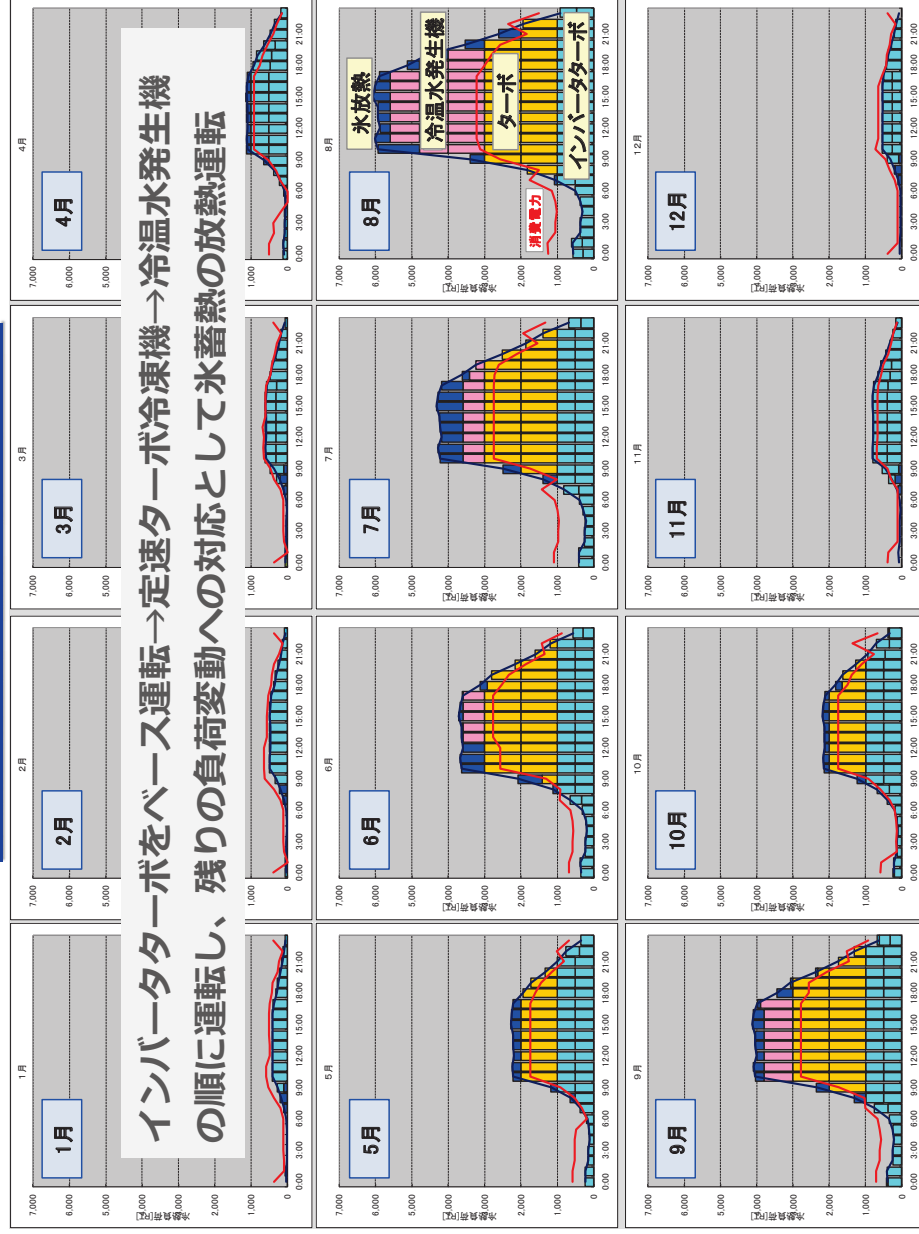


冷却水入口温度32°C

冷却水入口温度24°C

36

## 決定した熱源運転パターン



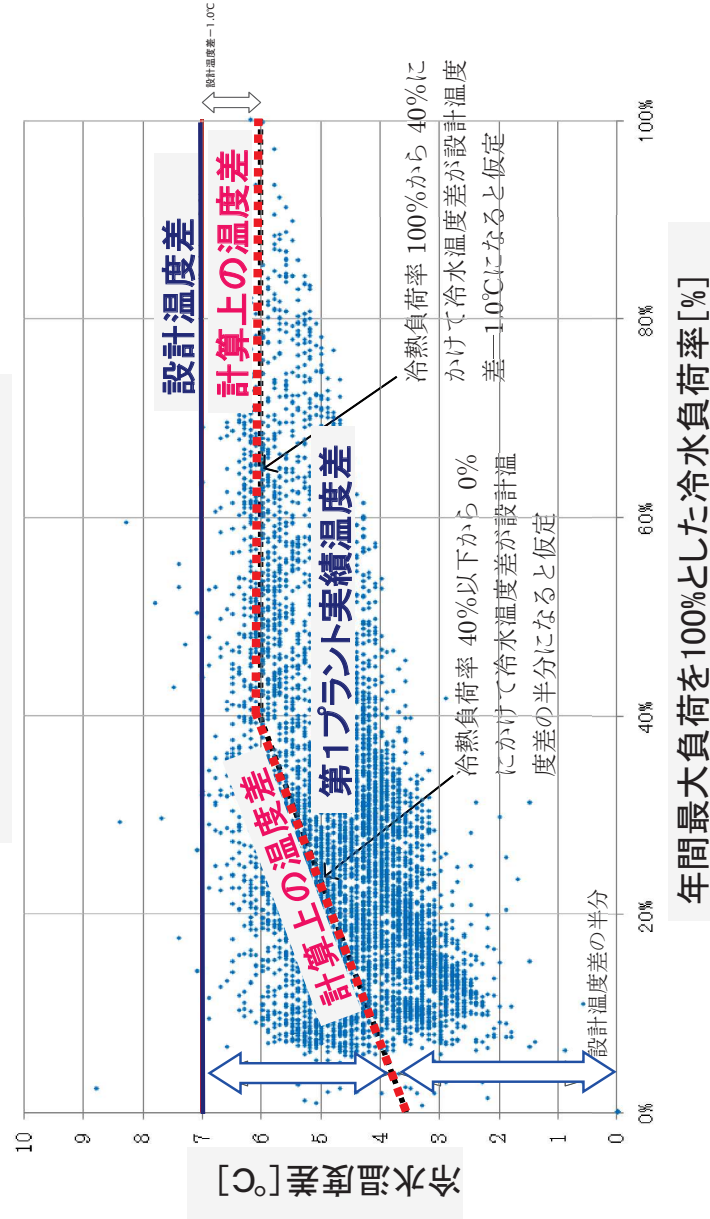
37

## LCEMによる設計性能の確認

- ・実績に合致するシミュレーション
- ・機器間の相互影響、部分負荷に対する熱源システムの挙動を正確に予測できるようLCEMツールをカスタマイズ

38

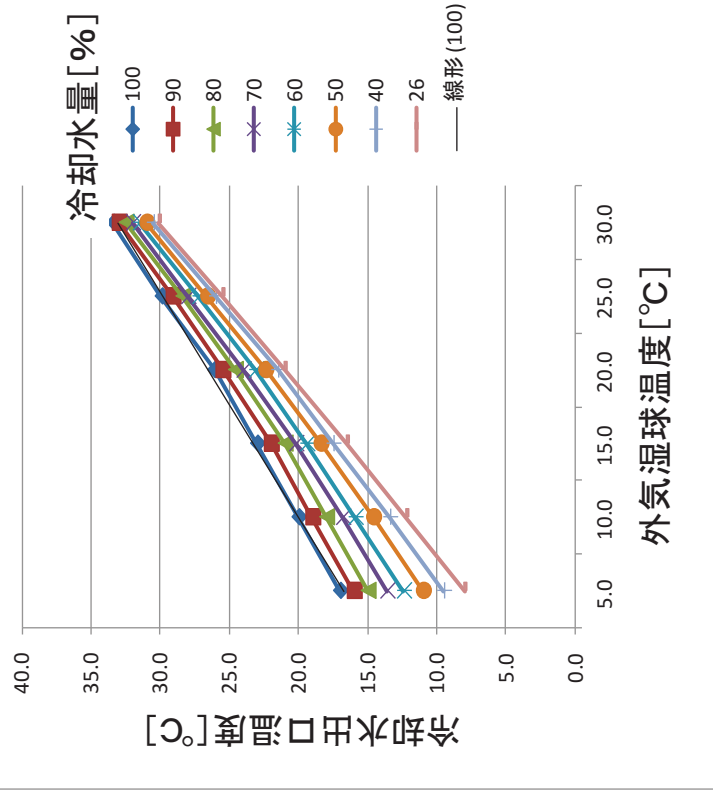
需要家の温度差が設計条件通り確保できない実態を計算に反映



## 冷却塔性能の計算方法

### STEP1

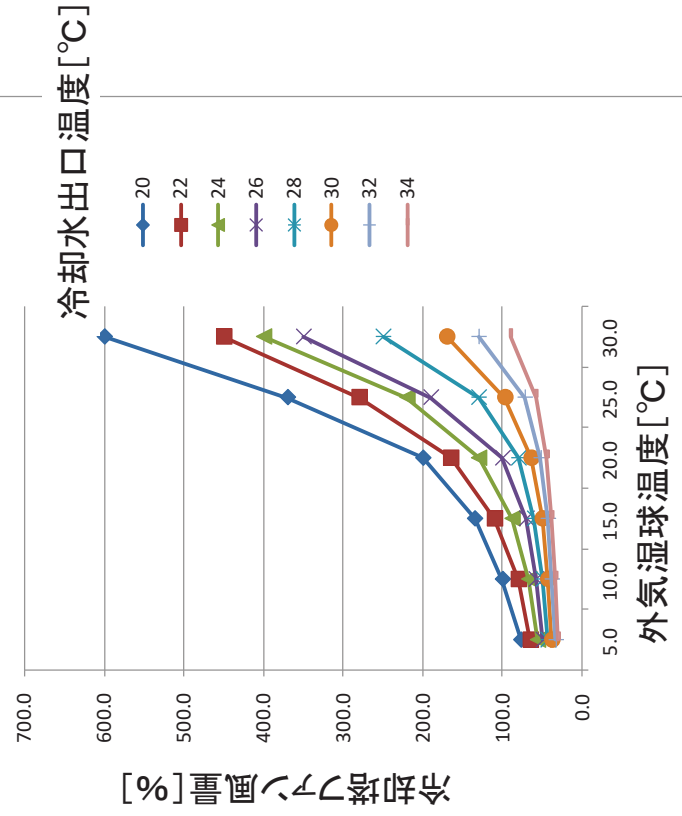
外気湿球温度と冷却水流量から冷却塔出口温度を算出  
(レンジ8.0°C)



## 冷却塔性能の計算方法

### STEP2

外気湿球温度と冷却塔出口温度から  
冷却塔ファン風量を算出（レンジ8.0℃）

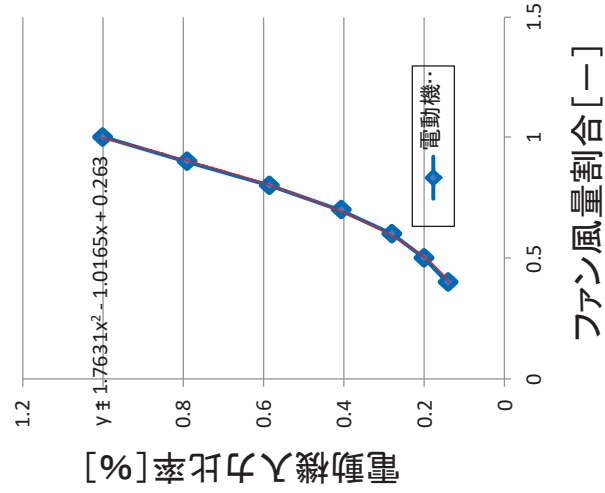


41

## 冷却塔性能の計算方法

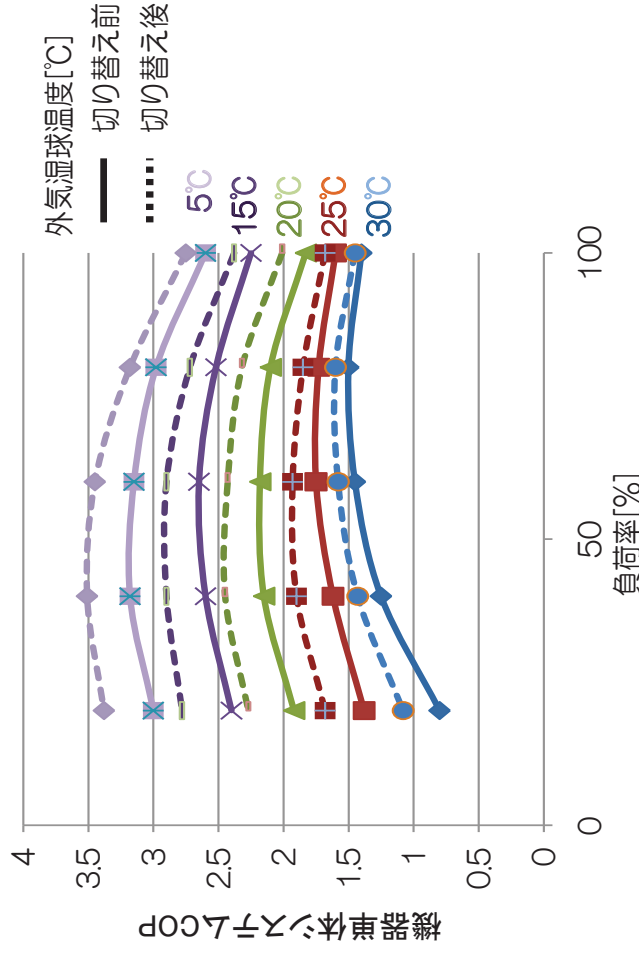
### STEP3

外気湿球温度と冷却塔ファン風  
量から算出される電動機入力比  
（レンジ8.0℃）



42

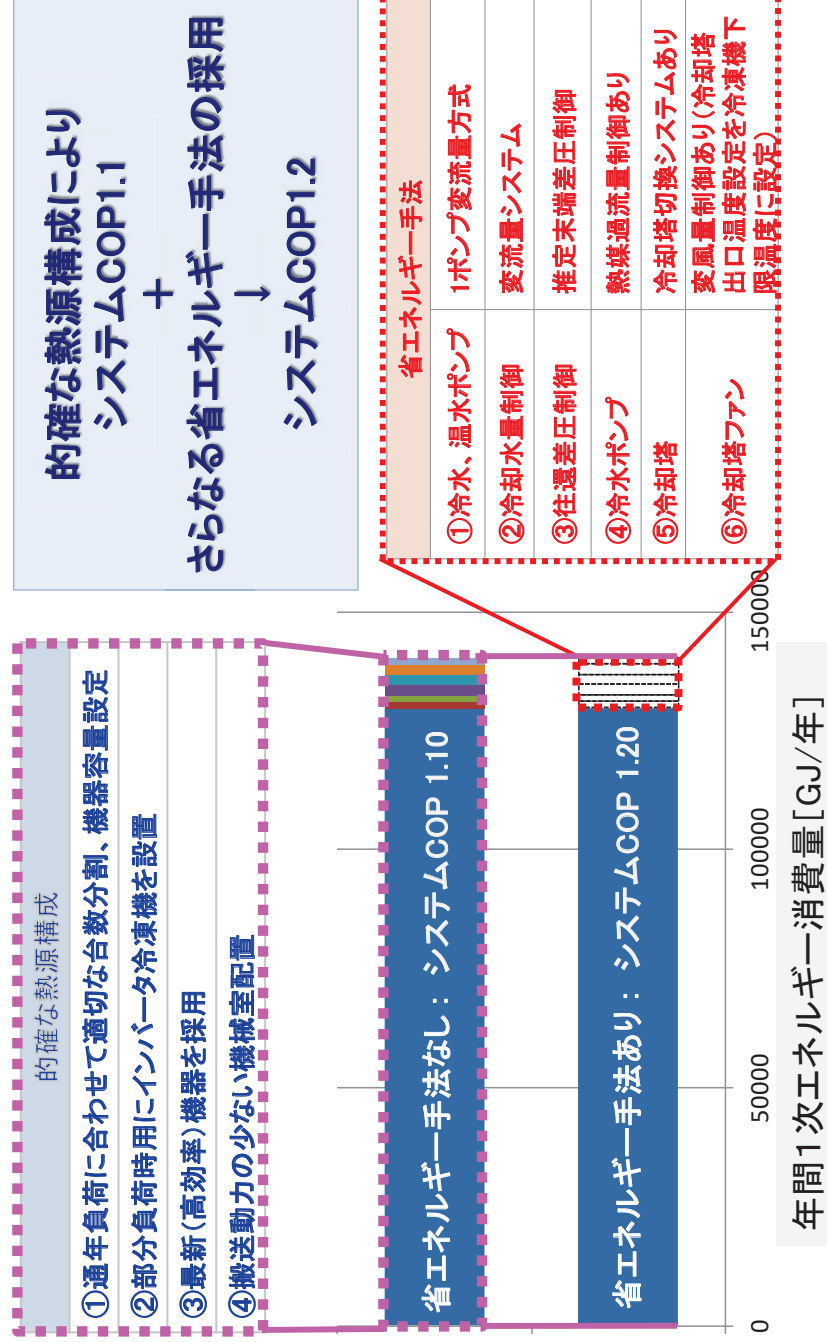
## 500RTインバーターボの冷却塔切り替え効果



大きな冷却塔に均等に散水することで、効率よく冷却水温度を低下させた場合の冷却塔ファン動力削減効果を精度よく計算

43

## 試算結果



44

# 運用改善

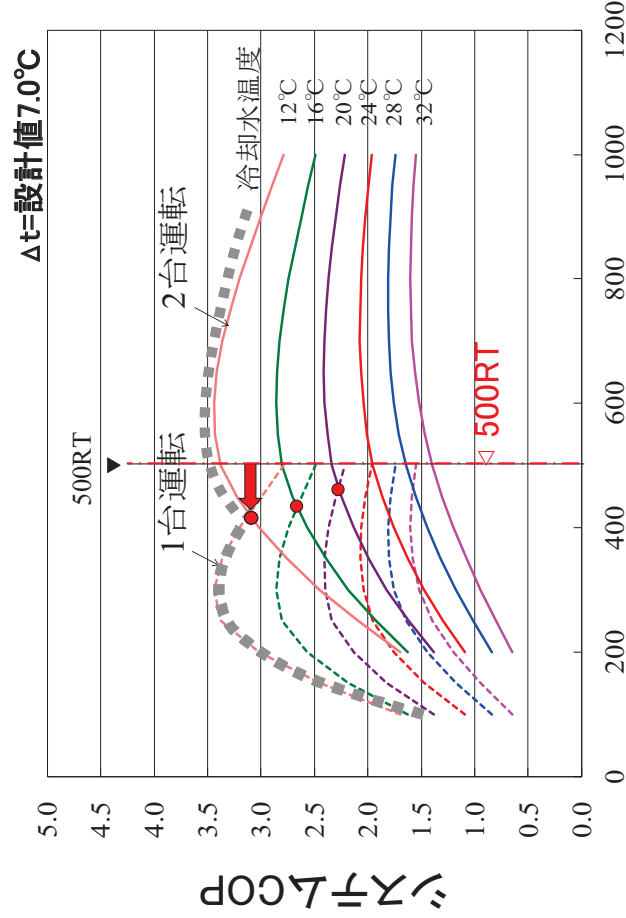
- コスト低減や安定供給を前提に、更に効率向上を見込める運用改善対策を検討し、効果のある対策を実施
- 運用改善と運転管理者の努力により、目標性能以上の運転性能を実現

- オペレータ、供給先が一体となった運用改善の取り組み
- インバータの増減段タイミングの変更
- 冷却水変流量制御から定流量制御への改善
- 熱媒過流量システムの性能検証
- 氷蓄熱システムの運用方法の改善
- 冷却水温度設定の変更
- 冷却塔切替システムの性能検証
- 冬の冷水供給温度の変更
- 夏の返送水温度の確保

45

## 運用

### 早め増段による高効率運転

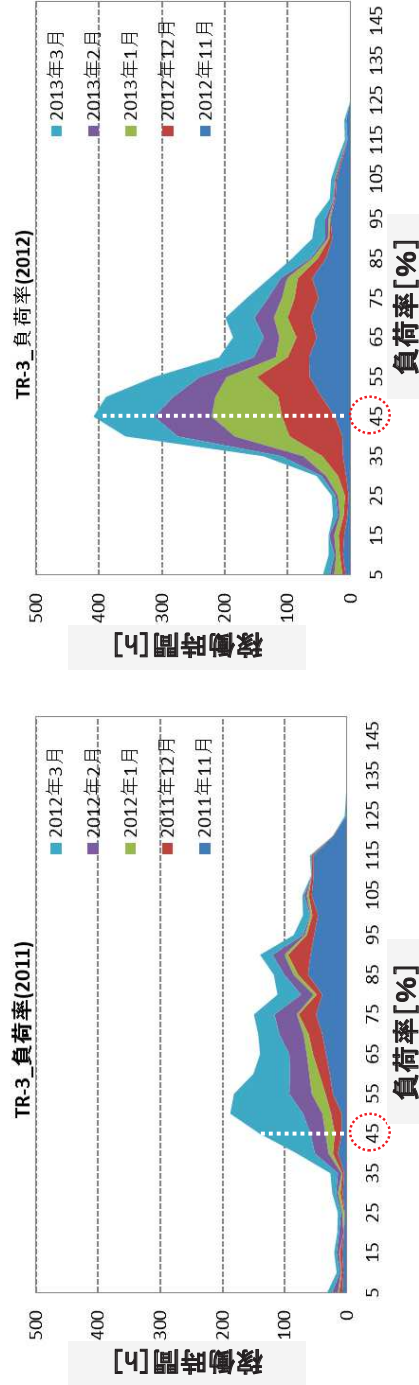


### 冷凍機製造熱量[RT]

冷却水温度が低いほど、早めに2台目を増段させたほうが、システムCOPは向上

46

## 早め増段の取組結果（運転パターン）

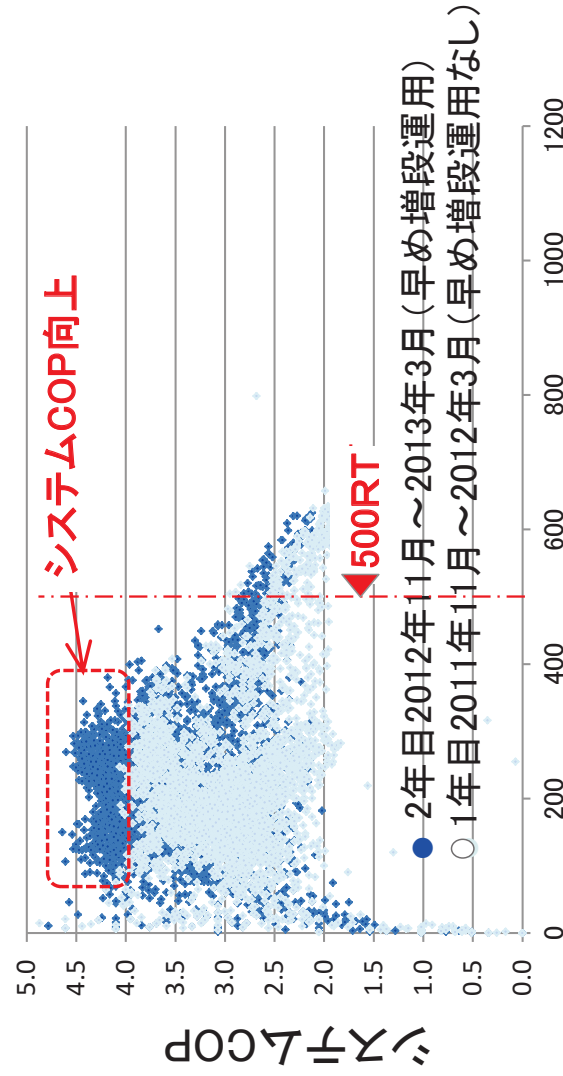


### インバーターボの運転負荷率頻度分布 1年目(2011年)と2年目(2012年)の比較

早め増段運用により、部分負荷運転の稼働時間が増加

47

## 早め増段の取組結果（システムCOP）



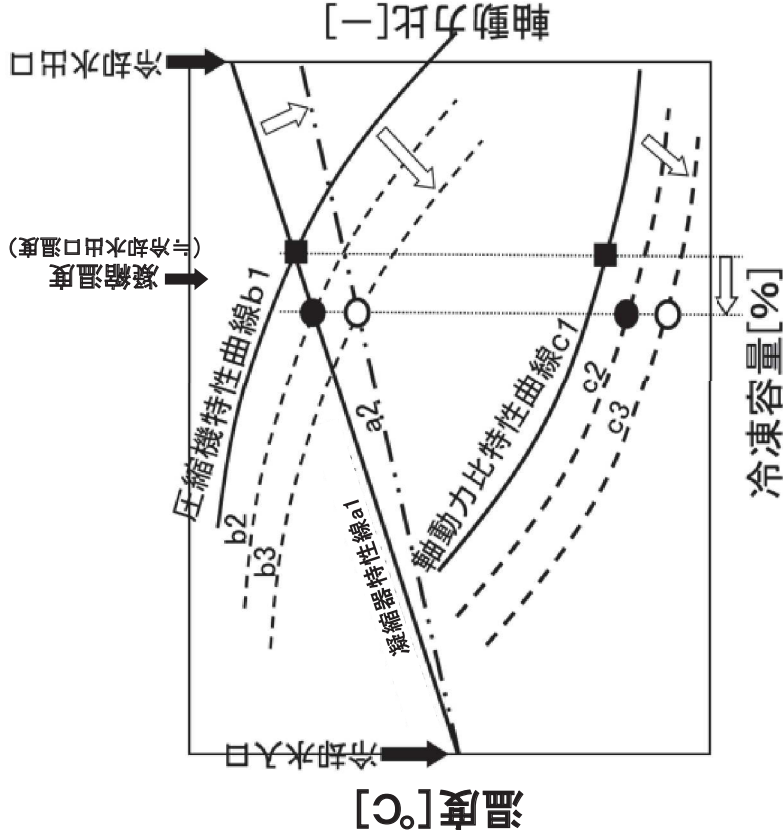
冷凍機製造熱量(インバーターボ2台合計熱量)[RT]

インバーターボ増減段タイミング変更によってシステムCOP向上

48

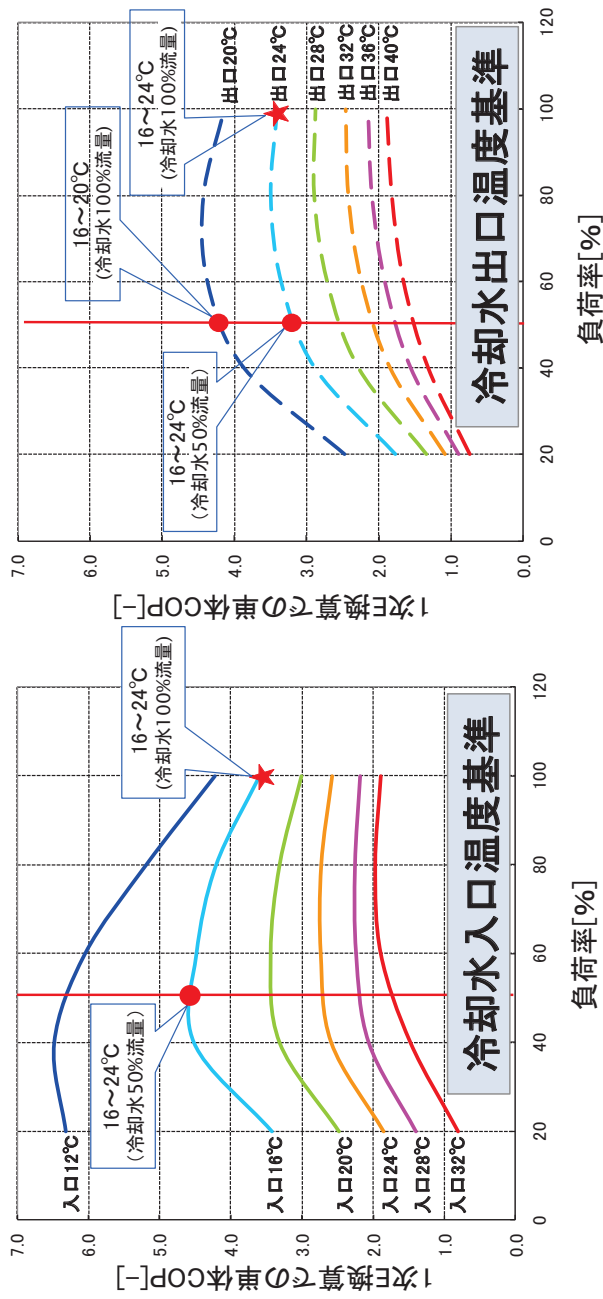


# 冷却水流量制御方法によるインバーターボ冷凍機の作動特性



- 100% 負荷時運転ポイント (冷却水変流量制御)
- 部分負荷時運転ポイント (冷却水変流量制御)
- 部分負荷時運転ポイント (冷却水定流量制御)

# 冷却水出口基準による性能評価



## インバーターボ冷凍機一次エネルギー—換算単体COP

インバーターボ冷凍機の高い部分負荷効率  
 → 負荷率に応じて変化する凝縮温度とそれに  
 合わせて変化する圧縮機回転数との組み合わせ  
 わせで実現

冷却水変流量制御を行う場合は、冷却水出口  
 温度を最適運転のためのパラメータにする  
 ことが合理的

## 冷却水変流量制御の省エネルギー性

インバーターボ冷凍機の高い部分負荷効率  
 →負荷率に応じて変化する凝縮温度とそれに合わせて変化する圧縮機回転数との組み合わせで実現

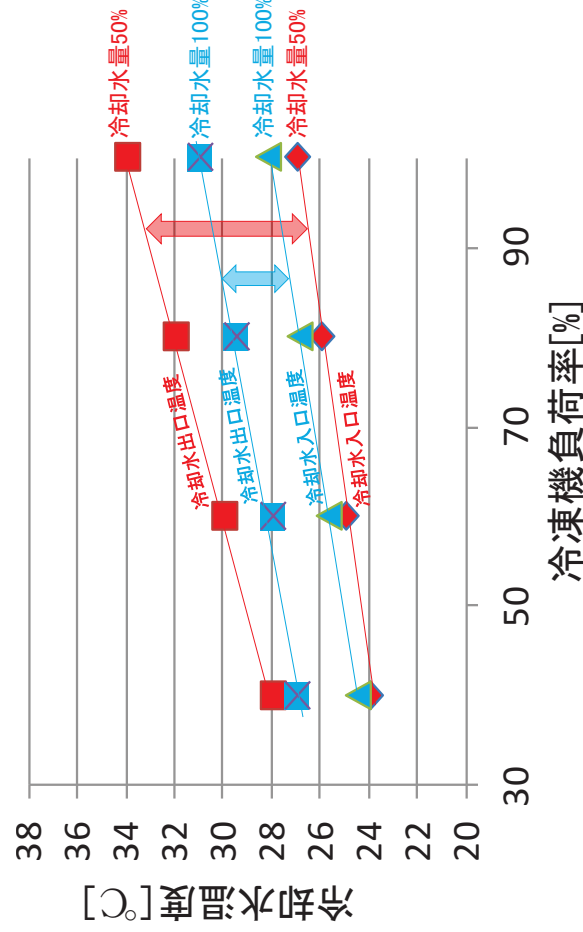
冷却水変流量制御を行う場合は、冷却水出口温度を最適運転のためのパラメータにすることが合理的

LCEMツールに冷却水出口温度基準で冷凍機性能を計算できる機能を追加した上で、冷却水変流量制御と定流量制御の比較試算

夏期ピーク期間（7,8月）以外は冷却水定流量制御の方が省エネルギーであるという検証結果

51

## 冷却水の変流量制御による冷却塔性能の変化（LCEM試算）

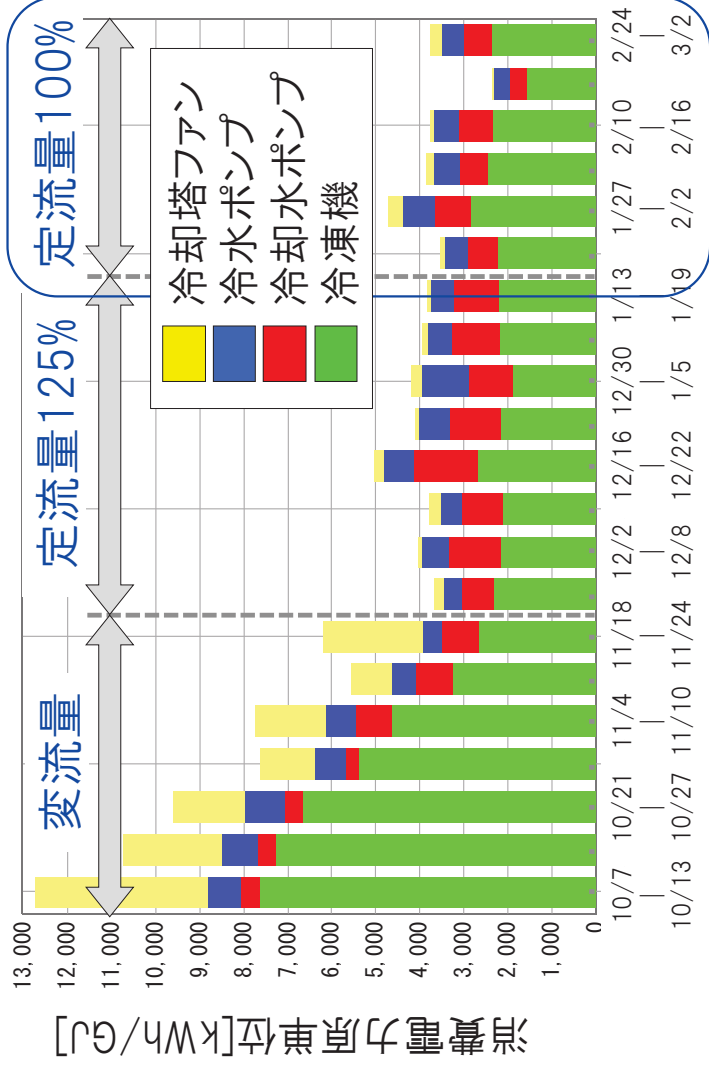


冷却水量を100%→50%に変えた場合の冷却水出入口温度  
 （湿球温度22.0°C固定）

冷却水を絞った場合の熱伝達駆動力が増す効果よりも冷凍機冷却水出口温度が高くなることの方が効率が大きく影響

52

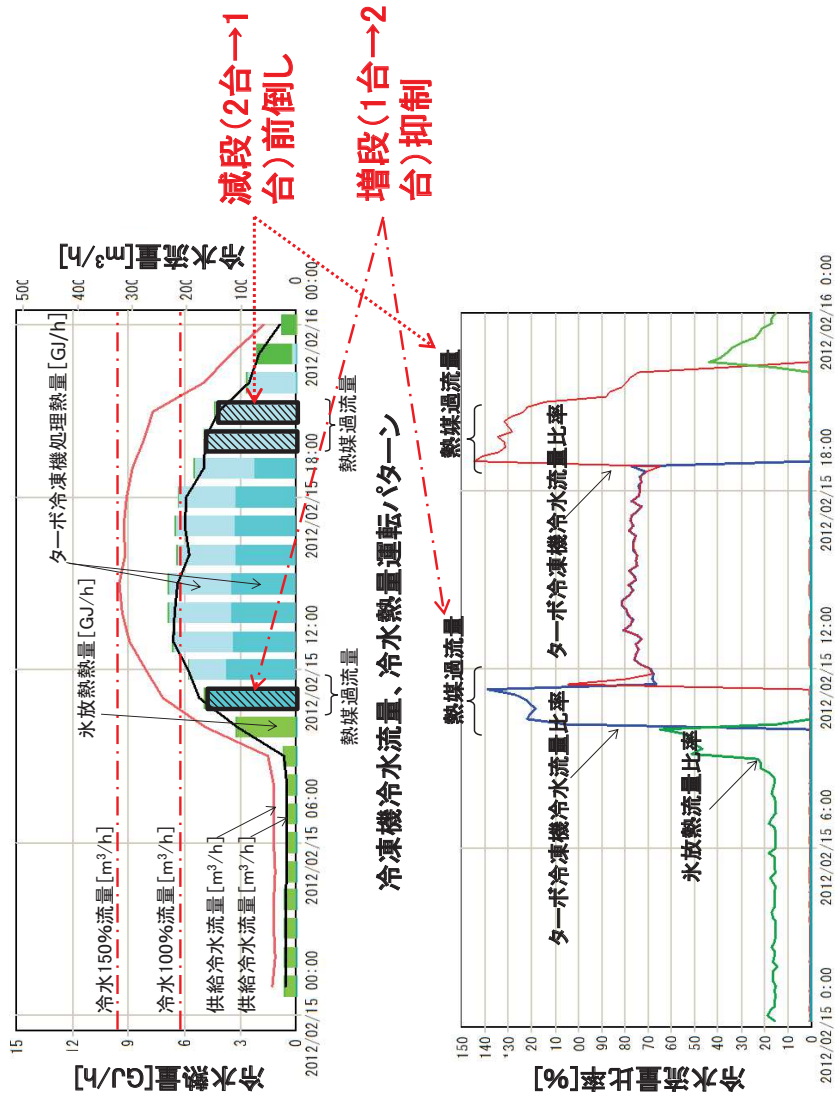
冷却水の変流量制御による冷却塔性能の変化 (実測結果)



日付(1週間単位) → 最も効率が低い

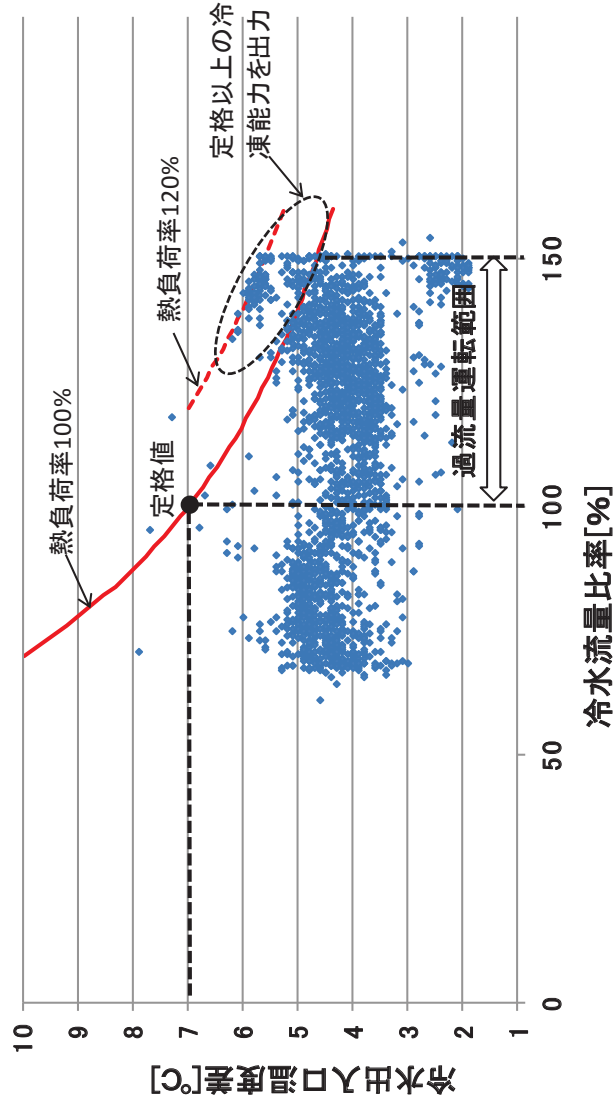
2年目以降インバーター冷水凍機の冷却水制御を定流量制御 (100%流量) へ変更

熱媒過流量制御の運転実績



冷水流量比率の推移

## 熱媒過流量制御の導入効果

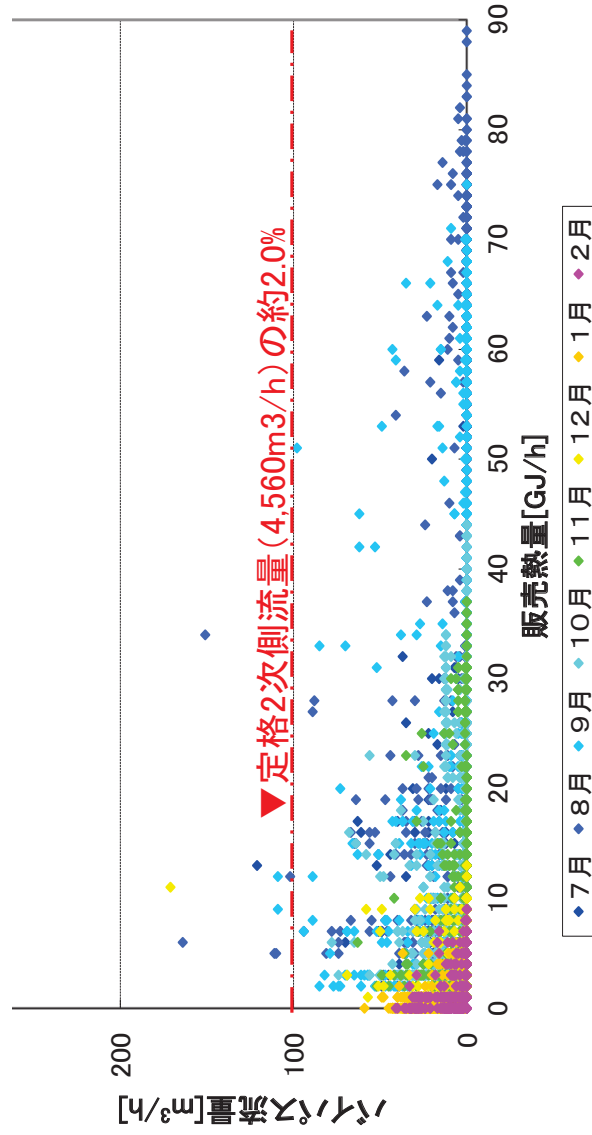


冷却水温度が低い場合、同一の冷凍能力を出力する場合であっても圧縮機の所要ヘッドが小さくなる（冷媒流量もわずかさずかなくて済む）

熱媒過流量制御運転を行うことで同一の電動機出力で循環可能な冷媒流量が大きくなるため、定格冷媒能力以上の出力が可能

55

## 熱媒過流量制御の運転実績

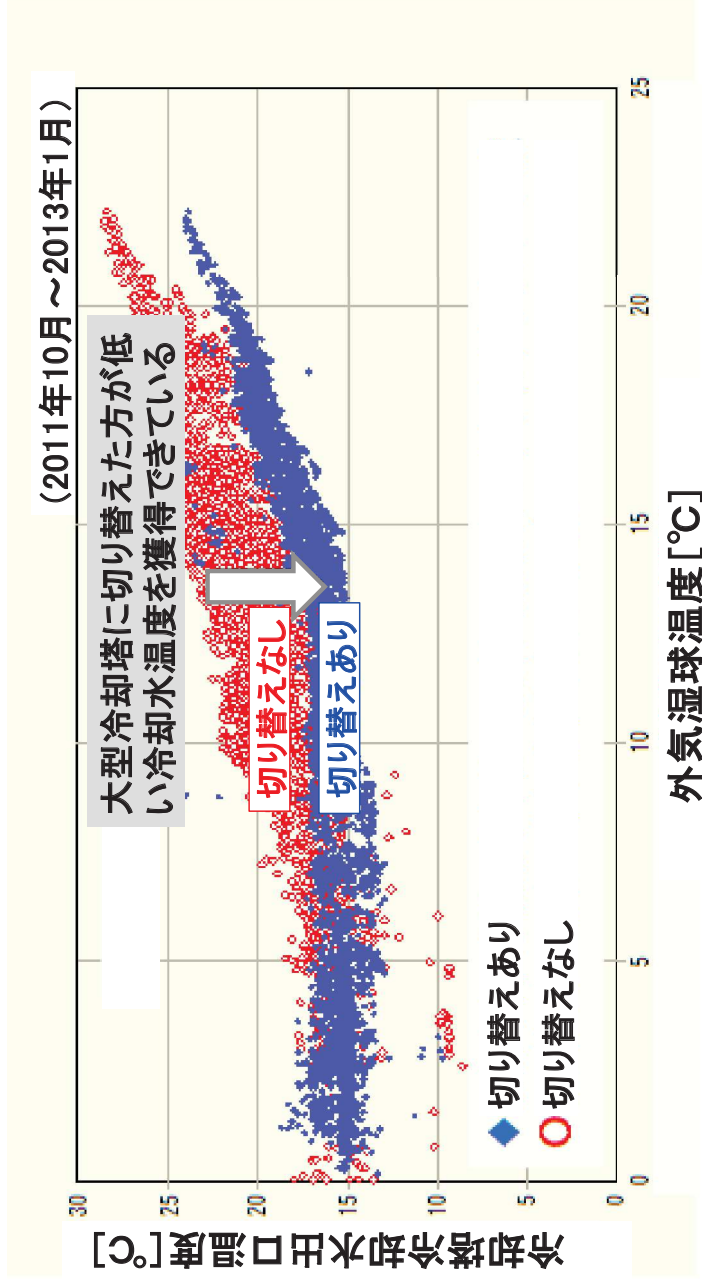


冷水往返ヘッド間のバイパス流量（冷水流量－冷水供給流量）はほとんどなく、供給流量に合わせた適切な流量制御が行われている

56

## 冷却塔切換システムの運用データによる評価

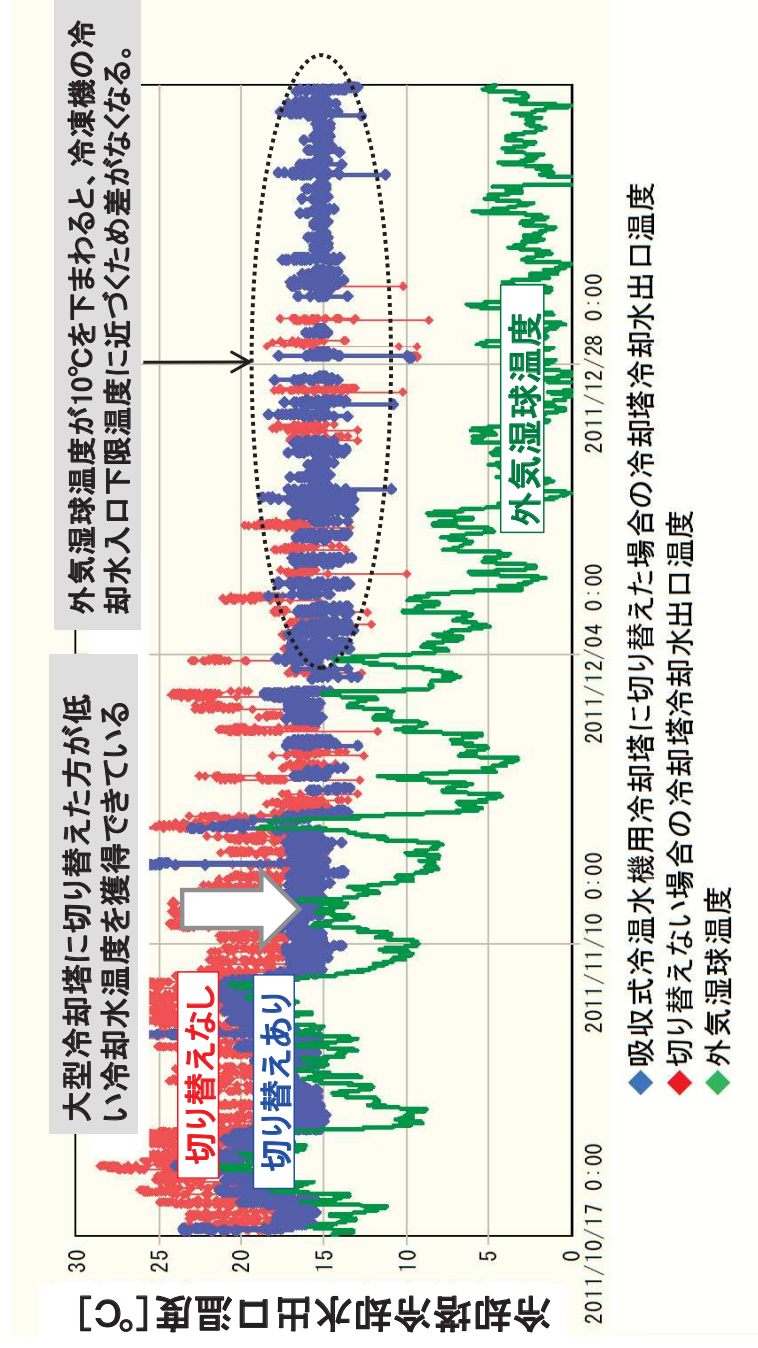
大型冷却塔に切り替え通水したものと、切り替えないものを同時に比較運転



57

## 冷却塔切換システムの運用データによる評価

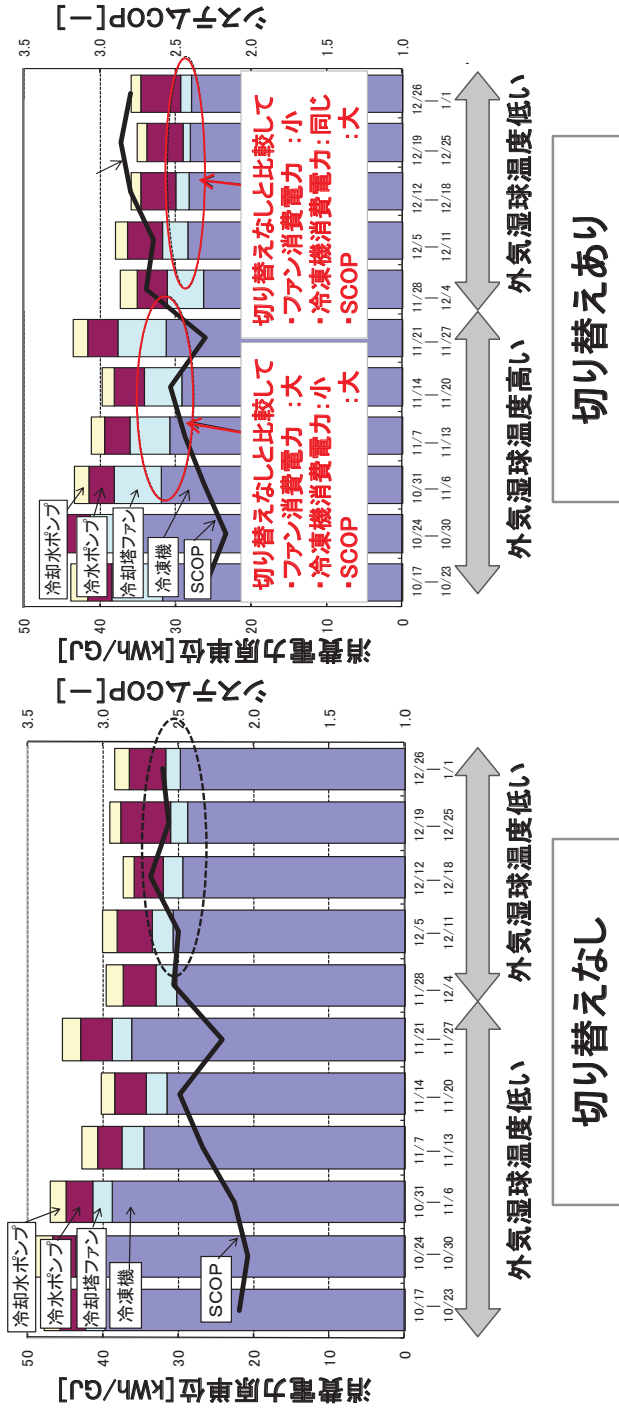
大型冷却塔に切り替え通水したものと、切り替えないものを同時に比較運転



58

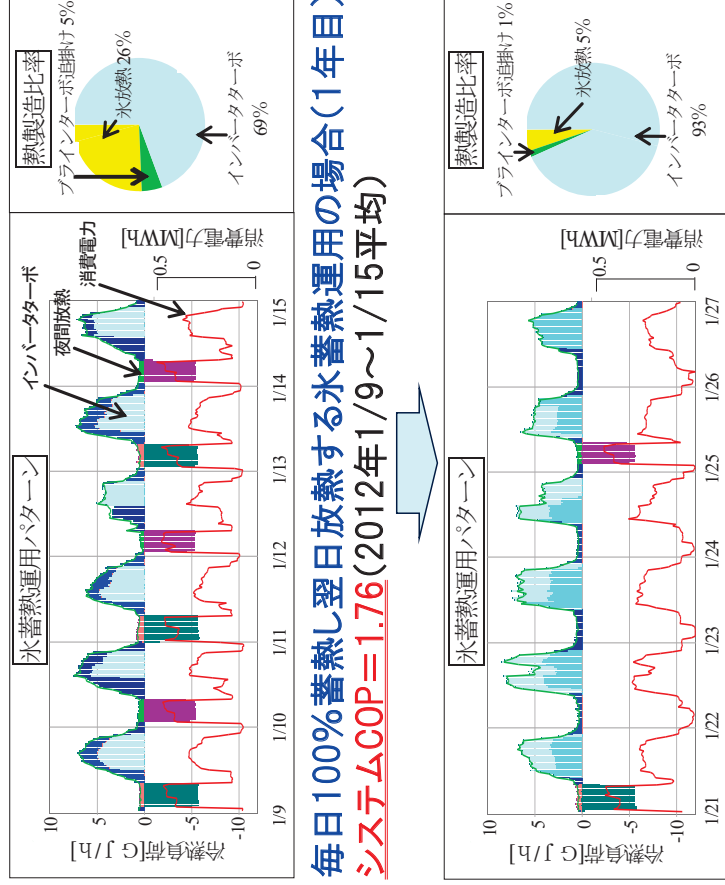
# 冷却塔切换システムの運用データによる評価

冷却塔を切り替えない場合と切り替えた場合の冷熱1GJあたりの消費電力量とシステムCOPの経時変化を比較



# 氷蓄熱システムの運用方法改善

中間期・冬期は極小かつ冷水温度差が小さい負荷用、あるいは非常時バックアップ用として氷蓄熱を運用



# 冷却水温度を考慮した増減段ガイダンス

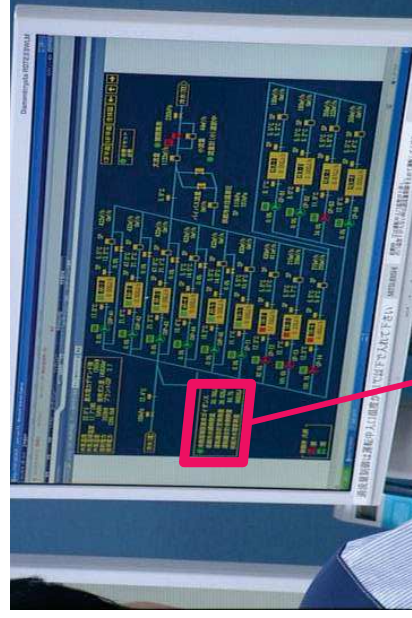
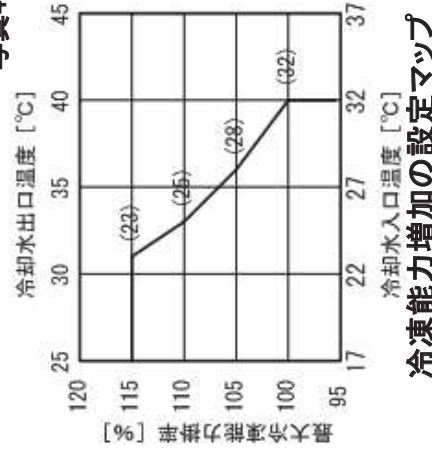


写真4.1 中央監視装置とガイダンス画面



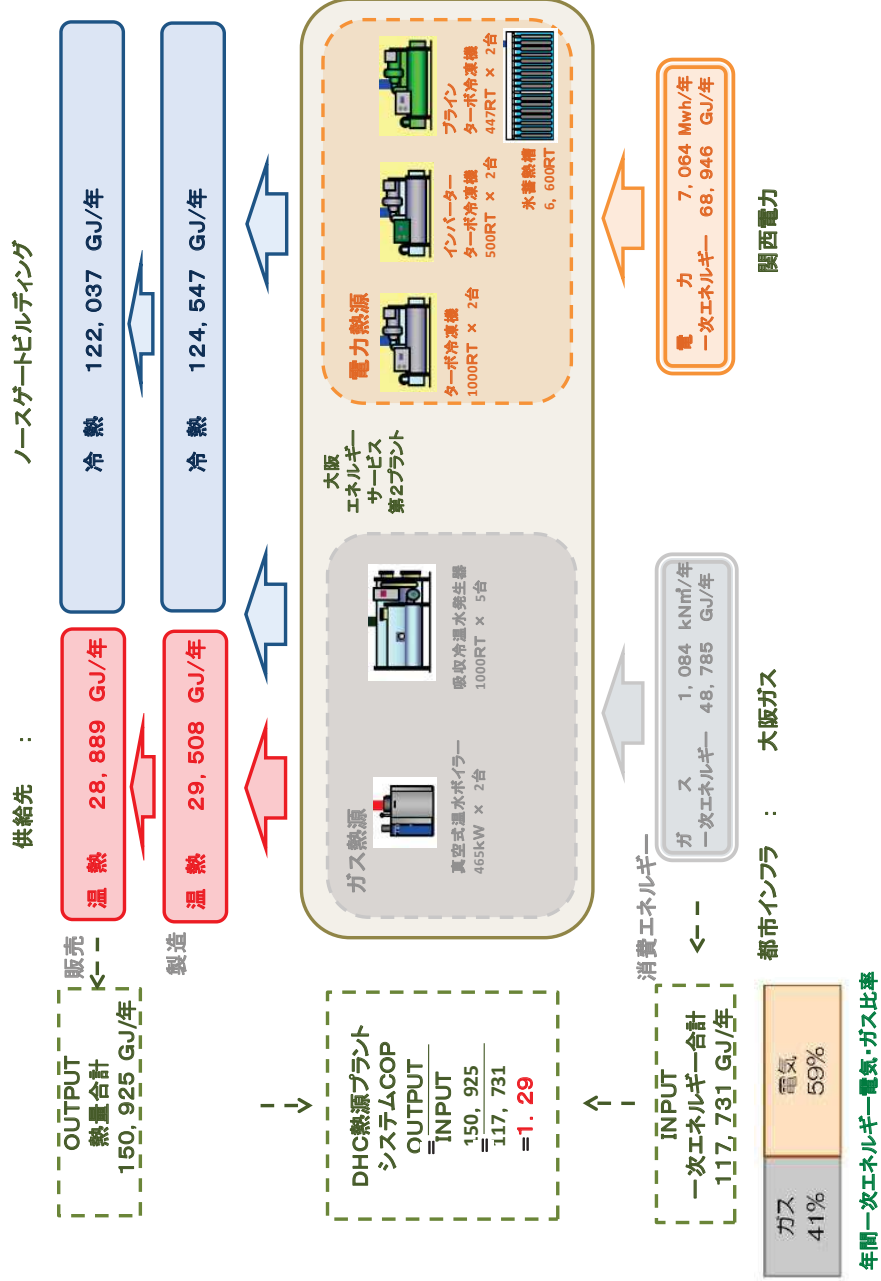
冷却能力増加の設定マップ



冷却水温度に応じた冷凍能力の増加分を加味した運転冷凍機の合計能力を表示。

## 性能検証結果

# プラントのエネルギー収支



# システムCOPの推移

