

NPO法人建築設備コミッショニング協会  
—BSCA10周年記念シンポジウム in 関西—



# 大阪市内 某熱供給施設の イニシャルコミッショニング

平成25年 7月30日(火)  
於:武庫川女子大学 甲子園会館

西山 満(CxPE)  
株式会社大気社

1. 施設概要
2. 性能検証のプロセス
3. 性能検証の結果
4. まとめ



# 1. 施設概要

## 【対象建物(需要家)規模】

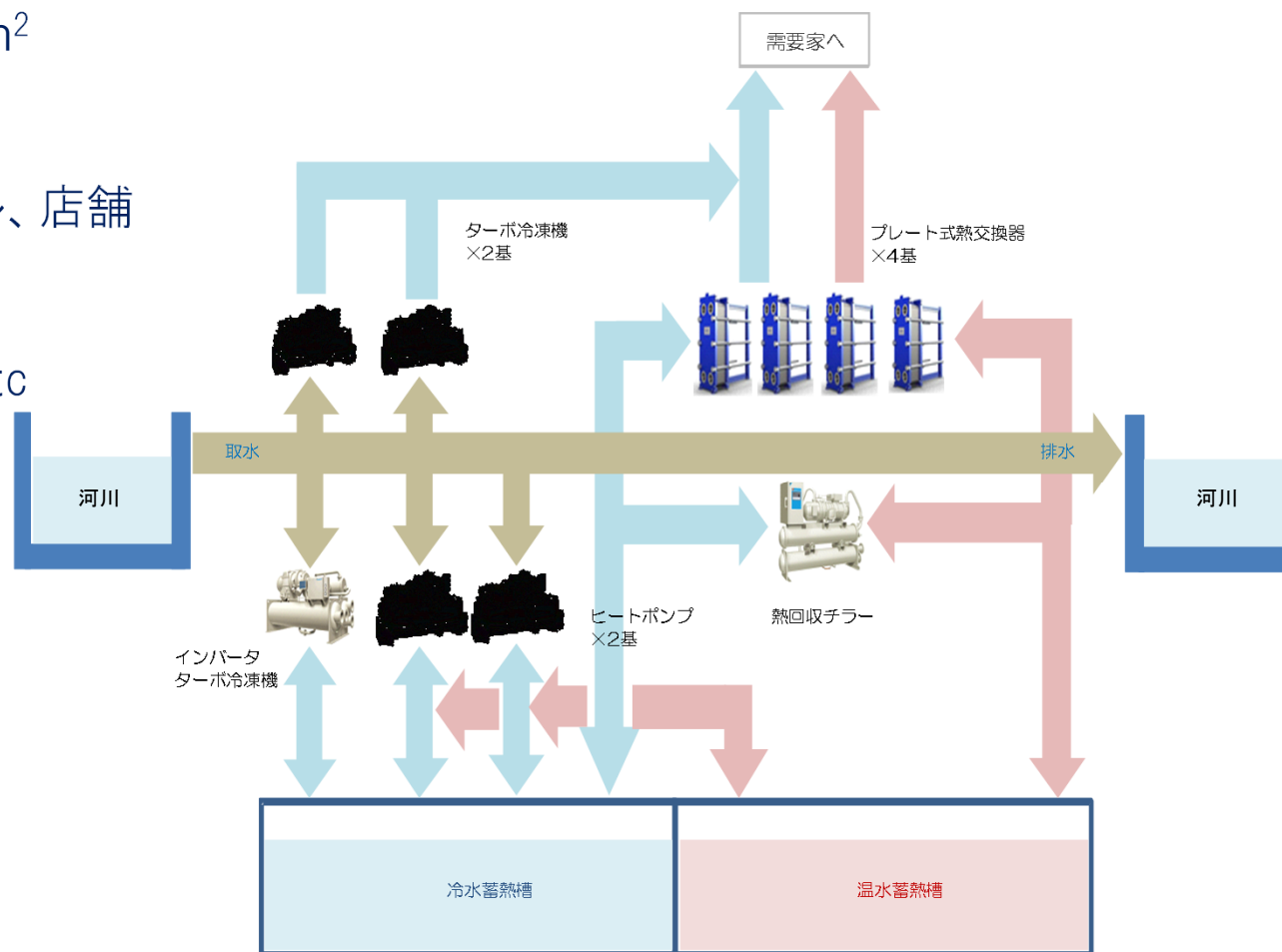
- 規模: 地下3階、地上39階  
延べ床面積: 約146,000m<sup>2</sup>

## 【建物用途】

- 主な用途: 事務所、ホール、店舗

## 【分析データ】

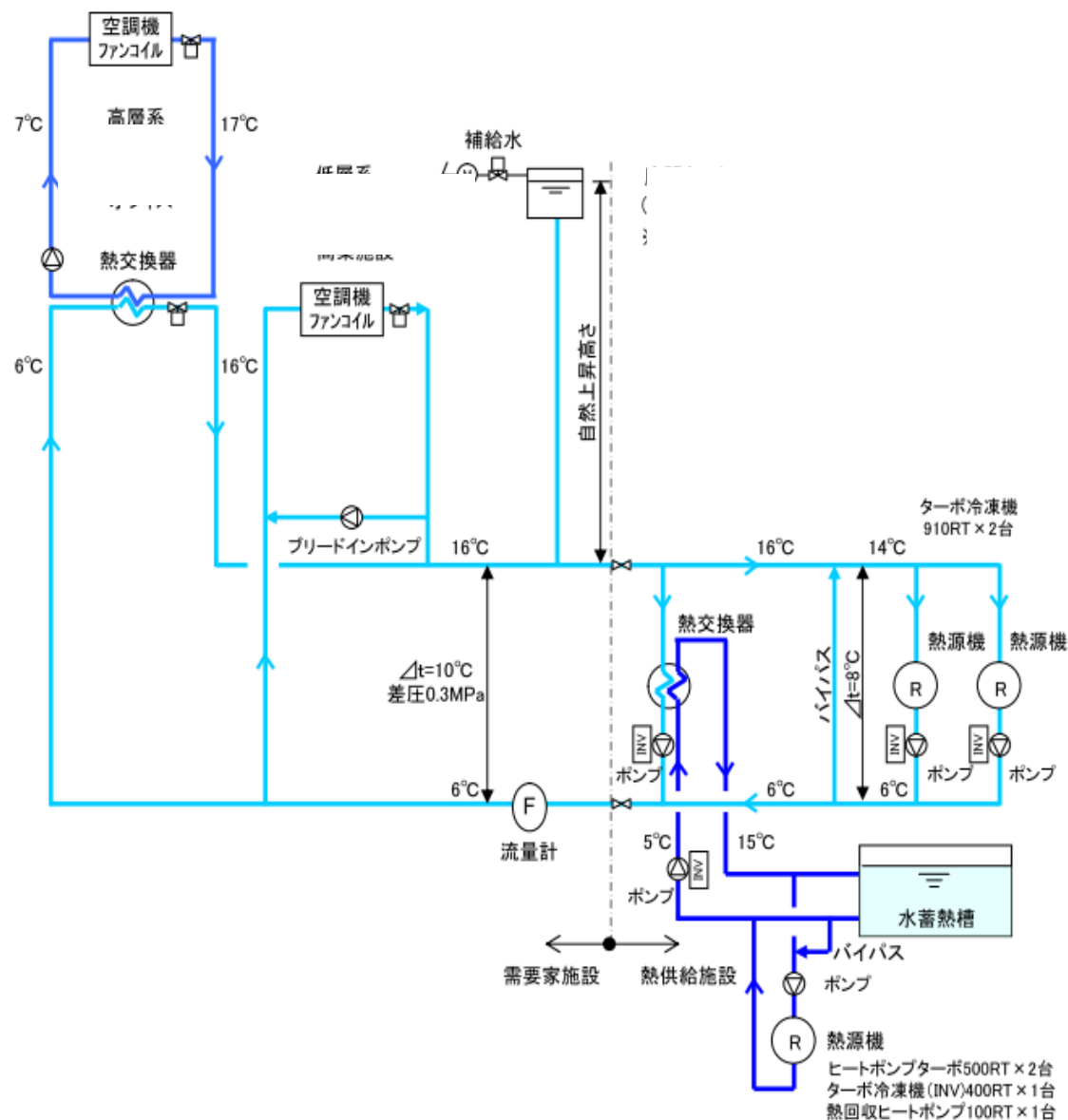
- min、Hour、Day、Month etc
- 1164ポイント
- データ容量: 約350MB/月



# 設備容量

機器番号	名称	冷却能力	加熱能力	定格COP
R-01	ヒートポンプ	500RT (6,336MJ/h) (冷水: 10°C→5°C)	2,000kW (7,200MJ/h) (温水: 39.3°C→45°C)	冷却時: 4.99
R-02	ヒートポンプ			加熱時: 4.94
R-03	熱回収ヒートポンプ	100RT (1,260MJ/h) (冷水: 12°C→5°C)	450kW (1,620MJ/h) (温水: 39°C→46°C)	暖房基準: 4.37 冷房基準: 3.40 総合: 7.77
R-04	ターボ冷凍機(インバータ)	400RT (5,076MJ/h) (冷水: 11°C→5°C)	—	5.22
R-05	ターボ冷凍機	910RT (11,520MJ/h) (冷水: 14°C→6°C)	—	5.71
R-06	ターボ冷凍機			
	熱源機小計	3,220RT (40,788MJ/h)	4,000kW (14,400MJ/h)	
CT-1	水蓄熱槽(冷水槽)	181RT (2,290MJ/h)	—	
CHT-2	水蓄熱槽(冷温水槽)	270RT (3,416MJ/h)	1,898kW (6,832MJ/h)	
CHT-3	水蓄熱槽(冷温水槽)	184RT (2,331MJ/h)	1,295kW (4,661MJ/h)	
	水蓄熱槽小計	635RT出力 (10時間放熱)	3,193kW出力 (5時間放熱)	
	合計	3,855RT (48,825MJ/h)	7,193kW (25,893MJ/h)	

# 熱供給方式



- 高層系統は間接利用方式 (プレート熱交換器で系統分離)
- 低層系統は直接利用方式

## 【供給温度】

	往	還	温度差
冷水	6°C	16°C	10°C
温水	44°C	34°C	10°C

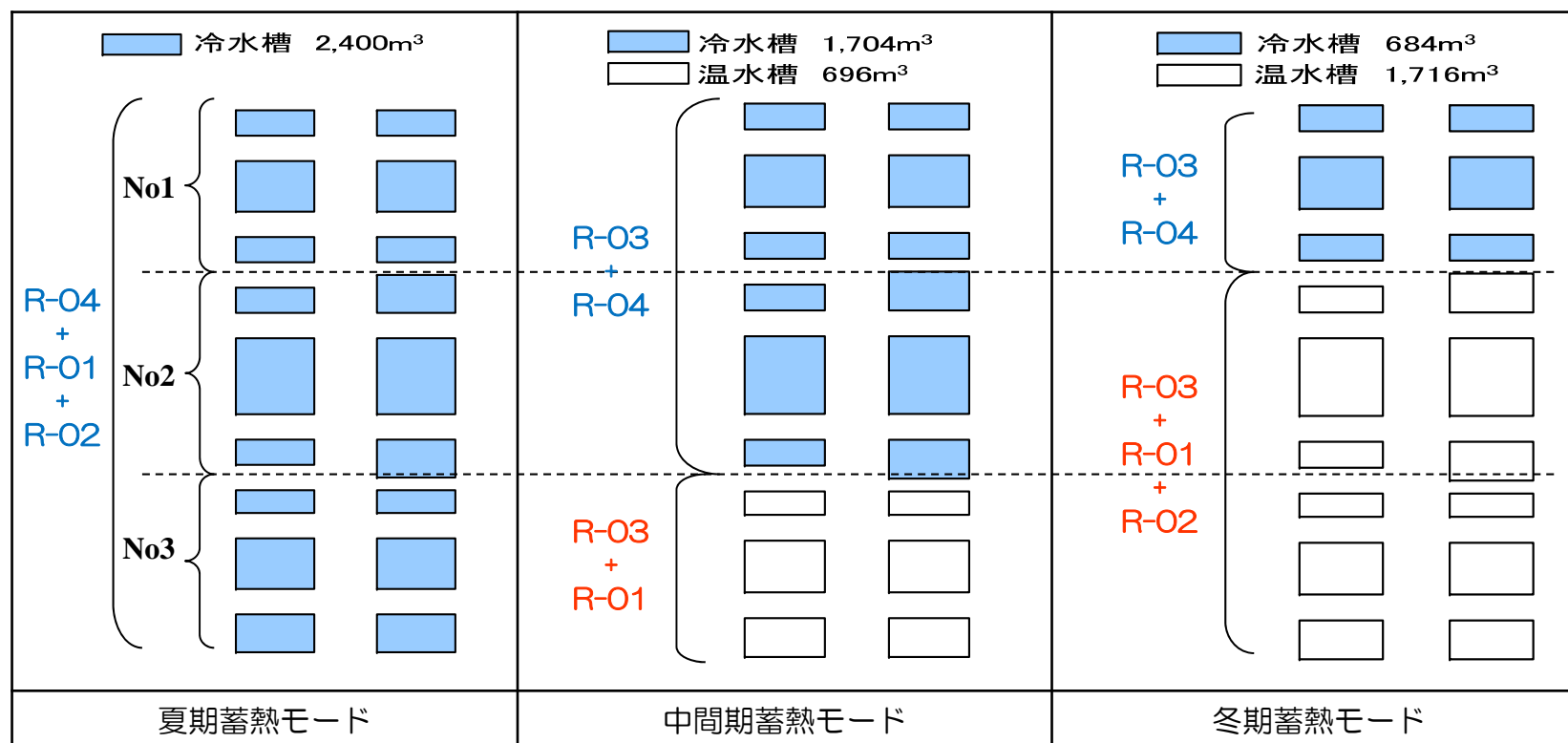
# 蓄熱槽の運用

(1) 運転モード(5月～10月は再熱用温熱負荷なし)

	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
運転モード	冬	冬	中間	中間	夏	夏	夏	夏	夏	夏	中間	冬

(2) 蓄熱槽運転

蓄熱槽は季節により冷水槽と温水槽の水量を切り替え、夏期・中間期(3～11月)は冷水槽を、冬期(12～2月)は、温水槽を主体として使用する





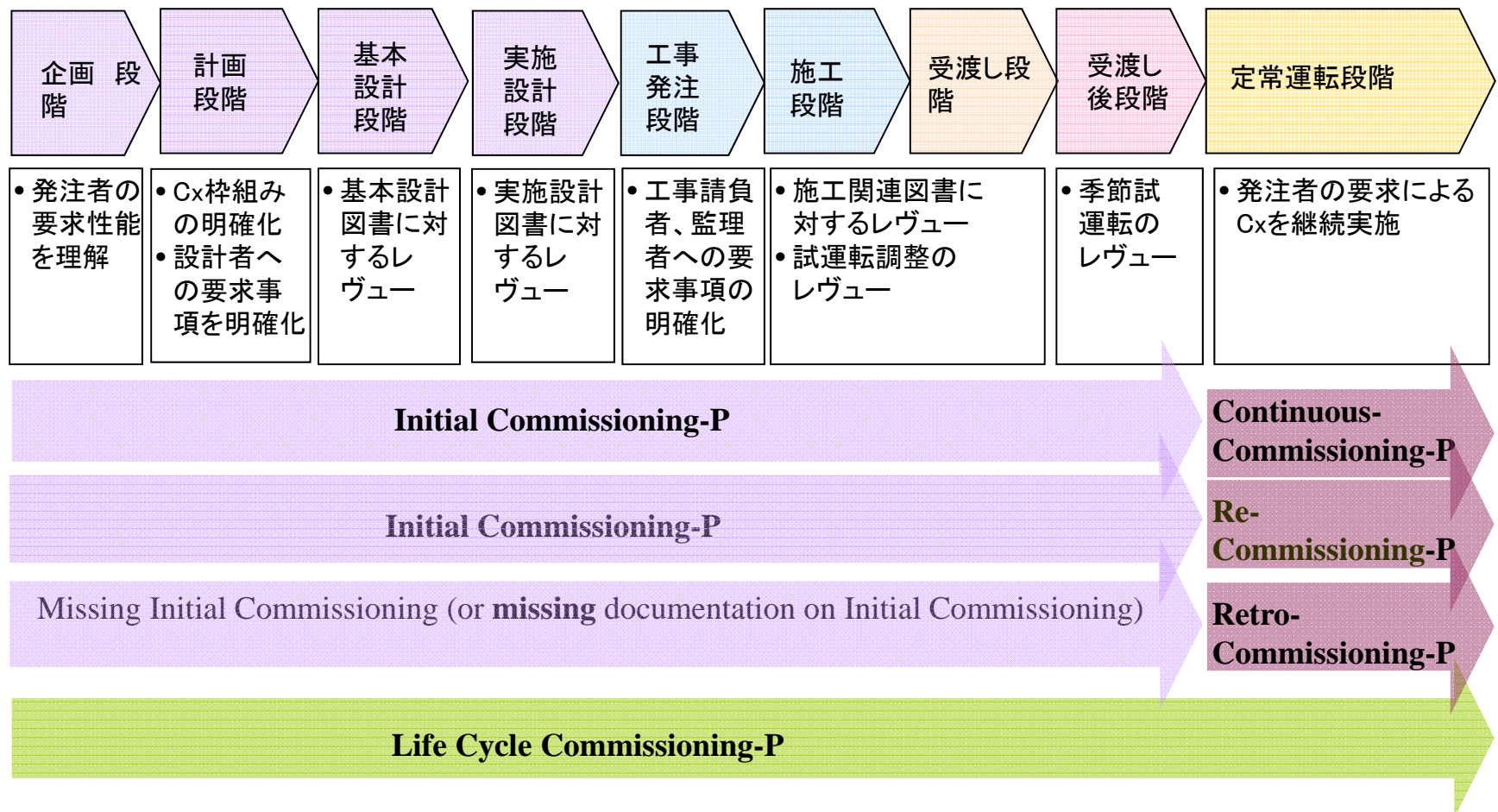
## 2. 性能検証のプロセス



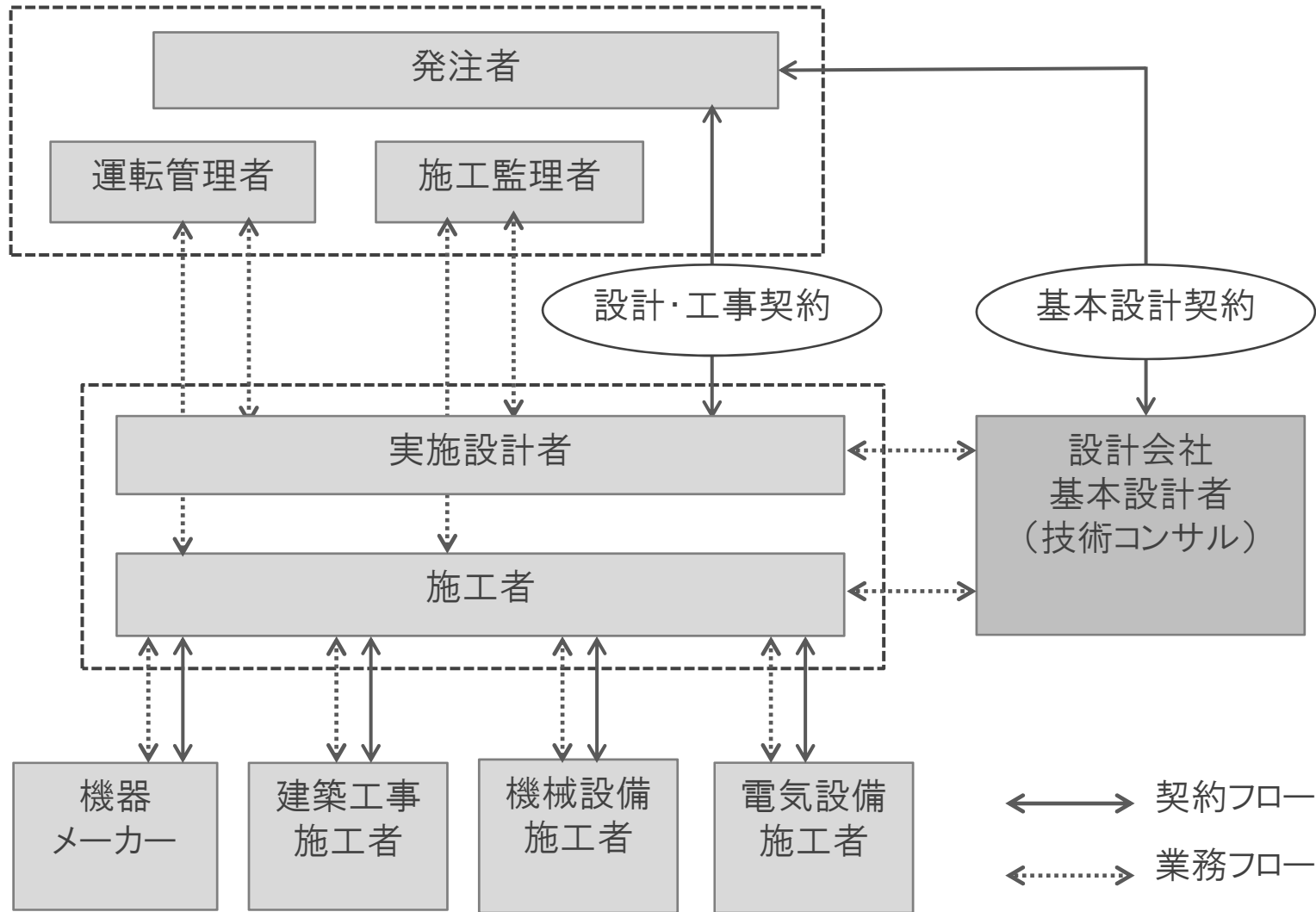
# イニシャルコミッショニングの実施

目的: シミュレーションモデルを用いてI-Cxの方法と効果を体系的に整理する

- 設計段階の実施設計図書に対するレビューの実施と検証
- 運用時のシステムCOPの改善



# 性能検証の実施体制



## 発注者の要求性能

- ① 安定供給：  
負荷特性の異なる需要家への安定した熱供給を実現する
- ② 省エネルギー：  
一次エネルギー換算COP1.3で、高効率で省エネ性の高いシステムを構築する
- ③ 環境性：  
河川水の温度差エネルギーを冷暖房の冷却水・熱源水として100%利用し、大気への放熱を抑制することでヒートアイランド現象を防止する



1. 蓄熱槽：効率、制御方法の検討
  - ディフューザ形状、連通管
2. 熱源の最適運転システム
  - 夏期、中間期、冬期運転
  - 24時間運転対応
  - 最大負荷および最小負荷対応
3. システムシミュレーション
  - シミュレーションモデル
  - 目標COP  
1次エネルギー換算1.3以上
  - シミュレーションモデルによる運用時システムCOPの検証



# 各プロセスの主な検証内容

**実施設計段階**  
 '09/12/1～'11/2/18

1. 設計図に仕様が記載されていること
2. メーカー仕様書が設計値を満足していること
3. シミュレーションの結果が要求条件を満足すること

**施工段階**  
 '11/4/1～'12/10/29

1. 施工図が設計仕様を満足すること
2. 施工要領書により施工上の間違いや不具合が防止できていること
3. メーカー工場検査により設計仕様が確認されていること

**受渡し段階**  
 '12/4/23～'12/10/31

1. 試運転データが設計仕様値の許容範囲であること
2. 試運転データを用いたシミュレーション結果が設計値の許容範囲であること

**受渡し後段階**  
 '12/11/1～'14/10/31

1. 実運用データが設計仕様値の許容範囲であること
2. 実運用データを用いたシミュレーション結果が設計値の許容範囲であること

項目		重点管理項目	確認段階	a) 実施設計	b) 施工	c) 受渡し	d) 受渡し後
システム性能	熱源システム	① システムCOP	確認方法	シミュレーション		試運転データ	実データ
			判断基準	一次エネルギー換算COP1.3以上			
機器仕様	熱源機器	① 冷却能力 加熱能力 ② COP 定格&部分負荷	確認方法	メーカー仕様書	工場検査データ	単体運転データ	総合運転データ
			判断基準	基本設計値以上	● 能力:メーカー仕様値(100%)以上 ● 部分負荷:メーカー性能の予測範囲内		
蓄熱槽	断熱・防水	① 断熱・防水性能 ② 蓄熱槽容量	確認方法	断熱防水範囲	現地採寸	① 蓄熱槽水位 ② 自然放熱量	熱ロス熱量演算
			判断基準	明確になっていること	2,400m <sup>3</sup> 以上であること	① 水張り24時間後、漏水のないこと ② 蓄熱量の2%以下	熱ロス計算値以下であること
	蓄熱槽効率	① 温度プロフィール ② ディフューザ	確認方法	① 蓄熱温度差 ② ディフューザ形状	施工図	実データ	実データ
			判断基準	① Δt=10℃ ② 吐出/吸込流速 0.03m/s以下	ディフューザ取付高さ±10mm	水温分布の逆転が起きていないこと	容積蓄熱効率90%以上
蓄放熱性能	① 蓄熱・放熱温度 ② 蓄熱量 ③ 蓄熱槽利用率	確認方法	蓄熱・放熱温度			実データ	実データ
		判断基準	● 冷水槽:5℃/15℃、温水槽:35℃/45℃ ● アプローチ温度1℃ ● 冷水蓄熱量合計80,372MJ以上 ● 温水蓄熱量合計57,466MJ以上				

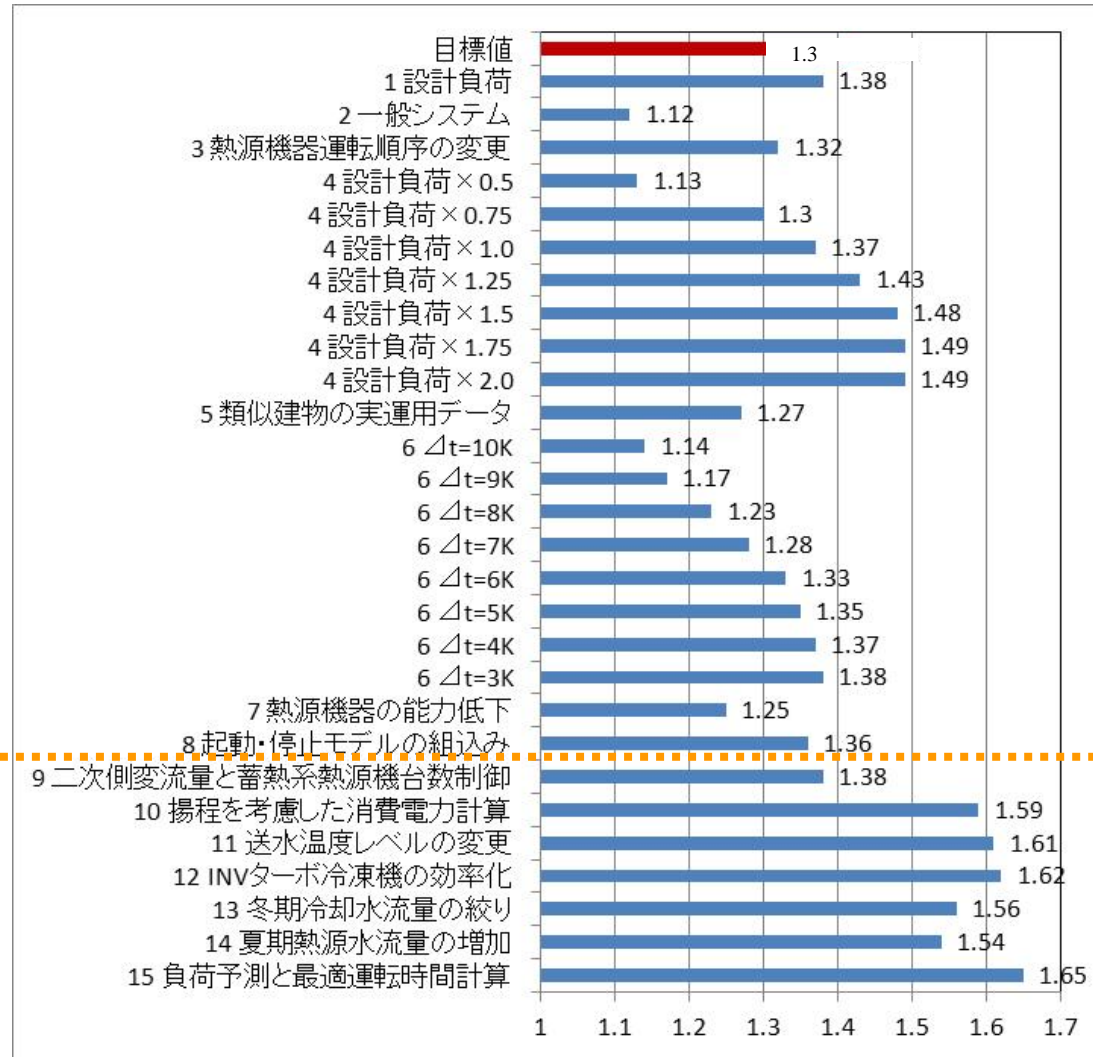
# 熱源システムの効率的な運転制御

2010	2011	イニシャルコミッショニングの具体的な内容
1		基本設計時想定 of 熱負荷に対するCOPの検証
2		二次側熱負荷を低負荷状態からピーク状態（定常負荷×[0.5、0.75、1.0、1.25、1.5、1.75、2.0]）まで変化した場合のCOPの評価
3		建物完成後の実運転データによる性能検証・評価に備えて、運転データとの連成システムの構築→類似建物の実運用データによる検証
4		二次側供給の往還温度差が変化した場合のCOPの評価
5		熱源機器（冷凍機）の能力が経年劣化などで10%低下した場合のCOPの評価
6		一般的システム（ターボ冷凍機+ヒートポンプチャラー）とのCOP比較
7		（ターボ冷凍機をベース運転とし、蓄熱槽の放熱運転により負荷追従するシステム）と（蓄熱槽の放熱運転をベース運転とし、ターボ冷凍機により負荷追従するシステム）とのCOP評価
8		立ち上がり時や残留運転などの実運転に沿ったモデルの構築とCOPの評価
	1-①	シミュレーションモデルの改良
	1-②	熱交換器二次側変流量制御
	1-③	揚程を考慮したポンプ消費電力計算の導入
	1-④	温度レベルを1℃変更した際の効果
	1-⑤	インバータターボ冷凍機の運転効率化制御
	1-⑥	冬期冷却水絞り運転の導入
	1-⑦	蓄熱システム関連の計算ロジックの改良
	1-⑧	蓄熱量算出方法の変更
	1-⑨	熱源再起動時間の設定
	1-⑩	夏期熱源冷却水流量の増加（河川水温度差を5℃→4.5℃とする）制御
	1-⑪	冬期冷却水絞り運転と夏期熱源冷却水流量増加制御の併用
	1-⑫	負荷予測と最適運転時間の計算制御
	2	最適化チューニングの仕組みづくりの検討：システムフォルトや計測値エラー（*測定機器の不具合と故障）などの検知システムの検討

# 熱源システムの効率的な運転制御

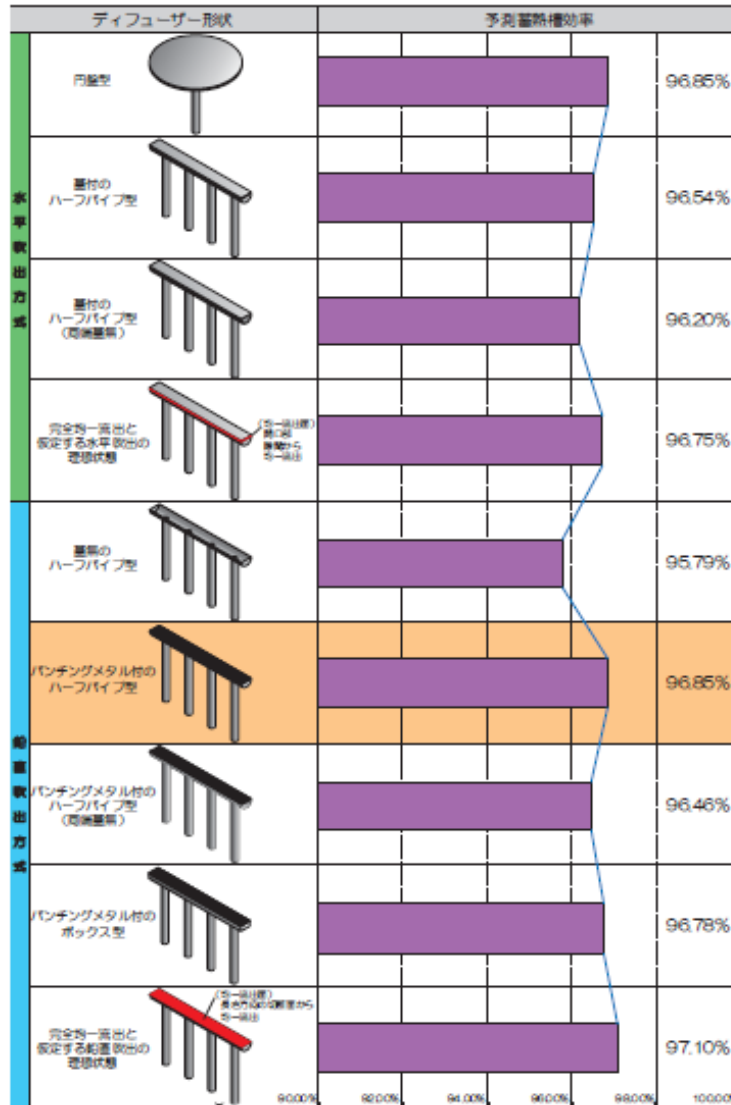
システム妥当性の検証

運転制御方法の改善効果の検証

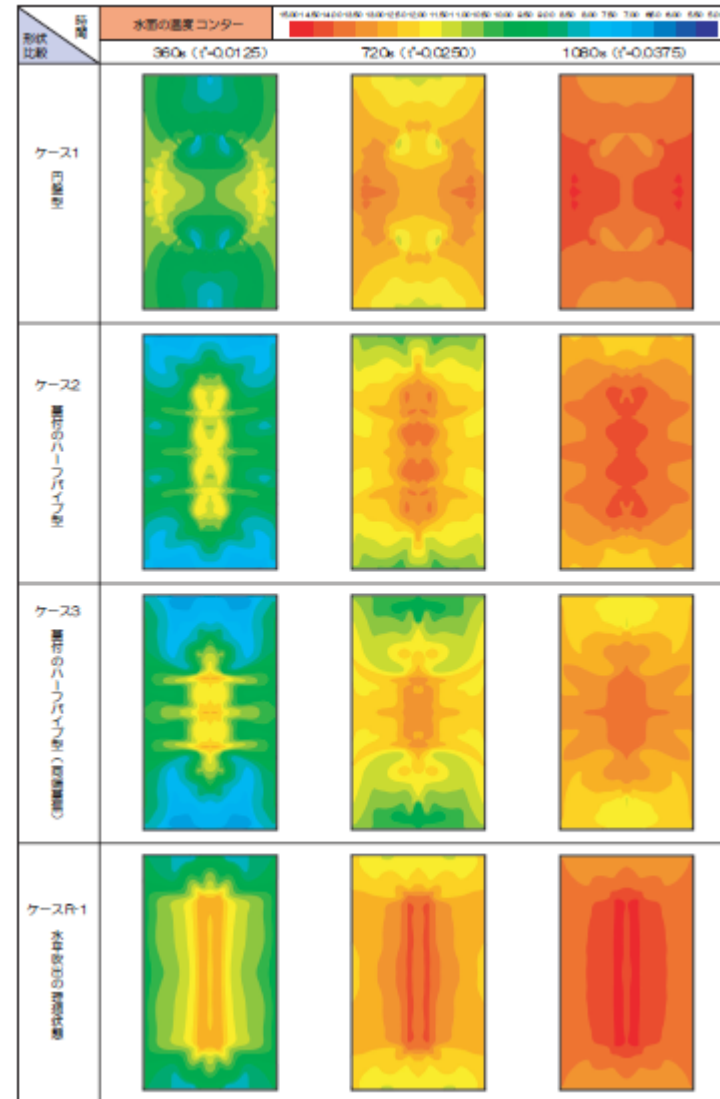




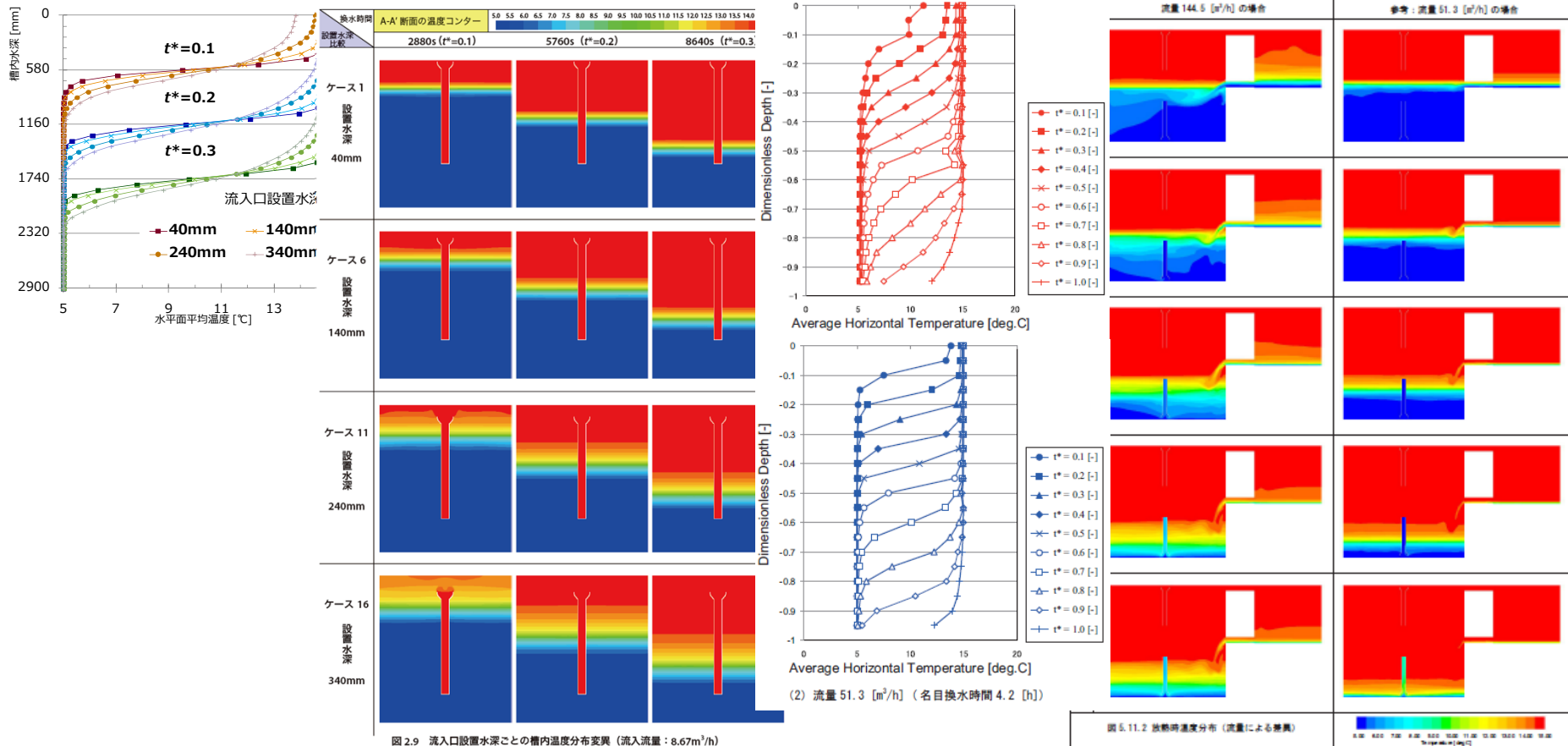
# ディフューザ形状の検討と蓄熱性能



15



# ディフューザ設置水深・流量・温度差と並列槽の性能評価





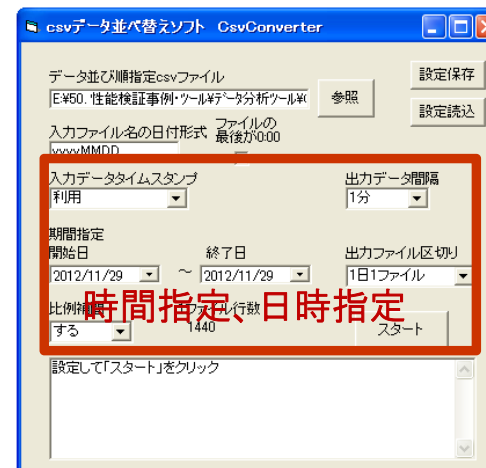
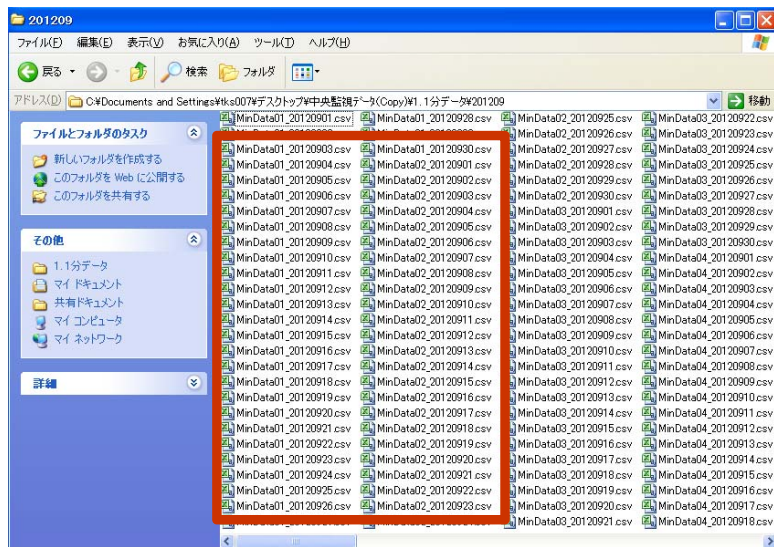
### 3. 性能検証の結果



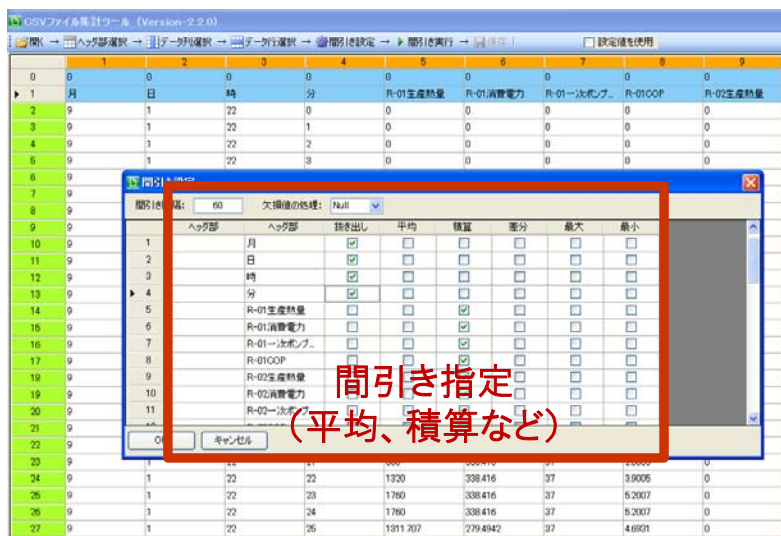
# 運転データの処理

## 元データの処理

- 複数ファイルの統合
- データ抽出  
データ項目  
時間・日時指定



ツールを利用した  
データ処理の効率化



- データ項目抽出
- 間引き指定
- 抽出データの保存
- 欠損処理
- 分析用データの作成

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
	月	日	時	分	R-01生産 熱量	R-01消費 電力	R-01一次 ボンプ消 費電力	R-01COP	R-02生産 熱量	R-02消費 電力	R-02一次 ボンプ消 費電力	R-02COP
1												
16	9	1	22	14	0	0	0	0	0	0	0	0
17	9	1	22	15	0	0	0	0	0	0	0	0
18	9	1	22	16	0	0	0	0	0	0	0	0
19	9	1	22	17	0	0	0	0	0	0	0	0
20	9	1	22	18	0	0	0	0	0	0	0	0
21	9	1	22	19	0	0	37	0	0	0	0	0
22	9	1	22	20	440	338.416	37	1.3002	0	0	0	0
23	9	1	22	21	880	338.416	37	2.6003	0	0	0	0
24	9	1	22	22	1320	338.416	37	3.9005	0	0	0	0
25	9	1	22	23	1760	338.416	37	5.2007	0	0	0	0
26	9	1	22	24	1760	338.416	37	5.2007	0	0	0	0
27	9	1	22	25	1311.707	279.4942	37	4.6931	0	0	0	0
28	9	1	22	26	1317.285	279.9089	37	4.7062	0	0	0	0
29	9	1	22	27	1567.949	305.673	37	5.1295	0	0	0	0
30	9	1	22	28	1760	338.416	37	5.2007	0	0	0	0
31	9	1	22	29	1760	338.416	37	5.2007	0	0	0	37
32	9	1	22	30	1760	338.416	37	5.2007	440	338.416	37	1.3002
33	9	1	22	31	1760	338.416	37	5.2007	880	338.416	37	2.6003
34	9	1	22	32	1760	338.416	37	5.2007	1320	338.416	37	3.9005
35	9	1	22	33	1760	338.416	37	5.2007	1760	338.416	37	5.2007
36	9	1	22	34	1760	338.416	37	5.2007	1760	338.416	37	5.2007
37	9	1	22	35	1760	338.416	37	5.2007	1644.325	317.0012	37	5.1871
38	9	1	22	36	1760	337.6102	37	5.2131	1593.665	308.4707	37	5.1663
39	9	1	22	37	1760	337.6102	37	5.2131	1701.698	326.0999	37	5.2183
40	9	1	22	38	1704.6	326.6366	37	5.2186	1705.837	326.8664	37	5.2188
41	9	1	22	39	1662.358	319.1689	37	5.2084	1684.726	323.0324	37	5.2153
42	9	1	22	40	1713.728	328.3483	37	5.2192	1725.976	330.7032	37	5.2191
43	9	1	22	41	1756.437	336.8608	37	5.2141	1760	337.6102	37	5.2131
44	9	1	22	42	1760	337.6102	37	5.2131	1760	337.6102	37	5.2131
45	9	1	22	43	1760	337.6102	37	5.2131	1760	337.6102	37	5.2131

ツールの種類	No	ツールの名称	使用ツール
測定	1	ビルマルチエアコン現地性能評価ツール	
情報/データ	2	計測ポイントチェックツール	
	3	機器特性曲線デジタイザ	
データ処理 /表示	4	BEMSデータ可視化ツール(文書ツール)	◎
	5	CSV converter	◎
	6	CSVファイル処理ツール(CMT)	◎
モデル	7	機器モデルパラメータ算出支援ツール	
シミュレーション	8	空調熱源システムの設定値最適化・劣化診断ツール	

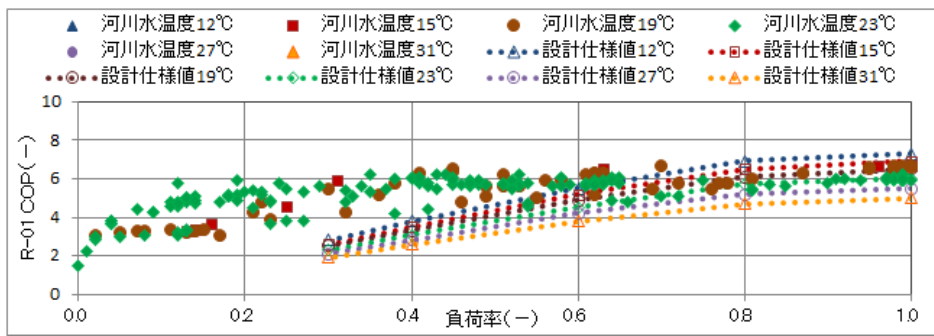
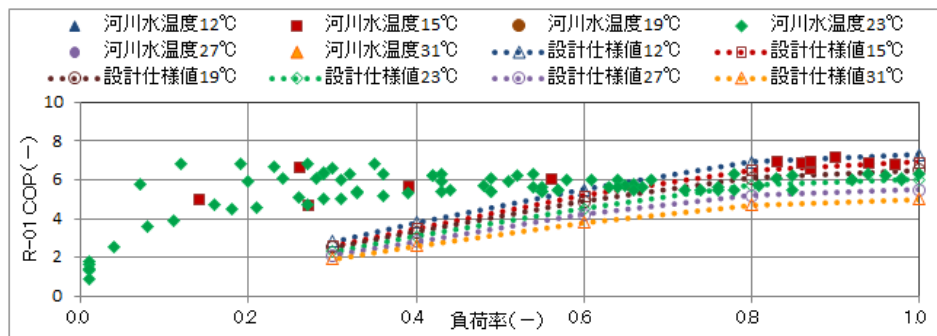
建築設備コミッショニング協会 コミッショニングツールライブラリ

[http://www.bsca.or.jp/tools\\_open/tools\\_lib.html](http://www.bsca.or.jp/tools_open/tools_lib.html)

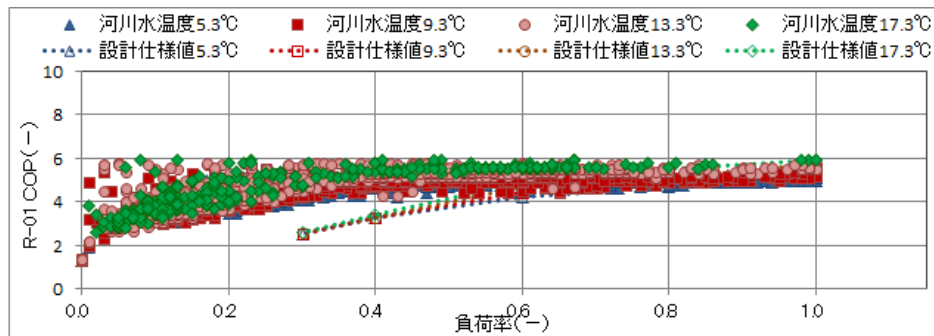
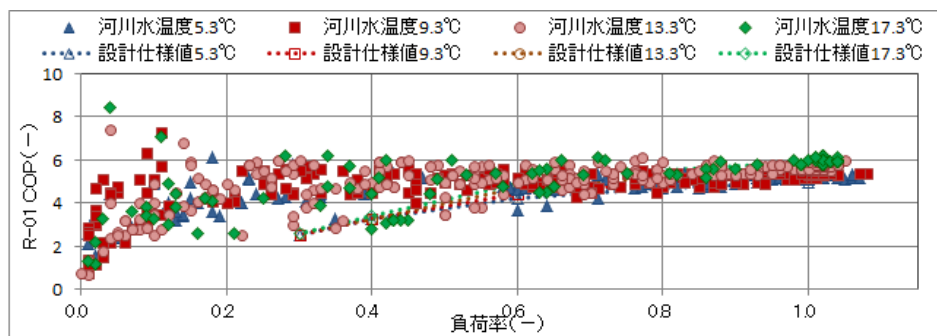
# 熱源機運転効率（11月～5月）

実運用

シミュレーション



R-01 ヒートポンプCOP(冷熱)

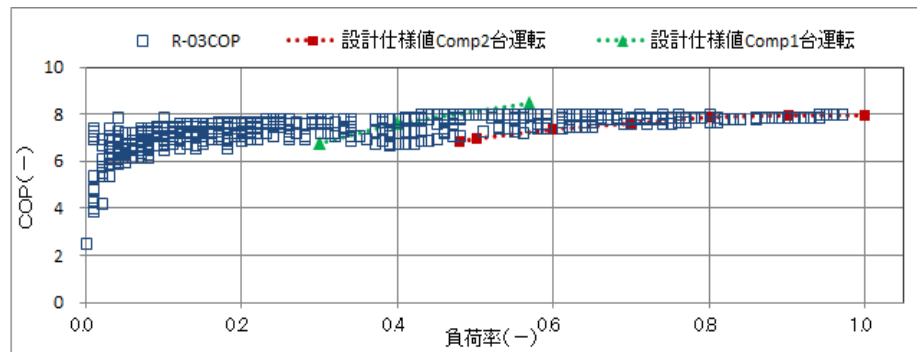
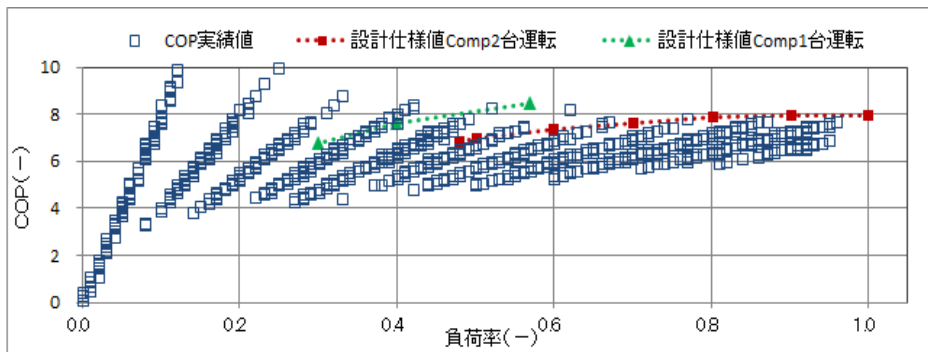


R-01 ヒートポンプCOP(温熱)

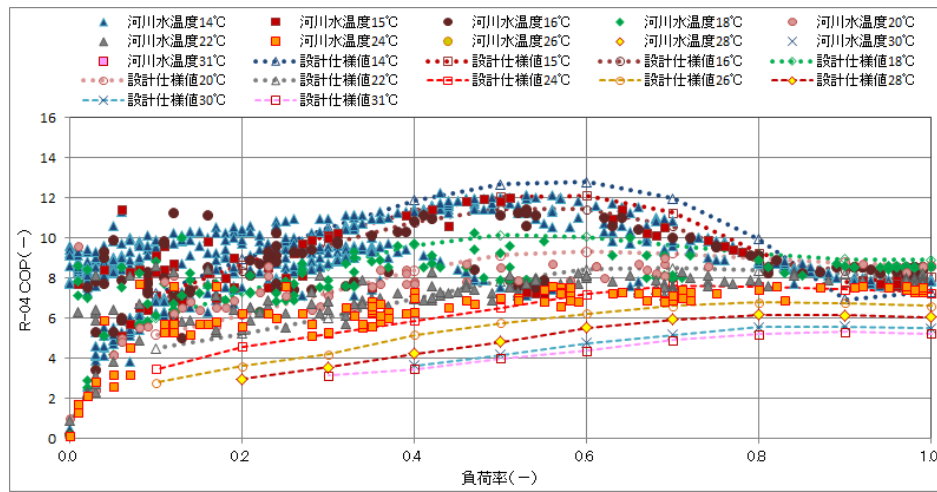
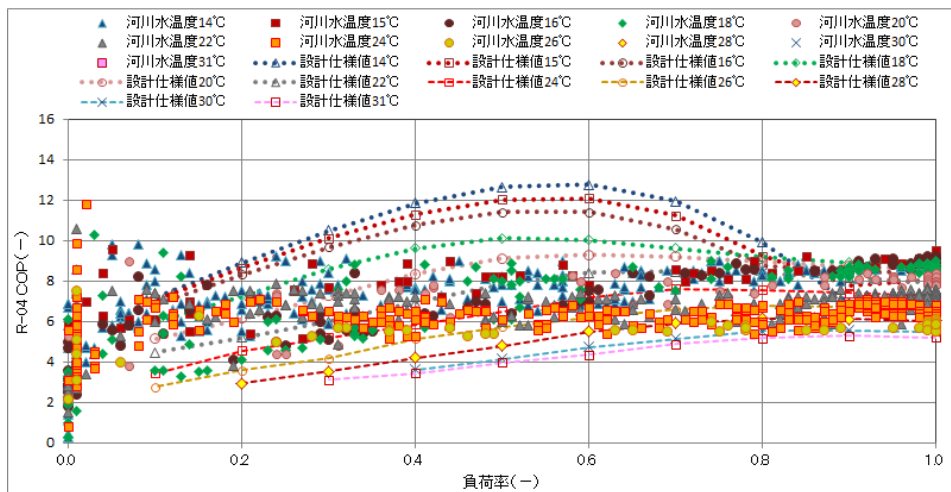
# 熱源機運転効率 (11月～5月)

実運用

シミュレーション



## R-03 熱回収チラーCOP(冷熱+温熱)

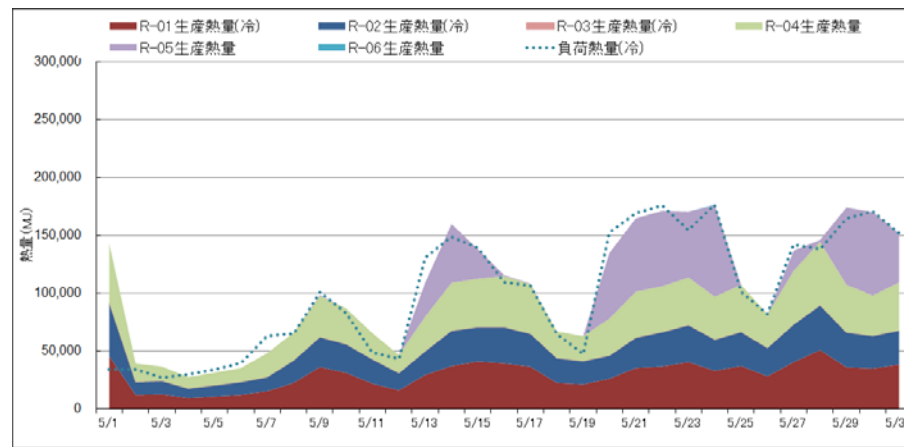
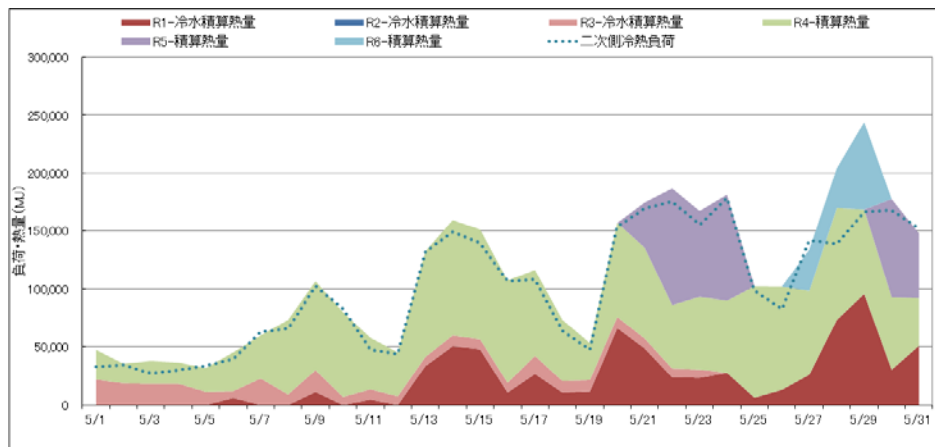


## R-04 インバーターターボCOP

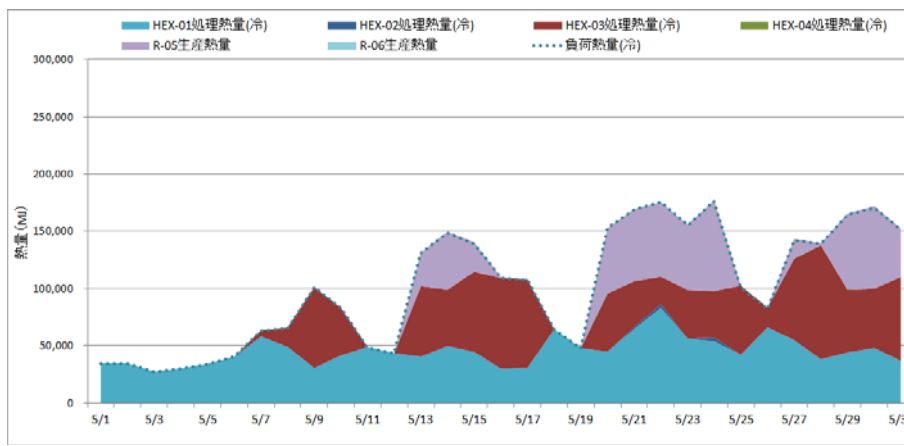
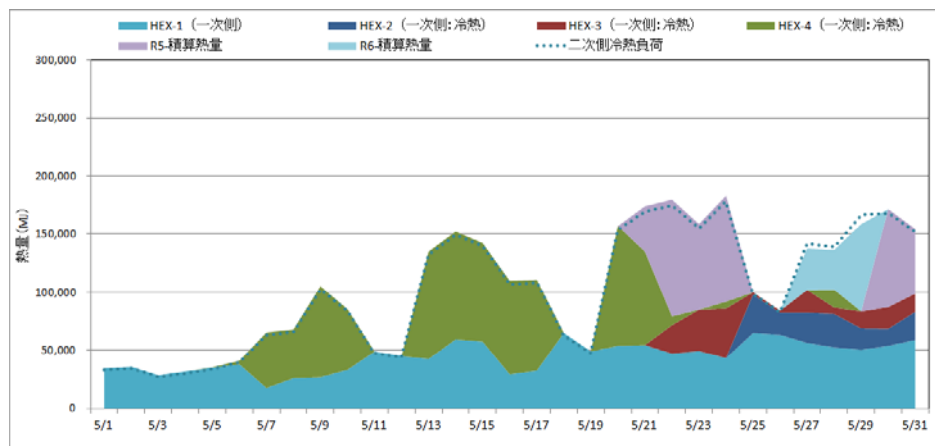
# 熱源機運用状況 (5月)

## 実運用

## シミュレーション



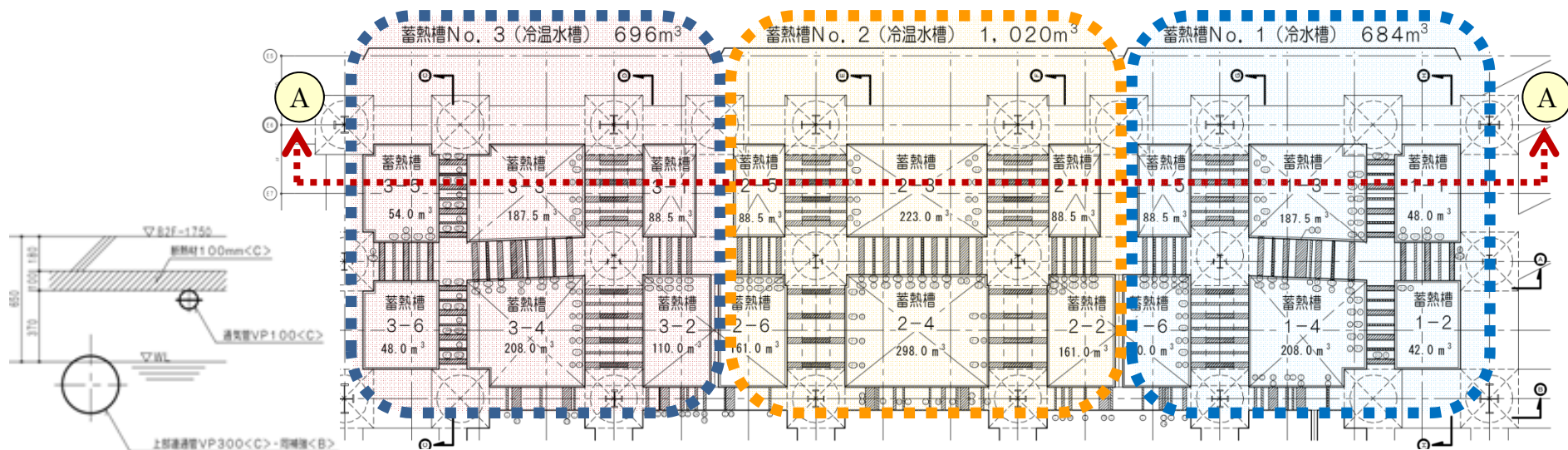
## 二次側冷熱負荷と熱源機生産熱量



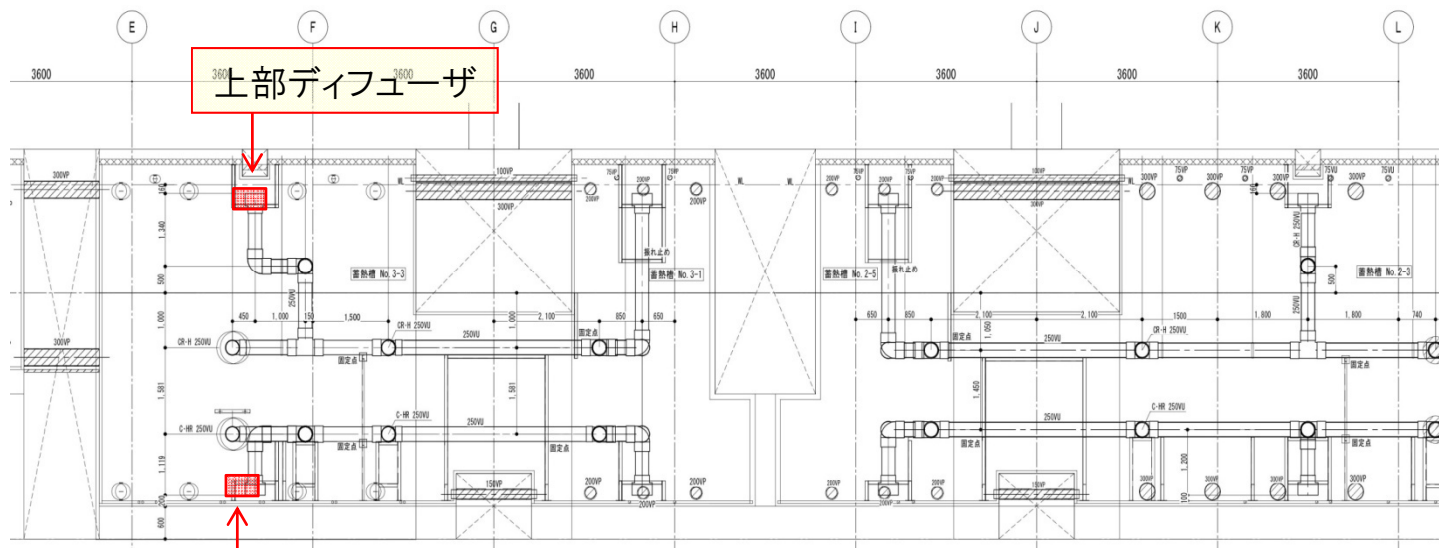
## 二次側冷熱負荷と熱源機器放熱量



# 温度成層型蓄熱槽の構成



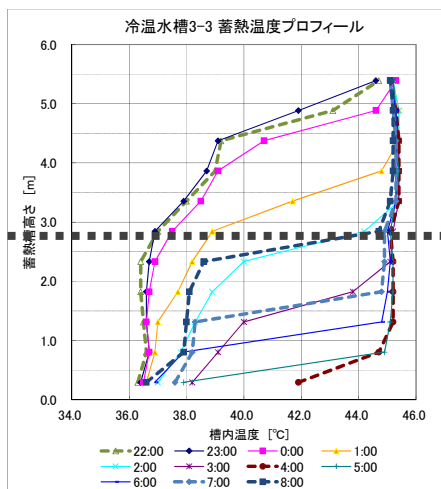
上部連通管の位置



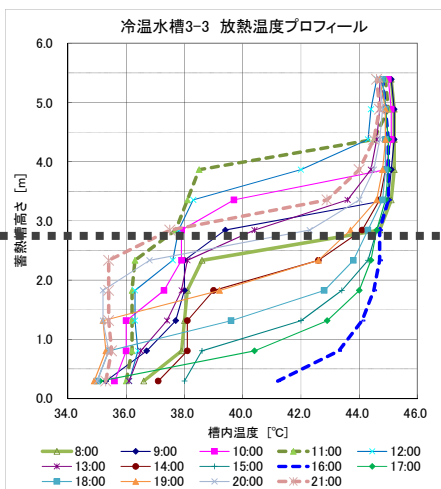
下部ディフューザ (A) - (A) 断面図

# 蓄熱槽内温度プロフィール（12月25日）

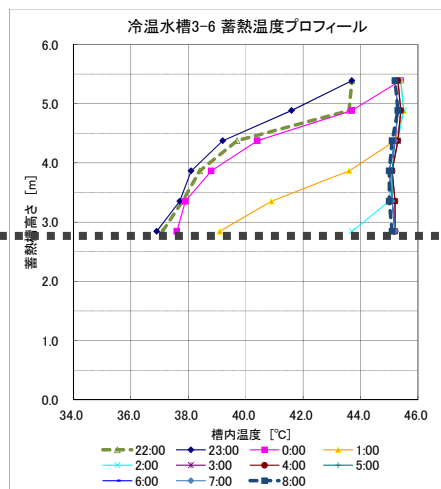
1. 放熱完了時間に近い21時では部分負荷運転となり、一次側熱交換器流量を定格流量の10%以下まで制御しているが若干、高温槽の温度が低下している
2. 翌朝の放熱運転時間が1時間早まり7時からと変更になっているが、制御ロジックが追従されず7時の時点で満蓄状態になっていない
3. その状態から昼間の放熱運転が始まり、ヒートポンプ運転による再蓄熱とその放熱運転となっているが、50%程度は残蓄状態にある
4. 連通管でつながった3-3槽と3-6槽で、同じ高さ(FL+2.845m)ではおよそ±0.2°Cの違いがある



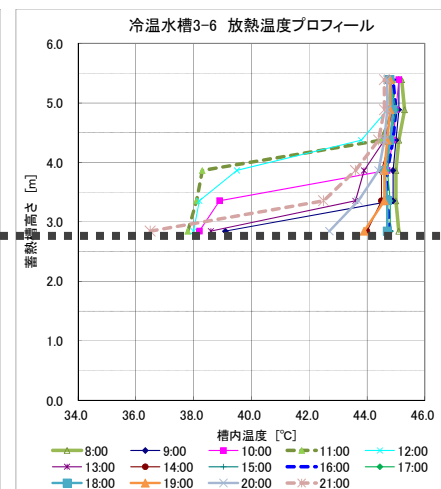
a) 蓄熱時



b) 放熱時



a) 蓄熱時



b) 放熱時

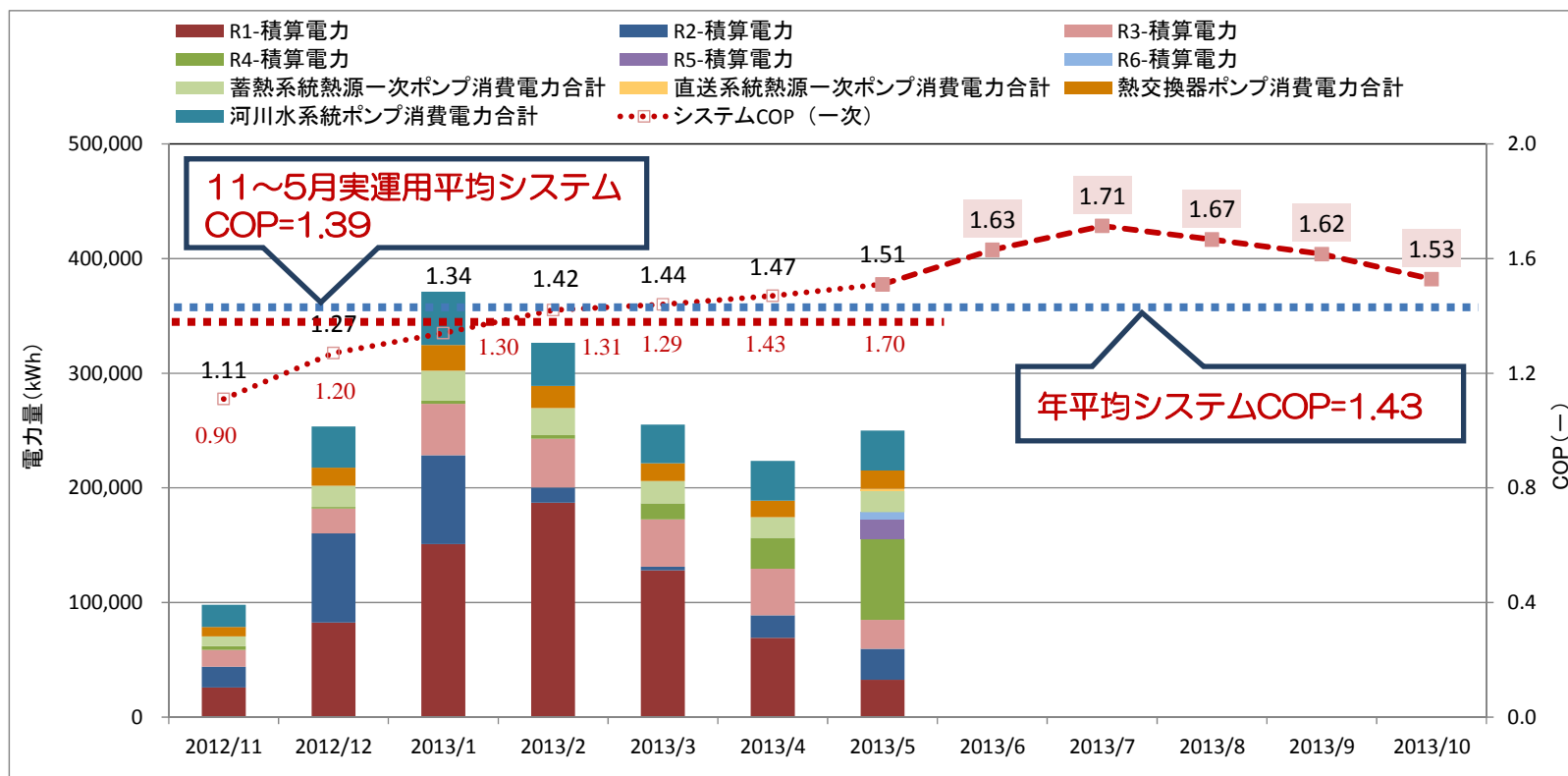
冷温水槽3-3 槽内温度プロフィール

冷温水槽3-6 槽内温度プロフィール



# システムCOPの結果と推定

- ✓ 個別熱源の平均：0.675
- ✓ 地冷の平均：0.749
- ✓ 未利用エネルギー地冷の平均：0.85





## 4. まとめ

コミッショニングによって、

- 季節性のある空気調和設備は、試運転調整に加え各機器・サブシステム、トータルシステムの閉回路試験で制御性や部分負荷性能の検証が重要である
- 設計時のシミュレーション・CFD解析などの結果を踏まえ、その確認と精度の向上を図りながらシステム全体の性能検証を行うことが重要である
  - コミッショニングの実効を上げる重要課題は、
    - ① 計測センサ本体と計測用入力モジュールの誤差確認および校正
    - ② BEMS本体の性能検証をこの期間に確実に実行すること

シミュレーションを用いることで、

- 施工前にシステム性能を把握でき、設計変更が可能となる
- 様々な条件下での性能を把握することができ、弱点を見つけられる
- 設計段階から運用時の改善について検討することができる
- 試運転調整、機能性能試験の結果や受渡し後の実運用データを用いてオフラインで、システム性能の妥当性の検証および、システム改善の検討とその効果を確認できる

- 発注者側の施工監理者・完成後のシステム運転管理者の指導・助言および基本設計者の確認のもと、実施設計者・施工者、機器メーカーと監視設備施工者の協力を得てコミッショニングを実施し、より確実な結果が得られた
  - 実運用データを用いたシミュレーションと比較することで、実運用上の見えにくい不具合を明確に判別することができた
  - 暖房運転時の実運用とシミュレーションは、ほぼ近似した結果となり、開発したシミュレーションモデルの信頼性が確認された
- これらの結果を踏まえ、以下の改良と改善を継続する
- 冷房運転時に熱源機の運転制御、蓄熱制御およびポンプ制御を検証し、シミュレーションモデルを改良する
  - 暖房時の評価で得られた知見により、熱源機の運転台数制御や河川水系統と熱交換器系統のポンプ制御を、運用データを用いたシミュレーションを並行して実施し改善する



ご清聴ありがとうございました