

## Cx事例1 (新築Cx)

# 京都駅ビル熱源・空調設備改修工事 Cxプロジェクト(施工フェーズ)

2016年2月19日

吉田治典(CMT CxPE 京都大学名誉教授)

高浦敬之(発注者 京都駅ビル開発・常務取締役)

牛尾智秋(設計者 日建設計)

山口淳志(施工者 CxTE 高砂熱学工業)

松下直幹(CMT CxTE アレフネット)

西山 満 (CMT CxPE 日本生命)

# 発表内容サブタイトル

## 1. Cxの経過と概要

吉田治典 (CMT・CA)

## 2. 建物オーナーからみたCxの効果・効用

高浦敬之 (オーナー)

## 3. 設計者からみたCxの効果・効用

牛尾智秋 (設計者)

## 4. 施工者からみたCxの効果・効用

山口淳志 (施工者・CxTE)

## 5. BEMS・自動制御システム構築のCx

松下直幹 (CMT・CxTE)

## 6. 機能性能試験の計画と実施方法

西山満 (CMT・CxPE)

# 1. Cxの経過と概要

吉田治典 (CMT・CA)

# プロジェクト概要 (Cxで100年建築を実現)

**OPR ビル全体の年間一次エネルギー削減量40%・熱源部分の削減量60%**

- ・既存の調査・分析フェーズから設計・施工に至るロングスパンのCxを実施中
- ・平成26年度国土交通省・第2回住宅・建築物省CO2先導事業に採択



延床面積 : 235,942m<sup>2</sup>

階数 : 地上16階・地下3階

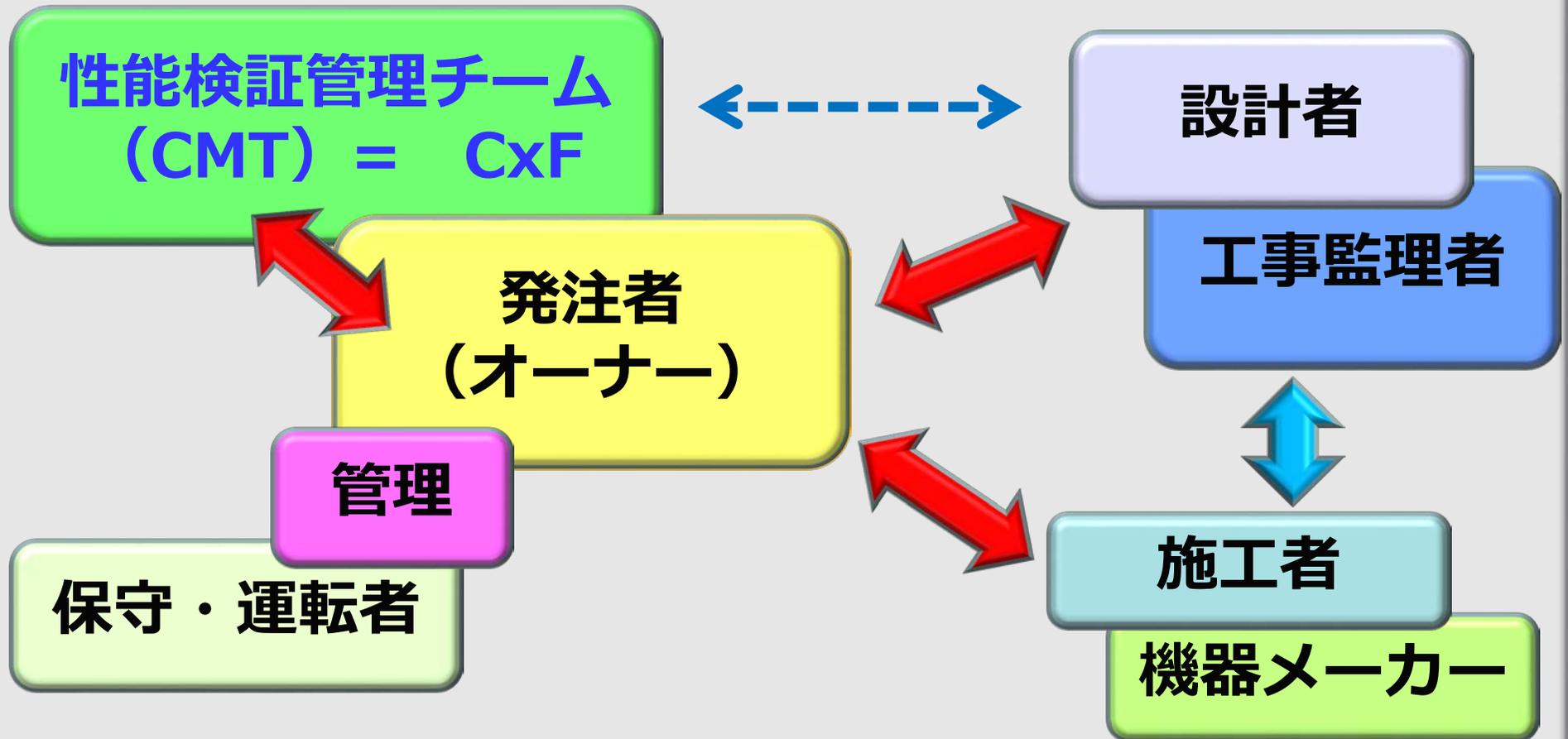
用途 : 駅舎・百貨店・ホテル・劇場等の  
複合用途ビル

竣工年 : 1997年



## 性能検証(Cx)チーム

## 性能検証チーム (性能検証会議)



# 性能検証管理チーム(CMT)

## Cx管理チーム(CMT) = CxF

**BSCAの会員＋京都市で構成 BSCAが先導的Cx事業として受託**

吉田治典(CA)	(京都大学名誉教授)	CxPE CA(統括)
松下直幹(幹事)	(アレフネット)	CxTE 設計/BEMS・自動制御
柳原隆司	(東京電機大学教授)	CxPE 設計/最適化
赤司泰義	(東京大学教授)	研究/Cxツール
下田吉之	(大阪大学教授)	研究/エネルギーマネジメント
杉浦修史	(武庫川女子大学教授)	設計/システム全般
岡 敦郎	(森村設計)	CxPE 設計/システム全般
山本雄二	(JR東日本ビルテック)	設計/エネルギーマネジメント
中森 彰	(東京電気管理技術者協会)	電力/エネルギーマネジメント
矢部克明	(関電エネルギーソリューション)	施工/熱源システム
青山博昌	(ニュージェック)	CxPE 設計/熱源システム
中村政治	(中村技研)	設計/BEMS・自動制御
武村純一	(京都市)	省エネルギー行政

# 性能検証会議の様子



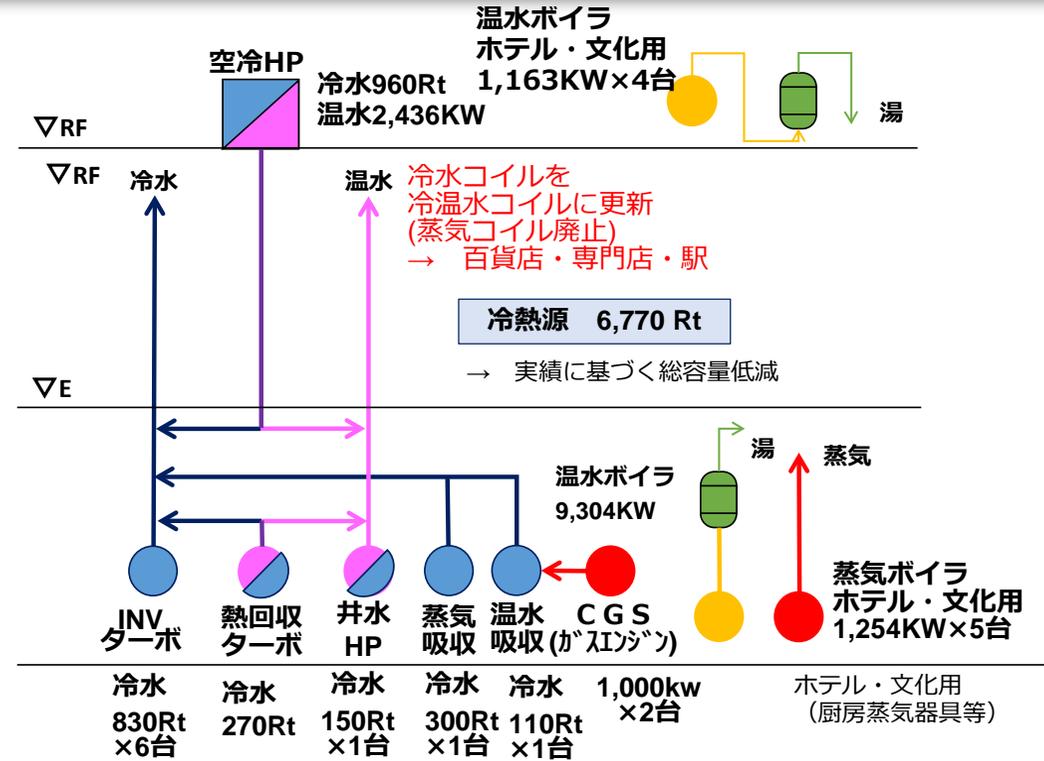
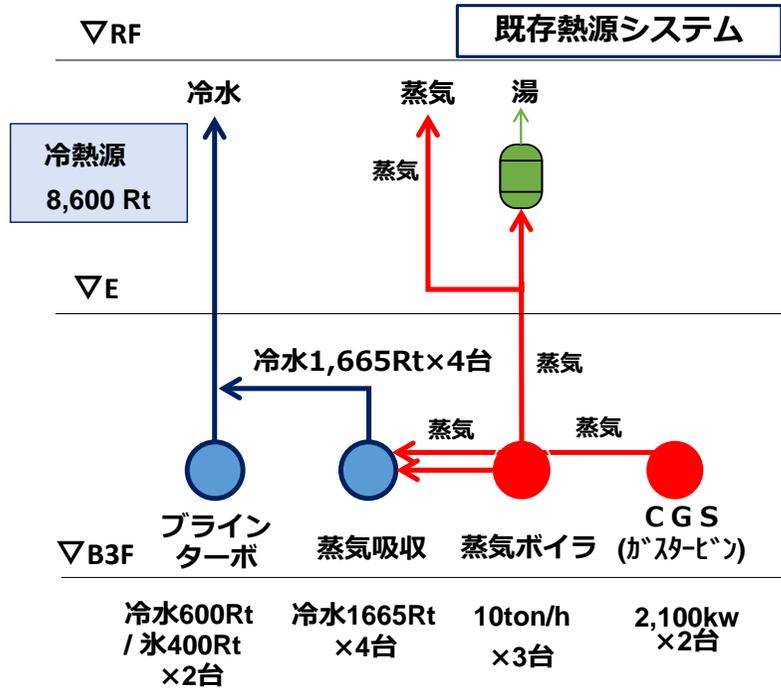
性能検証会議(定例会議・施工F)



## 性能検証会議で企画した最新 BEMS調査会

(オーナー・CMT・設計者・  
施工者・計装メーカーが参加)

# コミッショニング対象設備(熱源設備)



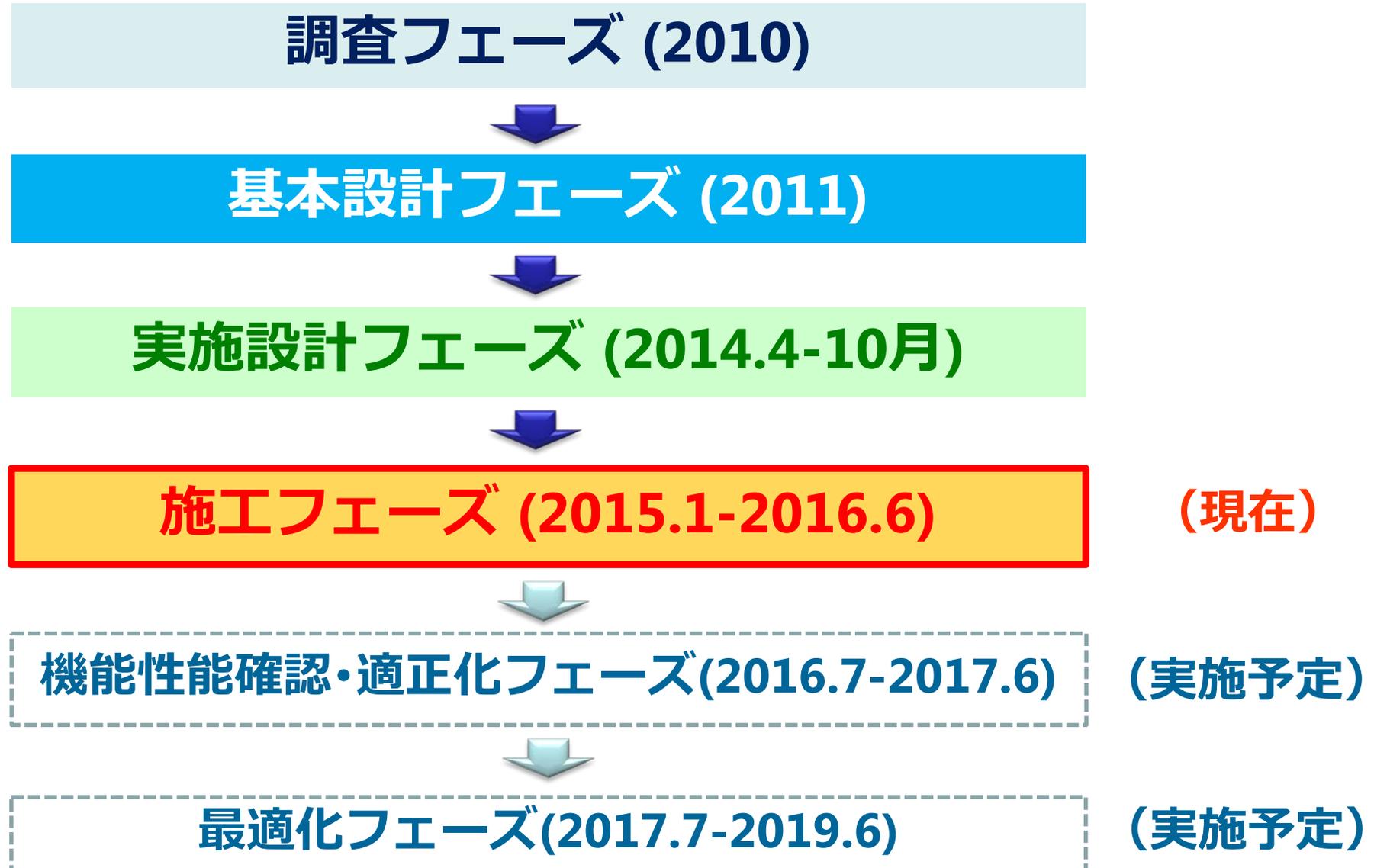
## 【ガス主体システム】

- ・メイン熱源
  - 蒸気吸収冷凍機(1665RT×4台)  
(コジェネ排熱利用)
- ・平準化対応
  - ブライントーボで氷蓄熱

## 【電気主体システム】(実施設計時)

- ・メイン熱源
  - INVターボ冷凍機(840RT×6台)
- ・低負荷対応
  - 熱回収ターボ冷凍機(270RT)
- ・コジェネ排熱利用熱源(吸収冷凍機)

# コミッショニングプロセスの流れ



## 企画設計検証委員会 立上げ

## 【実施業務】現状分析・課題の整理、改修案提示

- ・BEMSデータ分析
  - 自動制御メーカーにも協力要請  
(メーカー遠隔保守管理で収集された1分データも活用)
- ・現地調査、現場補完計測
  - エネルギー消費用途仕分けのため
  - 抽出された課題の詳細調査のため
- ・改善・改修提案とシミュレーションによる効果推定



定期的に性能検証会議を実施し、データ解析の結果にもとに議論し  
問題点の整理、解決方法の検討・改修提案を報告書にまとめた

- 熱源システムのシミュレーションによる分析と改善提案
  - タービン式コジェネの課題抽出と改修方針の提示
  - 蒸気配管から温水配管への切り替えの提案
  - サブステーション二次ポンプシステムの制御改善手法の提示
  - 熱源のみでなく、二次側空調システム改修による負荷削減の重要性
  - 空調システムの実態把握から変風量・外気負荷削減の可能性を指摘
  - テナントの熱負荷削減(LED化)による省エネポテンシャルの提示
  - 再生可能エネルギーの導入(太陽熱・地下水)の提案
  - BEMS機能の充実の必要性を指摘
- 等々多くの課題・改善提案を行った

## 設計性能検証委員会立上げ

## 【実施業務】基本設計の性能検証 + 設計者の選定支援

設計者を加えた熱源・空調システムの検討を実施

## 1) 発注者の設計要件(OPR)のまとめ

- ・省エネルギー・省CO<sub>2</sub>性能目標の設定
- ・設備設計上、設計者が検討すべき不可欠な項目の提示

## 2) 設計者の提案する熱源・空調設備の改修案の検証とレビュー

- ・基本設計要件書に基づき設計者が熱源空調システム改修案を提示
- ・省エネ性能・実施コスト等に関する検証とレビューを重ね、設計を進める。



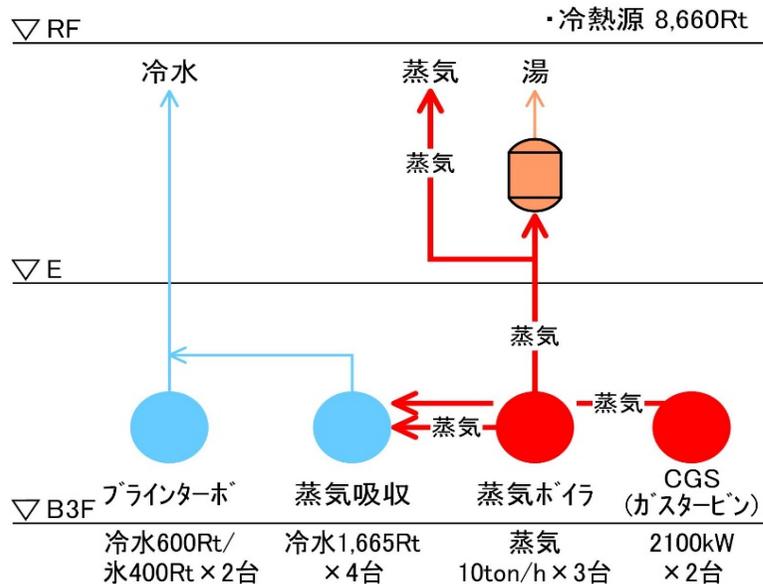
基本設計完了

# 基本設計フェーズ(2)

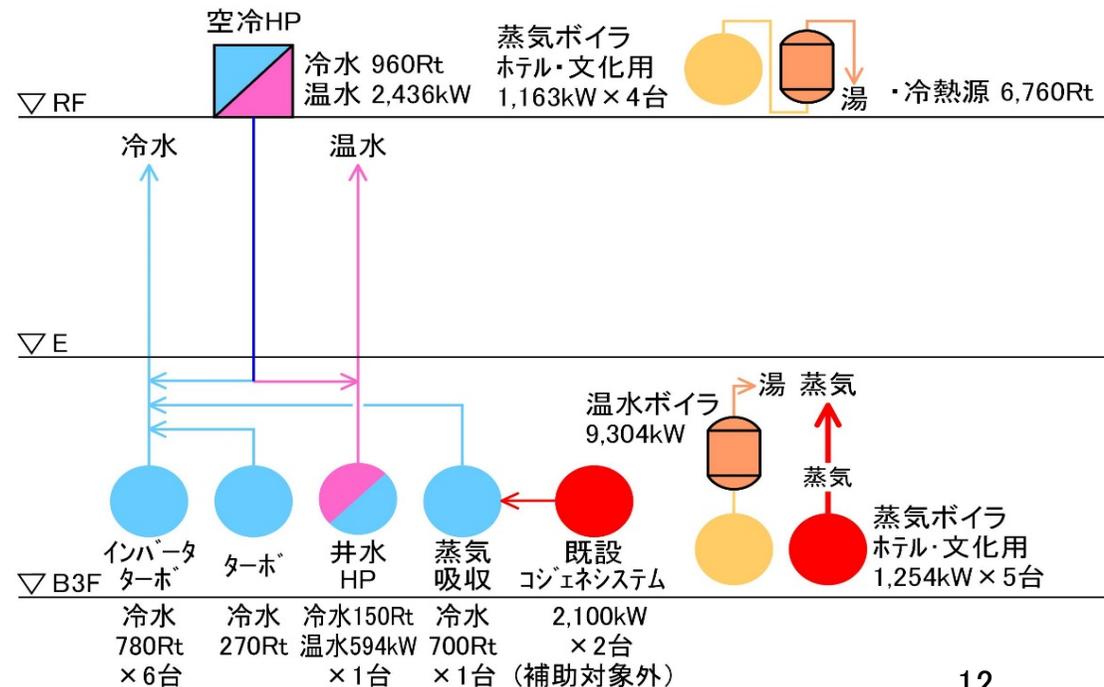
## 熱源システムの更新方針の決定

- 自立電源を備えた最高効率熱源(CO<sub>2</sub>排出量約60%減)に改修
- 冷水コイルを冷温水コイルとして利用
  - 空調機更新を無くし、**温水化工事費用の軽減**を図る
- 先行き不透明なエネルギー事情を踏まえ、ガスエンジンコージェネを採用
- **熱回収ターボを設置し、低負荷時の効率向上**

現状 蒸気システム



改修後 コージェネを備えたインバーターターボを主体とした熱源



### 設計性能検証委員会 発足

#### 【実施業務】

#### 1) 発注者要件書(OPR)のアップデート

- ・ 発注者の要求事項を具体的な内容に整理
- ・ 省エネ・CO<sub>2</sub>目標設定など、発注者の要件を定量化
- ・ 設計者と共に、予算も含めた諸条件を勘案し取捨選択・修正

#### 2) 設計レビュー

- ・ 設計がOPRを満たすかをレビューし、設計者にアドバイスや修正案の提示
- ・ 施工フェーズへの問題先送りを避け事前に性能を検証

#### 3) 設計主旨文書作成指示・レビュー

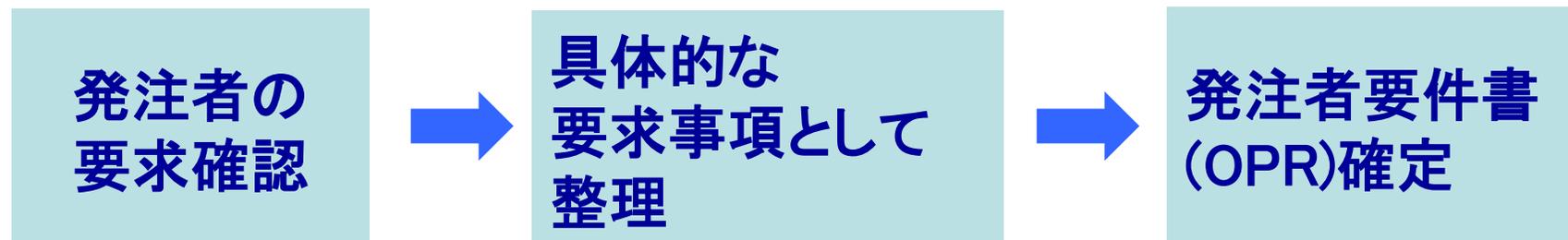
- ・ 施工者や運転・管理者に設計意図を適確に伝える文書の作成指示・レビュー

#### 4) 特記仕様書(性能検証)の作成

- ・ 機能・性能を担保するための施工段階の性能検証方法・合否判定基準を具体的かつ定量的に提示

## OPRの作成

- 発注者要件書(OPR: Owner's Project Requirement)作成のプロセス



Cx会議

Cx会議

### 【Step-1】

発注者の要求事項に対して、**委員会**の**専門技術者がアドバイス・議論**し設計者に求めるべき事項を整理

### 【Step-2】

この要求事項を**設計者と共に**、**性能達成可能性(主に省エネ性能)・施工の実現可能性・予算**などを勘案して、各要求事項を取捨選択・修正

OPRをアップデートしながら実施設計を進めた

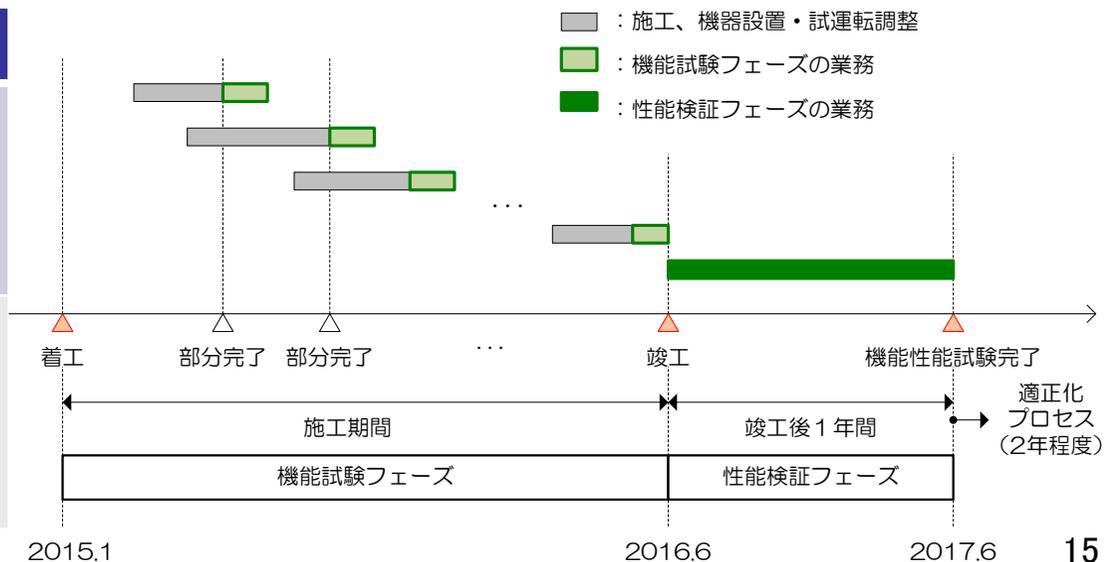
### ● 特記仕様書(性能検証)の概要

- ・発注者性能要求書(OPR)・設計図書・設計主旨文書に示されたシステム性能を発揮しているかを判定するための試験方法を規定した書類
- ・設計図書の一部として扱われ、工事請負者への要求となる
- 性能試験内容を詳細に記載することで、施工者は適正な見積ができる

### ● 機能性能試験の実施期間

- ・性能試験は、施工期間中+竣工後1年間に亘って実施

試験区分	実施対象
機能試験 フェーズ (施工期間中 1.5年間)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器群の性能試験</li> <li>・各制御システムの試験</li> </ul>
性能検証 フェーズ (竣工後1年間)	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機器群の性能検証</li> <li>・サブシステムの機能と性能検証</li> <li>・トータルシステムの機能と性能検証</li> <li>・エネルギー消費性能の検証</li> </ul>



# 実施設計フェーズ(4)

## 特記仕様書(性能検証)の構成

### 試運転調整に関する要求事項

- ・機能性能試験の前提となる、「試運転調整」に関する要求事項を記載

### 機器群の性能試験

- ・機器単体の性能試験 【対象】熱源、ポンプ、冷却塔、空調機等

### サブシステムの制御性能試験

- ・各サブシステムの制御試験【対象】熱源台数制御、ポンプ台数制御 等

### トータルシステムの制御性能検証

- ・熱源全体・建物用途別の省エネルギー性能を検証
  - この全体指標は、適正化フェーズ・継続Cxでも使い続ける。
- 【対象】: 熱源システム全体、建物用途別の空調システム全体など

### システム特性値による性能検証

- ・各熱源の稼働率・部分負荷率・月別エネルギー消費量・過去のエネルギー消費量からの削減量等、運転データの特徴からシステム性能を検証

### 機器群の試験仕様書(書式)

項目	記載内容
試験対象	<p>機器群: 対象機器の記号・名称を列記</p> <p>サブシステム: 対象サブシステムの制御モジュール名称を記載</p>
試験の目的	<p>どういった性能を確認するかを列記(複数)</p>
分析方法・ 結果表示方法	<p>試験の目的に記載した確認項目の分析と判定方法を記載</p> <p>[分析方法] どういうデータ処理・可視化をするかを提示</p> <p>[判定方法] グラフの見方と判定基準を示す</p>
測定ポイント	<p>性能確認分析に用いる</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・BEMS測定ポイント(= BEMS取得要求ポイントでもある)</li> <li>・試験時に一時的に測定するポイント</li> </ul> <p>を列記(SHASE計測マニュアルに準拠)</p>

# 施工フェーズ(1)・現在進行中

## 実施状況-1

### 【施工フェーズのCxの目的】

- ・ 施工が設計主旨文書や設計図で記載された通りの性能を発揮していることを特記仕様書(性能検証)に則って確認すること
- ・ 設計変更やVEに対する適切なアドバイス

### 【実施業務】

#### 1) VE案の性能検証レビュー

- ・ VEは施工者のノウハウを最大限に活かし、性能が低下させず、よりコストメリットの高いシステムへの昇華を目指すもの。しかし、  
現実には、コストダウン中心、納まり優先のVEに流れがちである。



- ・ 施工者の提案するVE案を設計フェーズに立ち戻ってCMTがレビュー
- ・ 施工者独自の施工経験・研究開発・コスト管理・維持管理上の課題解決方法などが十二分に提供でき、よりレベルの高いVEを達成。  
→ Cxを導入することのメリット

**【実施業務(続き)】****2) 機器・システム仕様書の性能検証レビュー**

- ・機器選定やシステムを、CMTが主導して、設計者・施工者の知恵を引き出し、設計図よりさらに高度に改善している

**3) BEMS・自動制御システムのレビュー**

- ・計測データをベースとする検証と最適化が重要なテーマ
- ・通常の工事監理では追求しないレベルまで踏み込み、BEMS・自動制御システム、制御プログラムの検証・レビューを進めている

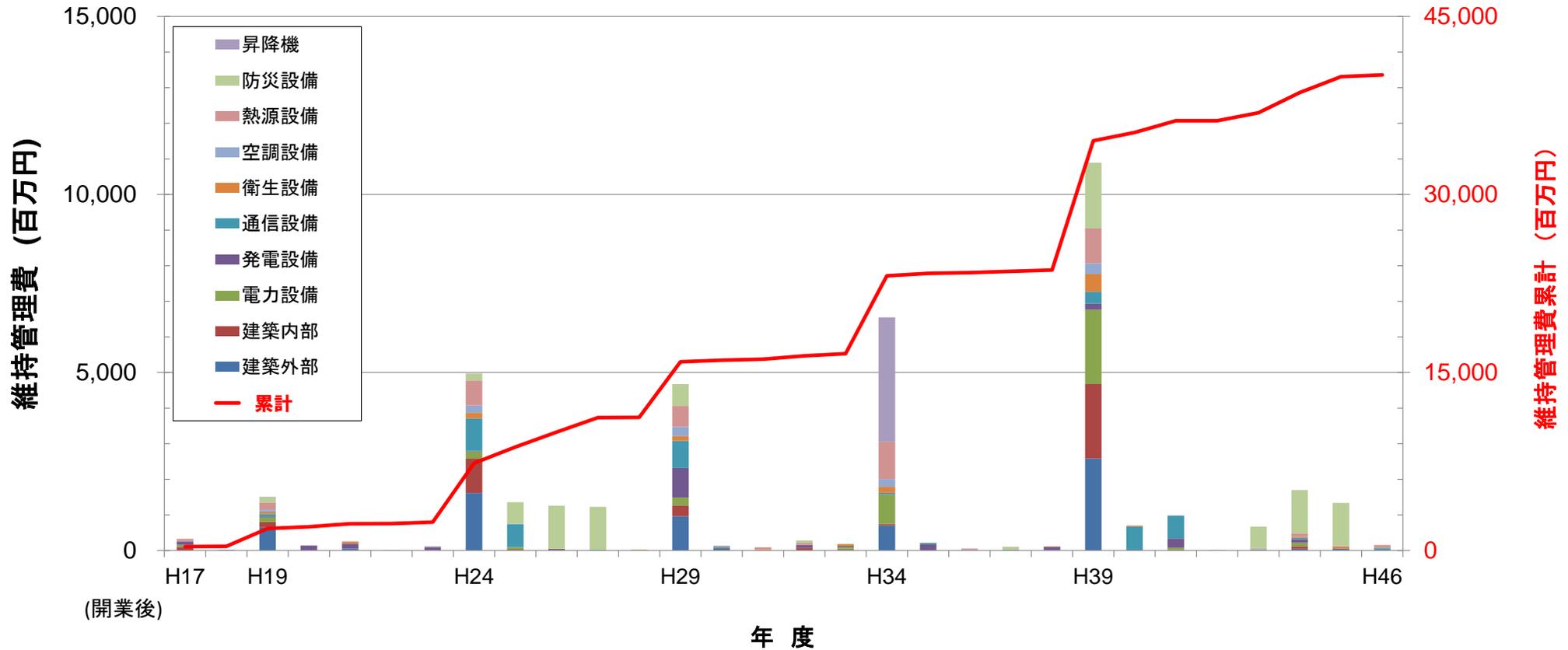
**4) 施工期間中に行う機能性能試験の計画・要領の検討と実施**

- ・特記仕様書(性能試験)に基づき、具体的な計画・要領書を作成
- ・クラウドデータ収集システムを活用した試験を計画

## 2. 建物オーナーからみたCxの効果・効用

高浦敬之（オーナー）

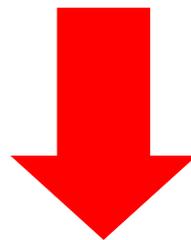
# 京都駅ビルを維持するための老朽取替費用



# CO<sub>2</sub>問題に取り組む背景

- 建設時に巻き起こった景観論争 ⇒ 建設反対運動
- 建物に対するお上からのレッドカード(アカガミ)
  - 構造: 既存不適格建物
  - 防災: 既存不適格建物
- **設備: 京都で最大のCO<sub>2</sub>排出量**
  - ⇒ **将来の既存不適格要因(?)**

} 確認申請が出せない  
(モニュメントとして朽ちるだけ)

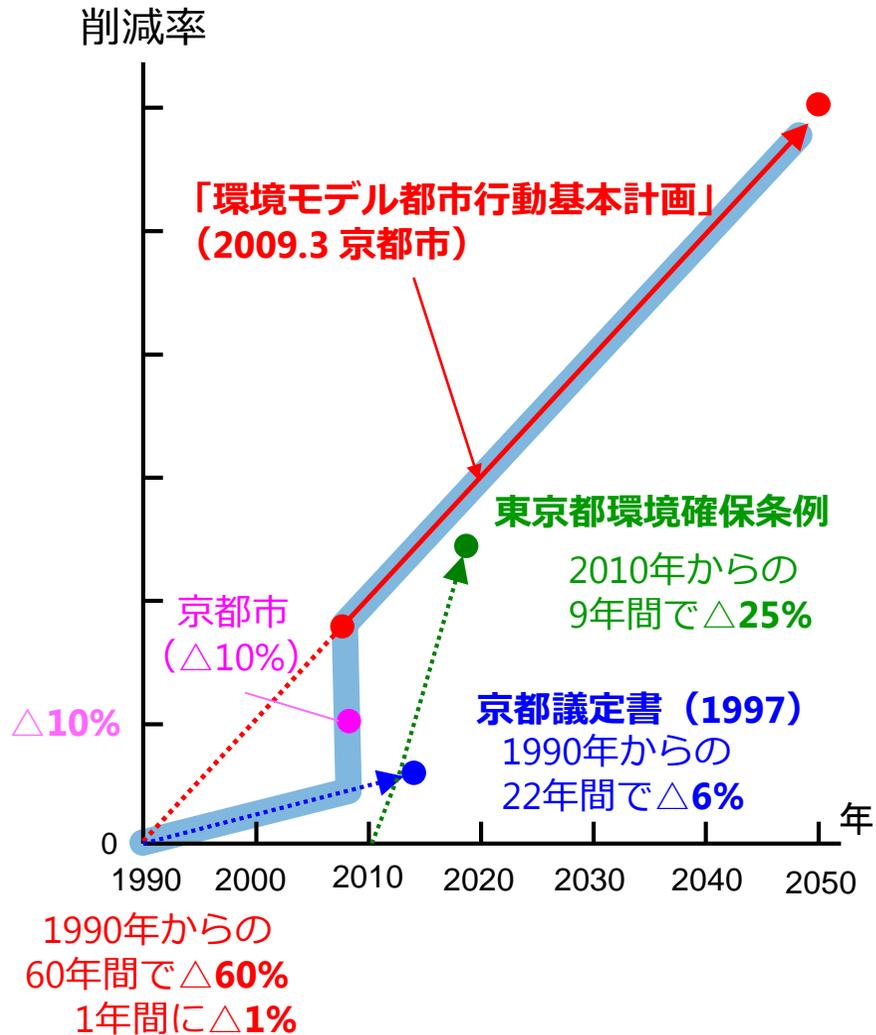


←… ささやかな個人的理由

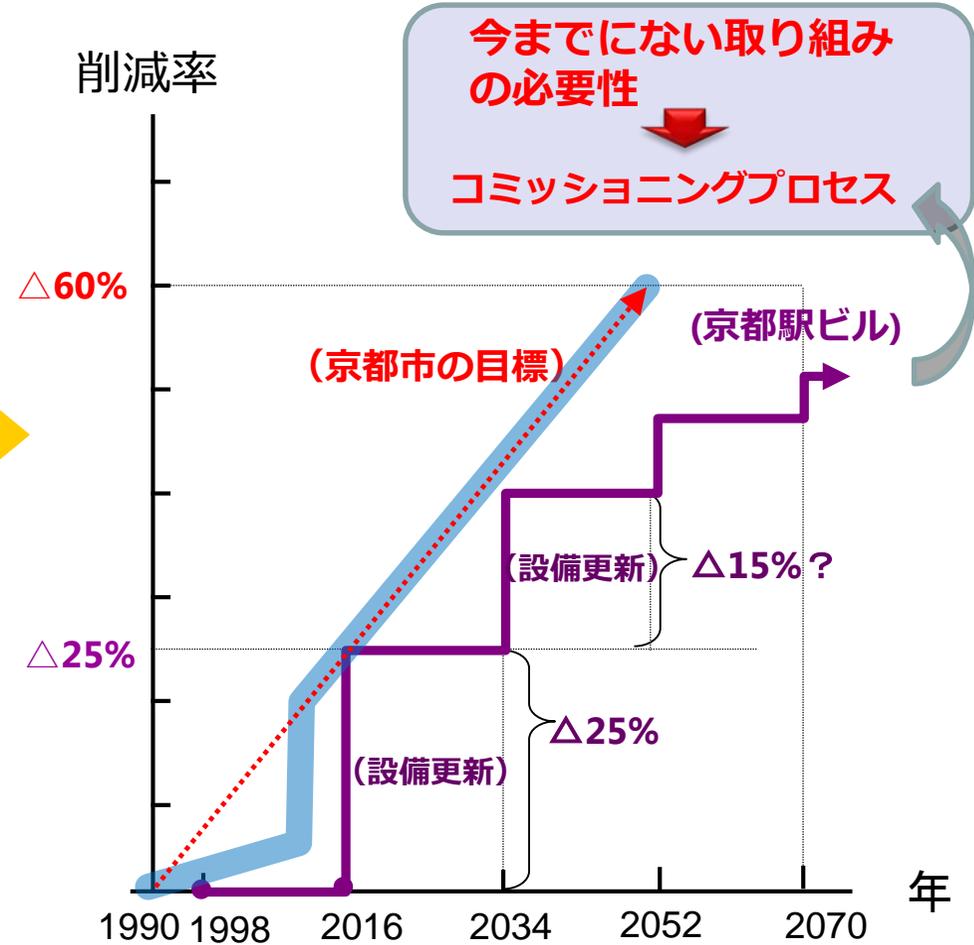
**本気で何とかしたい!!!**

# CO<sub>2</sub>問題に取り組む背景

## 京都市の目標



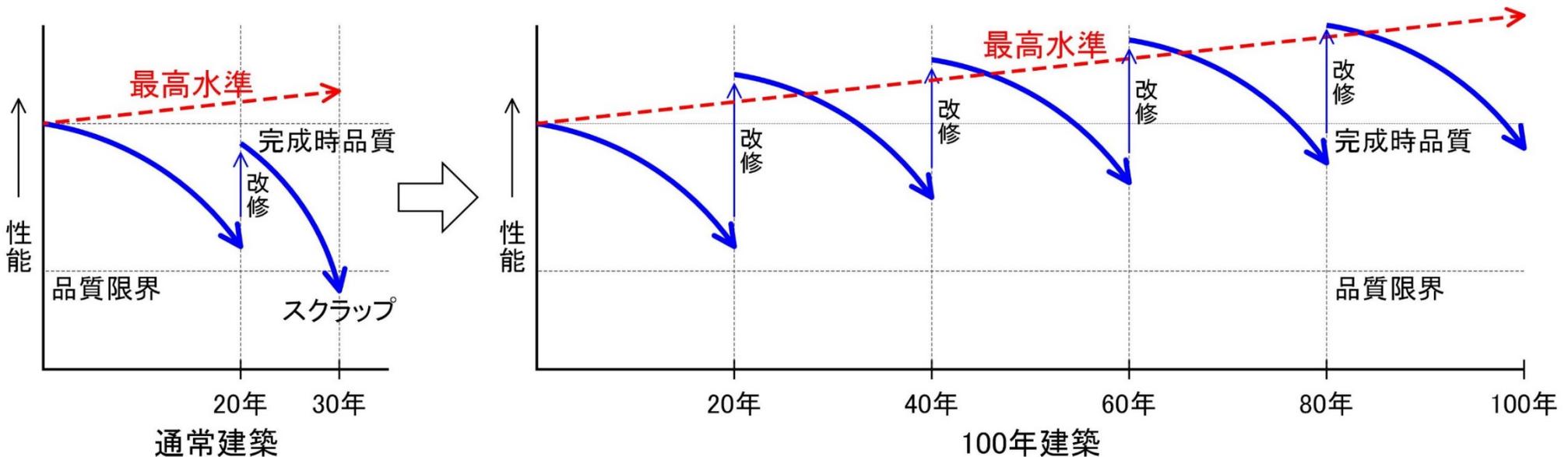
## 京都駅ビル(老朽取替)の場合



# 100年建築を実践するための設備面における要件



従来の老朽取替ではなく、  
改修時点での**最高水準**に設備の改修を行い  
建物性能を**高水準**で維持することが不可欠



# 経営者の目で見えた「従来のやり方 → コミッショニング」

## 従来のやり方(発注者の行動様式)

老朽取り替えを前提とした費用で中長期事業計画を作成



見直し、深度化 (実は何もしない)



実施計画 (予算の関係で、老朽取り替え前提)



優先順位: ①予算厳守 ②クレームが出ない ③できれば省エネ



諦める順位: ①省エネ ②クレームが出ない ③予算厳守

(プロジェクト予算) \_\_\_\_\_  
 (プロジェクトによる経費節減額) > 20年



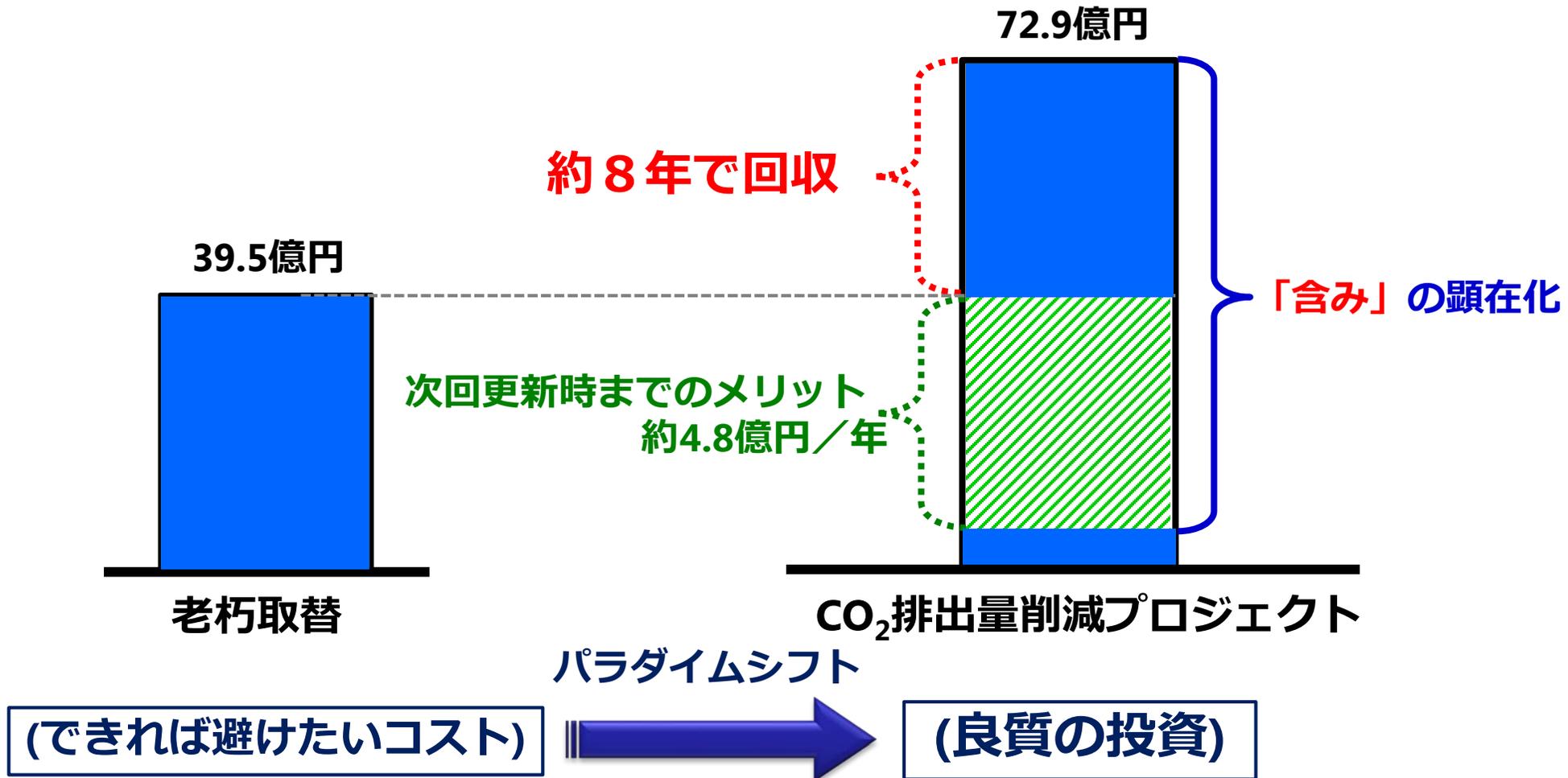
## コミッショニングによって実現したこと

(今回のプロジェクト予算 — 単純な老朽取り替え予算)

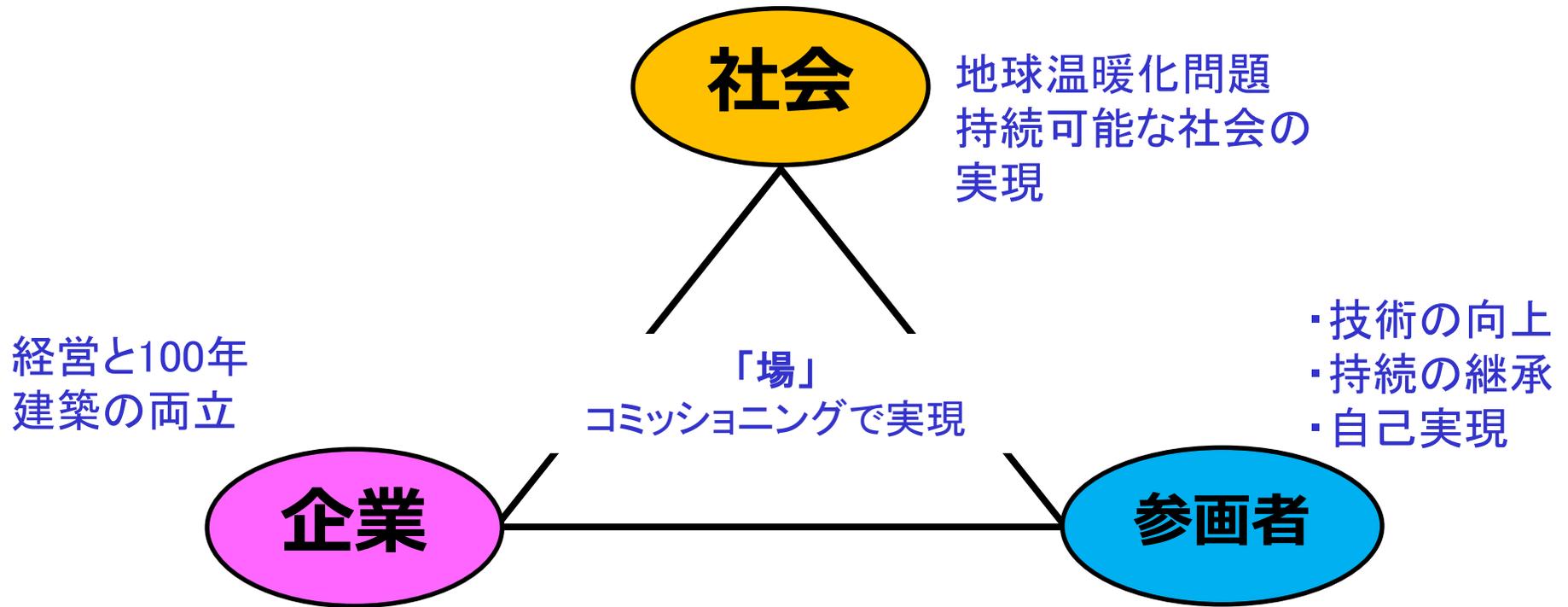
(今回のプロジェクトによる経費節減額 — 単純な老朽取り替えによる経費節減額)

=約8年

# 経営者の目で見えた「従来のやり方 → コミッショニング」



# 施主は社会に対して重要な役割を任っている



**? be Ambitious**

### 3. 設計者からみたCxの効果・効用

牛尾智秋(設計者)

# 発表内容サブタイトル

1. LEEDにおけるCx
2. 京都駅ビルCxとLEED Cxの違い
3. 設計とCxの業務範囲
4. 設計からみたCxの利点
5. Cxによる改善例
6. Cxによって再認識した重要な点

## LEEDにおけるCx 1/3

- ・ 米国における建物の環境評価LEED(リード)では基本的  
コミショニングが必須
- ・ 基本的コミショニング
  - 設計者、施工者ではない第3者が実施
  - 空調・換気・照明・給湯・再生エネルギーが対象範囲
  - 基本計画から設計、施工を通して、各段階で規定のフォーマットに従って確認し、記載していく

# LEEDにおけるCx 2/3

## コミッショニング文書

- ・ オーナー要求事項
- ・ 基本設計書
- ・ 設計図書
- ・ 機器設置確認
- ・ 機器性能単体試験
- ・ 総合運転試験(数日間運転)

→各内容は日本の設計監理と大差がないが、総合運転は、実際の稼働状況を数日間つくり、検証する

## LEEDにおけるCx 3/3

- オーナーの要求が明確化され、
- オーナーの要求通りに設備システムが構築され、
- その性能が確保されているかを  
第3者の視点で確認する

→ オーナー要求が具体的かつ明確化するのが最大の  
利点と言われてきた

→ 日本では、設計監理と重複する所が多く、性悪説  
に基づいた意図を感じる

## 京都駅ビルCxとLEED Cxの違い 1/2

京都駅ビルのCxは、LEED Cxの範囲を大きく超えている

- 現施設のエネルギー分析
- 現施設の課題抽出
- 省エネルギー目標提唱
- 熱源比較の検討・精査
- 熱源シミュレーションの検討・精査
- 代替空調システムの提案

# 京都駅ビルCxとLEED Cxの違い 2/2

以下は設計時か、施工時か？ →両方にかかっており、分けるのが難しいと考えています

- VE案の確認
  - 設備システムの詳細検討
  - 設備システム計算方法の詳細チェック
  - 熱源制御ロジックの提案・構築
  - 自動制御閾値の提案・レビュー
  - 自動制御ポイント名称方法の提案・レビュー
  - BEMSシステムの共同調査・提案・レビュー
  - 工場検査項目の立案
  - 現場検査項目の立案
- など

# 京都駅ビルCxとLEED Cxの違い 2/2

## Cxチーム

- ・ 京都駅ビルCx

設計・施工を通じて業界をリードする10人規模の  
専門家が2週間に一度以上の頻度で性能検証会議を開催

- ・ LEED Cx

数名が

基本設計(Basic of Design)

実施設計(Cx Plan)、

機器検査(Pre-functional Check)、

総合試運転(Functional Performance Test)

の各段階で協議

# 設計とCx(CMT)の業務分担

## 設計

- ・スケジュール管理
- ・予算管理
- ・納まり検討
- ・法適合確認
- ・申請書類作成
- ・設計図面作成
- ・設計主旨文書作成
- ・設計計算書作成

## 設計 + CMT

- ・要求事項(OPR)の整理
- ・現システムの性能分析 ※
- ・現システムの改善提案 ※
- ・省エネルギー目標提案
- ・性能向上提案
- ・性能検証  
(ピーク時を対象)

※ 今回はCx管理チーム(CMT)が  
基本計画前に行った

## Cx(CMT)

- ・設計内容のレビュー
- ・性能検証仕様書の作成  
(年間を対象)
- ・機能性能検証  
(年間挙動を対象)
- ・運転の適正化手法提案  
(完成後)

# 設計からみたCx適用による利点

## 1. 設計過程の明文化

- ・設計意図から変更理由まで全ての経緯が文書で記録される
- ・変更した場合も詳細に経緯が記録され、将来の改訂・改修時に検討事項が明確になる

## 2. 設計内容の精査

様々な専門家による多様なアドバイス

## 3. 未領域での検討

熱源制御ロジックの構築など

## 4. 実負荷においてシステムの最適化

# 設計の立場からコミショニングとは

## LEEDにおけるCx

- 重要な部分について第3者による性能検証
- 性悪説が前提に立っている

## 京都駅ビルにおけるCx

- LEEDにおけるCxに加えて省エネルギーの専門家による現状分析から課題抽出
- システムの改善提案
- 熱源制御プログラムの提案まで行う強力な省エネルギー検討業務

# 設計から見たCxによる効果 1/2

## 熱源システム

- ・20案近くを検討
- ・現蒸気システムを温水システムにすると省エネルギー性を高いが、イニシャルコストが高く、採用が難しかった

性能検証会議でCMTが、温水案を採用すべしと強く推奨 + 一部蒸気を残して、冷水管を冷水管として利用する提案をした

議論の結果 → 将来、全面を温水化を踏まえた案を採用することに決定

## 設計から見たCxによる効果 2/2

### コージェネレーションシステム

- ・ガスエンジン1000kW×2台
- ・蒸気+温水 吸収冷凍機で冷水製造

→ 年間負荷を実態に即して詳細に検証することにより、  
効率の悪い温水吸収冷凍機は採用しないこととし、  
温水は給湯と空調温水に利用することに限定

## Cxにより改めて重要であると再認識した点 1/5

### システム設定値の安全率について

一般に設計では、

- 計測点が少ないこと
- 想定外の値が計測された時を考えて、
- 安全率を加えた設定を行ってきたし、
- この安全率をいかに設定するかが設計者の一つの技量と言われてきた、

しかし、更なるエネルギー削減には、かつての安全率を見直すべき時に来ている

## Cxにより改めて重要であると再認識した点 2/5

### 最適運転に係るシステムの制御プログラムの検証

今までは、例えば、熱源台数制御に関して、自動制御メーカーが作成したプログラム構造、ロジックや細かな閾値まで議論する事は殆どなかった

今回は具体的な制御内容をプログラムレベルで協議して、制御プログラムおよび最適制御に向けて、通常は運用後の検討作業となる、運転制御の設定値や閾値を事前に性能検証会議で議論し、適切な設定方法となるような仕組みを提案している

## Cxにより改めて重要とある再認識した点 3/5

### 搬送動力削減の重要性

- 自然エネルギー利用や、高効率熱源システムなどは、施主を含めた関係者への理解が得やすいため、積極的に採用・検討していた
- 水・空気などの搬送システムはユーザーには感知できず、室内環境に直接、影響する事が少ないため、あまり重視して検討されてこなかった
- 今回は、居ながら工事のため、改修時の一時期のみにポンプに高揚程が必要された。通常、設計では回転数制御があるので高揚程でポンプを選定して、後は運用に任せて揚程が下がった時の効率ダウンに注意を注がない
- 今回は、ポンプインペラ交換など、常に最高効率で運転できるように提案するようCMTから指示され、施工者が解決した

## Cxにより改めて重要とある再認識した点 4/5

### コストとのバランス

通常、

- 現場の新たな要求などによりコスト増になりがちであるが、機能を極力下げない範囲で減額する
- 現場で検討を深めた結果、追加でコストを増せばエネルギー減になることは分かっても、コスト増のみが議論のネガティブな論点になり採用を断念することが多い

今回は、

- VEもCMT主導の性能検証会議の検討対象として議論を深めることで、メーカ作成の熱源最適プログラム構築の採用など、増減額が総合的に把握されており、省エネとなる増額(太陽温水器ポンプの変流量化など)が適切に評価されている

## Cxにより改めて重要とある再認識した点 5/5

### BEMSの最新性の追求

- 一般に、省エネルギー手法としてBEMSの活用が挙げられるが、その大半は、基本機能を数十年前に設計されたものが多く、データのクラウド化が進んだ現在のインターネットの世界とは隔世の感のあるシステムが多い
- 分単位でサンプルした数万点のデータを数年間分で扱えるようにする工夫をCxチーム全体で構築方法の検討をするようCMTが主導し、自動制御メーカーと施工者が開発したBEMSとを併用してシステムを構築するようになった

## 4. 施工者からみたCxの効果・効用

山口淳志(施工者・CxTE)

# VE提案

# VE提案 (1)

## VEへの取り組み

- 通常、VEは設計者の判断で採用可否がなされるケースが多い。
- 今回のCx導入によるVEは、施主側の立場に立ったCMTがVEをレビューし、第三者的な視点で議論・検討がされた。
- 施工側には、コスト面だけでなく、技術面においても良く理解された、本来の有意義なVEであったと思われる。

### VE提案に対するCxの効用

- ・施工者のVE提案が、CMTのレビューにより提案内容の質が上がった
  - ↑ “性能を低下させず、さらなる省エネ効果を追及”
- ・CMT・施主・設計者・施工者が、性能検証会議でそれぞれの経験を活かした議論を重ね、すべてが納得のいくVEにできた
  - ↑ “活発な意見交換の喚起”
- ・VE減額分の50%は施工者に還元されるインセンティブ契約は有用であった
  - ↑ “提案意欲向上への方策”

# VE提案 (2)

## VE事例一覧：熱源構成の変更

**単位モジュール容量の変更**  
 30RT×40M→50RT×28M  
 ・能力UP  
 ・集合配置見直しによる効率低下防止

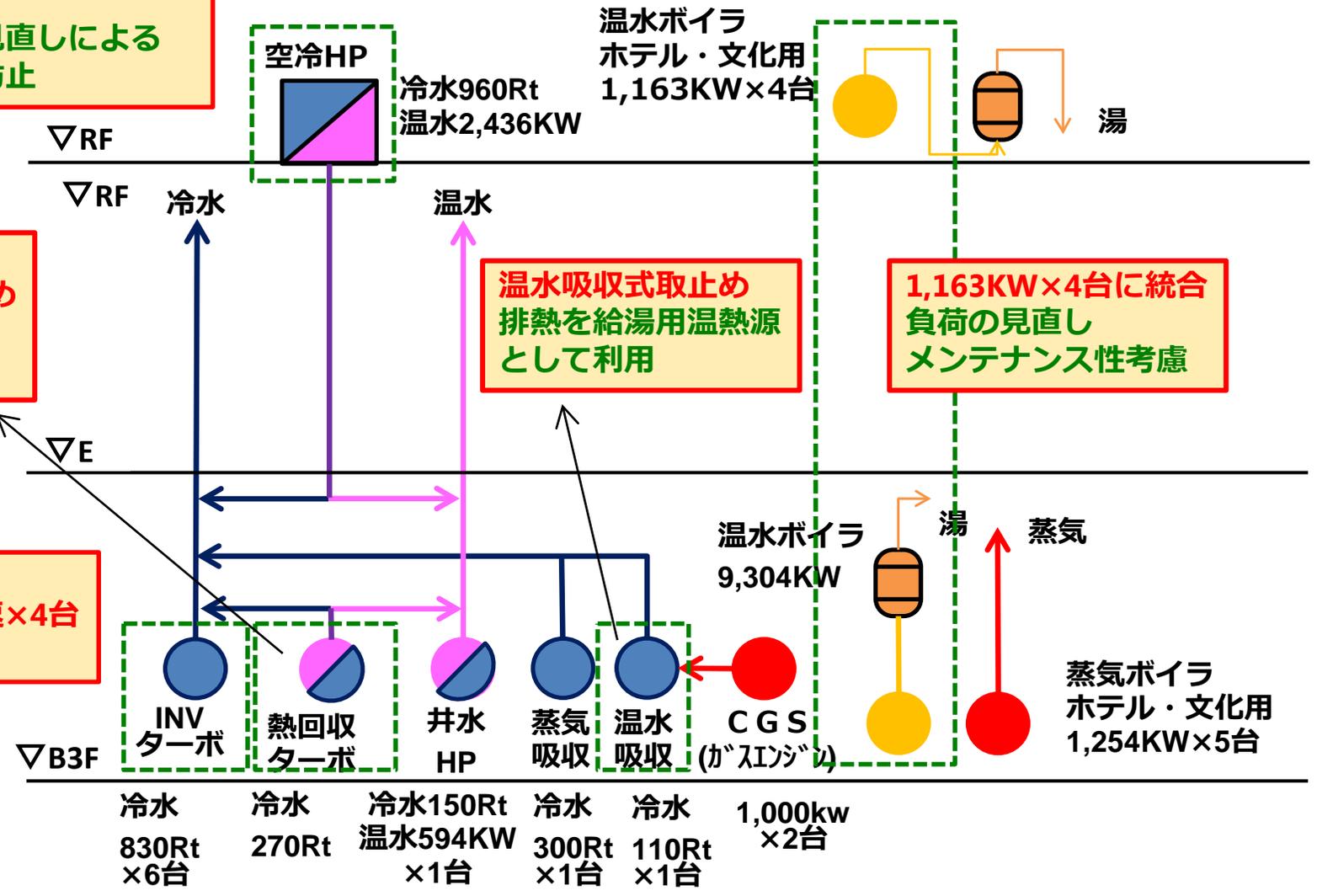
     : 施工フェーズで決定したVE

INV機→定速機  
 温水蓄熱槽取止め  
 ベース機運用  
 高効率運転制御

温水吸収式取止め  
 排熱を給湯用温熱源として利用

1,163KW×4台に統合  
 負荷の見直し  
 メンテナンス性考慮

INV×6台  
 → INV×2台、定速×4台  
 高効率運転制御



【原設計】ターボ冷凍機6台全てがINVターボ冷凍機

【VE案】このうち4台を固定速ターボ冷凍機に変更

### 【CMTからの指摘事項】

- ・特性の異なるINV機と固定速機の混在した構成となる  
→ 全てがINV機なら最適制御は容易だが、混在だと複雑になり  
両者の負荷配分を変えないと全体最適な運転ができない

### 【CMTの提案】

- ・最適運転時の増減段閾値やINVターボと固定速ターボの負荷率を、シミュレーションを援用して別途求めて、それをベクトルデータ化して制御プログラムに伝達する方法とする
- ・運転負荷率は冷水一次ポンプ(INV)の流量配分設定値として付与



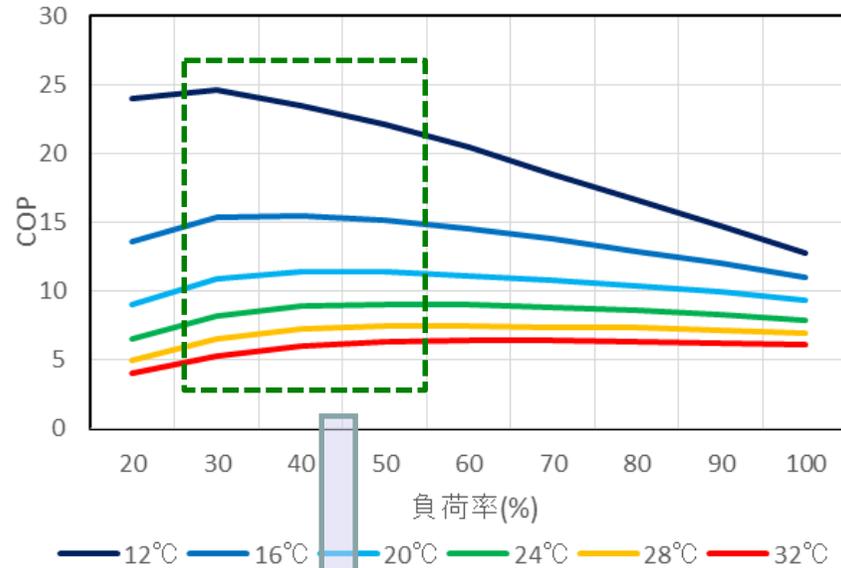
“冷凍機のコスト減 > 制御プログラムの増”

# VE提案 (4)

## VE事例-1: INV機、固定速機の性能特性

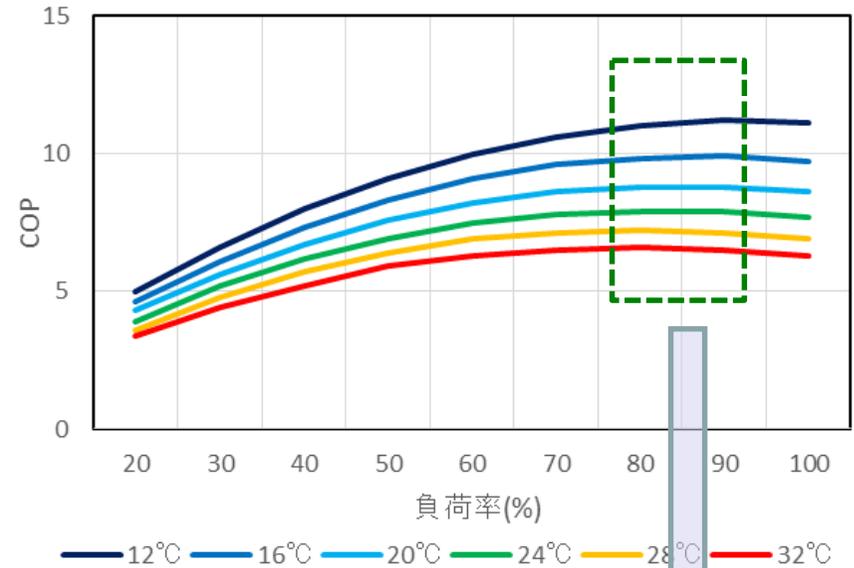
### INV機と固定速機の性能曲線

INVターボ冷凍機



INV機の場合  
負荷率30~50%が高効率

固定速ターボ冷凍機



固定速機の場合  
負荷率80~90%が高効率

**INV機と固定速機が混在する場合、それぞれが最適な負荷率で運転する制御プログラムが必要**

【原設計】熱回収の場合、安定して高効率運転を行うために

温熱蓄熱槽などの熱的バッファを設ける

【VE案】・温熱蓄熱槽の取り止め

・INV機→固定速機(熱回収で使用する場合、INVによる効果はない)

【CMTからの指摘事項】

・熱的バッファがなくなると安定かつ高効率な運転が出来なくなる

【CMTの提案】

(ハード側の措置)

温水側に放熱回路、冷水側にダミー負荷を与える加熱回路を設置

(ソフト側の措置)

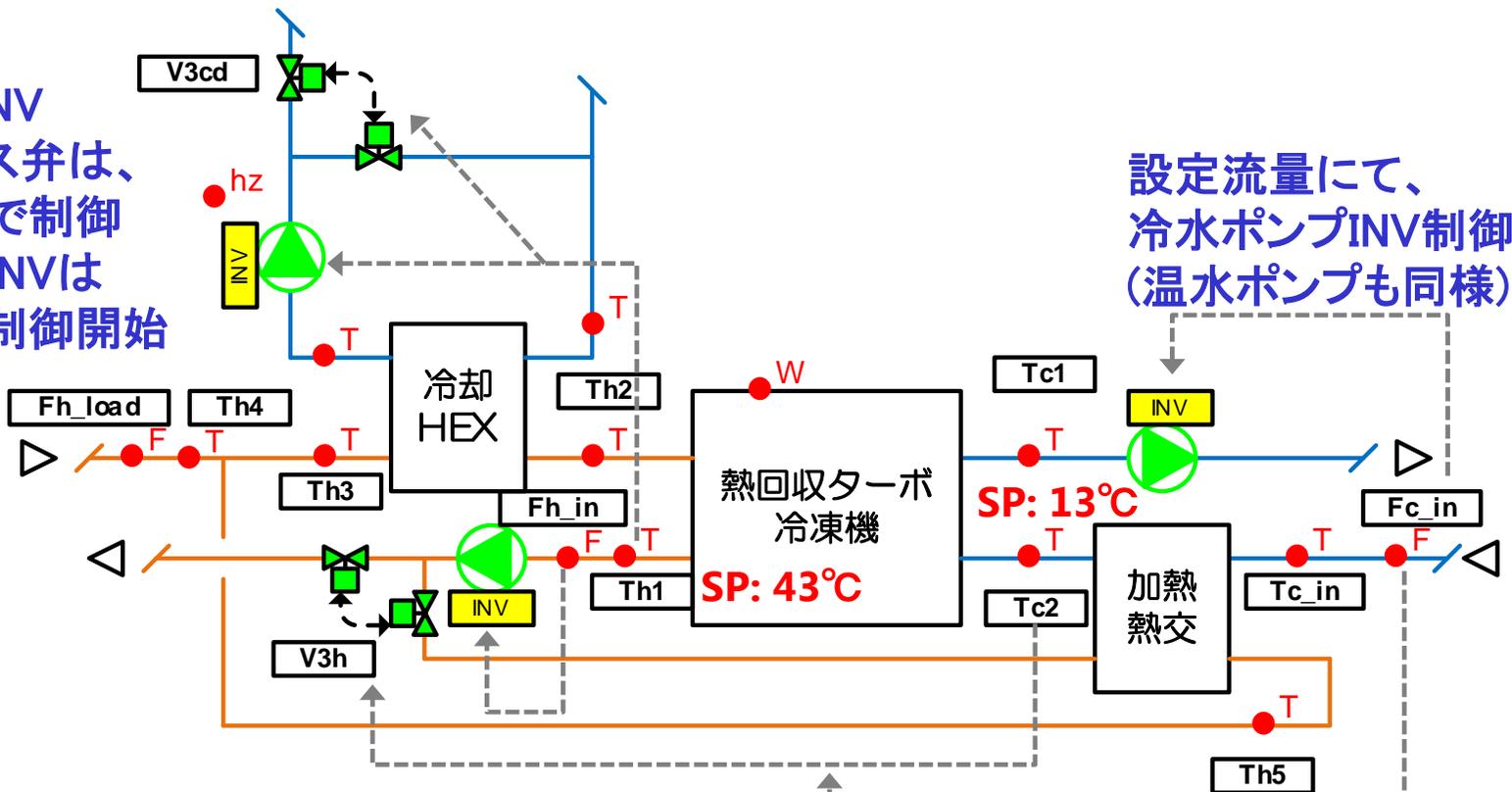
熱回収ターボ冷凍機を高効率で運転させるため、上記の冷却・加熱回路を用いて、冷熱と温熱の負荷バランスを保つ制御を導入



“冷凍機、蓄熱槽のコスト減 > 熱交+制御プログラムの増”

### ダミー負荷付与回路・冷却塔放熱回路設置

冷却水ポンプINV  
冷却水バイパス弁は、  
温水出口温度で制御  
ただし、ポンプINVは  
最低回転数で制御開始



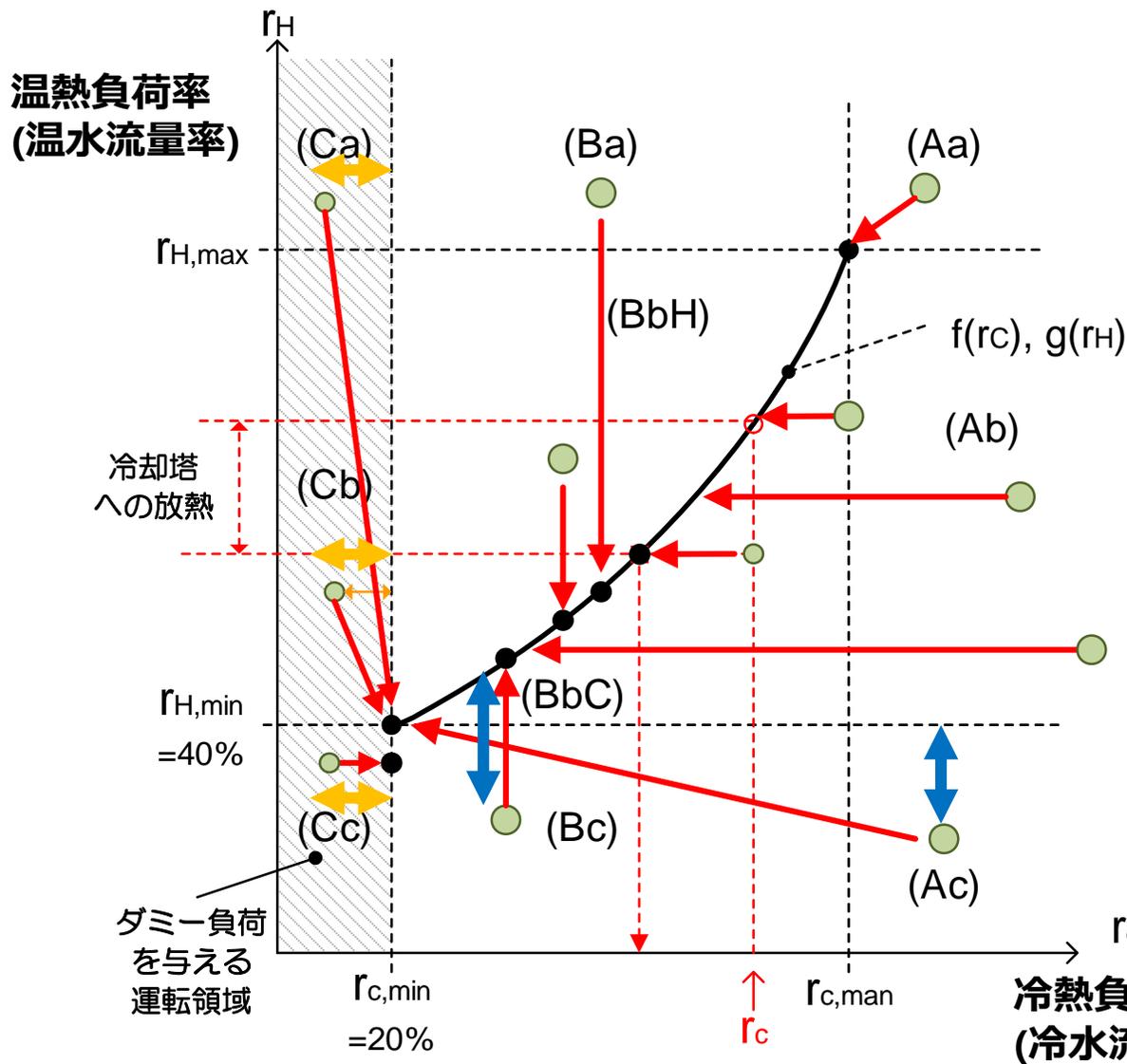
設定流量にて、  
冷水ポンプINV制御  
(温水ポンプも同様)

熱回収ターボ冷凍機廻り配管フロー

Fc\_in = mc,minの時、制御開始  
冷水入口温度で制御

高効率な運転を行うため、ダミー負荷を付加すること、冷却塔放熱をできるだけ少なくすること、という特別の制御を採用

#### 熱回収ターボ冷凍機 制御ロジック



## 施工図の性能検証レビュー

- ◆ VEがなくても、施工中に設計内容が変わらない工事は皆無といってよい
- ◆ 施工者は設計を一から計算して現場に即した機器を選定し、配管、ダクト、断熱などの詳細を決めて施工する
- ◆ こうして作成される施工図と計算書をCMTは性能検証レビューする
- ◆ そこで登場する議論により、性能向上を目指して設計が精緻に見直された

# 性能検証レビュー(1)

## 性能検証レビューへの取り組み

- ◆ 通常のVEでは、設計容量算出根拠が分からないので、容量は変えず、システムを変えたり、機器の仕様変更を行うことしかできない
- ◆ 本プロジェクトでは、性能検証会議で設計容量の見直しも対象され、大幅な容量低減が可能となった。
- ◆ これは本プロジェクトでは調査段階のCxもなされていて、既存データの分析調査が十分なされており、素早く実負荷を推定できたことによる
- ◆ 本例は、これからのVE手法の一つの方向性を示すものである

### 施工段階の性能検証レビューによるCxの効用

- ・負荷想定(新築)、既存負荷(改修)を見直し、適切な機器容量かの確認を行う
  - ↑ “機器設置の過大は、維持管理の負担も増大”
- ・CMT・施主・設計者・施工者が、性能検証会議でそれぞれの立場で意見を提示し、幅広い視点からシステムレビューを行う。
  - ↑ “活発な意見交換の喚起”

## 性能検証レビュー(2)

### SR事例-1: 温水ボイラの統合

【原設計】空調用、百貨店系統給湯用、ホテル系統給湯用と3系統の  
温熱源(温水ボイラ)を分散設置(搬送動力、放熱ロス低減による)

#### 【施主からの指摘事項】

実績負荷から判断すると温熱合計容量が過大である

→ 機器が多いということは、維持管理にも影響するので見直してほしい

#### 【CMTからの指摘事項】

- ・ 既存データを収集し、システムを再考することが必要
- ・ 放熱ロスについては、保温厚を厚くしてはどうか

#### 【設計者の変更案】

- ・ 既存データより各テナントの負荷を見直し、容量を低減
- ・ 3つの温熱源を統合しさらに温熱機器台数を削減(同時使用考慮)
- ・ 搬送動力は変流量方式とし低減、放熱ロスは保温厚を厚くことで対応



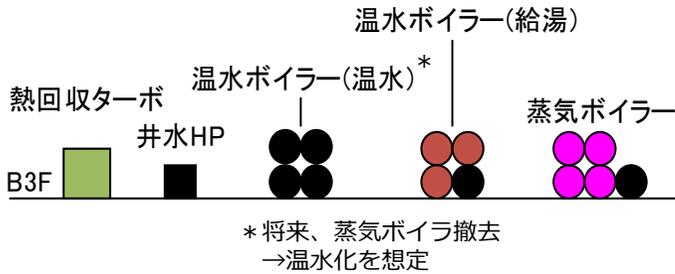
**機器のコスト減 > 配管施工の増**

# 性能検証レビュー(3)

## SR事例-1: 温水ボイラの統合

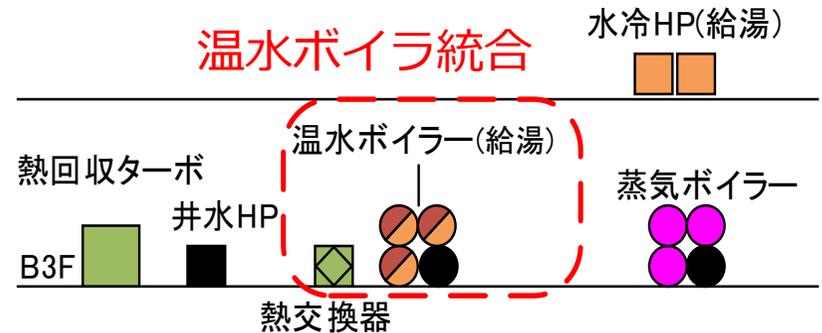
● : 温水系統   ● : 給湯(ホテル)系統   ● : 給湯(百貨店)系統   ● : 蒸気系統   ● : 予備機

### 原設計案



常用 : 51.6 GJ/h  
 予備 : 32.7 GJ/h  
 合計 : 84.3 GJ/h

### 変更案



常用 : 34.8 GJ/h  
 予備 : 15.9 GJ/h  
 合計 : 50.7 GJ/h

既存負荷の見直しにより熱源容量を40%低減

# 性能検証レビュー(4)

## SR事例-2: 二次ポンプ容量の見直し

【原設計】既存ポンプと同容量で機器選定

### 【CMTからの指摘事項】

既存データを収集し、ポンプ容量の見直しが必要

揚程計算についても、見直した水量にて再計算すると軸動力の低減に繋がる

→ 過大ポンプを選ぶと、INV制御であっても省エネ効果は減ずる

揚程計算の際の安全率についても、対象により見直して計算すべき

(ex. 機器やバルブは安全率なしでよい)

### 【変更案】

- ・既存の負荷水量に合わせてポンプ容量を見直し、ポンプ台数の変更を行った  
(テナントによっては、大幅な低減が可能)
- ・揚程も変更水量により再計算し、適正なポンプ選定を行った



**機器のコスト減 > 既存配管改造の増**

## SR事例-2: 二次ポンプの選定結果

		設計			見直し 低減率			
		原設計			実績最大流量(負荷)分析			
冷水系統		設計最大流量 [m3/h] ...①	ポンプ台数 [台](Np) ...②	ポンプ定格流量 [m3/h]	実績最大流量 (Fmax_result) [m3/h]...③	設計最大流量との比...④ ④ = ③ / ①	上位10%の流量[m3/h] ...⑤	上位5%の流量[m3/h] ...⑥
百貨店	高層系	1620	3	540	1203	74%	705	926
	低層系	720	2	360	432	60%	259	323
ホテル	高層系	1530	3	510	869	57%	666	751
	低層系	168	2	84	124	74%	85	97
文化		324	2	162	259	80%	118	148
駅		360	2	180	208	58%	109	125
専門店		324	2	162	248	77%	163	185
合計		5046	-	-	3343	66%	2105	2555
冷熱源システムポンプ合計流量(ΔT=6K)					3499			

### 冷水二次ポンプ

水量の見直しにより  
20~40%の容量低減

		設計			見直し 低減率			
		原設計			実績最大流量(負荷)分析			
温水系統		設計最大流量 [m3/h] ...①	ポンプ台数 [台](Np) ...②	ポンプ定格流量 [m3/h]	実績最大流量 (Fmax_result) [m3/h]...③	設計最大流量との比...④ ④ = ③ / ①	上位10%の流量[m3/h] ...⑤	上位5%の流量[m3/h] ...⑥
百貨店	AHU系	1152	4	288	-	-	-	-
	FCU系	1152	4	288	26.4	2%	4.2	6.8
	AHU+FCU系統合 <sup>(*)</sup>	1152	4	288	559	49%	284	348
ホテル	AHU系				蒸気(現状維持)			
	FCU系	552	2	276	198	36%	77	94
文化	AHU系				蒸気(現状維持)			
	FCU系	59.8	2	29.9	29.9	50%	13.2	17.4
駅		360	2	180	93	26%	65	72
専門店		324	2	162	104	32%	30	49
合計		4751.8	-	-	983.9	21%	473.4	587.2
温熱源システムポンプ合計流量(ΔT=6K)					1212			

### 温水二次ポンプ

水量の見直しにより  
50~70%の容量低減

# 性能検証レビュー(6)

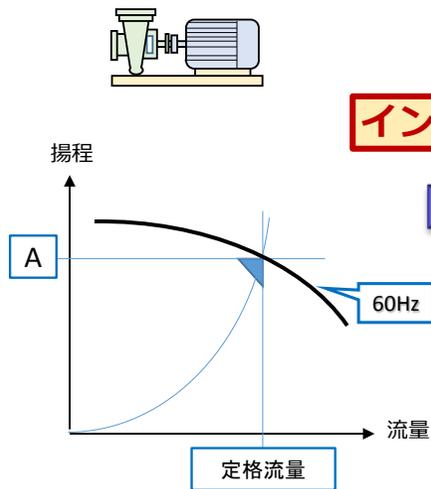
## SR事例-2: ポンプのインペラ交換

前述の流量見直しにより、再度揚程計算を行い適正なポンプの選定を行ったが、今回の現場においては、システムを稼動しながらの改修のため、既存のポンプ揚程は、竣工後に必要な揚程が小さくても、工事中に確保しなくてはならない(1台ずつの更新のため)

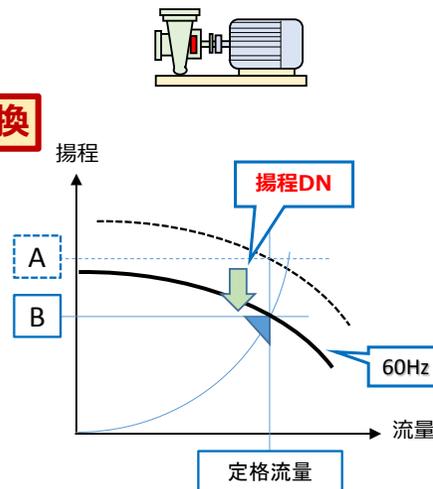
よって、竣工までの過渡期と竣工後の完成時の両方に対応する方策を考えた以下の対策を検討した。

### 揚程過大の場合

(一次ポンプ、冷却水ポンプ等)

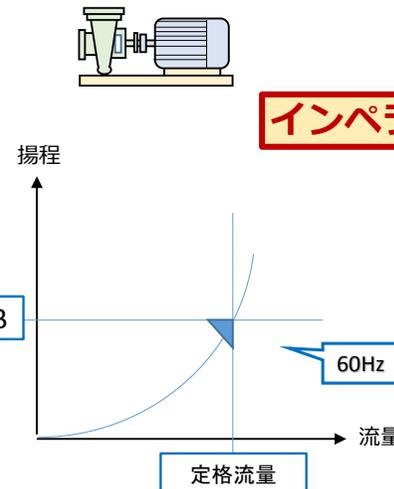


インペラ交換

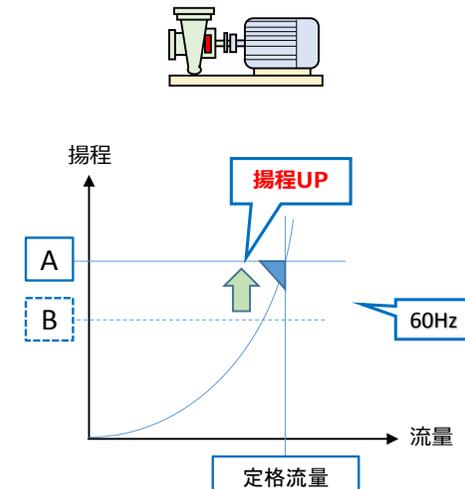


### 揚程不足の場合

(二次ポンプ等)



インペラ交換



\* インペラを交換しても揚程の範囲制限のため全ケースには対応はできない

# 機能性能試験の合理化提案

# 性能試験の合理化(1)

## 機能性能試験の合理化提案

### 【機能性能試験】

機能性能試験仕様書に、「測定ポイントの確認試験や機能性能試験を測定ポイントデータを用い、可視化して良否判定する」としている



### 【問題点】

一般的に、BEMSは竣工間際に立ち上がることが多く、データの取り出しは、自動制御盤から計装業者に依頼しメーカーのツールで行い、これを分析・試験実施者に受け渡すといった、非合理的な作業とならざるを得ない。

→手間が掛かり、タイムラグが生じるため、的確な検証が出来ない



### 【施工者からの提案】

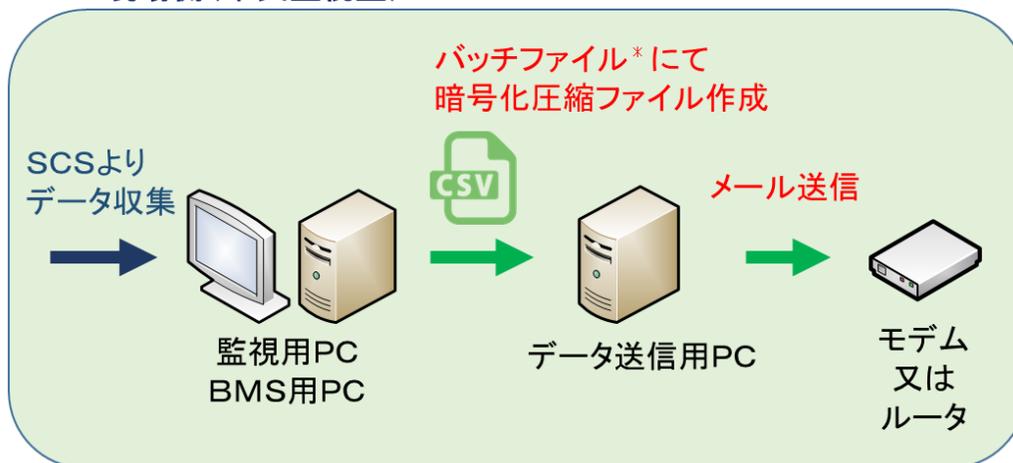
クラウド型データ収集システムを導入し、誰でもどこでもタイムリーに分析が行えることを提案。

現有する高砂熱学工業(株)のGODAシステムを利用。

## データ収集フロー

### クラウド型データ収集システム (GODA)

現場側(中央監視室)



1日1回  
1分データ(全データ)を送信

分析者



分析者



パナソニックデータセンタ

ファイル自動解凍  
データ登録



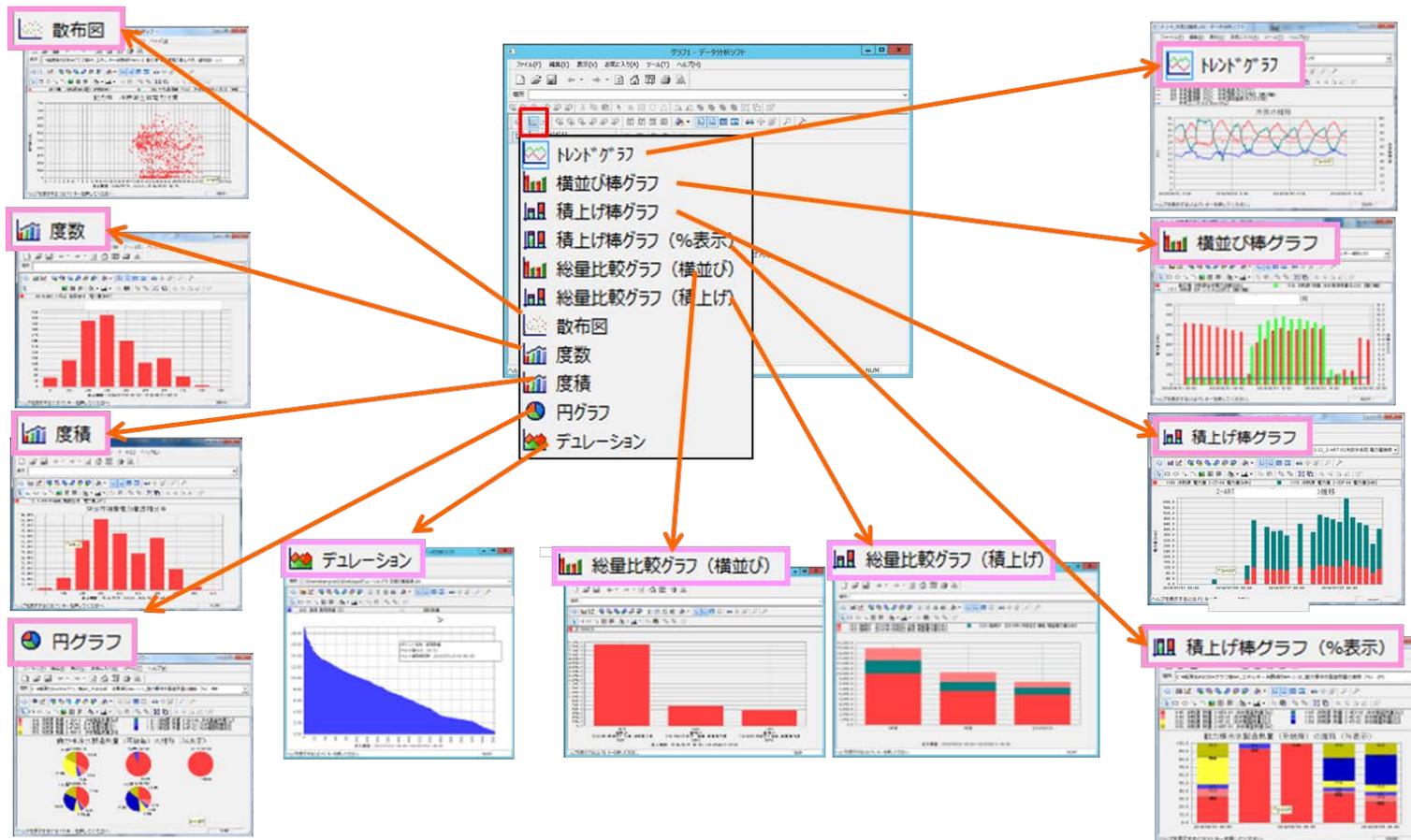
データ取り込みから  
サーバ登録まで自動

# 性能試験の合理化(3)

## クラウド型データ収集システム(GODA)

### GODAの機能紹介

- さまざまなグラフ作成機能、演算機能、フィルタ機能、マップ機能がある
- クラウドを利用しているため、個々で作成したグラフも共有が可能
- 複数のユーザにて利用する場合に便利



## 5. BEMS・自動制御システム構築のCx

松下直幹 (CMT・CxTE)

# BEMS・自動制御システム構築の検討ポイント

## 1. ポイント管理ルール

(目的)測定データをベースとする性能検証を合理的に行う

## 2. 最適制御手法

(目的)複雑な熱源システムを最適に制御する

## 3. 制御プログラムの作成方法

(目的)性能検証過程で必要となる追加・修正を行えるようにする

## 4. 運転・管理者のためのシステム運用支援

(目的)運転・管理者に省エネ性能維持・向上を目的とした  
監視・操作を継続して行えるようにする

# ポイント管理ルール

## 課題と対応(概要)

## 【ポイント管理の課題】

統一性のあるポイント名称・コード付与ルールがないため、名称の文字列による測定箇所の把握や検索・抽出が適切に行えない



## 【ポイント管理に関する課題の対応】

- ・ポイント名称・コードに付与する属性情報(場所・機種・対象物等)と順序を取り決め、ポイント名称・コード付与ルール書とした。
- ・ BEMSは複数のベンダーの複合システムに、共通のグローバルユニークコードを定めた。
  - 確実に、ポイントを一意に特定できる



データ分析業務に起こりがちな不具合を回避

●ポイント管理属性を取り決め



●ポイント名称に使用する属性

属性区分	属性項目	
識別属性	システムユニークコード	
	ポイント名称	
	ポイントコード	
特性属性	ポイントタイプ	
	単位	
	測定レンジ・パルスレート・	
	データ表示桁数	
	センサ・変換器精度、総合精度	
グルーピング属性	場所情報	棟名、システム名
		設置階、対象階
		エリア、部屋名
	機器・システム	機器記号
		機器種別・システム系統名
	測定箇所	対象物
部位・位置		
状態・物理量		



No	属性
(1)	エリア区分名
(2)	系統名
(3)	場所(機器設置階)
(4)	場所(エリア・部屋名)
(5)	機器記号
(6)	機器種別・システム名称
(7)	対象物
(8)	部位・位置
(9)	状態・物理量

【制約】ポイント名称文字数制限  
(40-50文字)



・ポイント検索・抽出  
・名称だけからある程度  
測定箇所を特定

# ポイント管理(3)

## グローバルユニークコードの取り決め

### 中央監視・自動制御システムのポイントの管理属性 (アズビル)

モジュールNo	グループ名称	
ラインNo	管理点表示名称	
コントローラNo	表示記号1ID	
サブコントローラNo	表示記号1	
ポイントNo	表示記号2ID	
記号	表示記号2	
名称	ビルNo	
リモート盤	グループNo	ロジカルアドレス
動力・制御盤	ポイントNo	
ポイントタイプID	COS送信	
ポイントタイプ	印種	
操作種別	サマリNo	
設定	インスタNo	
発停・切換	音声	
自動	警報:強制	
高低	警報:レベル	
状態	外部	
COS監視	記・印	
故障	記・蓄	
連動	確・印	
計測	操作	
積算	COS・印	
中央	COS・蓄	
タミ	運用区分	
信号種別	火災	
下限	TAG	
上限	FIM 登/削	
単位	FIM不一致	
ユニット種別	登録削除	
RUID	リモートIPDID	
設備		
bessno		

### ポイント名称管理の属性 (高砂)

No	属性
1	ロジカルアドレス
2	ポイントコード
3	エリア区分名
4	機器種別・システム名称
5	場所(機器設置階)
6	親番号
7	子番号
8	機器記号
9	機器種別名称・システム名称
10	対象エリア・部屋の階
11	対象エリア・機器系統名
12	対象物
13	部位・位置
14	状態・物理量
15	データ条件

### クラウドBEMS(GODA)システムポイントの管理属性 (高砂)

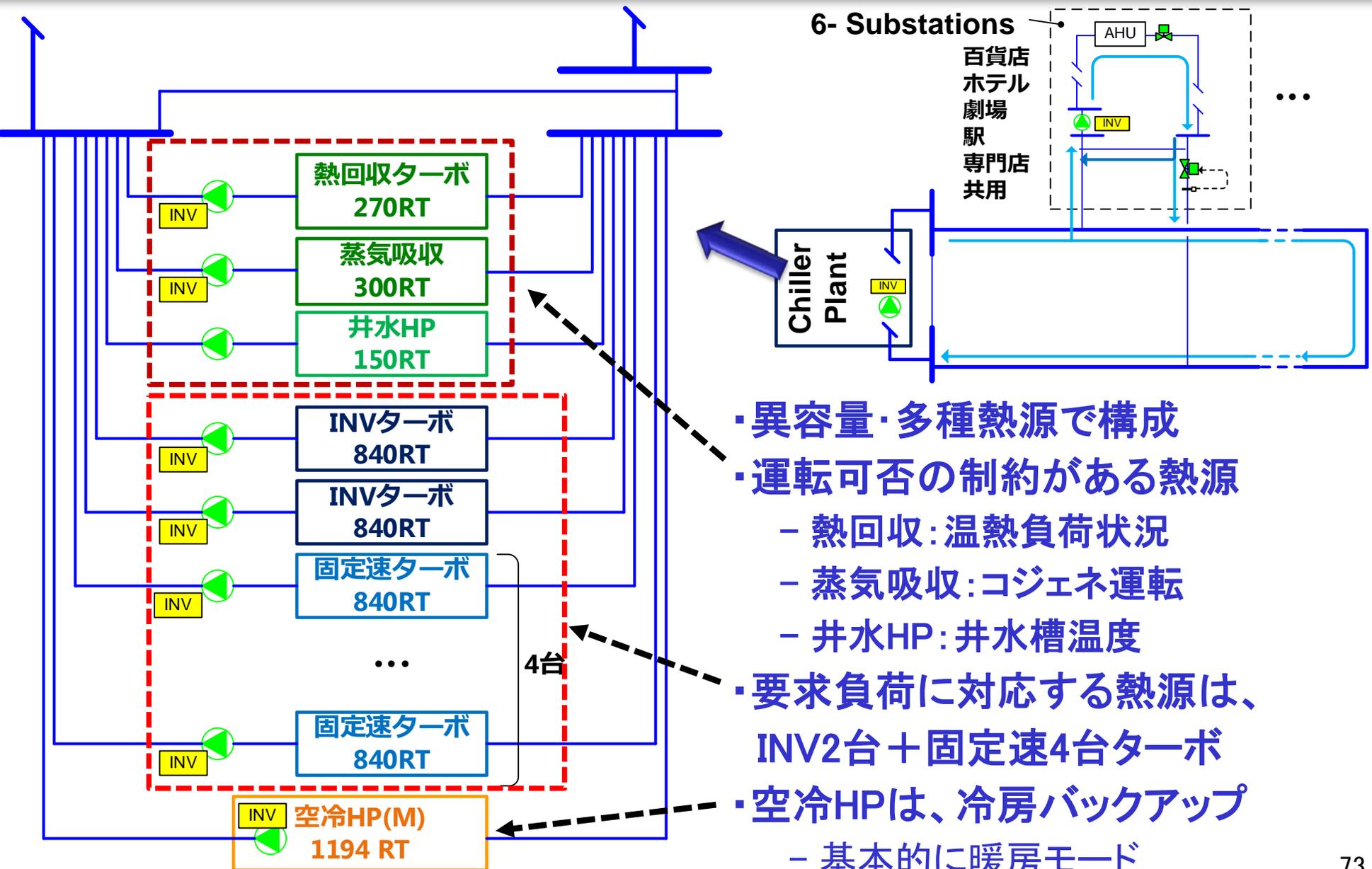
属性	
ポイント番号(重複不可,空欄不可)	
ポイント種別(0:P,1:A,2:AQ,3:D,4:DO,空欄不可)	
データタイプ(0を入力,空欄不可)	
ポイント名称	
TSCネーミングコード(ローカル名)	
TSCネーミングコード(グローバル名) → ロジカルアドレスを記入	
顧客番号(0を入力,空欄不可)	
収集周期(0:1分,1:5分,2:10分,3:30分,4:60分,5:1日,空欄不可)	
単位	
グループNo(空欄不可)	
小数点以下表示桁数	
最大カウンタ値(ポイント種別がPIのときのみ入力)	
最小値(異常値検知の場合のみ入力)	
最大値(異常値検知の場合のみ入力)	
収集手段(CSV取込の場合5を入力)	
ポイント割付用キー	
収集許可フラグ(0:許可(収集する),1:禁止(収集しない),空欄不可)	
予備(空欄)	
重み(y=Ax+BのA,空欄不可)	
補正值(y=Ax+BのB,空欄不可)	

システム間で  
グローバル  
ユニークコード  
出紐付け

アズビルシステムの  
ユニークコード  
(=ロジカルアドレス)を  
本プロジェクトの  
グローバルユニークコード  
とした

# 最適制御手法

# 冷熱源システム構成特徴



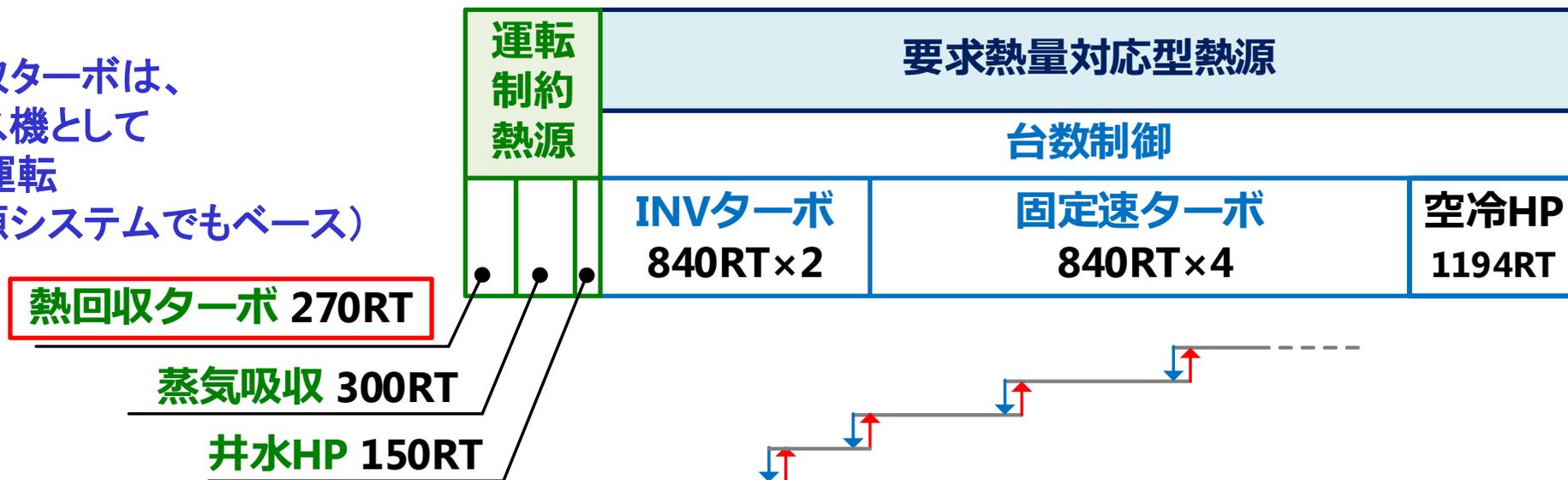
- ・異容量・多種熱源で構成
- ・運転可否の制約がある熱源
  - 熱回収: 温熱負荷状況
  - 蒸気吸収: コージェネ運転
  - 井水HP: 井水槽温度
- ・要求負荷に対応する熱源は、INV2台+固定速4台ターボ
- ・空冷HPは、冷房バックアップ
  - 基本的に暖房モード

## 冷熱源台数制御手法の検討(1)

## ➤ 運転順位・要求熱量型熱源台数制御

メイン区分	サブ区分	熱源機種	能力
強制運転型	-	熱回収ターボ冷凍機(冷)	270RT (ベース・常時運転)
	-	蒸気吸収冷凍機	300RT (コジェネOn時は運転)
限界容量型		井水HP(冷)	150RT (井水槽温度条件)
要求熱量対応型	メイン 台数制御型	INVターボ冷凍機	840RT×2台
		固定速ターボ冷凍機	840RT×4台
		空冷HP(冷)	1194RT(28module), backup

- ・熱回収ターボは、ベース機として常時運転 (温熱源システムでもベース)

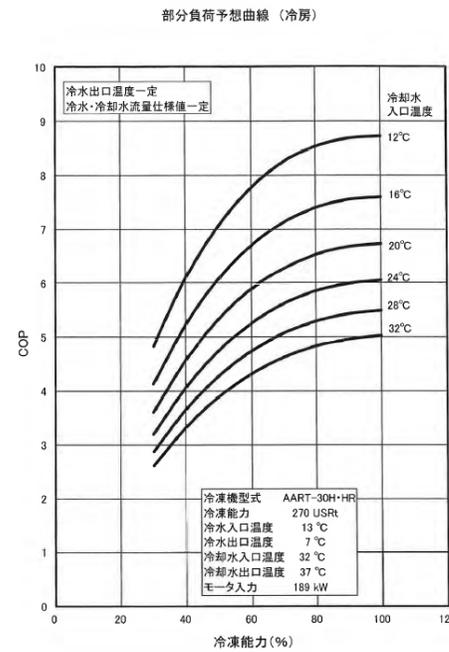
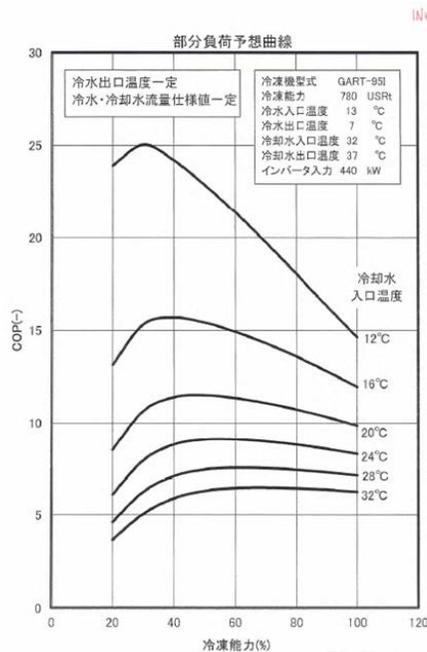


# 最適制御手法 (3)

## 冷熱源台数の検討課題

### 冷却水温度により

- 増減段閾値をどう与えるか
  - INVターボと固定速ターボの処理熱量配分をどう与えるか  
(固定速100%で残りをINVで均等配分とするのが、最適とは限らない)
- INV 1台 80%で運転 < INV2台 40%(=40×2) ?
- INV2台 100%で運転 < INV2台 60%+定速1台 80% (=60×2+80) ?



VEにより、6台全てINVから、INV・固定速が混在となったことにより、最適制御の難易度が非常に高くなった

\*部分負荷特性は参考値であり、これを保証するものではありません。  
\*補機動力等は含んでいません。

INV

\*部分負荷特性は推定値であり、これを保証するものではありません。  
\*補機動力は含んでいません。

固定速

## 1. 要求熱量型熱源の処理熱量・流量を求める

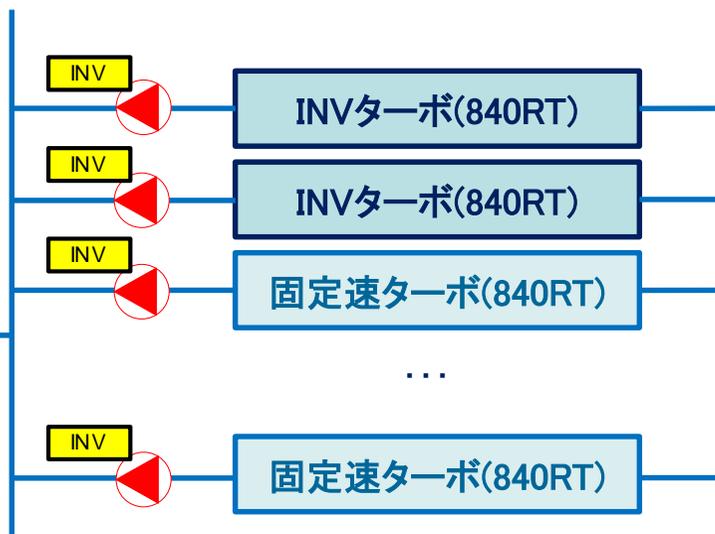
負荷熱量・流量から、熱回収・蒸気吸収・井水HPの処理熱量・配分流量を差し引く

## 2. 冷却水温度に対応する最適化パラメータを与える

## 最適化パラメータ

1) 増減段閾値設定

2) 割当熱負荷率 → 冷水流量設定(冷水PのINV制御用の設定値)として

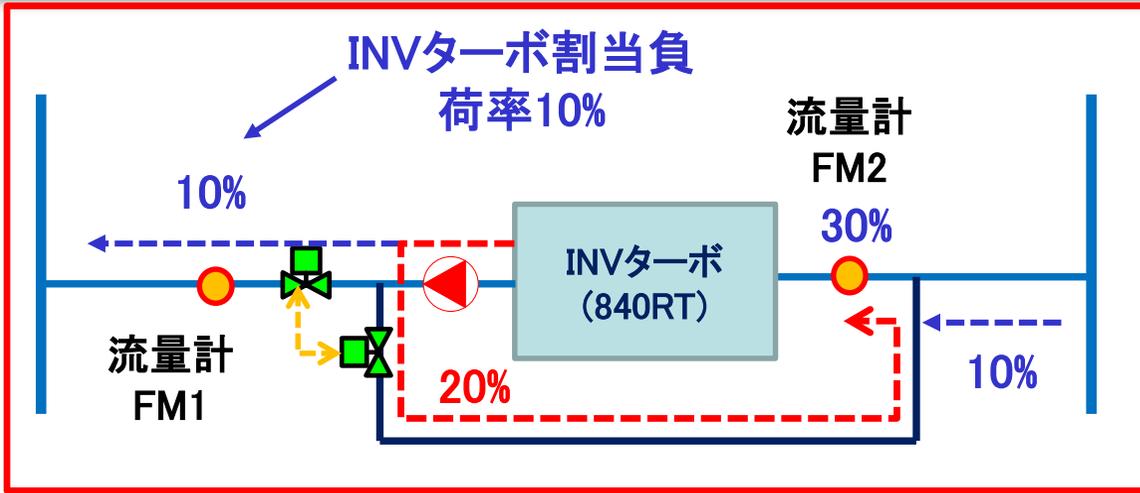


## 【課題】

- ・割当負荷率を流量で設定するには、二次側往還温度差が定格であることが基本  
→ 実際は温度差は変動するので、実負荷流量を考慮して、流量設定を行う
- ・冷凍機的能力制御範囲と流量の下限値制限とのギャップ対策  
- INVターボ: 能力:0-100%, 流量:30-100%

# 最適制御手法 (5)

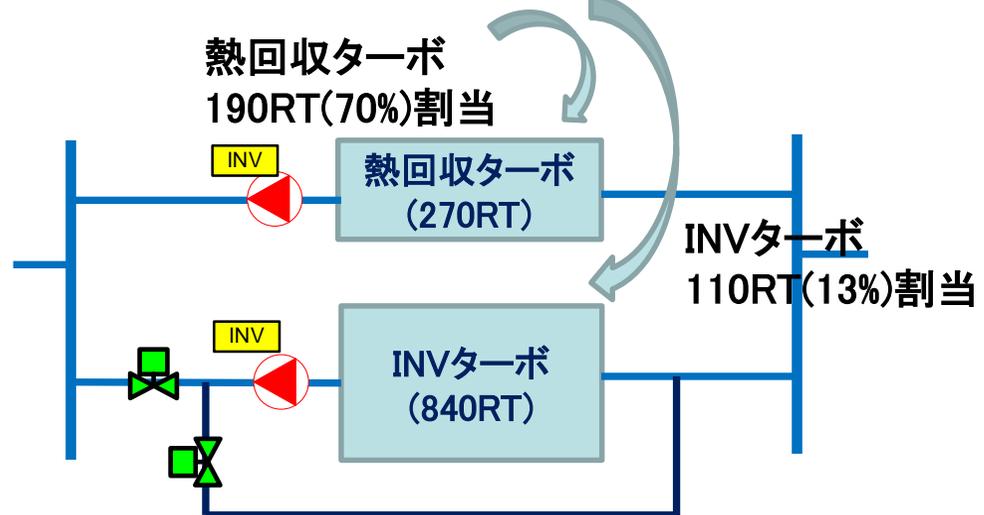
## INVターボブリードイン(バイパス)制御方法



・INVターボ2台だけ、バイパス配管(ブリードイン)を設置

- FM1 → 負荷率10%相当流量設定でポンプINV制御
- FM2 → INVターボ最小流量30%となるように、バイパス弁をPI制御

たとえば、冷熱負荷 300RTのとき



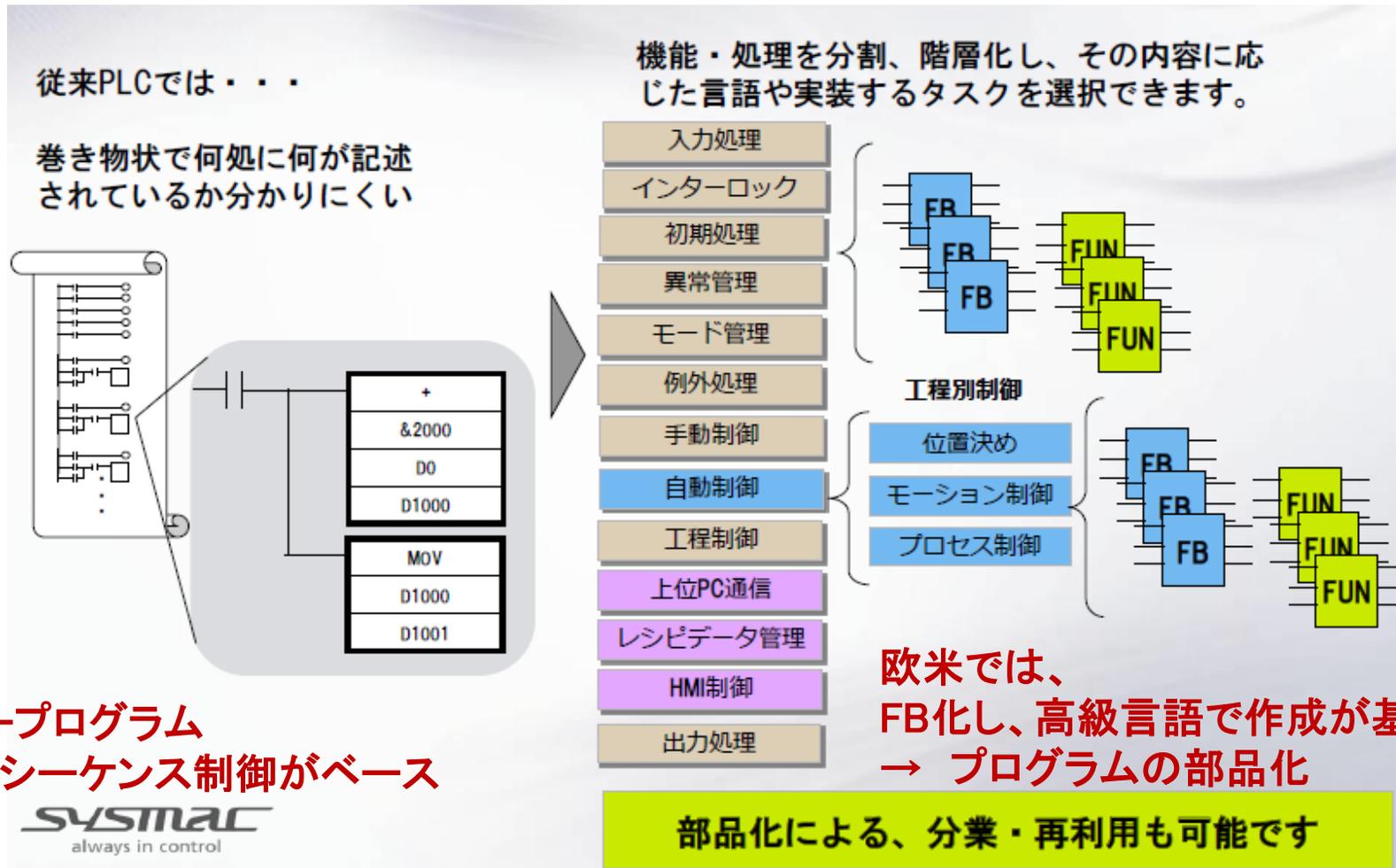
バイパス制御により、30%以下の能力も出せる熱源容量0-100%のどこでも制御可能となる

この状況でもINVターボの割当負荷率13%(<30%冷水流量下限値)を与えられる

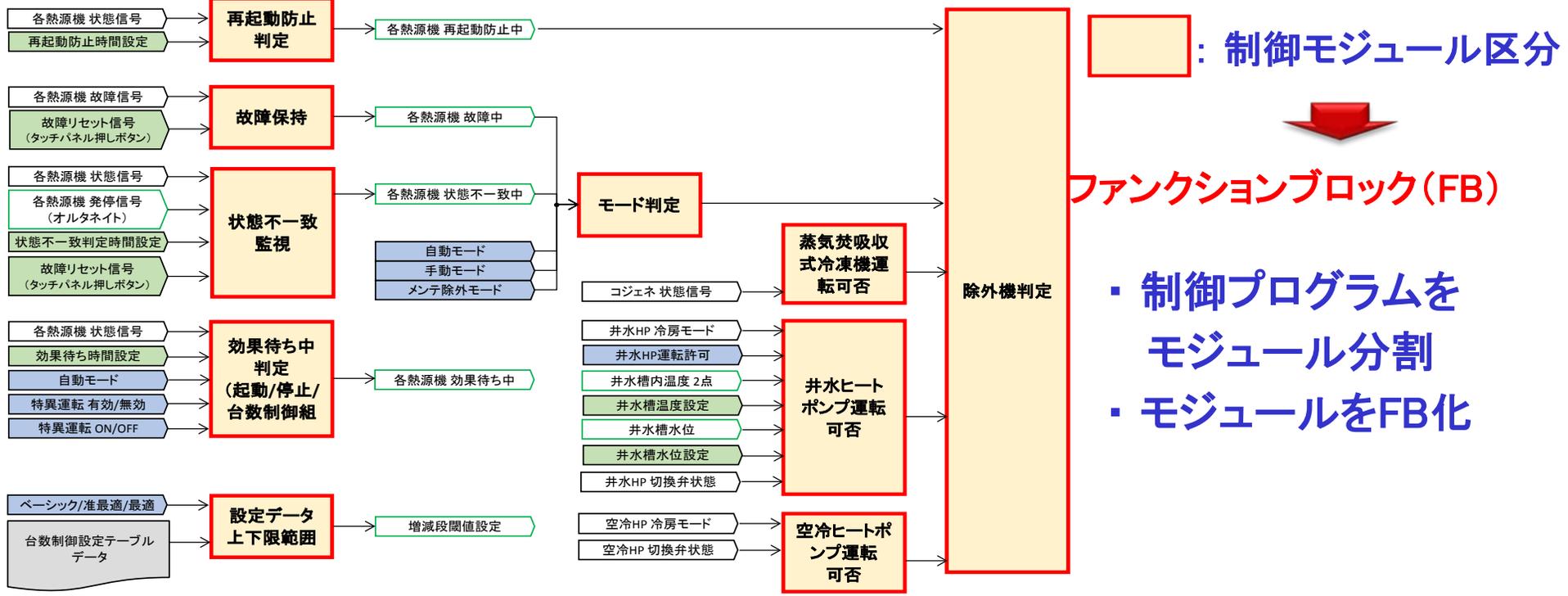
→ 二次側流量過多を防げる

# 制御プログラム作成方法

- ・ 出来合いのコントローラで対応できない → PLCを活用
- ・ 制御プログラムは自由に作ることができるが、作った人しかわからない、  
作り方によっては修正が難しい(=作り直しならよいが…)



## 台数制御プログラムのモジュール化設計



- ・ 制御プログラムをモジュール分割
- ・ モジュールをFB化

### 【構造化したプログラムのメリット】

- ・ 作成者以外も理解可
- ・ 修正箇所の局所化
- ・ 追加・変更が容易

# 運転・管理者のための運用支援

# 運転管理者とは・運用支援として検討したこと

## ・運転管理者とは？ → 運転者・省エネ管理者 = 運転・管理者

- 運転者：日常運用する人（ビル運転員=いわゆる通常のビル管理者）
- 管理者：省エネ運用を管理する人  
（オーナー or オーナーから外注された組織）

## 1) 運転・管理者の利用を考えた最適制御プログラム

- ・運転・管理者に、「最適制御」を理解してもらうしくみ
- ・運転・管理者が、制御チューニングが行えるしくみ

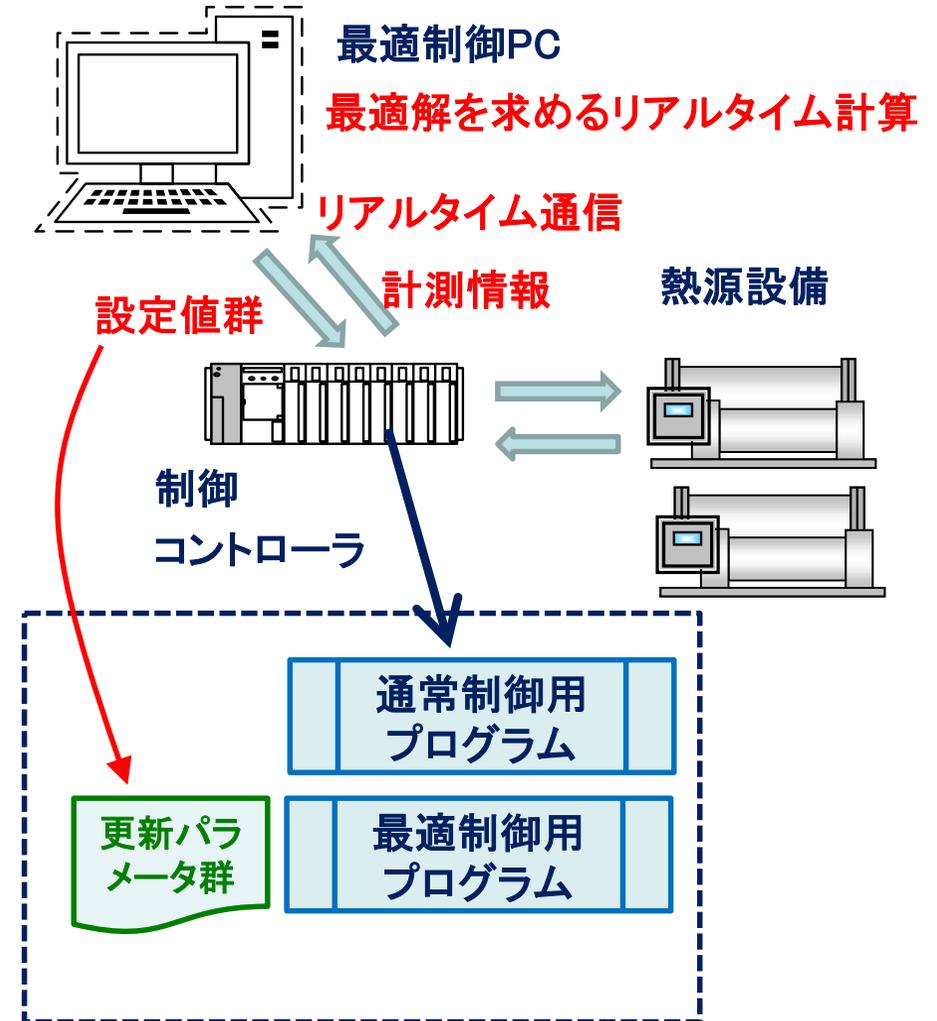
## 2) 運転・管理者のための最適制御支援機能の導入

- ・高度化した制御システムを運転・管理者が適切に活用できるように支援する機能を持たせる
  - (1) 熱源システムの制御状態の可視化機能
  - (2) 制御パラメータ設定作業の支援機能
  - (3) 制御パラメータの設定値・実行値の記録機能

## 課題

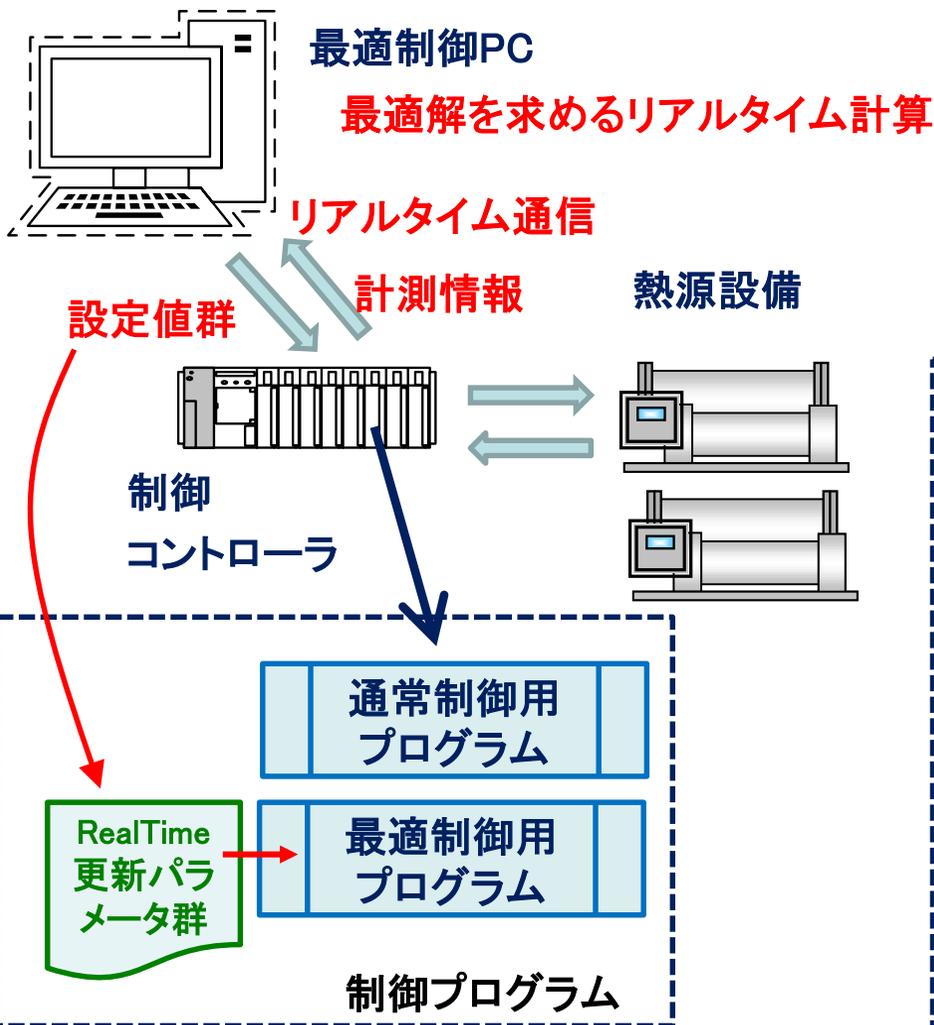
### 【最適制御(自動)の課題】

- ・最適制御計算をリアルタイムで行うと不安定になる可能性が大きい
- ・リアルタイム処理なためシステムが複雑化
- ・運転者はアルゴリズムが理解できないまま性能検証が終了する竣工後2~3年後に引き渡され、結局、**運転者は、使えずOffとする(放棄する)ことが多い**



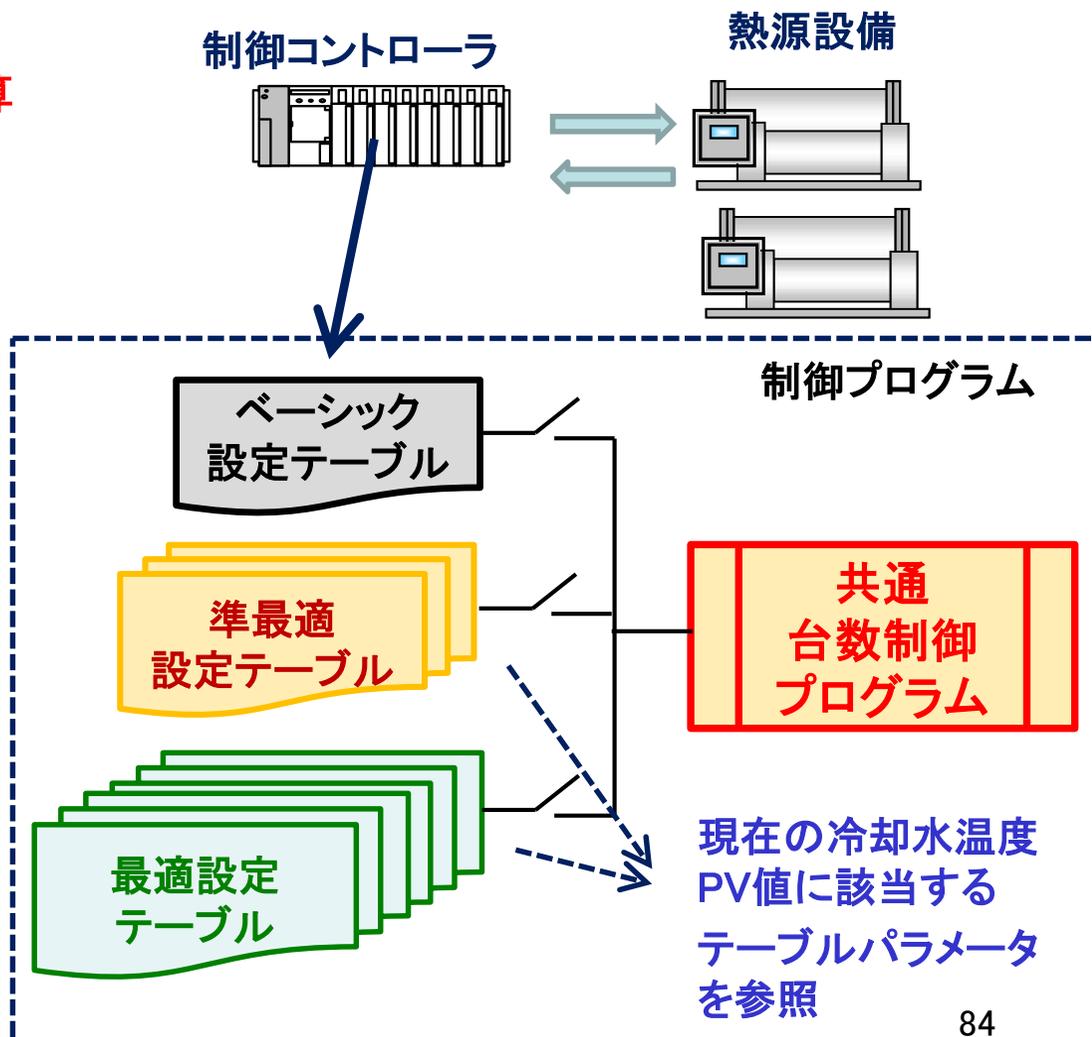
## 【従来のシステム】

- ・制御ロジックを切り替える



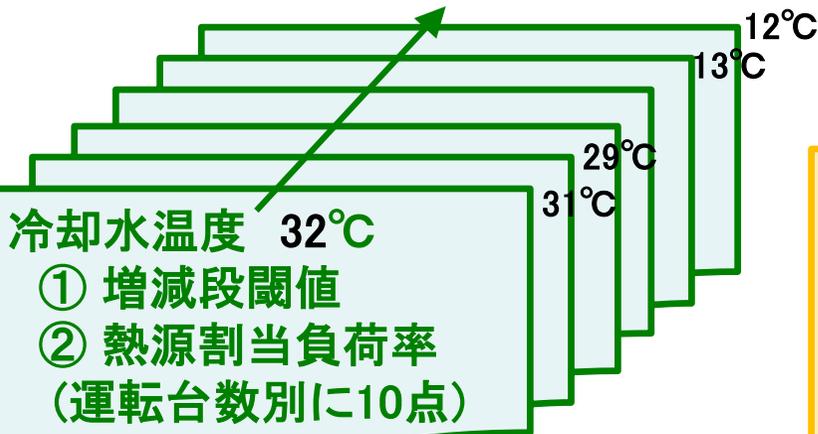
## 【本プロジェクトのシステム】

- ・設定パラメータテーブルを切り替える



## 【最適制御】

冷却水温度12-32°C  
1°C刻み 20 テーブル



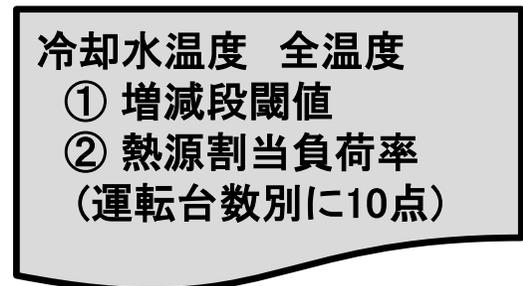
## 【準最適制御】

冷却水温度12-32°Cの3点  
の3 テーブル  
間は、PLCで線形補間



## 【ベーシック制御】

全条件共通の  
1 テーブル



・あらかじめ、最適シミュレーション結果により作成した設定テーブル群



竣工後1年間で  
テーブル作成

・運転・管理者が最適制御の仕組みで直接、閾値や負荷配分率設定値を変えられるモード

・運転・管理者が、CMT・施工者と一緒になって、運転を試行錯誤でき、最適制御手法の理解を深める

・従来型の固定した設定値で制御

**最適制御  
支援機能(1)**

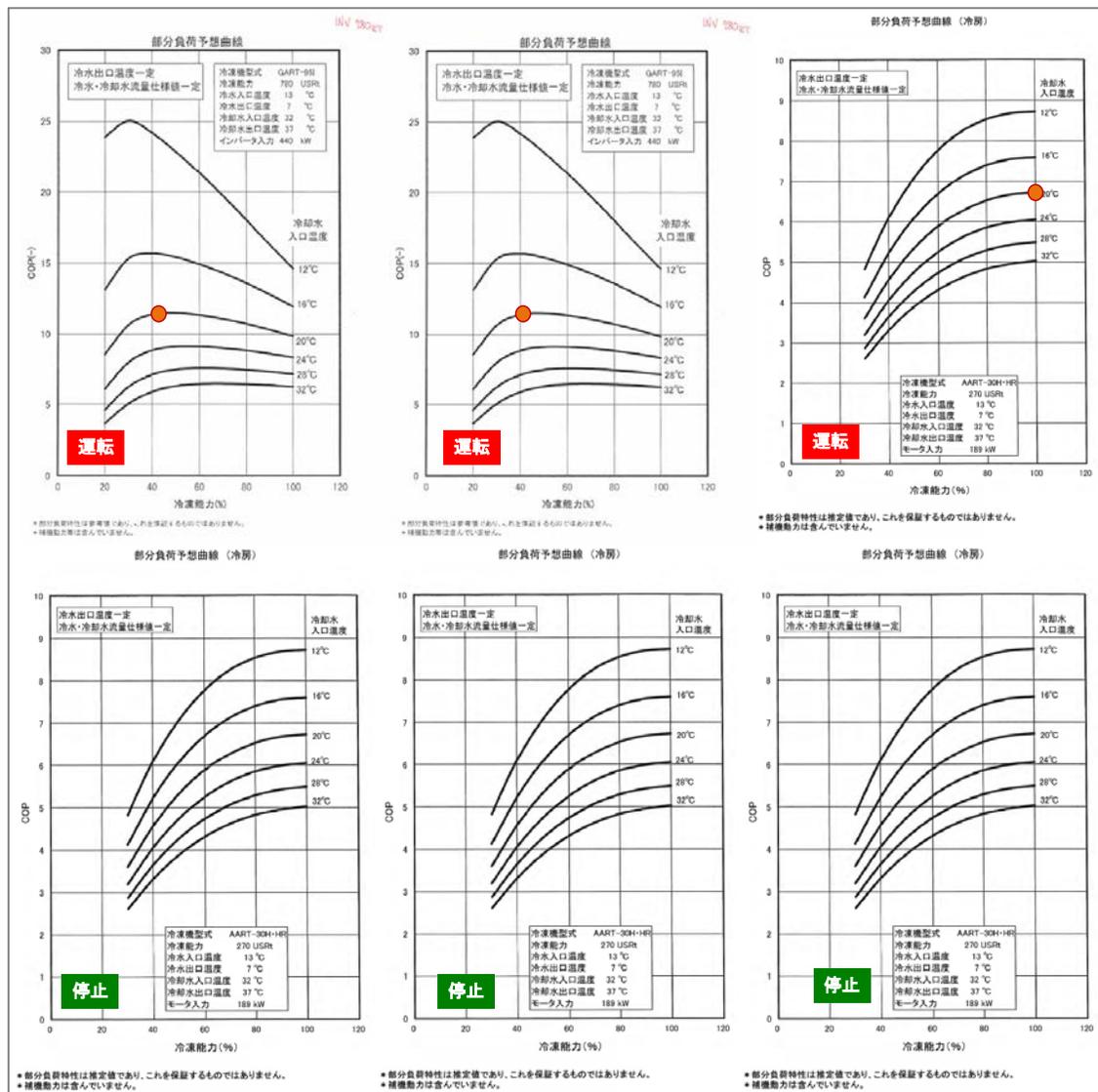
**最適制御支援機能と搭載システム**

**・運転・管理者のための支援機能と搭載システム**

**中央監視室**

システム名	機能	利用者
中央監視盤	<ul style="list-style-type: none"> <li>ビル全体の設備監視・保守</li> <li>リアルタイム監視</li> </ul>	運転員
最適制御支援PC	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱源システム制御の制御パラメータ入力・表示</li> <li>最適制御テーブルデータの書き込み、保存</li> <li>熱源システム制御状況の監視</li> </ul>	簡易レベル： → 運転員 詳細レベル： → 省エネ管理者(Cx)
BEMS (クラウド型)	<b>GDOC (高砂)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>運転・管理者のために作りこんだ支援画面               <ul style="list-style-type: none"> <li>最適制御の成否確認画面</li> <li>最適制御テーブルデータの可視化</li> </ul> </li> </ul>	省エネ管理者が画面作成・見方の指示 → 運転員が監視
	<ul style="list-style-type: none"> <li>分析エキスパート用機能 (分析機能)</li> <li>データ抽出機能 (1分～)</li> </ul>	省エネ管理者(Cx)
BMS	帳票課金管理他	運転員
熱源制御盤 タッチパネル	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱源システム制御の制御パラメータ入力・表示</li> <li>最適制御支援PCで管理するパラメータと同じ</li> </ul>	自動制御メーカー

## 冷熱源台数制御 → 高効率運転確認



## 【現在値(PV値)表示】

- 制御モード
  - ベーシック / 准最適 / 最適
- 各号機の運転状態、冷却塔運転台数
- 電力消費 [kW]、生成熱量 [kW]
- 単体COP・機器システムCOP
  - ・総合COP [-]
- 冷却水入口温度、外気湿球温度、負荷熱量、負荷流量(境界条件)

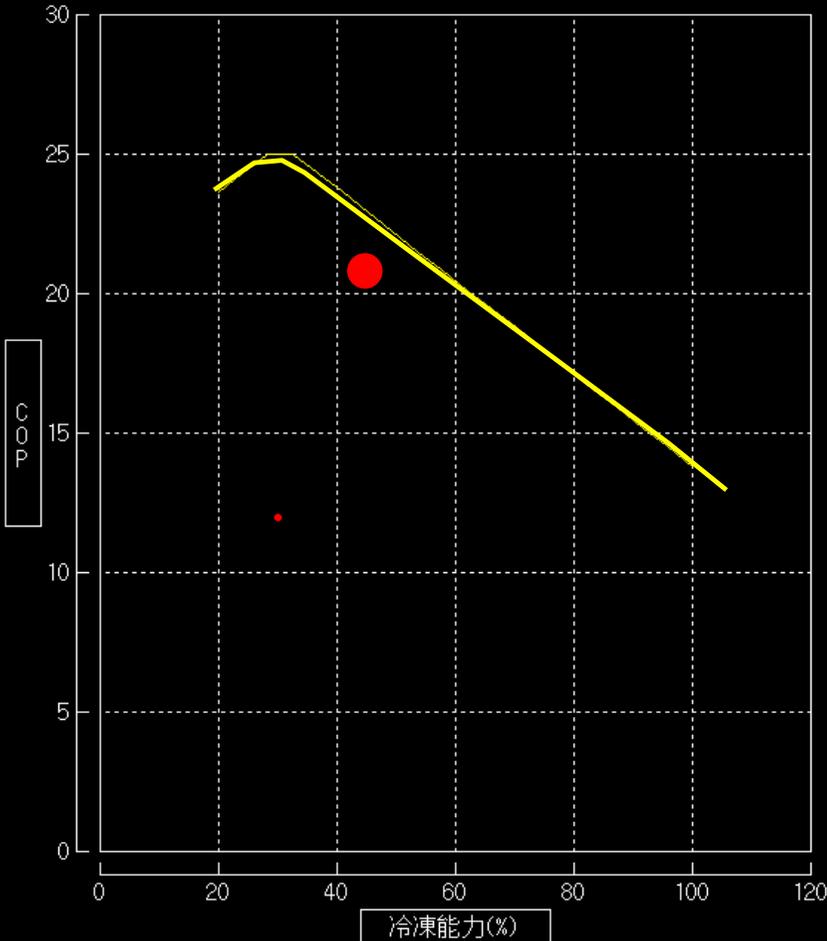
INVターボ冷凍機 制御状況確認画面

M-ITR-B301 部分負荷予想曲線

TOP

故障リセット

15/12/24 17:07



冷凍機型式 AART-30H-HR  
 冷凍能力 270USRt  
 冷水入口温度 13°C  
 冷水出口温度 7°C  
 冷却水入口温度 32°C  
 冷却水出口温度 37°C  
 モータ入力 169kW

運転状態 停止

制御モード 准最適

運転台数 0台

冷凍能力 0.0%

単体COP 0.0

機器システムCOP 0.0

総合COP 0.0

冷水入口温度 0.0°C

冷水出口温度 0.0°C

冷却水入口温度 0.0°C

冷却水出口温度 0.0°C

外気湿球温度 0.0°C

負荷流量 0.0 m<sup>3</sup>/h

負荷熱量 0.00 GJ/h

電力消費 0.0 kW

生成熱量 0.00 GJ/h

M-ITR-B301

M-ITR-B302

M-TR-B301

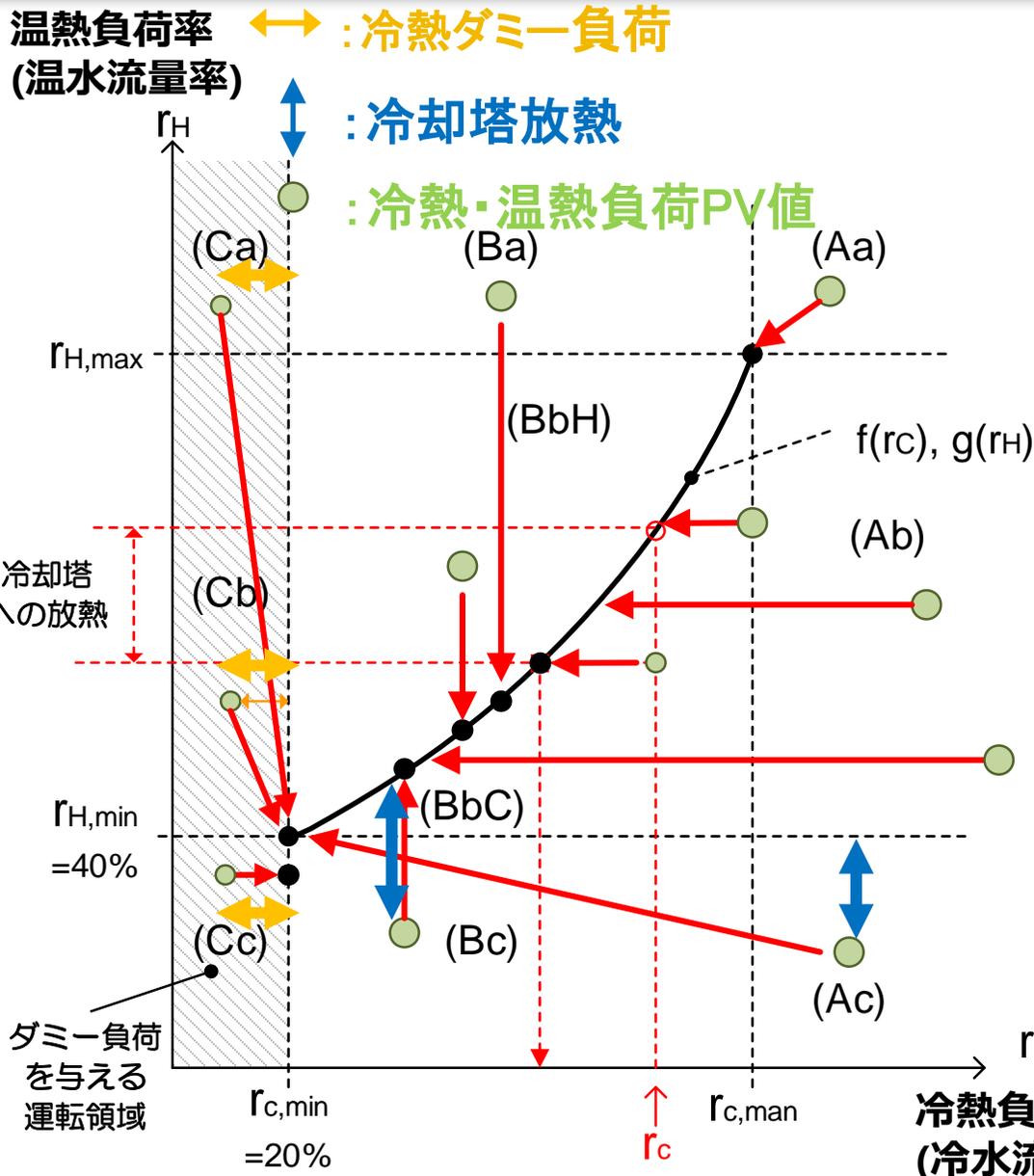
M-TR-B302

M-TR-B303

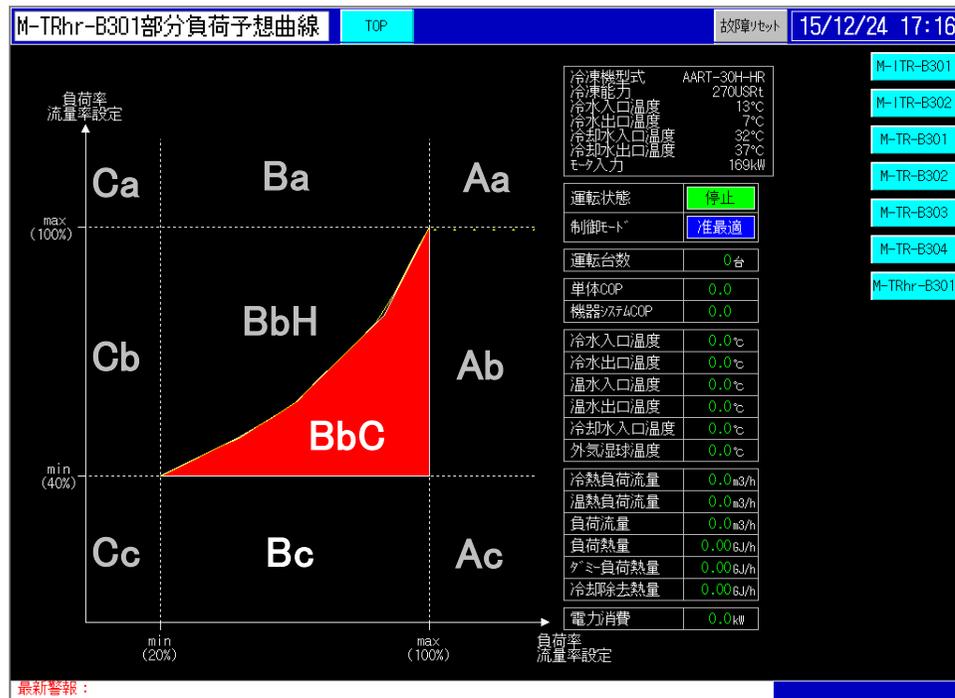
M-TR-B304

M-TRhr-B301

最新警報 :



## 熱回収ターボ運転状態確認画面



- 各ゾーンで  
冷却塔放熱・ダミー負荷付与をして、  
冷・温熱バランス曲線上で運転  
→ 可視化して確認

# 最適制御 支援機能(5)

# 制御パラメータ設定支援画面(1) モード・順位・判定タイマ

冷水1次熱源 台数制御4

群指令: 停止 | 運転モード選択: 最適 | 増減段モード選択: 流量

パターン2

群指令: 停止 | 運転モード選択: 准最適 | 増減段モード選択: 熱量

パターン3

群指令: 停止 | 運転モード選択: ベーシック | 増減段モード選択: 熱量・流量

運転型	起動可/停	機器記号	状態	発停	増段予定義	減段予定義	運転モード				台数判定能力		冷/暖
							自動	手動	強制増段	メテ除外	故障除外	熱量	
強制運転型	可能	M-TRhr-B301	運転	起動	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	除外	M-SAR-0201	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
限界容量型	除外	M-IHPWw-B301	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	冷房

運転型	運転順序	機器記号	状態	発停	増段予定義	減段予定義	運転モード				台数判定能力		冷/暖
							自動	手動	強制増段	メテ除外	故障除外	熱量	
要求熱量対応型	56	M-1TR-B301	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-1TR-B302	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-TR-B301	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-TR-B302	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-TR-B303	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-TR-B304	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	-
	56	M-IHP	停止	停止	●	●	■	■	■	●	234.56 GJ/h	2345.6 m3/h	暖房

- ・制御モード
- ・自動/手動/除外設定

パラメータ2 TOP 故障リセット 15/12/24 17:20

冷熱源台数制御設定 優先度 選択異常

優先度	台数判定	運転モード	増減段モード	手動/自動	優先度	手動/自動
0	-	-	-	強制除外	0	-
0	-	-	-	強制除外	0	-
0	-	-	-	強制除外	0	-
56	-	最適	自動	強制除外	56	-
56	-	ベーシック	強制除外	強制除外	56	-
56	-	流量	強制除外	強制除外	56	-
56	-	冷房	強制除外	強制除外	56	-
56	-	暖房	強制除外	強制除外	56	-
7	-	冷房	強制除外	強制除外	56	-

順位

冷熱源台数制御設定 優先度 選択異常

優先度	台数判定	運転モード	増減段モード	手動/自動	優先度	手動/自動
0	-	-	-	強制除外	0	-
0	-	-	-	強制除外	0	-
0	-	-	-	強制除外	0	-
56	-	最適	自動	強制除外	56	-
56	-	ベーシック	強制除外	強制除外	56	-
56	-	流量	強制除外	強制除外	56	-
56	-	冷房	強制除外	強制除外	56	-
56	-	暖房	強制除外	強制除外	56	-
7	-	冷房	強制除外	強制除外	56	-

パラメータ1 TOP 故障リセット 15/12/24 17:17

冷熱源台数制御設定

台数判定	能力		効果待ち時間		特別運転効果待ち時間		再始動防止時間	再始動防止時間	最小運転時間	台数判定	手動/自動	優先度	台数判定	優先度	台数判定	優先度	台数判定	優先度	
	G/h	m3/h	秒	秒	秒	秒													
M-TRhr-B301	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-SAR-0201	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-IHPWw-B301	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-1TR-B301	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-1TR-B302	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-TR-B301	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-TR-B302	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-TR-B303	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-TR-B304	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456
M-IHP	234.56	2345.6	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456	123456

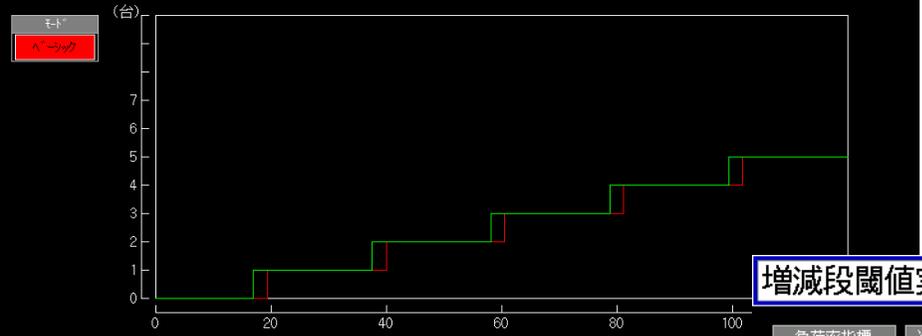
増減段判定・効果待ちタイマ

台数判定	能力		効果待ち時間		特別運転効果待ち時間		再始動防止時間	再始動防止時間	最小運転時間	台数判定	手動/自動	優先度	台数判定	優先度	台数判定	優先度	台数判定	優先度	
	G/h	m3/h	秒	秒	秒	秒													
1,2号機	0	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	0	-	-	-	-	-	-	-	-
3,4号機	0	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	0	-	-	-	-	-	-	-	-
5,6号機	0	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	0	-	-	-	-	-	-	-	-
7,8号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
9,10号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
11,12号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
13,14号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
15,16号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
17,18号機	56	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	56	-	-	-	-	-	-	-	-
19,20号機	7	-	-	-	-	-	-	-	-	強制除外	7	-	-	-	-	-	-	-	-

# 最適制御 支援機能(6)

# 制御パラメータ設定支援画面(2) 準最適制御設定テーブル

冷水1次熱源 台数制御2 TOP 故障リセット 15/12/24 16:56



増減段閾値実行テーブル ベーシック TOP 故障リセット 15/12/24 17:17

減段熱量 (GJ/h) 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00  
増段熱量 (GJ/h) 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

負荷率指標 均等  
冷却水温度 2345.6℃

## 増減段閾値設定

熱量  
流量  
准最適  
最適

台数 順序	機器記号	状態	台数判定能力			閾値	
			定格 能力	能力比	能力	減段	増段
1	M-1TR-B301	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
2	M-1TR-B302	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
3	M-TR-B301	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
4	M-TR-B302	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
5	M-TR-B303	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
6	M-TR-B304	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h
7	M-RHP	停止	0.01 GJ/h	0.1%	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h	0.01 GJ/h

優先度固定 熱量

運転 順序	定格能力 GJ/h	台数判定		ソフト値		外子 冷水機 最大能力 GJ/h	
		能力比	能力 GJ/h	減段 GJ/h	増段 GJ/h		
56	M-1TR-B301	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-
56	M-1TR-B302	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-
56	M-TR-B301	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-
56	M-TR-B302	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-
56	M-TR-B303	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-
56	M-TR-B304	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
56	M-RHP	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	-

割当負荷率  
各台数で負荷を10分  
割しそれぞれ設定

	閾値減段		負荷率情報(上段: GJ/h、下段: %)										閾値増段	
	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
M-1TR-B301	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6
M-1TR-B302	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6
M-TR-B301	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6
M-TR-B302	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6
M-TR-B303	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6
M-TR-B304	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56	234.56
	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6	2345.6

最新警報:

最新警報:

## 6. 機能性能試験の計画と実施方法

西山 満 (CMT・CxPE)

# 試運転調整と機性能試験の違い

- **試運転調整は下記が設計値を満たすことを確認する作業で、施工者の責務として実施するもので、工事監理者が確認する業務**
  - a. 空調設備機器の発停動作、連動動作や非常時運転動作などの総合運転状態
  - b. 空調設備システムの設計条件に設定(調整)された状態  
(室の温湿度、種々の流量・風量、圧力、制御値など)
  - c. 空調設備の各要素機器が持ちうる(最大)能力
- **機性能試験は試運転調整完了後に主に下記の性能を検証し、特記仕様(性能検証)を満たすように調整・改善を実施する作業**
  - d. 空調設備機器のエネルギー性能(COP・WTF・ATF など)
  - e. 空調設備システムの制御性能(制御の安定性・妥当性など)
  - f. 空調設備システムの総合エネルギー性能(エネルギー消費量・エネルギー消費原単位など)

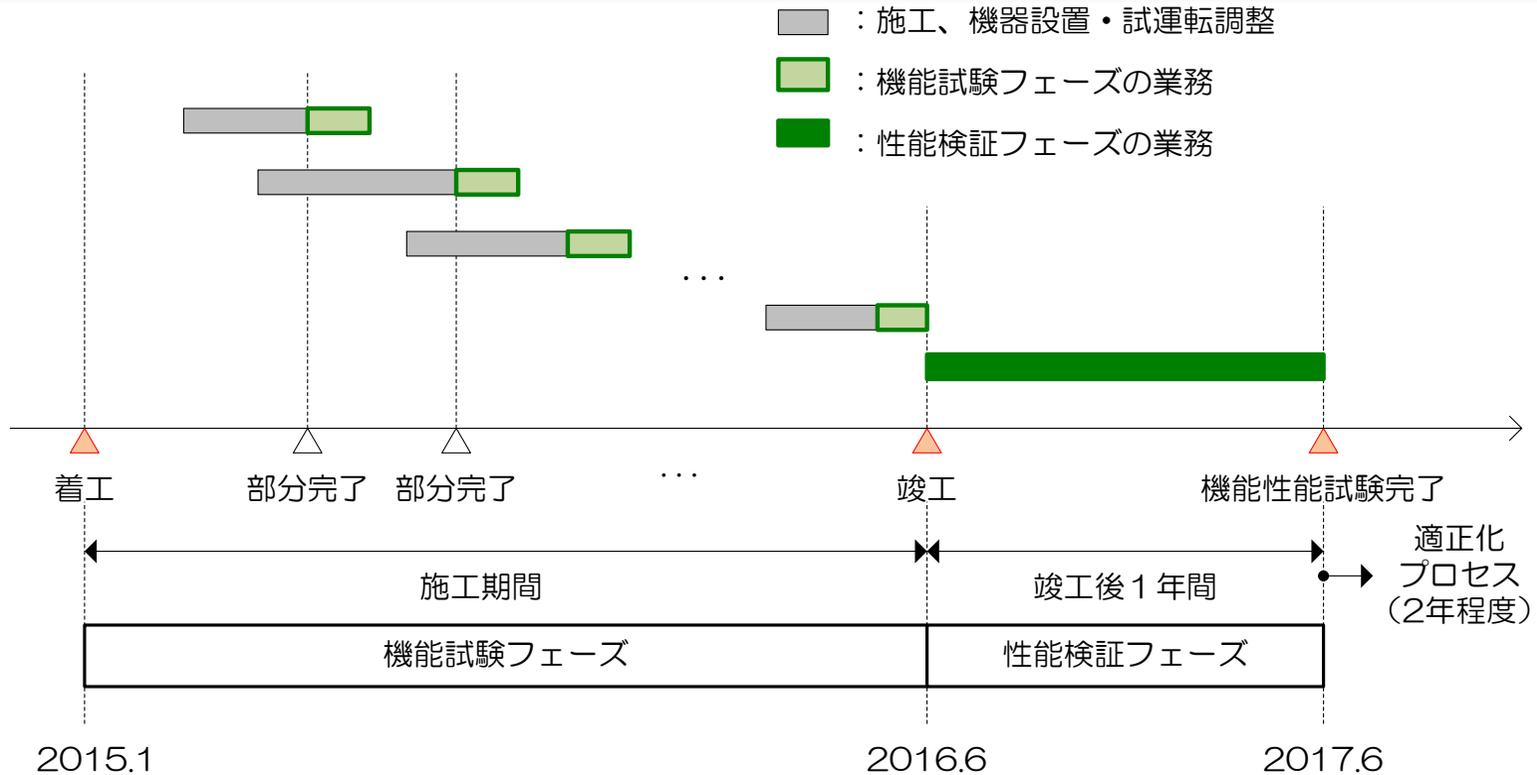
# 本プロジェクトの機能性能試験の目的と意義

- 改修工事であるため、機器・サブシステムを順次完成させ、その都度、機器群単位やサブシステムごとに試運転調整と機能性能試験を実施し、**システムの立ち上げ時間を短縮する**



- 年間のエネルギー消費量を**特記仕様(性能検証)**および設計主旨文書で規定した、一次エネルギーの削減量として、熱源システムのみで2009年度比60%(980.1TJ)削減を達成する
- この達成のため、**機能性能試験**をCMT・設計監理・施工者が性能検証会議で協議しながら、**CMTが計画立案し統括実施する**

# 機能性能試験の実施期間



機能試験フェーズ(施工期間中1.5年間)	性能検証フェーズ(竣工後1年間)
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機器群の性能試験</li> <li>・ 各制御システムの試験</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 機器群の性能検証</li> <li>・ サブシステムの機能と性能検証</li> <li>・ トータルシステムの機能と性能検証</li> <li>・ エネルギー消費性能の検証</li> </ul>
ローカル制御盤 (自動制御盤・機器制御盤) からデータを取得	BEMSからデータを取得

# 機能性能試験の実施工程

1月			2月			3月			4月			5月			6月								
既設蒸気吸収式冷凍機主体運転																							
新設冷熱源機バックアップにて待機			新設冷熱源機（ターボ冷凍機・空冷HPチラー）主体運転																				
												(INVターボ冷凍機) 試運転			Step1 Step2 Step3								
						(固定速ターボ冷凍機) 試運転			Step1			Step2			Step3								
			(熱回収ターボ冷凍機) 試運転			Step1			Step2						Step3								
									(蒸気吸収冷凍機) 試運転			Step1			Step2 Step3								
			(井水ヒートポンプチラー) 試運転			Step1			Step2						Step3								
						(空冷ヒートポンプチラー) 試																	
(温熱源) 既設蒸気ボイラー主体運転																							
(暖房・給湯) 新																							
(暖房：百貨店・駅・専門店、給湯) 順次切替え運転																							
			(温水ボイラー) 試運転			Step1			Step2						Step3								
						(蒸気ボイラー) 試運転			Step1			Step2			Step3								
			(太陽熱利用給湯設備) 試運転			Step1			Step2						Step3								
既設蒸気ボイラー故障時のバックアップ									(ホテル・文化暖房) 新設蒸気ボイラー主体運転														

- 既設・新設熱源機切り替え時に実施
- 負荷処理に余裕を持たせて順次実施
- 試験対象機器に依存しない時期に実施

# 機能性能試験の実施区分とその概要

実施フェーズ	区分		内容（概要）
機能試験 フェーズ (施工期間中)	機器群	Step-1	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 測定ポイント確認試験（Step-1-(1)）</li> <li>● 機器性能試験（Step-1-(2)）</li> </ul>
		Step-2	● 制御動作・性能試験
	群制御	Step-3	● 制御動作試験
性能試験 フェーズ (竣工後1年間)		Step-4	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 群制御に含まれる機器の性能試験（年間）</li> <li>● 群制御の性能試験（年間）</li> </ul>
	トータルシステム	Step-5	トータルシステム機能性能試験
		Step-6	エネルギー消費性能の検証

# 機能性能試験の具体的な実施内容の見直しと役割

試験区分	試験内容	試験期間	
		施工期間中	竣工後1年
a. テンポラリー試験	現場で条件をセットして行う試験	数日	無し
b. 継続試験	データを使った試験 ※測定ポイントの確認試験が終了していることが前提となる	連続稼動する1週間	1年

	CMT	施工者
作成図書と内容	<p><b>【計画書の作成】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>試験目的</li> <li>試験条件と項目</li> <li>試験手順と試験結果の確認要領 (可視化手法・判定基準)</li> <li>試験結果報告書の作成方法</li> <li>試験要領書の作成方法</li> </ul> <p>機器・制御仕様、ポイントリスト、機能性能試験前チェック表の添付</p>	<p><b>【要領書の作成】</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>スケジュールと実施体制</li> <li>現場での試験条件の設定方法</li> <li>データの受渡し方法</li> </ul>

# 機能性能試験実施の役割分担

試験項目	CMT	施工者
測定ポイント試験	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 試験ポイントの指定</li><li>・ 可視化方法の指定</li><li>・ チェック方法の指定 → グラフから合否を判定</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 重要ポイントの精度検証</li><li>・ 時系列グラフの作成</li><li>・ 報告書の作成</li></ul>
テンポラリー試験	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 試験項目と試験条件の提示</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 詳細な試験要領の作成</li><li>・ 試験の実施</li></ul>
継続試験	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 試験項目の指定</li><li>・ 試験条件の指定</li><li>・ 試験手順の指定</li><li>・ 可視化方法の指定 → 結果のデータを確認し 合否を判定 → 試験条件以外はモデル シミュレーションで検証</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 実施要領書の作成</li><li>・ 結果データの可視化</li></ul>

# 測定ポイント試験の実施方法

確認項目	対象ポイント	不備があった場合の対応
1) 測定値の精度確認 (夏・冬に一日、昼間と夜間の2度の抜き打ち検査)	総測定ポイントの5% (カテゴリー別)	<ul style="list-style-type: none"> <li>別の10%を対象に検査</li> <li>更に付合しないポイントが見つければ対象数を5%ずつ増やして検査</li> </ul>
2) 測定値の矛盾確認	機能性能試験に必要なポイント全点	原因を究明と修正後のデータの再提出
3) 測定値を基に演算されたポイントの演算値の確認		1)と同様
4) 測定レンジの確認		適正なレンジのセンサ・変換器に交換
5) 計量パルスレートおよびデータ表示桁数の確認		計量メータ・変換器の交換 BEMS表示桁数の修正

# 測定ポイントの試験方法(データ確認・グラフ作成要領)

## ■ 計測ポイントの確認 原則 1分データを用いる

### (1) 関連データとの比較による確認

[可視化方法] 関連する複数ポイントを時系列グラフにする。

- [例] 1) 熱源冷水出入口温度・熱源運転状態  
2) サブステ受入圧力・二次側送水圧力

### (2) 定格値との比較による確認

[可視化方法] 定格値(定数)のライン、出力レベルとともに、確認対象ポイントデータを時系列グラフにする。

- [例] 1) 冷水流量 ⇔ INV出力、定格流量、2) 製造熱量 ⇔ 電力消費、定格能力

### (3) 収支の確認

[可視化方法] 合計量の測定ポイントと各系統の測定ポイントの合計値を時系列グラフにする。

- [例] 冷熱システム負荷熱量 -  $\Sigma$ (サブステ受入熱量)

### (4) 演算手法の確認

[可視化方法] 演算ポイントと、その演算元となるポイントデータで直接計算した結果とを時系列グラフにする

- [例] 1) 製造熱量 ⇔ 係数\*温度差\*流量、2) COP ⇔ 係数\*(製造熱量/電力)

# 測定ポイントの検証方法

## ● 比較による計測ポイントごとの確認

機器	対象ポイント	確認方法	関連ポイント	可視化グラフ種類
熱源機単体	冷水・冷却水温度	関連ポイントとの比較確認	二次側往還温度	時系列折れ線
	熱量・流量	関連ポイントの比較確認 定格値との比較確認	INV出力 電力消費量	時系列折れ線
	COP	演算手法の確認		散布図
ポンプ	WTF	演算手法の確認		散布図
冷却塔	冷却水温度・流量	関連ポイントの比較確認 定格値との比較確認	熱源機出入口温度 INV出力	時系列折れ線
空調機	冷水・温水温度	関連ポイントの比較確認 定格値との比較確認	熱源機出入口温度	時系列折れ線

## ● 収支の確認

合計ポイント	系統別計測ポイント
冷熱源システム負荷熱量	$\Sigma$ サブステ受入熱量（負荷熱量）
冷熱源システム負荷流量	$\Sigma$ サブステ受入流量

# テンポラリー試験の実施方法（固定速ターボ冷凍機群）

確認項目	試験内容
目的	冷凍機負荷が急激に変化した時の冷水出口温度制御の追従性の確認する
試験項目	負荷急変時の冷凍機本体の冷水出口温度制御の制御応答性能を確認する
試験方法	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 冷水流量設定を大きく変化させ冷水出口温度が設定値に追従するのにかかる時間を確認する</li> <li>・ 負荷が増える場合と減る場合の両方で実施する</li> </ul>
判定基準	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 負荷率30%から90%まで上昇させたときX1秒以内に設定温度になること</li> <li>・ 負荷率90%から30%まで下降させたときX2秒以内に設定温度になること</li> </ul>
試験要領	<p><b>（負荷上昇試験）</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 負荷流量設定を30%にした状態で安定して冷水温度7℃を維持した状態を作る</li> <li>② 負荷流量設定を90%に急変させ安定して冷水温度7℃を維持した状態になるまでの時間を測定し所定の時間内であることを確認する</li> </ol> <p><b>（負荷下降試験）</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>① 負荷流量設定を90%にした状態で安定して冷水温度7℃を維持した状態を作る</li> <li>② 負荷流量設定を30%に急変させ安定して冷水温度7℃を維持した状態になるまでの時間を測定し所定の時間内であることを確認する</li> </ol>

# 継続試験の実施方法(固定速ターボ冷凍機群)

確認項目	試験内容
目的	最大能力から部分負荷まで設計仕様通りの性能がであることを確認する
試験項目	固定速ターボ機の性能試験
分析方法	冷水出口温度・冷却水出口温度帯別に作成した負荷率と効率（熱源COP・熱源システムCOP）の相関図を作成する
判定基準	機器の特性線図に対して5%以内の性能であること
試験要領	<ol style="list-style-type: none"><li>① 試験期に達成可能な冷却水入口温度設定を行い、同一の冷却水入口温度設定値の状態です3日間安定して運転する状態（8時間以上/日）を作る</li><li>② 冷凍機の運転を継続して行い、予めその冷却水温度の性能線図の近似曲線を記載しものに負荷率とCOPの相関図をプロットする</li><li>③ 性能線図との相関プロットの近似式の差を確認し、所定の範囲内であることを確認する （①～③を別の冷却水入口温度2点でそれぞれ3日間実施する）</li></ol>

# 今後の予定

機能性能試験計画書をCMT・設計監理・施工者で協議しながら

1. 基本編を作成
2. 機器群、群制御グループごとに各機器群(サブシステム)で作成
  - 熱回収ターボ冷凍機 機器群
  - 固定速ターボ冷凍機 機器群
  - 給湯用温水ボイラー 機器群
  - 蒸気ボイラー 機器群
  - サブステーション冷水・温水二次ポンプ群
3. クラウドデータ収集装置(GODA)を使った試験方法の構築
  - 1月に機能性能試験の試行、2月から本格的に実施予定

終