

# 水蓄熱式空調システム最適運転のための負荷予測精度の検証と改善

山口 弘雅(関西電力)、吉田 治典(京都大学)、松下 直幹(アレフネット)、木虎 久隆(関西電力)

## 1. 研究の背景

地球温暖化、電力ピーク負荷の伸び  
→ 蓄熱式空調システムへの注目

蓄熱式空調システムの課題

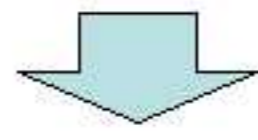
- ・運転計画の自動化
- ・蓄熱槽に満杯に蓄熱する満蓄運転
- ・運転管理者の判断に依存した運転計画

技術の進展

- ・コンピュータ技術の高度化
- ・熱負荷予測技術の進歩

## 2. 研究の目的

水蓄熱式空調システムの最適運転アルゴリズム  
を実建物に適用する



- ・建物空調熱負荷予測システムの予測精度検証と改善検討
- ・予測システムを実建物の中央監視システムに実装

## 3. 対象建物および熱源・空調設備概要

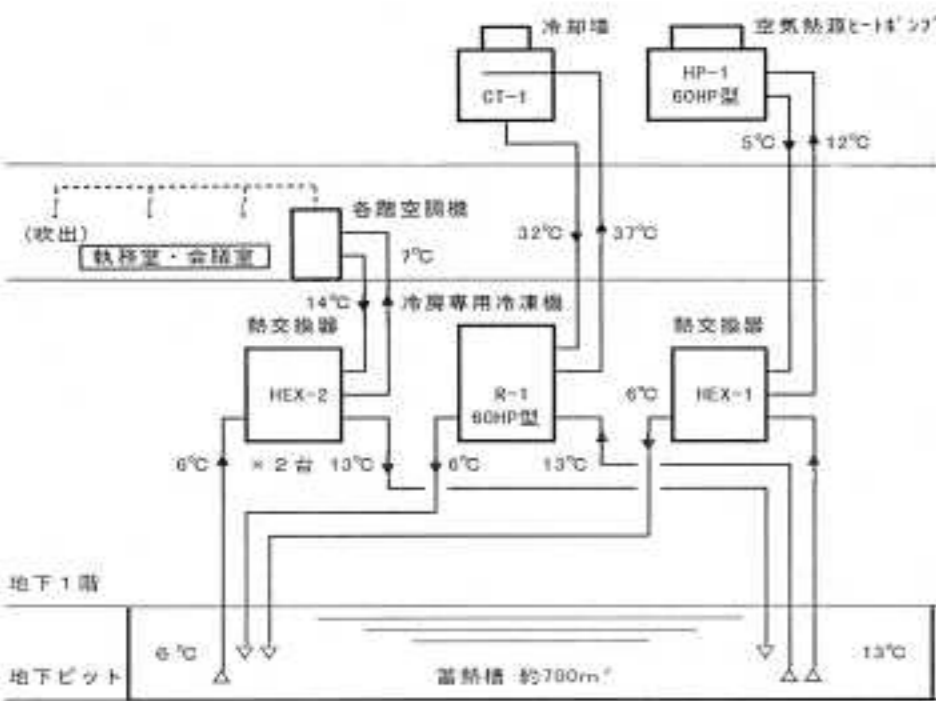


<対象建物概要>

所在地：福井県三方郡美浜町  
主要用途：オフィスビル  
構造・階数：SRC造  
地上5階、地下1階  
延床面積：10,724m<sup>2</sup>

<熱源・空調設備>

連結式完全混合型水蓄熱槽(22槽、700m<sup>3</sup>)  
空冷ヒートポンプチャラー(223kW)  
水冷チャラー(189kW)  
空調方式：単一ダクト+VAV方式



## 4. 熱負荷の予測式

熱負荷予測は式(1)を用いて毎日21時30分に行う。入力データについて、気温、相対湿度は16時にオンラインで配信される毎時の予報値を用いる。日射量については、毎時の天気概況予報値を用いて予測した値を入力する。

$$q_{AC,j} = \sum_{L,p=0}^p a_{r,L,p} \theta_{o,L,j-p} + \sum_{q=0}^q a_{A,q} \theta_{r,j-q} + \sum_{L,r=0}^r a_{S,L,r} J_{L,j-r} + a_{R} \zeta_{R,j} + a_o \zeta_{o,j} \Delta h_j \quad \dots(1)$$

時間遅れを考慮し、次数を設定

$q_{AC}$ : 熱負荷

$L$ : 方位

$p, q, r$ : 外壁のインパルス応答に関する次数

$a_r$ : 外気温に係る係数

$\theta_o$ : 外気温

$a_A$ : 室温に係る係数

$\theta_r$ : 室温

$a_s$ : 日射に係る係数

$J$ : 日射量

$a_R$ : 内部発熱に係る係数

$\zeta_R$ : 内部発熱の時刻変化

$a_o$ : 外気導入に係る係数

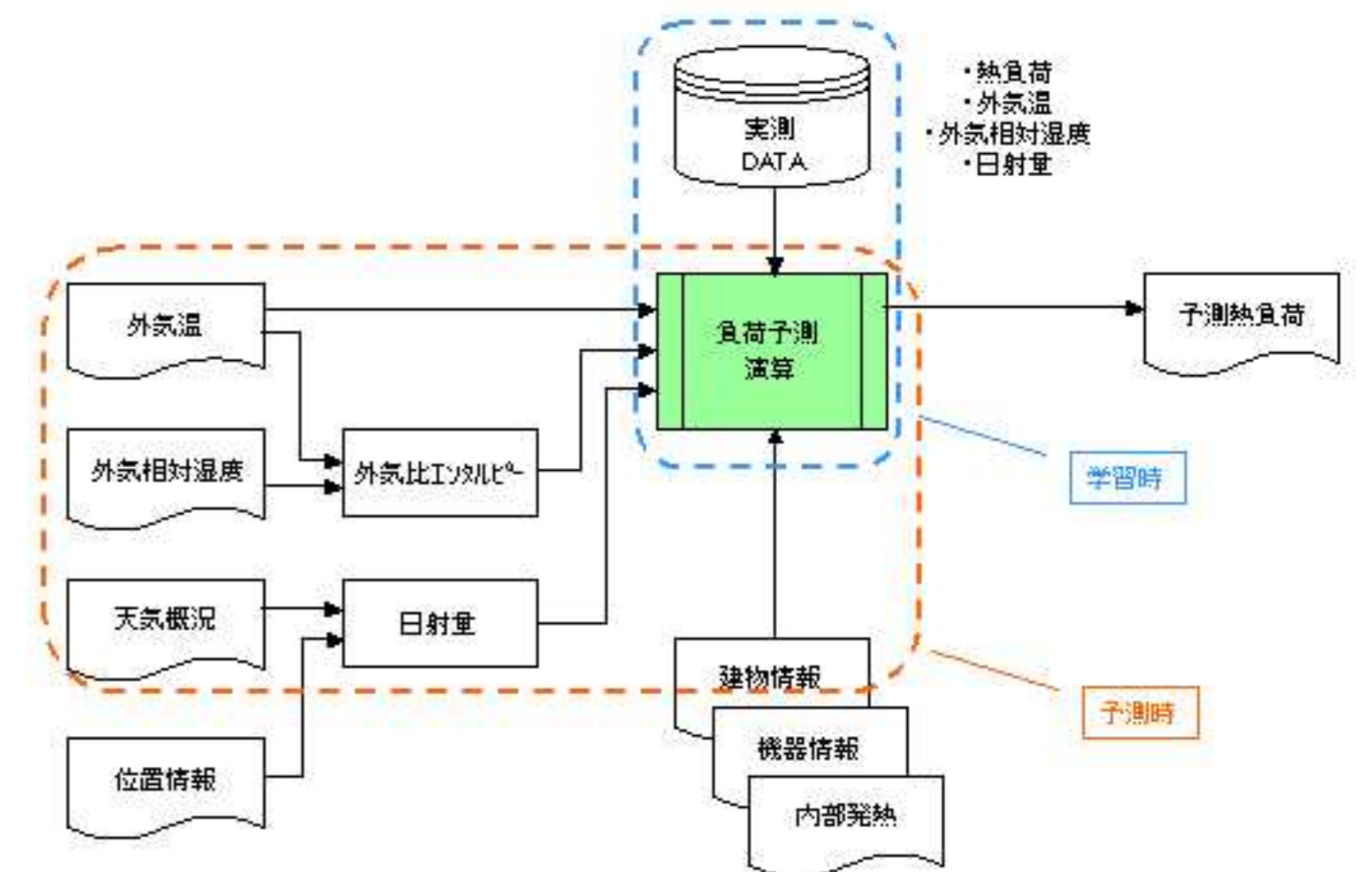
$\zeta_o$ : 外気導入スケジュール

$\Delta h$ : 外気と室内の比エンタルピー差

## 5. 熱負荷予測のフロー

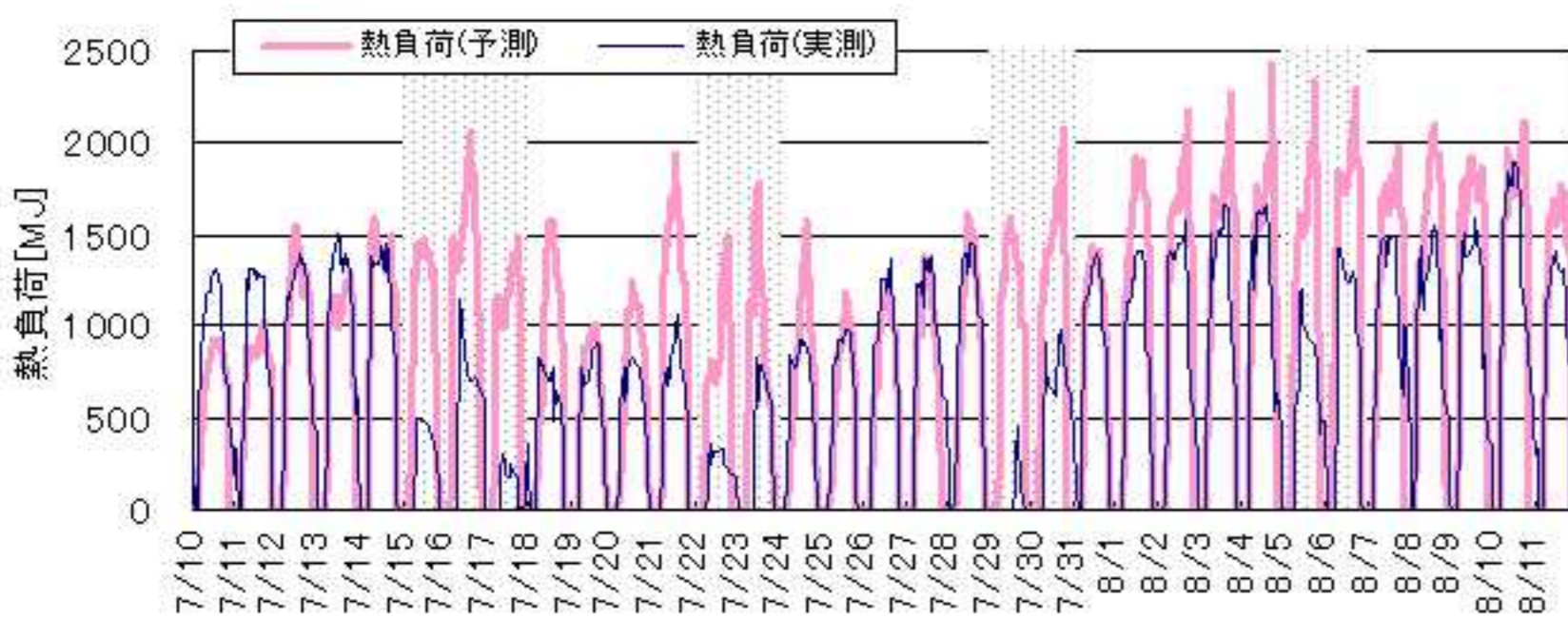
学習時は、過去14日間の気象データ(外気温、外気相対湿度、日射量)と建物熱負荷の実測値を用いて式(1)の係数を決定する。

予測時は、決定した係数と気象予報値を用いて、式(1)により負荷予測演算を行う。出力は当日22時から翌日22時までの24時間の時間積算熱負荷である。



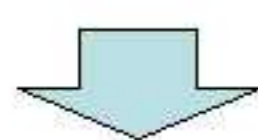
## 6. 熱負荷予測精度の検証と改善

### ■ 原手法による予測結果と改善対策



外気温	外気湿度	日射	EEP (時間積算)	EEP (日積算)	備考
気象予測	気象予測	気象予測	30.6	33.7	休日を含むEEP
気象予測	気象予測	気象予測	20.7	18.5	休日を含まないEEP

- 1) 休日(土日・祝祭日)の予測精度が低い。
- 2) 平日についても、所々で大きな乖離が見られる。



### 改善対策(1) 空調稼働率による熱負荷補正

予測時：式(1)による予測熱負荷は、建物の空調機が全台稼働した際の結果であると考え、これに空調稼働率 $\alpha_j$ を掛けたものを翌日熱負荷として用いる。

$$\hat{q}_{AC,j}^* = \alpha_j \cdot \hat{q}_{AC,j} \quad \dots(2)$$

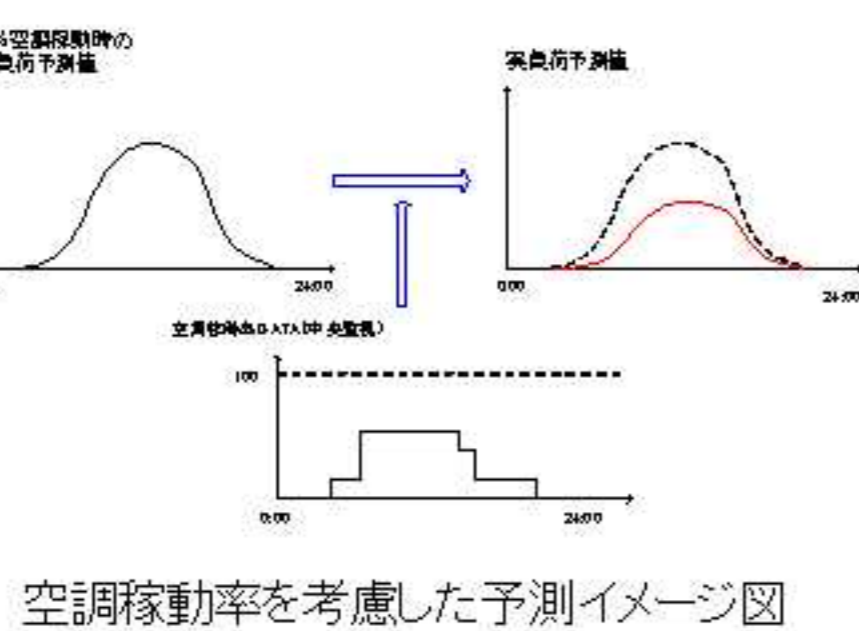
学習時：実測熱負荷を監視で計測された実績空調稼働率で割戻した値を翌日の熱負荷とする。

$$q_{AC,j}^* = \hat{q}_{AC,j} / \alpha_j \quad \dots(3)$$

$\hat{q}_{AC,j}^*$ : 翌日の実効予測熱負荷

$q_{AC,j}^*$ : 実測熱負荷

$$\text{空調稼働率: } \alpha_j = 100 \cdot \frac{\sum_{k=1}^{N_j} t_k}{60 \cdot N}$$



### 改善対策(2) 実測値(直近の外気絶対湿度)の利用

絶対湿度は比較的緩やかに変化するという経験的根拠に基づき、予報値ではなく対象建物での観測値を用いて予測することを検討する。具体的には、予測時点直近の外気絶対湿度の6時間平均値を予報値の代わりに使用する。

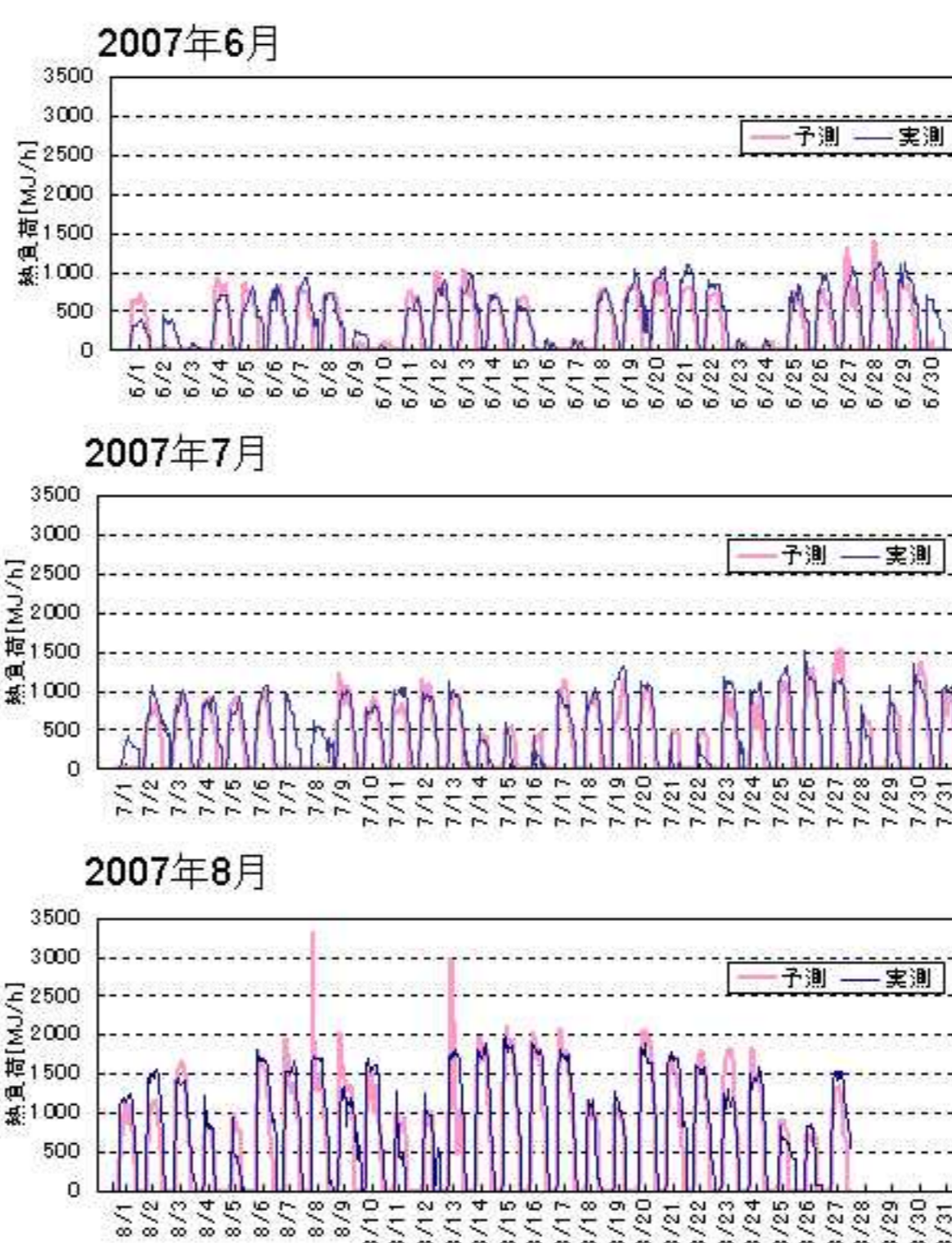
### ■ 改善効果の予想シミュレーション

- ・両方の改善策を適用したcase3-4では、日積算熱負荷EEPで10.5%、時間積算熱負荷EEP12.8%と良好な予測精度が得られた。

case	外気温	外気湿度	日射	休日稼働率	平日稼働率	実現性	EEP (時間積算)	EEP (日積算)
1-1	気象予測	気象予測	気象予測	無	無	可	30.6	33.7
1-2	気象予測	直近6時間	気象予測	無	無	可	22.0	24.8
1-3	実測	実測	実測	無	無	不可	20.4	20.9
2-1	気象予測	気象予測	気象予測	有(0.40固定)	無	可	20.2	18.3
2-2	気象予測	気象予測	気象予測	有(0.40固定)	有(0.90固定)	可	20.4	18.7
2-3	気象予測	直近6時間	気象予測	有(0.40固定)	無	可	14.8	13.8
2-4	気象予測	直近6時間	気象予測	有(0.40固定)	有(0.90固定)	可	14.8	13.8
3-1	気象予測	気象予測	気象予測	有(実測)	無	可	20.0	18.1
3-2	気象予測	気象予測	気象予測	有(実測)	有(実測)	可	16.8	15.2
3-3	気象予測	直近6時間	気象予測	有(実測)	無	可	13.7	11.9
3-4	気象予測	直近6時間	気象予測	有(実測)	有(実測)	可	12.8	10.5

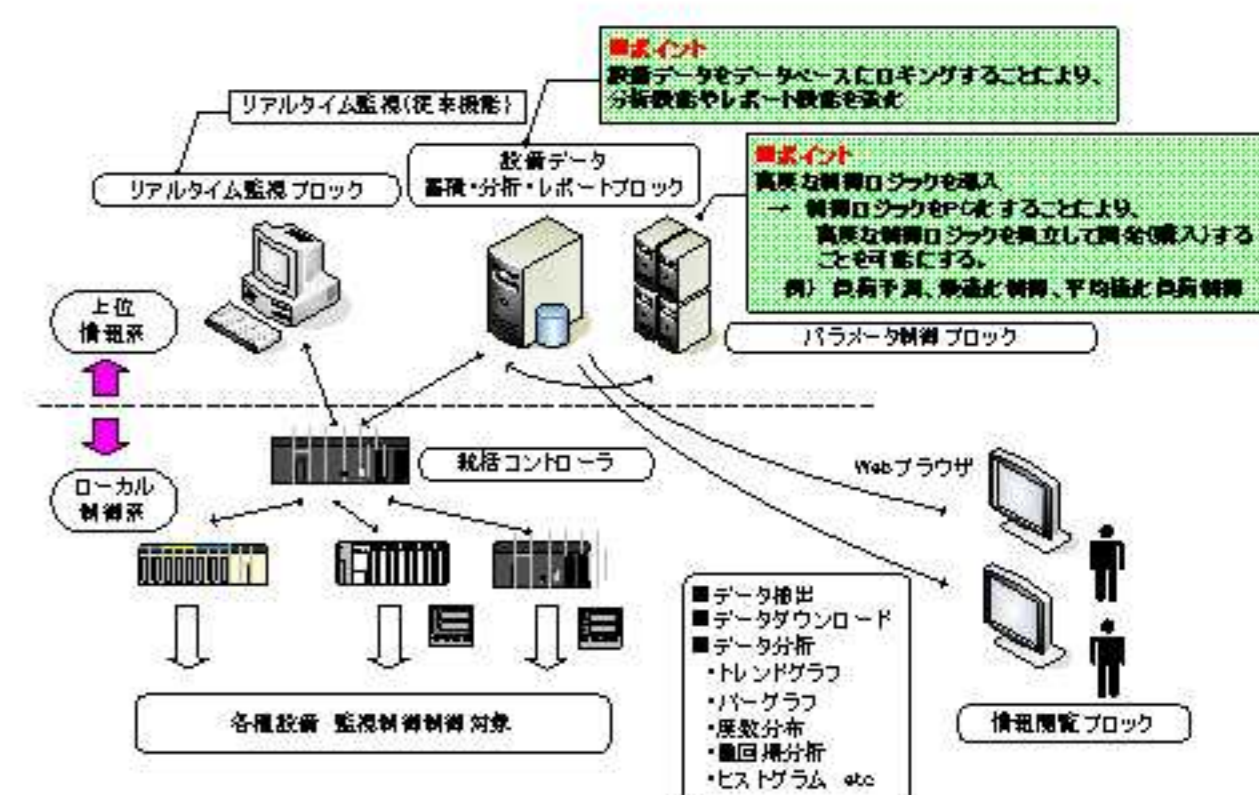
### ■ 改善手法による予測結果

- ・日積算熱負荷EEP9.8%、時間積算熱負荷EEP12.7%と、蓄熱式空調システムの最適運転計画に十分な予測精度を得ることが出来た。



### ■ 今後の展開

- ・負荷予測シミュレーション(により、予測精度の検証と改善策の立案を行った。
- ・改善後の熱負荷予測システムを実建物に実装し、オンライン試験による精度検証を行った。結果、蓄熱式空調システムの最適運転計画に十分な予測精度を得ることが出来た。
- ・今後、予測結果に基づき、水蓄熱式空調システムの最適運転を行う。
- ・SCOPE(アレフネット)等、オープン指向型BAシステムの拡張機能として展開する。



SCOPE(アレフネット)のシステム概要