





# 空調熱負荷予測を利用した 蓄熱システム



株式会社 三晃空調



# 報告内容

- ① 蓄熱式空調システムについて
  - ② 熱負荷予測について
  - ③ 三晃空調の取り組み紹介
  - ④ ビル用マルチ空調システムとの比較
  - ⑤ まとめ
- 
- 
- 
- 



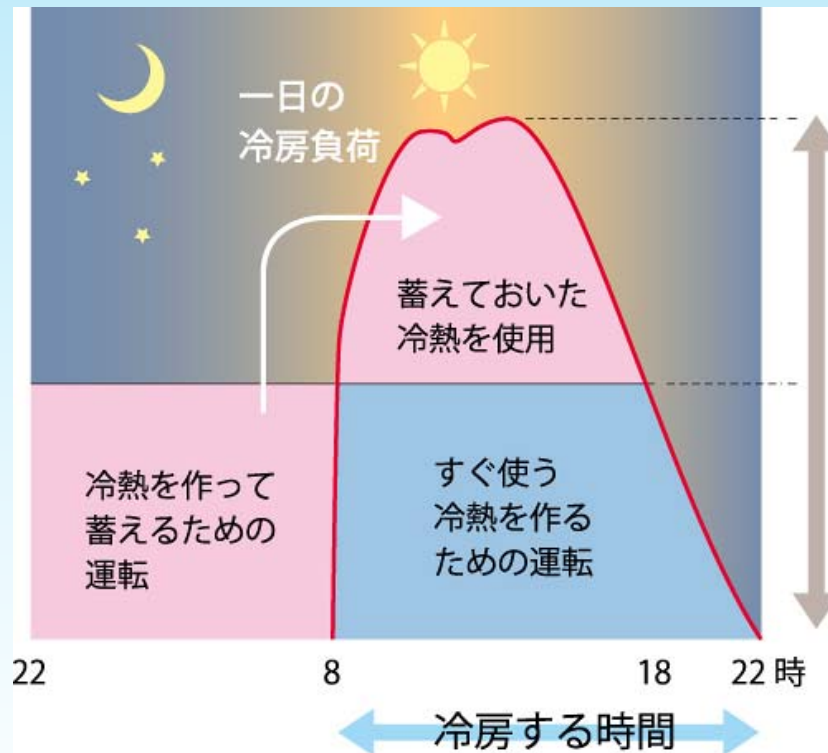
# ①蓄熱式空調システムについて

# 蓄熱式空調システムについて

蓄熱槽を設けて熱を蓄えることにより、**熱の生産と消費を時間的にずらすことが可能**なシステムです。



# 蓄熱式空調システムについて



夜間に熱源機を運転して空調に必要な冷温熱を作って蓄熱槽にためておき、昼間にその熱を取り出して空調するといった運転が可能です。

# 蓄熱式空調システムのメリット

- 熱源容量の軽減
- 熱源運転効率の向上
- 運転の自由性  
(負荷対応性)
- 機器保全性
- エネルギー有効利用性
- 熱回収適用性
- ヒートバランスの容易
- 防災対策

# 蓄熱式空調システムの問題点①

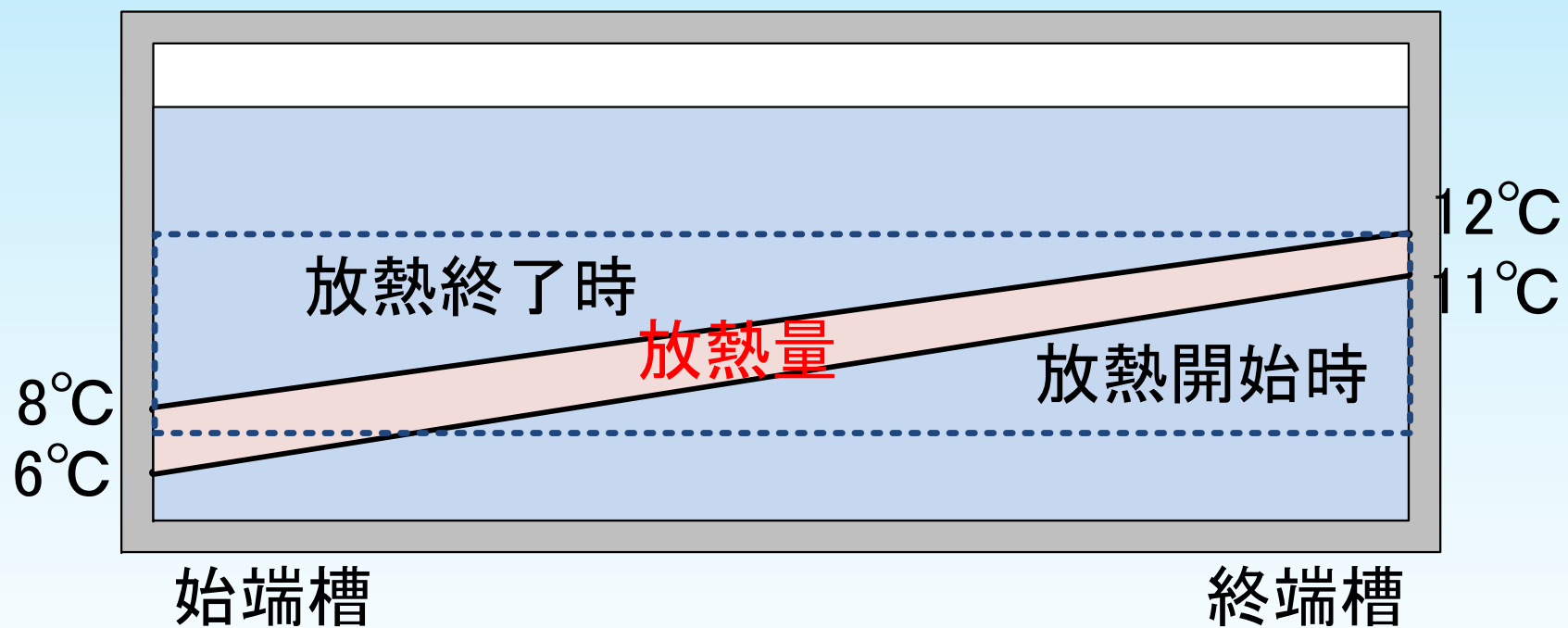
- **蓄熱槽効率**とは

= 実際に利用できる熱量 ÷ 名目的に蓄えられる熱量

- 蓄熱槽効率低下の原因

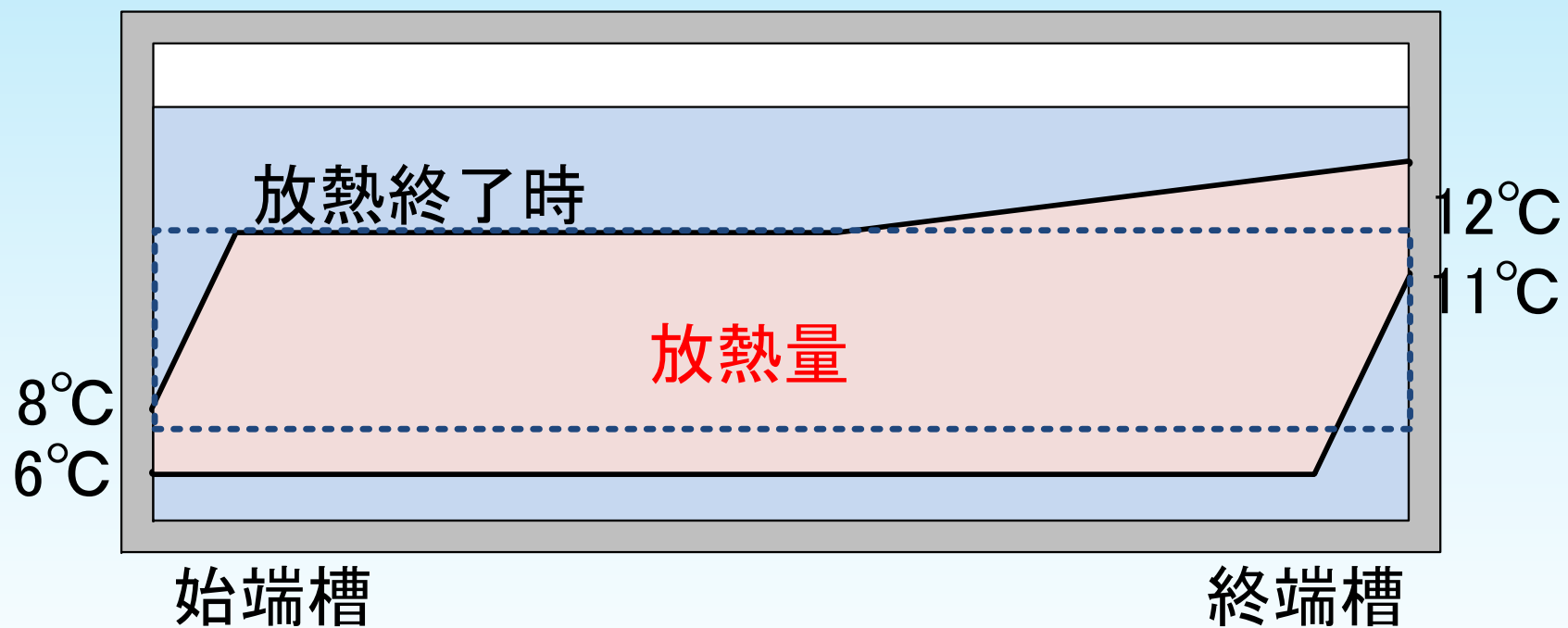
- 往還温度差が小さい（二次側ファンコイルユニット等）
- 蓄熱槽のピストンフロー特性が悪い

# 蓄熱式空調システムの問題点①悪い例





# 蓄熱式空調システムの問題点①良い例

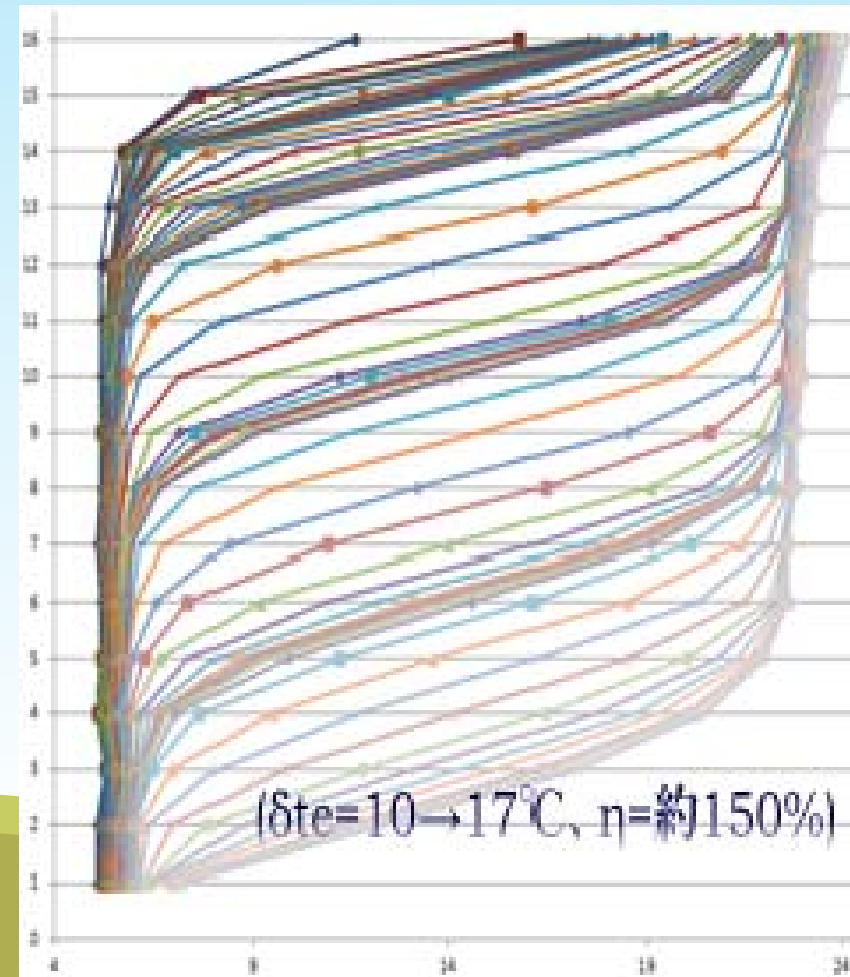


## 蓄熱式空調システムの問題点①

- これまでファンコイルでは、十分な往還温度差がつかないと考えられていた
- **小水量比例二方弁**を用いた**変流量制御**により、**ファンコイルユニットも十分な往還温度差が確保**できるようになった。
- 更に往還温度差が小さい場合は、**風量を増やす制御**も効果的である。

# 蓄熱式空調システムの問題点①

- 十分に温度差が付いた温度プロファイル例  
(温度成層型水蓄熱)
- 蓄熱槽効率 150%
- 往還温度差  
設計値10K  
→実測値17K



## 蓄熱式空調システムの問題点②

### 蓄熱槽の不適切な運転

- 夜間に最大容量まで蓄熱を行う

⇒ 熱が残る ⇒ 蓄熱槽からの熱損失

- 夜間蓄熱量を少なくする

⇒ 熱が不足 ⇒ 昼間に熱源運転（追掛け）




蓄熱運転を最適化するには

蓄熱式空調システムを最適運転するためには、  
無駄な蓄熱、無駄な追掛け運転をなくする必要  
がある

⇒将来利用する熱量が分かれば、必要分の蓄  
熱、必要分の追掛け運転が可能になる

将来利用する熱量→熱負荷の予測技術





## ②熱負荷予測について




# 熱負荷予測について

蓄熱システムの不適切な運転を避けるために  
24時間程度の**近未来の熱負荷を予測**

⇒ 最適運転方法を決定

より効率的・合理的な蓄熱システムの運転のために「熱負荷予測」という**新しい技術の実用化**



⇒ CO<sub>2</sub>の削減や地球・地域環境の保護



# 熱負荷の予測技術の歴史

1973年

大阪大林組ビル竣工  
国内初のコンピューターによる予測を含む空調最適制御

1998年

空気調和・衛生工学会 蓄熱最適化委員会/負荷予測WG  
熱負荷予測ベンチマークテスト実施

現在

第三次人工知能ブーム  
各社、機械学習を用いた熱負荷予測を発表





1973年

大阪大林組ビル

# 大阪大林組ビル

- 1973年1月竣工 地上32階 延床50,292m<sup>2</sup>
- 冷凍機容量 57.3W/m<sup>2</sup>
- 冷水槽 2,100ton、冷温水槽 1,500ton
- **カルマンフィルター**による熱負荷予測と蓄熱槽プロフィール予測による蓄熱運転の最適化制御

# 大阪大林組ビル

- カルマンフィルター
  - アポロ計画で用いられたと言われている
  - 現在では、カーナビゲーションシステムなどに利用されていると言われている
- 翌日の熱負荷を、下記の情報から予測
  - ① 当日の熱負荷
  - ② 当日の外気温度（各時刻）
  - ③ 翌日の天気予報に基づく外気温度（夏：最高気温、冬：最低気温）



1998年

# 熱負荷予測ベンチマーク

# 熱負荷予測ベンチマークテスト

- トライアル 1
  - 地下1階、地上11階、延床面積38,400m<sup>2</sup>
  - 建物の一部の階の熱負荷を1か月に渡り予測
- トライアル 2
  - 地下1階、地上9階、延床面積5,400m<sup>2</sup>
  - 22時までには得られるデータと、翌日の天気予報データを用いて、翌日の時刻別熱負荷を予測

# 熱負荷予測ベンチマークテスト

トライアル1

| 順位 | 手法               | 誤差    |
|----|------------------|-------|
| 1  | 階層Bayes的ニューラルネット | 2.82% |
| 2  | ニューラルネット         | 3.91% |
| 3  | カルマンフィルタ法        | 4.16% |
| 4  | リカレント型ニューラルネット   | 4.43% |
| 5  | 状態空間モデル          | 4.54% |

# 熱負荷予測ベンチマークテスト トライアル2

| 時間<br>熱負荷 | 1位                   | 2位                   | 3位                           |
|-----------|----------------------|----------------------|------------------------------|
| 全日        | TCBM+ARIMA<br>(5.4%) | カルマンフィルタ<br>(6.0%)   | ニューラルネット<br>(6.0%)           |
| 平日        | TCBM+ARIMA<br>(5.9%) | カルマンフィルタ<br>(6.4%)   | ニューラルネット<br>(6.7%)           |
| 土日        | GMDH<br>(3.3%)       | TCBM+ARIMA<br>(3.6%) | リカレント型<br>ニューラルネット<br>(6.7%) |

# 予測に用いられた手法（モデル）

- カルマンフィルタ
  - GMDH
  - ニューラルネットワーク
  - 線形重回帰
  - 状態空間
  - ARIMA
- ※8種類の手法が提案...等



# 予測手法の紹介

- GMDH (Group Method of Data Handling)
  - 変数の組み合わせ計算法
  - 負荷の実績、外気温度 (最高、最低、平均)、機器の運転時間、天気予報外気温度など、**多くの変数から任意の2つを組み合わせ、予測値を求める式を構成**
  - 既知のデータの半分を使って、変数に対する係数を求める。残りの半分のデータを使って、精度の高い組み合わせを判定する
  - これを1つの層とみなし、良い結果を得るまで繰り返す



現在

# 第三次人工知能ブーム

# 第三次人工知能（AI）ブーム

- 車の自動運転、囲碁・将棋のプロとの対戦で、空前のAIブーム（第三次）となっている
- AIの定義は、一定していない
- 機械学習：AIの一つで、データをコンピューターに学習させ、判断させる→熱負荷予測
- ディープラーニング：多層ニューラルネットワークの事で、コンピューターの性能向上で実現

# コンピューター性能の比較

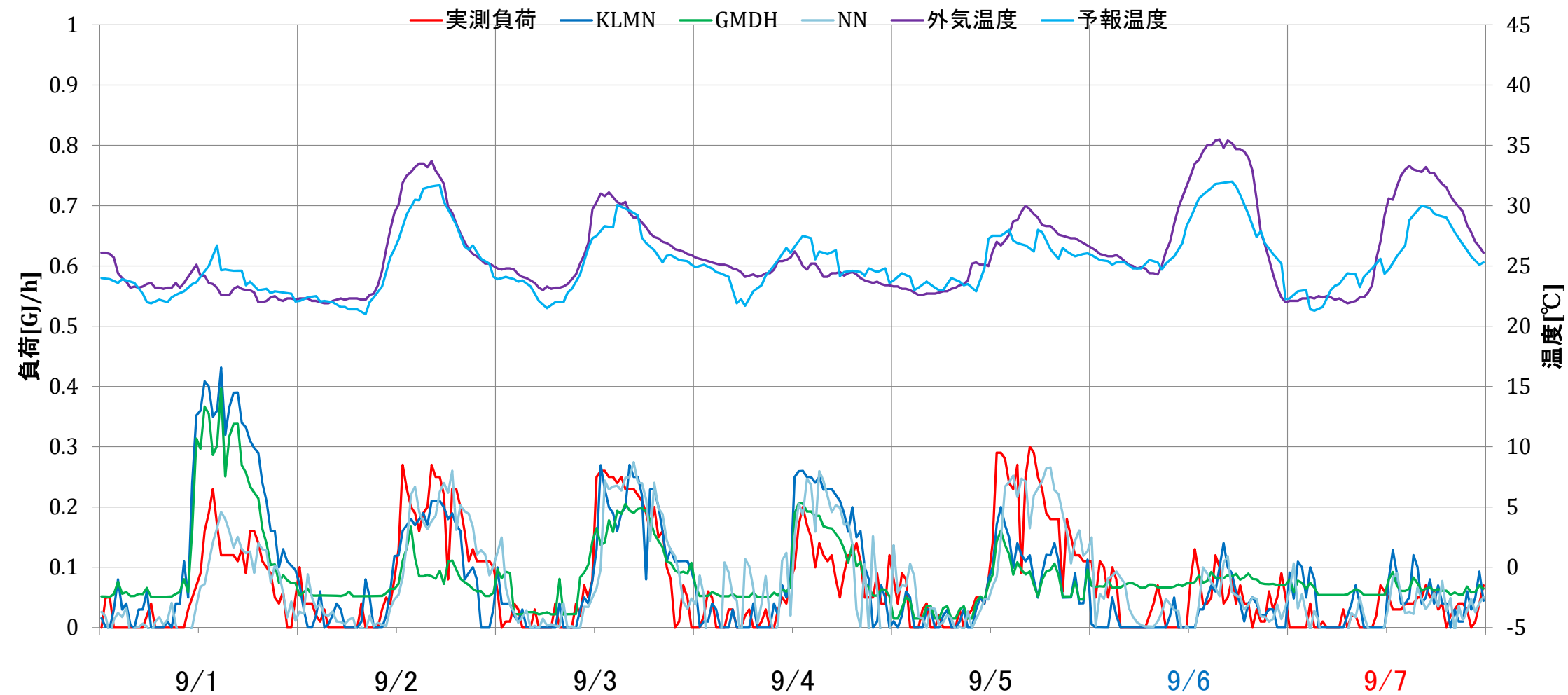
|        | 1973年               | 1998年             | 現在                |
|--------|---------------------|-------------------|-------------------|
| 演算速度   | 加算3.2 $\mu$ s<br>基準 | Pentium<br>約1000倍 | Xeon 8コア<br>260万倍 |
| メモリ    | 32kbyte<br>基準       | 128Mbyte<br>4096倍 | 32Gbyte<br>100万倍  |
| ディスク容量 | 512kbyte            | 2Gbyte            | 1Tbyte            |
| 記録装置   | ドラム                 | ハード<br>ディスク       | SSD<br>(半導体)      |

# ③三晃空調の取り組み紹介

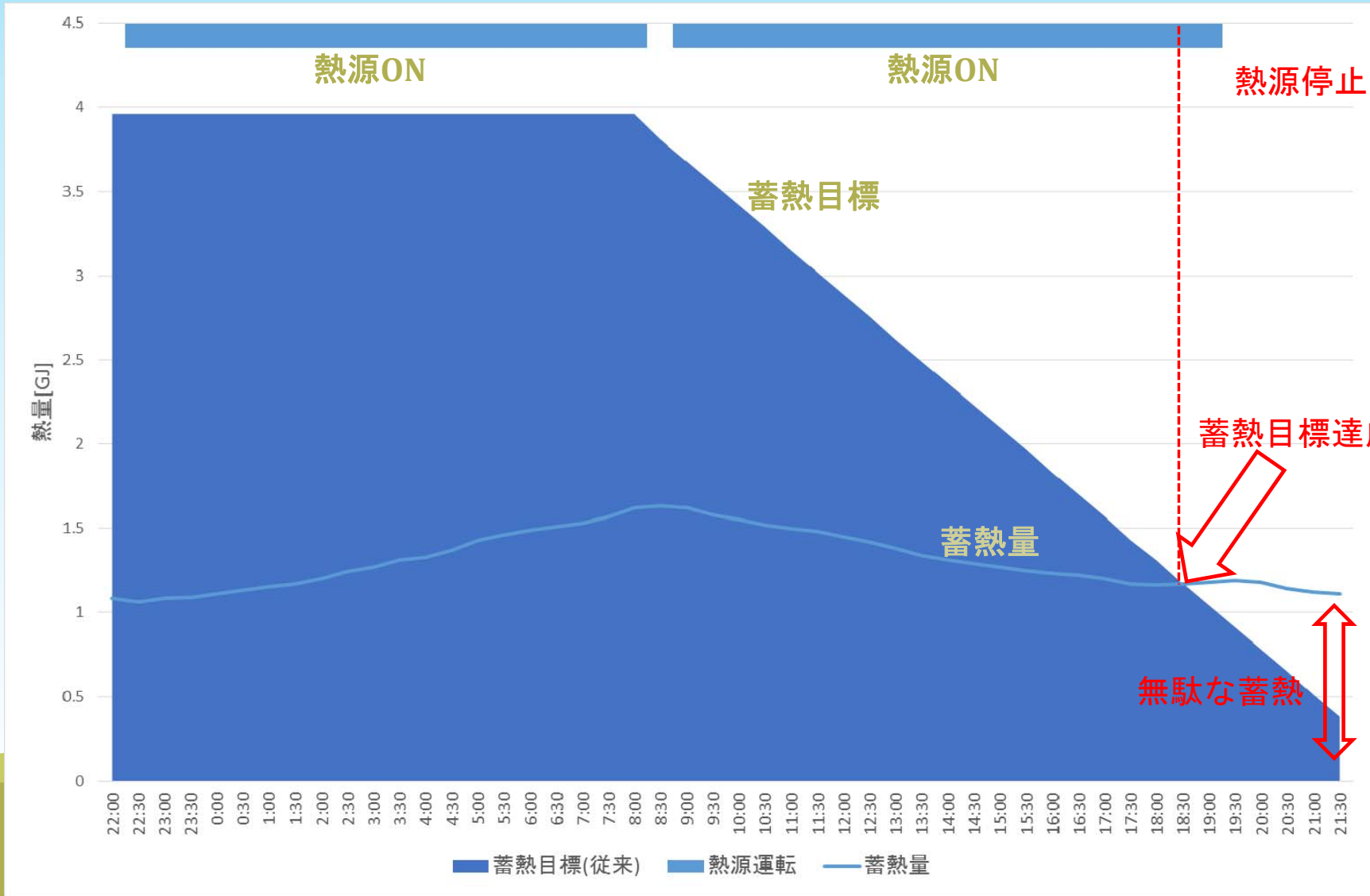
# 三晃空調の取り組み紹介

- 弊社研究開発部門の技術顧問である、名古屋大学名誉教授 中原信生先生の指導の下、1996年より蓄熱最適化制御の研究に着手
- 蓄熱最適化制御のための負荷予測  
ヒートポンプ・蓄熱センター委託研究  
蓄熱最適制御システムの実証他  
(H21年～H27年)
- 名古屋大学CKK棟 OPC実証報告

# 熱負荷予測グラフ例

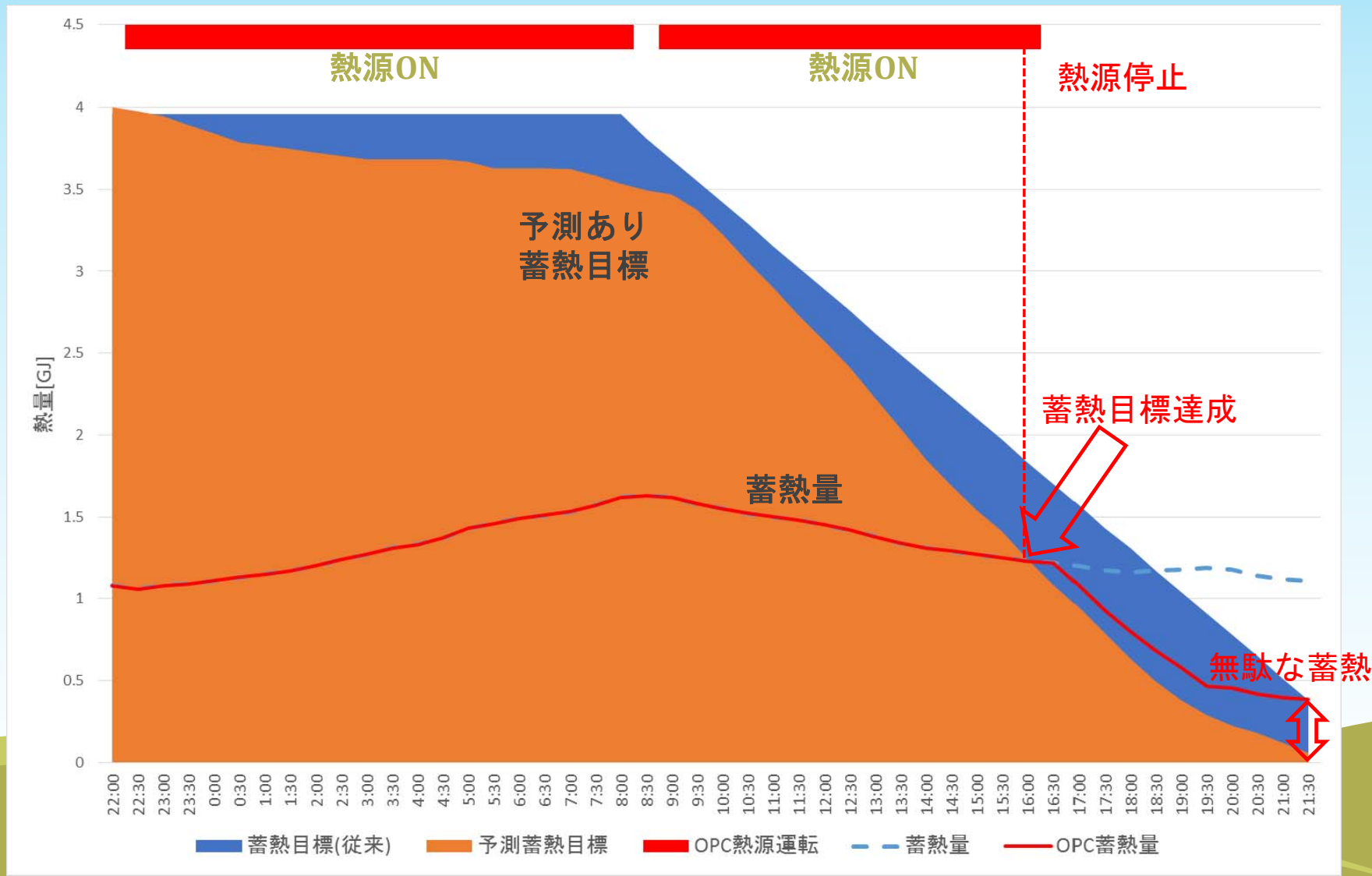


# 一般的な蓄熱制御の例

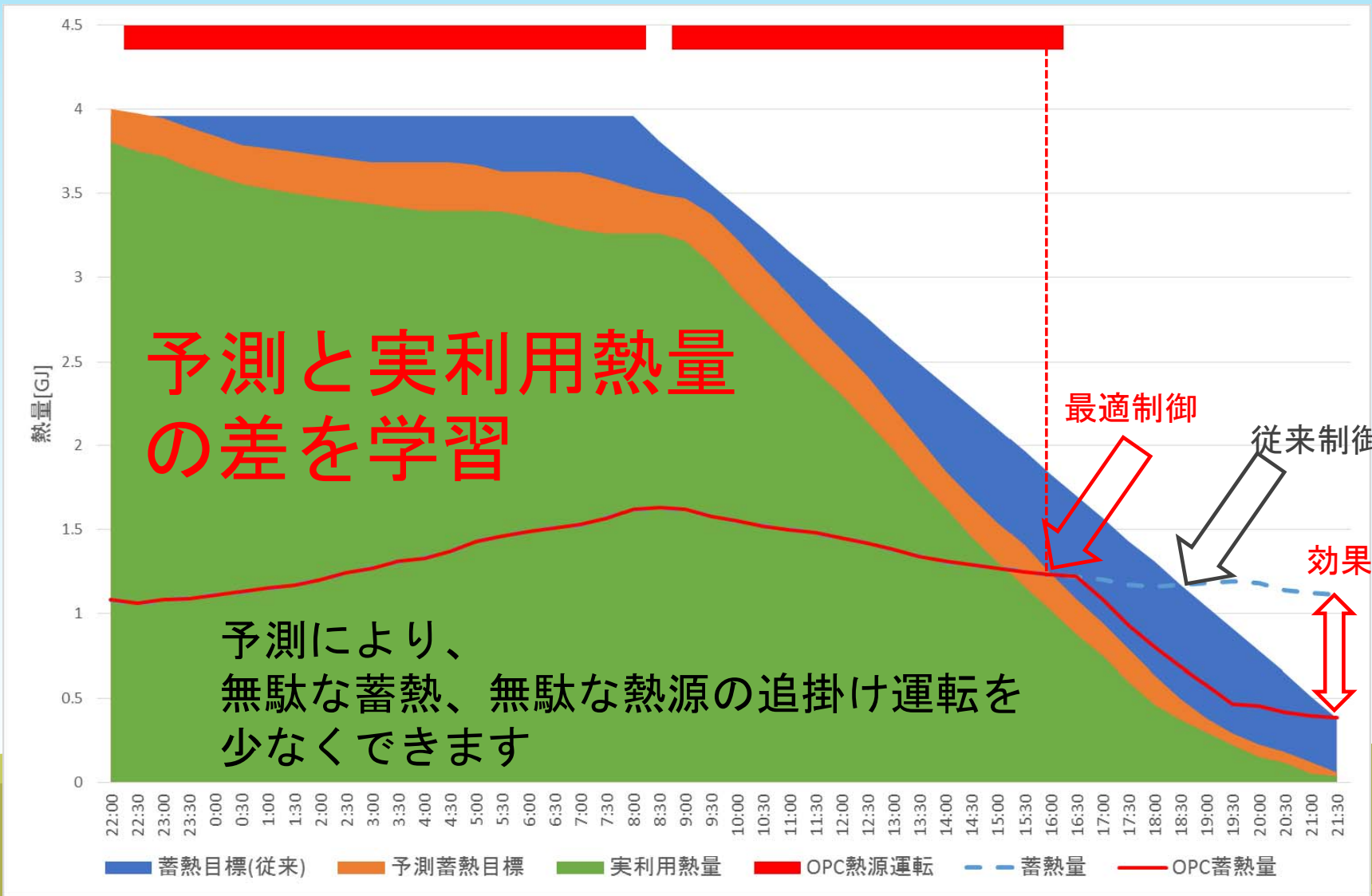




# 蓄熱最適制御の例



# 蓄熱最適制御の例



# 熱負荷予測のポイント・問題点

- どのようなデータを学習させるか
  - 過去の負荷データ、気象データ、天気予報
- 曜日や休日の処理
  - 平日のデータに比べ休日のデータは少ない
- チューニング
  - 良い予測結果を得るには、チューニングが必要
  - 数学的に難解な予測手法を誰がチューニングするのか？



## ④ビル用マルチ空調システムとの比較

# ビル用マルチ空調システムとの比較

## 比較対象建物概要

|        |  |
|--------|--|
| 建物名称   | 名古屋大学研究所共同館  |
| 延べ床面積  | 7,046m <sup>2</sup> (検討対象：4,403m <sup>2</sup> 、8階) |
| 建物種別   | 研究実験棟  |
| 用途構成割合 | 教官・院生室：50%、実験室：17%                                 |
| 竣工     | 2013年2月  |
| 一般系統熱源 | 温度成層型蓄熱槽126m <sup>3</sup> ×2槽<br>井水熱源高効率HP100RT    |
| 一般系統空調 | 大温度差確保FCU+工口外気導入                                   |

# 比較内容



- ランニングコストを算出
  - BESTによるシミュレーションを利用
- イニシャルコストを算出
  - 空調設備工事
  - 建築工事（蓄熱槽躯体、PAC室外機置場など）

→蓄熱システムのコストアップを単純回収を算出すると。。。



詳しくは、空衛学会の論文を参照  
ください！！！！

空気調和・衛生工学会大会 高知








まとめ







# まとめ

- 蓄熱技術の進歩
    - FCUへの大温度差確保弁採用
    - 熱負荷予測により、必要分の蓄熱・追いかけて運転
  - 機械学習・AI技術の発達、IOTの普及により、蓄熱システムは、より扱いやすいものになるだろう
  - 蓄熱技術の継承
- 
- 
- 
- 
- 

ご清聴ありがとうございました。



株式会社 三晃空調