

蓄熱槽を含むオフィス空調設備の冷房運転への適用(1)

● モデル予測制御 (Model predictive control: MPC)

モデル予測制御 (Model predictive control: MPC)とは制御手法の1つであり、フィードフォワード制御 (Feedforward control)の概念に近い。フィードバック制御が過去の情報から制御量を決定するに対し、モデル予測制御では未来の状況をモデルによって予測し未来のある期間を通じて目的が最適になるよう制御量を決定する。

● 研究目的

本研究の目的は、MPCを既存のルールベース制御(Rule based control: RBC)と比較しMPCの適用効果を確認することである。建物の挙動を予測する予測モデルは、最適化の反復計算の計算負荷を減らしつつデータ基盤でモデル化が可能であるANN (Artificial neural network)を活用した。

● シミュレーション条件

東京にある8階のオフィス建築物を想定した。コア空間を除く業務空間のみ空調を行い、8階の空調空間を1つの熱的空間としモデリングした。

建物のモデリング条件

- ツール：OpenStudio, EnergyPlus
- 熱貫流率：外壁 0.95 W/m²k, 屋根 0.49 W/m²K, スラブ 0.71 W/m²K, 窓 2.97 W/m²K
- 在室時間：平日 9:00 – 18:00
- 空調時間：在室時間帯
- 冷房設定温度：26 °C

設備システムの構成

- 空冷式チラー, 1台
 - 温度成層型蓄熱槽, 1台
 - ファンコイルユニット, 2台
 - 熱交換器, 3台
 - 変流量ポンプ, 5台
- 制御の操作変数はポンプの流量

● ANN予測モデル

4つのANNを用意し、それぞれのANNの予測対象は①室内温度,②蓄熱槽内最上層と最下層温度,③チラーの入口出口温度,④チラーの電力消費量である。

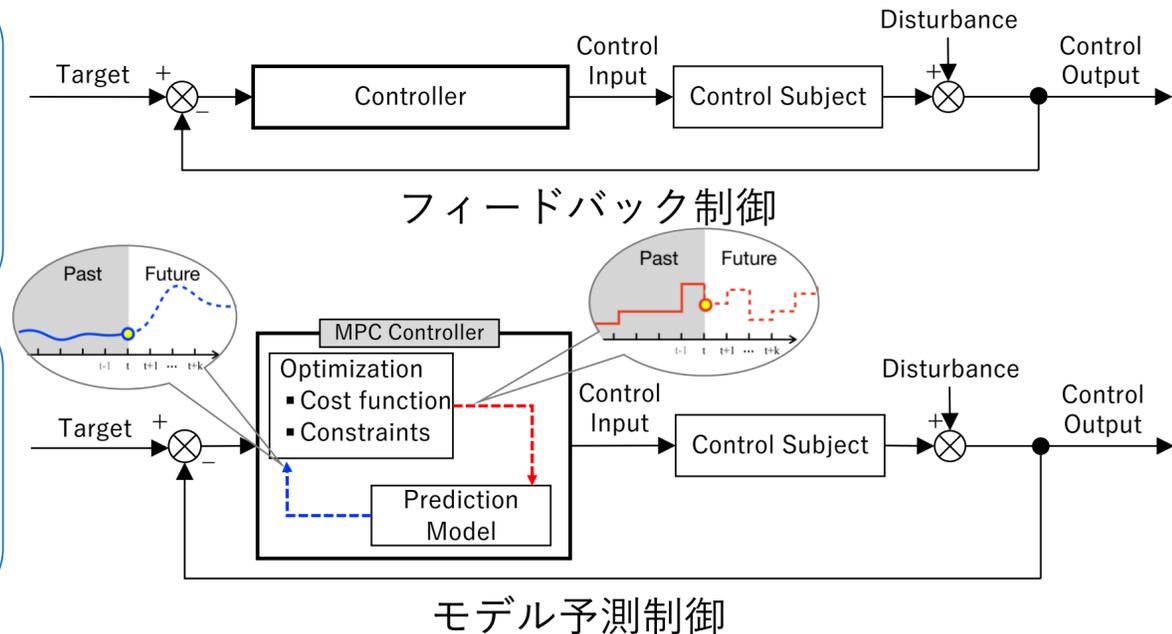


図1. フィードバック制御とモデル予測制御の比較

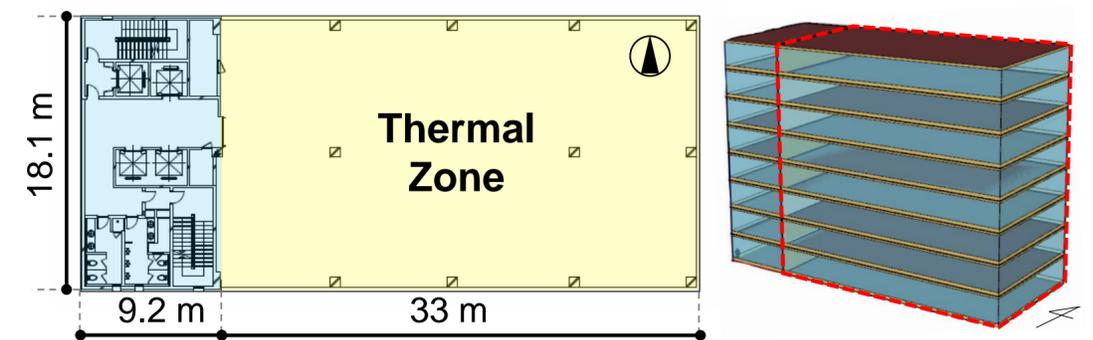


図2. シミュレーション対象建物

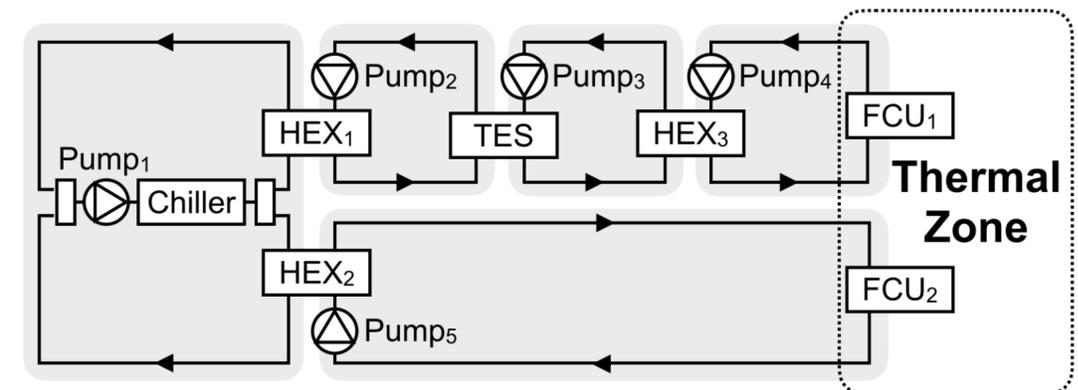


図3. 対象建物の設備システム

蓄熱槽を含むオフィス空調設備の冷房運転への適用(2)

最適化問題

最適化手法：Epsilon constrained differential evolution random jumping(ε DE-RJ)

$$J_s = \sum_{t=1}^{t_H=24} \{(C_{chiller}^t + C_{pump}^t) \cdot P^t\}$$

Minimize $J_s(\dot{m}_{p1}, \dot{m}_{p2}, \dot{m}_{p3}, \dot{m}_{p4}, \dot{m}_{p5})$

Subject to

$$T_{zone} \leq 26^\circ C \text{ at } 09:00 \sim 18:00$$

$$\dot{m}_{p1}, \dot{m}_{p2} \leq 10.86 \text{ (kg/s)}, \dot{m}_{p3}, \dot{m}_{p4}, \dot{m}_{p5} \leq 8.22 \text{ (kg/s)}$$

$$C_{pump}^t \text{ (kWh)} = 0.2555 \cdot \dot{m}_{pump}^t$$

- (1) J_s : 目的関数
- t_H : 予測区間(=24 hours)
- (2) t_c : 制御区間(=1 hour)
- $C_{chiller}^t$: t時刻のチラーの電力消費量 (kWh)
- C_{pump}^t : t時刻のポンプの電力消費量 (kWh)
- (3) P^t : t時刻の電気料金 (yen/kWh)
- (4) \dot{m}_p^t : t時刻の各ポンプの流量 (kg/s)
- (5) T_{zone} : 室内温度 (°C)

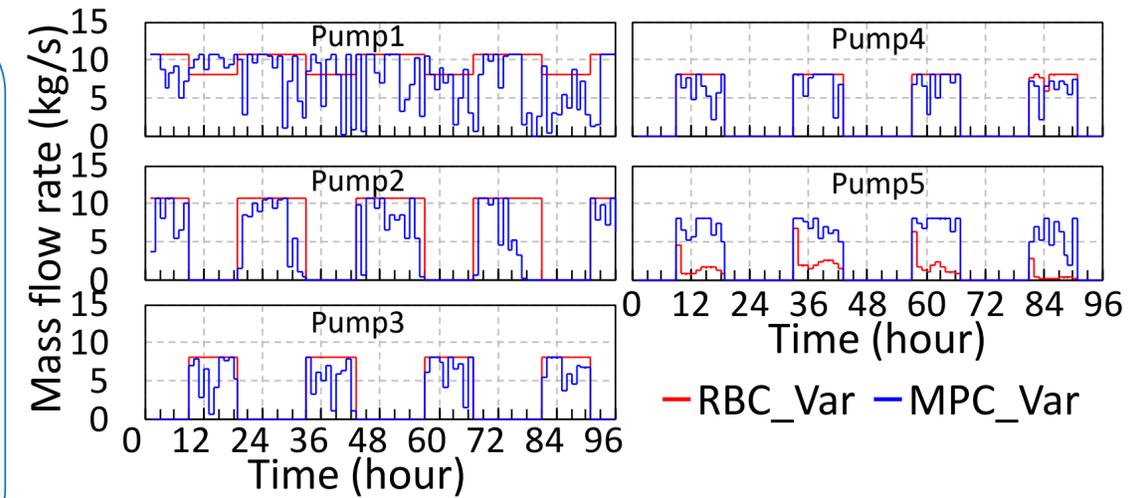


図5. ポンプの流量制御の結果

Legend for Figure 5:
 - - - Tout
 - - - RBC_Base
 - - - RBC_Base_Var
 - - - RBC_Var
 - - - MPC_Var

ケーススタディー条件

ケーススタディーを行い従来制御のRBCとMPCを比較した。RBCは在室時間以外の時間帯において10.86 kg/sの一定流量運転でTESを満蓄にし、在室時間では8.22 kg/sの一定流量で放熱し、TESの蓄熱量が不足する時にはチラーで追い掛け運転を行う制御と定義した。

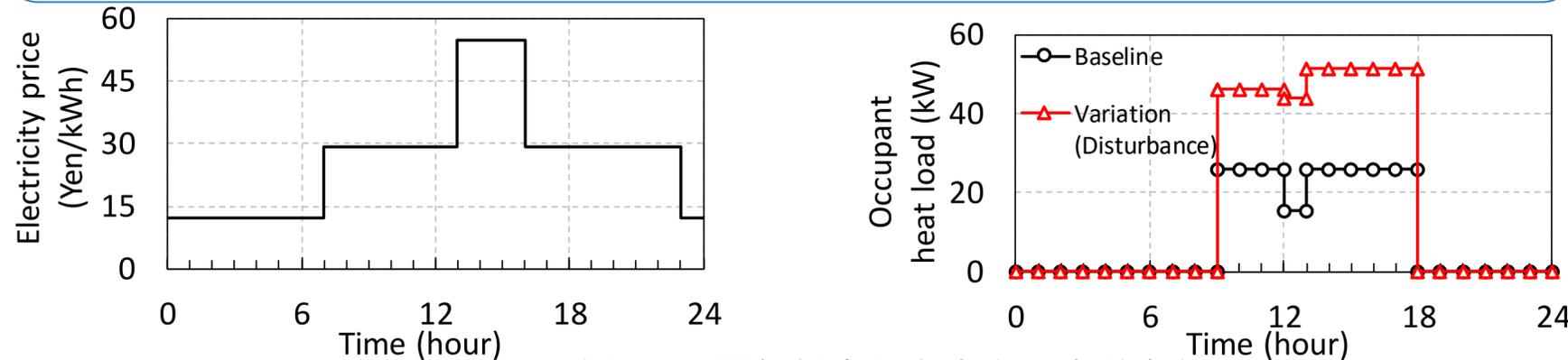


図4. 時刻別の電気料金と在室者の変動条件

検討ケース	制御手法	在室者変動	MPC適用	備考
RBC_Base	RBC	×	×	-
RBC_Base_Var	RBC	○	×	在室者変動なしのRBC_Baseケースのポンプの流量運用計画を代入
RBC_Var	RBC	○	×	-
MPC_Var	MPC	○	○	-

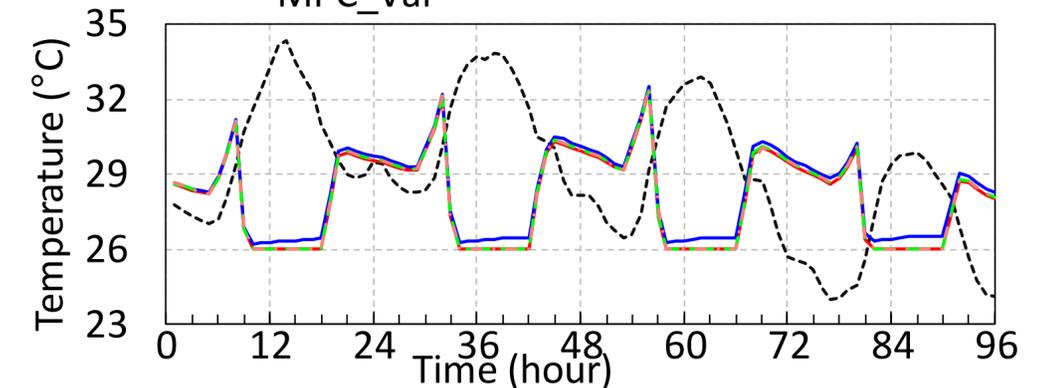


図6. 室内温度の結果

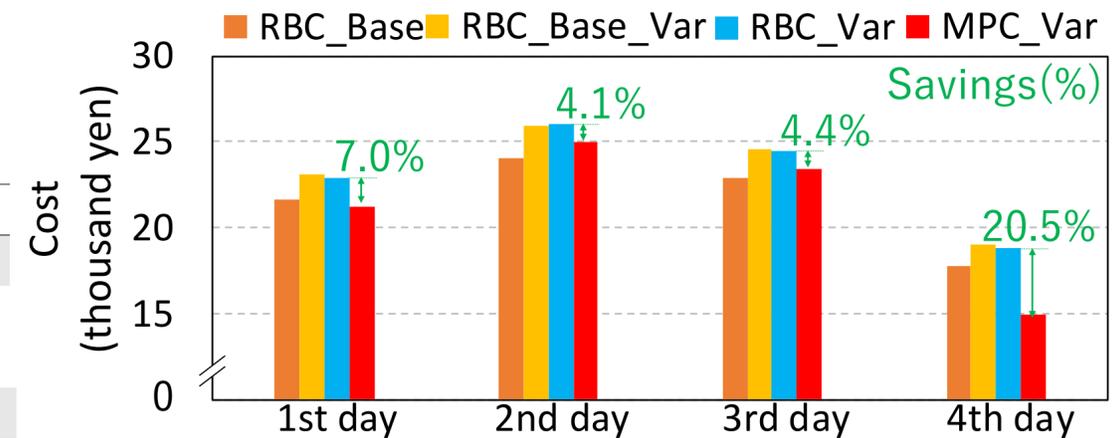


図7. 運用コストの結果