

プロセス制御系設計用 CAD ソフト (その 3 1) - 2 つの空間をもつ空調システムの最適化制御 II -

渡利 久規・黒須 茂・鶴田 好孝・石川 岳史*

Hisaki WATARI, Shigeru KUROSU, Yoshitaka TSURUTA, Takeshi ISHIKAWA,

Application of Optimization Technique to Control of Two Air-Conditioned Spaces

② II → III

①で終端時間の温度, 湿度を初期推定値と仮定し, 設定条件を **Table 5** の III として, 最適化計算を実施した. PMM, USM, OPT のパラメータに対する, それぞれの評価関数を **Table 8** に示す. また, それぞれのパラメータでのシミュレーションを行った結果を **Fig.6** に示す.

Table 8 Performance indices

	PMM	USM	OPT
J	22.98	94.68	5.64
J_1	0.01620	0.0011	0.00085
J_2	0.946	0.188	0.148
J_3	3.738	90.90	2.26
J_4	1565.39	1622.95	1429.02
J_5	-86.42	-195.20	-218.84
J_6	10.98	11.43	11.36
J'_4	825134.0	842188.2	835724.3
J'_5	1627.9	3529.0	1377.4
J'_6	2668.9	2769.6	2779.6

・ **Table 8** を見ると, J_1 については①のときの J_2 と同様に設定温度を変えていないが, やはり干渉による影響がわずかながらみられる. しかし, その干渉による影響の差は約 5 倍となっている. J_2 については USM と, J_3 については PMM と近い結果になっている. その結果, 全体の評価関数では PMM, USM と比べて明らかに小さな値となっている. また, J_5 については評価関数から基本量を引いているためにマイナスの値となっている.

③ III → IV

②で終端時間の温度, 湿度を初期推定値と仮定し, 設定条件を **Table 5** の IV として, 最適化計算を実施した. PMM, USM, OPT のパラメータに対する, それぞれの評価関数を **Table 9** に示す. また, それぞれのパラメータでのシミュレーションを行った結果を **Fig.7** に示す.

Table 9 Performance indices

	PMM	USM	OPT
J	32.52	759.60	27.00
J_1	0.792	0.433	0.958
J_2	0.01220	0.00268	0.00015
J_3	16.46	750.9	7.845
J_4	-846.48	-871.07	-843.52
J_5	14.97	71.31	46.64
J_6	-6.00	-6.22	-5.87
J'_4	737654.4	738047.6	737605.3
J'_5	1288.5	3298.0	1348.8
J'_6	2205.4	2209.1	2207.0

・ **Table 9** を見ると J_4 と J_6 がマイナスの値になっている. これは, Zone1 の設定温度を 25℃ から 26℃ にしたので, ②と比べて給気風量, ならびに冷水コイルの交換熱量を必要としないためである. また, J_5 がプラスになっているのは Zone2 の設定温度は 25℃ のままにして, Zone1 の設定温度を 25℃ から 26℃ に上げたので, ②のときよりも加湿量を必要とするためである.

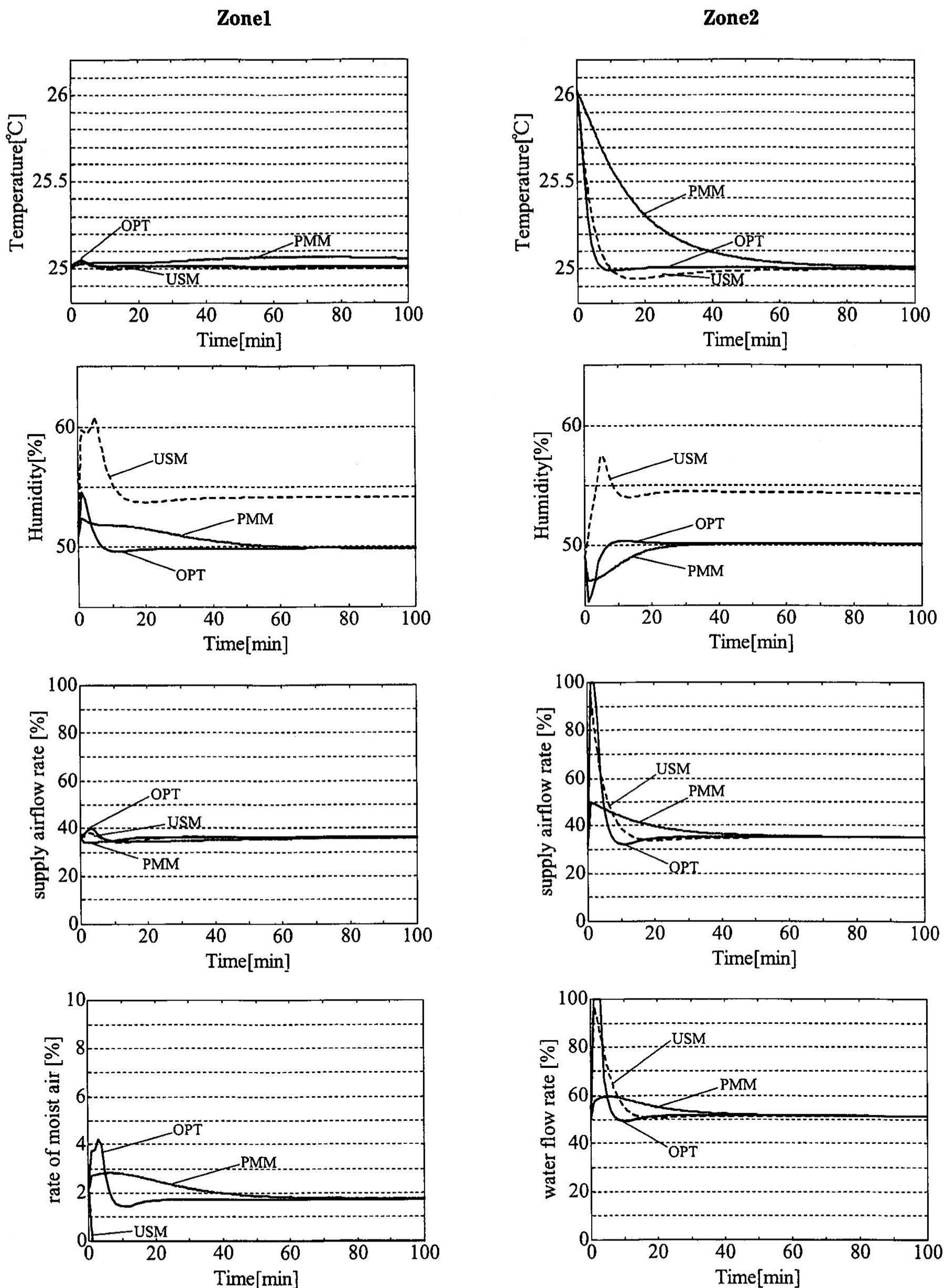


Fig.7 Transient response

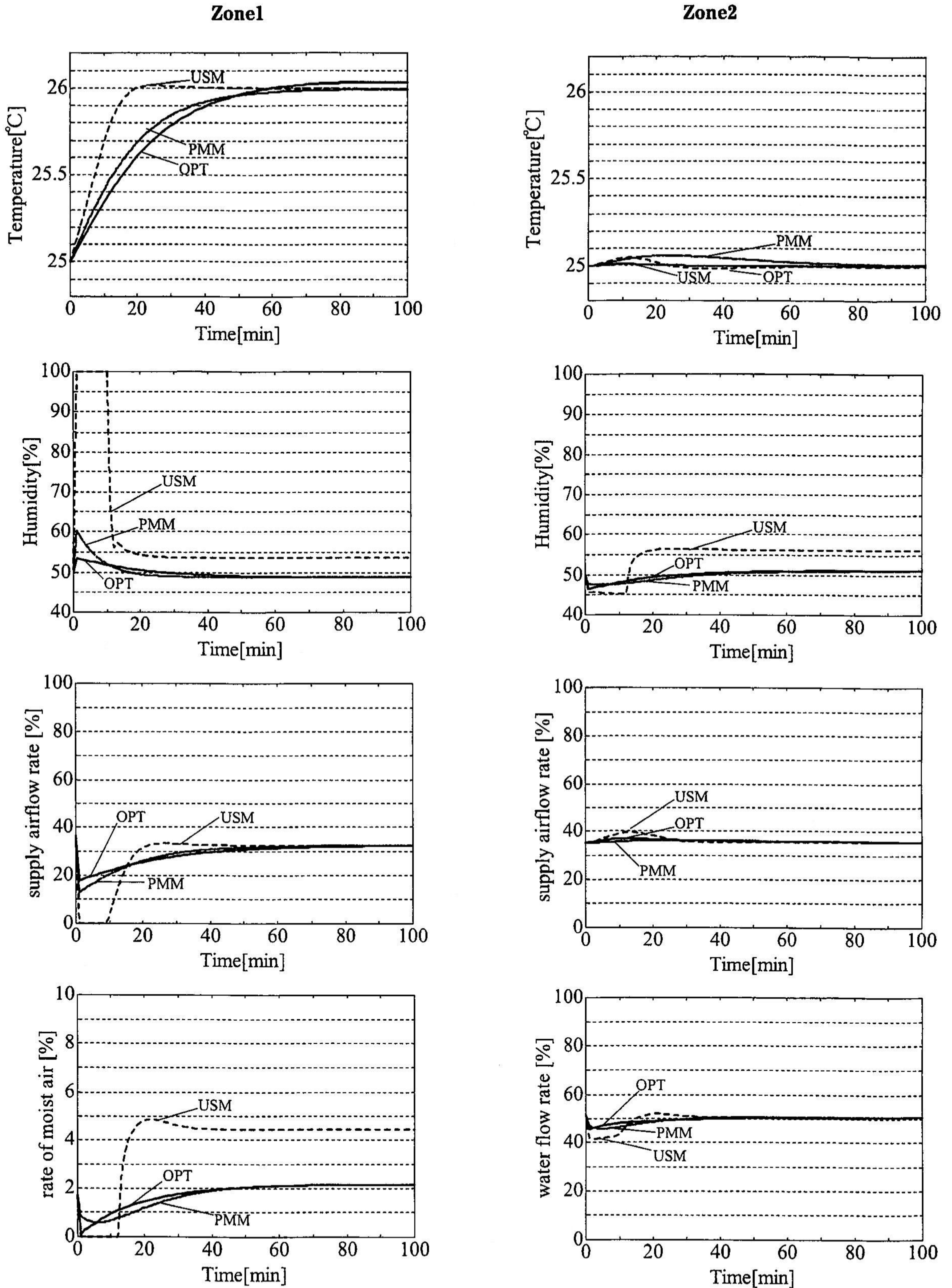


Fig.8 Transient response

・ **Fig.7** を見ると、Zone2 の給気風量が過渡状態のときに Zone1 の給気風量に振動が見られる。その影響によって、Zone1 の温度の応答、ならびに湿度の応答にも振動が見られる。また、Zone2 を急冷する際に湿度が下がってしまう、湿度の評価関数は Zone1 と Zone2 の平均湿度でみているので、Zone1 の湿度を上げようと加湿量は増加する結果となった。しかし、ここで最も興味深い結果は Zone2 の湿度の応答である。設定温度が一定の Zone1 では、湿度の応答は PMM, USM, OPT とともに上がってしまうので、Zone2 の湿度については、湿度を下げようとするはずである。PMM と OPT では過渡状態で 50% を下まわる結果になっているのに対し、USM では逆に 50% を上まわる結果となっている。これはパラメータ調整の重要性を、改めて知ることができる結果となっている。

・ **Fig.8** を見ると、設定温度を上げている Zone1 の温度の応答については最適化計算を実施したところ USM、PMM と比べて整定時間が遅くなっていることがわかる。これは、冷気を出さないほうが、温度を早く上げることはできる。しかし、冷気を出さなければ、湿度については制御不可能になり、評価関数は大きくなってしまうということを示す結果である。つまり、設定温度を上げるときにも、わずかながら冷気を出すことで、湿度についても設定値である 50% 付近に保つことができる。また、Zone2 についても最適化計算を実施することで、温度ならびに湿度の応答を設定値付近に保つことができている。

④ IV → I

③で終端時間の温度、湿度を初期推定値と仮定し、設定条件を **Table 5** の IV として、最適化計算を実施した。PMM, USM, OPT のパラメータに対するそれぞれの評価関数を **Table 10** に示す。また、それぞれのパラメータでのシミュレーションを行った結果を **Fig.9** に示す。

Table 10 Performance indices

	PMM	USM	OPT
J	36.502	621.15	33.933
J_1	0.0282	0.0126	0.00413
J_2	1.12	0.498	1.046
J_3	13.53	610.94	12.190
J_4	-1786.97	-1965.30	-1897.57
J_5	-6.19	4.90	23.31
J_6	-12.45	-14.08	-13.12
J'_4	683589.7	680862.9	679985.4
J'_5	1899.6	2141.5	2031.3
J'_6	1883.0	1877.2	1859.2

・ **Table 10** をみると J_1 については最適化計算を実施することで小さくなっているが、 J_2 , J_3 については最適化計算を実施しても PMM とは、ほとんど差異はみられない。また、③と同様に J_4 と J_6 がマイナスの値になっている。しかし、設定温度を上げた Zone2 のほうの体積が Zone1 の 2 倍あるために、評価関数の絶対値の大きさは約 2 倍になっている。また、 J_5 については最適化計算を実施したところ PMM, USM に比べて、極端に小さくなっていることがわかる。これは、設定温度を上げているので加湿量については③にくらべて増加していて当然である。しかし、マイナスの値をとっているにもかかわらず PMM の湿度の評価関数が小さくなっているのが不思議である。

・ ここの定常運転最適化の評価関数を見ても、すべての場合において、湿度の評価関数を極端に小さくしている。それとは逆に、温度の評価関数についてはあまり小さくなっていないところもあった。今回、定常運転における最適化計算を実施するさいに (54) 式の重みを $A_1 = 20.0$, $A_2 = 1.0$, $A_3 = 0.0$ と選んでいるが、スタートアップと同じように重みを選ぶと、温度の応答を極端に悪くする結果になってしまう。つまり温度の応答と湿度の応答はトレードオフの関係にあるといえる。

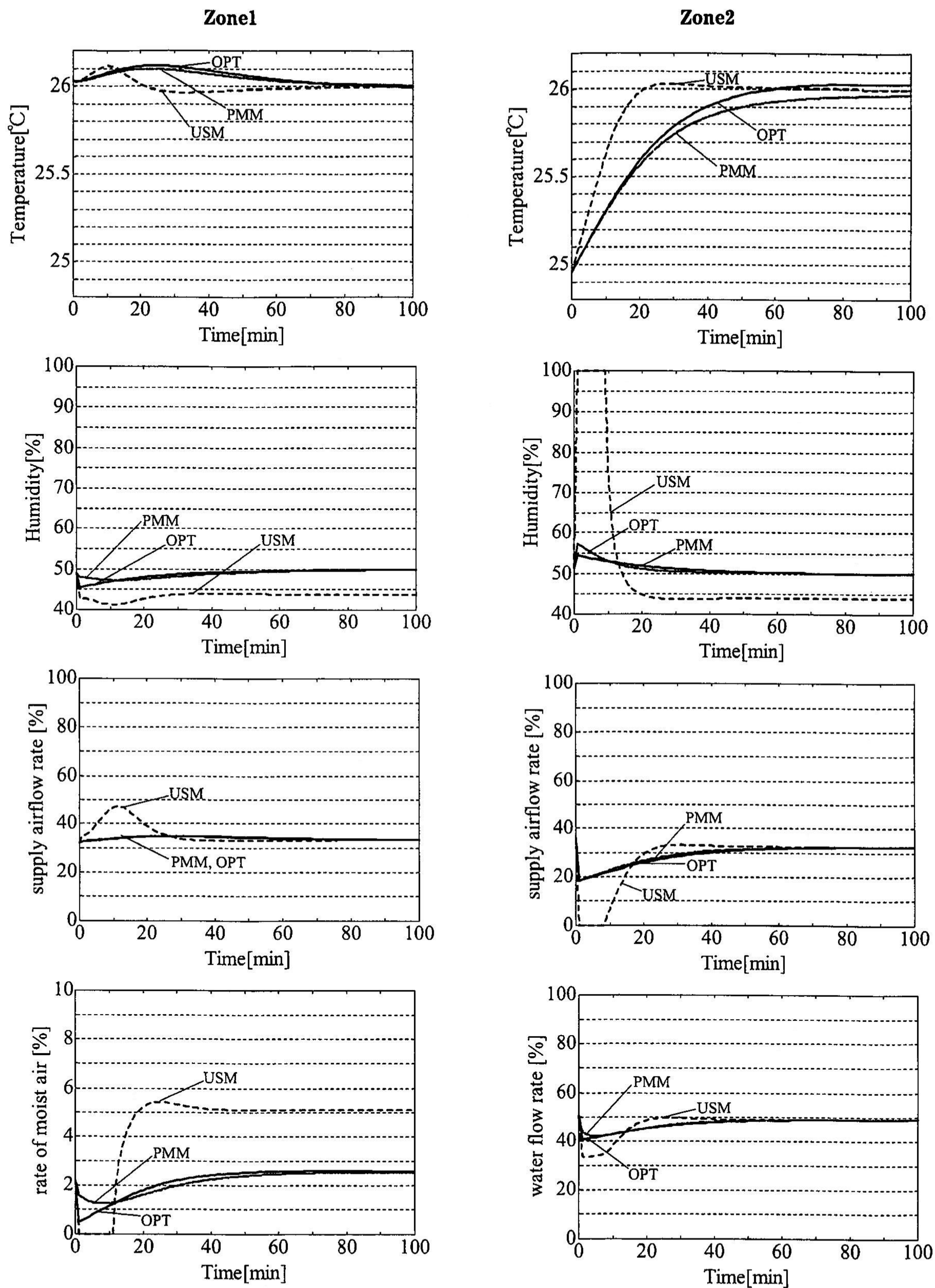


Fig.9 Transient response

・ Fig.9 をみると Zone1 の温度の応答については、干渉による影響が顕著にみられる。また、給気風量については Zone1, Zone2 とともに OPT と PMM とは同じ操作量を出しているのがわかる。しかし、冷水流量と加湿量にわずかな差はあるが差異が見られるために Zone1 と Zone2 の温度ならびに湿度の応答にもわずかな差はあるが違いが見られる。また、ここでも③と同様に Zone2 については最適化計算を実施することで、温度の整定時間が長くなっていることがわかる。

5 おわりに

現在、空調を必要とする現場は数限りなく存在する。しかし、コントローラのパラメータを決定することには、とても苦労しているのが現状である。

本研究では、1つの空調機と1つの加湿器を用いて、2つの空間の温度、ならびに湿度の制御問題を取りあげた。特定のプラントではあるが、温度だけでなく湿度も、1つの空調機と1つの加湿器を用いて、常に給気が出てさえいれば、という条件付きではあるが、2つの空間を同時に制御できるということを見つけた。また、温度と湿度の応答はトレードオフの関係にあり、どちらも同じように制御しなければいけないときには、温度の応答を緩慢にし、湿度の応答を設定値付近で落ち着くようにすることが望ましいといえる。

付録

換算係数

3.1 で示した操作量 ($J_4 \sim J_6$) の評価関数については換算係数によって単位が統一できるようにした。

① s_1 について

空調機の数学モデル 11 式の操作量の項

$f_c c_p \rho_w (\theta_{win} - \theta_{wr})$ の単位は [kcal] で算出される。 $1[\text{kcal}] = 4.186[\text{kJ}]$ なので、熱の仕事当量より

$s_1 = 4.186[\text{kJ/kcal}]$ となる。

② s_2 について

水蒸気 1kg を生成するのに 600[kcal] の熱を必要とし、また熱の仕事当量により $1[\text{kcal}] = 4.186[\text{kJ}]$ なので、 s_2 は以下のようになる。

$$\begin{aligned} s_2 &= 600[\text{kcal/kg}] \times 4.186[\text{kJ/kcal}] \\ &= 2511.6[\text{kJ/kg}] \end{aligned}$$

③ s_3 について

定常状態において送風ダクト内でのファンの静圧を 55[mmAq] と仮定している。1[mmAq] は 9.8[N/m²] であるので送風ダクト内でのファンの静圧は 539.5[N/m²] となる。またファンの効率 η_f を考慮しているので、 s_3 は以下のようになる。

$$\begin{aligned} \eta_f &= 0.5 \text{ と仮定すると,} \\ s_3 &= 539.5[\text{N/m}^2] \times 0.5 \\ &= 269.8[\text{N/m}^2] = 0.27[\text{kN/m}^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ここで } s_3 f_s &= [\text{kN/m}^2] \cdot [\text{m}^3/\text{min}] \\ &= [\text{kN} \cdot \text{m}/\text{min}] \end{aligned}$$

である。

参考文献

- 1) 前澤ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 10）－空調された部屋の物理モデル－，小山工業高等専門学校研究紀要 第 29 号（1997）
- 2) 葛生ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 13）－空調機と部屋とを考慮した物理モデル－，小山工業高等専門学校研究紀要第 30 号（1998）
- 3) 星野ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 15）－加湿器を分離した空調のための物理モデル－，小山工業高等専門学校研究紀要 第 31 号（1999）
- 4) 横塚ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 17）－二つの空調空間のための VAV 制御－，小山工業高等専門学校研究紀要第 32 号（2000）
- 5) 荒井ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 26）－二つの空間をもつ空調システム

プロセス制御系設計用 CAD ソフト（その 31）－2つの空間をもつ空調システムの最適化制御Ⅱ－

の最適化制御－，小山工業高等専門学校研究
紀要 第33号（2001）

- 6) 坂本ほか：プロセス制御系設計用 CAD ソフト
（その 27）－二つの空間をもつ空調システム
の最適化制御－，小山工業高等専門学校研究
紀要 第34号（2002）

「受理年月日 2002 年 9 月 30 日」

