

大規模印刷工場における換気システムの省エネルギー化に関する研究
第2報 仮想モデル計算による置換換気の有効性の検証

LCEM 工場 置換換気
エネルギー消費量 混合換気

正会員 ○ 梶持 圭佑*1 同 羽山 広文*2
同 菊田 弘輝*3 同 福島 明*4
非会員 加藤 祐一*5

1. はじめに

本研究は、既存の工場の換気方式に対し省エネルギー施策を実施した場合、期待される効果を実験及び仮想モデルによるシミュレーションによって探るものである。

本報では対象とする空調システムと類似した仮想モデルに対して、混合換気と置換換気両方での年間消費エネルギーの比較を行う。

2. 対象建物概要

対象は北海道石狩市にある A 社印刷工場である。建物概要を図 1、表 1、全体の空調システムを図 2 に示す。また、本研究では部分改修を想定し枚葉印刷エリアを扱う。

枚葉印刷エリア(以下対象エリア)は、現状では天井給気をし、トップライト部及び印刷機空冷ダクトより排気を行っている。また大型印刷機が 6 台稼働し、室内環境として大型印刷機の発熱、インクの臭気、印刷物の接着防止用粉末等粉塵の飛散が特徴的である。これらの特徴を加味し、本研究では置換換気方式の導入について検討を行う。

3. モデル作成

3.1 LCEM ツール概要

シミュレーションには LCEM ツールを用いた。これは、空調システム内の熱源機器等をオブジェクトとしてエクセル上に配置し、システム全体を構築するものである。

3.2 仮想モデルの作成

本研究において、対象エリアの空調システムと類似したモデルを作成するにあたり、全体のシステム図より対象エリア部分を取り上げ、図 3 のような仮想モデルとした。この時、一次側熱源機器及び二次側のエアハンドリングユニットは各々 2 台分を統合し 1 台とみなしている。また、このモデルでの計算に際して対象エリアと類似した室負荷を使用するため、外壁及び屋根からの貫流熱負荷を計算した。室負荷計算の手順については図 4 に示す。

3.3 規準化指標の利用

置換換気方式では、給気が床面近傍より低速で持ち上がるため、温度や汚染質濃度には高さ方向に勾配が生まれる。そのためこの勾配によって置換換気方式の影響を知ることができる。この検討には規準化居住域温度 k_v を用いた。規準化居住域温度 k_v は、排気温度上昇に対する居住域温度上昇の比で、給気温度を θ_0 [°C]、排気温度を θ_1 [°C]、居住域温度を θ_a [°C] とすると次式により表わされる。

$$k_v = \frac{\theta_a - \theta_0}{\theta_1 - \theta_0} \dots (1)$$

また、室内温度が一樣な完全混合状態の室においては、内部発熱の処理量から求めた基本必要換気量 Q_p [m³/h] は、内部発熱 H [kW]、空気の定圧比熱 c_p [kJ/kg°C]、空気の密度 ρ [kg/m³] を用いて次のようになる。

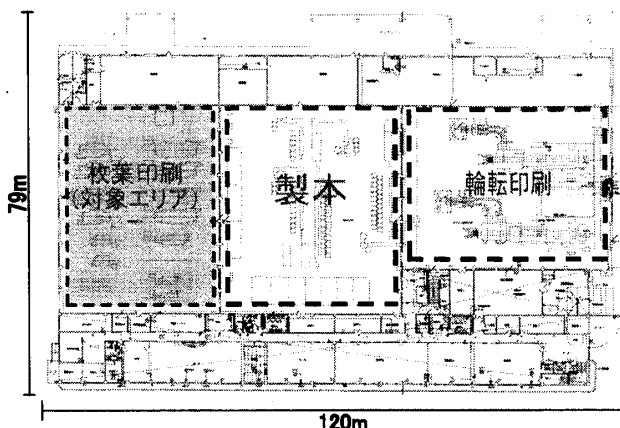


図 1 対象建物平面

表 1 対象建物概要

建物名	A社印刷工場	建設地	北海道石狩市
建物種別	工場	印刷エリア面積[m²]	1,575
建物面積[m²]	8,901	印刷エリア階高[m]	4.5
階数	1階(一部2階)	印刷エリア容積[m³]	7,088
印刷エリア断熱	発泡ウレタン=30 (外壁は西面のみ)		
熱源設備	開放式冷却塔753[kW] × 2、ガス吸収冷温水発生器421[kW] × 2		
印刷エリア空調方式	混合換気(天井給気、トップライト及び印刷機空冷ダクトより排気)		
印刷エリア設置印刷機	8色機×3台、7色機×1台、4色機×2台		

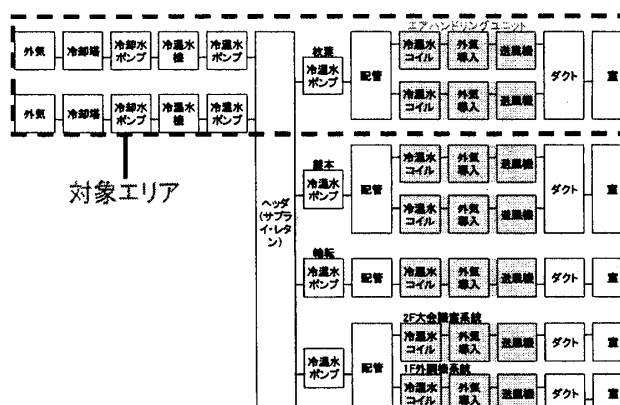


図 2 対象建物空調システム



図 3 仮想モデル概要

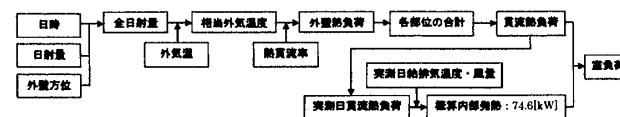


図 4 室負荷計算フロー

A Study on Conserving Energy of the Ventilation System in the Large-scale Printing Factory
Part2 Verifying the Effects of Displacement Ventilation by Calculating the Virtual Model

KEMMOCHI Keisuke et al.

$$Q_p = \frac{3600 \cdot H}{c_p \rho (\theta_a - \theta_0)} \dots (2)$$

置換換気の場合、温度勾配が形成されるため室内の垂直温度分布は様ではなく、様な状態を仮定した \$Q_p\$ はそのまま適用できない。しかし必要換気量とは、温度がある値の時に発生した熱量を処理する風量を表しており、置換換気においても排気温度を用いることで発熱処理量は求まる。よって、置換換気では排気温度を用いた以下の式により、必要換気量 \$Q\$ を求めることができる。

$$Q = \frac{3600 \cdot H}{c_p \rho (\theta_1 - \theta_0)} \dots (3)$$

これは、(1)、(2)式を用い以下のようにまとめられる。

$$Q = \frac{3600 \cdot H}{c_p \rho (\theta_a - \theta_0)} \cdot kv = Q_p \cdot kv \dots (4)$$

\$kv\$ は温度勾配が大きいほど \$0\$ へ近付くため、置換換気が有効に働いた場合換気量が削減できると分かる。

これをもとにシミュレーションを行うが、LCEM 上では換気効率についての設定が存在しないため、混合換気と比較して風量を削減した分に応じて室負荷も減ることにより、置換換気の状態を想定した計算を行った。

4. モデル計算結果

以上を用いてモデル化を行い、年間の空調エネルギー使用量の計算を行った。表 2 に計算条件を示す。また計算結果は空調システム中の消費電力及び冷温水器ガス消費量を各月積算の上、一次エネルギー換算したものの算出し、表・グラフ化した(図 5、表 3)。

置換換気により風量が削減できた分、外気の処理に利用する冷温水器のガス消費量に最も削減効果が表れ、次いで給気ファンの電力消費量に減少が目立った。2者を削減率で比較した場合では、冷温水器のガス消費量は年平均 22.8%の削減率であるのに対し、給気ファンの電力消費量は、風量を 22%減らしたことで年間 52.5%もの削減率を示し、風量削減によるファンのエネルギー消費量削減効果は大きいことが分かった。

冷却塔及び冷温水器の電力消費量は、全体に占める割合としては各々 4%に満たず、削減効果も冷却塔は年平均 9.9%、冷温水器電力は年平均 1.1%ほどだが、負荷処理が少なくなったことで若干ながら減少している。

今回、冷温水及び冷却水ポンプの消費電力にのみ増加傾向がみられた。増加量は顕著なほどではないが、これは熱源の運転判定に風量を条件として含んでいることが原因となっている。風量を削減したことによって、送風みの運転の代わりに冷暖房運転を行う時間が若干ながら増加し、定流量運転を行っているポンプ類の稼働時間が増えたことがこの消費量増加に表れる結果となった。

全体として、給気ファンが予想以上に大きな削減率を示したことから年間の削減率が 24.9%となり、\$kv=0.78\$ より予想していた削減率 22%を上回る結果となった。

今回の試算は仮想モデル上での削減可能性を示しており、置換換気での温度差比によって省エネルギー効果の

表 2 計算条件

換気方式	混合換気(\$kv=1.0\$)	置換換気(\$kv=0.78\$)
計算期間	2008.10~2009.9	
稼働条件	内部発熱一定(74.6[kW])、24時間稼働	
空調方式	定風量方式	
風量(\$m^3/h\$)	21,600	16,848(21,600 \$\times\$ 0.78)
電算計算	計算期間内気象データより計算	\$\times\$ 0.78

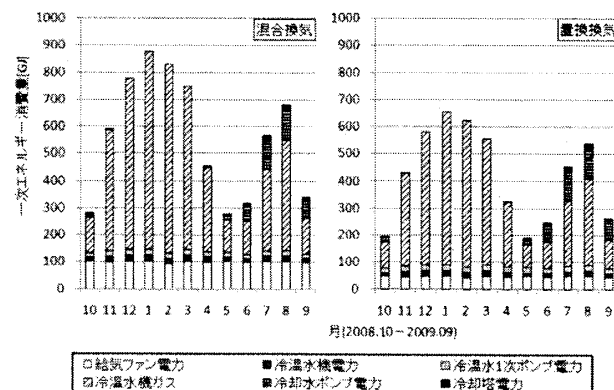


図 5 年間計算結果

表 3 月別用途別削減量[GJ]及び削減率(カッコ内)[%]

月	給気ファン電力	冷温水機電力	冷温水1次ポンプ電力	冷温水機ガス	冷却水ポンプ電力	冷却塔電力	合計
10月	54.0 (52.5)	0.48 (4.0)	-2.83 (-16.0)	36.4 (27.8)	-2.02 (-13.3)	0.092 (6.7)	86.1 (30.7)
11月	52.3 (52.5)	0.47 (2.4)	0 (0)	104.1 (23.3)	0 (0)	0.003 (12.5)	156.8 (26.7)
12月	54.0 (52.5)	0.17 (0.8)	0 (0)	143.8 (22.7)	0 (0)	0 (0)	198.0 (25.4)
1月	54.0 (52.5)	0.01 (0)	0 (0)	165.2 (22.6)	0 (0)	0 (0)	219.2 (25.0)
2月	48.8 (52.5)	0.01 (0)	0 (0)	157.6 (22.5)	0 (0)	0 (0)	206.3 (24.9)
3月	54.0 (52.5)	0.10 (0.5)	0 (0)	136.5 (22.7)	0 (0)	0 (0)	190.6 (25.5)
4月	52.3 (52.5)	0.89 (3.9)	0 (0)	75.5 (24.2)	0 (0)	0.017 (10.3)	128.4 (28.4)
5月	54.0 (52.5)	0.66 (5.4)	-1.94 (-10.1)	36.3 (29.8)	-0.31 (-1.6)	0.211 (10.4)	89.0 (32.0)
6月	52.3 (52.5)	-0.66 (-5.5)	-4.83 (-32.6)	28.2 (22.6)	-6.23 (-10.5)	0.509 (7.6)	69.3 (21.8)
7月	54.0 (52.5)	0.02 (0.1)	-0.75 (-3.7)	62.7 (20.7)	-2.65 (-2.4)	1.526 (6.7)	114.8 (20.2)
8月	54.0 (52.5)	0.23 (1.2)	-0.43 (-2.1)	86.6 (21.2)	-0.78 (-0.7)	1.795 (9.4)	141.4 (20.7)
9月	52.3 (52.5)	0.17 (1.3)	-3.07 (-18.1)	28.1 (21.2)	-3.27 (-4.7)	0.700 (6.1)	74.9 (22.1)
合計	635.7 (52.5)	2.3 (1.1)	-13.9 (-5.9)	1061 (22.8)	-15.3 (-3.9)	4.9 (9.2)	1875 (24.9)

期待値が概算できるということが分かった。

5. まとめ

本報では、LCEM ツールを用いて仮想モデルの作成を行い、モデル内で混合換気と置換換気の消費エネルギーの差を比較した。シミュレーション上で置換換気を想定した動作を行うため、置換換気によってできる温度勾配に着目し、それを測る規準化居住域温度という指標をシミュレーションの条件としてLCEMへ組み込んだ。

年間での消費エネルギーの計算結果では、置換換気による風量の削減効果が影響しやすい熱源機器及びファンで顕著な消費エネルギーの減少がみられ、全体では年間で 25%近くの減少傾向となり、モデル上での削減効果が確認することができた。

【参考文献】

- 1)HASS102-1997換気規準・同解説空気調和・衛生工学会規格,1997.10
- 2)井上市市編：空調調和ハンドブック 改訂5版丸善株式会社
- 3)国土交通省 官庁営繕部:ライフサイクルエネルギーマネジメント(LCEM), http://www.mlit.go.jp/gobuild/sesaku_lcem_lcem.html

- *1 北海道大学大学院工学院 修士課程
- *2 北海道大学大学院工学院 教授・博士 (工学)
- *3 北海道大学大学院工学院 助教・博士 (工学)
- *4 北海道立北方建築総合研究所 博士 (工学)
- *5 恒星設備株式会社

Graduate Student, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ.
 Professor, Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Assoc. Prof., Graduate School of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Hokkaido Northern regional building research institute, Dr. Eng
 Kosei Setsubi Corporation, Ltd.