

寒冷地における外気冷房併用型の置換換気空調システムに関する研究
その3 新旧工場の省エネルギー性能比較とモデル作成

置換換気 エネルギー消費量
外気冷房 解析モデル
工場

正会員 ○羽山 広文*1 同 山中 圭悟*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

一連の研究^{1),2)}では寒冷地における外気冷房併用型の置換換気システムに関し、室内環境、省エネルギー性を検討している。本報では新旧工場の比較と置換換気空調システムの効果算定のための解析モデルについて報告する。

2. 実測調査

2.1 調査概要

対象は北海道夕張市に2008年12月に竣工したS社新工場である。この工場は発熱量が大きく切削油ミストなどが出る工作機械が多数設置されている。本調査は比較のために混合空調方式の旧工場についても調査を実施した(表1、写真1、図1、図2)。

2.2 調査結果

(1) 置換換気による各値の規準化

置換換気では室内に温度勾配や濃度勾配が生じるので各値を規準化することにより比較を行う。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あり、給気温度を θ_{SA} 、排気温度を θ_{EA} 、居住域温度を θ_i とすると次式により表される。

$$k_v = \frac{\theta_i - \theta_{SA}}{\theta_{EA} - \theta_{SA}} \dots (1)$$

(2) 温度・粉塵濃度・臭い強度測定結果

表2、表3に測定内容・条件、さらに図4に測定結果を示す。置換換気により、新工場において各測定項目で高さ方向への勾配が生じている。温熱環境の目標値としてISO7730では床上0.1[m]-1.1[m]で温度勾配は3[°C/m]より小さくすべき、とあるが、全ての風量で基準以下であり条件を満たしている。

(3) 新工場・旧工場比較

新旧建物の総合比較をする上で、PUEを用いる。PUE (Power Usage Effectiveness)とは、データセンター等のエネルギー効率を表す指標の1つである。本研究の対象は工場であるが、24時間運転、高発熱機器の設置など類似点も多いため、同様の考え方をを用いる。

$$PUE [-] = \text{建物全体消費量} / \text{生産に必要な機器消費量}$$

さらに累積PUEと総合PUEを以下に定義する。

$$\text{累積PUE [h]} = PUE (1\text{hごとの総計 [h]}$$

$$\text{総合PUE [-]} = \text{累積PUE [h]} / \text{対象時間 [h]}$$

表4の条件より外気温度別に空調負荷を算定し、図

表1 建物概要

建物名	S社新工場			S社旧工場			
	工場	容積 [m ³]	3775	工場	容積 [m ³]	2688	
建物種別	工場	755	建設地	夕張市	867	建設地	夕張市
工場面積 [m ²]	755	建設地	夕張市	867	建設地	夕張市	867
階高 [mm]	5000	階数	1	3100	階数	1	3100
熱源設備	空冷式電熱ヒーター 170 [kW]			水冷式パッケージエアコン 250 [kW]			
熱源設備	ボイラー 36.1 [kW] × 3			ボイラー			
排熱利用	冬期、コンプレッサー排熱利用						
空調設備	VAV単一ダクト方式			パッケージ空調機			
システム	外気冷房併用型の置換換気空調システム			混合空調システム(外気冷房無し)			
工作機械	平均 41 [kW] (現在) 52.6 [kW] (将来)			平均 64.2 [kW]			



写真-1 新工場外観・吹出・還気・排気口・内部

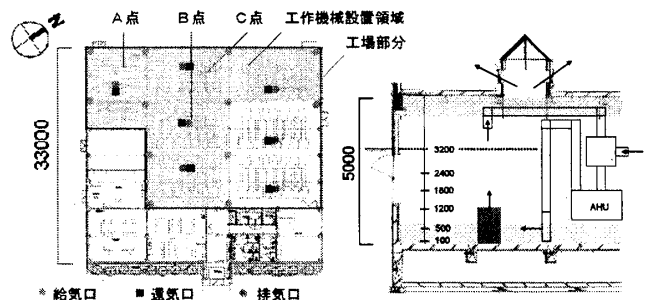


図1 平面図

図2 断面図

表2 実測内容及び測定機器

測定箇所	高さ方向の測定点 [m]	計測周期	計測時間	測定機器
温度	3点 0.1, 0.5, 1.2, 1.8, 2.4, 3.2	20分	1年	T4D社製 RTR-53L
粉塵濃度	2点 0.1, 0.5, 1.2, 1.8, 2.4	20秒	1点2分	栗田科学製 LD-3K2
臭い強度	2点 0.1, 0.5, 1.2, 1.8, 2.4	1秒	1点2分	神栄テクノロジー社製 OMX-LR

表3 実測条件

実測日	天候	外気温度 [°C]				標準 給気温度 [°C]				標準 給気風量 [m ³ /h]		
		平均	最高	最低	偏差	平均	最高	最低	偏差	1	2	3
夏期 '09/8/11	晴れ	22.1	28.7	17.6	3.2	18.6	21.7	15.1	1.2	15768	27432	37620
冬期 '10/1/8	快晴	-5.7	-1.9	-8.1	2.2	17.8	25.7	11.7	2.4	9285(内RA:91100)		

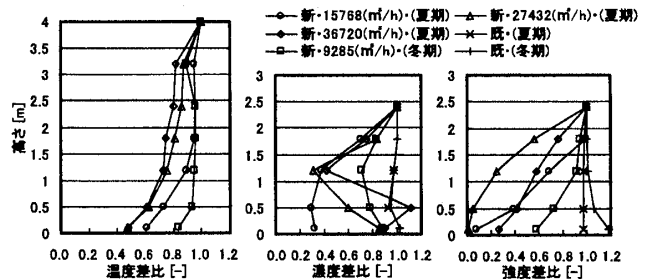


図4 測定結果 (温度・粉塵濃度・臭い強度)

A Study on Displacement Ventilation System with Outdoor Air Cooling in Cold Regions

Part 3 Performance Comparison of Energy Conservation in the Old and New Factory or Regions and the Drafting of Analytical Model

HAYAMA Hirofumi et al.

5, 図6にそのPUEを示す。新工場では17℃付近でPUE=1に近い値となり効率が良い。これは夕張において通年の発生頻度が特に高い17℃付近と一致しているため、最も効率が良い。一方で0℃付近の発生頻度の高さに対し、新旧工場のPUEの差が小さいため、暖房期間の累積PUEはほとんど変わらない。新旧工場の総合PUE(表5)の差は0.47(1.74-1.27)で非常に大きい。

両工場に同発熱量の生産機器を仮定した際、各空調負荷が変化しないとして算出した結果を表5の右下に示す。一次エネルギー消費量の比較では新工場が旧工場に対し64%の削減を達成することになる。

3. モデル解析

3.1 モデル解析の目的

置換換気の効果は内部発熱量や建物の外皮、運用等により変動する。また、外気冷房による効果を評価するためには、地域別に年間の性能を把握する必要がある。本研究ではこれらを踏まえ、最適な設計条件や制御方法、省エネルギー効果を把握する。

3.2 規準化居住域温度を考慮したモデル化

図7に解析モデルを示す。(1)式を変形すると、

$$\theta_{SA} = \frac{\theta_i - k_v \theta_{RA}}{1 - k_v} \quad \theta_{RA} = \frac{\theta_i - (1 - k_v) \theta_{SA}}{k_v} \quad \dots (2)$$

次に、室内の熱平衡式を考える。

$$cpV_{SA}(\theta_{SA} - \theta_{RA}) + KS(\theta_{OA} - \theta_{RA}) + Q_{in} = 0 \quad \dots (3)$$

(2)(3)より、

$$\theta_{SA} = \frac{\theta_i(cpV_{SA} + KS) - k_v(KS\theta_{OA} + Q_{in})}{cpV_{SA} + (1 - k_v)KS} \quad \dots (4)$$

$$\theta_{RA} = \frac{\theta_i cpV_{SA} + \theta_{OA} KS(1 - k_v) + Q_{in}(1 - k_v)}{cpV_{SA} + (1 - k_v)KS} \quad \dots (5)$$

ミキシングボックス内の熱平衡式を考える。

$$cpV_{OA}(\theta_{OA} - \theta_{MA}) + cpV_{RA}(\theta_{RA} - \theta_{MA}) + Q_{CA} = 0 \quad (6)$$

$$\theta_{MA} = \frac{cpV_{OA}\theta_{OA} + cpV_{RA}\theta_{RA} + Q_{CA}}{cp(V_{OA} + V_{RA})} \quad \dots (7)$$

空調機負荷 Q_A と給気量 V_{SA} を示す。

$$Q_A = cpV_{SA}(\theta_{SA} - \theta_{MA}) \quad \dots (8)$$

$$V_{SA} = \frac{(1 - k_v)KS\theta_{SA} - KS\theta_i + k_v KS\theta_{OA} + k_v Q_{in}}{cp(\theta_i - \theta_{SA})} \quad \dots (9)$$

置換換気の性能は規準化居住域温度 k_v を用いて評価する。また、(3)式第2項の θ_{RA} は置換換気による温度成層の形成で室内一様ではないが、工場等の建物の表面積を考えると、天井が高く屋根の面積が大きくなることから、居住域に占める表面積の割合は少ないため、 θ_i ではなく θ_{RA} を導入した。

4. まとめ

本報告では、新工場は旧工場に対して室内環境が向上し、エネルギー消費量も大幅に削減されたことを確

- *1 北海道大学大学院工学研究院 教授・博士(工学)
- *2 株式会社三菱地所設計 修士(工学)
- *3 北海道大学大学院工学研究院 助教・博士(工学)
- *4 北方建築総合研究所 博士(工学)
- *5 恒星設備株式会社

表4 新工場・旧工場比較条件

実測データ参照期間	特記事項
新工場 2009.1/3-11/13	各エネルギー消費量 20分ごとに計測
旧工場 2009.8/11-9/9 2009.10/14-11/13	PACは左期間 その他は、8/11の各平均値

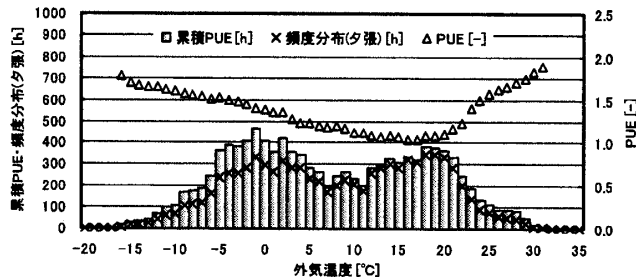


図5 外気温度別PUE・累積PUE(新工場)

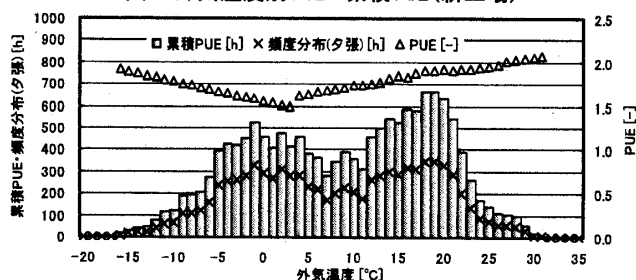


図6 外気温度別PUE・累積PUE(旧工場)

表5 新工場・旧工場比較結果

想定生産機器発熱量	kw	54.6	総合PUE	1.27	1.74	—
生産機器年間積算電力量	kWh	478296	必要電力量	42	327	285
電力一次エネルギー換算	MJ/kWh	9.97	必要ガス量	m ³	8279	2565
LPG一次エネルギー換算	MJ/kg	50.2	一次エネルギー計	GJ	1282	3527
LPG密度	kg/m ³	2.07			2245	

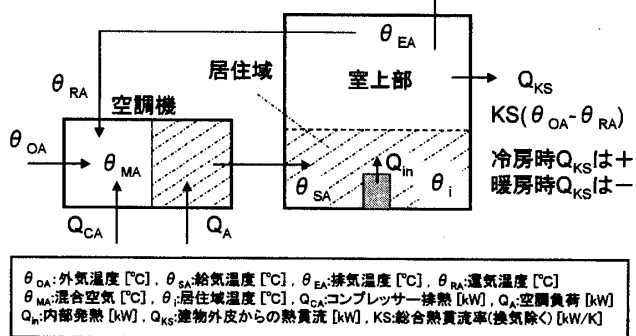


図7 解析モデル

認した。また、規準化居住域温度を導入することにより置換換気空調システムの解析モデルを作成した。

【参考文献】

- 1) 山中圭悟他：寒冷地における外気冷房併用型の置換換気空調システムに関する研究 その1 発熱密度の高い工場の温熱環境(冬期実測結果), 日本建築学会北海道支部研究報告集No. 82, pp. 239-242, 2009.7
- 2) 山中圭悟他：寒冷地における外気冷房併用型の置換換気空調システムに関する研究 その2 発熱密度の高い工場のエネルギー消費量(冬期実測結果), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), pp. 1269-1270, 2009.8
- 3) 田中俊六, 武田仁, 岩田利枝, 土屋喬雄, 寺尾道仁: 最新建築環境工学 [改定3版], 株式会社 井上書院
- 4) Hakon Skisted(ed), Elisabeth Mundt, Peter V. Nielsen, Kim Hagstrom, Jorma Railio: 置換換気ガイドブック-基礎と応用-, 空調和衛生工学会

Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Mitsubishi Jisho Sekkei Inc., M.Eng.
 Assis. Prof., Faculty of Eng., Hokkaido Univ., Dr. Eng.
 Hokkaido Northern regional building research institute, Dr.Eng.
 Kosei Setsubi Corporation, Ltd.