

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)

置換換気 外気冷房 工場  
エネルギー消費量 発熱密度

正会員 ○山中 圭悟\*1 同 羽山 広文\*2  
同 菊田 弘輝\*3 同 繪内 正道\*4  
同 福島 明\*5 非会員 加藤 祐一\*6

1. はじめに

本研究は、換気効率が良く、省エネルギーである置換換気空調システムを対象とし、寒冷地における有用性を探るものである。また、冷涼な気候での外気冷房もその適用期間を長くできるという点で置換換気空調システムと相性が良い。

前報では対象建物の温熱環境(冬期)を報告した。本報ではエネルギー消費量(冬期)を報告する。

2. 調査概要

2.1 実測対象

対象は北海道夕張市に竣工したS社新工場である(写真・表1)。この工場は発熱量が大きく切削油ミストが出る工作機械が多数設置されている。そのため、工場内の室温を適正な範囲にし、清浄な空気質を維持するために1年を通して空調が必要となる。

2.2 実測概要

本調査は図1の工場部分を対象とし、2008/12/25から開始された。実測調査項目は以下である。

1) 各エネルギー消費量(全て20分間隔で測定)

工作機械、照明・コンセント、空調機AHU、冷・温水用ポンプ、冷凍機、温水ボイラー(ガス)

2) 各温度(室内温度測定点: 図1, 図2)

給気、還気、外気取り入れ、コンプレッサー、混合室内温度(床上100mm、500mm、1200mm、1800mm、2400mm、天井面×3点[A点, B点, C点])

3. 調査結果

3.1 垂直温度分布

図3(a)に長期休業日、(b)に工作機械稼働日の垂直温度分布を示す。測定領域は変動が最も少ないため図1のC点とした。どちらも全ての高さで時刻による差は1℃以内である。また、(a)は高さ方向に直線的な温度増加をしており、(b)は工作機械の排熱により居住域で温度が上昇している。なお、給気温度が室内空気温度よりも高いため、おそらく混合換気であり、ショートサーキットを生じている可能性もある。

3.2 エネルギー消費量(1次エネルギー換算は表2)

図4に用途別の1次エネルギー消費比率を示す。工作機械の比率が62%と高く、ガスの比率も30%と高い。

図5に時刻ごとの用途別1次エネルギー消費量を示す。代表日は2月の1時間ごとの平均気温に最も近い



写真 建物外観及び排気・還気・給気口

表1 建物概要

|                       |   |                     |        |
|-----------------------|---|---------------------|--------|
| 建物名                   | S社北工場   | 建設地                 | 北海道夕張市 |
| 建物種別                  | 工場  | 階数                  | 平屋建て   |
| 建物面積[m <sup>2</sup> ] | 1166  | 階高[mm]              | 5000   |
| 工場面積[m <sup>2</sup> ] | 755   | 容積[m <sup>3</sup> ] | 3775   |
| 断熱・ガラス                | 現場発泡ウレタンt=40, Low-E 5.0+Air 9.0+FL 5.0 [mm]     |                     |        |
| 日射遮蔽                  | アルミ製、ルーバー状の庇 900 [mm]                           |                     |        |
| 熱源設備                  | 空冷チラー170 [kW]、ガス炊き温水ボイラー36.1 [kW] × 3           |                     |        |
| 排熱利用                  | 冬期、必要に応じてコンプレッサー排熱を利用                           |                     |        |
| 空調設備                  | VAV単一ダクト  |                     |        |
| システム                  | 外気冷房併用型の置換換気システム                                |                     |        |
| 工作機械                  | 平均発熱密度 53.2 [W/m <sup>2</sup> ] (2/3現在60%導入時点で) |                     |        |

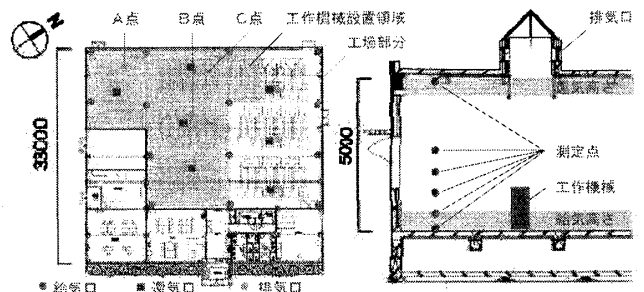


図1 平面図

図2 断面図

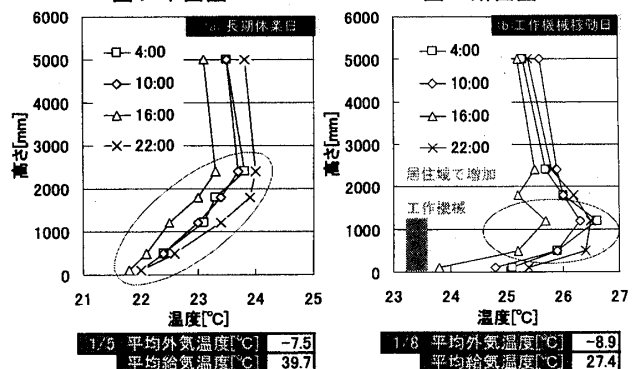


図3 垂直温度分布 (1/5, 1/8)

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

Part 2 Energy Consumption in the Factory with the High Heat Density (Observation Results in the Wintertime)

YAMANAKA Keigo et al.

2/26 とした。夜間のガスのエネルギー消費量は外気温と相関があるが、日中にはあまりない。これは、日中の工場内への人の出入りや照明の発熱、日射の影響などが考えられる。

図6に1日ごとの用途別1次エネルギー消費量を示す。1/5と1/7以降を比較すると、工作機械のエネルギー消費量の増加に伴い、ガスのエネルギー消費量が減少している。これは、工作機械の排熱が暖房に寄与しているからである。3月は外気温の上昇と工作機械のエネルギー消費量の増加によりガスのエネルギー消費量が減少している。

### 3.3 熱損失係数

図7に1日あたりの熱負荷(ガス、ファン、ポンプによるもの)と日平均内外温度差との関係を示す。なお、LPGに関しては低発熱量(96280kJ/m<sup>3</sup>)、ボイラー効率は90%として換算した。

傾きから熱損失係数(実測値)は3.1[W/m<sup>2</sup>・K]、自然温度差は13.7℃であり建物の内部取得熱は43.2[W/m<sup>2</sup>]となる。つまり、室温を23℃に保とうとすると外気温が9.3℃で暖房が不要となり、平年の外気温で暖房期間は10/13-5/10である。工作機械の設置率が80%、100%となると、暖房期間はそれぞれ11/4-4/18、11/22-3/30と短くなる。

また、外気取り入れによる熱損失係数は換気回数1.3回で2.2[W/m<sup>2</sup>・K]であり、この熱損失が全体の約7割である。排気の顕熱交換や外気取り入れ時にピットを経由させることで、冬期の暖房エネルギー消費量が大きく減少する可能性がある。なお、貫流損失において日射熱や実効放射の影響は無視している。

図8に外気温及び建物の内外温度差を示した。約34℃の自然温度差があれば設定室温25℃で通年冷房となる。工作機械を100%設置、外気負荷を50%にすると自然温度差34.2℃となり概ね暖房が不要となる。

### 4. まとめ

本報では対象建物の冬期におけるエネルギー消費量について報告した。以下に得られた知見をまとめる。

- 1) 工作機械の各設置率(60%, 80%, 100%)における熱損失係数、取得熱、自然温度差、暖房期間の把握
- 2) 冬期の置換換気空調システムでの運用には全ての工作機械の設置に加え、外気負荷の半減が必要

#### 【参考文献】

- 1) 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-, 空気調和衛生工学会
- 2) 井上宇市編: 空気調和ハンドブック, 丸善株式会社
- 3) 空気調和衛生工学会: 空気調和・衛生工学便覧 第13版

- \*1 北海道大学大学院工学研究科 修士課程
- \*2 北海道大学大学院工学研究科 准教授・博士(工学)
- \*3 北海道大学大学院工学研究科 助教・博士(工学)
- \*4 北海道大学 名誉教授・工博
- \*5 北海道立北方建築総合研究所 博士(工学)
- \*6 恒星設備株式会社

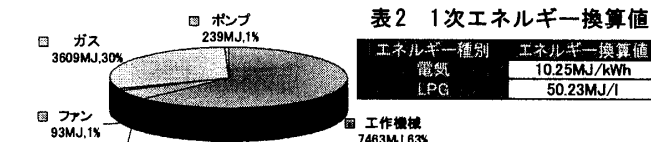


図4 1次エネルギー消費比率(1月-3月平均)

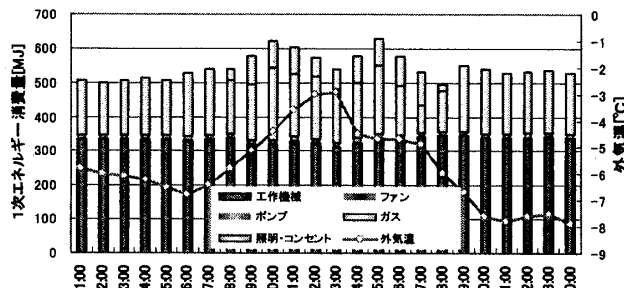


図5 時刻別1次エネルギー消費量(2/26)

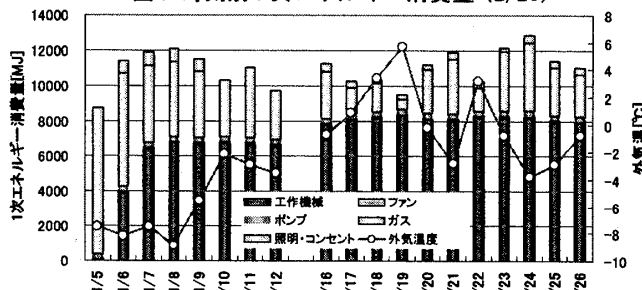


図6 日別1次エネルギー消費量(1/5-1/12, 3/16-3/26)

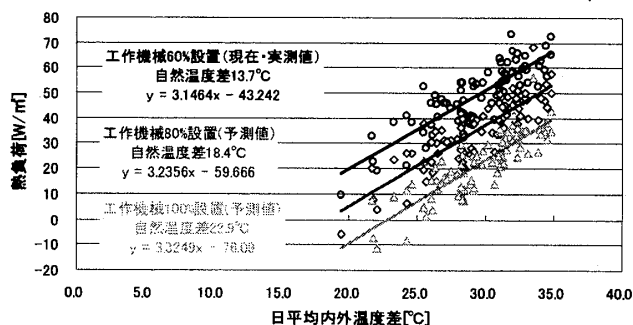


図7 熱損失係数(1/7-3/26)

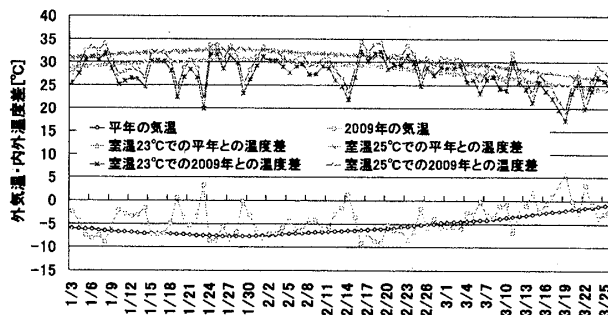


図8 外気温及び内外温度差

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