

空調エネルギー・室内空気質・温熱環境の 長期評価法を用いた各種換気方式の性能比較

Comparison of Various Ventilation Systems Using a Long-Term Evaluation Method for Energy Consumption, Indoor Air Quality and Thermal Environment

武 政 祐 一, Alfred Moser¹⁾

I. 序 論

空調エネルギー消費量・室内空気質 (Indoor Air Quality, 以下 IAQ) 及び温熱環境は、トレードオフの関係になることが多い。環境負荷低減と良好な室内環境の実現のためには、これらを同時に評価することが極めて重要である。本報では、IAQ・温熱環境等の室内環境に対する長期評価法^{1,2,3,5}を提案するとともに、各種換気方式が空調エネルギー・IAQ・温熱環境に与える影響の評価例を報告する。

II. 長期評価法

建築環境評価に際しては、以下のことが重要と考えられる。

(1)「環境負荷削減」と「生活の質の向上」との間のトレードオフがサステナブル・ビルディング実現の障害となることが多く、異なる要素を同時評価する必要がある。

(2)従って、CO₂排出量など建物の環境負荷をライフサイクルアセスメント (LCA) で評価するのであれば、「生活の質」も LCA 的に評価する方が合理的である。

本報では以上の点に鑑み、IAQ と他の環境要素 (温熱環境等) に対して、次に示す評価法を提案する。まず IAQ に対しては、居住者がいる期間に呼吸により肺に吸引する汚染質の総重量 (Occupant Contaminant Inhalation, OCI)^{1,2,3,5}を用いる。

$$M_{ci} = k \cdot f_{res} \cdot V_{tr} \cdot C \quad \dots(1) \quad OCI = \int M_{ci} \cdot w_{oc} \cdot dt \quad \dots(2)$$

$$OCI_{norm} = OCI / N_{ro} \quad \dots(3) \quad OCI_{ave} = OCI / \int w_{oc} \cdot dt \quad \dots(4)$$

$$k = (M \cdot P) / (R \cdot T) \quad \dots(5)$$

ここに、 M_{ci} :呼吸による汚染質の肺への瞬時吸引量 [g/(h・人)], f_{res} :呼吸回数 [1/h], V_{tr} :1回の呼吸量[m³/人], C :汚染質体積濃度[-], OCI :汚染質吸引総量[g], w_{oc} :居住者数 [人], t :時間 [h], OCI_{norm} :基準化 OCI [g/人], N_{ro} :居住者定員数[人], OCI_{ave} :平均 OCI [g/(h・人)], M :分子量 [g/mol], P :室圧 [Pa], R :気体常数[J/(mol・K)] (=8.3145), T :絶対温度[K]。なお、 C が重量濃度の場合は $k=1$ と見なして算出すればよい。さらに C_0 :外気濃度[-], C_h :許容上限濃度(閾値)[-]とし、

$$OCI_{OC}(\text{外気濃度基準 } OCI): M_{ci} = k \cdot f_{res} \cdot V_{tr} \cdot (C - C_0) \text{ とする。}$$

$$OCI_{IT}(\text{濃度閾値基準 } OCI): C > C_h \text{ なら } M_{ci} = k \cdot f_{res} \cdot V_{tr} \cdot (C - C_h)$$

$$C \leq C_h \text{ なら } M_{ci} = 0 \text{ とし (2)~(4)から算出する。}$$

一方、他の環境要素 (空気温度等) については、快適域からの偏差に居住者率 (居住者数を示す重み係数) を掛けて時間積分したもの (居住者率重み付け積算偏差, Occupancy-weighted Accumulated Deviation from thresholds, OAD)^{1,2,5}を導入する (Fig.1 参照)。

$$OAD_+ = \int dv_+ \cdot w_{oc} \cdot dt \text{ 及び } OAD_- = \int dv_- \cdot w_{oc} \cdot dt \quad \dots(6)$$

$$V_{max} < V \text{ なら } dv_+ = V - V_{max}, \quad V \leq V_{max} \text{ なら } dv_+ = 0$$

$$V < V_{min} \text{ なら } dv_- = V - V_{min}, \quad V_{min} \leq V \text{ なら } dv_- = 0$$

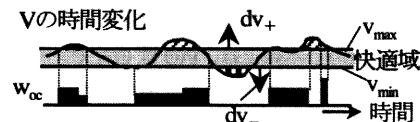


Fig.1 Calculation of OAD

Table 1 Calculation Cases

ケース1	機械換気
ケース2	自然換気 (4~10月) + 機械換気 (その他の月)
ケース3	機械+自然換気+切替制御 (ハイブリッド換気)

Table 2 Calculation conditions

気象条件	東京標準気象データによる年間計算。風速の影響無視。
自然換気	平日8時~18時 (夜間換気なし)。最大開口面積はファサード面積の13, 7, 3, 1.6%の4種類を考慮。機械換気中に自然換気が機械換気より1時間以上効果的 → 自然換気開始。自然換気中に室温が1時間以上快適域 (22~26℃) 外 → 自然換気ストップ。
居住者	0.1人/m² (平日8時~18時): 発熱58W/人, 発湿73g/(h・人), CO ₂ 発生量12l/h。呼吸量: 0.49m³/(h・人)。
空調	設定: 暖房22℃, 冷房26℃。ファン動力750W。外気導入量: 389m³/h。隙間換気: 0.1回/h。COP: 暖房3.27, 冷房3.36。ケース1は外気導入量半分の場合も検討。
窓	透明シングルガラス (日射透過率0.31, 吸収率0.43) + ベネシャンブラインド全開 (透過率0.1, 吸収率0.5)。
その他	文献4参照。

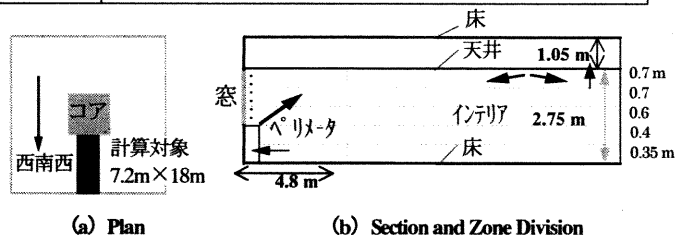


Fig.2 Outline of the Office Space

ここに (空気温度の場合), OAD_+ , OAD_- :快適域の上・下側の OAD 値[℃・h・人], V :瞬時値[℃], dv_+ , dv_- :快適域からの隔差[℃], V_{max} :快適上限値[℃], V_{min} :快適下限値[℃]。(3), (4)と同様の式により $OAD(norm \text{ 値})$ と $OAD(ave \text{ 値})$ も算出する (式は省略)。

$OCI \cdot OAD$ ともに、居住者の受ける全暴露量を示しており、心理的要因や個人差などの不確定要素を排除した客観的な指標である。特に自然エネルギーを利用する場合など、変動が大きい環境の長期評価に適していると考えられる。

III. 総合シミュレーション手法

上記の長期評価法を用いて、空調エネルギー消費量 (ファン動力

本報は Indoor Air 99 にて発表した論文 (文献1, 1999年8月, の要約である。

1) Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH Zürich)

キーワード: 空調, 室内環境, エネルギー, トレードオフ
空気質, 温熱環境, シミュレーション, LCA

含む)・IAQ・温熱環境を同時評価する非定常総合シミュレーションを構築した。具体的には文献4の年間解析に、汚染質濃度計算、自然換気制御ロジック及び上記長期評価法を加えた。複数要素間のトレードオフを定量評価する点が特長である。ただし、今回は風力換気を考慮せず(温度差換気のみ考慮)、ドラフトの影響も取り扱っていない。

IV. ケーススタディ及び考察

上記シミュレーションを Fig.2 に示す通常のオフィスに適用した。換気方式としては Table 1 に示す3ケース(機械換気、自然換気、ハイブリッド換気)とし、Table 2 に示す開口面積や制御方式をパラメータとしてケーススタディを行った。東京の標準気象データを用いた年間計算例を Fig.3~9 に示す。本報では、IAQ は CO_2 で、温熱環境は空気温度で評価しているが、他の汚染質や温熱環境要素にも同様の手法を適用可能である。

本検討では、エネルギー消費量と IAQ はトレードオフと逆の関係なのに対し、エネルギー消費量と温熱環境はトレードオフの関係にある。自然換気(ケース2)は、IAQ と省エネルギーの点では有利である一方、温熱環境面では劣っていると言える。機械換気(ケース1)では、エネルギー消費量は大きいものの温熱環境は優れている。それに対し、ハイブリッド方式(ケース3)では、温熱環境をさほど犠牲にすることなく、省エネルギーと IAQ 向上の双方が実現可能と考えられる。

V. 結論

エネルギー消費量や CO_2 排出量等と同列に温熱環境・IAQ 等の室内環境を LCA 的に評価する手法は非常に有効である。本報の手法は、建築のサステナビリティ評価の一部であり、今後は、建設・改修・廃棄など運用段階以外の環境評価や、光など他の室内環境要素の評価、さらにはライフサイクルコスト評価等との統合が望まれる。

参考文献

- 1) Y. Takemasa, A. Moser; Comparison of mechanical and natural ventilation using long-term evaluation model for indoor air quality, thermal environment, and energy consumption, Indoor Air '99 (1999).
- 2) Y. Takemasa; Long-term evaluation of indoor air quality, thermal comfort, and energy consumption for HVAC systems, International Forum of IAQ Problems in Developed and Developing Countries for Sustainable Indoor Environment, IIS, Univ. of Tokyo (1999).
- 3) Y. Takemasa, A. Moser; Building performance evaluation for indoor air quality using occupant contaminant inhalation and attribution to contaminant sources, 19th AIVC Conference (1998).
- 4) 戸河里, 武政, 大坂; オフィスの空調換気計画手法に関する研究(その1~11), 建築学会大会(1992~1998).
- 5) 武政, モザ-; 空調エネルギー・室内空気質・温熱環境間のトレードオフを取り扱う長期評価法の提案, 建築学会大会(2000).

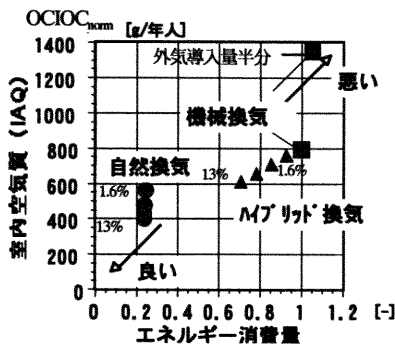


Fig. 7 Energy vs. IAQ

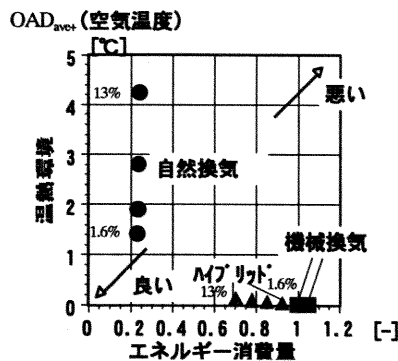


Fig. 8 Energy vs. Thermal Environment

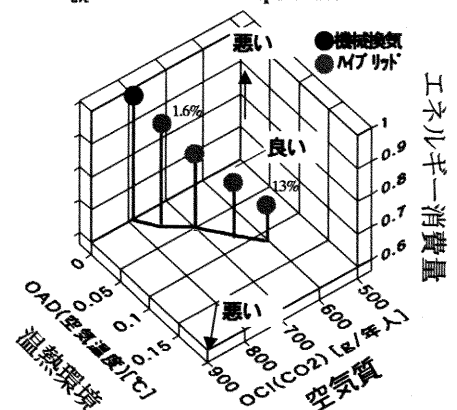


Fig. 9 3-D Relation among Energy Consumption, IAQ, and the Thermal Environment

註) Fig.4 中のエネルギー消費量は基準値で無次元化。Fig.6, 8~9 の温熱環境の指標には、居住者の述べ滞在時間で割った値 (OAD_{ave} , 快適域からの偏差の平均値[°C]) を+値(快適域の上側)と-値(快適域の下側)に分けて用いる。Fig.4~9 で、%は自然換気用の開口面積をファサード面積に対する比率を示す。

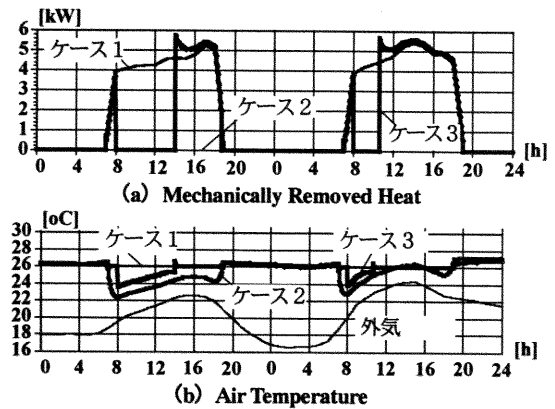


Fig. 3 Variations over Time (in June)

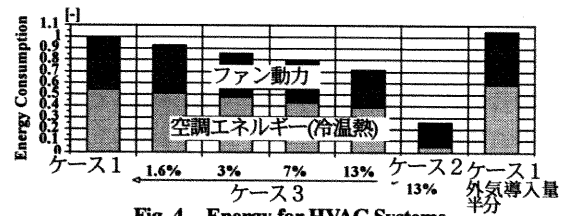


Fig. 4 Energy for HVAC Systems

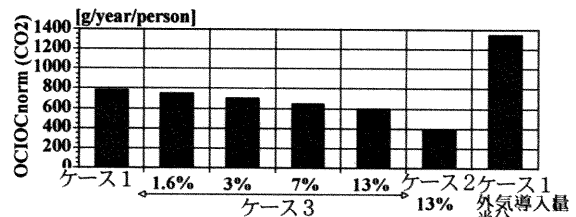


Fig. 5 $OCIOCr_{norm}$ Values for CO_2

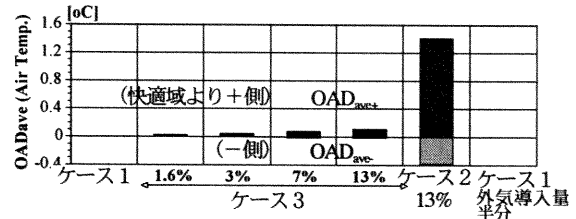


Fig. 6 OAD_{ave} Values for Air Temperature