

窓面中空層の熱性状に関する研究 (その3)

気密垂直空気層の計算解析結果について

正会員○倉田雅史^{※1} 同 羽山広文^{※2} 同 絵内正道^{※3} 同 荒谷登^{※4}

1. はじめに

窓面中空層の熱性状を実験的に把握するには、諸条件(中空層幅、材料など)の設定範囲が限定される。もし、数値計算が実験結果とかなり一致するならば、設定条件の自由度という面で大きなメリットを持つことになる。実験的に検討した前報に続き、本報告は数値計算と実験との適合性を確認した後、中空層の変更及び三重窓について、その熱性状を数値計算により検討したものである。

2. 実験との比較検討

※ 計算の方法: 流れ関数及び渦度輸送方程式を使い空間を2次元としてTIME STEP法によつて定常値を求める。温度境界条件は $Q = K_g(\theta_i - \theta_{si})$ なる K_g を与条件として、ガラス表面における熱平衡式 $(\theta_{si} - \theta_a)\lambda/\Delta x + \Delta R = K_g(\theta_i - \theta_{si})$ より θ_{si} を求めることによつて与えられる(図1)。

※ 実験との比較: 内表面平均温度差 $\Delta\theta_s$ について、計算値と実験値との比較を図2に示す。図はかなり良く一致している。これは中空層の対流熱伝達(コンダクタンス) K_c 、放射熱伝達 K_r が実験と計算とで一致することを示している(図3)。図4は、温度・速度の中央高さにおける水平分布である。温度分布は、ほぼ一致しているが、速度分布では側壁の近傍で若干の差異を示している。しかし、速度の測定精度を考慮するならば、この差が必ずしも数値計算の再現性の不十分さを意味しているとはいえない。例えば、図6は計算による速度分布と白煙による流れパターンの実測写真である。計算では、内外温度差が小さいときは単独コアであるが(図5-1)、7DEG程度になると上下にサブコアが現われ(図5-2)、差の増大につれ中央部にもサブコアが現われる(図5-3)。実測写真における上下の渦や中央部のZ形の流れがそれぞれサブコアによつて形成されるものとなれば、流れに関しても計算が実際の現象をかなり再現していると考えられる。

以上の検討から、窓面中空層の熱性状は数値計算によつても相当程度推定が可能であるといえる。

記号説明
 Q : 全損失熱量 (/hour, /m²)
 ΔR : 放射伝熱成分
 $\theta_i(\theta_s)$: 室内(外)気温度
 $\theta_{si}(\theta_{so})$: 室内(外)側ガラス内表面温度
 θ_a : ガラス面より Δx の距離の空気温度
 W : 中空層幅
 λ : 空気の伝導率
 ガラスの輻射率 0.92
 $\Delta\theta_s = \theta_{si} - \theta_{so}$ $\Delta\theta_{io} = \theta_i - \theta_o$
 $K = Q/\Delta\theta_s$
 $K_r = \Delta R/\Delta\theta_s$
 $K_c = (Q - \Delta R)/\Delta\theta_s$

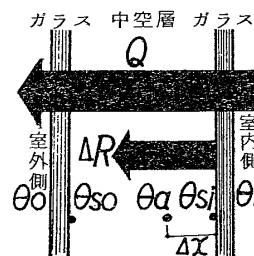


図1

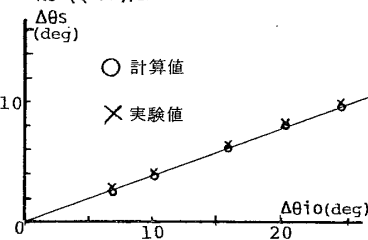


図2

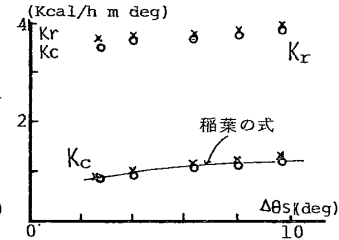


図3

図4

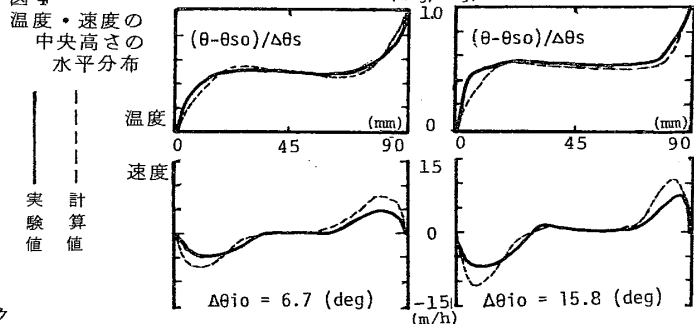
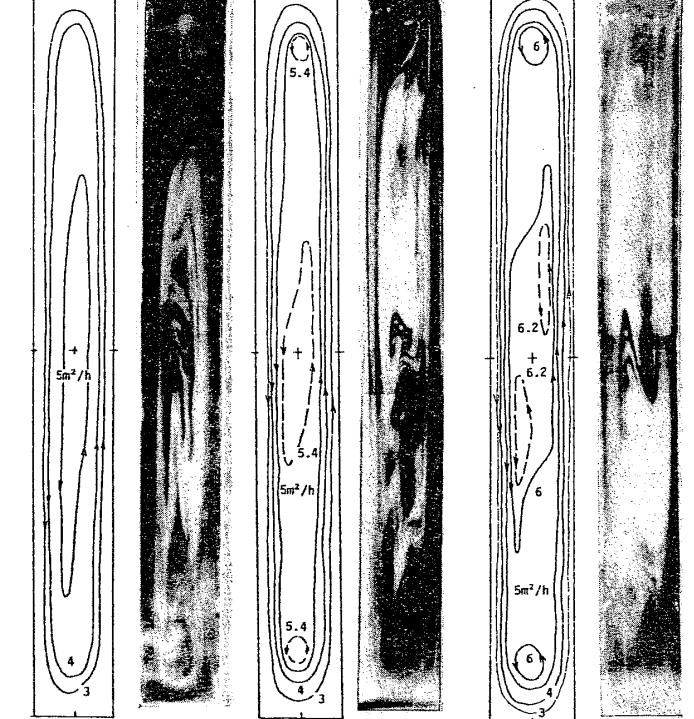


図5



(1) $\Delta\theta_{io} = 6.7$ (deg) (2) $\Delta\theta_{io} = 9.9$ (deg) (3) $\Delta\theta_{io} = 15.8$ (deg)

図5 計算における速度分布と流れパターン実測写真

3. 数値計算による熱性状の検討

※ 中空層幅を変更した場合：表1に示す条件によりA～Eタイプの計算を行う。図6は、中空層幅Wと中空層コンダクタンスK値との関係である。24mmを最小として、それ以上の幅では増加あるいは一定の傾向を示している。これは、文献等の実験結果と同様の傾向である。図7は、中央高さの面を通過する流量Vを示したものである。図6のKcと図7のVを較べてみると、 $W < 12$ mmでは伝導成分が、 $45 \text{ mm} < W$ では対流成分がそれぞれKcの主な伝達要素であると思われる(図8)。図9は、各内表面温度及び中央部空気温度の垂直分布である。空気層の薄いA・Bタイプでは上下温度差が少ないのに較べ、C～Fタイプになると対流によつて大きな上下温度差ができていく。以上のことより、12mm～24mmの間で急激に側壁による対流拘束力が解除されていることがわかる。

※ 三重窓への応用：中空層相互に換気がないとすると、二重窓中空層の計算結果にもとづいて、中央ガラスの中心部で熱平衡式をたて、逐次その中心温度を境界条件とすれば、二重窓中空層の計算手順で各々の中空層の計算ができる。計算はEタイプの直列結合として、 $T_p \cdot T_{pr1} \cdot T_{pr2}$ タイプについて行つた(図10)。図11は、K値を示したものである。二重窓Fタイプに較べてK値は減少し、中空層数の増加とフィルムの効果がはつきりと見られる。図12は、内表面温度差を1としたガラス内表面温度の垂直分布である。同タイプに関しては温度差によらず同じ分布を示す。中空層の熱抵抗を増すことは内表面温度差を大きくすることにつながるが、それによつて窓面中空層の上下温度差は増大し、窓面下部は低温になる。

4. まとめ

窓の断熱性能の向上を図る方策には、多重窓とか、選択反射膜を使用する等々が考えられる。但し、先の方策で断熱化を進めると中空層内の上下温度差が増大することに注意すべきである。中空層の除湿が不完全な場合、下方低温部に結露が生じ易い。この結露は、窓の保守管理、太陽熱利用、美観などの点で妨げとなる。上下温度差による結露の問題を含めて考えるならば、1つの中空層幅が12mm～24mm程度の多重窓の使用が、中空層内の温度むらによる結露の危険をおさえつつ、効率的な断熱性能の向上が得られるという点で最適であると思われる。

※1 北海道大学大学院生 ※2 電々公社武蔵野研究所 ※3 北海道大学助教授(工博) ※4 同大学教授(工博)

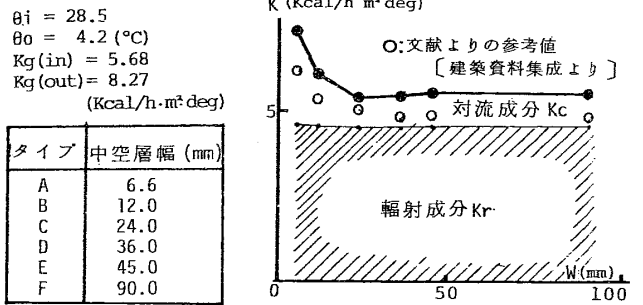


表1 二重窓の計算条件

タイプ	中空層幅 (mm)
A	6.6
B	12.0
C	24.0
D	36.0
E	45.0
F	90.0

図6 コンダクタンスと中空層幅の関係

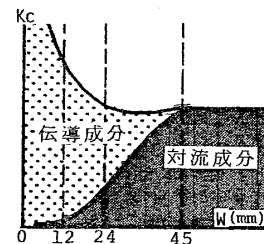


図8 対流熱伝達成分の構成要素概念図

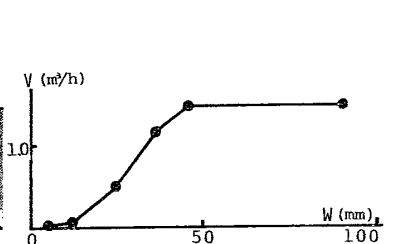


図7 中央高さ通過流量と中空層幅の関係

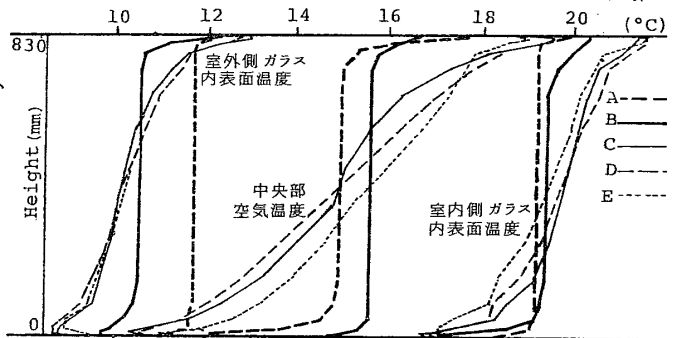


図9 二重窓各部の垂直温度分布

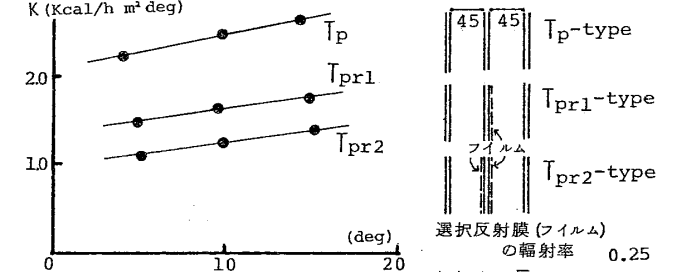


図11 三重窓のコンダクタンス

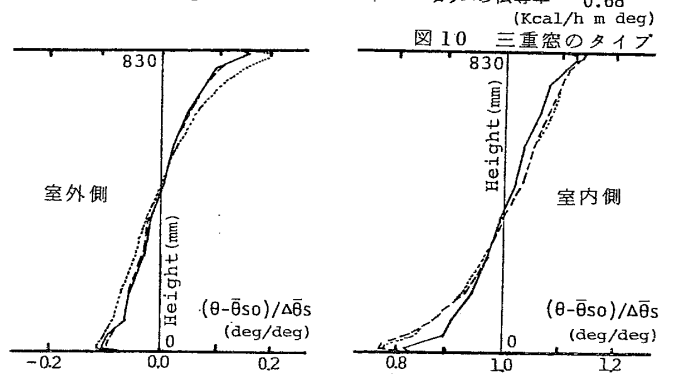


図10 三重窓のタイプ

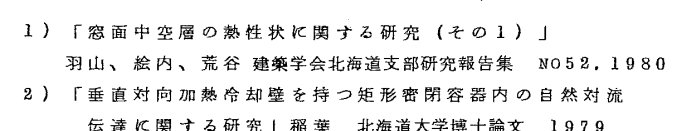


図14 内表面温度垂直分布

1) 「窓面中空層の熱性状に関する研究(その1)」 羽山、絵内、荒谷 建築学会北海道支部研究報告集 NO52, 1980
 2) 「垂直対向加熱冷却壁を持つ矩形密閉容器内の自然対流伝達に関する研究」 稲葉 北海道大学博士論文 1979