

# 学位論文内容の要旨

申請者 河合洋明

## 論文題目 相変化を伴う多孔質層内熱・物質移動に関する伝熱学的研究

### 論文内容の要旨

熱物性値は、熱機関、半導体素子、宇宙機器などの材料、熱機器の作動流体、冷凍加工食品、寒地建造物の断熱材等の例からも明らかなように、工業技術の発展に寄与する重要な値であり、機械の精密化・高度化の中でさらに重要性が高まっている。中でも熱輸送の分野においては、熱移動現象の特性を決定する重要な因子の一つであり、高精度の熱物性値およびそれらの測定法が重要となる。民生的用途における最も一般的な熱物性値は熱伝導率であり、住宅の断熱など一般市民の生活に直接的に関与し、省エネルギーなどの観点から国家的エネルギー管理にも影響をおよぼし、我が国においても日本工業規格に標準的測定法が規定され広く用いられている。これらの測定法は安定した測定値を提供するが、いずれも測定に長時間を要し、装置が大型・高価であるなどの短所を有する。レーザーフラッシュ法に代表される近年の非定常法の発展により、測定時間に関しては大幅な短縮が可能となってきたが、これらの方法では試料形状が薄膜などの特殊なものに限定され、常温から高温域を主な対象としていることが多く、装置管理や価格の面では依然として特別な装置という位置付けとなっている。したがって、我々が生活する低温域や常温域での測定を考慮した操作の容易な測定装置の開発が求められている。

熱物性値の適用範囲は極めて広く、被測定試料の性状も様々なものがある。断熱材は、断熱性能の測定法がJISに規定されていることから解かるように、熱物性値が性能に直結する材料である。寒冷地の住宅等に使用される断熱材は最も身近な材料の一つであり、壁体の高熱抵抗化を実現するために高空隙率の多孔質材料が用いられることが多い。このような材料内での熱移動挙動は、対流、放射、物質移動、相変化の影響を受けるために、極めて複雑なものとなる。したがって、熱伝導率などの熱物性値のみで断熱性能を議論することは不十分であり、従来の測定法により実現象を踏まえた熱物性値を評価することは困難である。建築物の断熱壁体においては、壁体の断熱性能を高めることにより内外壁間の温度差は拡大するが、壁体内には湿り空気が存在し、断熱材内の空隙部分において水蒸気分圧差に起因する高温側から低温側への湿分移動がおこり、壁体内部や内壁近傍で結露が生じ断熱性能が低下する。このような場合には、とくに断熱材内部の水分蓄積挙動を考慮して、断熱材の複合的熱移動現象の詳細を検討することが必要である。

本論文は第Ⅰ編、第Ⅱ編および第Ⅲ編で構成されており、以下に各編の内容を述べる。

第Ⅰ編では、熱物性値測定の重要性と手法に注目し、新たな熱物性値測定法の提案を行い、実測定を通じてその有効性について述べている。

本編で提案している簡便な機器構成による熱物性測定法では、厚さの薄い平板状の熱源を試料で挟み、熱源および試料内任意点の温度上昇を測定して、非定常熱伝導解析解の熱拡散率および熱浸透率を求めて熱伝導率および比熱を間接的に迅速に算定することができる。また、アクリルやベークライトなど中実な固体を対象として手動測定により測定値の妥当性を検証するとともに、コンピューター制御による自動測定装置の試作により測定器としての応用についても検討し、極めて単純な機器構成により実用上十分な精度を持つ測定値が得られることを示した。これらの結果は、簡便かつ低価格な熱物性値測定装置を提供するための有益な基礎資料となる。

第Ⅱ編では、グラスウールあるいは球状粒子等の多孔質材料を充填した層（以下、多孔質層という）内の一次元的な熱・物質移動挙動に注目し、多孔質層内部の温・湿度分布挙動および水分蓄積挙動に関して考察を加え、多孔質層内の熱移動および水分蓄積挙動に関する新たな知見を述べている。

実際の現象は二次元的ないしは三次元的である場合が多いが、熱・物質移動の基本的挙動を理解しておく必要がある。そこで本編では、多孔質層の2表面がそれぞれ高温・恒湿の加熱室および低温・恒湿の冷却室に露出している場合、高温・恒湿の加熱室および低温・恒湿の空気流に露出している場合の2種類の実験装置により、多孔質層内の熱および物質移動の一次元的な検討を行った。その結果、多孔質層の空隙の増大および熱伝導率の減少による両表面近傍の内部温度差の増大および拡散空間の拡大は水分蓄積を促進し、多孔質層の1表面に低温空気を流動させることによって熱抵抗は減少するが層内の混合比、相対湿度および比較湿度は極めて小さくなり水分蓄積が抑制されることなどが明らかとなり、多孔質層内の熱移動および水分蓄積挙動に関する新たな知見を得た。

第Ⅲ編では、多孔質層内の二次元的な熱・物質移動挙動に注目し、多孔質層内部の温・湿度分布挙動および水分蓄積挙動に関して考察を加え、多孔質層内の熱移動および水分蓄積挙動に関する新たな知見を述べている。

断熱材内の水分凝縮を防止する手段の一つとして、断熱壁低温側表面に空気を流動させる方法があり、現在では、空気の流動によって断熱壁低温側の水分蓄積の緩和もしくは防止を目的として断熱材層と外壁との間に一定の厚さの空気流路を設ける通気層工法が広く採用されている。しかし、熱・物質移動挙動および水分蓄積挙動に関与すると予想される要因、すなわち内外の温・湿度条件、空気流速などの効果を検討した報告例はほとんど無く、寸法・構造の根拠ならびに定量的効果が明らかでなく、現象の詳細について基礎的な検討を加えることの重要性は高い。

本編では、多孔質層の一方の表面に空気を流動させ、流路を流れる空気の平均流速、温度および相対湿度が多孔質層内部の温度分布挙動、相対湿度分布および水分蓄積などにおよぼす効果について二次元的検討を行った。実験では、多孔質層の一方の表面を加熱し、他方の表面が低温の空気流路に接している場合の両熱源間の熱伝達挙動および多孔質層内水分蓄積挙動などを測定した。実験装置は、加熱室が単一の場合、加熱室を分割した場合、加熱壁により加熱した場合の3群に分類される。実験の結果、単一の加熱室の場合には、流路内の空気流速の増加に伴い、多孔質層内に蓄積される水分量は減少し、高低両熱源の温度差の拡大により水分量は増大したが、蓄積した水分が見かけの断熱性能に及ぼす影響は極めて小さいことが明らかになった。加熱室を分割した場合には、水分蓄積量に関する実験式の作成を試み、一定の相関があることを示した。加熱壁による加熱では、多孔質層内において複雑な流れの存在があることを示唆した。これらの結果より、多孔質層内の熱移動挙動および水分蓄積挙動におよぼす諸因子の効果が明らかとなり、水分蓄積量の予測および水分蓄積部位の特定に関する有用な基礎資料を得た。

本研究により、簡便で十分な精度を持つ熱物性値測定法が提案され、多孔質層内熱・物質移動に関する新たな知見が得られた。これらの成果は、熱物性値測定および多孔質層を用いた熱的設計を行う際に有用な基礎資料となる。