

## 審査の結果の要旨

氏名 高瀬 幸造

本論文は、「木造住宅における現場実測に基づく各種暖冷房方式の評価とヒートポンプ利用潜熱蓄熱式床暖房システムの開発に向けた研究」と題して、住宅において温熱快適性を確保しつつエネルギー効率の高い暖房方式の提案を行うという課題に対して、実験・CFD解析・現場実測による各種暖冷房機器使用時の温熱環境・エネルギー消費量の評価を行うとともに、快適な温熱環境の実現・省エネルギー化が特に困難とされる吹抜け等を持つ一室空間住居を含めて対象とできるヒートポンプ利用蓄熱式床暖房システムの開発を行うことで、住宅の温熱快適性の確保とともに空調消費エネルギーの削減が可能であることを示している。

なお本論文では第1部において、数多くの多様な空間構成・構法を有する実在の戸建住宅を対象にして、実測とシミュレーションによって設計時の意図と実際との整合／不整合を検証している。第2部では、第1部の結果をさらに設備の改良や建物の他要素の設計に反映させることで、より最適な設計解に近づけてゆくという手法を取っている。この手法は、工学における従来の開発・研究手法である、要素を限定した大量の実験や試作・測定による確認・シミュレーションによる一般化による開発・研究とはかなり趣を異にしている。業務用建築を対象とした研究では既往例が見られるが、戸建住宅を対象とした研究では類例が少ない手法と考えられる。過度な仮定を前提とせず、多くの要素が複雑に関与する住宅の室内環境形成の現状について事例を通して直視・分析し、その知見に基づき最適システムの提案にまで至っている本研究は、新たな研究手法を提示するものといえる。

特に従来の住宅設計では意匠設計者が設計の大部分を決定し、温熱環境に関わる外皮性能と空調設備（換気、暖冷房）については十分に検討されていない例も多い。業務系建築の設計実務では意匠設計者以外にも設備の担当者が建物の負荷を計算し、その負荷に見合った能力の換気・暖冷房設備を導入するということが一般的である。一方で住宅設計では、限られた設計期間・設計料・人件費の制約、さらには外皮性能と設備容量・機種選定の適切な設計法の体系化が遅れていることからこのような問題が生じているものと考えられる。また、

このような実態を踏まえて、本研究では実在の戸建住宅を数多く実測・評価し、現状の日本の住宅設計（特に暖房用途）で生じている問題点を明らかにし、今後の住宅設計の在り方を問うこととしている。

本論文は前述の通り2部構成とし、以下に示す内容とした。

第1部では、熱源・エネルギー源・暖房方式ごとの温熱環境快適性・消費エネルギーについて評価を行い、今日よく見られる開放的な空間を持つ住宅における暖房時の温熱環境の実態把握を行うとともに、得られた知見を整理した。まず、実験室実験・CFD解析により、単室における各種暖冷房方式によって形成される温熱環境の特徴を明らかにした。さらに、複数の環境配慮型住宅を対象とした実住宅の現場実測による温熱環境等の評価を行った。特に、近年の省エネルギー・省CO<sub>2</sub>の要求とともに使用が増えると思われる、ヒートポンプ式暖房や薪・ペレットなどの木質バイオマス燃料を用いた暖房についても網羅的に評価・考察を行った点については、日本における他の研究例はない充実したものである。

近年で多く見受けられる開放的な空間を採用した場合には、断熱・気密性能の確保の上、空間に適した空調方式を選択するとともに、適切な配置計画を行うことが快適な温熱環境を確保するために極めて重要であることを確認し、吹抜けなどの開放的な空間を持つ住宅では快適性の点から床暖房とその他の空調方式を併用することが有効であることを明らかにした。しかし床暖房方式は快適性の確保が容易な一方で、立ち上がりが遅い、床表面温度の上限値があり自然対流と放射でしか室内に熱投入できない、設計時に建物の熱負荷に見合った放熱面積を確保できないと十分な放熱量が確保できず主暖房としての用に足りないといった課題があることも示した。

第2部では、第1部の検討に基づき、特に大空間を採用した住宅の暖房時に快適な温熱環境を得るためには床暖房の適切な利用が必要と考え、温度むらの抑制のために床暖房を採用した複数の住宅を対象とした検討を行った。ここで既存住宅における床暖房システムの検討を進めていった後に、快適かつ省エネルギーな潜熱蓄熱式温水ヒートポンプ式床暖房システムを提案した。

これまでに挙げられた床暖房方式の課題を克服するため、提案システムを採用した住宅においては、放熱面積を可能な限り確保する計画とした。さらに、温熱環境快適性（室内温度変動の抑制、温度むらの抑制）の確保や、1日を通じた床温度変動が小さいことによる安定した負荷率でのヒートポンプの運転を目標とし、潜熱蓄熱材利用を採用した。潜熱蓄熱材は、同体積・同重量あたりの蓄熱量がコンクリートや水等の顕熱蓄熱材よりも大きく、温水ヒートポンプが高い効率を発揮すると想定される低温送水に適した、相変化温度 30℃程度のを床内部に配置することで、木造住宅に適した快適かつ省エネルギーな温水ヒートポンプ利用潜熱蓄熱式床暖房とした。

提案システムの実測評価については、ヒートポンプのエネルギー効率が外気温度や設定温度等によって左右されるため、長期間にわたる現場実測により検討を行った。また、実測評価結果をもとに、提案システムの運用中にもシステムの改良・運用方法等の更なる改善を行い、従来のシステムと比較し良好なエネルギー効率での運用が可能な事を示した。

このように本研究は、住宅の既往の暖房方式のみならず今後普及が予想される種類を含めその実性能を把握するとともに、その知見に基づきつつ住宅設計の多様化に対応した温熱環境形成能力を有するのみならず高い省エネルギー性能と経済性を有する、既往例のない暖房システムを開発するまでにいたった、大変充実したものである。その内容はそのまま社会に有用な知見として役立つのみならず、開発された暖房システムは住宅の温熱環境改善および省エネルギー有効に利用・応用されていくことが期待される。

以上より、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。