

審査の結果の要旨

氏名 河原 大輔

建築物の省エネルギー化は世界的な課題である。建築外皮の高断熱化は、この課題解決の重要な技術的課題の一つである。本研究は、「ダイナミックインシュレーション技術を利用した住宅に関する研究」と題し、住宅外皮の高断熱化を実現するため、住宅内で必要となる換気を、いわば動的な断熱材として活用する **Dynamic Insulation** 技術（以下、DI 技術）を検討したものである。DI 技術は、その適用外皮の屋外と室内との内外差圧を駆動力とした通気を利用する。通気は熱も輸送する。通気による熱の輸送の向きを、住宅外皮の熱貫流の向きと逆方向とすることで、外皮表面もしくは室内表面で温度勾配をゼロもしくはできる限り小さくし、温度勾配に比例する伝熱損失をゼロにするものである。本研究では特に、冬季、室内暖房時に、外皮の屋外側表面での温度勾配をゼロに限りなく近づけることで、外皮から外部環境に流出する熱を限りなく小さくすることを期待するシステムを検討するもので、DI 技術を熱損失の大きい窓部（DI 窓）に適用した際の、システム構成を提案し、その適用効果を検討している。本研究で検討した窓部の DI 技術は冬季のみならず、夏季にも断熱性能の向上と防露性能の向上が示されている。研究成果は以下に示す全 7 章の論文にまとめられている。

第 1 章、第 2 章では、本研究の背景と目的、および本論文の構成を述べている。

第 3 章では、DI 技術を開口部に適用した際に、通気流量別の断熱性能について、開口部の断熱性の標準的な測定法である ISO の熱箱試験法に準じた実物試験並びにフィールド試験より、検証している。熱箱試験法に準じた実物試験においては、通気流量を増加させるとともに断熱性能が向上することを確認している。しかしながら、開口部端部に DI 技術の及ばないところが生じ、熱貫流を限りなく小さく、ゼロとすることは実際上、困難であることを確認している。フィールド試験においては、実際の住宅に対して、断熱・気密改修を行い、さらに DI 窓を適用し、DI 窓の熱特性を、様々な気象条件と通気風量の下で、断熱性能に関して検討している。

第 4 章では、標準的な住宅モデルを対象として、DI 窓を適用した際の、年間の暖房負荷に関して検討している。断熱性能は DI 部の通気量に依存しており、通気量が年間の暖房負荷総量に大きな影響を与える。建築物の年間の積算暖房負荷は、換気（通気）による外気の入力によるものと、外皮を熱貫流するものの 2 つになるが、DI 技術による外皮の熱貫流による暖房負荷量を最小化するため、換気（通風）による熱負荷量が増大してしまっは、DI 技術の導入の意味がない。DI 技術は、建築物の屋外と室内の内外差圧を利用して、

DI 部の通気量を確保し、DI 部の熱貫流を減じるものであるが、DI 部に必要な通気量の確保のための駆動力となる内外差圧により、DI 部以外の外皮の隙間からの隙間風風量が増えて、暖房負荷量が増大してしまえば、DI 技術導入の意義がない。DI 部の計画的な通気量の達成にはその実質有効開口面積 (αA) が、住宅全体の隙間開口面積に対して、相対的に十分大きい必要がある。本研究では、断熱気密改修を行った実在住宅に DI 窓を適用し、内外差圧と通気流量の関係を得て、これに基づいた計算機シミュレーションより、気密性能が $2.0\text{cm}^2/\text{m}^2$ 程度以下となる高气密住宅でないと、DI 技術の断熱性能の向上効果が得られないことを確認している。

第 5 章では、防露、結露性能に関して検討している。DI 窓は外窓と内窓で構成される二重窓に通気をするものであり、中空層の温湿度や内窓の室内側の温湿度が通気に依存して変化する。DI 窓での結露の恐れのある部位は、外気及び室内の温湿度により変化し、冬季と夏季では異なる。本章では、異なる気候条件を考慮した長期的（冬季・夏季）な湿害リスクを実際の DI 窓部の性能試験結果を利用して推定し、地域別の湿害リスクをまとめている。

第 6 章では、DI 窓を採用した際の室内温熱環境に関して検討している。DI 窓の住宅への適用は、DI 技術により若干昇温するとは言え、DI 窓を通過する外気が室内居住部に侵入する可能性があり、室内温熱環境与える影響が懸念される。本研究では、実際に DI 窓が取り付けられた住宅を対象として、人体形状をした発熱モデル（サーマルマネキン）を用いて ISO で定義される等価温度(ET: Equivalent Temperature)を用いて、DI 窓の冷却効果を評価している。この実験結果を基礎として、様々なケースに関し、人体形状をした発熱モデルを室内に設置し、DI 窓を適用した室内モデルに対して、放射熱輸送を連成する CFD (Computational Fluid Dynamics)解析による計算機シミュレーションを行い、DI 窓の室内温熱環境への影響を検討し、実用上、問題のないことを確認している。

第 7 章では、総括として、本研究で得られた成果をまとめ、今後の検討課題を示している。

本論文は、断熱性能の弱点となる住宅開口部へのダイナミックインシュレーション技術を適用し、その有用性を確認し、省エネルギー住宅の新たな可能性を開拓し、その発展に大きく貢献している。本研究で得られた知見は、新築のみならず住宅の断熱改修にも適用できるもので、改修による住宅ストックの積極的利用に資する技術として、工学的、社会的な有用性は極めて高い。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。