



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	発泡プラスチック系断熱材の劣化メカニズムとその耐久性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	任, 裕彬
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16351号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/95054
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Leem_Yoobin_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 任 裕 彬

学 位 論 文 題 名

発泡プラスチック系断熱材の劣化メカニズムとその耐久性に関する研究
(Degradation mechanism and durability of foamed plastic insulation)

持続可能な目標および地球環境保護のため、全世界的には二酸化炭素排出を減らすための運動や政策を発表している。全世界の二酸化炭素排出量の構成する要素の中、建築部分が占めている割合は 2023 年の IEA(International Energy Agency) から 37 %と公表されており、最も多い割合を占めている。断熱材は建築物のエネルギー効率を向上させることができる建築物の基礎的な要素として、建物を通る熱を遮断し、エネルギー使用を最適化する。この断熱材の使用において、全世界ではカーボンニュートラルのため、ZEB(Zero energy building) や ZEH(Zero energy house) といった制度の中、断熱材に対する基準を厳格にしている。そのため、多くの研究においては、熱性能をより向上させた断熱材に対する研究が行われている。断熱材は大きく分けて発泡プラスチック断熱材と繊維断熱材として区分できる。その中、発泡プラスチック断熱材は、長期耐久性があり、水分に強いと認識されているため、全世界で多く使われている。しかし、近年では、この発泡プラスチック断熱材の長期性能や水分への耐久性に対する指摘が報告がされている。このような状況を踏み、本論文の目的は「発泡プラスチック断熱材を劣悪な環境条件にて露出することでどのような変化が起こるかを明らかにし、劣化メカニズムを把握することで、その対策を設けるための基盤を積む」こととする。本論文は、全 5 章によって構成されており以下に各章の概要を示す。

第 1 章では、研究背景、本研究に関わる既往の研究、研究目的・構成によって構成される。研究背景では、近年、発泡プラスチック断熱材が長期劣化や水分による劣化で熱性能が変化したとの報告がされており、現在の建築用断熱材の規格において考慮している長期劣化の要因が少ないことを取り上げた。そのため、本研究の目的を達成すべく、既往の研究から報告された発泡プラスチック断熱材の劣化要因を調べ、発泡ガスの放出と水分の断熱材内部侵入等の劣化要因が報告されていることを確認した。さらに、発泡プラスチック断熱材は母材の高分子の種類によってその耐久性に違いが生じる。そのため、発泡プラスチック断熱材を用い、実際に断熱材が露出される劣悪な環境条件にて劣化実験を行う。その結果を用い、断熱材の種類による劣化に対する変化を検証することを目的とする。

第 2 章では、既往論文から断熱材が置かれている環境に関して調べる。また、断熱材が設置されている建物の周りの気象データを PLS 解析 (Partial Least Squares Regression) を用いて、断熱材が設置されている環境を予測する基礎的な研究を行う。断熱材は建物の床下、壁中、天井裏といった箇所に設置され、設置されている環境の温湿度条件を把握しづらい。そのため、PLS(最小二乗法分析) 解析を用いることで、建物の周りの気象データから断熱材の環境条件を誘導するだけでなく、気象データの各要素が持っている断熱材環境条件との相関関係を示す。その結果、断熱材が高温高

湿な環境に露出されていることを確認し、断熱材設置環境の高湿な環境には気象データの最低気温が最も寄与していることを確認した。

第3章では、発泡プラスチック断熱材の長期性能および水蒸気による劣化に着目し、その物理化学的变化を解析、その劣化メカニズムを解明した。第2章から得られた断熱材設置環境の知見を基に、夏場を想定した環境条件である 50 °C、相対湿度 90 %以上の条件で、断熱材を2週間露出させた水蒸気によって劣化される条件、また、1年半の期間を 20 °C、相対湿度 50-70 %の条件に断熱材を長期間存置した経年劣化条件を設定した。この二つの劣化条件から断熱材に生じた変化を形態学的 (X 線 CT、ガス吸着法)、ポリマーネットワーク (膨潤度評価、示差走査熱量測定)、化学的 (フーリエ変換赤外線分光法、熱分解ガスクロマトグラフィー)、熱伝導率の評価を通じて、発泡プラスチック断熱材の劣化メカニズムを検討した。その結果、断熱材の種類によって劣化による変化は異なるが、経年劣化及び水分による劣化から化学的に変化が生じて、セル構造が不均一に変化し、熱性能に影響を与えていることを確認した。

第4章では、最先端発泡プラスチック断熱材の劣化における物理化学的な変化に関して調べる。第3章から、明らかになった既存発泡プラスチック断熱材の劣化メカニズムを基に、最先端断熱材であるフィラー添加断熱材の劣化挙動を評価した。具体的には、押出法ポリスチレンフォーム (XPS) とグラファイトが添加された XPS を対象に、長期間及び水分による劣化条件下での変化を比較する。さらに、XPS にグラファイトが添加されることが劣化に対してどの影響を与えるかを検討する。その結果、グラファイト入りの XPS が XPS より劣化による変化が少なく、フィラー添加による耐久性向上の可能性を示唆した。

第5章「結論」では、本論文で得られた発泡プラスチック断熱材の劣化メカニズムをまとめ、今後の展望について述べた。