

平成24年度

高強度・高ガスバリア性ナノ複合材料の開発と
チューブ型真空断熱材への応用

富山県立大学
真田 和昭

(1) 研究課題

住宅・商業施設等における省エネルギー対策を推進するためには、冷暖房効率を向上させるための高性能な建築用断熱材の開発が不可欠である。近年、図 1(a)に示すように、薄いラミネートフィルムで従来の断熱材(ガラスウール等)を真空パックして、高い断熱性能を実現した真空断熱材が家庭用冷蔵庫等の家電分野で実用化され、消費エネルギー低減に大きく貢献している。この真空断熱材は建築分野でも注目されているが、薄いラミネートフィルムが損傷を受けると容易に断熱性能が低下するため、簡単な施工と長期信頼性が要求される建築用断熱材としての適用には多くの問題がある。本研究は、図 1(b)に示すように、損傷を受けにくく、ガスバリア性の高いポリマー系ナノ複合材料を用いたチューブ型真空断熱材の開発を行うもので、建築用断熱材等としての実用化を目指すことで、北陸地域の産業を活性化するとともに、消費エネルギー低減による地球環境問題解決に貢献することを目的とする。

チューブ型真空断熱材は、軽量でシンプルな円筒構造のため、大型化が容易で従来の成形技術で量産も可能である。また、損傷を受けにくいいため、簡易な施工が要求される建築用断熱材としての適用に有利である。しかし、長期間の真空保持と大気圧による座屈変形阻止に適した材料開発および性能最適化構造設計が課題である。本研究では、高強度・高ガスバリア性を有する新規ナノ複合材料を開発するとともに、実験とコンピューター解析を併用して性能最適化構造を見出し、課題解決を目指す。

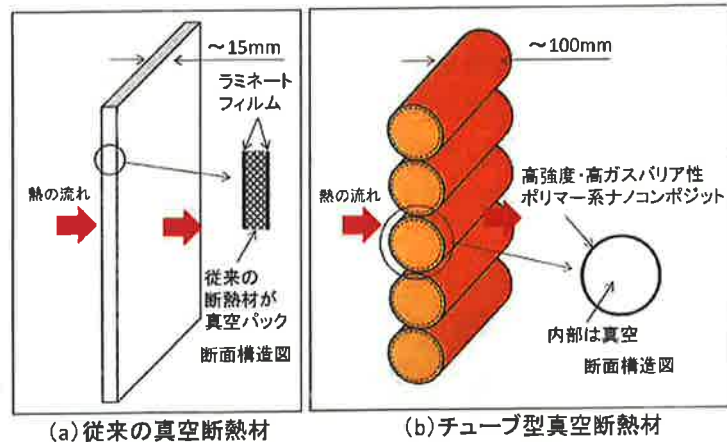


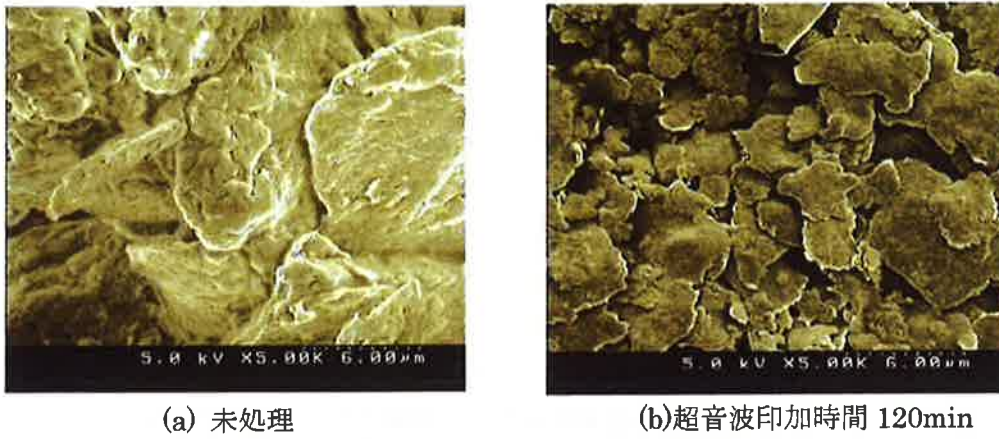
図1 従来の真空断熱材と開発中のチューブ型真空断熱材

(2) 研究実施内容及び成果

a. 新複合化技術による新規ナノ複合材料の開発と特性評価

ペットボトルに用いられているPET樹脂とナノクレイ(粘土鉱物)を対象に、熔融混練と超音波印加を併用した新複合化技術を確立し、高強度・高ガスバリア性を有するナノ複合材料を開発することを目的とした。まず、熔融混練法を用いて作製したナノクレイ/PET樹脂複合材料を対象に、動的粘弾性試験を行い、動的粘弾性特性の温度依存性に及ぼすナノクレイ体積分率、ナノクレイに対する超音波印加時間、熔融混練速度の影響を検討した。また、ナノクレイ/PET樹脂複合材料のガス透過試験を行い、ガスバリア性に及ぼすナノクレイ体積分率、熔融混練速度の影響を検討した。次に、ナノクレイ/PET樹脂複合材料の弾性特性に関する有限要素解析を行い、複合材料の剛性を示すヤング率とはく離したナノクレイの厚さとの関係について考察を加えた。

動的粘弾性試験を行った結果、ナノクレイ添加量の増大に伴い、材料の剛性を示す貯蔵弾性率は増大したが、材料の耐熱性を示すガラス転移温度は低下する傾向を示した。また、粒子状のナノクレイは、超音波印加により、はく離して平板状になったが(図2)、超音波印加時間が長くなると、平板が小さくなり、貯蔵弾性率が低下する傾向を示した。超音波印加ナノクレイ/PET樹脂複合材料の貯蔵弾性率は、超音波印加時間2hの場合に最大値を示し、超音波印加時間には最適値があることが明らかとなった。さらに、熔融混練速度の増大に伴い、貯蔵弾性率は少し増大し、ガラス転移温度も増大する結果が得られた。一方、ガス透過度試験を行った結果、ナノクレイ体積分率の増大に伴い、ガス透過係数は増大したが、熔融混練速度の増大に伴い、ガス透過係数は減少した。しかし、いずれの条件でも得られたナノ複合材料は優れたガスバリア性を示した。



(a) 未処理 (b)超音波印加時間 120min
 図2 超音波印加によるナノクレイの形態変化

ナノクレイ/PET樹脂複合材料の弾性特性に及ぼすナノクレイのはく離の影響を解明するため、PET樹脂中にナノクレイがランダムに分散した複合材料のユニットセルモデル(図3)を用いた弾性特性に関する有限要素解析を行った。その結果、複合材料のヤング率は、ナノクレイ厚さの減少に伴い増大する傾向を示した。超音波印加によるナノクレイのはく離は、複合材料の力学特性向上に有効であることを明らかにした。

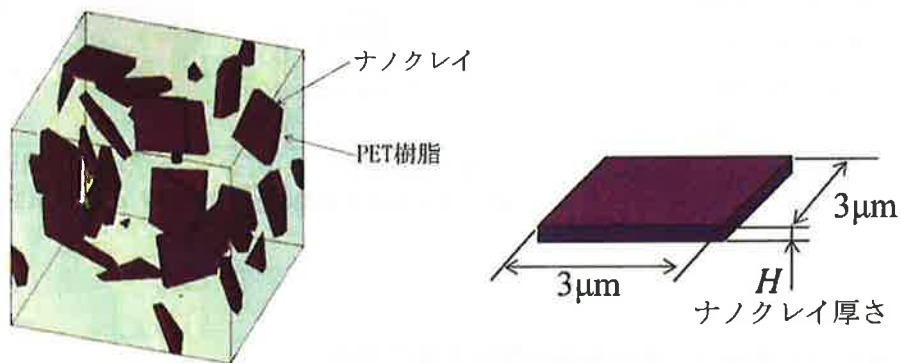


図3 ナノクレイ/PET樹脂複合材料のユニットセルモデル

図4に解析で得られたナノクレイ/PET樹脂複合材料のヤング率に及ぼすナノクレイ厚さ H の影響を示す。解析で得られた複合材料のヤング率は、ナノクレイ厚さの減少に伴い増大し、 $0.25 \mu\text{m}$ より小さくなると非線形的に増大する傾向を示した。これは、動的粘弾性試験で得られた E' と超音波印加時間との関係に定性的に一致しており、ナノクレイのはく離を促進させることで、さらに高いヤング率の複合材料が得られると予想される。

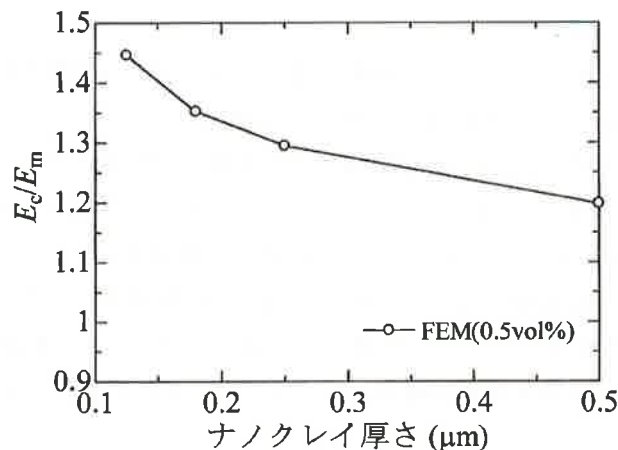


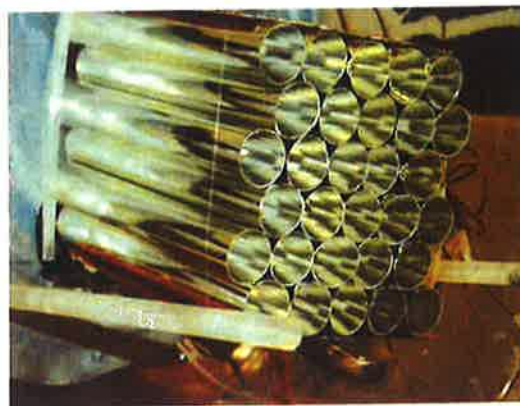
図4 ナノクレイ/PET樹脂複合材料のヤング率に及ぼすナノクレイ厚さ H の影響

b. チューブ型真空断熱材の輻射防止構造設計と断熱性能評価

チューブ型真空断熱材の断熱性能を向上させるために、鏡面処理と輻射防止構造を組み合わせた複合的な輻射防止技術を開発することを目的とした。まず、直径4.2～15mmの樹脂パイプを複数積層したチューブ型真空断熱材を作製し、断熱性能に及ぼす樹脂パイプ積層数の影響を検討した(図5)。また、内側に銀鏡反応による鏡面処理を施した樹脂パイプを複数積層したチューブ型真空断熱材も作製し、断熱性能に及ぼす輻射防止処理の影響についても考察を加えた。



(a) 未処理の樹脂パイプ(直径 15mm)



(b) 銀鏡処理の樹脂パイプ(直径 15mm)

図5 樹脂パイプを用いた積層断熱材の断熱性能評価

樹脂パイプを複数積層したチューブ型真空断熱材を作製し、断熱性能に及ぼす樹脂パイプ積層数の影響を検討した結果、同じ厚さとした場合、細い樹脂パイプを多く積層するほど断熱性能は向上した。また、内面に輻射防止処理(銀鏡処理)を行った樹脂パイプを用いた場合、断熱性能は、未処理の場合に比べて、約2倍に増大したが、グラスウールの断熱性能を上回ることはできなかった。

(3) 今後予想される効果

共同研究者の株式会社住まい環境プランニングと住宅断熱に関する調査・検討を進め、チューブ型真空断熱材の形状に関する特許を申請する予定である。また、従来の断熱材に対する優位性を明確にすることで、梱包材メーカー、住宅メーカー等との共同研究を打診して、新規断熱材としての実用化を目指していく予定である。

以上