

ZEB 化改修に寄与する光透過型真空断熱材の開発

北海道大学 ○葛隆生 1\*

光透過型真空断熱材 蓄積法      ガス放出 有効熱伝導率      スループット法 熱貫流率

研究の目的

建築物のエネルギー消費に係る民生部門においては、2030 年度の CO<sub>2</sub> 排出量削減の政府目標として 2013 年度比 66%以上を掲げており、新築建物のみならず、既存建物の ZEB 化・ZEH 化を行うことが重要となる。建物の ZEB 化・ZEH 化のためには断熱性能の向上が必要不可欠であり、特に断熱性能の低い窓面の性能を簡易的に向上させられる方法が求められている。

上記に対応するため、光透過性を有するガスバリアフィルムで作成する外袋とフレーム材料やメッシュ材料で真空層を設ける光透過型(Transparent Vacuum Insulation Panels:以下 TVIP とする)を開発する。TVIP は窓ガラスに直接貼り付ける、もしくはカーテンのように容易に設置することが可能である。さらには、窓面の断熱改修に要する工数とコストを大幅に削減することができる。一方で現状の TVIP の課題として、真空封止後の芯材からのガス放出を抑制すること、TVIP に適した芯材の形状や材質を示すことが挙げられる。本研究では TVIP からのガス放出の抑制と TVIP に適した芯材の形状や材質を示すことを目的として、スループット法を応用した真空断熱材芯材のガス放出測定試験、蓄積法によるガス放出定量試験、3D プリントによる TVIP 芯材の試作と TVIP の有効熱伝導率の評価を実施した。

研究の内容

1. スループット法を応用した真空断熱材芯材のガス放出測定試験

ガス放出の抑制効果を定量化するためスループット法の実験装置を構築した。2 台の真空ポンプ(ロータリー、ターボ分子)により排気を行いながら、オリフィス(孔)により隔てられた二つの空間の圧力を真空計により測定し、二つの空間の圧力差をもとに材料サンプルからのガス放出量を計算し、各種材料のガス放出量を比較した。なお、各材料サンプルは大きさ、前処理の条件を同等とするために、縦 100mm×横 10 mmに切断した上で、実験を行う前に 24 時間程度周囲温度 70℃で真空乾燥を行った。

結果として図-1 に真空ポンプ排気中の各種材料におけるガス放出速度の経時変化を示す。実験結果から、PET、ポリエチレン、ポリプロピレン、塩化ビニルは同程度のガス放出速度となっており、200s 経過時ではポリカの 4 分の 1 程度、アクリルの 2 分の 1 程度の放出速度となること

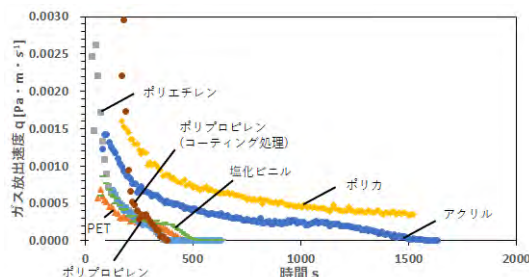


図-1 各材料のガス放出速度の経時変化

が分かった。また、ポリプロピレンについては有機ポリシラザンを主成分としたコーティング剤によりガス放出抑制を試みた。結果は図-1 に示す通りであり、圧力の低い領域(ガス放出の小さい領域)で放出量の低下が大きくなる(勾配が大きくなる)効果が得られた。

2. 蓄積法によるガス放出定量試験

TVIP の封止後のガス放出量の変化を定量化させるために封止後のガス放出量の変化を定量化させるために、蓄積法によるガス放出定量実験を行った。本研究では図-2, のような実験装置を構成し、ストロー付きのガスバリアフィルムに封入した TVIP 本体を真空ポンプに接続した(この実験では、熱伝導率測定装置は不使用)。そして TVIP 本体を真空容器として、真空引きを行い、バルブを閉じ真空ポンプ停止後の圧力測定を行う蓄積法の実験により、実物大での測定や真空引き中の加熱、コーティングした芯材の使用、吸着剤の添付の効果の検証を可能にした。またストロー付きガスバリアフィルムは、ストローの部分を除くと通常の TVIP で使用するガスバリアフィルムであるため、ポンプ停止後の圧力変化は、真空封止後の圧力変化をほぼ再現することができる。実験で用いた TVIP の基本構成は、フレーム形状の芯材に低放射フィルムを被せ、ガラス 2 枚で挟んで外袋で包んだ構造となっている。実験条件については基本構成の TVIP に 0.5h 真空引きを行った条件(A. 基準)、真空引きと同時に加熱を行う条件(B. 加熱)、芯材に有機ポリシラザンを用いたコーティングを施した条件(C. コーティング)、水蒸気やガスを吸着できる合金と CaO を組み合わせたゲッター剤を同封する条件(D. ゲッター剤)、加熱・コーティング・ゲッター剤を組み合わせる条件、更には真空引きと加熱を延長した条件(E~G. 加熱+コーティング+ゲッター剤)を実施した。

図-3 に各条件の真空引きを停止した後の圧力変化とガス放出速度を示す。基準である A の圧力と比べるとすべての条件で圧力が小さくなった。B、C、D それぞれの結果から 30 分の真空引きの条件では、コーティングよりも加熱、ゲッター剤の方がガス放出の低減効果が大きくなることを確認された。また、E~G の結果より、加熱、コーティング、ゲッター剤の同封を全て組み合わせることで更なるガス放出の低減が可能であり、長時間の真空引きと加熱を行うことでガス放出を大きく低減できることが確認できた。G の 8h 加熱+コーティング+ゲッター剤については 30 分経過後の圧力が 1 Pa 程度であり、要求される圧力(2 Pa 以下)を保つことができる TVIP を実現できる可能性を示すことができた。

### 3 3D プリンタでの TVIP 芯材作製と有効熱伝導率の評価

図-4 に示される 3D プリンタを用いて TVIP の芯材の試作を行い、図-2 に示すように試作した TVIP の芯材をストロー付きのガスバリアフィルムに封入し、図-2 左側にある熱流計法を応用した熱伝導率測定装置に TVIP を設置し、真空ポンプを用いて真空引きを行い、圧力が 1Pa 以下となった後に熱伝導率の測定を実施した。測定結果から得られる熱伝導率より、真空層の有効熱伝導率と TVIP 全体の熱貫流率を求め、TVIP の断熱性能を評価した。TVIP の芯材は、種類についてはフレーム型とピーク型を用意し、それぞれについて図-4 に示される径間や厚さ、幅を変更した芯材を作成した。また、フレーム型の材質は、通常用いる ABS の他に、ポリアミド、ポリプロピレンを使用し、材料の違いによる性能の違いも比較した。

図-5 にフレーム型芯材を用いた場合の、径間や厚さ、幅、材質の変更に対する有効熱伝導率を示す。結果より厚さは 4.5 mm よりも 3 mm の方が、径間は 11.5 mm の場合の有効熱伝導率が低く、最も小さい値は⑤で得られた約 0.007 W/(m・K) であった。形状が同じで、材質の違いによる比較では、熱伝導率の高いポリアミド芯材②が ABS 芯材⑤よりも有効熱伝導率が高く、熱伝導率が同程度のポリプロピレン芯材①と ABS 芯材④は同程度の有効熱伝導率となった。さらに、径間 10 mm、厚さ 2.5 mm、柱 1.5 mm で ABS を用いたピーク型芯材の TVIP の真空層の有効熱伝導率は約 0.006 W/(m・K) であり、フレーム型芯材と同程度の値を得ることができた。

#### 研究の成果、新発見

- 1) 蓄積法のガス放出定量試験により、長時間の加熱と真空引きを行うことで、真空封止後の圧力の上昇を抑えた TVIP を実現できる可能性を示すことができた。
- 2) 3D プリンタによる TVIP 芯材作製と有効熱伝導率の評価から、フレーム型芯材は有効熱伝導率が最小となる

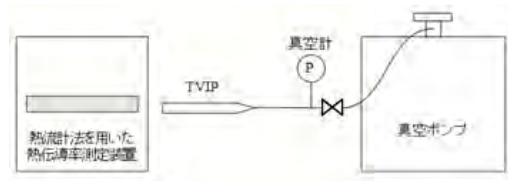


図-2 蓄積法および真空引き中の熱伝導率測定実験の装置構成

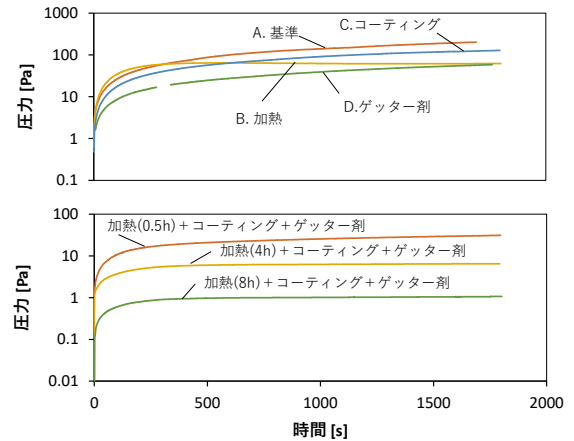


図-3 経過時間に対する圧力変化

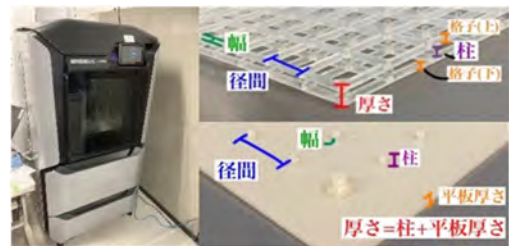


図-4 3D プリンタ(左)、フレーム型芯材(右上)とピーク型芯材(右下)の寸法名称

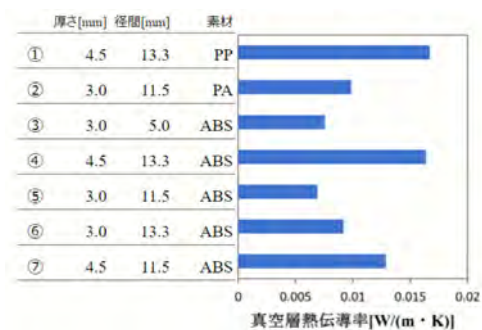


図-5 フレーム型芯材の真空層の有効熱伝導率

最適形状があること、ピーク型芯材もフレーム型芯材と同等以下の有効熱伝導率が得られることが分かった。

#### 今後の予定

TVIP の実用化に向けて、高性能 TVIP 製作工程、量産型芯材、長期的な断熱性能維持方法等の確立を検討する。