

二重フィルムの適用による真空断熱材の長期性能向上効果の検証

Improvement of long-term insulation performance of vacuum insulation panels by applying double layer envelopes

学生会員 ○小室 綺夏(北海道大学) 正会員 葛 隆生(北海道大学) 正会員 長野 克則(北海道大学)

Kirina KOMURO*1

Takao KATSURA*1

Katsunoro NAGANO*1

*1 Hokkaido University

Abstract

The purpose of this study is improvement of long-term insulation performance of VIPs. In this paper, the long-term insulation performances of VIPs with double layer envelopes and single layer envelop were firstly evaluated by using the result of an accelerated test in which the VIPs were inserted to the constant temperature chamber with temperature of 80°C and the thermal conductivities of VIPs were measured. Next, the gas permeability coefficients of envelope were evaluated, and the long-term insulation performance of VIPs was predicted. By using multilayer VIPs, the inner pressure after 25 years was 2.1 Pa for the aluminum composite film and 59.3 Pa for the transparent gas barrier film. It was confirmed that the VIPs with double layer envelopes improve long-term performance.

はじめに

地球温暖化などの観点から温室効果ガスの排出量削減は不可欠である。そのため、民生部門での温室効果ガスの主な要因となっている暖冷房・給湯の際のエネルギーを抑えることが必要であり、建築分野でも様々な技術や製品が開発されている。しかしながら既存建築の高断熱化や省エネルギー化は進んでおらず、特に断熱性能の向上は重要な課題となっている。

既存建築の断熱改修の簡略化に貢献できる方法として、冷蔵庫等の設備の断熱材としては既に実用化がなされている真空断熱材(Vacuum Insulation Panel : 以下VIPとする)を適用する方法に注目が集まっている。VIPは多孔質(ポリウレタン等)の芯材をガスバリアフィルムで作成した外袋包装し内部を真空にしたものである。熱伝導率は2~7 mW/(m・K)程度であり高い断熱性能を持つが、実際の建築への適用にはコストや耐久性、施工性など多くの課題がある。

これらの課題を解決するために本研究では長期性能向上方法の提案として、二重フィルムの適用による真空断熱材について提案した。

1 真空断熱材および外袋に用いるフィルムの概要

まず、真空断熱材の作成方法について説明する。通常の真空断熱材は芯材にグラスウール、フィルムにアルミ複合フィルムを使用している。窓ガラスなどの使用を目的とする光透過性を有する真空断熱材は芯材には構造計算を基に選定したフレーム型やメッシュ型のものを用い、フィルムには透明ガスバリアフィルムを使用している。これらの芯材と外袋を真空乾燥庫にて乾燥する。芯材は147°Cで40分程度、外袋は80°Cで1時間程度の乾燥を行った。そして、外袋に芯材と乾燥剤、ゲッター剤を封入し、真空封止機を用いて封止を行う。アルミ複合フィルムの構成を図2に、透明ガスバリアフィルムの構成を図3に示す。

一般的な真空断熱材のフィルムにはアルミ複合フィルムを使用している。それぞれの層の役割を簡単に示すと、ONは延伸ナイロンであり、耐寒性、耐熱性、耐衝撃性、耐ピンホール性に特徴のある層である。AL蒸着PET、AL層はガスバリア層、LLDPEはリニヤ低密度ポリエチレンでシール層という役割を担っている。

光透過性を有する真空断熱材のフィルムには透明ガスバリアフィルムを使用している。光透過性を有する真空断熱材はまず、光を透過できることを必要条件としてデザインされている。このガスバリアフィルムはシーリングと透明性に適している。外側からポリエチレンテレフタレート100 μ m、シリカ蒸着PET12 μ m、ポリアミド12 μ m、キャストポリプロピレン40 μ mで構成されている。

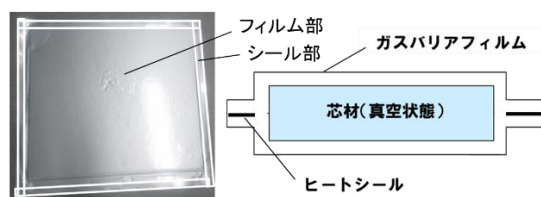


図1 真空断熱材写真(左)と概要図(右)

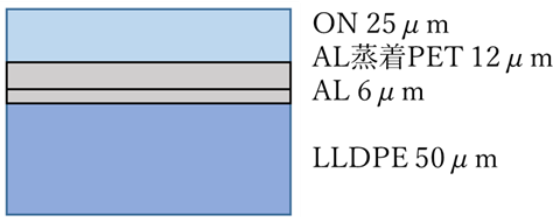


図 2 アルミ複合フィルムの構成概要

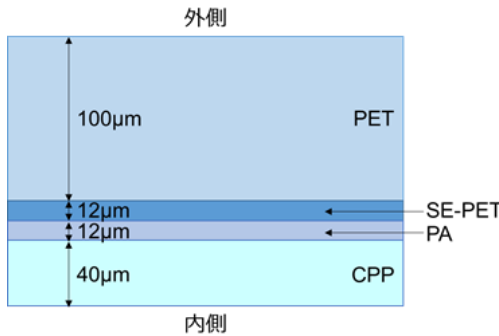


図 3 透明ガスバリアフィルムの構成概要

2 真空断熱材の長期性能向上に関する検討

真空断熱材が長期間において性能を保持できるかはVIPと外界の圧力差とフィルムの水蒸気・ガス透過性能に依存する。そこで図4のようにVIPを再度封止し、外袋を2重にする(以下では外袋を2重にしたVIPを2重型VIPとする)ことを提案する。VIPの芯材部分と外部環境の圧力差を小さくすることで、VIP内部への透過ガス量を大幅に減らし、長期的な断熱性能向上をさせることが可能である。

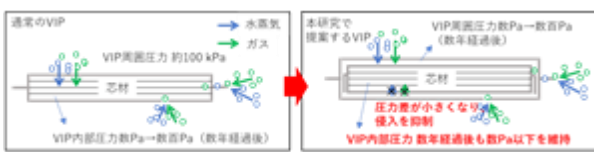


図 4 本研究で提案する2重型真空断熱材

2.1. 加速試験による2重型真空断熱材の耐久性向上効果の検証

グラスウール芯材とアルミ複合フィルムを用いて大きさ200mm×200mm厚さ10mmのVIPを作成し、2重型VIPの耐久性向上効果を検証した。作成したVIPの外袋、乾燥剤、ゲッター剤の有無、枚数を示す。2重型VIPとして図5に示すような2種類のVIPを用いた。1つ目は、一度真空引きしたVIPの片面にグラ

スウール芯材を4枚設置し、外袋を2重にし、もう一度真空引きしたもので、これを複層タイプAとする。2つ目は、一度真空引きしたVIPの両面に芯材を2枚ずつ設置し、外袋を2重にし、もう一度真空引きしたものである。これを複層タイプBとする。単層を含めたこれらVIPを80°Cのチャンバーの中に約7か月(常温の約6年分に相当)保管し、加速試験を行い、熱流計法¹⁾を応用した測定装置を用いて熱伝導率の経時変化を測定した。測定した熱伝導率から熱抵抗値を求め、性能評価を行った。

表 1 VIPと2重型VIPの種類

フィルム	乾燥剤/ゲッター剤*	枚数	厚さmm
単層	乾燥剤	2	11.1
単層	ゲッター剤	2	11.5
複層A	内側、外側ともに乾燥剤	3	14.3
複層A	内側:ゲッター剤、外側:乾燥剤	3	13.9
複層B	内側、外側ともに乾燥剤	3	13.7
複層B	内側:ゲッター剤、外側:乾燥剤	3	14.4

*ゲッター剤は水分に加え、空気などのガスも吸着できる



図 5 2重型VIP2種類の概要

結果を図6に示す。上から、単層、複層タイプA、複層タイプBの経時変化を表している。グラフから単層は明らかに熱抵抗値が低下しており、性能が低下していることがわかる。また、ゲッター剤①に関しては3週目と早い段階で何らかの原因で芯材内部に空気ガスが浸透し、熱抵抗値がかなり低下した。このことからみても、単層のVIPは破損などの理由から性能が劣化しやすいと考えられ、外袋を2重にすることで長期耐久性の向上が見込めると考えられる。また、2重型VIPに関しては、複層タイプAは複層タイプBに比べて熱抵抗値の減少が大きいことがみてわかる。これは、複層タイプAは外袋を2重にする際に片面に芯材を入れているのに対し、複層タイプBは両面に均等に芯材を入れているため、複層タイプBの方が内側の外袋にガスが浸透する量を軽減できるためと考えられる。複層Bに関して、内側にゲッター剤、外側に乾燥剤を投入して作成したVIP(黄色線と黄緑線)に関しては、製作時と同等の性能を維持していることが確認できた。このことからゲッター剤を含めた2重型VIP(タイプB)はもっとも長期耐久性の向上がみられることがわかった。

図6の結果より初期値の熱抵抗値からの減少率を算出した。図7に示す。単層のVIPは熱抵抗値減少率が0.5以下となっており、2重型真空断熱材と比べ

て明らかに性能が劣化していることがわかる。また、複層タイプ B のゲッター剤ありの 2 重型真空断熱材は熱抵抗値減少率が 1.06 と、熱抵抗値の初期値と変わらないことが分かり、長期耐久性の向上が見られることがわかった。

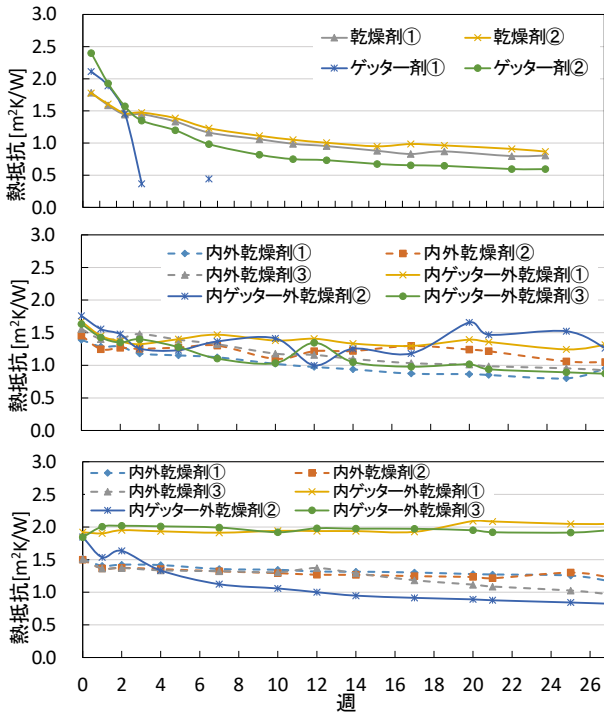


図 6 10mm(単層・複層 AB)の加速試験結果

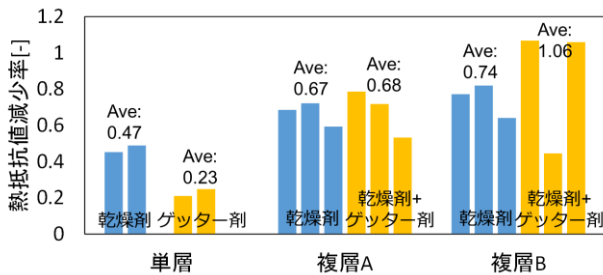


図 7 10m 真空断熱材(単層・複層 AB)の熱抵抗減少率

2.2. 長期性能予測のためのガス透過率推定

次に 2 重型 VIP の長期性能(圧力)の予測を行うため、フィルムにガス透過率を推定していく。VIP の内部圧力の変化は水蒸気とガス(空気等)の透過によるが、水蒸気については乾燥剤によりほぼ全てが吸着できると考えられている。^[2]VIP 内部の変化がガス透過のみによると考えられれば VIP 内部の圧力は式(1)で表すことができる。^[2]

$$\frac{dP_a}{dt} \cong (P_{a,atm} - P_a(0)) \frac{K_{a,total}RT}{M_a V_{eff}} \quad (1)$$

$K_{a,total}$:乾燥空気の被覆材全体の透過率[g/(day・Pa)],
 m_a :VIP 内部の乾燥空気の質量[g], M_a :乾燥空気の分子量[g/mol], V_{eff} :VIP 内の空隙体積[m³], P_a :VIP 内部の乾燥空気の圧力[Pa], T:温度[K], $P_{a,atm}$:大気圧 [Pa], R:気体定数[J/(mol・K)]

気体の分子量, 気体定数, 温度, 体積は既知の値であるため外袋全体のガス透過率を求めることが出来れば VIP 内部圧力を求めることが出来る。そこで実験によって $K_{a,total}$ を求める。

外袋の $K_{a,total}$ は温度によって変化する。そこで乾燥剤を入れた同じ寸法の VIP を製作し、異なる温度の環境に置き、圧力変化を求め、温度に応じたガス透過率を推定し、アレニウスプロットにより温度変化に対するガス透過率を推定した。

試験には、通常の VIP に使用されるアルミ複合フィルムと光透過性を有する VIP に使用される透明ガスバリアフィルムの 2 種類の外袋で作成した VIP を使用した。環境条件は、いずれのフィルムにおいても 80℃, 60℃, 40℃として熱伝導率の経時変化を測定した。結果を図 8 に示す。

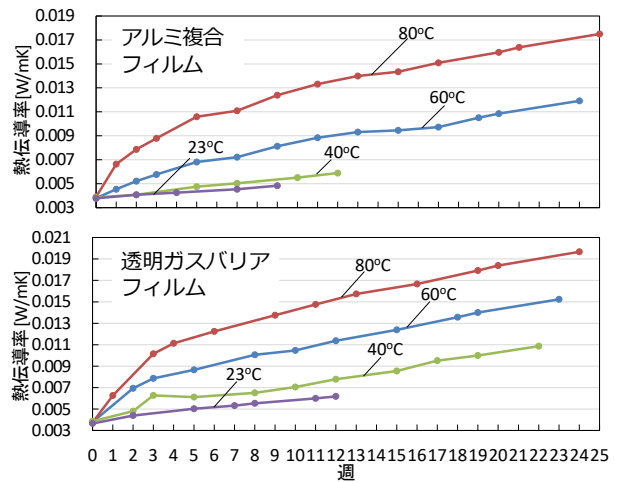


図 8 熱伝導率の経時変化

VIP の内部圧力は熱伝導率に依存することがわかっている。そこで、今回は厚さ 5mm の VIP の熱伝導率と圧力の関係についてリファレンス試験を行った。この結果を用いて各温度での熱伝導率の経時変化の値を圧力の値に変換し、経過日数に対する初期値からの内部圧力増加量を算出した。内部圧力増加量のグラフを図 9 に示す。経過日数と内部圧力増加量から傾きを求め、式(1)より各温度でのガス透過率 $K_{a,total}$ を算出した。求めたガス透過率と温度の逆数から、アレニウスプロ

ットを用いて室温(23°C)のガス透過率を算出した。結果から、室温(23°C)でのアルミ複合フィルムのガス透過率は $1.13 \times 10^{-12} \text{ g}/(\text{day} \cdot \text{Pa})$ 、透明ガスバリアフィルムのガス透過率は $8.85 \times 10^{-12} \text{ g}/(\text{day} \cdot \text{Pa})$ と推定された。

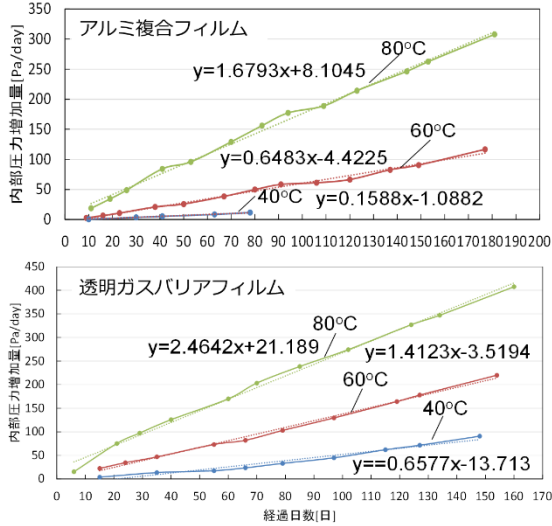


図 9 アルミ複合フィルムと透明ガスバリアフィルムの経過日数と内部圧力増加量の関係

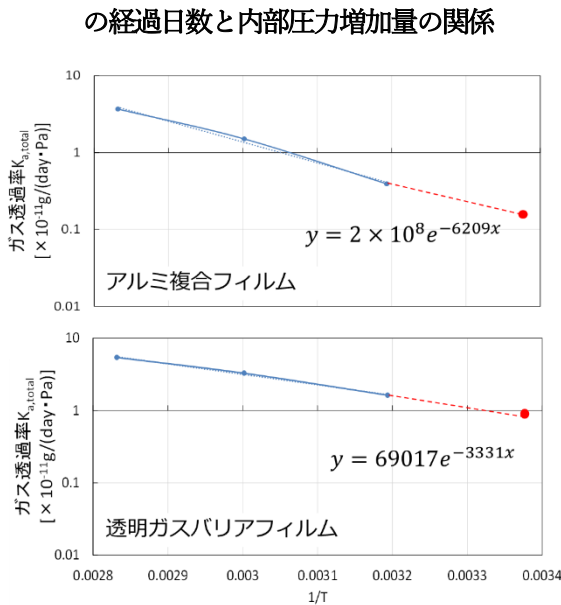


図 10 アルミ複合フィルムと透明ガスバリアフィルムの23°Cガス透過率推定

の23°Cガス透過率推定

2.3. 2重型真空断熱材の長期性能予測

2.2で求めたガス透過率と式(1)から25年後のVIPの内部圧力を求め、長期性能予測を行った。その際には分子量としては空気平均分子量を、 P_1 は外部環境に近い側の圧力、 P_2 は再内部の圧力とし、それぞれの初期値を0.3Paとして式(2)、式(3)を用いて計算期間を25年として計算した。

$$\frac{dP}{dt} = (P_{a,atm} - P_1) \frac{K_{a,total}RT}{M_a V_{eff}} \quad (2)$$

$$\frac{dP}{dt} = (P_1 - P_2) \frac{K_{a,total}RT}{M_a V_{eff}} \quad (3)$$

P_1 :VIP 外側の圧力[Pa], P_2 :VIP 内側の圧力[Pa]

25年間の内部圧力の変化の結果をに示す。アルミ複合フィルムを使用したVIPは25年後に外側の圧力が609Paになるのに対し、内側の圧力は2.1Paとなった。透明ガスバリアフィルムを使用したVIPは、外側の圧力は3438Paになるのに対し、内側の圧力は59.3Paとなった。どちらも外袋を2重にすることで耐久性が十分向上されることがわかった。今回の計算では外袋と芯材のみを用いたVIPと仮定したが、実際には空気を吸着できるgetter剤を加えるため、さらに長期性能が伸びる可能性が見込まれる。

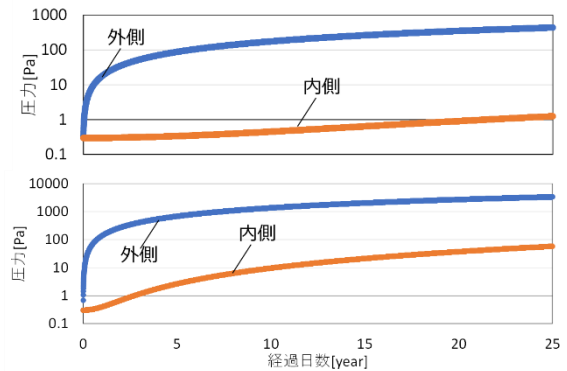


図 11 25年間の内部圧力の変化

3. 結論

- 1) 2重型VIPを80°Cで加速試験した結果、getter剤を含めた二重型VIPは制作時と同等の性能を維持していることを確認した。
- 2) フィルムの耐久性試験を行い、ガス透過率を推定し、それを基に長期性能予測を行った。フィルムを2重にすることで25年後の内側の圧力はアルミ複合フィルムが2.1Pa、透明ガスバリアフィルムは59.3Paとなったので長期的な性能向上がはかれることがわかった。

参考文献

[1] JISA 1412-2, 熱絶縁材の熱抵抗および熱伝導率の測定方法-第2部:熱流計法(HFM法), 2016
 [2] 小椋大輔, 建築用真空断熱材の耐久性試験方法の検討(その8)一定温湿度環境下における繊維系芯材を用いたVIPの熱性能変化の長期予測, 2017, 建築学会大会学術講演梗概集
 [3] 相原昌博, 真空断熱材を用いた既存建築の簡易断熱改修に関する研究, 平成30年度, 修士論文梗概