

平成30年6月11日現在

機関番号：10101

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2015～2017

課題番号：15H05538

研究課題名(和文)既存建築の高断熱化に寄与する薄型・透明真空断熱材とその適用方法の開発

研究課題名(英文)Development of slim and transparent vacuum insulation panel and its application method to contribute retrofitting insulation for existing building

研究代表者

葛 隆生 (Katsura, Takao)

北海道大学・工学研究院・准教授

研究者番号：60552411

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 18,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、まず、建築物において最も断熱性能の劣る窓面に着目し、簡易設置が可能な光透過性を有する軽量・薄型の真空断熱材の開発を行った。具体的には真空層を保持しつつ、十分な断熱性能と光透過性を得られる設計手法を確立するとともに、光透過性を設けることが可能と考えられる5種類の芯材を用いた真空断熱材を試作し、断熱性能と光透過性の評価を行った。建築物への適用については、真空断熱材の薄型・軽量である点に着目して壁面や天井面に直接貼り付けて適用する方法を提案し、実フィールドにて断熱改修に要する作業量低減効果を示すとともに、更には隙間に生じる熱橋に対して、複層化を行うことにより低減可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：In this research works, firstly, we try to develop the slim and translucent vacuum insulation panel (VIP) in order to improve the insulation performance at the part of window. The design method that can maintain the vacuum layer and obtain the satisfying insulation performance and transparency was established. Also, the five core materials for VIPs with transparency were selected and the VIPs were trial produced by using the core materials. Then the insulation performance and transparency were evaluated. With regard to applying VIPs to retrofit insulation for existing buildings, the method in which the VIPs with slim and light weight are directly posted on the wall and ceiling has been suggested. Then, the reduction effect of quantity of work for retrofitting building insulation were demonstrated in the field. In addition, it was shown that the thermal bridge generated at gaps among VIPs could be reduced by applying the multilayer VIPs.

研究分野：建築環境・設備

キーワード：真空断熱材 光透過型・薄型 真空層 保護熱板法 熱流計法 断熱改修

1. 研究開始当初の背景

地球温暖化対策などの観点から、温室効果ガスの排出量削減は必要不可欠な課題である。しかし、建築物を主とした 2011 年度の民生業務部門と家庭部門の排出量は 1990 年比でそれぞれ 51%、48% 増となっているため、これらの部門における、温室効果ガス排出の主な要因となっている暖冷房・給湯の際のエネルギー消費を抑えることが重要である。特に既存建物については、新築建物と比べると省エネルギー化が進んでいないことから、今後は既存建物の省エネルギー化が重要である。温暖地域における、2000 年以前に建てられた一般的な既存建物の断熱性能に関して、壁面、天井面の断熱はほとんど施されておらず、窓面には単板窓ガラスが採用されている。故に、断熱性能を向上させることが最重要課題といえる。

既存建物の高断熱化の方法として、冷蔵庫等では既に実用化されている真空断熱材 (Vacuum Insulation Panel: 以下 VIP とする) を使用することが有望であり、実際に実験的に VIP を既存建物の断熱改修に適用したという事例もある。しかしながら、VIP を建築物に適用するにあたっては幾つかの課題が挙げられる。その主な課題を以下に示す。

- ① 冷蔵庫等で使用されている厚さ 10mm 程度の板状の VIP を、凹凸なく製作するには熟練した技術を要するため、VIP が他の断熱材と比較して高価となっている。
 - ② 窓面などの開口部は、壁面などと比較して断熱性能が劣るため、開口部に適用可能な光透過性を有する VIP を可能な限り安価に製造する必要がある。
 - ③ 上記の製作過程から、1m 角を越える VIP の製作は困難である。そのため建築物の適用にあたっては VIP をつなぎ合わせる必要があり、熱橋の影響を考慮する必要がある。
 - ④ VIP は芯材をガスバリアフィルムに封入し、真空引きを行って製作するのが一般的であるが、ガスバリアフィルム内の真空状態を数十年レベルで長期間維持することは容易ではなく、そのため数十年の耐久性が要求される壁、天井の一部に組み込むのが困難である。
 - ⑤ 既存の断熱施工技術を VIP に適用すると、釘などにより VIP を損傷する恐れがある。
- 上記に記載されている VIP の課題を解決することが、建築物の VIP の適用へとつながり、既存建築物の省エネルギー化と室内環境の改善につながるものと考えられる。

2. 研究の目的

上記課題を解決するため、本研究の目的を以下の通り設定した。

- ① 従来と比較して容易に作成できる凹凸の少ない板状の VIP を開発、もしくは提案する。
- ② 開口部に設置可能な光透過性を有する薄型・軽量の VIP を開発する。
- ③ 熱橋を最小限に抑えるため、薄型の真空断熱材を複層に設置する方法について提案し、

熱橋の低減効果を定量的に評価する。

- ④ VIP の薄型・軽量であるという特長を活かした、VIP を壁面や天井面に直接貼り付けて簡易的に設置する方法を提案し、その施工性および VIP による建物の断熱効果を実証する。また、設置を簡易化することにより、耐久性の課題についても解決を図る。

3. 研究の方法

本研究内容は 2. 研究の目的より、「薄型・軽量の VIP および光透過型の VIP の開発」と「VIP の既存建築物への適用方法の提案と施工性・断熱効果の実証、および熱橋の低減方法の提案と効果の定量評価」に大別される。以下にそれぞれの研究の方法について示す。

3. 1 薄型・軽量の VIP および光透過型の VIP の開発

光透過性を有する真空断熱材は、まず図-1(a)に示すように透明な 2 枚のプラスチック板の間にスペーサにより空間を設け、それを光透過性を有するガスバリアフィルムに封入し、1 Pa 以下に減圧した後、封止することで作成することを試みた。この場合、大気圧化で内部の真空層を保持できるスペーサを設計することが重要となる。その一方で、断熱性能と光透過性の向上にはスペーサの設置を最小限に抑える必要がある。本研究では真空層を保持できる構造設計の方法と、内部伝熱量の計算方法を示し、真空層を保持しつつ、十分な断熱性能と光透過性を得ることができる設計手法を、シミュレーション技術を応用して確立することを試みた。更には、図-1(b)に示すような、光透過性を有する真空断熱材をより薄型化・軽量化できるフレーム状芯材について設計手法を応用して検討した。

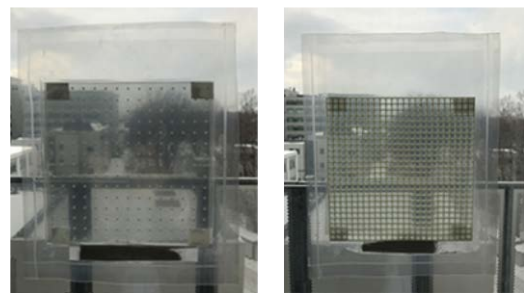


図-1 スペーサを用いた光透過型 VIP(左)とフレーム状芯材を用いた光透過型 VIP(右)

3. 2 VIP の既存建築物への適用方法の提案と施工性・断熱効果の実証、および熱橋の低減方法の提案と効果の定量評価

VIP の既存建築物への適用については、適用の一つの課題である断熱改修に要する作業量低減のため、VIP の薄型・軽量である点に着目して壁面や天井面に直接貼り付けて適用する方法を提案し、更には適用時の課題である隙間に生じる熱橋に対して、複層化を行うことにより低減可能を行うことを試みた。VIP の設置の施工性については試験フィ

ールド内に設置した小屋に実際にVIPを設置することにより検証し、更には、小屋を暖房する試験を行い、断熱性能向上効果を実証した。熱橋の低減効果については複数のVIPを繋ぎ合わせた上で繋ぎ目にVIPを設置することにより低減を図り、その効果を構成熱箱法を応用した実験と数値解析により定量を行うこととした。

4. 研究成果

4.1 薄型・軽量のVIPおよび光透過型のVIPの開発

スペーサやフレーム等により真空層を設ける芯材を対象として、真空層を保持するための構造設計の方法と、内部伝熱量の計算方法を構築した。この中で、スペーサやフレーム間に10mmの間隔を設けることで、真空層を保持できることを示した。また、設定圧力下での伝熱量や熱伝導率の測定が可能な真空保護熱板法を用いた実験を実施し、伝熱量の計算の検証を行うとともに、1Pa以下の減圧化において、スペーサを用いたVIPでは $0.007 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 以下、フレーム状の芯材を用いたVIPでは $0.005 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ 以下の熱伝導率が得られることを確認した。

そしてこれらの芯材等を用いた軽量・薄型のVIPの試作と断熱性能・光透過性の評価を行った。ここではまず、光透過性を設けることが可能と考えられる図-2に示す5種類の芯材を作成し、ガスバリアフィルムに封入し、真空封止機を用いてチャンバー内の圧力を0.1Paに減圧した後、封止を行う試作を実施した。また、試作を行った真空断熱材について、熱流計法による熱伝導率の測定を実施するとともに、人工光を一定の強度で照射した際の照度を分光放射計により測定し、光透過性の評価を行った。熱伝導率の測定結果を図-3に、波長 $800 \mu\text{m}$ の照度の測定を実施し、VIP無しの場合と比較した照度比および照度の測定結果を表-1に示す。

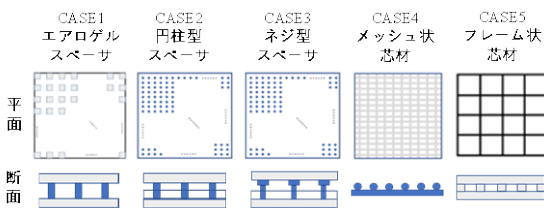


図-2 試作した真空断熱材の芯材

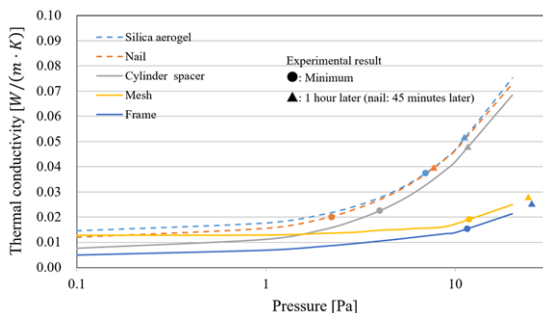


図-3 試作した真空断熱材の熱伝導率測定結果

表-1 試作した真空断熱材の照度および照度比 (真空断熱材無しを1とした場合)

Intensity of radiation at wavelength of 800 nm						
Conditions	Without VIP	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	Case 5
Intensity [$\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$]	20000	14000	18000	17500	13000	15000
Ratio	1	0.70	0.90	0.88	0.65	0.75

熱伝導率の測定結果については、フレーム状芯材やメッシュ状芯材を用いた真空断熱材の値が低い値となった。照度比の測定結果については、スペーサの面積割合が小さい円柱型スペーサやネイル型スペーサを用いた真空断熱材の値が高くなった。これらの結果や製作の容易さ、薄さ・軽さなどを含めて評価すると、Case5のフレーム状芯材が光透過性(照度比)を除けば最も優位性があることが確認された。一方で、今回試作したVIPについては図-3に示すように1時間程度を経過すると熱伝導率が大幅に増大してしまう。これは内部やフィルムに残存している水蒸気などのガスの影響と考えられ、これを低減することが今後の課題である。

4.2 VIPの既存建築物への適用方法の提案と施工性・断熱効果の実証、および熱橋の低減方法の提案と効果の定量評価

VIPの既存建築物への適用方法として、図-4に示すような直接貼り付ける方法を提案し、図-4に示す小屋に直接貼り付け施工性の確認を行った。VIP施工前と施工後の壁面の写真は図-5に示す通りであり、壁面1面(VIP8枚~15枚使用)にVIPを張り付ける際に要した時間は両面テープ設置に5分、貼り付けに8分、計13分程度であった。また内部全体に2層張り付けるのに要した時間は2時間程度であった。両面テープ設置については、製造時に行っておくことで、省略も可能なため、この結果より、断熱施工の時間を大幅に削減できる可能性が示唆された。

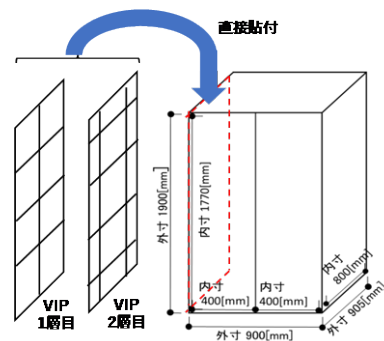


図-4 真空断熱材による断熱施工の概要



図-5 断熱施工前(左)と施工後(右)の壁面

また、コントローラを用いてヒータの制御を行いながら、内部の温度を 20°C に保つ暖房試験を行い、断熱性能の効果を検証した。外気温度、内部の空気温度、壁面温度、ヒータの消費電力は図-6 に示す通りであり、この結果をもとに 4 日間の外皮表面積・温度差あたりの平均損失熱量 q [$W/(m^2 \cdot K)$] を求めたところ、 $0.82 W/(m^2 \cdot K)$ となった。この値は並行して実施した 50 mm のフォームポリスチレン断熱材を設置した小屋の暖房試験の値とほぼ同等となり、10 分の 1 程度の厚さで同等の断熱効果が得られることが確認できた。

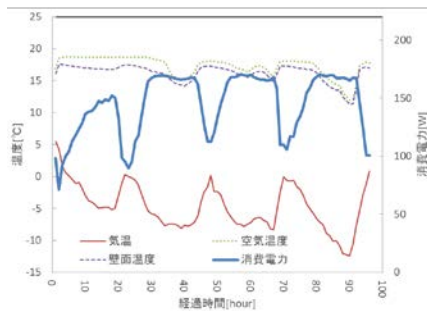


図-6 VIP 断熱小屋の暖房試験結果

更には、VIP については大きさの制限により、建築物に適用する際には、つなぎ合わせて設置することが必須となるため、この部分に熱橋が発生する恐れがある。この熱橋を小さくするため、図-7 に示すように薄型の VIP を複層に設置することを提案し、複層設置した場合の熱橋の低減効果を図-8 に示す校正熱箱法を応用した試験により定量化を試みた。本実験ではチャンバーを低温側(5°C)、熱箱内を高温側(25°C)としそれぞれ温度一定に保ち、定常状態とみなせる時間帯のヒータの消費電力を測定し、その消費電力を試験体通過熱量としてその熱量と温度差から熱貫流率を(1)式で計算し評価した。

実験により得られた結果と熱貫流率の式を用いて VIP の見掛け上の熱伝導率 λ を計算した。結果とサーモカメラで表面を撮影した画像を図-9~11 に示す。図中の数値は実験の平均値である。1 層では熱橋の影響が大きく、元の VIP の熱伝導率の 1.37 倍の熱伝導率となった。1 層から 2 層、2 層から 3 層にかけて見掛け上の熱伝導率が低下し、2 層では元の 1.15 倍、3 層では 1.07 倍の熱伝導率となり、熱橋の影響を減らせることが定量的に示された。また、複層化した VIP の熱橋を評価できるシミュレーションモデルを作成し、VIP の 1 枚当たりの大きさを 1m 角として、壁面に複層化して設置した場合の見掛け上の熱伝導率についても計算を行った。結果よりもとの VIP の熱伝導率と比較した熱伝導率の増加は 0.4% となり、VIP を大きくし、複層化することで熱橋を低減できることを示した。そして東京の無断熱住宅に真空断熱材を適用した場合のエネルギー消費量削減効果を計算し、約 50% の削減効果となることを示した。

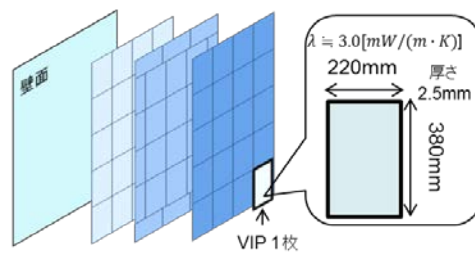


図-7 真空断熱材の複層設置の概念図

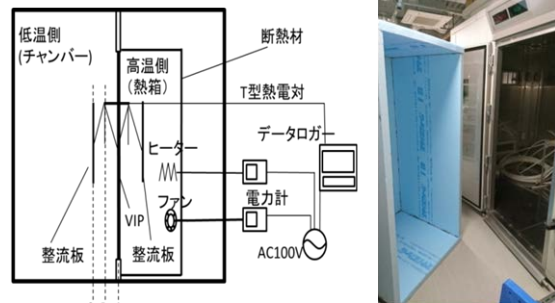


図-8 校正熱箱法の試験系統図(左)と写真(右)

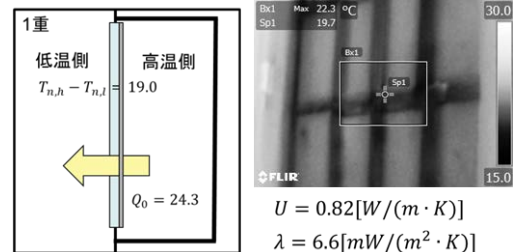


図-9 実験結果と温度分布測定結果(VIP1 層)

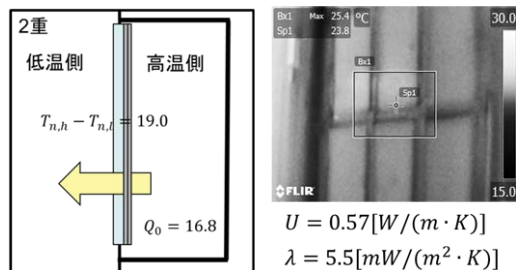


図-10 実験結果と温度分布測定結果(VIP2 層)

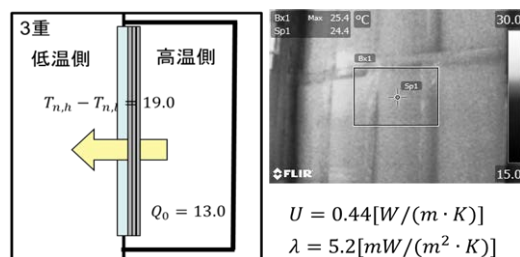


図-11 実験結果と温度分布測定結果(VIP3 層)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- 葛隆生, 楊樟, 相原昌博, 中村真人, 長野克則, 光透過性を有する薄型真空断熱材の開発に関する研究、日本太陽エネルギー学会論文集, Vol.44, No.2 (2018・査読有)
- 楊樟, 葛隆生, 相原昌博, 中村真人, 長野

克則, Investigation into Window Insulation Retrofit of Existing Buildings using Thin and Translucent Frame-Structure Vacuum Insulation Panels, Energies, 10 ; doi:10.3390/en11020298 (2018・査読有)

3. 楊樟, 葛隆生, 相原昌博, 中村真人, 長野克則, Development of Numerical Heat Transfer and Structural Model to Design Slim and Translucent Vacuum Layer Type Vacuum Insulation Panels to retrofitting insulation in existing buildings, Energies, 10(12), 2108; doi:10.3390/en10122108 (2017・査読有)

[学会発表] (計 11 件)

1. 楊樟(葛隆生), Trial Production of Vacuum Insulation Panels and its Performance Validation, 6th International Conference on Cryogenics and Refrigeration (ICCR2018), Shanghai (2018)

2. 楊樟(葛隆生), Windows Insulation Retrofit of Existing Buildings Using Slim and Translucent Frame Structural Vacuum Insulation Panels, 第 52 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会(2018)

3. 相原昌博(葛隆生), 真空断熱材の建築物への適用による暖房負荷削減効果実証フィールド試験, 第 52 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会 (2018)

4. 楊樟(葛隆生), Investigation of Vacuum Insulation Panel and its Effective Application to Contribute Retrofitting Insulation for Existing Buildings Part2, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会(2017)

5. 相原昌博(葛隆生), 既存建築の高断熱化に寄与する真空断熱材及びその適用方法に関する研究 その 1, 平成 29 年度空気調和・衛生工学会大会(2017)

6. 相原昌博(葛隆生), 薄型・光透過型真空断熱材の試作と断熱性能に関する考察, 日本冷凍空調学会 2017 年度年次大会(2017)

7. 楊樟(葛隆生), Experimental Production of Translucent Vacuum Insulation Panel with Multiple Vacuum Layers and Its Performance Evaluation, 第 51 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会(2017)

8. 相原昌博(葛隆生), 既存建築物の高断熱化に寄与する真空断熱材の適用方法の検討および性能評価試験, 第 51 回空気調和・衛生工学会北海道支部学術講演会 (2017)

9. 葛隆生, Development of Slim and Translucent Vacuum Insulation Panels to Contribute Retrofitting Insulation for Existing Buildings, IAQVEC conference 2016, Incheon (2016)

10. 村上友章(葛隆生), 既存建築の高断熱化に寄与する薄型・透明真空断熱材の開発に関する研究, 日本冷凍空調学会 2016 年度年次大会 (2016)

11. 葛隆生, 既存建築物の高断熱化に寄与する透明・薄型真空断熱材の開発、平成 27 年度日本太陽エネルギー学会・日本風力学会合

同研究発表会 (2015)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 真空断熱材、真空断熱材用芯材、建築物、移動体および電気機器

発明者: 葛隆生, 楊樟

権利者: 同上

種類: 特許

番号: 特願 2018-6840

出願年月日: 平成 30 年 1 月 19 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

葛 隆生 (KATSURA, Takao)

北海道大学大学院工学研究院・准教授

研究者番号: 60552411

(4)研究協力者

長野克則 (NAGANO, Katsunori)

北海道大学大学院工学研究院・教授

研究者番号: 80208032