

# 無機-有機ハイブリッド多孔質材料を用いた高性能断熱材

## Advanced Thermal Insulator Using Inorganic-Organic Hybrid Porous Materials

宮武 正人 Masato Miyatake 小竹 智彦 Tomohiko Kotake  
新事業本部 筑波総合研究所 未来技術開発センタ

### 1 概要

近年、超電導技術の発展<sup>1)</sup>や、液化天然ガス、液化水素<sup>2)</sup>等の普及に伴い、極低温液体の利用はますます増大する傾向にある。これらの分野では、極低温液体を保冷するためにスーパーインシュレーションと呼ばれる真空多層断熱材が用いられており、さらなる断熱性能の向上が強く求められている。当社ではスーパーインシュレーションの断熱層として、ナノサイズの細孔構造を有する多孔質材料に着目し、断熱性と柔軟性を両立する無機-有機ハイブリッド多孔質材料を開発した。この多孔質材料を断熱層に用いたスーパーインシュレーションは、液体窒素タンクを用いた真空断熱評価において優れた断熱特性を示した。

With the growth of superconducting technology and the spread of liquefied natural gas and hydrogen in recent years, the use of cryogenic liquid is increasing rapidly. Generally, vacuum multi-layer insulation materials called “super-insulation” are applied for keeping ultra-low temperatures in these fields and further insulation performance is urgently required. We focused on nanoporous materials which are suitable for insulation layers of super-insulation and developed inorganic-organic hybrid porous materials which realize ultra-low thermal conductivity and flexibility. The developed super-insulation using these hybrid porous materials for insulation layers shows the superior heat-insulating property under a vacuum condition on a liquid nitrogen tank.

### 2 開発品の特徴

- ・優れた断熱特性と柔軟性を両立している。
- ・断熱材の薄型化が可能である。
- ・反射層と断熱層の一体化構造により施工性が良好である。

### 3 開発の経緯

液体窒素やヘリウム、水素等の極低温液体を保冷するためスーパーインシュレーションと呼ばれる真空多層断熱材が用いられている。スーパーインシュレーションは、一般にアルミニウム箔やアルミ蒸着フィルム等からなる反射層と、樹脂メッシュやガラス不織布等からなる断熱層で構成され、これらを交互に積層して真空下で使用される。今後のエネルギー・ロスの低減やスペースの狭小化に伴い、スーパーインシュレーションのさらなる断熱性能の向上と薄型化が要求されている。

当社はスーパーインシュレーションの断熱層として、樹脂メッシュやガラス不織布よりも熱伝導率が低いナノ多孔質材料に着目した。無機ナノ多孔質材料は、空孔率とナノ構造の制御により断熱性能が大幅に向上できるものの、脆性があるため成膜やハンドリングが困難である。そこで、高い断熱性と柔軟性を有した無機-有機ハイブリッド多孔質材料を開発し、スーパーインシュレーションの断熱層に適用した。

### 4 技術内容

表1に開発した無機-有機ハイブリッド多孔質材料の特性を示す。図1に走査電子顕微鏡で観察した無機-有機ハイブリッド多孔質材料の内部構造を示す。

開発した無機-有機ハイブリッド多孔質材料は、平均空孔径が20 nmであり、ナノオーダーの微細な3次元網目構造が形成されている。また、柔軟骨格の導入により、従来の無機ナノ多孔質材料やコンポジット材料では困難であった断熱性と柔軟性を両立している。

無機-有機ハイブリッド多孔質材料を

表1 ハイブリッド多孔質材料の特性

Table 1 Characteristics of hybrid porous materials

項目	単位	特性
空孔率	%	80-90
平均空孔径	nm	20
熱伝導率	W/(m・K)	0.020
圧縮弾性率	MPa	0.1-0.4

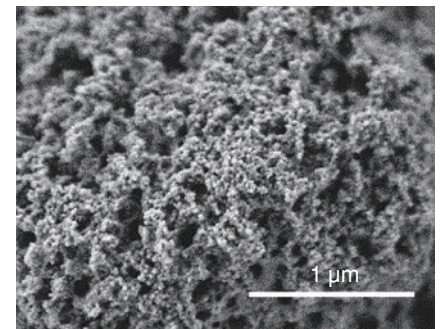


図1 ハイブリッド多孔質材料のSEM画像  
Figure 1 SEM image of hybrid porous materials

断熱層に用いたスーパーインシュレーションの構造を図2に示す。当社スーパーインシュレーションは開発した無機-有機ハイブリッド多孔質材料をアルミ蒸着フィルム上に塗布して反射層と断熱層を一体化した構造であり、施工性が良好である。また、施工時に断熱層にクラック等が発生せず、柔軟性に優れる。縦型の液体窒素タンク(-196℃)を用いて、真空条件下での断熱特性を評価した結果を図3に示す。開発したスーパーインシュレーションは、断熱層に樹脂メッシュを用いた従来品と比較して、同一の層数で断熱材の厚さと熱流束を共に50%以上低減することができる。

開発した無機-有機ハイブリッド多孔質材は、アルミニウム以外の基材表面への塗膜形成やパウダー化が可能である(図4)。極低温用途のみならず高い断熱性能が要求される多種多様な用途へ展開できる。

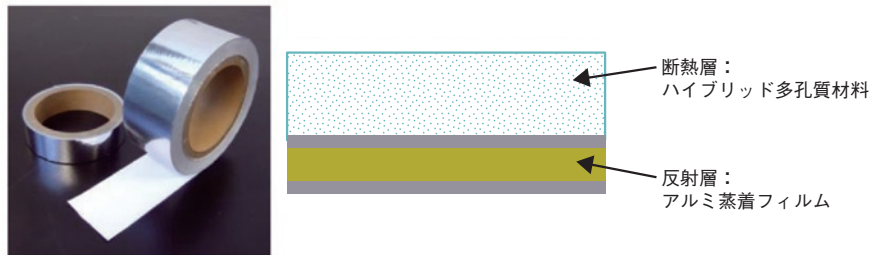


図2 スーパーインシュレーションの構造  
Figure 2 Components of our super-insulation

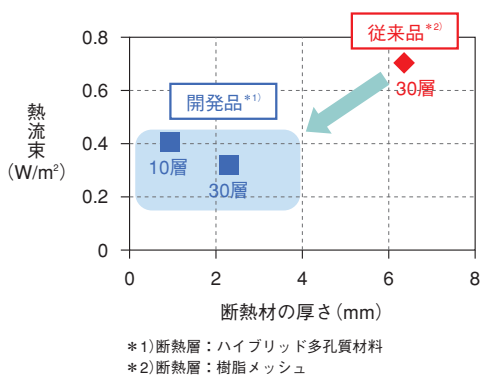


図3 液体窒素タンクを用いた真空条件下での断熱特性  
Figure 3 Heat insulating properties under a vacuum condition on a liquid nitrogen tank

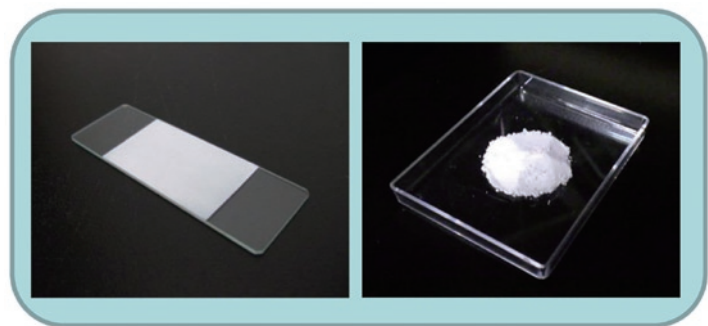


図4 塗膜とパウダーの外観  
Figure 4 Appearance of coating and powder

## 5 今後の展開

- ・新規開発品の拡販
- ・無機-有機ハイブリッド多孔質材料の用途開拓

### 【参考文献】

- 1) NEDO, 超電導技術 解説資料(2010)
- 2) NEDO, 水素エネルギー白書(2014)