

# プラント設備における保温保冷材の種類と特徴

## 選定基準とトラブル事例

基幹産業事業本部 プラント技術部 技術開発課 小野寺 和也

本稿は、日本工業出版株式会社発行「配管技術」2022年12月号に掲載された内容を転載し、一部加筆したものです。

出典元：配管技術2022年12月号，64巻，14号，pp.17-22

### 1. はじめに

近年，温室ガス削減対策として省エネルギーが求められる中，プラント設備での保温保冷施工の重要性はますます高まっている。熱絶縁工事に使用される保温保冷材の選定基準としては，運転温度や取り扱う流体などプラントの特徴を考慮することに加え，熱エネルギー損失の低減による省エネルギーと経済性の観点も重要視される。

本稿では，プラント設備において当社で施工する代表的な保温保冷材の種類，特徴および選定基準について解説する。

### 2. 保温保冷施工について

プラント設備の保温保冷施工は，JIS A 9501「保温保冷工事施工標準」に準拠し行われる。本規格中には，保温保冷施工において使用する保温保冷材料と副資材の種類，使用方法，設計方法，および，施工要領について規定がされている。

JIS A 9501中において，「保温」，「保冷」は以下のように定義されている。

「保温」とは，常温以上，約1000℃以下の物体を被覆し，熱拡散を少なくすることまたは被覆後の表面温度を低下させること。

「保冷」とは，常温以下の物体を被覆し，侵入熱量を小さくすること，または被覆後の表面温度を露

点温度以上とし，表面に結露を生じさせないこと。

保温保冷材はそれぞれ，上記の用途に応じて「保温材」，「保冷材」と呼び分けられる。

### 3. 保温材，保冷材について

プラントで使用される保温保冷材は，人造鉱物繊維保温材（JIS A 9504），無機多孔質保温材（JIS A 9510），発泡プラスチック保温材（JIS A 9511）に大別される。プラント設備で使用される代表的な保温保冷材を表1に示す。

「保温材」は，前述のように常温～約1000℃以下の温度条件で使用されるため，有機質が適用できない高温領域では，無機質材料である人造鉱物繊維保温材や無機多孔質保温材が基本的に用いられる。

一方，「保冷材」としては，発泡プラスチック保温材が広く用いられる。発泡プラスチック保温材は，内部が独立した微細な気泡で形成されるため，低い熱伝導率に加え，高い防湿特性を示す材料である。常温よりも低温の機器や配管などを保冷施工する場合，低温側が負圧となるため，外気中の湿分が保冷材内部へと侵入しやすくなる。侵入した水分は，内部で結露し，保冷材に吸水されると断熱性能の低下を引き起こす。そのため，保冷材には，高い防湿性を持ち，かつ吸水し難い材料が好ましく，独立気泡構造を持つ発泡プラスチック保温材が広く用いられる。

表1 代表的な保温保冷材

種類		上限使用温度		構造	代表的な用途
人造鉱物繊維保温材	ロックウール	400～650℃	熱間収縮温度（規格値）	繊維質	保温
	グラスウール	250～400℃			
無機多孔質保温材	けい酸カルシウム	1000℃（1号品）	最高使用温度	多孔質	
発泡プラスチック保温材	硬質ウレタンフォーム	100℃	最高使用温度（目安）	独立気泡	保冷・防露
	ビーズ法ポリスチレンフォーム	70～80℃			
	押出法ポリスチレンフォーム	80℃			

### 3.1 人造鉱物繊維保温材

人造鉱物繊維保温材は、ロックウール保温材とグラスウール保温材の総称である。

経済性と施工性に優れた材料であり、材質が柔軟なため、複雑な形状の対象物にも容易に施工可能という特長を持つ。また、吸音材としても使用が可能である。

#### 3.1.1 ロックウール保温材

ロックウール保温材は、製鉄時の副産物である高炉スラグや玄武岩などの天然鉱物を熔融し、繊維化したものを用いて作られた保温材である。

最高使用温度を示す指標となる熱間収縮温度は400～650℃である。

ロックウールは、保温材としてだけでなく、耐火・防火および遮音・吸音を目的として広く使用される材料である。

JIS A 9501に記載されるロックウール保温材製品としては、以下の6種類の形状品があり、施工対象物の形状などに合わせて選定される。

- ①ウール：繊維状のまま層状、または粒状化されたもの
- ②保温板：ウールにバインダを用いて板状に成形したもの
- ③フェルト：ウールにバインダを用いて弾力のあるフェルト状に成形したもの
- ④ブランケット：保温板の両面または片面を金網状の外皮材で被覆したもの
- ⑤保温帯：保温板を一定幅に切り取り、これを繊維方向が縦になるように並べ、布または、フィルム状の外皮

材を片面に貼り付けたもの

- ⑥保温筒：ウールにバインダを用いて、配管径に合わせた円筒状に成形したもの  
当社では、「MG製品」の名称で各種ロックウール保温材の製品を品揃えしている（図1）。



図1 ロックウール保温材「MG製品」

#### 3.1.2 グラスウール保温材

グラスウール保温材は、ガラスおよび、ガラス原料を熔融し、繊維化したものを用いて作られた保温材である。その原料は、ビンガラスや板ガラスのリサイクル材料が80%以上であり、残りの原料として組成調整用に長石、ソーダ灰などの天然原料が使用される。

最高使用温度を示す指標となる熱間収縮温度は250～400℃であり、ロックウールに比べると低い。機器や配管、空調ダクトなどの保温材および防露材として広く使用される代表的な保温材である。

JIS A 9501に記載されるグラスウール保温材製品としては、ウール、保温板、保温帯、保温筒、ブランケット、および波形保温板の形状品がある。

### 3.2 無機多孔質保温材

無機多孔質保温材は、けい酸カルシウム保温材とはっ水性パーライト保温材の総称である。

密度に対する圧縮強さ（比強度）が極めて高いため、点検時などに外装板金の上から点検員が乗った場合にも、人造鉱物繊維保温材と比べ、変形や損傷が生じにくい特徴がある。

しかしその反面、柔軟性には乏しいため、複雑形状箇所へ施工する場合には、保温材の加工が必要であり、人造鉱物繊維保温材に比べ施工性には劣る。

けい酸カルシウム保温材は、けい酸質と石灰質を水熱反応（オートクレーブ反応）させて生成した「けい酸カルシウム水和物」を主要材料として、補強繊維を添加した保温材である。

水熱反応により生成される結晶質は、オートクレーブの処理条件（温度、時間）、およびけい酸質と石灰質のモル比などにより異なり、JIS 1号品はゾノライト系、2号品はトバモライト系の結晶質から成る。それぞれの使用温度は、1号品が1000℃以下、2号品が650℃以下である。

JIS A 9501に記載される製品としては、保温筒および保温板の2種類の成形品がある。

けい酸カルシウム保温材は、比強度が高く、外的影響により損傷しにくい特徴がある。そのため、国内の石油化学・電力・ガスプラント設備の配管・機器に最も多く使用される保温材である。けい酸カルシウム保温材の施工例を図2に示す。

### 3.3 発泡プラスチック保温材

発泡プラスチック保温材は、硬質ウレタンフォーム保温材、ビーズ法ポリスチレンフォーム保温材、押出法ポリスチレンフォーム保温材、ポリエチレンフォーム保温材およびフェノールフォーム保温材の総称である。

発泡プラスチック保温材は内部が独立した微細な気泡で形成されるため、低熱伝導率、かつ、透湿性と吸水性の低い材料であり、「保冷材」として広く使用されている。参考例として、硬質ウレタンフォーム保温材の独立気泡構造の拡大写真を図3に示す。



図2 けい酸カルシウム保温材による配管の施工例

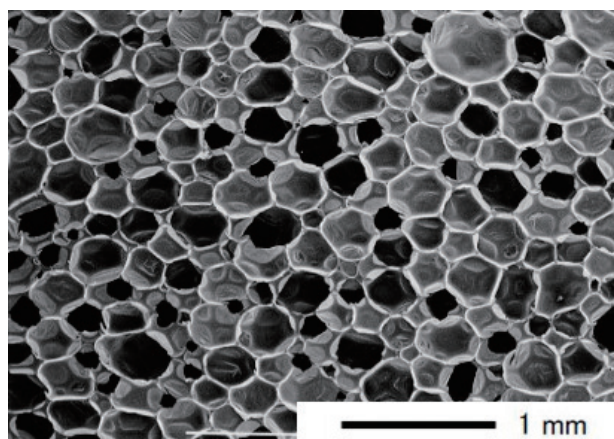


図3 硬質ウレタンフォーム保温材の独立気泡構造の拡大写真(例)

#### 3.3.1 硬質ウレタンフォーム保温材

硬質ウレタンフォーム保温材は、ポリイソシアネート、ポリオールおよび発泡剤を主原料として、発泡成形した材料からなる保温材である。

JIS A 9501に記載される製品としては、保温筒および保温板の2種類の成形品がある。成形品には、アルミニウム箔やアスファルトフェルトなどの防湿性面材と一体化されたものがある。また、発泡剤のフロン使用の有無により、ノンフロン系のA種と、フロン系のB種に分かれている。

硬質ウレタンフォーム保温材の長所としては、 $-200^{\circ}\text{C}$ 近くまで寸法的に安定であることがあげられ、液化天然ガス（LNG、 $-162^{\circ}\text{C}$ ）など極低温領域の保冷に使用される代表的な保冷材である。

また、現場において原液を混合し発泡（現場発泡）することにより、ウレタンフォームからなる継ぎ目のない断熱層を形成できることも、他の材

料には無い優れた特徴である。保冷施工においては、冷気の漏れによる保冷材表面への結露や結氷を防ぐために、外気に通じる隙間を設けない構造が必要となる。そのため、施工対象物への直接吹き付けや、成形品同士の目地などへの注入により隙間の充填ができるウレタンフォームの現場発泡工法は重宝されている。

当社では、「フォームナート®」ブランドの保温板、保温筒や、現場施工用の注入発泡原液の製品を品揃えしている（図4）。これらの製品は全て、発泡剤に炭酸ガスを主として使用したノンフロン製品である。

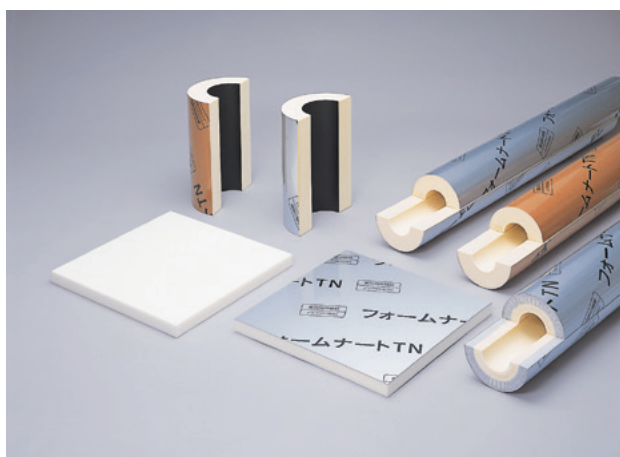


図4 硬質ウレタンフォーム保温材「フォームナート®」製品

### 3.3.2 ポリスチレンフォーム系保温材

ポリスチレン樹脂を原料とする発泡プラスチック保温材は、その製造方法によって、ビーズ法ポリスチレンフォーム保温材と、押出法ポリスチレンフォーム保温材に分類される。

ビーズ法ポリスチレンフォーム保温材は、ポリスチレンまたはその共重合体に発泡剤、難燃剤、添加剤を加えたものからなる予備発泡ビーズを金型内で発泡成形した材料である。一般に「発泡スチロール」と呼ばれる広く目にする材料であり、保冷材や水道管の凍結防止用途に使用されることが多い。

一方、押出法ポリスチレンフォーム保温材はポリスチレンまたはその共重合体に発泡剤、難燃剤、添加剤を熔融混合し、連続的に押出発泡成形した材料である。低温・冷凍倉庫の保冷材や、住宅な

どの建材向けの断熱材としてもよく使用される。

ポリスチレンフォーム系保温材の特徴としては、軽量で耐久性、耐水性、施工性に優れている点が挙げられ、約 $-50 \sim 70^{\circ}\text{C}$ の温度域で広く使用される材料である。

また、ポリスチレンフォーム系保温材は有機溶剤、石油類には侵されやすいため注意が必要である。接着剤、塗料を使用する場合には、原則として指定の水系またはアルコール系を使用する必要がある。

## 3.4 その他の保温材について

JIS A 9501には規定されていないが、プラントで使用されることがある保温材について一部紹介する。

### 3.4.1 エアロジェルブランケット

エアロジェルブランケットは、超微粒子シリカの二次粒子からなる低熱伝導物質であるエアロジェルを繊維質のマットに担持させた保温材である。米国Aspen Aerogels, Inc.より「パイロジェル™ XTE」などの商品名で上市されている。

パイロジェルXTEは、ガラスマットを基材にエアロジェルを担持させたフレキシブルで薄型、低熱伝導率、はっ水性、水蒸気透過性の特徴を有する保温材である。パイロジェルXTEの温度 $150^{\circ}\text{C}$ における熱伝導率は、ロックウール保温材や、けい酸カルシウム保温材の約 $1/2$ であり、保温材厚みが $1/2$ で、これらの従来保温材と同等の保温性能を発揮する。

### 3.4.2 高温断熱ウール

高温断熱ウールとは、リフラクトリーセラミックファイバー（RCF）とアルミナファイバーおよびアルカリアースシリケート（AES）ウールなどの総称である。

$1000^{\circ}\text{C}$ 以上の高温域においても使用可能な繊維質の保温材であり、けい酸カルシウム保温材やロックウール保温材では対応できない高温領域において主に使用される。

当社では、「ファインフレックス BIO®」ブラン

ドの高温断熱ウール製品を品揃えしている(図5)。ファインフレックスBIOは、環境問題に対する意識の高まりを受け、当社が独自に開発した耐熱性に優れたアルカリアースシリケート(AES)ウールである。



図5 アルカリアースシリケートウール「ファインフレックスBIO®」製品

### 3.4.3 泡ガラス保温材

泡ガラス保温材は、多泡質ガラスとも呼ばれ、ガラス質からなる無機質の独立気泡構造を持つ保温材である。極低温領域の保冷から最高約400℃の高温まで幅広い温度範囲に使用可能であり、かつ不燃性という特徴を持つ。製造方法は、ガラス微粉末にカーボンを混ぜ、高温窯内で発泡焼成して作られる。不燃性であることから、硬質ウレタンフォーム保温材では火災の危険性がある液体酸素の配管保冷材や、LNG地上式タンクの底部保冷材として使用される。

## 4. 保温保冷材の選定基準

保温保冷材の選定時には、必要に応じて次の条件を考慮し決定する。

- ・使用温度範囲, 使用年数
- ・断熱性能, 透湿性, 燃焼性
- ・機械的性能および化学的安定性
- ・屋内使用時におけるホルムアルデヒドの拡散による等級区分
- ・単位体積当たりの価格
- ・工事現場状況に対する適応性
- ・配管, 機器の腐食に対する配慮

また、使用する保温保冷材の厚さについては、

経済性, 凍結防止, 結露防止, 火傷防止などの観点から、計算により決定する。

## 5. 保温保冷工事の注意事項とトラブル事例

保温保冷工事における注意事項とトラブル事例について紹介する。

保温保冷工事では、前項にあげた項目を基準として適正な保温保冷材を選定することに加えて、それらの材料を正しい手順に沿って適正に施工することが肝要となる。

### 5.1 使用温度範囲確認の重要性

保温保冷材の選定に当たり、使用温度範囲は最も重要な因子の一つである。使用温度に対して不適切な材料を使用した場合には、保温材の変形や融解、発火、脱落など重大なトラブルに繋がる恐れがある。使用温度範囲を十分に確認した上で、材料を選定することが重要である。

過去のトラブルとして、低温機器に保冷材としてポリスチレンフォーム保温材を取り付けたところ、定期的に高温でスチーム洗浄する機器であることを確認できていなく、スチームを流した際にポリスチレンフォーム保温材が溶けてしまったという事例があった。

また、人造鉱物繊維保温材は、約180℃以上ではバインダが分解し始め、形状保持ができなくなる場合がある。特に振動の大きい条件では、その性能保持が難しくなるため注意が必要である。過去のトラブルとして、振動の大きな高温の施工対象物にロックウール保温材を取り付けたところ、運転時に振動で粉砕し、点検時には保温材が消失していたという事例があった。

なお、上記2件のトラブルへの対処として、当社では、予防策として保温仕様の設計や変更時の選定前に、温度などの使用条件を確実に確認した上で保温材を選定することを徹底した再発防止策を講じている。

## 5.2 保温材の含水による熱ロスと腐食

保温材は気孔率が大きく、特に人造鉱物繊維保温材や無機多孔質保温材は連通構造のため水が浸入した場合には容易に吸水する。

保温材が吸水すると、保温材中に含まれる空気が熱伝導率の大きい水へと置き換わるため、断熱性能は大幅に低下し、熱エネルギーのロスへと繋がる。

プラントで多く使用されるけい酸カルシウム保温材について、吸水による含水率と熱伝導率の関係を調査した結果を図6に示す。保温材の含水が保温性能劣化(熱伝導率の増大)の大きな要因となる。

また、保温材の含水による影響は、断熱性能の低下ばかりでなく、保温材と直接接触する機器や配管の金属腐食を促進する。特に保温された配管の表面は、水分の存在により腐食が生じやすい環境であることが問題となっており、この部分に生じる腐食を「保温材下配管外面腐食(CUI)」と呼ぶ。CUIの事例を図7に示す。

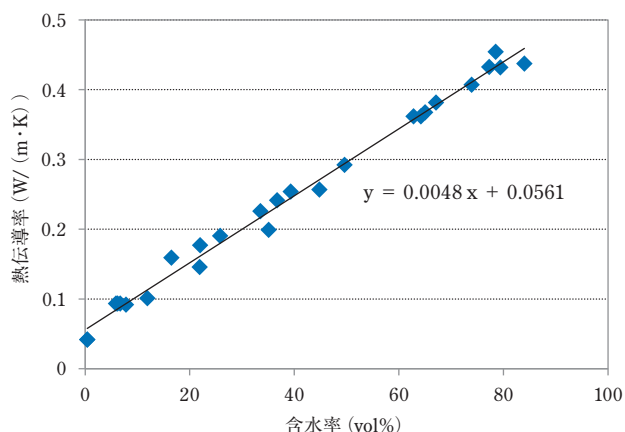


図6 20°Cにおけるけい酸カルシウム保温材の含水率と熱伝導率の関係



図7 保温材下配管外面腐食(CUI)の例

保温工事における熱ロス対策および腐食対策としては、防水が有効な手段であり、以下の点に留意が必要である。

- 保温材の輸送、保管時および施工中は、十分に防水対策を行うこと。
- 極力、はっ水性の保温材を使用すること。ただし、はっ水処理された無機多孔質保温材に使用されるはっ水剤は約200～250°Cで分解し、それ以上の温度でははっ水性を保持できないため注意が必要である。
- 外装材の隙間などからは、水分が浸入しやすいため、外装板の切欠き部分はシーリング材で雨水侵入対策をするとともに、外装板の点検を定期的に行うこと。

## 6. おわりに

本稿では、プラント設備において施工される代表的な保温保冷材の種類および、その特徴や選定基準について、注意事項やトラブル事例を交えて解説した。

当社では、プラントの保温保冷施工に向けた断熱材製品および工事のトータルシステムを長年にわたり提供してきた。今後も保温保冷施工を通じて、地球温暖化防止など社会に貢献できれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 一般社団法人 日本規格協会、一般社団法人 日本保温保冷工業協会「保温 JIS解説(2019年版)」
- 2) 一般社団法人 日本保温保冷工業協会「2021年度版 熱縁施工ハンドブック」

- \*「フォームナート」はニチアス(株)の登録商標です。
- \*「ファインフレックスBIO」はニチアス(株)の登録商標です。
- \*「パイロジェル」はAspen Aerogels, Inc.の製品であり同社の商標です。
- \*本稿のデータは参考値であり、保証値ではございません。

### 筆者紹介



#### 小野寺 和也

基幹産業事業本部 プラント技術部  
技術開発課