

〈製品紹介〉

## 金属保温材

基幹産業事業本部 工事業業部 工事技術部

### 1. はじめに

金属保温材<sup>注1)</sup>は原子力発電所向けの保温材として1974年、米社からの技術導入以来、今日まで長年にわたり採用されてきた製品です。近年ではECCS（非常用炉心冷却系統）閉塞事象<sup>注2)</sup>の対策保温材として反射型金属保温材が各原子力発電所に採用されてきました。金属被覆保温材についても同様に原子力発電所に採用されてきましたが、ECCS閉塞事象防止の観点から施工区域の制限、反射型金属保温材への交換がされてきています。

反射型金属保温材、金属被覆保温材とも長年にわたって原子力発電所向けに採用されてきましたが、その間に数々の改良が加えられ現在に至っています。特に改良型金属被覆保温材については火力発電所でも採用されるようになってきました。本稿では改良型金属保温材、改良型金属被覆保温材について紹介します。

注1) 本稿記載の「金属保温材」は弊社製品を示します。

注2) ECCS（非常用炉心冷却系統）閉塞事象：

原子炉廻りの主要配管が破断したなどで原子炉水位が低下した時、炉心が露出することを防止し冷却を継続するための系統で、ポンプに設置されているストレーナが断熱材、塗料、ラベルなどにより目詰りを起こし、炉心に冷却水の供給ができなくなる事象。

### 2. 製品の概要

#### 2.1 金属保温材の種類

金属保温材は、大別すると、内部構造により反射型金属保温材と金属被覆保温材に分類され、さらに使用材質、充填材ほかの仕様により標準型、改良型、付加機能型に分類されます。（図1参照）

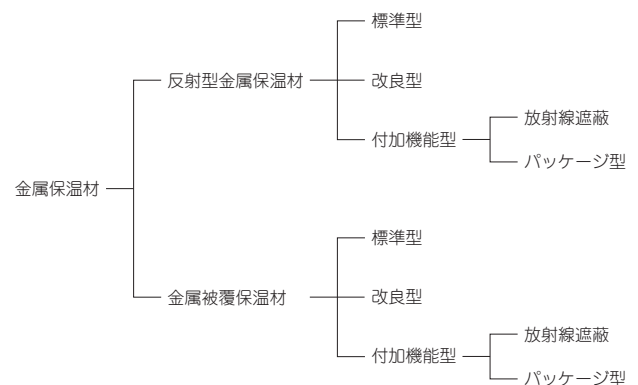


図1 金属保温材の体系

ほとんどが原子力発電所向けですが、改良型金属被覆保温材については火力発電所にも採用されています。

#### 2.2 構造

##### 2.2.1 反射型金属保温材

熱の伝わり方には伝導、対流、ふく射があります。反射型金属保温材はケース内の空気層の伝導と対流による伝熱量を小さくすると共に、金属箔によりふく射伝熱を制限（ $n$ 枚の遮蔽板で $1/(n+1)$ に減少する）することによって断熱性能を発揮する保温材です。

反射型金属保温材の構造を図2に示します。ステンレス鋼板で構成されたケースに特殊加工した金属箔を積層した構造です。特殊加工した金属箔の材質もステンレス鋼です。

改良型は図2③サイドクロージャー、④エンドクロージャーに低熱伝導鋼板を使用した製品であり、付加機能型は標準型、改良型の製品に放射線遮蔽材である鉛板など、あるいはヒータを組み込み、放射線遮蔽、加熱など複数の機能を

No.	品名
1	アウタープレート (外板)
2	インナープレート (内板)
3	サイドクロージャー (側板)
4	エンドクロージャー (端板)
5	オーバーラップ
6	Zスペーサー
7	バックル (オス)
8	バックル (メス)
9	ハンドル
10	ステンレス箔
11	ステンレス箔 (千鳥穴閉止用)
12	ステンレス箔 (丸穴閉止用)

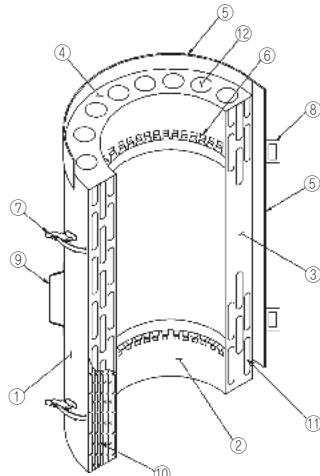


図2 反射型金属保温材の構造

No.	品名
1	アウタープレート (外板)
2	インナープレート (内板)
3	サイドクロージャー (側板)
4	エンドクロージャー (端板)
5	オーバーラップ
6	Zスペーサー
7	バックル (オス)
8	バックル (メス)
9	ハンドル
10	NU-MG フェルト
11	ステンレス箔 (千鳥穴閉止用)
12	ステンレス箔 (丸穴閉止用)

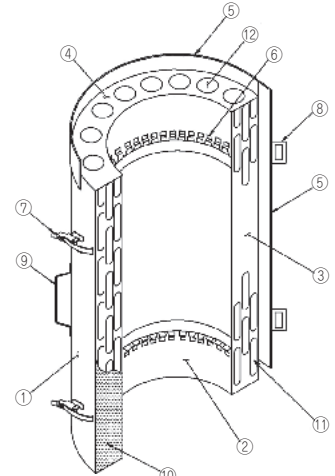


図3 金属被覆保温材の構造

持たせた製品です。

### 2.2.2 金属被覆保温材

金属被覆保温材の構造を図3に示します。ステンレス鋼板で構成されたケースにNU-MGフェルト™ (ロックウール保温材) などの繊維質保温材を充填した構造です。改良型は反射型金属保温材と同様に③サイドクロージャー、④エンドクロージャーに低熱伝導鋼板を使用し、充填材にパイロジェル™ XTを単独あるいはNU-MGフェルト™ などの繊維質保温材と併用した製品

です。付加機能型は反射型金属保温材と同様に、鉛板などあるいはヒータを組み込み、複数の機能を持たせた製品です。

## 3. 金属保温材の断熱性能

### 3.1 標準型金属保温材の性能

標準型反射型金属保温材の大きさの違いによる放散熱量を表1に示します。

表2に金属被覆保温材の違いによる放散熱量の変化を示します。

表1 標準型反射型金属保温材の放散熱量

項目	単位	□1000	□500	
内部温度	℃	302	302	
外気温度	℃	57	57	
風速	m/s	0	0	
厚さ	エアスペース	mm	12.7	12.7
	保温材	mm	100	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000	500
	縦	mm	1000	500
保温材		SUS箔	SUS箔	
ジョイント		長穴, 丸穴	長穴, 丸穴	
パネルの位置		水平	水平	
放散熱量	一般	W/m <sup>2</sup> (パネル)	139.3	34.8
	エンドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	14.0	7.0
	サイドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	18.3	9.2
	全体	W/m <sup>2</sup> (パネル)	171.7	51.0
	全体	W/m <sup>2</sup>	171.7	204.1

表2 標準型金属被覆保温材の放散熱量

項目	単位	□1000	□500	
内部温度	℃	302	302	
外気温度	℃	57	57	
風速	m/s	0	0	
厚さ	エアスペース	mm	12.7	12.7
	保温材	mm	100	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000	500
	縦	mm	1000	500
保温材		ロックウール2号	ロックウール2号	
ジョイント		長穴, 丸穴	長穴, 丸穴	
パネルの位置		水平	水平	
放散熱量	一般	W/m <sup>2</sup> (パネル)	124.9	31.2
	エンドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	14.0	7.0
	サイドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	18.3	9.2
	全体	W/m <sup>2</sup> (パネル)	157.2	47.4
	全体	W/m <sup>2</sup>	157.2	189.6

一般保温の熱計算では断熱材のブロックのサイズには関係なく一定の断熱性能です。しかし金属保温材ではパネルのサイズが小さくなると、エンド、サイドクロージャーからの放熱量の比率が大きくなり断熱性能は低下（放散熱量が増大）します。エンド、サイドクロージャーからの放熱量の割合は実機サイズに近い500×500のサイズでは反射型金属保温材、金属被覆保温材とも30%を超えています<sup>注3)</sup>（ただし、要求される断熱性能は有しています）。この割合はエンド、サイドクロージャーからの放熱を極力少なくするよう穴あけ加工を施した製品の場合ですが、穴あけ加工なしのステンレス板を使用した場合、この比率はさらに増加します。

注3)

標準型反射型金属保温材：(7.0+9.2) ÷ 51.0 × 100 = 31.7%

標準型金属被覆保温材：(7.0+9.2) ÷ 47.4 × 100 = 34.1%

### 3.2 改良型の放熱量低減対策

前項のように、実機形状のパネルではエンドクロージャー、サイドクロージャーからの放熱量は約30%を占めます。この部分からの放熱を低減するためにステンレス材でありながら熱伝導率の低い低熱伝導鋼板を採用したものが改良型の製品です。

低熱伝導鋼板は表3に示すよう熱伝導率がステンレス板に比べ約1/20であり当該材料の使用箇所からの放熱量の抑制に寄与します。

表3 低熱伝導鋼板の物性値

項目	物性値他
材質	SUS316K
熱伝導率 W/(m·K)	0.75
厚さ mm	1.0
見掛け密度 kg/m <sup>3</sup>	2600

改良型金属被覆保温材はエンドクロージャー、サイドクロージャーへの低熱伝導鋼板の採用に加え、一般部分からの放熱を低減するためにパイロジェル™ XTを採用し、さらに断熱性能を高めた改良型金属被覆保温材もあります。パイロジェル™ XTの物性値を表4に示します。

表4 パイロジェルXTの物性値

項目	物性値
熱伝導率参考式 W/(m·K)	0.02189+3.79E-5×θ-3.54E-8×θ <sup>2</sup> +3.06E-10×θ <sup>3</sup>
密度 kg/m <sup>3</sup>	180 (代表値)

#### 3.2.1 改良型反射型金属保温材の断熱性能

改良型反射型金属保温材の熱計算結果を表5に示します。

標準型反射型金属保温材と比べると、放散熱量は□1000のサイズで84.9%、実機サイズに近い□500のサイズで74.7%となると同時にエンド、サイドクロージャーからの放熱割合は10%以下に抑えられています。実機サイズでは標準型金属保温材の厚さの75%前後で要求される断熱性能を発揮することから保温厚さの低減が可能となります。

表5 改良型反射型金属保温材の放散熱量

項目	単位	□1000	□500	
内部温度	℃	302	302	
外気温度	℃	57	57	
風速	m/s	0	0	
厚さ	エアスペース	mm	12.7	12.7
	保温材	mm	100	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000	500
	縦	mm	1000	500
保温材		SUS箔	SUS箔	
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板	
パネルの位置		水平	水平	
放散熱量	一般	W/m <sup>2</sup> (パネル)	139.3	34.8
	エンドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3	1.6
	サイドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3	1.6
	全体	W/m <sup>2</sup> (パネル)	145.9	38.1
		W/m <sup>2</sup>	145.9	152.5

### 3.2.2 改良型金属被覆保温材の断熱性能

改良型金属被覆保温材の計算結果を表6, 7に示します。

標準型金属被覆保温材と比べると放散熱量は□1000で低熱伝導鋼板使用の場合83.6%, □500では72.8%, 低熱伝導鋼板+パイロジェル™ XT

表6 改良型金属被覆保温材の放散熱量 (低熱伝導鋼板)

項目	単位	□1000	□500
内部温度	℃	302	302
外気温度	℃	57	57
風速	m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7
	保温材	mm	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000
	縦	mm	1000
保温材		ロックウール2号	ロックウール2号
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板
パネルの位置		水平	水平
放散熱量	一般	W/m <sup>2</sup> (パネル)	124.9
	エンドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3
	サイドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3
	全体	W/m <sup>2</sup> (パネル)	131.4
		W/m <sup>2</sup>	131.4

表7 改良型金属被覆保温材の放散熱量 (低熱伝導鋼板+パイロジェルXT)

項目	単位	□1000	□500
内部温度	℃	302	302
外気温度	℃	57	57
風速	m/s	0	0
厚さ	エアスペース	mm	12.7
	保温材	mm	100
1ブロックの長さ	横	mm	1000
	縦	mm	1000
保温材		パイロジェルXT	パイロジェルXT
ジョイント		低熱伝導鋼板	低熱伝導鋼板
パネルの位置		水平	水平
放散熱量	一般	W/m <sup>2</sup> (パネル)	63.1
	エンドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3
	サイドクロージャー	W/m <sup>2</sup> (パネル)	3.3
	全体	W/m <sup>2</sup> (パネル)	69.7
		W/m <sup>2</sup>	69.7

併用 (保温厚さは変更しない場合) で□1000の場合44.3%, □500の場合40.2%まで低減されます。このことから火力発電所のように運転温度の高いプラントでも保温厚さを制限されことなく採用が可能となってきています。

以上述べてきた金属保温材の施工例を図4に示します。

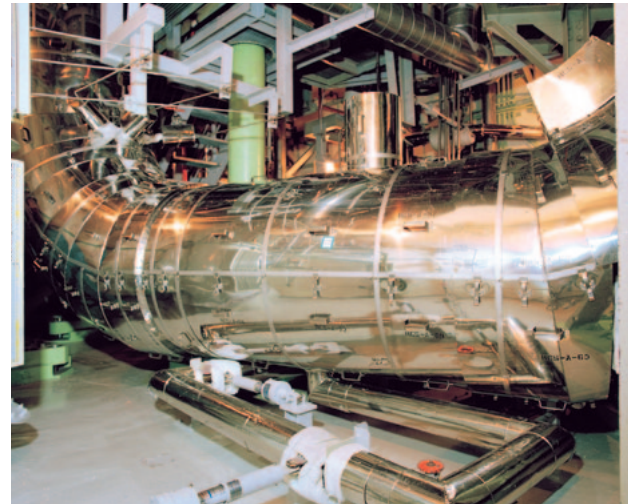


図4 金属保温材の施工例

## 4. おわりに

改良型金属保温材や改良型金属被覆保温材の採用により原子力発電所では空間を広く取ることができ、定期検査時の作業性改善の面から非常に有効です。また、従来は断熱性能に不足があり使用できなかった火力発電所への使用も出来るようになりました。特に着脱の必要なタービン水平継手部の断熱材として実績を伸ばしています。このように弊社の金属保温材は原子力発電所に限らず、火力発電所でもご採用いただいています。

本製品に対するお問い合わせは基幹産業事業本部 工事事業部 工事技術部 火力原子力課までお願いいたします。

\* 「パイロジェル」は aspen aerogels 社の商標です。

\* 「MU-MGフェルト」はニチアス(株)の商標です。

\* 本稿の数値は保証値ではありません。