

# 金属保温材の断熱設計手法の紹介

基幹産業事業本部 プラント技術部 火力原子力課 小早川 拓也

## 1. はじめに

金属保温材は断熱性以外に多くの利点を持ち合わせた断熱材であるため原子力発電所向けの断熱材として、1974年、米社から技術導入以来、今日まで長年にわたり採用されてきた製品である。原子炉圧力容器、再循環装置、タービン水平継手、直管、曲管等あらゆる機器、配管の保温に適用でき、工事における被ばく低減や放射性廃棄物低減が要求される原子力発電所において長年にわたって採用されてきた。金属保温材の施工例を図1に示す。

金属保温材は充填材、ステンレスケースおよびバックルで構成されていることから、発じん性、施工性、機械的強度および腐食性において優れており、断熱特性が特徴的である。この断熱特性により一般的な断熱材とは異なり、ブロックサイズ

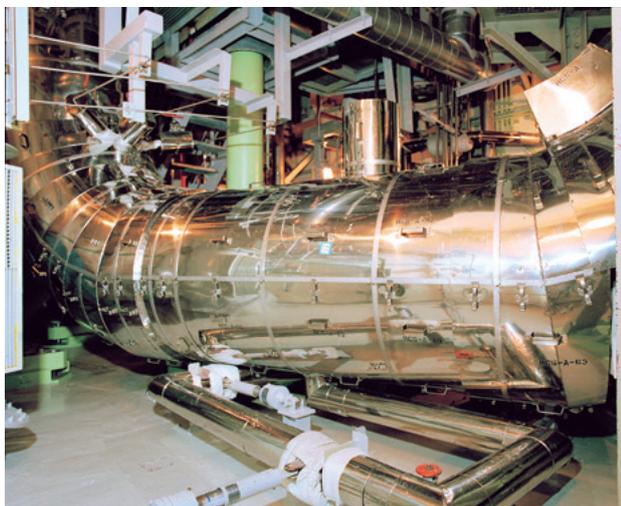


図1 金属保温材の施工例

ごとで断熱設計（断熱材厚さの設計）を行う必要がある。本稿では金属保温材の概要と断熱設計について紹介する。

## 2. 製品の概要

### 2.1 金属保温材の種類

金属保温材は内部充填材の違いにより、反射型金属保温材と金属被覆保温材の2種類に分類される。さらに放射線遮へいを目的とした鉛入りの仕様や目地部の材質、形状を改良した仕様もあり、使用用途、取付場所に応じた金属保温材が採用されている。

### 2.2 金属保温材の構造

反射型金属保温材、金属被覆保温材の構造をそれぞれ図2、図3に示す。両者ともステンレス鋼板で組み立てたケースと内部充填材で構成された

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）

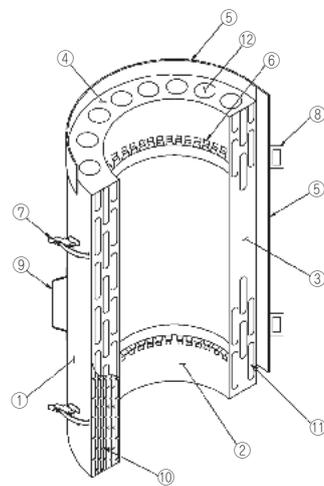


図2 反射型金属保温材の構造

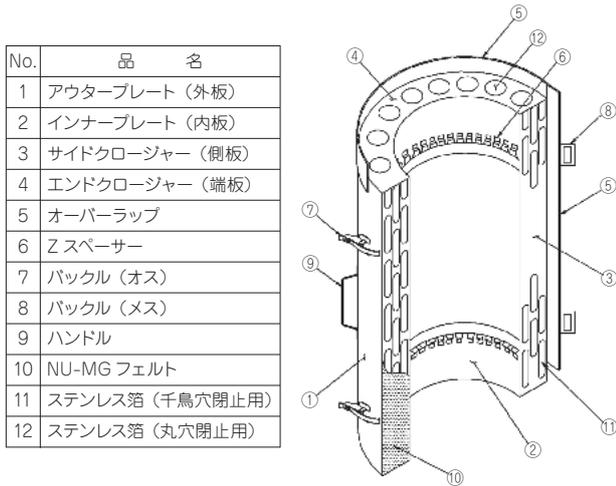


図3 金属被覆保温材の構造

構造であり、反射型金属保温材は特殊加工したSUS箔が積層され、金属被覆保温材はロックウール保温材が充填されている。また、ケースにはバックルが取り付けられているため、施工時の着脱が容易な構造となっている。

## 2.3 金属保温材の断熱特性

### 2.3.1 放散熱量

金属保温材の断熱特性はロックウール保温材やけい酸カルシウム保温材のような一般的な断熱材と異なる。一般的な断熱材はブロックサイズにかかわらず一定の断熱性能とする一方で、金属保温材は汎用的な断熱材と比較して目地部の影響が大きいため、ブロックサイズに応じて放散熱量が変化する。金属保温材の目地部を含めた放散熱量を測定するため、当社ではJIS A 1412-3に基づく円筒法を実施している。

円筒法は円筒状の断熱材の放散熱量を測定する方法の一つである。試験装置概略を図4に示す。

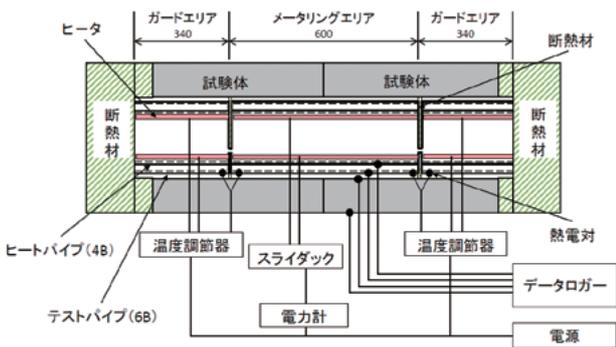


図4 円筒法の試験装置概略

試験装置は加熱管 (メータリングエリア, ガードエリア), 恒温室, 温度測定器, スライダック, 温度調節器, 電力計などによって構成されている。テストパイプのメータリングエリアを所定の温度に加熱し、定常状態時におけるメータリングエリアへの印加電力を測定することにより、試験体の放散熱量を測定する装置である。円筒法による金属保温材の放散熱量測定例を図5に示す。

### 2.3.2 充填材

反射型金属保温材はステンレスで構成されたケース内にSUS箔を積層することで断熱性能を発揮する断熱材である。充填材の伝熱のイメージを図6に示す。SUS箔を複数枚充填することで、熱ふく射の反射およびケース内の熱対流の抑制を可能にするとともに、SUS箔をデンプル状に特殊加工することでSUS箔同士の接触面積を小さくし、熱伝導を抑制している。

$n$ 枚の箔を反射型金属保温材のアウタープレート、インナープレートの中に充填するとき、ふく射の熱流束は(1)式で表される。このとき $q$  [ $W/m^2$ ]は熱流束、 $\sigma$  [ $W/m^2 \cdot K^4$ ]はステファン・ボルツマン

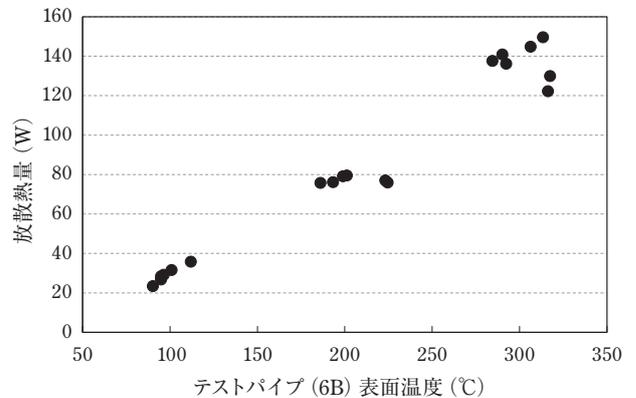


図5 円筒法による放散熱量測定例

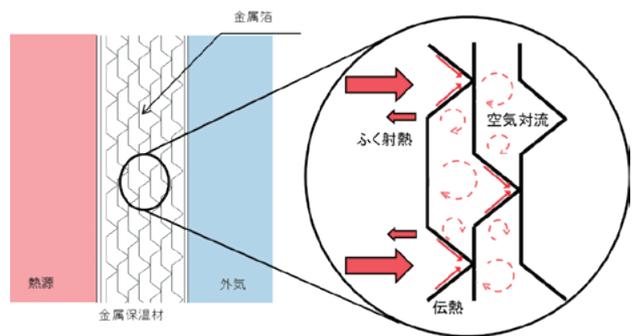


図6 充填材の伝熱イメージ

定数,  $\varepsilon$ [-]はふく射率,  $T_{pi}$ [°C]はインナープレート温度,  $T_{po}$ [°C]はアウトプレート温度である。このように, 複数枚のSUS箔を充填することで  $1/(n+1)$  に比例してふく射の熱流束を低減することができる。

$$q = \frac{\sigma(T_{pi} - T_{po})}{(n + 1) \left(\frac{2}{\varepsilon} - 1\right)} \dots\dots\dots (1)$$

### 3. 金属保温材の断熱設計

#### 3.1 放散熱量

前述したとおり, 金属保温材の断熱特性は一般的な断熱材と比較して目地部の影響が大きい。そのため, 当社では目地部を考慮した断熱設計を行っている。金属保温材の放散熱量は一般部(充填材)からの放散熱量と目地部(エンドクロージャーおよびサイドクロージャー)からの放散熱量の合計で表され, (2) 式のとおりである。 $Q$ [W/m]は金属保温材全体の放散熱量,  $Q1$ [W/m]は一般部(充填材)の放散熱量,  $Q2$ [W/m]はエンドクロージャーの放散熱量,  $Q3$ [W/m]はサイドクロージャーの放散熱量である。 $Q2$ および $Q3$ の放射熱量については, エンドクロージャーおよびサイドクロージャーの材質や形状から算出した値を使用している。(2) 式により金属保温材の形状, サイズごとに放散熱量を算出し, 断熱材厚みを設計している。

$$Q = Q1 + Q2 + Q3 \dots\dots\dots (2)$$

#### 3.2 充填材熱伝導率

反射型金属保温材の場合, (2) 式における $Q1$ は熱伝導率測定値を元に算出する。反射型金属保温材は内部充填材が非均質構造であるため, 当社では ASTM C 236 に基づく Guarded Hot Box Method (以下, GHB法)による熱伝導率測定を実施している。

GHB法は断熱材の熱伝導率測定の一つであり, 不均質な材料の測定に用いる方法の一つである。

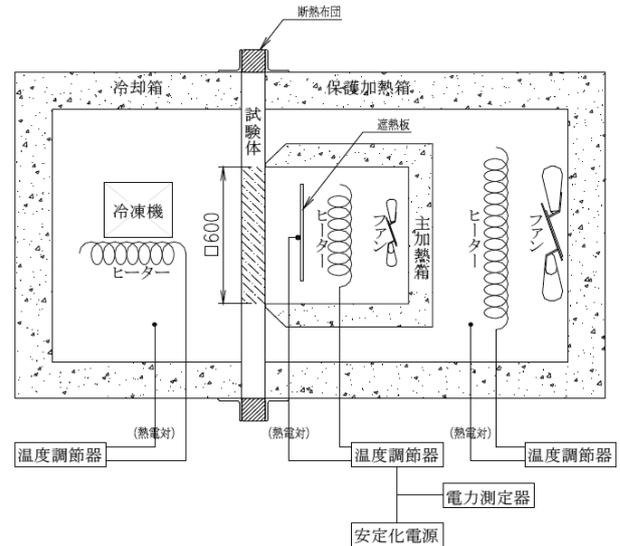


図7 GHB法試験装置概略

GHB法の試験装置概略を図7に示す。試験装置は保護加熱箱, 主加熱箱, 冷却箱, 温度測定器, 電力測定器, 温度調節器, 安定化電源などによって構成されている。箱内を所定の温度まで加熱し, 定常状態時の主加熱箱への印加電力および試験体, 箱内の温度を測定することにより, 試験体の熱伝導率を測定する装置である。測定した電力量および温度から熱伝導率を算出する。

GHB法により測定し, 算出した熱伝導率を用いて一般部(充填材)の放散熱量 $Q1$ は(3)式で求められる。このとき $T_i$ [°C]は内部温度,  $T_0$ [°C]は外気温度,  $d_1$ [m]は保温内径,  $d_2$ [m]は保温外径,  $\alpha_1$ [W/(m<sup>2</sup>·K)]は内部側の表面熱伝達率,  $\alpha_2$ [W/(m<sup>2</sup>·K)]は外部側の表面熱伝達率,  $\lambda$ [W/(m·K)]は充填材の熱伝導率である。

$$Q1 = \frac{2\pi(T_0 - T_i)}{\frac{2}{d_1 \times \alpha_1} + \frac{2}{d_2 \times \alpha_2} + \frac{\ln(d_2/d_1)}{\lambda}} \dots\dots (3)$$

### 4. おわりに

本稿では金属保温材の断熱設計について断熱特性や測定法を交えて紹介した。当社ではこれまで金属保温材の充填材や目地部構造等を改良することで軽量化や断熱性能の向上に取り組んできた。

金属保温材は長年にわたって原子力発電所において採用されてきたが、今後は技術伝承や人手不足に対応し、安定的に供給していくことが重要な課題となってくる。その取り組みの一つとして、当社では「3D スキャナ」を活用した設計を導入し、設計の省力化を図っている。お客様のニーズに継続して応えるために、今後は金属保温材の性能向上のみならず、このような省力化の技術開発にも注力していく所存である。

本稿に対するお問い合わせは、基幹産業事業本部プラント技術部 火力原子力課までお願いいたします。

## 筆者紹介



小早川 拓也

基幹産業事業本部 プラント技術部  
火力原子力課

## 引用・参考文献

- 1) 日本機械学会：伝熱工学資料 Heat transfer 改訂第5版 P.209 (2009年)
- 2) 「金属保温材」ニチアス技術時報, No. 364, p.31-34 (2014)

## 「断つ・保つ」<sup>®</sup>で明るい未来へ

さまざまな地球環境負荷の低減が求められています。  
私たちはいろいろなステージで、  
安全で快適な暮らしを作り出す製品・サービスを提供します。  
ニチアスは、そんな明るい未来の実現に貢献していきます。



 **ニチアス**



増し保温® 工法

保冷工事

GASKET工房™

# 極低温から超高温にいたる領域で、 独自技術を駆使した エンジニアリングサービスを 提供しています。

## プラント向け各種工事

- ・断熱(保温・保冷)工事
- ・耐火工事
- ・電気ヒータトレース工事
- ・防音工事

## 省エネ対策提案

Thermofit®

## 保温メンテナンス工事

増し保温® 工法

## シール材販売

### 各種ガスケット

- ・NAジョイントシート
- ・ボルテックス® ガスケット
- ・膨張黒鉛ガスケット など

### 各種グランドパッキン

- ・スーパーシールパッキン
- ・ナフロン® ファイバーパッキン-T など

## ガスケット

### ソリューションサービス

- ・ガスケットLab™
- ・GASKET工房™
- ・ガスケットNAVI™
- ・BT Master™

※®が付されている名称はニチアス(株)の登録商標です。  
 ※TMが付されている名称はニチアス(株)の商標です。

