特集 高速増殖炉もんじゅ発電所用機器

U.D.C. 621.039.526.034.6:621.64/.65.037:546.17-143

高速増殖炉もんじゅ発電所 ナトリウム機器の設計・製作

Design and Fabrication of Auxiliary Sodium Components for the Prototype Fast Breeder Reactor "MONJU"

高速増殖炉ではナトリウムの純度管理,移送,貯留などのナトリウム取り扱 い技術が基本技術として必要とされ、高速増殖炉の開発の当初から種々の研究 開発と使用実績が積み重ねられてきた。高速増殖炉もんじゅ発電所向けナトリ ウム機器は、これらのナトリウム技術を基に発電プラント機器としての諸機能 を付加して設計・製作された。コールドトラップについては、研究開発と数多 くの運転実績に基づいて構造を決定した。プラギング計、ナトリウムサンプリ ング装置および電磁ポンプは、新たな機能と高信頼性の要求に対してモックア ップ試験によって性能を確認した。また、大型タンクおよびガードベッセルに ついては、熱応力緩和構造を採用するとともに、厳しい寸法精度の要求に対し て高精度組立、狭開先溶接技術などを適用して完成に至った。

井上達也*	Tatsuya Inoue
阿部興司**	Kôji Abe
今川信作**	Shinsaku Imagawa
高橋庸一**	Yôichi Takahashi
前谷弘道**	Hiromichi Maetani

1 緒 言

高速増殖炉では冷却材にナトリウムを使用するため,発電 プラント技術に加えてナトリウムの取り扱いに関する諸技術 が必要とされる。これらの技術としては、ナトリウムの純度 管理、移送および貯留、さらにアルゴンガス系でのナトリウ ムベーパの捕獲技術などが特徴的である。技術内容としては、 ナトリウムの気相,液相,固相の相変化や導電体への電磁力 作用などの特殊な領域の技術を含んでいる。これらのナトリ ウム取り扱い技術は、高速増殖炉の開発の当初からその研究 開発いが行われており、種々のナトリウムループでの実績とし ては枚挙にいとまがないほどである。高速増殖炉もんじゅ発 電所(以下,「もんじゅ」と略す。)用のナトリウム機器は,動 力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターなどでの各種使用 実績の検討・改善の繰り返しによってたゆみなく錬磨された 技術をもとに、発電プラントとしての諸機能設計の付加と高

発電用の熱輸送を直接行うものではなく補助設備に属するも 窒素ガス流路が設けられている。ナトリウムは上部に設けら のであるが、高速増殖炉の円滑な運転に重要な役割を果たす れた入口ノズルから流入し,機器内の外周部に配置された冷 ものであり、機能的な信頼性が必要とされている。 却管の外側を流下する。この過程でナトリウムは約180℃から ここでは、これらのナトリウム機器のうちで、ナトリウム 約120℃に冷却され、ナトリウム中の不純物濃度は過飽和の状 * 動力炉·核燃料開発事業団 動力炉建設運転本部 ** 日立製作所 日立工場 45

純化系機器(コールドトラップ,プラギング計,ナトリウムサ ンプリング装置)、ナトリウム移送のための電磁ポンプおよび ナトリウム貯留のための大型タンク、ガードベッセルについ て述べる。

ナトリウム純化系機器の設計・製作 2

2.1 コールドトラップ

2.1.1 設計概要

1次ナトリウム純化系コールドトラップは、冷却材に液体 ナトリウムを使用する高速増殖炉特有の機器の一つであり, ナトリウム中の酸素など、不純物の溶解度が温度の低下とと もに減少することを利用して、内部に充てんしたメッシュに よってナトリウム中の不純物を捕獲し純化するものである。

コールドトラップの構造を図1に示す。コールドトラップ 度の品質管理により、平成元年8月にその製作・据付けを完 の中央部には、渦巻状に整形されたステンレス製メッシュが 了した。 8段組み込まれており、その外側には断熱ガス層および冷却 これらのナトリウム機器は、原子炉冷却系設備のなかでは 管が配置されている。上下にはナトリウムを冷却するための 1036 日立評論 VOL. 71 No. 10(1989-10)



図 | コールドトラップ構造図 強制窒素ガス冷却式メッシュ充塡 (てん)型の構造であり、ナトリウム中の不純物が中央部のメッシュに捕 獲される。



図2 コールドトラップ完成外観 コールドトラップには、工場内 で予熱ヒータ、保温材を取り付け、さらにその外側に放射線遮へい体を 組み立てた状態で出荷した。

態となる。ナトリウムは機器内下部で反転して、メッシュの 側面部と断熱ガス層との間の環状域を上昇し、各メッシュ側 面部からメッシュの中心部へ流れる。このメッシュを通過す る過程で、過飽和状態のナトリウム中不純物はメッシュに捕 獲され、ナトリウムは純化される。メッシュの中心部に集ま ったナトリウムは上方に流れ、上部中央に設けられた出ロノ ズルから機器外へ流出する。一方、窒素ガスは下部室で冷却 管内に分流され、管内を上昇しながらナトリウムを冷却して 上部室から機器外へ流出する。

本コールドトラップのナトリウム中不純物の捕獲容量は, 酸素換算にして約70kg/基であり,捕獲に必要なメッシュ容積 は,長年にわたる研究開発の結果得られた実験式から約1m³/ 基として設計されている。

完成外観を図2に示す。

2.1.2 研究開発経緯

46

コールドトラップは、ナトリウム技術開発の当初から基本 技術の一つとして研究開発が積み重ねられてきた。この間、 性能向上とともに容量増大をも考慮して構造の改善が種々図 構造として実績を踏まえてきている。また、ナトリウム冷却 方式については、冷却効果の良い冷却管内蔵方式を高速実験 炉「常陽」(以下、「常陽」と略す。)での実施例に基づき採用し ている。ナトリウムのメッシュへの流入方式としては、開発 当初はメッシュの下面から流入する方式がとられたが、本コ ールドトラップでは、不純物の有効捕獲部を広げるために全 側面流入方式を採用している。なお、本方式はすでに「常陽」 および動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センターのナトリ ウム試験ループ用コールドトラップに採用されその効果を確 認している。さらに、冷却後のナトリウムへの熱流入を抑制 するため、ナトリウム試験ループ用コールドトラップの使用 実績に基づいて、断熱ガス層構造を採用している。

2.2 プラギング計

2.2.1 設計概要

1次ナトリウム純化系プラギング計は,前述のコールドト ラップと同様に,ナトリウム中の酸素など不純物が温度の低 下とともに過飽和となり析出する現象を利用して,ナトリウ ム中の酸素濃度を測定するものである。

られてきており、そのすべての成果が本コールドトラップに	プラギング計の系統構成を図4に示す。プラギング計は,
集約されている。コールドトラップの開発経緯を図3に示す。	ナトリウムの循環および温度制御のための電磁ポンプ、冷却
コールドトラップの基本構造のうちで、ナトリウムの流れ方	管,冷却加熱管と、ナトリウム中不純物の析出および検出の
式(流下時冷却・反転上昇時不純物捕獲)およびメッシュ仕様	ためのオリフィスならびに電磁流量計とで構成され、これら
(メリヤス織りメッシュ渦巻形)については、当初からの基本	の機器が接続配管をも含めて一つの型枠内に配置されたユニ





(a)「常陽」1次系コールドトラップ



(c) ナトリウム流動伝熱試験装置 コールドトラップ(3号機)

	プラントなど 項目	「常陽」1次系 (昭和47年)	大型機器試験装置* (昭和50年)	ナトリウム流動伝熱試験装置* (昭和54年)	「もんじゅ」1次系 (平成元年)
1	ナトリウム冷却方式	冷却管内蔵	冷却管内蔵	外胴冷却	冷却管内蔵
2	メッシュ流入方式	下面+部分側面	下面+部分側面	全側面	全側面
3	熱流入抑制構造	下端開放ガス層	均圧封入ガス層	密封断熱ガス層	密封断熱ガス層

注:* 動力炉・核燃料開発事業団大洗工学センター内

図 3 コールドトラップ開発経緯 「もんじゅ」コールドトラップには、「常陽」およびナトリウム試験装置用コールドトラップでの実績構造が 反映されている。

ット装置となっている。本ユニットに流入したナトリウムは、 冷却管を経て冷却加熱管で所定の温度に制御されたのち、オ リフィス部に至る。オリフィス部では、ナトリウム温度に対 して不純物溶解度との関係により不純物の析出または溶解が 生じることになるが、この析出・溶解を平衡させる(オリフィ ス部流量とプラギング計主流量の比が一定となる)ようにナト リウム温度を制御することによって酸素飽和溶解温度、すな わちナトリウム中の酸素濃度を知ることができる。

本プラギング計では、この酸素濃度測定を自動連続および 手動の両方式により実施することが可能であり、純度測定範 囲は酸素飽和溶解温度(プラギング温度)にして約120~200℃ である。



2.2.2 性能確認試験

プラギング計の基本構成はほぼ定まっており,十数年来の 運転実績を持っているものであるが,「もんじゅ」用の本プラ

注:略語説明 TE(温度計)

図 4 プラギング計系統構成 強制冷却オリフィス方式を採用して おり、オリフィス後流の電磁流量計はバイパスオリフィス側に設置して、 計測信号でのSN比の向上を図った。

47

1038 日立評論 VOL. 71 No. 10(1989-10)

ギング計では、さらに純度測定範囲が拡張されていることな ど性能向上が図られていることから、事前に性能確認試験を 実施した。

性能確認試験には,実機と同一構造・寸法のプラギング計 モックアップ試験体を用いた。

試験条件としては、プラギング計入ロナトリウム温度を約 200~530 ℃の範囲に設定し、自動連続および手動測定によっ て、プラギング温度約120~200 ℃の純度測定性能を確認した。 試験結果を図5に示す。試験ループのコールドトラップ制御 温度(ナトリウム中酸素飽和温度にほぼ同等)に対して、ほぼ 等しいプラギング温度が測定されている。

2.3 ナトリウムサンプリング装置

2.3.1 設計概要

1次系ナトリウムサンプリング装置は、ナトリウム中の不 純物含有量などの成分を分析することを目的として、1次ナ トリウムを冷却・凝固して採取するものである。

サンプリング装置の構造を図6に示す。サンプリング装置 中央部にはナトリウムを採取するためのサンプリングコイル が設けられ、その周辺にサンプリングコイルの冷却ガス流路 抑制し,できるだけ一様な成分分布となっているナトリウム サンプルを採取するために,短時間に完了させることが必要 とされる。500℃以上の高温のサンプリングコイルを,冷却・ 廃棄ガス量を制限したうえで短時間に冷却するために,サン プリングコイル部の冷却ガス流路構造およびサンプリングコ イル周辺部の構造材の早期除熱構造(二重壁構造サンプリング ポット)に工夫がある。

本サンプリング装置では,約530℃の放射性ナトリウムを約5分間(目標)の冷却により,約80 cm³採取することが可能である。

2.3.2 性能確認試験

本サンプリング装置では、特に、運転操作時間の短縮化を 図る構造に変更しているため、実機と同一構造・寸法のサン プリング装置モックアップ試験体を用いて性能確認試験を実 施した。試験方法としては、サンプリングポットの二重壁内 を空気によりあらかじめ冷却した状態でサンプリングコイル 内に温度約530℃のナトリウムを封じ込めた後、実機と同様に 約80 Nm³/hの冷却ガスを流し急冷した。試験結果を図7に示 す。

を構成する二重壁構造のサンプリングポット,ナトリウム入 ロ・出口配管,冷却ガス入口・出口配管が配置されている。 また放射性ナトリウムを取り扱うことから,本装置の外側に は遮へい体が設けられる。サンプリングの方法は,サンプリ ングコイル内にナトリウムを導入し,フラッシングした後に 出入口弁を閉じサンプリングコイル部にナトリウムを封じ込 め,サンプリングコイル部を冷却ガスによって急冷すること でナトリウムを凝固させるものである。この冷却・凝固過程 はサンプリングコイル内でのナトリウム中溶解成分の偏析を



本結果により、冷却目標時間である5分以内で、サンプリングコイル内のナトリウムが凝固していることが確認された。

3 電磁ポンプ

3.1 設計概要

電磁ポンプは液体金属の導電性を利用したものであり、機





コールドトラップ制御温度(℃)

図5 プラギング計性能試験結果 試験ループのコールドトラップ 制御温度(ナトリウム中酸素濃度とほぼ同等)に近似のプラギング温度が 測定されることを確認した。

48



図6 ナトリウムサンプリング装置構造図 サンプリングコイル は、ポット中央部でナトリウム出入口管に接続される。コイル部は風導 板内に位置し、この部分で窒素ガスによって急冷される。

高速増殖炉もんじゅ発電所 ナトリウム機器の設計・製作 1039







図8 FLIP型電磁ポンプ ナトリウムを駆動するダクト部の周りに 配置されたコイルは、交換可能となっている。なおFLIPとは、Flat Linear Induction Pump(平板直線誘導型ポンプ)の略称である。

図7 サンプリングコイル冷却性能試験結果 ポットを予冷後, サンプリングコイル部を冷却ガスで急冷した結果,サンプリングコイル 部温度は5分間以内で凝固点以下となった。 表 | 電磁ポンプ主要目 電磁ポンプには信頼性の高い誘導型を採 用している。

項目	 ー次ナトリウム オーバフロー系 電磁ポンプ 	ー次メンテナン ス冷却系循環ポ ンプ	2 次メンテナン ス冷却系循環ポ ンプ
種 類	FLIP型	FLIP型	FLIP型
定格流量(m ³ /h)	約40	約140	約140
定格揚程(mNa)	約40	約20	約40

械式ポンプと比較すると、容量は制限されるがシール部分や 回転部分がなく、保守が容易であるため、「もんじゅ」でも主 冷却系用の大型ポンプ以外のナトリウム用ポンプには、電磁 ポンプが使用される。電磁ポンプは導電型と誘導型に大別さ れるが、「もんじゅ」では信頼性の高い誘導型を採用している。 誘導型には、FLIP(Flat Linear Induction Pump: 平板直線 誘導型ポンプ)とALIP(Annular Linear Induction Pump: 環 状直線誘導型ポンプ)などの種類があるが、日立製作所では、 大容量機にはコイル交換が容易なFLIP型を選択した。

FLIP型電磁ポンプは、図8に示すように、ナトリウムが流れる長方形断面のダクト、固定子(コイル、鉄心)、ケーシン グなどから構成している。原理はコイルに三相交流を通電し FLIP型電磁ポンプは、すでに「常陽」などに数多く使用さ れており、機能・構造には十分な実績を持っており、「もんじ ゅ」電磁ポンプにも、その構造が反映されている。さらに、 その製作に際しては、より高い信頼性を確保するため、銅エ ンドバー接続およびH種コイル巻線に徹底した先行開発を実 施し、生産技術の確立を行った。

3.2 性能確認試験

大容量電磁ポンプは,全数について出荷前にナトリウム実 流較正試験を実施し,所定のポンプ性能が得られることを確 認した。

4 大型タンクおよびガードベッセル

ナトリウムを貯留する大型タンクとして、1次ナトリウム

49

て移動磁界を生じさせ、ナトリウムに電流を誘導し、この移	オーバフロー系オーバフロータンク(1基), 1次ナトリウム
動磁界と誘導電流の相互作用によってポンプ作用を行うもの	充塡(てん)ドレン系ダンプタンク(3基)および1次主冷却系
である。ポンプ電源には誘導電圧調整器を用いて、電圧制御	中間熱交換器ガードベッセル(3基),1次主冷却系循環ポン
によって流量調節を行う。	プガードベッセル(3基)を設計・製作した。
電磁ポンプの主要目を表1に示す。	オーバフロータンクは、たて置き円筒形のオーステナイト

1040 日立評論 VOL. 71 No. 10(1989-10)



図9 循環ポンプガードベッセル構造図 循環ポンプガードベッ セルの内部には、循環ポンプ、オーバフローコラムおよび配管が設置さ トリウムを収納するためのものであり、たて置き形は約100 m³/基, 横置き形は約200 m³/基の容量を持っている。

1次主冷却系中間熱交換器ガードベッセルおよび循環ポン プガードベッセルは,共に長円筒形の胴体を持つオーステナ イト系ステンレス鋼(SUS304)製の開放容器で,胴体の中間部 をスカートで支持される。ガードベッセルの大きさは1次冷 却系設備からの万一のナトリウム漏えいに対しても漏えいし たナトリウムを貯留して原子炉容器内の液位を保持する大き さとしている。

循環ポンプガードベッセル構造図を図9に示す。

これらの機器は、いずれも径に比較して胴板厚が薄い大型 容器であり、特にガードベッセルについては、機能上厳しい 寸法精度が要求されるため、溶接変形の小さい狭開先ホット ワイヤティグ溶接技術や大型構造物機械加工・高精度組立技 術などを開発して製作に適用した。

5 結 言

以上, コールドトラップ, プラギング計, ナトリウムサン プリング装置, 電磁ポンプおよび大型タンクを代表としたナ トリウム機器の設計・製作について述べた。これらの機器は, 高速増殖炉の開発の当初からの種々の研究開発と使用実績を 基に発電プラント機器としての諸機能を付加したものであり, 今後の「もんじゅ」の運転で, 高性能でかつ高い信頼性を発 揮することを確信するものである。

れる。

系ステンレス鋼(SUS304)製でナトリウム収納容量は約100 m³ である。本タンクは,原子炉容器へ汲(く)み上げるナトリウ ムを収納するとともに,原子炉容器からオーバフローする高 温のナトリウムを受け入れるものである。

ダンプタンクは、たて置き円筒形(1基)と横置き円筒形(2 基)があり、約250℃以下の低温ナトリウムを収納するため炭 素鋼(SM41)製である。本タンクは、プラント運転開始前にナ トリウムを受け入れることおよびメンテナンス時に1次系ナ

参考文献

1) 舘,外:高速原型炉「もんじゅ」用ナトリウム機器の開発,日 立評論,60,2,153~158(昭53-2)

