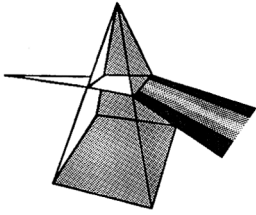


【技術報告】

FBRサイクル総合研修施設の
設計・建設

渡辺 智夫 上田 雅司 天満 昭男
岩瀬 隆司 照沼 誠一

敦賀本部 国際技術センター

資料番号：9-3

Design and Construction of the FBR Training Center

Toshio WATANABE Masashi UEDA Akio TENMAN
Ryuji IWASE Seiichi TERUNUMA

International Cooperation and Technology Development
Center, Tsuruga Head Office

サイクル機構では、原子炉プラントの安全性確保と信頼性向上のため、計画的な教育により運転・保守員の技術の向上に努めてきた。しかし、1995年12月に発生した「もんじゅ」のナトリウム漏えい事故を踏まえ、ナトリウムの取扱技術等の一層の充実・強化を図る必要性を痛感した。また、プラントの設備・機器の保守・補修技術等に関しては、多くの電力会社が実施しているように、実機、モデル等を使つての訓練の必要性も求められていた。

これらの事故の教訓と他電力の実例を参考として、教育の一層の充実強化を図り原子力発電所の信頼性を向上させるため、ナトリウム取扱研修施設及び保守研修施設から成るFBRサイクル総合研修施設を建設した。

To operate the nuclear power plant safely and reliably, site operators and maintenance engineers are trained using JNC's own curriculum.

This curriculum was reviewed and revised after the FBR Monju sodium leak in December 1995. The review determined that the training of sodium handling techniques needed to be improved and performed more frequently, and that the training for maintenance needed to be more realistic by using mockups of plant equipment, as is the practice at other electric power companies.

The FBR Training Center, which consists of the Sodium Handling Technology Center and the Maintenance Technology Center, was designed and constructed to reflect the valuable lessons learned from the leakage accident and the experience of other electric power companies.

キーワード

FBR, 研修施設, 教育訓練, ナトリウム, 保守

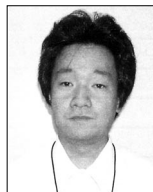
FBR, Training Center, Education, Sodium, Maintenance



渡辺 智夫



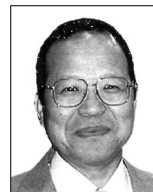
上田 雅司



天満 昭男



岩瀬 隆司



照沼 誠一

1. はじめに

サイクル機構では、原子炉プラントの安全性の確保と信頼性の向上を図るため、原子炉プラントの運転・保守員の教育について、従来から実務を通じた職場内指導及び社内外における研修を通して専門知識等の習得教育を計画的にかつ段階的に実施し、運転・保守員としての技術の向上に努めてきた。また、高速増殖炉（以下、FBR）の冷却材として使用されているナトリウムの取扱技術等の教育研修については、これまでサイクル機構大洗工学センターのナトリウム試験施設を使用して、消火訓練をはじめとする様々な教育研修を行ってきた。しかし、1995年12月に発生した高速増殖炉原型炉「もんじゅ」（以下、「もんじゅ」）のナトリウム漏えい事故を踏まえ、ナトリウムの取扱技術等の一層の充実・強化を図る必要性を痛感した。

また、プラントにおける様々な設備・機器の保守・補修技術等に関しては、国内における多くの電力会社が既の実施しているように、FBRにおいても、整備された教育訓練施設において、実機あるいはモデル等を使って訓練を行う必要性が求められていた。

これらの事故の教訓と他電力の実例を参考として、教育に関して一層の充実強化を図り、「もんじゅ」をはじめとするFBRの運転・保守に関する安全性及び信頼性を向上させるため、ナトリウム取扱研修施設及び保守研修施設の2つの施設から成るFBRサイクル総合研修施設（以下、研修施設）を建設した。

2. 研修施設の概要

2.1 目的

- (1) FBRの冷却材として使用されているナトリウムに関し、機器、設備の取扱い・運転技術、ナトリウムの基礎的な性質の習熟、さらにはナトリウムの燃焼・消火訓練等、ナトリウムの取扱いにかかわる全般的な技術の向上を図るため、「もんじゅ」の運転・保守員をはじめとするFBR技術者等を対象として体系的な教育研修を行う。
- (2) FBRプラントの特徴的な設備・機器、あるいは電気・計装機器等の汎用的な設備に関し、取扱技術の習熟並びに点検・保守等の維持管理技術の向上を図るため、「もんじゅ」の保守員をはじめとするFBR技術者等を対象として体系的な教育研修を行う。
- (3) 研修施設をより多くの一般の方々に見学し

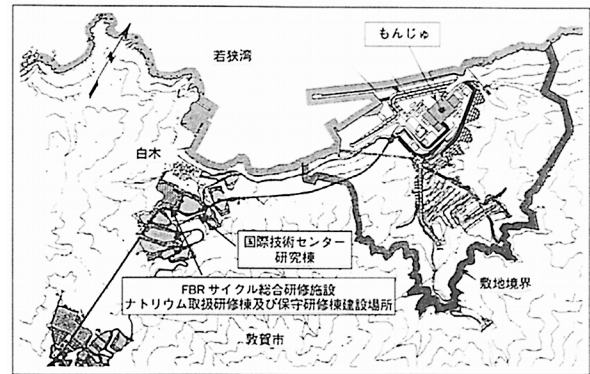


図1 FBRサイクル総合研修施設建設場所

ていただくことにより、FBR開発にかかわる社会の理解促進に供する。

2.2 研修施設の建設

研修施設は、「もんじゅ」建設所の入口の白木地区に1999年に完成したサイクル機構・国際技術センターの居室である研究棟に隣接して建設した。

図1に研修施設の建設場所を示す。

建物の建設工事は、1998年度に設計を終え、1999年7月に着工し、2000年3月に完成した。また、各訓練施設（内装設備）は1998年度に詳細設計を行い、1999年度に製作設計、製作及び据付工事を実施し、2000年3月に完成した。表1に研修施設建設に関する実績工程を示す。

ナトリウム取扱研修棟及び保守研修棟の建築面積は、前者が約730m²、後者が約750m²であり、延床面積はともに約1,100m²である。建屋の構造は一部に吹抜けがある2階建の鉄骨構造となっている。

写真1に研修施設の外観を示す。



写真1 FBRサイクル総合研修施設の外観

表1 FBRサイクル総合研修施設 実績工程

年	1999年												2000年				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
許可申請届出等	申請▼	許可◆			申請▼	許可◆											
	地質調査土石採取				工作物新築												
建築基準法				申請▼	許可◆												
				建築確認													
消防法				申請▼	許可◆												
				危険物一般取扱所設置													
建屋設計/建設																	
内装設備																	

3. ナトリウム取扱研修施設

本施設は、ナトリウムループの運転操作、ナトリウム燃焼/消火、ナトリウムの性質に関する知識を研修し習得できる設備、及び施設内のナトリウムの燃焼/消火訓練で発生する酸化ナトリウム等処理するための設備を有する。

ナトリウムは、消防法上、第三類の危険物に指定されていることから、ナトリウム取扱研修棟内において、ナトリウムを取扱う範囲（取扱室）を限定し、その範囲について、消防法上の危険物一般取扱所として設置許可申請を行い、防火区画、禁水等の消防法上の遵守事項に適合した建物及び

内装設備を設計・建設した。

以下に、本施設内の構成設備の概要を示す。また、各設備の建屋内配置を図2に示す。

3.1 ナトリウムループ

(1) 設計方針

ナトリウムループは、FBRプラントの運転管理を実施する上で基本となるナトリウム純度管理、機器・配管予熱保温の特性、ナトリウム充てんドレン、ナトリウム機器（電磁ポンプ、熱交換器等）の特性について実操作、実体験を通して研修できることを基本としている。このため、設置スペー

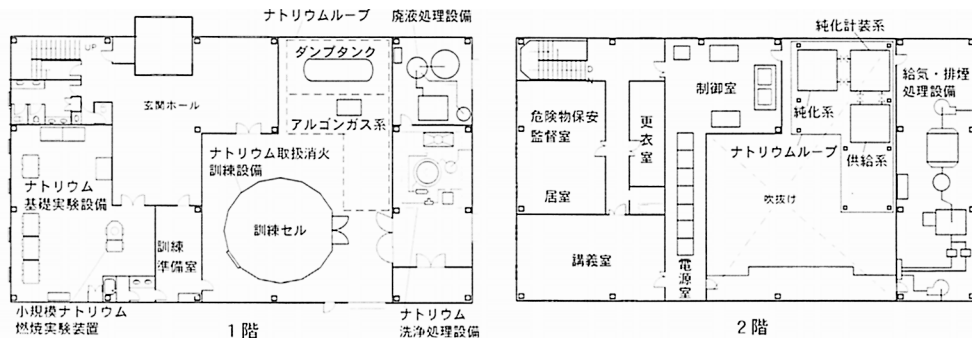


図2 ナトリウム取扱研修棟内各設備配置

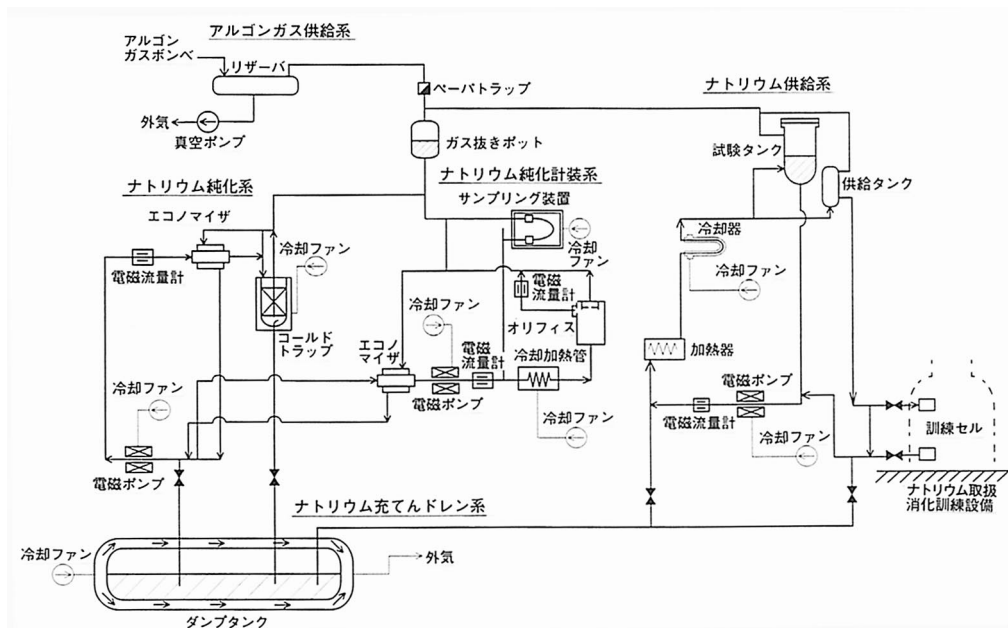


図3 ナトリウムループ系統図

ス等の制約に配慮しながら、基本的なナトリウム機器・装置を配列して系統を構成している。

設計上、特に留意した点は

実機プラントで生じる現象を可能な限り臨場感をもって体験できること

研修の性質上、誤操作の可能性が大きいことからインタロック等による機器保護を図ること

ナトリウム漏えい等に対する安全対策

である。

(2) 設備概要

図3にナトリウムループの系統図を示す。

ナトリウムループは、ナトリウムを貯蔵するためのダンプタンクを主としたナトリウム充てんドレン系（以下、充てんドレン系）、試験タンクと後述のナトリウム取扱消火訓練設備への液体ナトリウム供給用の供給タンクを主としたナトリウム供給系（以下、供給系）、ナトリウム中の不純物を除去するためのコールドトラップを主としたナトリウム純化系（以下、純化系）、ナトリウムの純度を測定するためのブラギング計^{*1}とナトリウムサンプリング装置を主としたナトリウム純化計装系（以下、純化計装系）、及び化学的に活性なナトリウムの自由液面を不活性ガスのアルゴンで覆うためのアルゴンガス系により構成されている。

純化系（純化計装系を含む）と供給系は、それぞれ独立にダンプタンクに接続し、また、ナトリウムを循環する電磁ポンプを純化系、純化計装系、供給系に各1台設置し、個別にナトリウムの充てん、循環運転及びドレンが可能な設備となっている。ループ内のナトリウムインベトリは、最大1.14トンで管理されている。

(3) 系統仕様

充てんドレン系の設計温度は550℃である。ナトリウムループを使用した研修を実施しないときには、ループ内のすべてのナトリウムを固体状態で保持するため、ナトリウムを貯蔵するダンプタンクは、冷却ファンにより外壁と保温材の間隙を強制空気冷却し、ドレンされた液体のナトリウムを短時間で固化できる構造としている。

供給系の設計温度は550℃、ナトリウム循環流量は0.02m³/min程度である。加熱器と冷却器により系内循環ナトリウム温度を200～530℃の範囲で短時間に調整できるシステムとしている。試験タンクは、タンク内のナトリウム液面が観察できるようカバーガス部に耐熱ガラスの観察窓が設置してある。また、供給タンクのナトリウム液位を監視し、液位低で供給を停止するインタロックを設け、ナトリウム取扱消火訓練設備へのナトリウム供給量を制御できるようにしている。

純化系の設計温度は300℃、ナトリウム循環流量は0.02m³/min程度である。純化系では、冷却ファンにより循環ナトリウムの温度を降下させ、

*1 ブラギング計：配管内オリフィス部のナトリウム温度を変化させ、オリフィス部におけるナトリウム中不純物の析出/溶出が平衡状態になるナトリウム温度を測定し、ナトリウム温度と不純物飽和濃度との関係によりナトリウム中不純物濃度を測定する。

メッシュにナトリウム中の不純物を捕獲するコールドトラップを設けている。また、純化系と純化計装系による閉ループ循環運転時にナトリウムの温度変化に伴う体積膨張を吸収するため、循環ループの最上部に自由液面を有するガス抜きポットを設置している。

純化計装系の設計温度は300℃、ナトリウム循環流量は0.003 m³/min程度である。純化計装系のブラギング計では、冷却ファンによる冷却機能と電気ヒータによる加熱機能とを有する冷却加熱管にてオリフィスを通するナトリウム温度を変化させながら、ナトリウム中の不純物飽和濃度に対するナトリウム温度を計測する。また、ナトリウムサンプリング装置は、ループから脱着可能なサンプリング管内に系統内のナトリウムを通し、冷却ファンにより冷却固化し、ループ内のナトリウムをサンプリングするものである。サンプリング管の取外し操作は、プラントでのサンプリング作業をできる限り模擬している。

(4) 主要機器仕様 / 研修内容

表2にナトリウムループの主要な機器を示し、表3にナトリウムループの運転に関する主な研修項目と内容を示す。

(5) 安全対策

1) 点検 / 運用管理

ナトリウムループは、消防法の危険物一般取扱所として許可されている室に設置し、危険物取扱設備として許可を受けていることから、危険物予防規程に基づく日常 / 月例点検を実施し、予防保全に努めている。ナトリウムループ運転時には、各主要タンクの液位、圧力、温度を連続的に監視できるようにしている。また、ナトリウムループを使用した研修を実施しない場合には、ループ内のナトリウムは常にダンプタンク内にドレンし、ドレン後ダンプタンク内で凍結させ固体状態で保持する。

2) ナトリウム漏えい対策

万一のナトリウム漏えいに備え、漏えいの早期検知及び影響を緩和できるよう、ナトリウムループ及び設置エリアに、ナトリウム漏えい検出系及び漏えいナトリウム収納設備を設置している。

ナトリウム漏えい検出系は、ナトリウムバウンダリを構成する配管、弁及び機器の下部に通電式^{*2}の漏えい検出器を設置し、漏えいナトリウムを直接的に検知する。また、各系統の設置エリア上部及び冷却空気ダクトに煙検知器を設置し、ナトリウム漏えい時に発生するエアロゾルを検出することによりナトリウム漏えいを検知する。漏えいを

表2 ナトリウムループの主要機器仕様

機器名	主要目
ダンプタンク	形式：横置円筒形 幾何容積：1.3m ³
コールドトラップ	形式：縦置円筒形(空気冷却メッシュ充填型) 内容積：0.25m ³
ブラギング計	形式：オリフィス析出型 測定範囲：120℃～200℃(プラグ温度)
サンプリング装置	形式：貫流型 サンプリングナトリウム量：40cm ³
試験タンク	形式：縦置円筒形 幾何容積：0.62m ³ 許容ナトリウム量：0.3m ³
供給タンク	形式：縦置円筒形 幾何容積：0.03m ³ 許容ナトリウム量：0.025m ³
ガス抜きポット	形式：縦置円筒形 幾何容積：0.025m ³ 許容ナトリウム量：0.022m ³
加熱器	形式：横置円筒形(ヒータ加熱型) 内容積：0.016m ³ 昇温速度：150℃/h
冷却器	形式：フィンチューブ型二重管空冷式 降温速度：150℃/h

表3 ナトリウムループの主要研修項目一覧

項目	内容
予熱特性 操作確認研修	ループ昇温 / 降温時の予熱温度計変化から予熱ヒータ保温に関する知識を習得する。
ナトリウム充てん 操作研修	加圧 / 真空引き / 電磁ポンプ汲上げ運転の各種方法によりナトリウム充填操作に関する知識を習得する。
ナトリウムドレン 特性研修	設備内ナトリウムドレン時にドレン時間を評価し、ナトリウムドレンに関する知識を習得する。
ナトリウム機器 特性確認研修	温度、流量等のループ内の各プロセス値から電磁ポンプ、熱交換器等の機器特性に関する知識を習得する。
ナトリウム純化 操作研修	コールドトラップの冷却運転操作を行い、ナトリウム純化に関する知識を習得する。
ナトリウム純度 測定操作研修	ブラギング計手動 / 自動操作を行い、ナトリウム純度計測に関する知識を習得する。

検知した場合、ナトリウム漏えい検出系の信号により自動的にナトリウムループ内のナトリウムをダンプタンクに緊急ドレンするインタロックとなっている。

各系統内の機器・配管からの漏えいナトリウムが拡散しないように系統ごとに捕集パンを下部に設置し、さらに、ナトリウムループ下部の床面に鋼製ライニングを設置し、燃焼の抑制及び漏えいナトリウムとコンクリートとの接触を防止している。また、飛散ナトリウムが接触する可能性のあるコンクリート壁には、鋼板を張り付け、飛散ナ

*2 通電式：漏えいナトリウムが電極間に侵入して短絡し、電流が流れることによりナトリウム漏えいを検出する。

トリウムとコンクリートとの接触を防止している。

3) 停電時の対応

ループ内にナトリウムを充てんした状態で停電が発生した場合、ドレン弁及びガス導通弁が「全開」(フェイルオープン)となり、ループ内のナトリウムは約10分間でダンプタンクへ重力ドレンされる。ループ内のナトリウムがドレン完了したことを確認するダンプタンク液位計、及び停電発生後ナトリウムループに異常がないことを確認するカバーガス圧力計等の計装設備の各電源は、無停電電源装置により30分間供給できる。

3.2 ナトリウム取扱消火訓練設備

(1) 設計方針

ナトリウム取扱消火訓練設備は、ナトリウム燃焼及び燃焼時の消火方法について実体験を通して習得するためのものである。ナトリウム取扱消火訓練設備は、実機プラントにおいてナトリウムが漏えいし、ナトリウム燃焼が発生した場合に必要な対処法を学ぶため、燃焼状況の観察と実消火訓練が行えるように設計している。本設計においては、

ナトリウムループからの液体ナトリウム流下による燃焼の状況が観察できること

ナトリウム燃焼・消火訓練後の訓練セル内の片付け作業を極力合理化すること

周辺環境に対するナトリウムエアロゾルの影響を最小限にすること

などに特に配慮している。

(2) 設備概要

ナトリウム取扱消火訓練設備は、ナトリウム漏えい時の燃焼状態の観察、及び消火訓練のために用いるもので、ステンレス製鋼板(一部観察用耐熱ガラス)で区画されたセル(以後、訓練セル)内に、ナトリウム燃焼皿、模擬ナトリウム漏えい配管等が設置されている。

訓練セルは、内部でナトリウムを燃焼させる際にナトリウムエアロゾルが発生することから、建物の換気空調設備から独立した排気設備、及び訓練セル内壁面へのナトリウムエアロゾル付着を極力抑えるための気流(エアーカーテン)を形成する給気設備を備えている。

訓練セル内でのナトリウム燃焼形態は二通り選択できる。一つは、空気雰囲気中で下部に電気ヒータを備えたステンレス製のナトリウム燃焼皿上で固体ナトリウムを溶融し自然発火させるもの、他の一つは前述のナトリウムループの供給配管から最高530 の液体ナトリウムを燃焼皿上に流下

させ燃焼させるものである。

ナトリウム燃焼に対する消火研修は、実機プラント内に設置されている消火剤と同様のナトリウム火災用消火剤(ナトレックス)で行い、消火時の作業者の着衣も、耐熱服、空気呼吸器等を装着した実機と同様の装備でも実施できるようにしている。

また、模擬ナトリウム漏えい配管は、実機プラントの小口径配管を模擬した短管であり、保温構造及びガスサンプリング型漏えい検出器を有しており、配管と保温材との間にナトリウムループの供給配管から液体ナトリウムを流すことにより、配管からのナトリウム漏えい時の状況を模擬できるようになっている。

さらに、訓練セル内では、ナトリウムループからの供給配管とナトリウムループへの戻り(ドレン)配管との取合い部を設け、取合い部に弁等の機器を設置し、ナトリウムループからの循環ナトリウムを付着させた機器の取外し訓練が可能となっている。

(3) 設備仕様

表4にナトリウム取扱消火訓練設備の主要設備・装置の仕様を示し、写真2にナトリウム取扱消火訓練設備の外観を示す。

(4) 安全対策(停電時の対応)

訓練セル内でナトリウムを燃焼させている際に停電が生じた場合には、ナトリウム火災用消火剤により速やかに消火を行う。また、消火したことを確認できるように、訓練セル内に、雰囲気温度/圧力、燃焼皿の温度等を監視するために必要な計装設備及び照明を設け、それらの電源は、無停電電源装置により供給する。

表4 ナトリウム取扱消火訓練設備/主要設備・設置の仕様

設備・装置名	主要目
訓練セル	形状：外径8m、高さ6m、16角柱 床ビット部：ステンレスライニング構造 運転圧力：400±600 Pa 給排気流量：約70Nm ³ /min
ナトリウム燃焼皿	形状：直径80cm/深さ25cmの鏡板形状 燃焼ナトリウム量：5kg以下 設計温度：1000℃ 付属品：電気ヒータ、保温材、蓋、架台
模擬ナトリウム漏えい配管	形状：実機2B配管と同様 漏洩ナトリウム量：5kg以下 付属品：ガスサンプリング型漏洩検出器ヒータ、保温材、キャッチパン

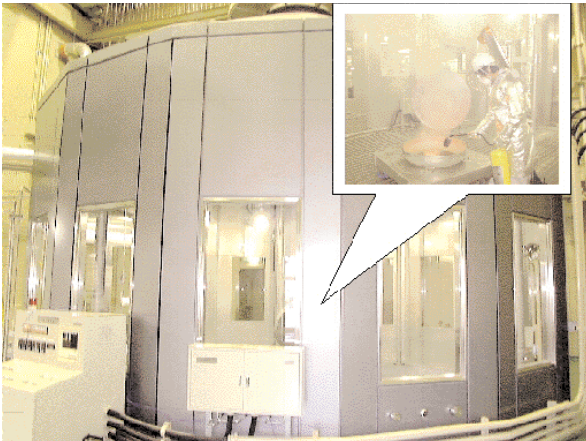


写真2 ナトリウム取扱消火訓練設備の外観

なお、ナトリウムループからナトリウムが供給されている場合には、停電により供給弁が「全閉」(フェイルクローズ)となる。また、訓練セルの給気/排煙処理設備では、動的機器が停止することから、燃焼により発生したナトリウムエアロゾルは、訓練セル内に封じ込められるようになっている。

3.3 ナトリウム基礎実験設備

(1) 設計方針

「もんじゅ」の運転・保守員等であっても、系統外でナトリウムを取り扱うような業務の機会は限られている。そこで、ナトリウムの代表的な物性値を測定し、FBRの冷却材としての優れた特性に対する理解を深められるよう、ナトリウム基礎実験設備を整備した。この設備で行う研修では、ナトリウムの物理的特性の中で特に特徴的な比熱、融点、融解熱、熱伝導率、密度、及び粘性係数の測定が可能である。

これらの測定は、ナトリウムが活性であるために、アルゴンガス雰囲気グローブボックス中で、限られた研修時間内に行える必要がある。これらのことから、設備の設計は、実験の簡便性と短時間で出来ることに配慮した。なお、測定精度は定性的な物性値が得られる程度にとどめた。

(2) 設備概要

電気ヒータによるナトリウムの加熱・液化操作、測定器材による物性値に関する実験を、水分濃度/酸素濃度を管理した不活性ガス(アルゴンガス)雰囲気で行えるようグローブボックスを準備している。また、固体状のナトリウムを取り扱うために、強制換気及び飛散防止の機能を有するフードを準備している。さらに、様々な雰囲気条

件におけるナトリウム燃焼の特徴と消火効果を観察できるように観察窓がある小規模ナトリウム燃焼実験装置をナトリウム基礎実験室に設置している。

なお、ナトリウム基礎実験室は、少量危険物取扱所としての届出を行っている。各基礎実験では、必要に応じ、数グラムから数百グラムのナトリウムを用い、実験カリキュラム構成として、一日最大取扱量 2 kg以下となる運用としている。ナトリウム基礎実験室の外観を写真3に示す。

(3) 装置概要

1) グローブボックス

本装置は、ステンレス製ボックス部の一部に取り付けた強化ガラス越しにアルゴンガス雰囲気グローブボックス内を確認しながら、グローブによりボックス内の器具を操作してナトリウムを取り扱うことができる。グローブボックス内の酸素及び水分をアルゴンガス精製装置により除去し、ナトリウムの酸化等を防止する。また、グローブボックス内に電源コンセントを設置し、電気ヒータにより固体ナトリウムを加熱液化できるようになっている。

ナトリウム基礎実験室には、6人同時に操作可能な3連胴グローブボックス、2人同時に操作可能な1連胴グローブボックスを各1台設置している。

2) フード

本装置は、常に排気ファンによりフード内の雰囲気強制換気した状態で、上下する強化ガラス越しにフード内を観察し、下部隙間よりフード内の器具を操作してナトリウムを取り扱うことができる。ナトリウム基礎実験室には、両面ガラスフード1台、片面ガラスフード2台を設置している。

3) 小規模ナトリウム燃焼実験装置

装置内のステンレス製の燃焼皿に固体ナトリウムを置き、電気ヒータにより燃焼皿を加熱することでナトリウム温度を上昇させ、発火・燃焼させ

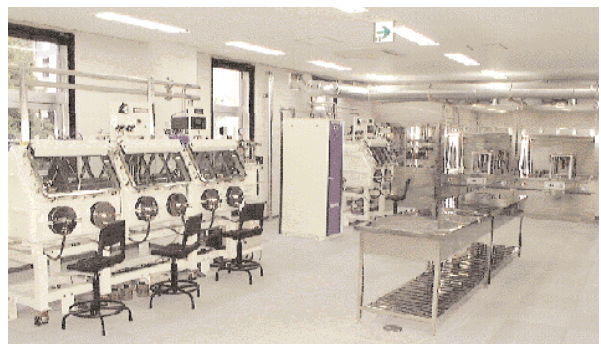


写真3 ナトリウム基礎実験室の外観

る。また、消火のために窒素ガス、アルゴンガス、あるいはナトリウム火災用消火剤を注入できるようにしている。

本装置では、発生するナトリウムエアロゾルの強化ガラス窓への付着を避け、燃焼状態を明瞭に観察できるように、旋回流を伴う給気を行い、ナトリウムエアロゾルを上部排気ダクトより強制排気している。排気は、前述の訓練セルと同様に別設備である給気/排煙処理設備に接続され、水スクラバや各種フィルタによりナトリウムエアロゾル濃度を十分に低減した後、外気に放出している。

(4) 実験項目と概要

本設備では、以下に示す実験を行うことができる。

1) 固体ナトリウムの切断

フード内の作業台にステンレス板を敷き、固体ナトリウムをナイフで切断する。

2) 空気中での潮解現象の観察

1)の実験で切断した固体ナトリウムをフード内の空気中にさらし、空気中の湿分で潮解する様子を観察する。

3) 固体ナトリウムの液化観察

3 連胴グローブボックス内で、固体ナトリウムを入れたステンレス容器をマントルヒータで加熱し、固体ナトリウムが液化する様子と加熱温度との関係を観察する。

4) 濡れ性の観察

3 連胴グローブボックス内で、約150 の液体ナトリウムにステンレス材(メッシュ等)を漬け、ナトリウムに濡れない様子を観察し、さらに液体ナトリウムを300 まで加熱しステンレス材が濡れる様子を観察する。

5) 電気を通すことの観察

3 連胴グローブボックス内で、テスターを用いて、固体/液体ナトリウムの電気導通性を観察する。

6) 液体ナトリウム粘性係数測定

3 連胴グローブボックス内で、約150 の液体ナトリウムが細管を通り流下する時間を計測し、粘性係数を調べる。

7) 固体/液体状態での密度測定

グローブボックス内で、質量と体積が既知の試験体を液体ナトリウムに漬けて、試験体に係る浮力を計測し液体ナトリウムの密度を求める。あらかじめ質量を測定した固体ナトリウムをフード内で密度が既知の流動パラフィンに漬けて、固体ナトリウムの浮力を計測し、固体ナトリウムの密度を求める。

8) 比熱測定

3 連胴グローブボックス内で固体ナトリウムを一定熱量の投込式ヒータで加熱し、単位時間当たりの温度上昇より比熱を評価測定する。

9) 熱伝導率測定

フード内で、ホットプレートにより固体ナトリウム及び比較金属試験体(銅/鉄)の一端をナトリウム融点以下の温度で加熱し、試験体温度の時間変化を測定し、熱伝導率を求める。

10) 融点/融解熱測定

3 連胴グローブボックス内で、固体ナトリウムを一定熱量の投込式ヒータで加熱し、ナトリウム温度の時間変化より融点及び融解熱を測定する。

11) 表面張力測定

3 連胴グローブボックス内で、約150 の液体ナトリウム中に浸した白金の小環をナトリウム液面より引き上げる際に作用する力を測定するデュ・ヌーイの吊環法により、表面張力を測定する。

12) 中和滴定によるナトリウム定量分析

1 連胴グローブボックス内で、ナトリウムループのサンプリング管からナトリウムを少量取り出し徐々に潮解した後、水で希釈し試料溶液を作る。次に、フード内で作成試料溶液の塩酸による中和滴定を行い溶液中のナトリウム量を測定する。

13) ナトリウムの小規模燃焼消火実験

小規模ナトリウム燃焼実験装置を用いて、100g程度のナトリウムを燃焼させ、消火剤や不活性ガスをを用いた消火実験を実施し、燃焼、消火の挙動を観察する。

3.4 給気/排煙処理設備

給気/排煙処理設備は、訓練セルへの空気供給、訓練セル内と小規模ナトリウム実験装置内でナトリウム燃焼時に発生するナトリウムエアロゾルの外気への放出の抑制を目的として設置している。

(1) 設備構成

写真4に本設備の外観を示し、系統を構成する各装置の概要を以下に示す。

1) 給気装置

給気系は、給気フィルタ、給気ファン、ダンパ、ダクトにより構成され、訓練セル内壁面へのナトリウムエアロゾルの付着を防止するために必要な空気を供給する。

2) 排気装置

排気系は、水スクラバ、ミストセパレータ、フィルタ、排気ファン、ダンパ、ダクトにより構成され、訓練セル及び小規模ナトリウム実験装置内でのナトリウム燃焼時に発生するナトリウムエア



写真4 給気 / 排煙処理装置の外観

ロゾルを含んだガスを水スクラバ及びフィルタを通し、排ガス中のナトリウムエアロゾル濃度を低減した後、外気に放出する。

3) 廃液装置

廃液系は、配管、弁により構成され、水スクラバの循環水及びミストセパレータやフィルタからの凝縮水を後述の廃液処理設備に送出する。

4) 給水装置

給水系は、配管、弁により構成され、廃液処理設備にて中和処理された水、又は上水道からの水を水スクラバの水循環系に供給する。

3.5 ナトリウム洗浄処理設備

ナトリウム洗浄処理設備は、洗浄タンク、蒸気ボイラ、過熱装置、気水分離タンク、水循環ポンプ、給気ファン、洗浄室で構成され、ナトリウム付着機器の洗浄に関する訓練に用いるほか、ナトリウムに触れた機器、機材等を再利用、保守、廃棄するのに先立ち、付着ナトリウム及び酸化ナトリウムを除去するために用いる。洗浄工程は、水蒸気と窒素ガスの混合気体（湿潤窒素ガス）の吹付け洗浄の後、必要により水浸漬洗浄を行い、送風乾燥する方式としている。

混合気体吹付け洗浄は、洗浄工程の自動運転が可能な洗浄タンク内で固定した吹付けノズルにより実施する方式と、ステンレス鋼板で簡易的に組み立てられ、強制排気機能を有した洗浄室内で、手持ち吹付けノズルにより実施する方式のいずれかにより実施できる。

3.6 廃液処理設備

廃液処理設備は、ナトリウム洗浄処理設備、排煙処理設備、訓練セル、ナトリウム基礎実験設備

で発生するアルカリ廃液を中和処理することを目的としている。各設備で発生した廃液は、廃液受槽にいったん貯められた後、適宜、廃液移送ポンプにより中和槽に移送し、塩酸槽から5%濃度の塩酸を注入し中和処理する。中和処理が終了した廃液は、中和水移送ポンプにより処理水貯槽へ移送し、pH値を監視しながら貯留する。

本設備は、廃液受槽から処理水槽までの処理工程を自動運転により実施できるように各槽の容量及び機器仕様を設定している。また、処理水（主に食塩水）は、処理水貯槽よりナトリウム洗浄処理設備の洗浄タンク、排煙処理設備の水スクラバ等へ移送し再使用する。ただし、再使用量に対して余剰に処理水が発生した場合には、外部産廃業者に最終処分を依頼する。

4. 保守研修施設

保守研修施設は、「もんじゅ」をはじめとするFBRプラントにおいて定期検査や燃料交換等の保守業務に従事する技術者の教育訓練施設として建設された。

本施設の建設に当たり、まずはじめに、「もんじゅ」を構成する各系統ごとに訓練の対象となる設備及び作業を抽出し、訓練内容と訓練設備の概念について検討を行った。続いて、実機における作業の頻度や重要性、さらには費用対効果等の観点から各訓練設備に優先度をつけ、優先度が高いとされた訓練設備の仕様を具体化するとともに、施設全体の配置計画を決定した。

なお、本施設の設計・建設に当たり、電力各社が所有する軽水炉向けの保守研修施設について建物規模、研修用設備の概要、研修の実施内容及び対象者等を調査し、参考とした^{7), 8)}。

本施設内には大きく分けて八つの訓練用設備が用意されており、FBRに特有な大型ナトリウム機器を実規模で模擬した訓練設備を用いて、実際と同じ作業環境で保守点検時の作業手順及び確認事項の学習や、機器及び治工具等の取扱技術の習得等を行うほか、模型やカットモデル等を用いて「もんじゅ」の設備機器の構造・原理を学習することができる。

以下に、本施設に設置されている主要訓練設備の概要を示す。また、本施設内の配置を図4に示す。

4.1 炉上部機器短尺モデル

縦横4m、深さ4.5mのピット内に、炉心上部機構、回転プラグ及び燃料交換機孔ドアバルブ等の炉上部機器の模擬体を配置し、「もんじゅ」の炉

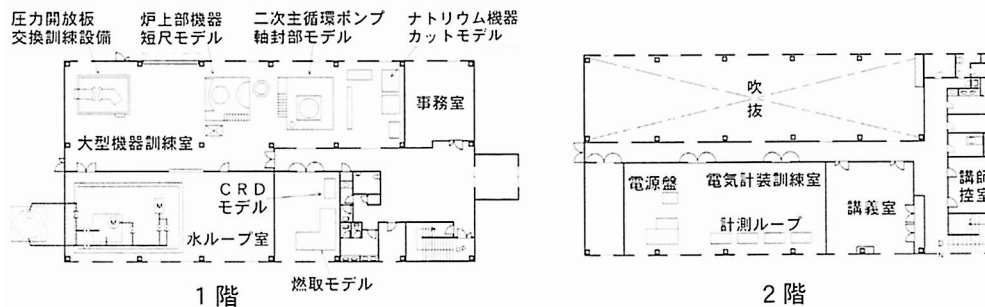


図4 保守研修棟内各設備配置

上部における狭隘な作業環境を再現した。

本設備は、燃料交換前の準備作業及び交換終了後の復元作業の実技訓練を目的としている。すなわち、原子炉機器輸送ケーシング（AHM）、燃料交換装置（FHM）本体及びFHM昇降駆動装置などの大型機器を天井クレーンを用いて炉上部へ据付け、取り外す作業の訓練を行うことができる。

各模擬体の外形寸法は、建物の制約から高さ方向を実機に比べ短尺化しているが、大型機器据付け時の面合わせや狭隘部でのボルト締結作業を主な訓練対象とすることから、横方向（幅）は実機と同スケールで模擬している。

また、本設備の中でも燃料交換孔ドアバルブ等の定期的なメンテナンスが必要とされる機器については、外形だけでなく内部構造も模擬しており、本設備を用いて分解点検作業の訓練を行うことができる。

本設備の外観を写真5に示す。

4.2 二次主冷却系循環ポンプ軸封部モデル

FBRで用いられる機械式ナトリウムポンプの軸封装置には、メカニカルシールが用いられている。メカニカルシールは優れたシール性を有する

反面、構造が複雑でその取扱いには熟練を要することから、メカニカルシールの構造・原理の学習と保守点検作業の訓練を行う設備として二次主冷却系循環ポンプ軸封部モデルを設置した。

本設備は「もんじゅ」の二次主冷却系循環ポンプの軸封部周辺を実機と同スケールで模擬しており、ポンプ本体へのメカニカルシールの取付け・取外し作業とこれに伴う芯出し調整作業や、メカニカルシール本体の分解点検作業を実機と同じ作業環境で訓練することができる。

本設備の外観を写真6に示す。

4.3 圧力開放板交換訓練設備

ナトリウムを冷却材とするFBRでは、カバーガスとして不活性なアルゴンガスを使用している。このため、カバーガスバウンダリの開放を伴う作業ではビニールバッグ等でバウンダリを保持し、系内への空気混入や酸欠事故を防止する必要がある。

本設備は、「もんじゅ」のナトリウム・水反応生成物収納設備の圧力開放板とその取付配管部を実機と同スケールで模擬しており、圧力開放板の交換作業を通じて、カバーガスバウンダリ開放作業におけるビニールバッグ等の取扱方法及び作業手順などを習得することができる。

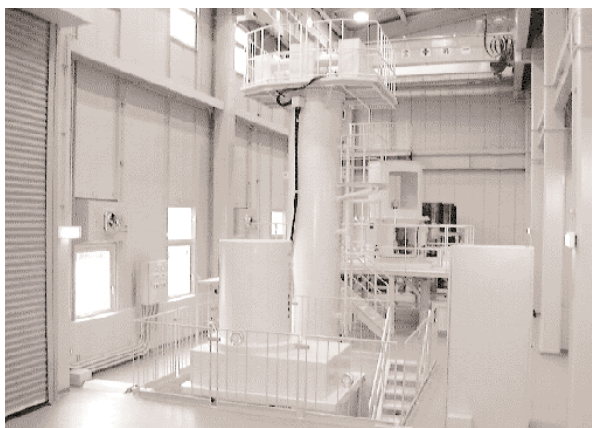


写真5 炉上部危機短尺モデルの外観



写真6 二次主冷却系循環ポンプ軸封部モデルの外観

4.4 水系機器テストループ

プラントで一般に用いられる水系統を模擬したテストループであり、給水タンク（容量 9 m³）、サンプタンク（同 6 m³）、立型ポンプ（流量 100 m³/h、揚程 15 m）、横型ポンプ（流量 100 m³/h、揚程 10 m）及び配管、弁などで構成されている。

本設備を用いて、系統への水張りや各ポンプによる循環運転などのラインアップ操作を学習するほか、弁の開閉によりポンプ 1 台での単独運転ループと 2 台のポンプによる直列運転ループを切り替えて各々の運転特性を比較するなど、実際の運転を通じて系統運用技術の習得を行う。また、本設備に付属のポンプ、弁、配管支持装置、計装品などの汎用的な水系機器を用いて実践的な保守点検作業の訓練を行うこともできる。

本設備の外観を写真 7 に示す。

4.5 制御棒駆動機構動作メカニズム学習モデル

「もんじゅ」の微調整棒駆動機構、粗調整棒駆動機構及び後備炉停止棒駆動機構の 3 種類の制御棒駆動機構（CRD）を横方向で実物の約 1/3、縦方向で約 1/10 のスケールで模擬した学習用モデルである。3 種類の CRD は、各々方式の異なる複雑なメカニズムで制御棒の挿入・引抜き、掴み・離し、スクラム（急速挿入）等の動作を行うが、本モデルでは正面をカットモデルとし内部構造を精密に模擬することで、内部の動きを確認しながらメカニズムを学習することができる。また、一般見学者向けに音声によるガイド機能を備えている。

4.6 燃料取扱動作学習モデル

「もんじゅ」の燃料取扱及び貯蔵設備の全体を実機の約 1/12 スケールで模擬した学習用モデルであり、新燃料の受入れから使用済燃料の払出しに至る一連の燃料の流れと主要機器の燃料取扱動作を学習することができる。

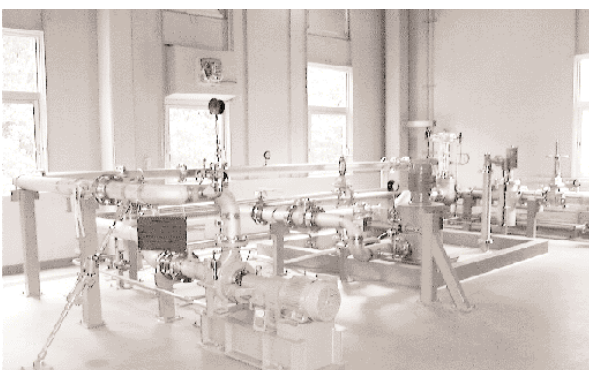


写真 7 水系機器テストループの外観

燃料交換設備、燃料出入設備、炉外燃料貯蔵設備などの主要機器には実機同様に燃料、燃料移送ポット及び缶詰缶を移送する機能を持たせており、通常見ることのできない機器内部における燃料取扱状態を容易に理解できるようにするため、機器の一部を切り欠き、内部構造が見えるようになっている。また、CRDモデル同様、一般見学者向けに音声によるガイド機能を備えている。

本設備の外観を写真 8 に示す。

4.7 電源盤点検設備

「もんじゅ」に設置されている電源盤と同等のメタクラ、パワーセンター及びコントロールセンターの各 1 面を設置しており、電源盤及び収納機器（遮断器、継電器など）の構造・原理の学習と、保守点検・試験作業の訓練を行う。各電源盤には制御回路用電源のみを給電しているが、実際の点検・試験内容と同等の実習を行うことができる。また、盤の側面は透明なアクリルパネルを使用しており、通常は見ることのできない電源盤の内部構造を容易に観察できる。

本設備の外観を写真 9 に示す。

4.8 計測ループ

計測制御の基本となる「温度制御」、「圧力制御」、「流量制御」、「液位制御」について、

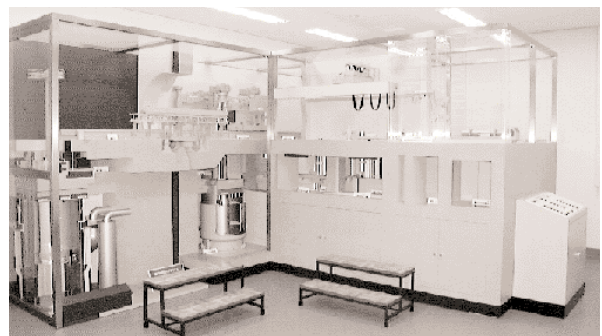


写真 8 燃料取扱動作学習モデルの外観



写真 9 電源盤点検設備の外観

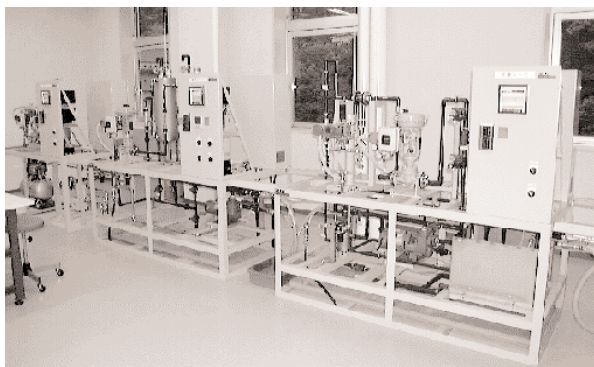


写真10 計測ループの外観

各々の制御機能を学習するために必要な機器、配管及び計装品で構成されたミニループである。本設備を用いて、制御回路の構成と各機器の構造・原理の学習や、PID制御などによる制御特性の学習、さらには検出器、変換器、調節計等の計装品の取扱い、校正、分解点検方法などについて学習することができる。

本設備の外観を写真10に示す。

その他、本施設内には大洗工学センターの試験施設で使用されていた「もんじゅ」1次主冷却系循環ポンプ相当の機械式ナトリウムポンプ（写真11）や電磁ポンプなどのカットモデルを展示しており、FBR特有のナトリウム機器の構造・原理を学習できるほか、機器の健全性を検査する上で欠くことのできない非破壊検査技術（浸透探傷試験、放射線透過試験など）の教育用機材などを用意している。

今後は、研修生の受入れに向けて、初級者から上級者まで受講者の技術レベルに合わせた各種の研修カリキュラムを整備し、FBRプラントの保守作業における安全性確保やヒューマンエラーの防止、さらには作業期間の短縮等を図るべく本施設を活用していく計画である。

5. おわりに

各研修施設では、本年3月の建設完成以降、施設の維持・運営管理等を行う担当者によって、訓練設備・機器等の取扱い・操作の習熟とマニュアル類の整備を進めている。また、研修者を受け入

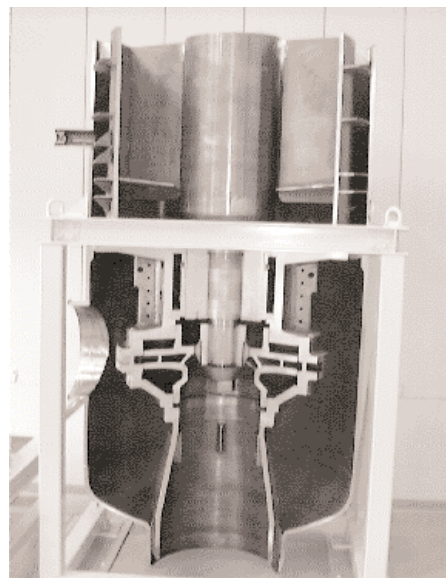


写真11 機械式ナトリウムポンプカセットモデルの外観

れて研修を開始するための訓練カリキュラムやマニュアル等を整備し、本年秋頃から、「もんじゅ」の運転員・保守員をはじめとする研修者を受け入れ、教育研修を開始する予定である。

この研修施設による教育研修も含め、「もんじゅ」の運転員、保守員をはじめとするFBR開発に携わる技術者の体系的な教育研修を充実することにより、「もんじゅ」をはじめとするFBRの運転・保守に関する安全性及び信頼性のより一層の向上を図っていくこととしている。

参考文献

- 1) 動燃事業団高速増殖炉もんじゅ建設所：“40%出力試験中における二次主冷却系ナトリウム漏えい事故について（第4報報告書）”,(1996).
- 2) 動燃事業団高速増殖炉もんじゅ建設所：“40%出力試験中における二次主冷却系ナトリウム漏えい事故について（第6報報告書）”,(1998).
- 3) 堀 雅夫監修・基礎高速炉工学編集委員会編：“基礎高速炉工学”,日刊工業新聞社(1993).
- 4) 日本機械学会編：“伝熱工学資料(改訂第4版)”,丸善(1986).
- 5) 日本機械学会編：“機械工学便覧(基礎編・応用編)”,日本機械学会,丸善(1987).
- 6) 化学工学協会編：“化学工学便覧(改訂第4版)”,丸善(1978).
- 7) 吉田勝俊：“泊原子力発電所 原子力訓練センターの概要”,火力原子力発電,Vol.47 No.5, p.23(1996).
- 8) 橋本亮一：“原子力保守訓練センターの概要”,火力原子力発電,Vol.35 No.6, p.15(1984).