

# 再処理工場 使用済み燃料の受入れ施設および貯蔵施設の建設と試運転実績

## Construction and Preoperational Test of Spent Fuel Storage Facility for Rokkasho Reprocessing Plant of JNFL

山口 伸一  
YAMAGUCHI Shin-ichi

岡部 登  
OKABE Noboru

中村 雅博  
NAKAMURA Masahiro

わが国の核燃料サイクルのバックエンドを担う施設として、日本原燃(株)六ヶ所再処理工場の建設が着実に進んでいる。当社は主要設備メーカーとしてこの建設に参画し、このうち先行施設である使用済み燃料の受入れ施設および貯蔵施設の建設工事と試運転(コールド試験)を行なって、所定の性能が得られることを確認した。今後、試験用使用済み燃料による試験(ホット試験)により性能を最終確認するとともに、この成果を再処理施設本体の建設と試運転に反映していく計画である。

Construction work at the Rokkasho Reprocessing Plant of Japan Nuclear Fuel Ltd. (JNFL) is progressing steadily. The spent fuel storage facility (F facility) has been constructed in advance of the main plant.

Toshiba contributed to the facility as one of the main companies undertaking engineering, construction, and preoperational test work. We were able to confirm the good performance of the systems supplied by our company. Furthermore, Toshiba will perform a hot test using spent fuel.

Toshiba will apply its experience with the F facility to the main plant.

### 1 まえがき

核燃料サイクルのバックエンドを担う国内で初めての大型商用再処理施設として、日本原燃(株)(JNFL)六ヶ所再処理工場の建設が着々と進められている。

これらの施設のうち、先行施設として使用済み燃料の受入れ施設および貯蔵施設(以下、F施設と略記:図1)の建設工事が完了し、試運転(コールド試験)により所定の性能が得られることを確認したので以下に述べる。

### 2 F施設の主要機能

F施設は、国内の沸騰水型原子炉(BWR)および加圧水型原子炉(PWR)からの使用済み燃料を対象とし、再処理設備本体の年間処理能力800 t-Upr(初期燃料中に含まれる金属ウラン重量)に相当する受入れ能力と、3年以上の貯蔵を可能にするため、総保有水量約24,000 m<sup>3</sup>の燃料貯蔵プール中に約3,000 t-Uprの貯蔵能力をもつ設計としている(図2, 図3)。

当社は、F施設を構成する主要設備のうち、燃焼度計測装置、安全冷却水系、プール水冷却・浄化系、放射性廃棄

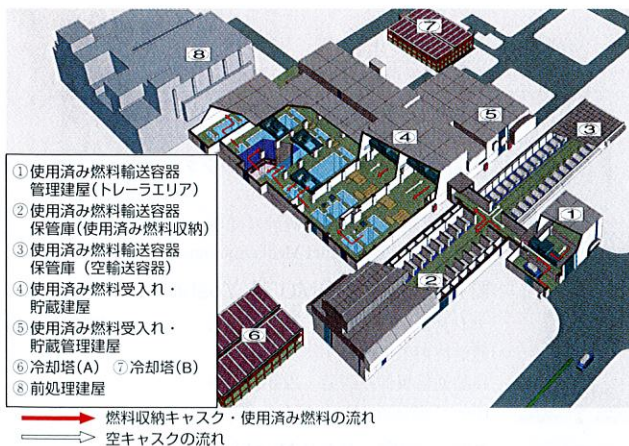


図1. F施設 F施設に使用済み燃料キャスクを搬入し、燃料を取り出した後に空キャスクは払い出す。燃料は、受入れ検査の後に燃料プールに貯蔵する。

Overview of F facility

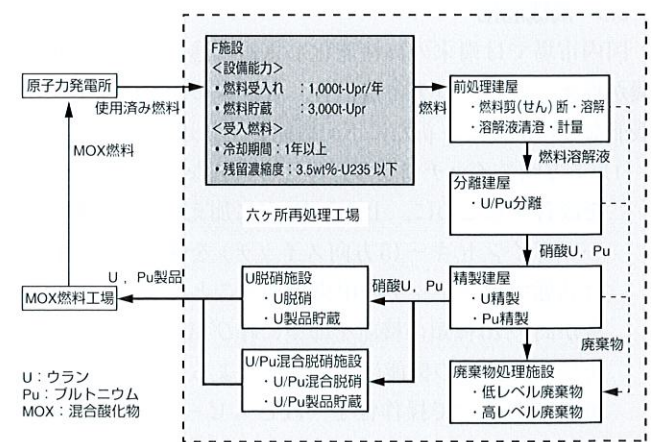


図2. 再処理工場の構成とF施設の位置付け F施設は、原子力発電所からの使用済み燃料を受け入れた後、再処理を実施するまで貯蔵する機能をもっている。

Role of F facility in reprocessing plant

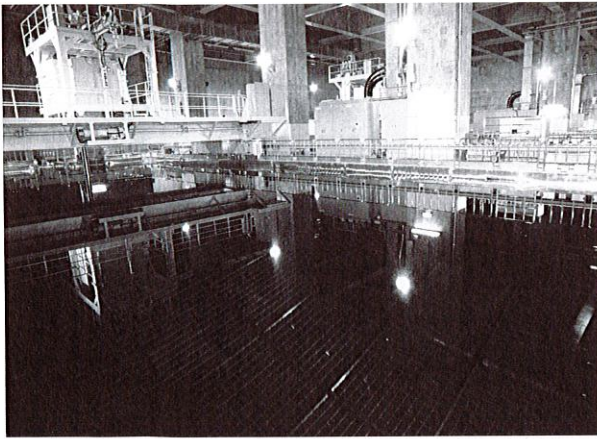


図3. 燃料貯蔵プール 燃料貯蔵プールは3基あり、1基当りの燃料貯蔵量は約1,000 t-Uprである。  
Spent fuel storage pool

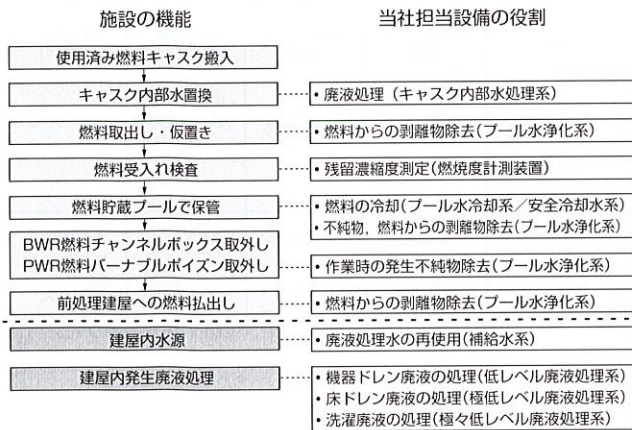


図4. F施設の機能と当社担当設備の役割 当社は、安全冷却水系、プール水冷却・浄化系、放射性廃棄物処理設備および燃焼度計測装置などの安全管理に関する設備を担当した。  
Main functions of F facility and relationship of each system

物処理設備および計測制御設備などの安全管理に関する設備を担当した。当社担当設備の役割を図4に示す。

### 3 当社担当設備の特長

F施設における主要な当社担当設備の特長を次に述べる。このうち、燃焼度計測装置、エアフィンクーラ、セラミックフィルタ、およびロータリフィルタなどを新たに開発した。

#### 3.1 燃焼度計測装置

F施設の燃料プールの臨界防止設計においては、燃料の初期濃縮度(U235含有率：5 wt%)によるプール設計に代わり、使用済み燃料の燃焼に伴う反応度の低下(燃焼度クレジット)を考慮した残留濃縮度によるプール設計を採用して

いる。

すなわち、残留濃縮度が3.5 wt%以下の燃料を受け入れ、残留濃縮度が2 wt%以下の燃料は高密度の燃料貯蔵ラックに、残留濃縮度が2～3.5 wt%の燃料は、独立した高残留濃縮度燃料貯蔵ラックに分別して貯蔵することにより、貯蔵設備の小型化を図っている。

当社は、燃料受入れ時の燃料分別処理を行うにあたり、使用済み燃料の残留濃縮度を計測するための燃焼度計測装置を開発した。装置の外観と機能を図5と表1に示す<sup>(1)、(3)</sup>。

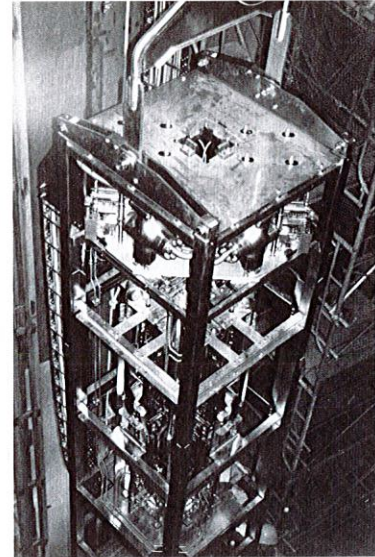


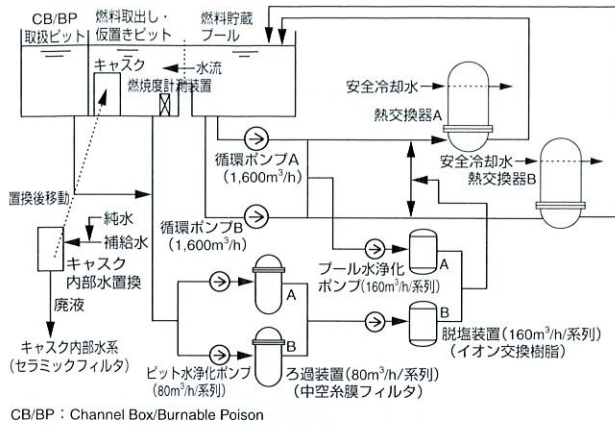
図5. 燃焼度計測装置 燃焼度計測装置は、燃料仮置きピット内の水中に設置してある。  
Burn-up monitor

表1. 燃焼度計測装置の機能  
Functions of burn-up monitor

測定装置	第1ステップ	第2ステップ BWR	第2ステップ PWR
対象燃料	BWR 燃料 PWR 燃料	BWR 燃料	PWR 燃料
測定機能	グロスγ分布 (電離箱) 中性子線 (核分裂検出管) セシウム(Cs)-137 (ゲルマニウム検出器)	中性子線 (核分裂検出管)	
運用方法	通常測定	予備的測定 (第1ステップデータ異常時)	
設置場所	燃料仮置きピットA系 燃料仮置きピットB系		

#### 3.2 燃料プール水の冷却・浄化設備

3.2.1 全体の機能 使用済み燃料から発生する崩壊熱の除去と燃料プール水の水质維持を主機能とし、放射能の



<エアフィンクーラ(AFC)仕様>  
 ・AFC系列数：2系列  
 ・冷却水流量：2,370m<sup>3</sup>/h/系列  
 ・冷却ファン：2基/ベイ×10ベイ/系列

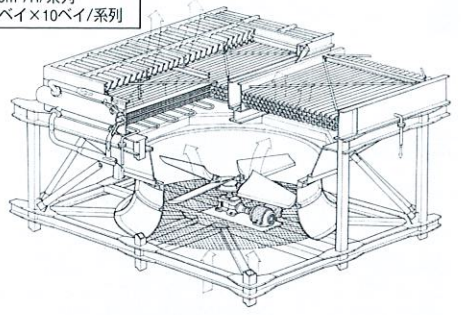


図7. エアフィンクーラの構造 電動ファン、冷却コイルおよびルーバによりエアフィンクーラを構成している。

Structure of air fin cooler

図6. プール水冷却・浄化系のシステム構成 1,600 m<sup>3</sup>/hの循環系2系列によるプール水冷却系と、80 m<sup>3</sup>/hのろ過器2系列+160 m<sup>3</sup>/hの脱塩装置2系列によりプール水浄化系を構成している。

Configuration of spent fuel pool cooling and purification system

閉込め機能をもたせるため二重ループ構成として、燃料プール水の一次循環系(プール水冷却・浄化系)と二次冷却水系(安全冷却水系)を設け、熱交換器を介して相互に熱交換を行う構成としている。システムの構成を図6に示す。

さらに、燃料に付着した汚れ(燃料クラッド)のプール内拡散を防止するため、貯蔵ゾーン側から受入れゾーン側に水流を生ずる流路構成としている。また、プール水質維持のために、一次循環系から一部を分岐して中空糸膜フィルタおよび脱塩装置からなる浄化装置を通すことにより、燃料プール水の水質を基準値以内に維持する機能をもたせている。この浄化装置により除去された不純物は放射性廃棄物処理設備で処理する設計としている。

3.2.2 エアフィンクーラ 六ヶ所再処理工場は海岸から離れた場所に立地しているので、二次冷却水系(安全冷却水系)に空冷式の冷却装置(エアフィンクーラ：略称AFC)を採用し、さらに地震時にも燃料プールからの除熱機能を維持するために、安全上重要な設備として耐震強度を強化する設計とした。

また、安全上の観点から安全冷却水系を2系列構成として、1系列だけでも燃料プールから除熱が可能で設計とし、それぞれの系列のAFCは、2基の冷却ファンと冷却コイルからなる冷却ベイ(ユニット)を10基備える構成としている<sup>(2)</sup>(図7)。

3.3 放射性廃棄物処理設備

原子力発電所における当社実績と再処理特有の放射性廃棄物処理条件を考慮し、放射性廃液の化学的な性状と放射能濃度に基づいて、表2に示す廃液区分および処理方法を採用している。この方法により、浄化特性、運転性および二次廃棄物発生量などの最適化を図っている。

これらの設備のうち、セラミックフィルタとロータリフィルタの特長を以下に示す。

表2. 放射性廃液区分と処理方法  
 Radioactive waste management

分類	極々低レベル廃液	極低レベル廃液	低レベル廃液(1)	低レベル廃液(2)
発生源	・洗濯廃液 ・手洗い水 ・空調ドレン	・床ドレン ・分析室廃液	・機器ドレン水 ・低レベル廃液(2)の処理水	・キャスク内部水
β, γ放射能濃度(Bq/cm <sup>3</sup> )	< 1.85	< 185	< 18,500	< 18,500
処理方法	活性炭吸着 ろ過(RF)	蒸留(蒸発缶)	ろ過(HFF) +脱塩処理	ろ過(CMF)
移送先	系外放出	系外放出	補給水槽回収	低レベル廃液(1)へ

RF：ロータリフィルタ HFF：中空糸膜フィルタ CMF：セラミックフィルタ

3.3.1 セラミックフィルタ 原子力発電所から再処理工場への使用済み燃料の輸送には、遮蔽(へい)機能および閉込め機能をもった専用の容器(キャスク)を使用する。このキャスク内には、燃料の冷却および中性子線遮蔽を目的に水が充填(てん)されており、このキャスク内部水中には移送中に剝(はく)離した燃料クラッドが含まれている。

このキャスク内部水の放射能濃度は他の廃液と比べて高くなると予想されるので、放射性物質取扱いエリアの限定化のため、キャスクから燃料を取り出す際にキャスク内部水を他の低レベル廃液と分別して処理するシステム構成を採用した。さらにフィルタエレメントとして、耐放射線性および固形不純物の除去特性に優れたセラミックフィルタを開発して適用した<sup>(3)</sup>(図8)。

3.3.2 ロータリフィルタ F施設の管理区域内で使用された作業服などを洗濯する際に発生する、きわめて放射能濃度の低い廃液は、懸濁物質(SS)濃度、化学的酸素要求量(COD)および放射能濃度を環境放出基準以下に十分浄化された後に、安全性を確認して施設外(海洋)に放出される。

この廃液中に多量に含まれる難ろ過性のSSおよびCOD

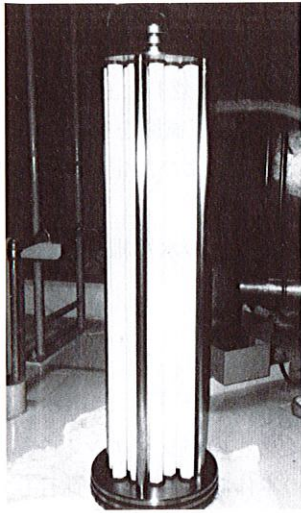


図8. セラミックフィルタモジュールの外観 セラミックフィルタは、ろ過面積0.2m<sup>2</sup>のエレメントを20本組み合わせてモジュールとし、1基のろ過装置に組み込む構造としている。  
Ceramic filter module

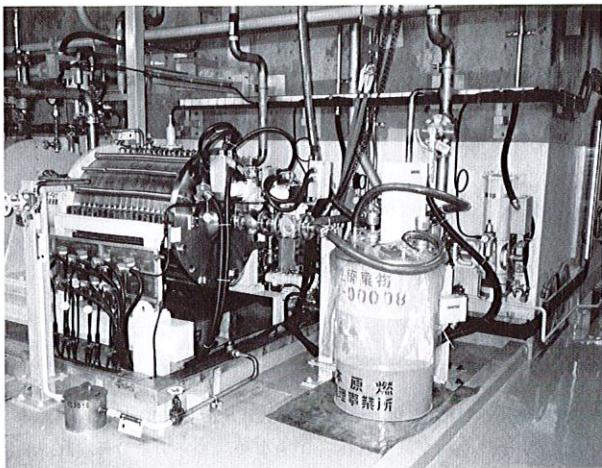
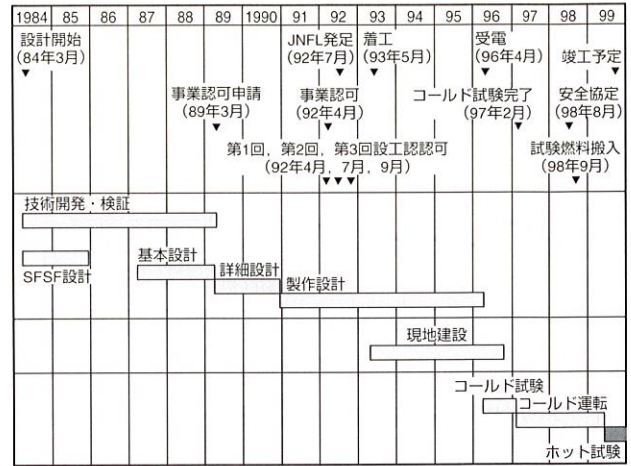


図9. ロータリフィルタ 廃活性炭は、ロータリフィルタ(左側)でろ過され、ドラム缶(右側)に排出される。  
Rotary filter

成分の除去のため、粉末活性炭による吸着原理を利用したロータリフィルタを開発した。洗濯廃液に活性炭を添加してSSおよびCOD成分を吸着除去することにより廃液を浄化し、さらに廃活性炭をろ過除去してドラム缶詰めする機能をもたせている<sup>(1)</sup>(図9)。

#### 4 主要工程

F施設の設計・建設・試運転工程を図10に示す。F施設の建設にあたっては種々の技術開発を実施し、これらの成果は基本設計、詳細設計および製作設計の各段階を経て実



SFSF：使用済み燃料貯蔵施設(Spent Fuel Storage Facility)

図10. 主要工程 F施設の設計は、84年3月から始まり、93年5月に着工、96年4月から試運転を開始して97年1月に完了した。現在は、ホット試験を実施している。

Construction schedule for F facility

機的设计に反映されている。

設計結果は、“設計及び工事の方法に係る認可申請”として、JNFLから科学技術庁に申請され、安全性に関して認可を受けている。また、科学技術庁の使用前検査を受けている。

建設工事は安全対策を徹底し、45か月の全期間無事故で完了した。また、コールド試験は、予定通りの10か月工程で終了できた。

#### 5 コールド試験結果

10か月のコールド試験および約30か月のコールド運転の結果は良好であり、以下のとおり安定した性能を示した。

- (1) 燃焼度計測装置の機能確認および標準線源を用いた検出器の感度確認を実施した。
- (2) プール水冷却・浄化系の運転により、燃料プール水の水質は基準値内に維持され、かつ透明度も良好に保たれている。また、ろ過装置の差圧は図11に示すように低く安定している。
- (3) AFCの運転により、安全冷却水系および燃料プールの温度は、通常設定値30℃以下に維持できている。
- (4) セラミックフィルタは、試験用BWR燃料受入れ時のキャスク内部水の処理運転において、図12に示すように良好な放射能除去性能および差圧の上昇特性を示した。
- (5) ロータリフィルタの運用開始後の処理流量および出口水質は図13に示すように良好に推移している。

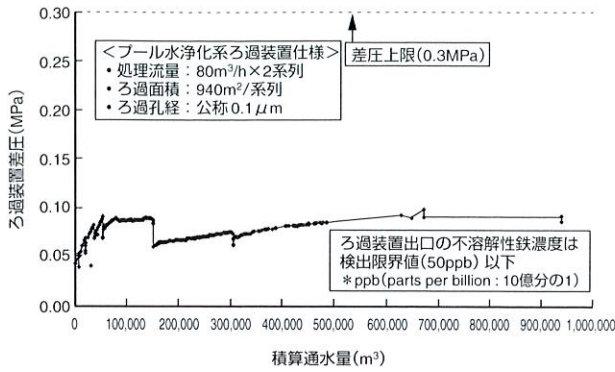


図 11. プール水浄化系ろ過装置差圧の変化 ろ過装置は、運用開始後の差圧上昇が少なく、出口水質も良好な値を維持している。  
Performance of pool water filtration system

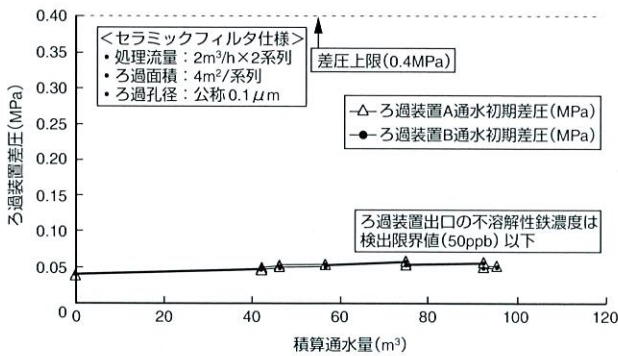


図 12. セラミックフィルタ差圧の変化 実廃液処理時のセラミックフィルタの差圧上昇はわずかであり、出口水質も良好な値を示した。  
Performance of ceramic filter

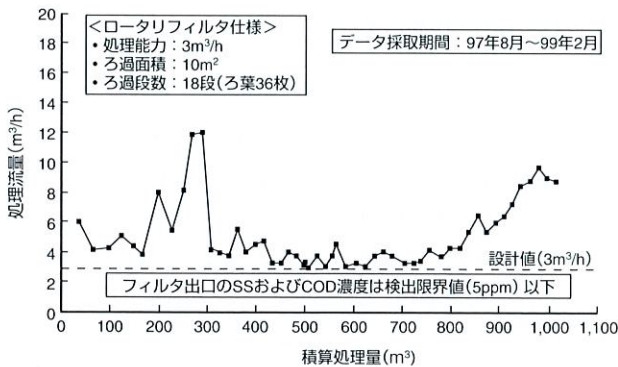


図 13. ロータリフィルタ処理流量の変化 ロータリフィルタの処理流量は、設計値3m³/hを長期間にわたり満足している。また、出口水質も良好な値を示した。  
Performance of rotary filter

## 6 今後の予定(ホット試験)

試験用のBWR使用済み燃料とPWR使用済み燃料を用いて、燃焼度計測装置の校正試験を行い、校正データの採取、解析、校正定数の決定および測定精度の確認を行う予定である。

また、燃料プールなどの水質維持機能についても並行して確認する予定である。

## 7 あとがき

現在、燃料サイクルのバックエンドを構成するJNFL六ヶ所再処理工場の本体設備の建設が進行しており、これらの施設の円滑な建設は、原子力発電における燃料サイクル完成に重要である。

当社は、F施設における設計・建設・試運転の経験を反映して、再処理工場の主要施設の円滑な設計・建設・試運転の完遂にいっそうの努力を傾注する所存である。関係各位のさらなるご指導、ご支援をお願いする次第である。

## 文献

- (1) 再処理施設における燃焼度計測装置, TLR-R001, 東芝, 1991.
- (2) 花輪 純, 他. 再処理プラントにおける空冷式熱交換器の建設. 火力原子力発電, 49, 12, 1998.
- (3) 日本原燃(株) 六ヶ所再処理工場 使用済燃料の受入施設および貯蔵施設の建設. 東芝レビュー, 53, 3, 1998, p63.
- (4) 原子力発電所向け洗濯廃液処理システム, 東芝レビュー, 51, 3, 1996, p61.



山口 伸一 YAMAGUCHI shin-ichi

電力システム社 原子力事業部 原子力再処理設計部部長。  
再処理施設の設計およびプロジェクト業務に従事。日本機械学会、日本原子力学会、火力原子力発電協会会員。  
Nuclear Energy Div.



岡部 登 OKABE noboru

電力システム社 原子力事業部 原子力フィールド技術部部長。  
原子力プラントの建設業務に従事。  
Nuclear Energy Div.



中村 雅博 NAKAMURA masahiro

電力システム社 原子力事業部 原子力再処理設計部主査。  
再処理施設の設計およびプロジェクト業務に従事。日本化学会、日本原子力学会会員。  
Nuclear Energy Div.