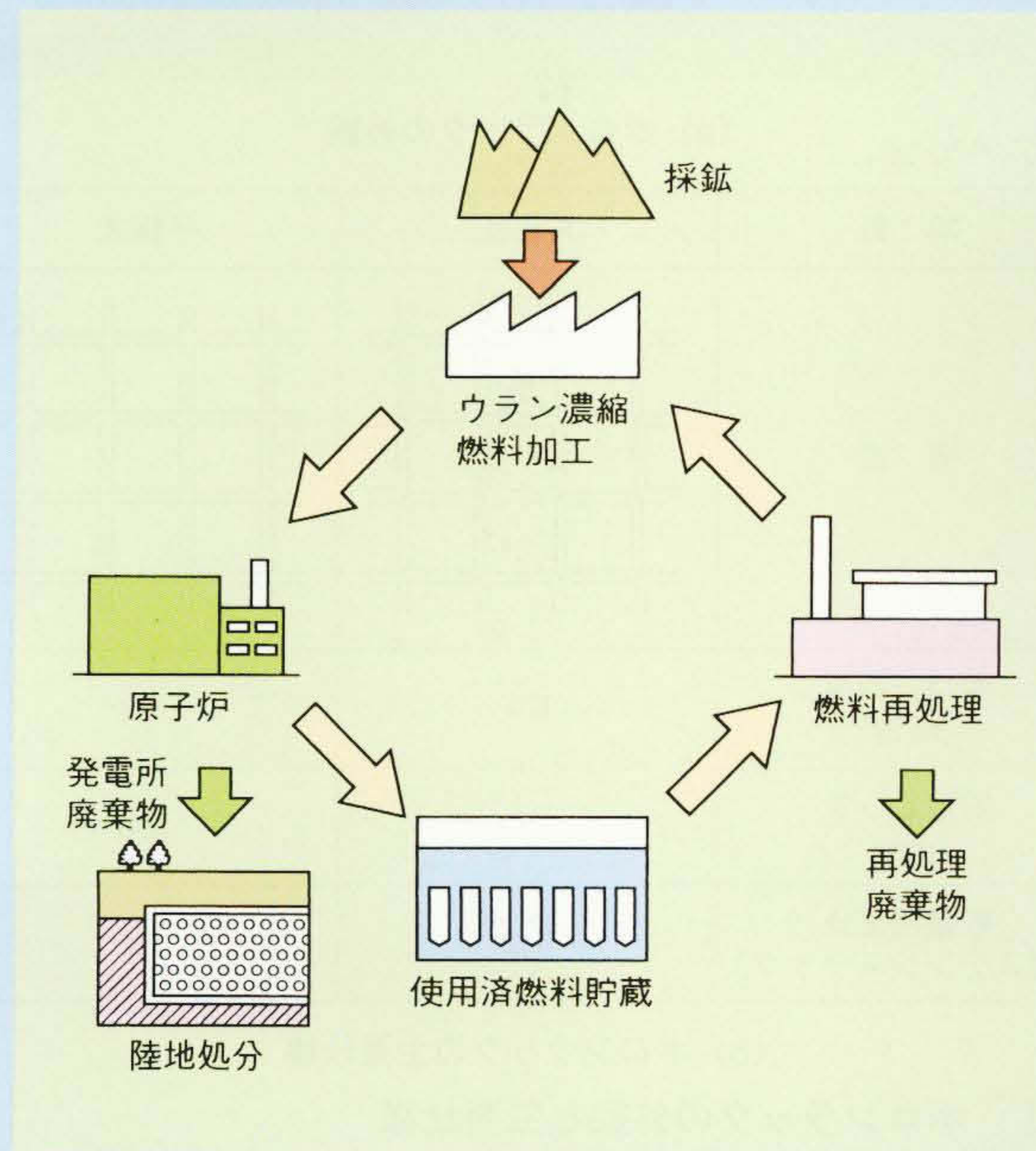


原子燃料サイクルへの取組み

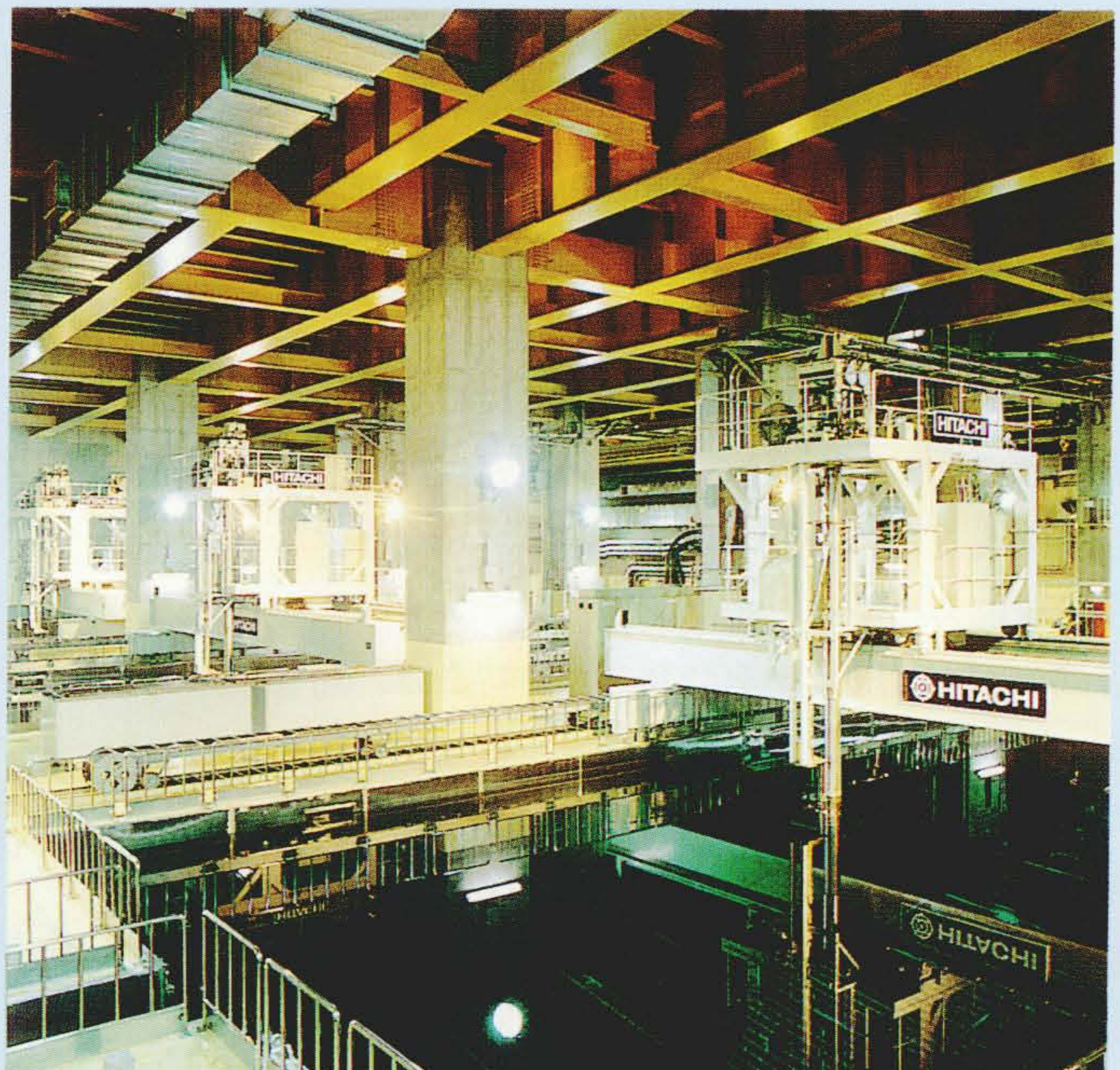
—使用済燃料貯蔵を中心に—

Technology Development for Nuclear Fuel Cycles

松田将省 Masami Matsuda 金井秀俊 Hidetoshi Kanai
菊池 恂 Makoto Kikuchi 黒川秀昭 Hideaki Kurokawa



(a) 原子燃料サイクル



(b) 日本原燃株式会社六ヶ所再処理工場の燃料貯蔵プール
(写真提供：日本原燃株式会社)

原子燃料サイクル技術の開発

日立製作所は、ウラン濃縮、使用済燃料貯蔵、再処理、放射性廃棄物処理・処分などの技術開発と施設建設を通じて、わが国の原子燃料サイクルの確立に貢献している。

わが国の原子力長期計画では、ウラン資源を有効に活用してプルトニウムの需給バランスを確保するため、原子燃料サイクルの確立に向けた技術開発の必要性がうたわれている。日立製作所は、ウラン濃縮、燃料加工、再処理、放射性廃棄物処理・処分などの分野で技術開発と施設建設に携わってきた。

一方、原子力発電所の順調な運転に伴って使用済燃料は増加する傾向にあり、2000年過ぎには使用済燃料貯蔵施設の容量は不足する懸念がある。既設の燃料プールに

対しては、貯蔵容量を増加して有効活用を図る必要がある。このため、中性子吸収能力に優れたボロン添加ステンレス鋼を用いたボロンラックを開発し、既設や新設のプラントで実用化している。

さらに、燃料プールで5年程度冷却した使用済燃料を対象に、自然空冷方式による低コストで、メンテナンスも容易なボルト方式など乾式貯蔵技術の開発を進めている。

1. はじめに

原子燃料サイクルの確立は、エネルギーの長期的な安定供給、放射性廃棄物処分に伴う環境負荷の軽減の観点などから、わが国の原子力政策の基本である。

ここでは、わが国の原子燃料サイクルでその位置づけがますます重要となっている使用済燃料貯蔵技術を中心に、日立製作所の取組みと技術開発の概要について述べる。

2. 使用済燃料貯蔵技術の開発

わが国の使用済燃料は確実に増加しており、2000年過ぎには使用済燃料貯蔵施設の容量は不足する懸念がある。このため、既存の燃料プールの貯蔵容量の増加を目的としたボロンラックのほか、低コストでメンテナンスも容易なキャスクやボルト方式など、乾式貯蔵技術の開発を幅広く進めている。

2.1 ボロンラック

現在、使用済燃料は主に発電所内の燃料プールで安全に貯蔵されている。燃料プールでの高密度貯蔵実現のニーズにこたえるため、従来のステンレス鋼ラックよりも中性子吸収能力に優れたボロン添加ステンレス鋼を用いた角管式のボロンラックを開発した。特徴は、角管を市松模様に配列してちゅう密化を図り、軽量かつ耐震性に優れた構造としている点である(図1参照)。これにより、貯蔵密度を従来比で30%向上でき、すでに既設プールの増容量工事や新規プラントで採用されている。

さらに中性子吸収能力を高め、燃料貯蔵密度を向上するため、ボロン添加量を1.3 wt%に増加した平板式の高性能ボロンラックを開発した。この結果、従来の角管式に比べてさらに10%の貯蔵密度の向上を実現した(図1参照)。開発にあたっては、ボロン添加量を0.7 wt%以上に高めると、角管製造に必要な曲げ加工が困難になるという課題があった。そこで、板状のボロン添加ステンレス鋼を格子状に組み合わせる新しい構造を考案し、実規模モックアップ試験による耐震性実証などによって安全性を確認した。

以上は、BWR(沸騰水型原子炉)燃料を例に述べたが、PWR(加圧水型原子炉)燃料に対しても同様のボロンラックを開発済みである。

2.2 ボルト貯蔵設備

使用済燃料貯蔵設備として、わが国では水プール方式と金属キャスク方式が実用化している。日立製作所は、さらに経済性にすぐれたボルトやコンクリートキャス



(a) ボロンラックの外観

項 目	角管式	平板式
構 造		
ボロン濃度 (wt%)	0.7	1.3
貯蔵ピッチ (mm)	163	156
貯蔵密度比 (対ステンレスラック)	1.3	1.4

(b) ボロンラックの主要仕様

図1 ボロンラックの外観と主要仕様

中性子吸収能力に優れたボロン添加ステンレス鋼の使用により、使用済燃料の貯蔵密度を向上させる。

ク方式を開発している。その一例について以下に述べる。

(1) 高性能ボルトの概要

ボルト貯蔵では、使用済燃料から発生する崩壊熱の除去は建屋の煙突効果を利用した自然空冷によって行う。また、使用済燃料はステンレス製のキャニスタ内に乾燥状態で密封し、放射性物質の漏えいを防止する。このため、主要設備は静的機器で構成でき、水プール方式などに比べて大幅な合理化が可能である。

開発中の高性能ボルト貯蔵設備の概要を図2に示す。特徴は、使用済燃料を20~40体(BWR燃料の場合)収納できる大型キャニスタの採用と、このキャニスタを二段積みにした点である。大型キャニスタにより、使用済燃料の密封作業やキャニスタ輸送など、各種のハンドリングを合理化できる。また、キャニスタの二段積みによって敷地面積当たりの貯蔵密度を倍増でき、狭隘(あい)サイトへも適用が可能となる。

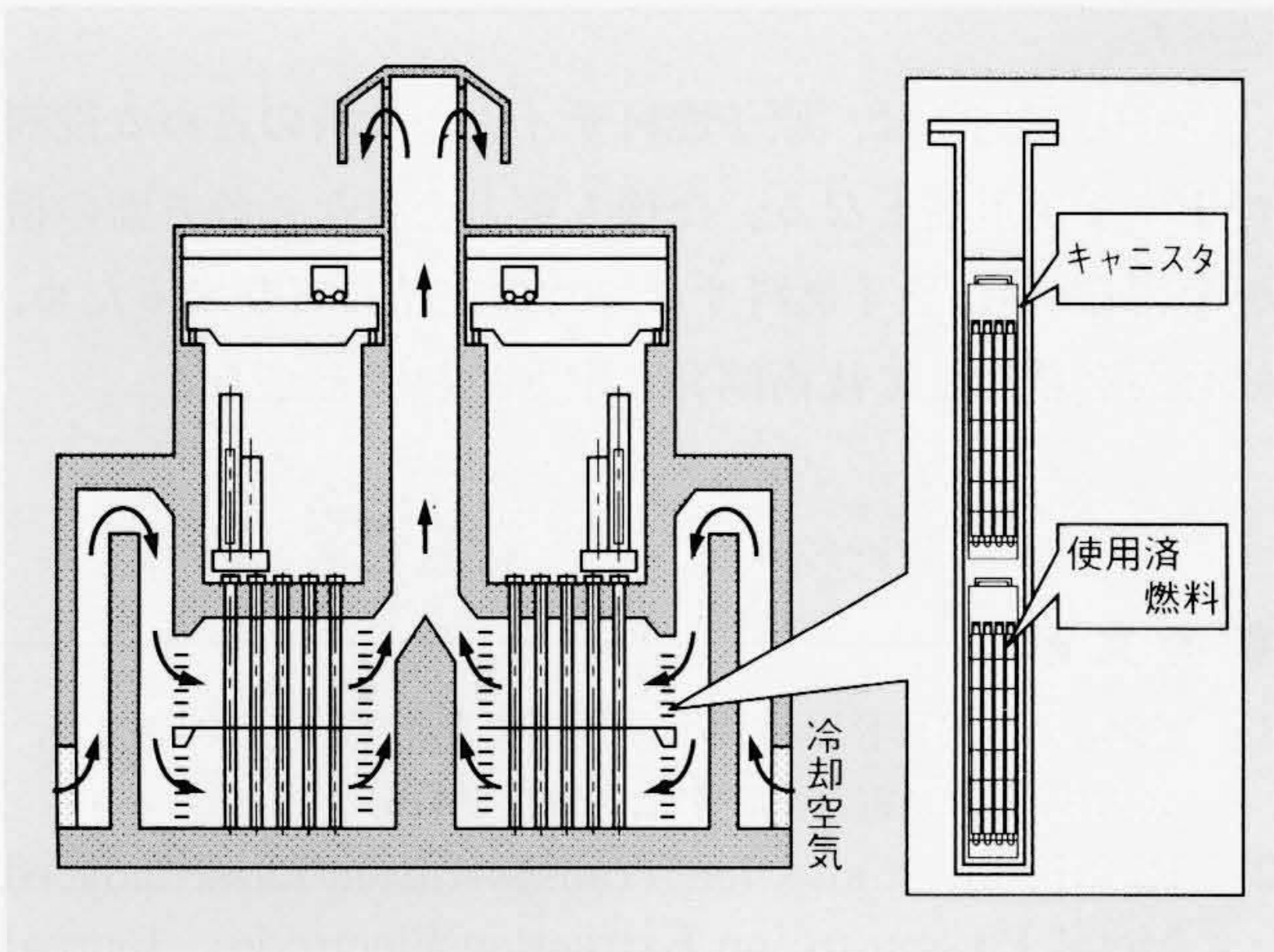


図2 高性能ボルト貯蔵設備の概要

大型キャニスタを二段積みにすることで、貯蔵密度の向上とハンドリングの合理化を図る。

(2) 性能実証

高性能ボルトの最も重要な技術課題は、除熱性能である。すなわち、貯蔵効率を高めた場合にも、使用済燃料から発生する崩壊熱を自然空冷により、均一かつ効率的に除去する必要がある。このため、実機の約 $\frac{1}{5}$ 規模の試験設備を製作して実証試験を推進するとともに、シミュレーション技術の高精度化を進めている。

試験装置を図3に示す。この装置の特徴は、二段積みキャニスタの配列や間隔、冷却空気の流量が可変の構造としている点である。これまでに、冷却空気の流量配分などを最適化することで十分な冷却性能を得られるとの見

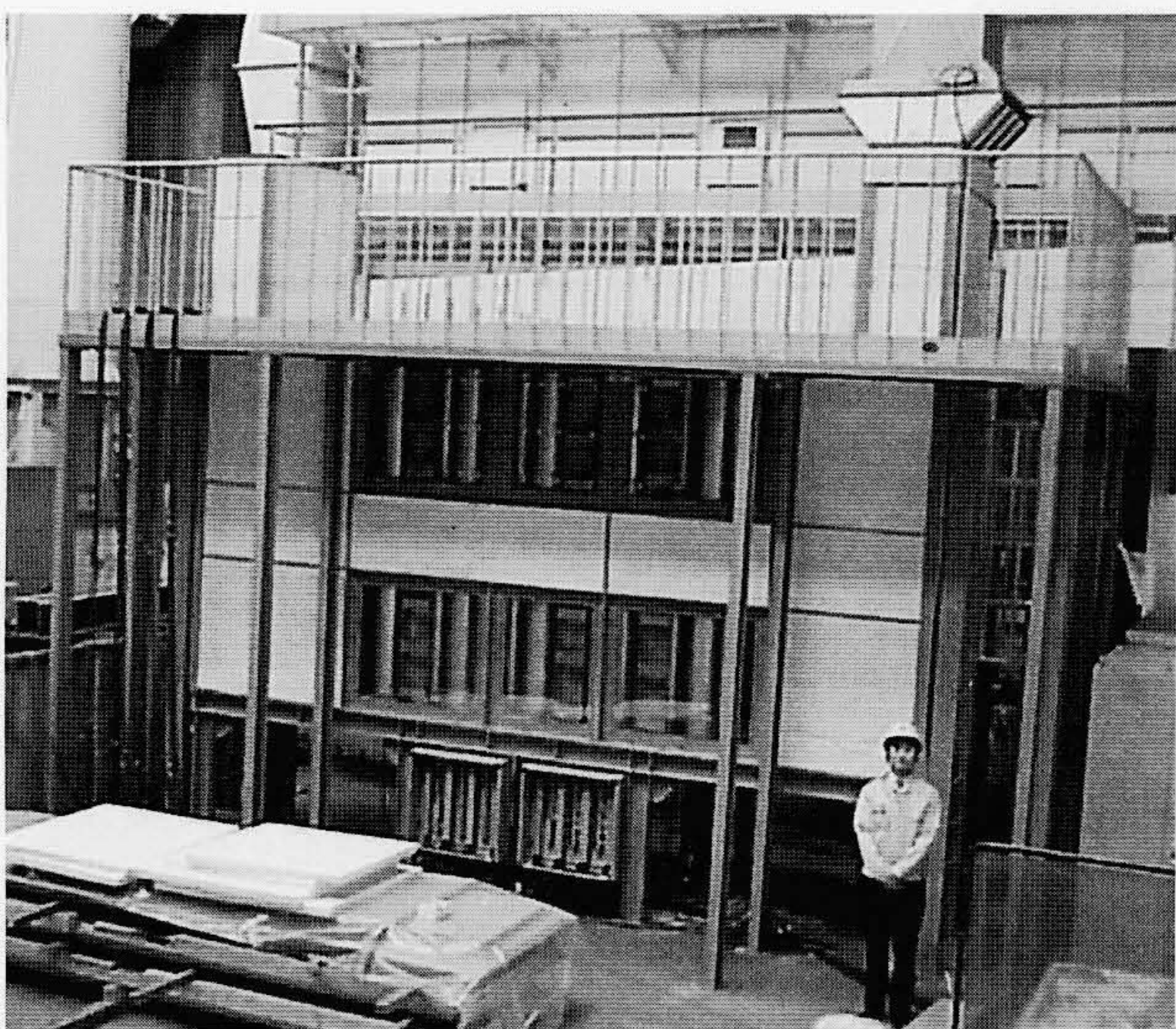


図3 ボルト貯蔵の除熱性能試験設備

キャニスタ配列や冷却空気の流量配分などを変化させて崩壊熱の除去性能を確認し、設備の最適化に反映する。

通しを得た。引き続き、各種試験データを蓄積し、各サイトのニーズに合致した設備設計に反映する考えである。

3. 原子燃料サイクルへの取組み

この章では、燃料貯蔵以外のサイクル関連技術への取組みについて述べる。

3.1 ウラン濃縮

1970年に遠心法によるウラン濃縮の開発に着手し、動力炉・核燃料開発事業団の指導を受け、商用化に向けての基盤技術を確認した。現在、日本原燃株式会社六ヶ所ウラン濃縮工場では年間750トンSWU(Separative Work Unit：分離作業単位)分を生産運転中で、年間300トンSWU分が建設中である。この工場では、運転制御のかなめである遠心機を多数台接続したカスケード設備、均質ブレンディング設備などを担当している。

遠心法に代わる次世代のレーザ法ウラン濃縮では、レーザ濃縮技術研究組合の技術開発に参加している。ここでは、金属ウランを蒸発させるための大出力電子銃、蒸発ウランの回収技術などを担当し、開発している²⁾。

3.2 使用済燃料の再処理

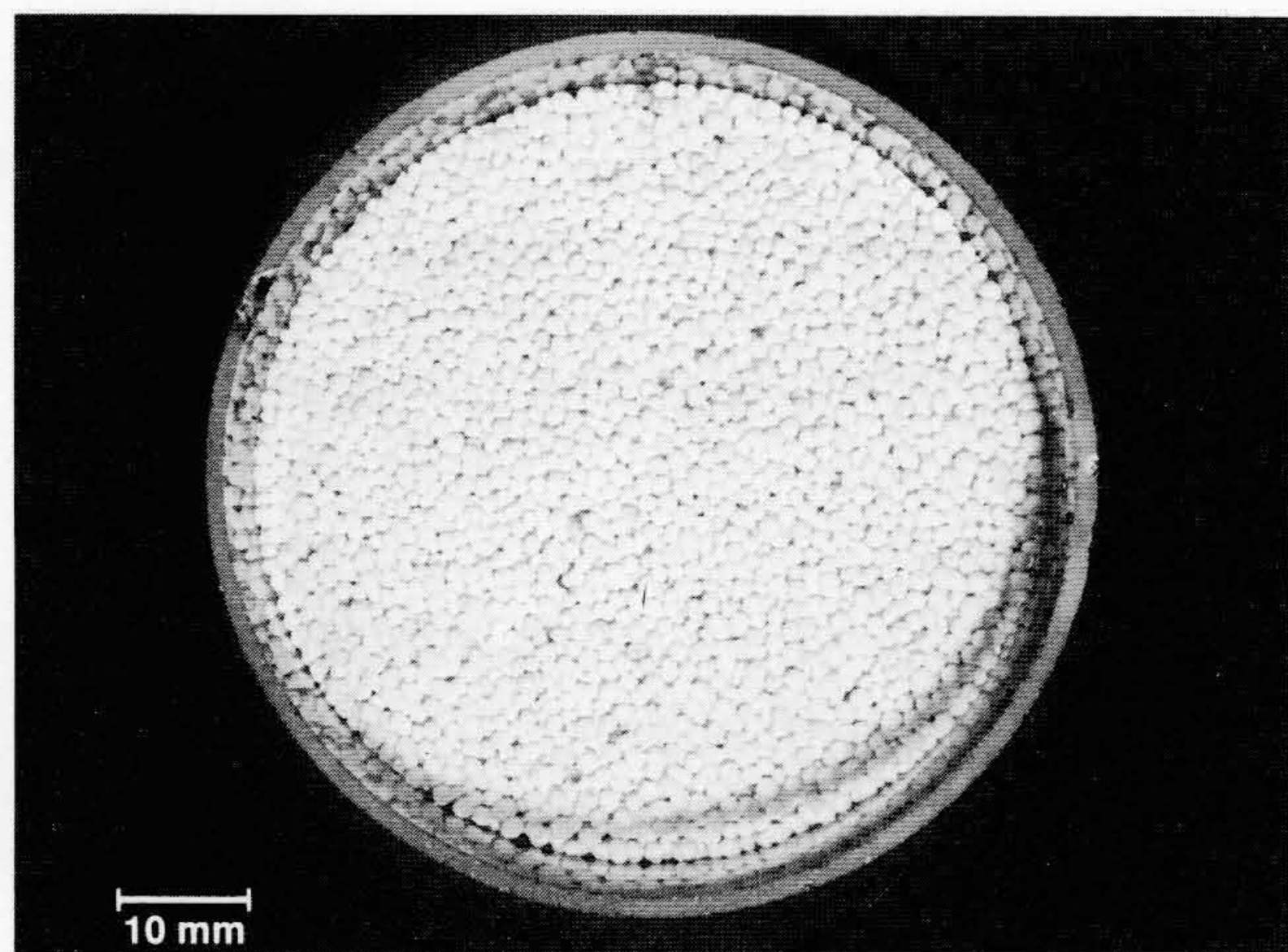
年間800 tの処理能力を持つ、日本原燃株式会社六ヶ所再処理工場が建設中である。日立製作所は、使用済燃料の受け入れ貯蔵施設、主施設のオフガス処理設備、高レベル廃液濃縮設備などを主に担当している。このうち、使用済燃料の受け入れ貯蔵施設では、模擬燃料を使用した試運転を完了した(47ページの写真参照)。一方、海外導入技術をベースに設計されている主施設については、海外先行プラントの実績を考慮するとともに、社内確証試験によって信頼性の確保を図っている。また、高速炉燃料の再処理技術開発の一環として、動力炉・核燃料開発事業団が進めているリサイクル機器試験施設の建設にも参画している。

独自技術開発の一例として、オフガス中に含まれる放射性ヨウ素を除去するためのヨウ素吸着剤の性能を図4に示す³⁾。ヨウ素の除去効率が高く、吸着容量も大きいため、廃棄物発生量を従来製品の約 $\frac{1}{4}$ に低減できる。この開発成果が認められ、米国R&Dマガジン社が選ぶ世界最優秀製品100選(R&D 100)を受賞した。

このほか、経済性の向上を主眼に、改良ピューレックス法、イオン交換法、乾式法など、次世代の再処理技術開発を幅広く進めている⁴⁾。

3.3 放射性廃棄物の処理・処分

原子力発電所から発生する放射性廃棄物の処理では、



(a) 高効率ヨウ素吸着剤

項 目	開 発 品	従 来 品
担 体	アルミナ	シリカゲル
ヨウ素 除去効率	99.9% (6 cm厚)	99% (6 cm厚)
ヨウ素 吸着容量	0.35 g/cm ³	0.08 g/cm ³
相 対 廃棄物量	1	4

(b) ヨウ素吸着剤の性能比較

図4 高効率ヨウ素吸着剤の主要性能

オフガス中に含まれる放射性ヨウ素を効率的に除去することができる。

発生量低減と減容安定化を重点に技術開発を進めてきた。主要な廃棄物の発生源である復水浄化系の改良研究に基づき、復水浄化用のイオン交換樹脂の非再生運用、非助材型の中空糸膜フィルタの採用など、廃棄物発生量そのものを低減した。同時に、先行機の運転実績を反映した廃液処理系の統廃合など、設計の合理化を進めた。この結果、ABWR(改良型沸騰水型原子炉)の廃棄物処理建屋の体積は、初期の改良標準化プラントの約 $\frac{1}{3}$ になっている。

いっそうの経済性向上を目指して、各種処理設備への新技術導入も進めている。近年、開発を終了し、実機への適用を進めているものに、(1)高性能セメント一括固化設備⁵⁾(多種類の廃棄物を単一の設備で固化処理)、(2)ヘリカルフィルタ⁶⁾過設備⁶⁾(洗濯廃液中に含まれる放射性物質と有機物を効率よく除去)などがある。このほか、再処理工場から発生する長半減期核種を含む廃棄物の処理・処分技術の開発も推進中である。

4. おわりに

ここでは、原子燃料サイクル関連の技術開発について

述べた。

原子力開発では、原子燃料サイクル技術の占める役割がますます重要となる。今後も電力会社など各方面の指導を得ながら、原子燃料サイクルの完結に寄与するため、総合力を結集して技術開発に取り組む考えである。

参考文献

- 1) 松本, 外: BWR用超稠密使用済燃料貯蔵ラックの開発, 火力原子力発電, 43, 429, 692(平4-6)
- 2) R. Nishio, et al.: Ion Transport from Laser Induced Metal Plasma to Ion Extraction Electrodes, Journal of Nuclear Science and Technology, 32, 3, 180(1995)
- 3) T. Fukasawa, et al.: Separation Technology for Radioactive Iodine from Off-Gas Streams of Nuclear Facilities, Journal of Nuclear Science and Technology, 31, 10, 1073(1994)
- 4) T. Hoshikawa, et al.: A New Concept of Nuclear Fuel Reprocessing by Applying Ion-exchange Technology, Proc. of GENES-2, Tsuruga, Japan(1996)
- 5) 松田, 外: 原子力発電所廃棄物の一括セメント固化技術, 火力原子力発電, 47, 480, 976(平8-9)
- 6) 平山: ヘリカルフィルタによる洗濯廃液/手洗い廃液処理技術, 火力原子力発電「平成8年度東北支部研究発表会」(平8-10)

執筆者紹介



松田将省

1979年日立製作所入社, 日立工場
バックエンド設計センタ 所属
現在, 放射性廃棄物処理処分技術の開発に従事
工学博士
日本原子力学会会員, 応用物理学会会員
E-mail: m_matsuda@cm.hitachi.hitachi.co.jp



菊池 恂

1975年日立製作所入社, 日立工場
バックエンド設計センタ 所属
現在, 原子燃料サイクル業務の取りまとめに従事
理学博士
日本原子力学会会員, 日本化学会会員, 化学工学会会員
E-mail: kikuchi@cm.hitachi.hitachi.co.jp



金井秀俊

1981年日立製作所入社, 日立工場
バックエンド設計センタ 所属
現在, 使用済燃料貯蔵設備の設計業務に従事
E-mail: kanai@cm.hitachi.hitachi.co.jp



黒川秀昭

1983年日立製作所入社, 電力・電機開発本部
原子力第2部 所属
現在, 使用済燃料貯蔵設備の研究・開発に従事
工学博士
日本原子力学会会員, 化学工学会会員, 日本膜学会会員, CELSS学会会員
E-mail: kuro@erl.hitachi.co.jp