

(財) 原子力施設デコミッショニング研究協会誌

デコミッショニング技報

Journal of the RANDEC.

No. 4 1991

総説 シッピングポート原子力発電所の解体
ウエストバレー再処理工場のデコミッショニング

— 目 次 —

1. 巻頭言 廃棄物の処分と Waste Culture. 1
天沼 涼
2. 「総 説」 シッピングポート原子力発電所の解体 2
石川 広範, 三保 紀生
3. 「総 説」 ウェストバレー再処理工場のデコミッショニング 17
財津 知久, 飛田 祐夫
4. 「技術報告」 原子炉解体分野へのウォータジェット切断技術の適用可能性 25
阿部 忠, 西崎 忠
松村 裕之, 池本 善和
清水 英樹
5. 「技術報告」 カッター工法による原子炉生体遮蔽壁解体工法の開発 37
福沢 六朗, 近藤 信弘
神山 義則, 八十島治典
6. 「技術報告」 プラズマジェット切断法による耐火物の切断試験 45
菊池 豊, 飛田 祐夫
谷本 健一, 榎戸 裕二
7. 「技術報告」 JPDR 解体廃棄物の管理 51
仲田 進

DECOMMISSIONING GIHOU

(The Journal of the RANDEC)

Vol. 4

November 1991

CONTENTS

Exposition

- Decommissioning of Shippingport Atomic Power Plant 2
Hironori ISHIKAWA, Norio MIHO
- Decommissioning of West Valley Reprocessing Plant 17
Tomohisa ZAITSU, Hiroo TOBITA

Technical Report

- Applicability of Water-jet Cutting Technology to Nuclear Facility
Decommissioning 25
Tadasi ABE, Tadasi NISIZAKI,
Hiroyuki MATUMURA, Yosikazu IKEMOTO,
Hideki SIMIZU
- Research and Development of the Machine for the Removing System of
Biological Shield Wall of Nuclear Reactor 37
Rokuroo FUKUZAWA, Nobuhiro KONDOU,
Yosinori KAMIYAMA, Harunori YASOSHIMA
- Dismantling Experiments for Ceramic Materials by using Plasuma-jet
cutting Method 45
Yutaka KIKUCHI, Hiroo TOBITA,
Kenichi TANIMOTO, Yuji ENOKIDO
- Management of the Radioactive Waste Arising from the JPDR
Decommissioning 51
Susumu NAKATA

廃棄物の処分と Waste Culture.



天 沼 淳

18世紀半ばから始まった産業革命以降、人間は大量の廃棄物を発生させるようになったが、特に近年急速に量がふえ、その猛烈な増加傾向によって大問題化しつつあり、殆ど連日のように新聞種となっている。この俚では行詰ることは明らかであり、今後の快適な生活の為には廃棄物についての新しい考え方、対処の仕方が必要と思われる。

放射性廃棄物も産業廃棄物の一部ではあるが放射能を有する点で区別され、通常廃棄の範疇から外されている。然し厳密に言えば極く微量の放射能はあらゆる廃棄物に含まれていて現時点では“しきい値”はない。高レベル廃棄物と雖も、問題は処分後にそれに由来する微量の放射能が、将来長期にわたり人間や環境に影響しないようにできるかどうかにか帰する。同じような問題はいわゆる有害廃棄物の場合もみられ、それが含んでいる有機、無機の毒性物質の漏出による長期の影響を防がねばならない。このような点から全ての廃棄物と同様の規制で律しようという考え方も生じつつある。

河れにせよ、これ迄は廃棄物を処分する為に多大の資金を投ずるのは無駄なように考えがちであった。しかし元々は廃棄物ではなく資源であったものを、人間の手で利用に適する形に変えたので、残りは人間には不要であっても、然るべき技術、資金を注ぎ込んで始末し、自然に戻すよう心掛ける必要があろう。

このことは倫理面からも、我々の利用の残滓としての廃棄物によって、子孫が迷惑を蒙ることがないようにしておくべきである。

米国では、低レベル廃棄物や精錬廃滓の過去のかかなり杜撰な処分によって汚染を生じた約13,000サイトの除染、修復作業を1992年から大規模に行なう予定である。その実施に当り、担当の DDE ではこれ迄のやり方を反省し、誠実で社会に開かれた対話と相互信頼に基づいた、新しい Culture and Management Process で進めようとしている。その内容はまだ精しくは知らないが、今後の進展状況に注目したい。このような方式は他の国々でも進められて居り、我々が行なおうとしているデコミ廃棄物処分にも大いに参考となる。

現在必ずしも明確とは言えない廃棄物全般および放射性廃棄物についての考え方をはっきりさせ、公衆の理解と信頼の下で処分を行なえるようにする為に我々も日本の Waste Culture とでも言うべきものの創造を急がなければならないと考えている。

SHIPPINGPORT 原子力発電所の解体

石川 広範,¹⁾ 三保 紀生²⁾

“Decommissioning of Shippingport Atomic Power Plant.”

By Hironori ISHIKAWA, Norio MIHO

Planning for the decommissioning of the Shippingport Atomic Power Plant began in 1979 and ended with publication of the decommissioning plan in 1983.

Actual dismantling activities took forty six months extending from september 1985 to July 1989. The wide variety of data and the experiences had been obtained in the course of Shippingport Station Decommissioning Project (SSDP).

In this paper, we introduce the activities of SSDP based on the final project report of SSDP (DOE SSDP-0081), topical reports concerning the SSDP, proceedings of international conference and so on.

1. はじめに

米国 SHIPPINGPORT 原子力発電所デコミッショニング・プロジェクト (Shippingport Station Decommissioning Project : SSDP) は、米国エネルギー省 (DOE) から主請負契約者として選定された General Electric Co. (GE 社) により、一括撤去方式で行われ、解体跡地は規制なしに使用できる状態で DOE から土地所有者の電力会社に返還された。

本稿は、SSDP に関する最終報告書、国際会議のプロシーディング、SSDP へ参加することにより得られた経験等を基に同プロジェクトについて紹介するものである。

2. SSDP の概要

2.1 経緯

SHIPPINGPORT 原子力発電所 (Shippingport Atomic Power Station : SAPS) は、米国ペンシルバニア州ピッツバーグ市の北西約 40 km のオハイオ

川南岸に位置しており、PWR 炉の技術開発と運転の実証を目的とした世界最初の大型商業用原子力発電所 (72 MWe) である。DOE と敷地の提供者であるデュクエンス電力会社 (Duquesne Light Company : DLC) が 1955 年に発電所の建設工事に着手し、1957 年 12 月に運転を開始した。以来、1982 年の運転中止までの 25 年間に 70 億 KWh を超える発電を達成した。その間、DOE は、原子炉系の運転・保守を担当し、DLC はタービン発電機系の運転・保守および電力の供給を担当した。DOE による技術開発と実証研究が一段落した時点で、DOE は DLC に発電継続の意向が無いことを確認した上で、SAPS を永久に閉鎖することにした。

DOE は、下記の目的で SAPS 諸施設のうち政府所有部分 (汚染の無い管理建家とタービン建家を除く全ての施設) を解体・撤去し、解体跡地を整地・緑化して DLC に返還することを 1979 年に決定した。

- 1) 原子力発電所を解体し、サイトを規制なしに使用できる状態に復旧する。
- 2) 政府所有の発電所施設を現状の技術を用いて安

1) 日本原子力研究所 動力試験炉部 解体計画管理課 総括主査
2) 鹿島建設株式会社 浜岡原子力建設工事事務所 副所長

全かつ妥当なコストで解体する。

- 3) 将来の廃炉プロジェクトへのタイムリーで有益なデータを提供する。

デコミッションングの技術的検討は、1980年1月に開始され1983年9月に終了した。解体工事は、1985年7月に開始され、当初計画よりも早い1989年12月に終了した。解体前の発電所全景をPhoto 1に、解体終了後の発電所跡地をPhoto 2に示す。



Photo 1 SSDP site status prior to commencement of physical decommissioning (Ref. DOE/SSDP-0081)



Photo 2 SSDP site status after decommissioning. Final site configuration is clearly evident. All structures to three feet below grade are removed and all voids are backfilled. (Ref. 360/18A)

2.2 体制

発電所の運転は、DOEの船用炉部門（Naval Reactors: NR）の管理下で、DLCによって行われていたが、1984年に運転終了検査と燃料取り出しが終了した時点で、発電所の管理責任は、NRから

DOEリッチランドの余剰施設管理計画局（Surplus Facility Management Program Office; SFMPO）に移管された。SFMPOは、直ちに、SSDPを設置し、GE社をデコミッションング主請負契約者（Decommissioning Operation Contractor: DOC）に、MK-Ferguson Companyを副請負契約者に選定した。また、DOEはデコミッションングに関する技術、コスト、スケジュール等について技術的支援を得るためWestinghouse Hanford Co.（WHC社）を技術支援請負業者（Technical Support Contractor）に指定した。Fig. 1にプロジェクト組織を、Fig. 2にDOC組織を示す。

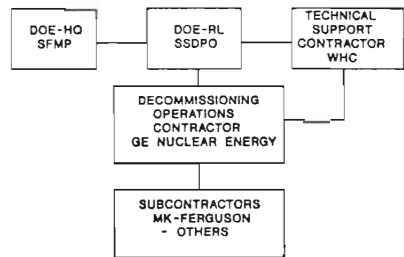


Fig. 1 PROJECT ORGANIZATION (Ref. SEP 88)

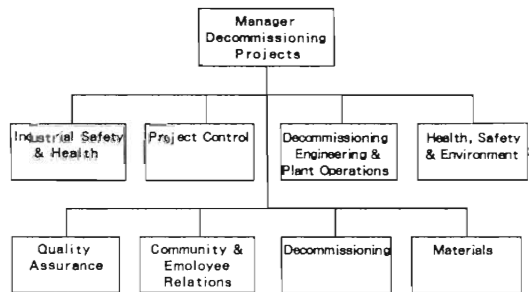


Fig. 2 DOC Organization in FY 1988 (Ref. DOE/SSDP-0061)

2.3 解体スケジュール

SAPSの解体工事は、1984年6月にDOEの認可を受け、1985年1月に解体のための準備作業が開始された。実際の解体工事は、1985年9月から1989年7月までの46カ月にわたって実施された。1987年には、一次系機器・配管の撤去が始まり解体工事はピークに達した。Fig. 3に主要なプロジェクトの活動とその主要工程を示す。

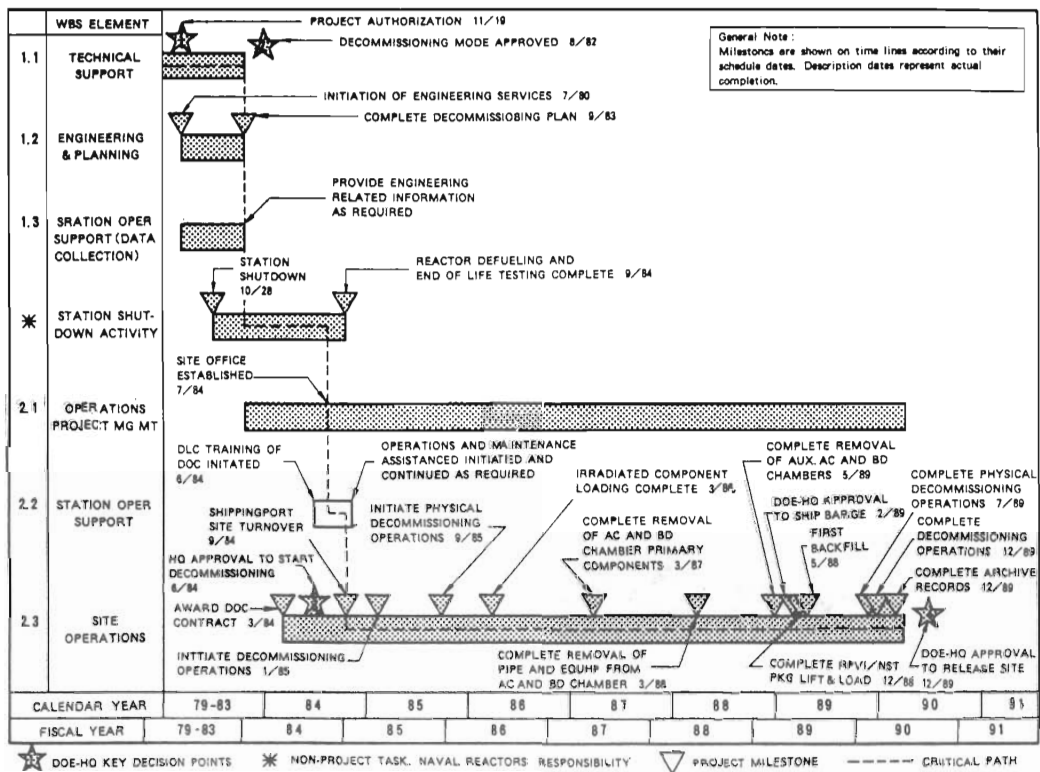


Fig. 3 Project Summary Schedule (Ref. DOE/SSDP-0081)

3. 解体工事

3.1 解体工事の特徴

このSSDPにおける主な特徴は下記の通りである。

- (1) 解体のための技術開発を行わないで現状の技術を使用して解体を行う。
- (2) 原子炉圧力容器を細断せず、炉内構造物を入れたまま外側の中性子遮蔽タンクと一体で撤去する。
- (3) 熱交換器、加圧器等の主要機器は開口部をシールし、一体物として埋設処分する。
- (4) 原子炉圧力容器は水上輸送等によりハンフォードの廃棄物処分場へ長距離輸送し、埋設処分する。

3.2 工事範囲

SSDPにおける工事範囲には、下記の作業が含まれた。

- (1) DOEの所有施設である原子炉建家、放射性廃棄物処理建家等の建家内にある機器・配管は全て撤去する。
- (2) 建家構造物については、地下3フィートまで全

て解体・撤去する。

- (3) サイトに残される建家構造物については、DOEの定めるサイト・リリース・クライテリアに適合するよう除染した後、解体跡地を埋戻し緑化して、無拘束用地としてDLCに返還する。

Fig. 4にSSDPサイト内の建家の解体範囲を、Fig. 5に原子炉建家内機器配置を示す。

3.3 解体工法

Shippingport原子力発電所の解体は、隣接地に稼働中のBeaver Valley原子力発電所1.2号機(PWR, 830 MWe)があるため、爆破工法が禁じられていたがその他の工法は特にDOEおよびDOCから制限されていない。従って、実際の工事に使用された工法は、DOEからの工事仕様書、工期およびコストを満足すれば原則的に下請業者の提案するものが採用された。以下に解体工法を示す。

- (1) アスベスト

タンク、機器、配管、ダクト等の断熱材として使用されたアスベストの撤去では、防護服、全面

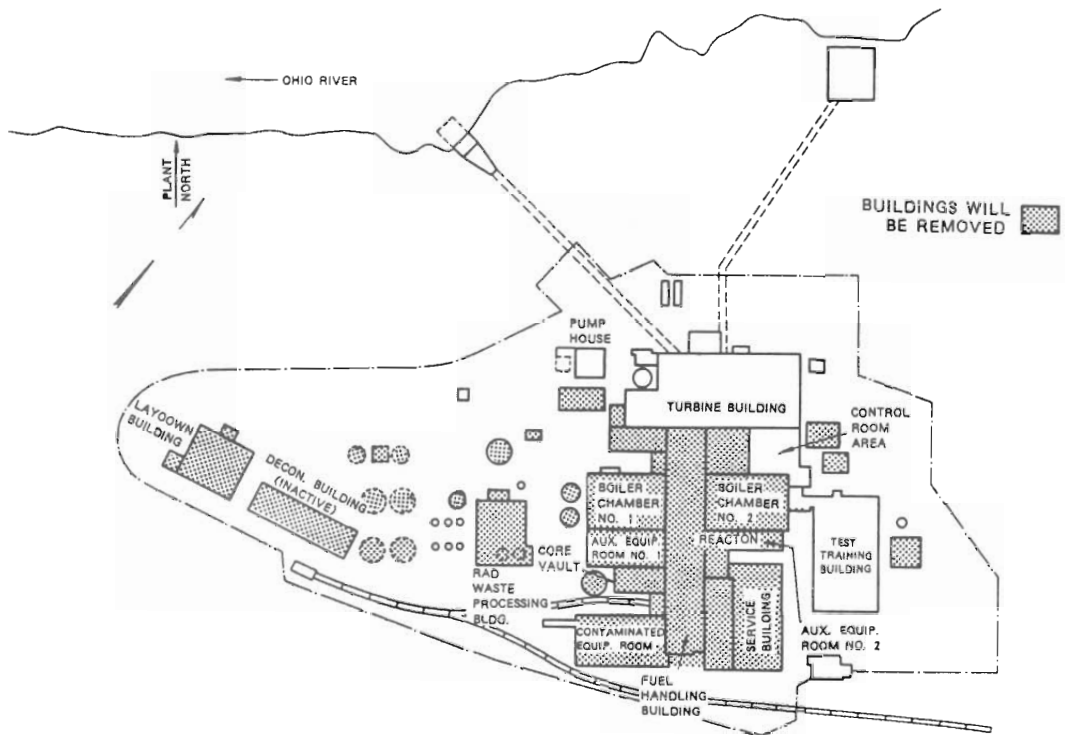


Fig. 4 SSDP Site Plot Showing Structures to be Removed

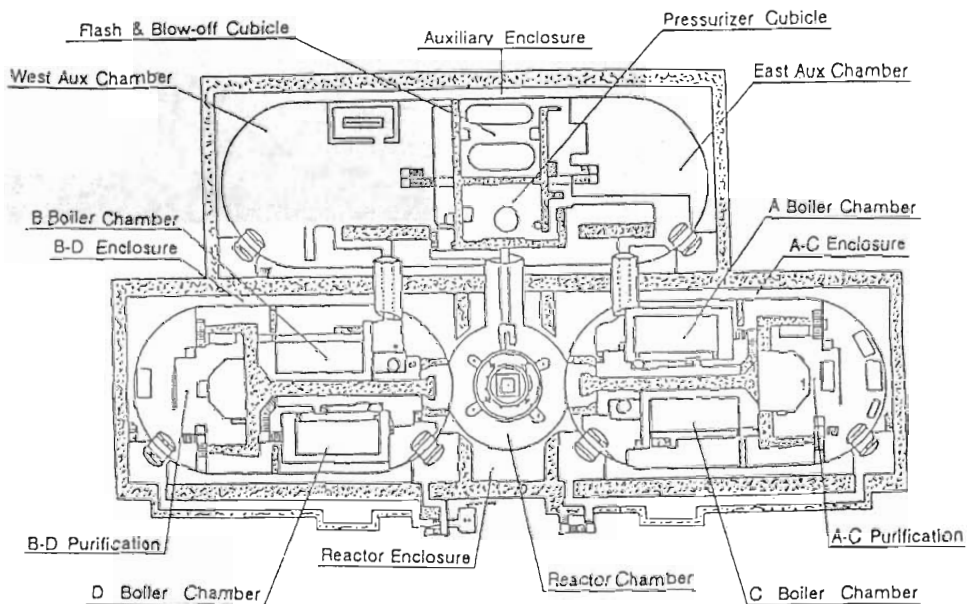


Fig. 5 Plan View of Primary Containment Chambers and Concrete Enclosures
(Ref. DOE/SSDP-0053)

マスクを着用するなど、厳しい作業管理の下に実施した。管理区域内のアスベストについては、作業効率を上げるため、アスベストを放射性廃棄物と非放射性廃棄物とに区分せず、全て放射性廃棄物として取り扱った。管理区域外のアスベストについては、有害物質の規制に従って処分を行った。また、原子炉建家の外壁サイディングパネルおよびベンチレーターのカバーパネル等の非飛散アスベストを含んでいるパネルは、一体で撤去された。

(2) 主要機器

蒸気発生器、加圧器等の主要機器については、一体で撤去した方が細断し撤去するよりもコスト、解体工数、工事期間等で有利なため一体で撤去した。撤去された機器は、米国運輸省の放射性物質運搬基準に適合するように除染された後、機器自体を運搬用容器として列車によりハンフォード埋設処分場に搬出された。これらの機器は、内部が空洞のため、埋設に伴う機器の変形による埋設地の地盤陥没を考慮し機器内部に土砂が充填された。Photo 3 に列車での搬出状況を示す。



Photo 3 Rail shipment of low-level waste large components (Ref. 208/08)

(3) 一般機器

蒸気発生器、加圧器等の主要機器以外のポンプ、配管等の一般機器は、機械的切断工法および熱的切断工法を用いて解体撤去された。これら鋼材の切断に用いられた切断機器は以下のものである。

① 機械的切断工法

- イ. Portable blade saws
- ロ. Reciprocating saws
- ハ. Electrical/hydraulic powered shears
- ニ. Hand operated hydraulic shears

② 熱的切断工法

- イ. Oxy-acetylene/propane torch
- ロ. Plasma-arc torch

切断機の選択に当っては、切断場所、切断対象物の材質、配管の口径、切断対象機器の汚染状況等を考慮して、切断機が決定された。また、燃料プール内のラックおよびキャスクの切断には、Plasma-arc torch を使用し、水中切断で行った。

(4) 建家構造物

建家構造物の解体は、機器・配管等を撤去し、建家構造物の表面除染を行った後に実施された。地上部建家構造物は、鉄骨・コンクリートブロック造であり、これらの解体には鉄塊やブル等が主に使用された。建家地下、トレンチ、ピット、タンク基礎等の鉄筋コンクリート部は、大型油圧式ブレイカおよび鉄塊によって解体し、鉄筋はガス切断しスクラップとして処分した。残置する建家との縁切には、ダイヤモンド・ブレードを使用した。地下構造物は、地表面から3フィートまで撤去され、砕いて解体跡地の埋戻しに使用された。鉄筋コンクリートの解体を Photo 4 に示す。



Photo 4 The pavement breaker mounted on a large hydraulic backhoe (HoeRam) in operation

(Ref. 244/11)

3.4 解体工事手順

SSDP の解体シーケンスでは、原則的に放射能汚染された機器・配管等の解体・撤去を行った後、解体対象建家・構築物を除染し管理区域の解除を行った上で、通常解体工法により建家の解体・撤去を行った。SSDP の工程上のクリティカルパスである原子炉系統の解体シーケンスを以下に示す。

- ① 解体・撤去の準備
- ② 原子炉1次系配管およびコンポーネントの解体・撤去

- ③ Reactor Pressure Vessel/Neutron Shield Tank (RPV/NST) のパッケージング
 - a. 原子炉格納容器の解体・撤去
 - b. RPV 内へのグラウト充填
 - c. NST 内の中性子遮蔽水の水抜きおよびグラウト充填
- ④ RPV/NSTパッケージの搬出
 - a. 原子炉建家上部構造物および B/D ボイラー建家の解体・撤去
 - b. B/D ボイラー室の埋め戻し
 - c. リフティング・デバイスの設置
 - d. RPV/NSTパッケージの原子炉建家からの搬出
- ⑤ 解体跡地の無拘束解放
 - a. A/C ボイラー建家および補助建家の解体・撤去
 - b. 原子炉建家, A/C ボイラー建家および補助建家の埋め戻し
 - c. 最終サイト解放のための除染, 放射線測定及び DOE による確認・承認

4. 原子炉圧力容器の一括撤去

4.1 概要

SSDP では解体に先立ち、RPV の撤去について一括撤去工法で行う場合と分割撤去工法で行う場合について工期、コスト、作業員の被曝等についての比較検討を行った。その結果、一括撤去工法では、分割撤去工法に比べコストで4百万ドル、工期で1年、作業員の被曝で1.5 man・Sv 削減できると評価され一括撤去工法が採用された。

SSDP では、RPV の細断を行わず炉内構造物を入れたまま外側の NST と一体でパッケージ化して一括撤去し、RPV/NST をバージによる水上輸送等で運搬し、米国西海岸のワシントン州ハンフォードにある DOE の放射性廃棄物処分場に埋設した。

4.2 パッケージング作業

GE 社が解体工事を開始した時の RPV は既に燃料集合体が撤去されており、水位が下げられ仮蓋がかぶせてある状態であった。パッケージング作業は以下の手順で行なわれた。

- ① 仮蓋をはずし燃料プールまで水位を上げ燃料集合体の端部等を収納した4つのキャスクをRPV内に挿入し、作業後水位をもとの位置まで下げる。
- ② RPV 上蓋を取り付け、RPV 内の水を抜く。
- ③ RPV 内の放射化物を固定するため約56立方ヤ-

ドの無収縮グラウト（フライアッシュモルタル）をRPV内に詰める。

- ④ NST の水抜きを行ない NST および NST と RPV のすき間にグラウト約140立方ヤードを充填する。
- ⑤ RPV/NST パッケージの上部に、吊り上げ時に用いるリフティング・ビームとスカートプレートを取り付ける。
- ⑥ スカートプレートの内側にグラウトを充填する。RPV/NST パッケージの大きさは、直径18フィート、長さ41フィートで重量は約1000米トンで、内蔵放射線量は、約16000 Ci であった。RPV/NST パッケージを Fig. 6 に示す。RPV/NST パッケージの表面線量当量率は、表面積の90%が0.1 mrem/h 以下であり、許容表面線量当量率の200 mrem/h よりはるかに小さい値であった。

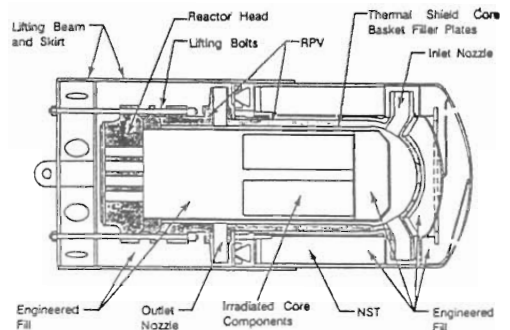


Fig. 6 RPV Packaging Assembly
(Ref. DOE/SSDP-0062)

4.3 RPV/NST の吊り上げおよびサイト内運搬

RPV/NST パッケージを吊り上げてから陸送用のトレーラー上に設置するまでの間、パッケージ重量を支持するためリアクターピット・コンクリート構造物上にリフティング・デバイスが設置された。吊り上げにはリフティング・デバイスに設置された4台のセンターホール型油圧ジャッキ（1台あたり最大吊り荷重600米トン）が用いられた。吊り上げ装置の概念を Fig. 7 に示す。

この油圧ジャッキを用いてパッケージを吊り上げ、その後西側へ水平移動を行った。水平移動は鉄骨吊りフレーム上のランウェイゲーターにつけられたラック&ピニオン方法を用い、駆動は2台の油圧モーターで行った。パッケージをトレーラー上に横倒しにするため油圧ジャッキでパッケージ頂部を少しずつ下

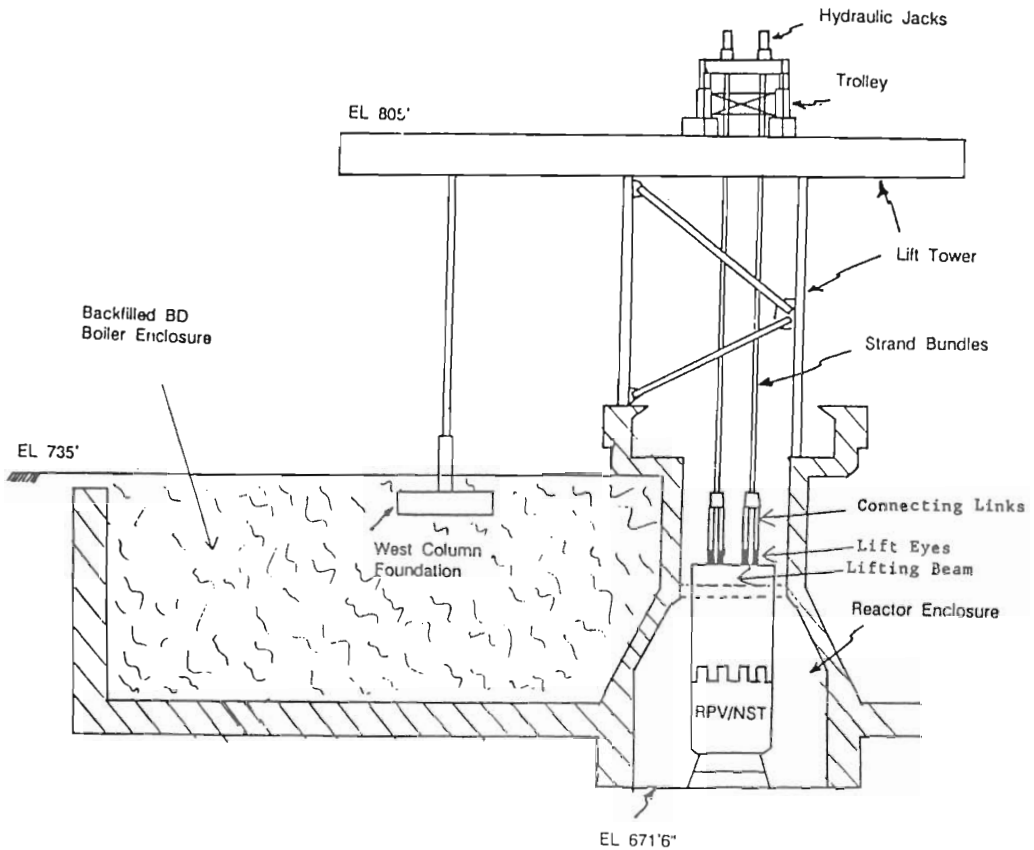


Fig. 7 Section View of Lift Tower Looking North (Ref. DOE/SSDP-0079)

げて行くと同時に、ウィンチで RPV 下部のベースプレートを南側へ移動しパッケージをトレーラーに積載した。パッケージが完全に SHIPPING・スキッド上に設置された後、独自に車輪高さの調節可能な 320 輪を有する陸送用トレーラーでサイト南側の仮置場所へ陸送された。その後、RPV/NST パッケージはオハイオ川南岸に建設されたバージ棧橋からトレーラーごとバージに載せられた。Photo 5 に RPV 吊り上げ後の水平移動状況を示す。

4.4 バージによる輸送

RPV/NST パッケージ輸送に用いるバージは長さ 61 m、幅 6 m、最大積載重量 1877 米トン、最大喫水 3 m である。SHIPPING ポートを出たバージはオハイオ川、ミシシッピ川を下り、メキシコ湾、パナマ運河、太平洋を通過し、コロンビア川を北上してハンフォード近くのベントン港まで運ばれ、そこからトレーラーでハンフォードの処分場まで運搬された。全工程は、約 13100 km で、それに要した日数



Photo 5 RPV/NST package during translation from the east bay of the lift tower to the west bay for laydown on the transporter (Ref. 291/20)

は 47 日間であった。バージによる水上輸送の様子を Photo 6 に、バージでの輸送経路を Fig. 8 に示す。



Photo 6 Departure of the loaded barge from the Shippingport Site (Ref. 322/24)



Fig. 8 Barge transportation route

SSDP プロジェクトの特色として原子炉圧力容器の一括撤去があげられるが、わが国でも原研の研究炉 JRR-3 (Japan Research Reactor No.3) に於て一括撤去方式が採用されている。JRR-3 の一括撤去については、デコミッションング技報 No.1 1989 年に詳細が報告されているので参照されたい。

5. 除 染

5.1 除染計画

除染方法を決定するための要因として、以下の項目を考慮して除染計画が作成された。

- ① 除染範囲、場所、除染表面の状況。
- ② 簡単に除染機器、資材が調達できること。
- ③ 二次汚染を防止できること。
- ④ 液体廃棄物および有害廃棄物の発生が少ないこと。
- ⑤ 除染で発生した二次廃棄物の処分が簡単に行え

ること。

SSDP では、以下の 3 つのフェーズに除染作業を分け、プロジェクトの全体計画に除染作業が順応できるよう計画された。

(1) スケジュール作成

除染作業を表面除染と内部除染とに分けてスケジュールが作成された。表面除染範囲と除染方法は汚染履歴とエリアの放射線測定結果を基に作成された。燃料プール等のコンクリート除染には表面剥離の方法が、遊離汚染が予想される所や遊離汚染であることが解っている所に対しては手作業 (swip, wash, vacuum cleaner 等) による除染方法が適用された。

遊離性汚染の除染については、比較的簡単に除染が行えるため、常駐している GE 社の作業員が担当し、固着性汚染や内部汚染の除染については、下請業者に発注し除染作業を実施した。これは、比較的短時間に除染技術者を動員することができることと解体期間中、沢山の除染作業員をかかえておく必要がないためであった。

(2) 初期除染

この除染の目的は、除染場所を確保すること、バックグラウンドを下げ解体廃棄物の放射線測定ができるようにすること、汚染レベルの高い放射性廃液タンクを低レベル放射性 (Low Specific Activity : LSA) 廃棄物として輸送できるようにし、以降の除染作業のための経験と情報を得ること等のために行われた。

(3) 最終的除染

この除染は、一次系の設備・機器および使用済樹脂タンク、廃液処理タンク等を LAS 廃棄物として輸送できるようにすること、サイトを無拘束に解放すること等のために行われた。サイトの無拘束解放のための除染は、除染機器の撤去後に実施された。

5.2 表面除染

(1) コンクリート

コンクリートの表面剥離はサイトを無拘束解放するために行ったもので、除染範囲は過去の運転履歴とエリアの放射線測定結果を基に決定された。適用機器としては、主にスキュブラーが使用され、汚染面積の小さな箇所やホットスポット等については、ハンドブレイカや Roto Hammer が使用された。

(2) 金属表面除染

金属表面の除染には、主にバキューム・ブラストが使用された。バキューム・ブラストの混合材としては、25～40メッシュの鉄粉（Chilled Iron Grit）が使用された。このバキューム・ブラストによる除染作業効率、一時間当たり約3.2㎡であった。Fig. 9にバキューム・ブラスト装置を示す。その他の固着性汚染の金属表面汚染にはペイント・ストリッパー、グラインダ等が使用され、遊離性汚染の表面除染に対しては、ふき取り、洗浄、バキュームクリーナ等が用いられた。建家除染の様子をPhoto 7に示す。

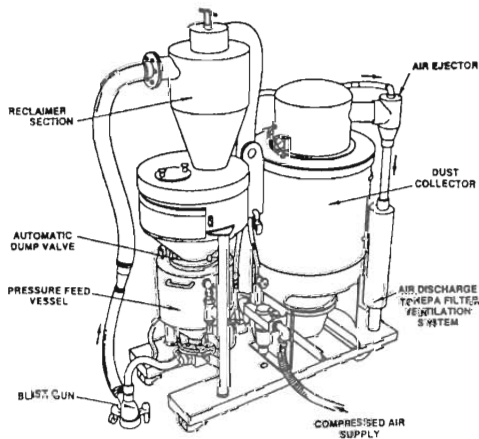


Fig. 9 Cutaway Sketch of Vacu-Blast Unit (Ref. DOE/SSDF-0076)



Photo 7 Decom worker in a man-lift in the FHB (Ref. 213/18)

5.3 内部除染

内部除染には、液体廃棄物処理タンク、一次系機器、埋設配管等の除染が含まれた。液体廃棄物処理タンクおよび一次系機器の除染は、LSA 廃棄物とし

て処分するために行なわれた。各々の除染方法を以下に記す。

- 液体廃棄物処理タンクの除染：使用済樹脂やスラッジを取り出した後、水ジェットを使用し除染作業を行った。タンク内部全体を除染した後、ホットスポットがある場合は、作業員がタンク内に入り、除染を行った。
- 一次系機器の除染：加圧器、フラッシュタンク等の除染は、これら機器を LSA 廃棄物として輸送基準に適合させるために行うもので、タンクの除染同様水ジェットが使用された。
- 埋設配管の除染：サイトを無拘束解放するために行うもので、コンクリート内部埋設配管を対象にし、水ジェットおよびこの除染のために特別に開発された Milling Machine（配管内部を削り取る機器）を使用して行われた。この両除染方法により、埋設配管を効率的にサイトの無拘束解放基準値以下に除染することができた。埋設配管の線量当量率は、埋設配管内の数箇所を TLD を数 10 時間挿入しておくことにより評価された。

6. 廃棄物の管理

解体で発生する全廃棄物の安全かつ経済的な処理処分方法を定め実施することが本業務に関する基本方針であった。そのため解体で発生する各種廃棄物の分類、細断、梱包、一時保管、搬出等を適切に行うため、廃棄物取扱手順、搬出時放射線測定仕様、輸送基準等を定めると共に、これらの業務に係る担当者の責任・役割を明確に規定し、円滑な廃棄物処理が遂行されるよう体制が整えられた。

SSDF から生じた廃棄物の内、Regulatory Guide 1.86 の規定値であるバックグラウンドを差し引いた値が 5000 dpm ($\beta\gamma$)/100 ml（遊離性汚染にたいしては、1000 dpm ($\beta\gamma$)/100 ml）を越える放射能を持つのは全て放射性廃棄物として扱われた。放射性廃棄物は全て米政府所有のハンフォード放射性廃棄物処分場に運搬され、埋設処分された。なお、高レベル放射性廃棄物は運転終了後に全て撤去されていたため、解体で発生した放射線廃棄物は、全て LSA 廃棄物として扱うことができた。主な解体廃棄物の処理・処分方法は以下の通りである。

- (1) RPV/NST パッケージ：RPV 内に炉内構造物、燃料集合体の端部および放射化したコンポーネントを納めた後、RPV 内および NST 内にグラウトを注入して RPV/NST パッケージとして一

括ハンフォード処分場に埋設処分した。

- (2) 一次系主要機器：蒸気発生器，加圧器，フラッシュタンク，ブローオフタンク等の一次系主要機器は，一括で撤去し輸送基準に適合するよう除染した後，密閉処理を施し埋設処分した。当初これらの機器をRPV/NSTパッケージと一緒に運搬船で輸送する予定であったが，ハンフォード処分場での埋設処分費の高騰が予想されたため，時期を早め，専用列車で運搬した。
- (3) アスベスト：SAPSにおいては断熱材の90%以上にアスベストが使用されていた。管理区域内のアスベストは撤去後，2重のポリエチレンバッグに詰め，木製コンテナに収納し放射性廃棄物と危険物質との混合廃棄物としてハンフォード処分場に埋設処分された。非管理区域で発生したアスベストは有害廃棄物として公的に認められた処分場に廃棄した。
- (4) その他の放射性固体廃棄物：一括撤去の主要機器を除く一次系機器・配管等の金属類，コンクリートの表面除染により生じたコンクリート，汚染土壌等は，各種のLSAボックス等に詰めてハンフォード処分場にトラック輸送した。
- (5) 非放射性固体廃棄物：放射線測定を行って，基準値以下と判定されたチェンバースチール，鉄筋などの金属類，コンクリート構造物解体時に生じたコンクリート塊などが非放射性固体廃棄物として取扱われた。放射線測定を行い非放射性物質と判定された金属類は，地元業者にスクラップとして売却された。コンクリート塊は放射線測定によりサイトリ・リリースの基準値を満足していることを確認した後，建家解体後の埋め戻しに使用した。
- (6) 放射性液体廃棄物：解体期間中に発生した放射能レベルの低い廃液は，液体廃棄物処理系で処理した後，希釈してオハイオ川に放出した。高放射能レベルの廃液，スラッジ等はドラム缶でセメント固化し，ハンフォード処分場に輸送した。

約16,600 Ciの放射能を含む4,300トンの放射性固体廃棄物がトラック，貨物列車およびバージュによりハンフォード処分場に運搬された。ハンフォード廃棄物処分場の状況をPhoto 8に，また，ハンフォードに輸送された廃棄物量をTable 1に示す。

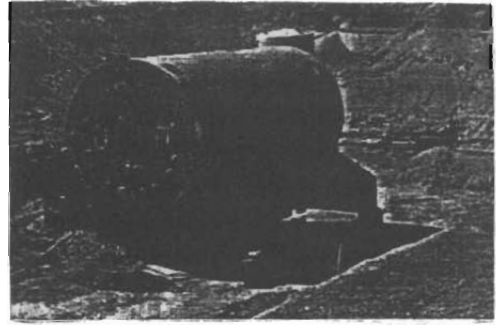


Photo 8 RPV/NST package on foundations in the burial trench
(Ref. 347/76)

Table 1 SSDP Radioactive West Shipments to Hanford

| | Units | K (ft ³) | M (#) | Tons | Ci |
|----------|-------|----------------------|-------|------|--------|
| Trucks | 200 | 192 | 6.6 | 3000 | 116 |
| Railcars | 8 | 12 | 1.0 | 456 | 24 |
| Barge | 1 | 10 | 1.8 | 817 | 16,470 |
| Totals | 209 | 214 | 9.4 | 4273 | 16,610 |

Non-Radioactive Releasable Scrap = 400 Tons

(Ref-DOE/SSDP-0081)

7. 放射線管理

7.1 放射線管理区域

SSDPにおける管理区域は，放射線管理区域と表面汚染管理区域とに分かれている。放射線管理区域は，1 mrem/hour以上の線量当量率の区域で，特に100 mrem/hour以上の線量当量率の区域については高放射線区域として，常に施錠による管理がなされた。管理区域と非管理区域の境界にはバリアーが設置され，退域時にフリスカー（GM計数管）による検査が行われた。450 pCi/100 cm²以上の表面汚染のある区域が表面汚染管理区域として指定された。なお，空気汚染については， $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{ml}$ 以上の汚染箇所への入域には，ガスマスクの着用が義務づけられた。

7.2 放射線被曝管理

放射線作業従事者は，放射線作業従事者教育を受け，ペーパーテストに合格し健康診断を受けた後，放射線作業従事者として認定された。これらの資格検査は1年毎に実施された。

管理区域への入域時には，ポケット線量計とTLD（Thermal Luminescent Dosimeter）の着用が義務づけられた。また，表面汚染管理区域においては，

放射能汚染防護服等の着用も必要で、着用基準は汚染レベルにより、ゴム手袋、オーバーシューズなどの部分的なセット（450 pCi/100 cm²未満）、フルセット（450 pCi/100 cm²以上 1000 pCi/100 cm²未満）、ダブルセット（1000 pCi/100 cm²以上）の3段階に区分された。またTLDは3カ月毎にチェックされ、年に一度、ホールボディーカウンターによる体ない放射能測定が行われた。

7.3 環境汚染管理

気体廃棄物に対しては、HEPA フィルターを通した後のサンプリング即ち、サイト外周4カ所に設置されたエアサンプラーにより週1度の空気中の放射性物質濃度の測定等を行い放射能濃度がペンシルバニア州およびDOEの放出放射能濃度基準を満足していることを確認した。

サイト境界の線量当量率の測定では、TLDをサイト境界のフェンスに設置し、四半期毎にサイト境界の線量当量率の測定を行った。サイト境界の線量当量率は通常、10 mrem/3カ月以下であり、制限値である500 mrem/年よりはるかに低い値であった。

放射性液体廃棄物に対しては、排水時以外でも四半期毎にオハイオ川への排水口でサンプリングを採取し、放射性物質濃度を測定すると共に川底の沈澱物についても年に1回サンプリングを行った。SSDPから放出された廃液濃度は、DOEの制限値をはるかに下回るものであった。

8. サイト・リリース

サイトを無拘束に解放するため、敷地の用途にかかわらず公衆に対する被曝線量当量を100 mrem/year以下にすることおよびALARAの精神にのっとり被曝低減を図るというDOEのガイドラインを基に、DOCはシナリオと称して、将来予想されるサイト使用状況を想定し、サイト無拘束解放の実施計画を作成した。

(1) シナリオの想定

DOCは将来のサイト跡地使用について以下の4つのシナリオを想定し、許容放射能基準値を定めた。

- ・居住化シナリオ：将来サイトに人が住み、サイト内の井戸水を飲用・生活に用い、食物のほとんどをサイト内で自給する状況を想定。
- ・事務所化シナリオ：サイトに埋め戻された地下のコンクリート構造物を掘り起し、事務所とし

て再利用することを想定。

- ・記念品シナリオ：サイト跡地からコンクリート塊を掘り出し自宅に持ち帰り記念品として使用することを想定。
- ・露出スラブ・シナリオ：コンクリート構造体が何らかの理由により露出され、跡地を訪れる人間が継続的に被曝する状況を想定。

シナリオのいずれにも該当しないコンクリート部材は土であるとみなされ、その公衆被曝への寄与は居住化シナリオをとおして評価された。

(2) 許容放射能基準値

跡地使用の4つのシナリオを考慮し、公衆に対する線量当量を100 mrem/yearのサイト・リリース基準を満足するように、各地下コンクリート構造体および土壌に対する、許容基準値を以下のように設定した。

- ・土壌（地下3 m以浅）：放射能濃度を平均6 pCi/g（Co-60換算）、最大60 pCi/g以下にすること。
- ・土壌（地下3 m以深）：放射能濃度を平均100 pCi/g（Co-60換算）、最大1000 pCi/g以下にすること。
- ・地下コンクリート構造体（地下3 m以浅、一辺3 m床面積10 m²以上、事務所化シナリオに対応）：表面線量当量率を平均0.05 mR/h at 1 m、最大0.5 mR/h at 1 m、平均0.2 mR/h at contact、最大1.0 mR/h at contact以下にすること。
- ・地下コンクリート構造体（地下3 m以浅、一辺1 m床面積2 m²以上、露出スラブ・シナリオに対応）：表面線量当量率を平均0.6 mR/h at 0.5 m、最大6 mR/h at 0.5 m以下にすること。
- ・コンクリート塊（地下3 m以浅、50 kg以下、記念品シナリオに対応）：表面線量当量率を最大2 mR/h at contact以下にすること。

Fig. 10に各シナリオに対する制限条件を示す。

サイト・リリースの実施手続きとしては、DOCがサイト除染を行い放射線測定をした後、IVC（Independent Verification Contractor）と呼ばれる独立した組織による最終確認のための放射線測定が実施された。Fig. 11にサイトの無拘束解放手順を示す。

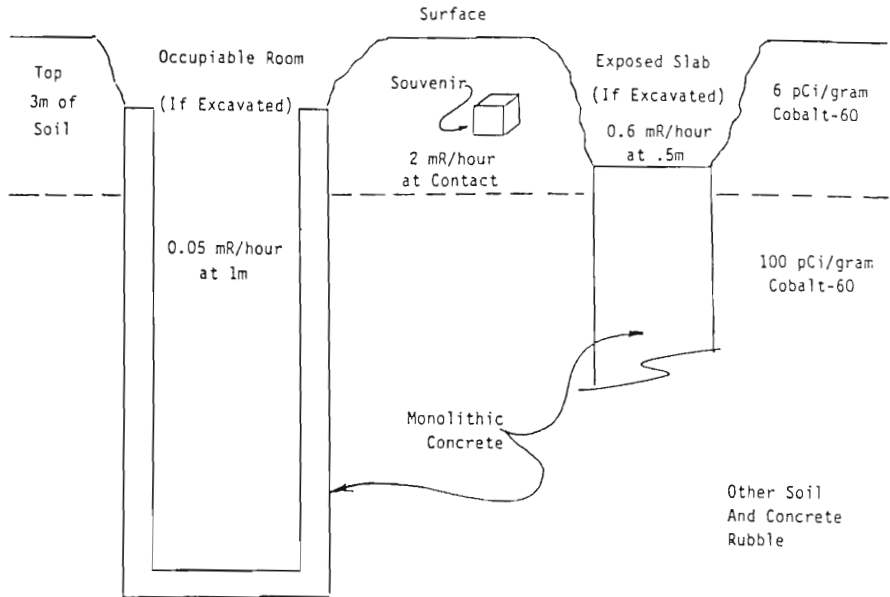


Fig. 10 Pictorial Representation of the Limiting Conditions
(Ref. KJE87-144a)

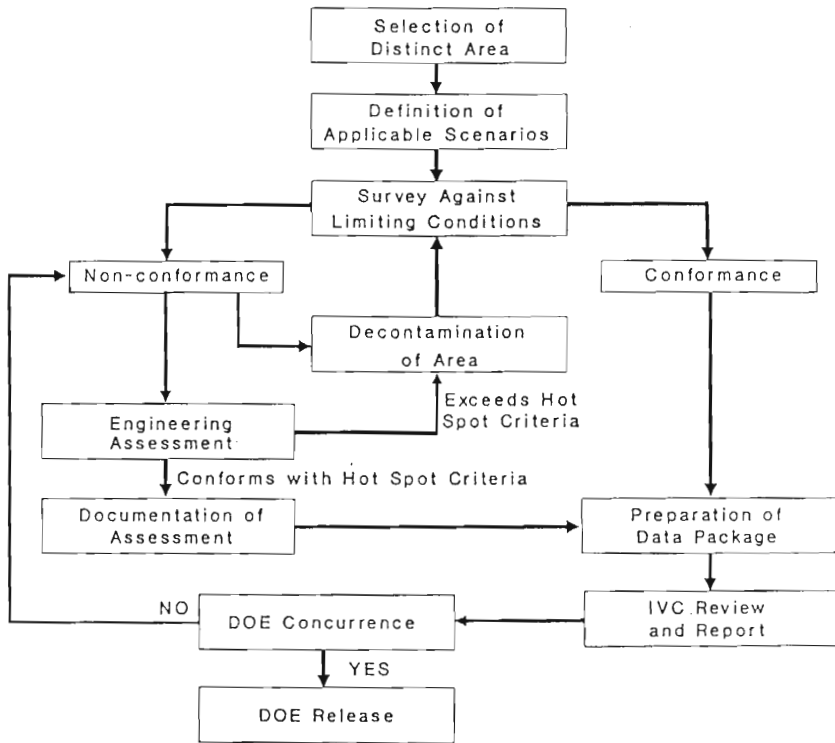


Fig. 11 An Overview of the Site Release Process
(Ref. DOE/SSDP-0061)

9. 作業管理データ

SSDPで得られた情報を将来の原子力施設のデコミッションングのために役立てることは、このプロジェクトの大切な使命の一つであり、様々なデータが収集され、保管されている。ここでは解体工数、作業員被ばくおよび解体コストについて紹介する。

(1) 解体工数

解体工数を請負契約者の管理者 (DOC Management)、解体工事支援者 (Decommissioning Support) および解体工事従事者 (Decommissioning) の3つの職種に区分し、解体工事の進捗率と併せてFig. 12に示す。工事の最盛期である1985年から1987年にかけては、毎日、170～240人で作業が進められた。工事全体を通して、一般建築物の解体と比較し解体工事従事者に対する解体支援者の割合多くっており、最盛期には、常時70～80人の解体工事支援者が解体工事をサポートしていた。解体工事支援者の内訳としては、Fig. 13に示すように、安全、環境評価、放射線管理等を含めた広範囲の業務を担当しているHS&E (Health, Safety and Environment) が33%と多く、警備14%、資材調達12%と続いている。

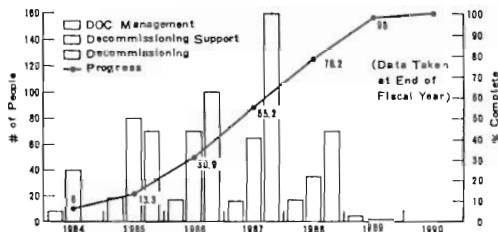


Fig. 12 SSDP Applied Manpower and Project Progress (Ref. DOE/SSDP-0081)

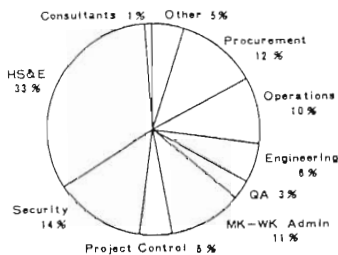


Fig. 13 SSDP Decommissioning Support Manpower Breakdown (Ref. DOE/SSDP-0081)

(2) 作業従事者被ばく

作業従事者の総被曝線量当量は、解体開始前にBuns & Roe社 (エンジニアリング会社) により、1007 mam-remと見積もられた。その後、GE社は、目標値を530 mam-remに設定し工事を開始したが、工事の進捗に伴い見直しを行って目標値を225 mam-remに設定し直した。最終的な実際の総線量当量は、155 mam-remとなり最初の見積量の約15%であった。Fig. 14に予想被曝線量当量と実績被曝線量当量の比較を示す。この様に被曝線量当量を低減することができたのは、GE社が全ての作業項目について作業計画を見直し、作業方法等の改善を進めた結果である。

放射線被ばくの多い作業は、廃棄物管理および除染 (44 mam-rem)、機器・配管撤去 (38 mam-rem)、アスベストの撤去 (22 mam-rem) 等であった。

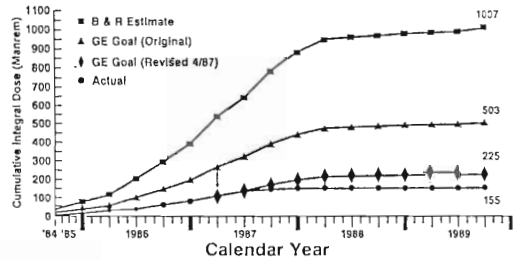


Fig. 14 SSDP Experience With Cumulative Personnel Exposure (Ref. DOE/SSDP-0081)

(3) 解体費用

プロジェクトの総費用は、見積り段階では、98.3百万ドルと評価されていたが、実際の解体費用はそれより7.0百万ドル少ない91.3百万ドルで実施することができた。これは、ハンフォード放射性廃棄物処分場の埋設処分費の値上り前に主要機器を予定より早めに輸送したこと、解体工法や手順の見直しを実施するなどの細かい努力の積み重ねによるものであった。Table 2に SHIPPING PORT発電所の解体費用の内訳を示す。解体に当たっては、現状技術を用いたため、解体技術開発費用は不要であった。

Table 2に示すように、実際の解体工事費に対し、主請負契約者に対する技術的支援、プロジェクト管理、安全評価等の技術的検討など解体工事をサポートするための費用割合が大きくなっている。これは、SHIPPING PORTの解体が大型発電

炉として初めてのケースであり、多量の放射能を有し、線量当量率の高い構造物を安全かつ経済的に解体するため、充分な検討と工事管理がなされたためである。

解体作業別の費用を Fig. 15 に示す。断熱材として使用されたアスベストの撤去には全面マスクを着用するなど厳しい作業管理下で実施されたため、費用も大きくなっている。RPV の一括撤去費においては、炉内構造および RPV を収納するための廃棄物収納容器、RPV 切断のための費用等が不要になった。

Table 2 SHIPPINGPORT PROJECT COST SUMMARY (\$ IN THOUSANDS)

| | PLAN | ACTUAL |
|--|-----------|-----------|
| <u>Phase I Engineering</u> | | |
| A/E = BRISC | \$ 4,669 | \$ 4,669 |
| TSC = UNC | 1,397 | 1,397 |
| Phase I Total | \$ 6,066 | \$ 6,066 |
| <u>Phase II Decommissioning Operations</u> | | |
| TSC = WHC/UNC | \$ 8,330 | \$ 5,560 |
| Duquesne Light Company (DLC) | 1,000 | 1,000 |
| DOC = GE/MK-F | | |
| -Management | 6,248 | 5,975 |
| -Operations/Support | 25,635 | 27,895 |
| -Decommissioning | 35,016 | 36,373 |
| -Fee | 5,225 | 6,153 |
| Other | 0 | 2,925 |
| Contingency | 10,780 | 6,353 |
| Phase II Total | \$ 92,234 | \$ 92,234 |
| Project Totals | \$ 98,300 | \$ 98,300 |

* Indicates Total Project Underrun

A/E = Architect Engineer

TSC = Technical Support Contractor

DOC = Decommissioning Operations Contractor

(Ref. Completion of the Shippingport Reactor Decommissioning)

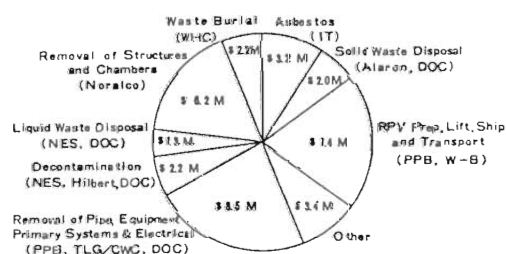


Fig. 15 SSDP Costs of Major Physical Decommissioning Activities (Ref. DOE/SSDP-0081)

10. まとめ

SHIPPINGPORT 発電所の解体工事は、初の大型原子力発電所の解体として世界の注目をあびて、1985年9月に開始し、46 ヶ月にわたって順調に工事は進捗し、1989年7月に完了した。

SHIPPINGPORT 原子力発電所の解体に当っては、原子炉圧力容器の一括撤去方式は分割撤去方式よりコスト、工期、作業被曝等の点でメリットがあるとしてこの方式が選択されたが、実際にこのプロジェクトを通し、これらについての有効性が確認された。

このプロジェクトの方針の1つとして既存技術を用いて解体を行うという事があげられていたが、SSDP の完了により特別な技術開発をせずに既存技術のみで原子力発電所の解体が出来ることが実証された。また、原子力発電所の解体跡地を民間に無拘束解放するのは初めてのケースであり、そのためのサイト・リリース基準の作成は本プロジェクトの成果の一つであった。今後、原子力施設を解体する際には、当プロジェクトで得られた知見やデータと共に SSDP におけるサイト・リリースの考え方は大いに参考になるであろう。

参考文献

1. FINAL PROJECT REPORT, SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT (DOE/SSDP-0081)
2. SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT, Removal of Structures and Containment Chambers Topical Report (DOE/SSDP-0080)
3. SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT, ACTIVITY SPECIFICATION 12-DECONTAMINATION TOPICAL REPORT (DOE/SSDP-0076)
4. SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT, Removal of Piping & Equipment and Removal of Primary System Components Topical Report (DOE/SSDP-0053)
5. SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT, Lifting, Barge Loading, and Transportation of the Shippingport Reactor Pressure Vessel Package Topical Report (DOE/SSDP-0079)

6. SHIPPINGPORT STATION DECOMMISSIONING PROJECT, PREPARATION OF THE REACTOR PRESSURE VESSEL TOPICAL REPORT (DOE/SSDP-0062)
7. VERIFICATION SURVEY OF THE SHIPPINGPORT ATOMIC POWER STATION, SHIPPINGPORT, PENNSYLVANIA (ORAU 89/K-79)
8. FY 1988 ANNUAL PROGRESS REPORT, FISCAL YEAR PERIOD OCTOBER 1, 1987 THROUGH SEPTEMBER 30, 1988 (DOE/SSDP-0061)
9. FY 1989 ANNUAL PROGRESS REPORT, FISCAL YEAR PERIOD OCTOBER 1, 1988 THROUGH SEPTEMBER 30, 1988 (DOE/SSDP-0083)
10. SCHREIBER, JOHN J., COMPLETION OF THE SHIPPINGPORT REACTOR DECOMMISSIONING, Proceedings of an international conference held in Brussels, Belgium, 24-27 October 1989, organised by the Commission of the European Communities.

ウェストバレー再処理工場のデコミッショニング

財津 知久¹⁾ 飛田 祐夫²⁾

"Decommissioning of West Valley Reprocessing Plant"

By Tomohisa Zaitzu, Hiroo Tobita

The only commercial reprocessing plant in United States, was operated by Nuclear Fuel Services Company (NFS) at West Valley, New York, in the period 1966 to 1972. This plant was shut down in 1972, and partial decommissioning for improvement of this plant was continued by NFS until 1977. However, the improvement plan was cancelled because it was uneconomical to operate.

West Valley Demonstration Project (WVDP) was started in February 1982. The final goal of WVDP is the demonstration of the Vitrification technology for final Disposal.

In this paper, decommissioning activities by NFS and WVDP is briefly introduced.

1. はじめに

米国・ウェストバレー再処理工場のデコミッショニングに係わる実証プロジェクトは、1970年代初期まで運転された再処理工場において発生した高レベル廃液を、最終処分体として安全な形態に固化処理し、その後施設を完全に撤去しようとするものである。このために必要な設備類は既存のエリアを最大限に利用して設置することとしており、これまでに既存設備等の除染、解体、撤去をほぼ終了し、廃液処理設備等の掘付、試験運転を実施している。

これまでの作業を通じて、再処理施設のデコミッショニングに伴う遠隔および直接的な除染技術、放射線防護技術と作業者のトレーニング方法、計画や作業手順の立て方、放射線管理技術等において大きな成果が得られており、本報において、これらについて報告する。

2. 経緯

ウェストバレー再処理工場は事業者である Nuclear Fuel Services Company (NFS) のために、1963年から1966年にわたって Bechtel Corporation が建設したものである。同工場の処理能力は1トン/日で、1965年に燃料の受け入れを開始し、1966年4月から処理を開始した。工場の運転は1972年の初期まで継続されたが、処理する使用済燃料の不足と改造工事に伴うセル内除染作業のため工場を停止した。この間にPu生産炉379トン、軽水炉245トン、高濃縮U-Th炉17トンの合計641トンが処理された。改造のための設計が1969年に始まり、一部の改造工事が行われた。また、NFSは、1972年から1977年までに同施設の改造工事に伴う除染・解体作業を実施した。ウェストバレー再処理工場はかつて国内で唯一の商用再処理施設であったが、1982年2月にDOEによるデコミッショニング実証プロジェクト(WVDP) :

- 1) 動力炉・核燃料開発事業団, 環境技術開発推進本部処理・貯蔵研究グループ (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)
- 2) 動力炉・核燃料開発事業団, 大洗工学センター環境技術課 (Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation)

本調査は RANDEC への委託研究を参考にまとめたものである。

West Valley Demonstration Project) が開始された。

3. 施設のレイアウト

ウェストバレー再処理工場プロセス建家のレイアウトを Fig. 1¹⁾ に示す。また FNS と WVDP によって行われた主要な除染・解体エリアのレイアウトを Fig. 2²⁾, 3³⁾ に示す。

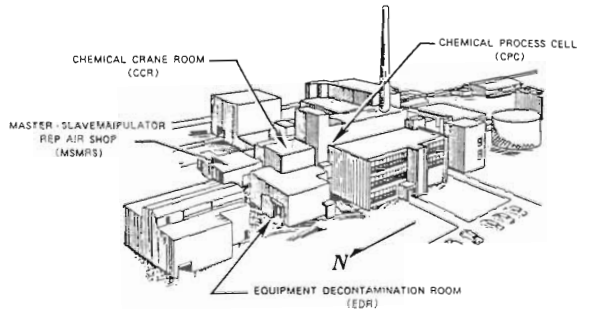


Fig. 1 West Valley Demonstration Project Process Buildings

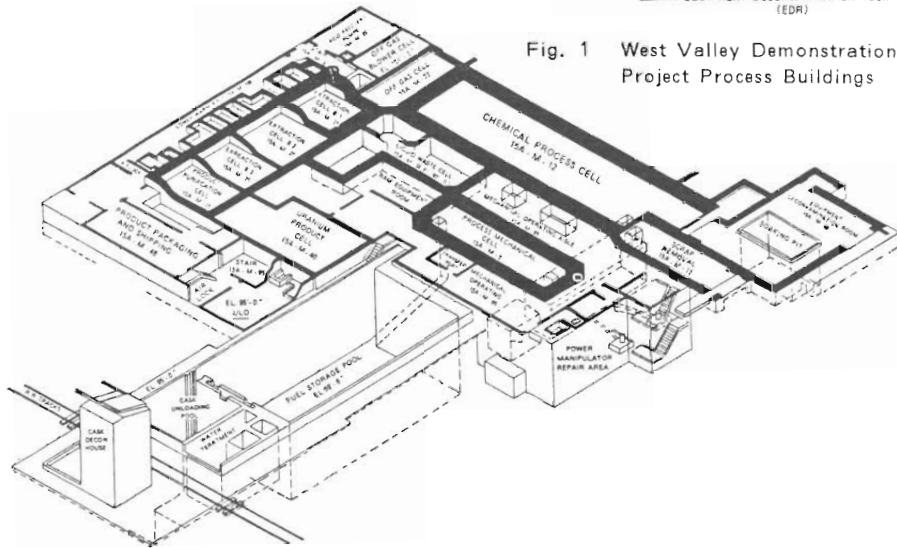


Fig. 2 Process Building Internal Layout at Elevation 100 feet 0 inches

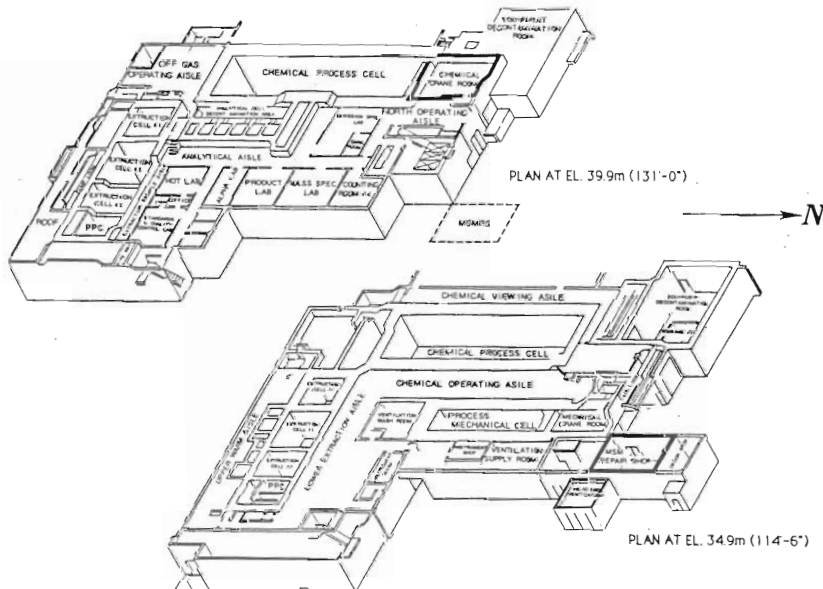


Fig. 3 Process Building Internal Layout at Elevations 131 feet 0 inches and 114 feet 6 inches

4. NFS における除染・解体作業

NFS における大規模な除染作業は 1973 年 5 月まで続けられた。許認可の遅れと、ウェストバレーにおける商用再処理事業の将来性に対する不安から作業者が減少し、これ以降大がかりな除染作業は止めた。ただし、限られた場所での小規模な除染

作業は 1976 年 7 月まで続けられた。

当初のスケジュールとこれにもとづく作業プログラムは 1976 年に終了した。施設内のさまざまな工程や場所で行われた除染・解体作業のスケジュールを Fig. - 4⁴⁾ に示す。1976 年 7 月以降、施設は待機の状態となり、保全上必要な最低限の人員によって管理された。

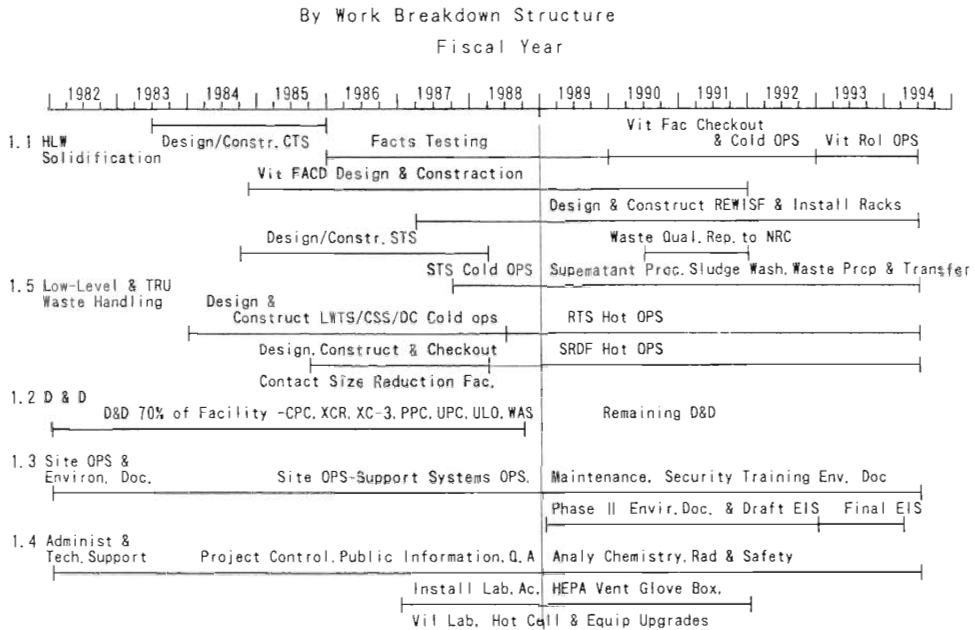


Fig. 4 West Valley Demonstration Project Phase I Summary Project Schedule

(1) 作業の範囲

- ① さまざまな機器類およびシステムの除染
- ② 化学的およびその他の方法によるセル，その他のエリアの除染
- ③ 装置および機器の解体・撤去
- ④ 解体廃棄物の処分または中間貯蔵

(2) 除染対象物の特性把握

NFS では線量レベル，表面汚染およびその他の放射能インベントリーを次のような方法によって測定した。

- ① 遠隔および直接的な方法による放射線線量計の挿入
- ② 遠隔および直接的な方法によるスミヤ測定
- ③ 廃液およびその他の残渣の試料採取と分析

測定データは，初期の段階では除染方法の計画やスケジュールの作成のために使用された。その後には作業の進捗と達成度をチェックするために使

用された。なお，これら作業のために遠隔操作作用のコリメータ，液体試料採取装置，ダスト採取装置，ならびに配管内残留液採取装置が製作された。

(3) 作業の実施

NFS の除染・解体作業では新規または革新的な技術は採用されなかった。機器やシステムの除染には各種の試薬や大量の水を使った洗浄法が採用され，その効果を高めるために加熱や攪拌などの技術が適用された。プロセス系セルなどのエリア除染には deck washing や jackhammer などの物理的除染法にさまざまな化学除染法を組み合わせたものが広く用いられた。遠隔操作設備も特殊なものではなく，一般的な既存クレーンやマニピレータが使用された。NFS が計画したプログラムの期間中，大規模な除染，解体，機器および廃棄物の撤去が行われた。

(4) 作業結果

1972年から1976年までの間、さまざまなエリアで除染・解体作業が行われた。主要なセルのひとつであるPMC (Process Mechanical Cell) における事例は以下のとおりである。

(a) 除染作業中に受けた被曝線量は425人当り212, 787 mremであった。

(b) 装置の損傷

交換を必要としたマニプレータ 23台
 損傷したクレーン 11台
 損傷したパワーマニプレータ 4台

(c) 搬出した廃棄物量

4フィート×4フィート×8フィートボックス 4箱
 4フィート×4フィート×8フィートボックス 7箱
 (GPCと共有)

30 galのスクラップドラム 74ドラム
 以上はスクラップ、埋設廃棄物、プラント構築物として発生した控え目な数である。箱詰めできない大型機材としてTysaman saw, feed magazin, feed rack housing shear ramとplug.しゃへい材がある。

(d) 除染係数

1972年3月から1977年までのNFSの作業期間中に約184,000 Ciの放射能が再処理プラントから除去された。特に最初の6ヵ月間に98%以上の放射能が除去された。

58kg以上のウラン1,800g以上のプルトニウムが1977年までに除染された。各々初期の6ヵ月間に80%以上が除去されている。

除染された放射性核種に関する情報はほとんどない。唯一、分離サイクル機器の除染フラッシュに関するものが入手されており、その内容は次のとおりである。

| Radioactive Isotopes | Measured Concentration in Flush Solutions | |
|----------------------|---|---------------------|
| | Minimum μ Ci/ml | Maximum μ Ci/ml |
| Ru, Rh 106 | 1.85 E-3 | 7.55 |
| Sb, Te 125 | 1.85 E-3 | 3.28 |
| Co 60 | 1.85 E-4 | 1.91 E-3 |
| Co 137 | 1.85 E-4 | 1.58 E-4 |

作業記録によればRu, Rh 106が常に主要成分であり、Sb, Te 125がこれに続く。Co 60, Cs 134, Cs 137も重要な構成核種である。

5. WVDPにおける除染・解体作業

WVDPは2つのフェーズから成っている。フェーズIはHLWの固化処理を実証することであり、フェーズIIはサイトを最終的に閉鎖するために、固化処理したHLW, LLW, TRU廃棄物をサイト外に搬出することである。

フェーズIのスケジュールをFig. 5に示す。

フェーズIIは1999年頃から2020年頃までの期間が予定されている。

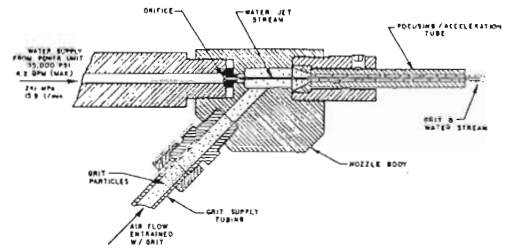


Fig. 5 Abrasive Jet Nozzle Assembly

(1) 作業の概要

通常のセルおよび機器等の除染・解体作業は、次の手順で行なわれた。

- ① 機器、床、壁に対する乾式バキューム
- ② 水噴霧
- ③ 泡沫塗布とその洗浄
- ④ 水または洗剤を染み込ませた布による直接的なふき取り
- ⑤ 機器、構造物、セル内壁に対する高圧水または試薬スプレー
- ⑥ 機器の撤去
- ⑦ 床、壁のはつり

フェーズIの除染方針は、プロジェクトを支援する新システムと装置が設置される予定の限られた区域について除染を行うことである。廃棄物処理とガラス固化処理に利用するセルは清掃と除染が行なわれた。必要な機械(セル内クレーン、マニプレータ等)の除染、修理交換が行われ、再処理設備が撤去された。各セル内に通じる全ての不要配管および配線にふたまたシールが行われた。通路や階段も除染作業のアクセスエリアとして、あるいは足場として利用するために除染された。

フェーズIIはNRCによって指示された基準に合致するようにサイトの最終除染を行うことである。

(2) 除染・解体作業

(i) 除染対象物の特性把握

除染方法を計画するにあたり最も重要な点は、全般的な放射能レベルや汚染レベルを知ることと同時に、セル全体の状況および高汚染部位を確認することである。極端な高放射線領域や高汚染レベルの部分が存在する可能性もあり、除染作業に先立って十分な計画が立てられた。

(ii) 除染・解体装置

既存の技術と装置を最大限に利用するとともに、遠隔操作による多数の切断工具や表面除染用具が開発された。

(a) ロボット

6輪駆動ロボットを使用してCPC (Chemical Process Cell) および真空セル表面の試料が遠隔操作で採取された。ロボットは学習機能を持つもので、特定動作をプログラムすることによって軽度の除染作業を行うことができる。

(b) マニプレーター

遠隔除染はマニプレーターの使用なくしては不可能である。それは強力かつ多芸な装置であり、次のような多様な遠隔除染作業を行うことができる。

- ① ハンフォード型クイックコネクターを取り外すためのインパクトレンチの操作
- ② ジャンパーの除去
- ③ 改良型研磨切断鋸および油圧式パイプ切断機によるパイプの切断
- ④ パイプのパッケージと撤去
- ⑤ 超高压水/研磨剤洗浄装置および剥離装置の操作
- ⑥ CPCのコンクリート台座を切断するため、超高压水/研磨剤切断装置とその誘導装置の配置
- ⑦ 吸引による壁、床面からの汚染・非汚染層の除去
- ⑧ セルのビデオ撮影
- ⑨ 放射線測定装置によるサーベイ
- ⑩ スミヤー 試料採取装置の操作
- ⑪ 廃棄物収納ドラムの密閉リング取り付け

(c) クレーン

クレーンは種々の除染作業を行うのに非常に重要な機械であり次のように用いられる。

- ① 汚染区域から種々の廃棄物および廃棄物

収納容器を撤去する。

- ② コンクリート試料採取装置、ドラム吊り上げ装置およびCPC台座切断装置を遠隔操作する。

種々の性能を持つ多数のブリッジ型およびジブ型クレーンが使用された。

(d) 超高压水研磨装置

WVDPでは市販の超高压水切断・洗浄装置が多くの作業で使用された。超高压装置は一般産業界では船体およびレンガ建物の洗浄、金属、コンクリート、岩石の切断等に使用されている。UHP装置は次の主要コンポーネントで構成されている。

① ディーゼル加圧装置

最高241 MPa (35,000 psi, 2,460 kg/cm²)まで水圧を上げるためにオイル増圧機(ピストン型ポンプ)が使用されている。

② 研磨剤・水ジェットノズル

ざくろ石の小砂と水を混合して研磨性の高い噴流を作る。

今日までWVDPでは最も頻りに研磨剤・水ジェット (Abjet) ノズル (Fig. 5⁹⁾) を使用している。小砂を混ぜて主としてアルミニウム缶や鉄筋コンクリートの切断を行う。

③ リニヤトラッカー (Linear Tracker)

リニヤトラッカーは、研磨剤・水ジェットノズルを用いて直線状の切断を遠隔で行うのに使用される。トラッカーはジェットノズルの移動速度を制御する駆動モーターを装備した油圧駆動の台車である。

④ 可搬式マルチジェット洗浄装置

可搬式マルチジェット洗浄装置は超高压水を用いて洗浄または剥離作業を行う道具である。

⑤ 可搬式シングルジェット洗浄装置

可搬式シングルジェット洗浄装置は軽量の携帯用作業用具で、洗浄、剥離、湿った小砂の噴射または物体の切断に用いられる。

(e) 減容装置

廃棄物の減容処理は除染作業中にセル内、あるいは他の施設で行われる。この目的のために特別に設計した2つの廃棄物減容設備が設置された。1つは放射線線量率が100 mR/hr以下の廃棄物を取り扱う減容処理施設 (Com-

pact Size Reduction Facility) である。他の1つは208ℓ (55 gal) ドラムを減容するための1,000 ton スーパーコンパクターである。

① 研磨鋸

セル内での作業員による直接切断に市販の携帯用研磨切断鋸が使用された。またマニプレータによって遠隔使用ができるように改造も行なわれた。510 mm 径の大型高速度切断鋸が設計製作された。遠隔作業の切断では、これをクレーンで吊り下げて使用した。切断速度はステンレス鋼管 50 mm 径 (2 in), スケジュール 80 (5.6 mm 厚) で 20 ~ 30 sec, 150 mm 径 (6 in), スケジュール 80 (11.0 mm 厚) で約 2.5 min である。

② プラズマアーク

プラズマアークによる切断はセル内外いずれでも有効である。空気中でアーク装置を使用すると高濃度のヒュームが発生する。このため、切断時にはヒューム吸引のための高真空装置と空気浄化のための静電気集塵装置を使用した。プラズマアークによる切断は高速なので、作業員の被曝低減の観点から放射性汚染物の切断には非常に有効な方法である。

③ スーパーコンパクター

Westinghouse Hittman 製のスーパーコンパクターを用いて、208ℓの低レベル廃棄物収納ドラムを1/3以下に減容した。自動油圧圧縮機は1,000 ton (8.9 mN) までの力を発生するピストンを持つ。この装置の利点は、通常では圧縮が難しいと考えられる配管、小型のバルブ等を圧縮できることである。廃棄物収納ドラムは圧縮後、大型の鋼製廃棄物容器内に収納される。廃棄物の圧縮減容は、廃棄物の処分コストを低減するとともに、廃棄物をより高密度で安定な形態にする。44個の208ℓドラムを圧縮減容すると、2.5 m³の処分容器1個相当になる。

(iii) 除染方法の選定

除染方法は除染区域の状態や、作業条件の制限によって選定される。多くの場合、セルや機器等は油脂状の汚染物層で被われている。水ジェットはこれらの層にほとんど効果がないので、一

般的にはまず最初に酸またはアルカリ性の泡沫溶液が使用された。NFSのプログラムとは異なり、WVDPでは水を主体とする多量の除染廃液の濃縮に蒸発装置が使用されたことはない。その理由は、多量の水洗浄は希にしか行われず、かつその使用量を最小限に抑えるようにしたからである。

(iv) 廃棄物の放射能測定

WVDPにおいて発生した廃棄物収納容器は次の方法で内蔵放射能量の測定が行われている。

① 重量が250ポンド(約125 kg)未満の白色55ガロン170ドラムは、すべてセグメントγスキャナーシステム (Fig. 6⁶⁾) による測定が行われる。

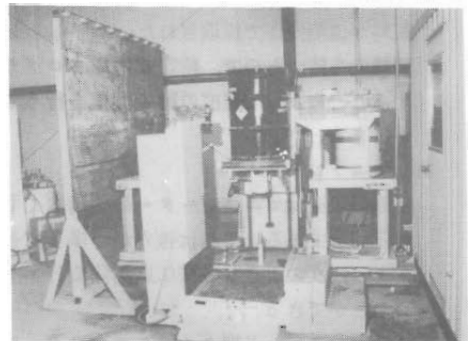


Fig. 6 Segmented Gamma Scanner

② 黒色55ガロンドラムは線量率をキュリー数に換算するプログラムを使って測定される。なお、全数の10%のドラムについてセグメントγスキャナーシステムによる測定が行われる。

③ B-25黒色90ft³ボックスは、線量率をキュリー数に換算するプログラムを使って測定される。なお、全数の10%の容器について4πパシッピング中性子測定システム (Fig. 7⁶⁾) による測定が行われる。

黄色55ガロンドラムの内容物は、B-25黒色90ft³ボックスに写し変えて、50トン圧縮機で圧縮減容する。一般的には黄色55ガロンドラム60缶分の内容物がB-25黄色90ft³ボックスに収納できる。黄色55ガロンドラムは、圧縮減容が可能な非TRU廃棄物の収納容器として再利用される。

圧縮減容可能な廃棄物とは、紙製品、使い

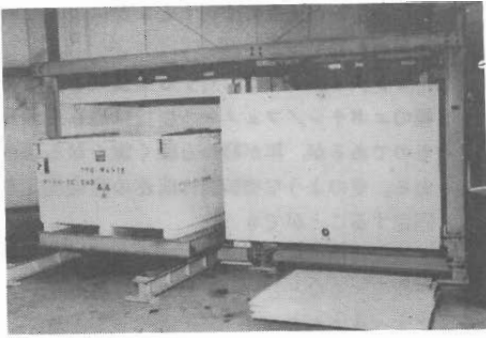


Fig. 7 "4 Pi" Passive Neutron System

捨て手袋、汚染防護用衣服等である。

④ すべての白色 DOT Type 7 Aボックスは中性子測定法で測定される。なお、非中性子放出核種 Cs-137, Sr-90, Co-60 を測定するために、線量率をキュリーに換算するプログラムが用いられている。

(3) 作業の結果

1989年6月現在で Process Building 33,000 m² のうちで 70% が除染された (Fig. 8⁷⁾)。放射線的・物理的状態、除染作業の特徴、経費の総括を Table 1⁸⁾ に示す。

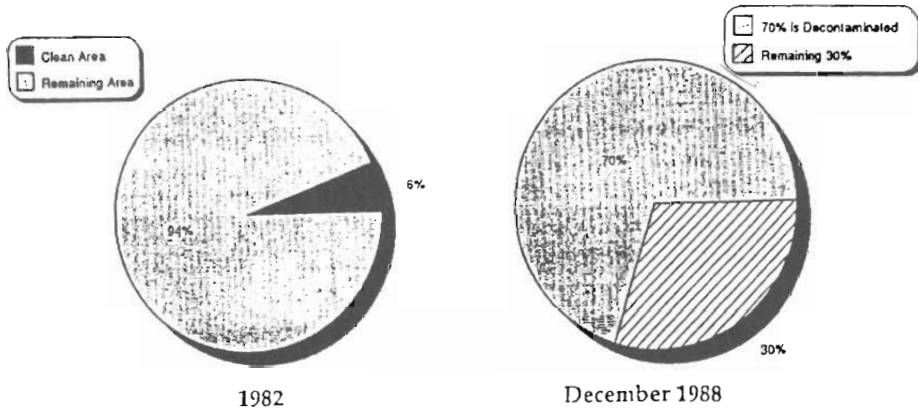


Fig. 8 Piston Pump Foam Applicator

Table-1 Cell Decontamination Summary

| Cell | Radiological Condition | Physical Condition | Decontamination Operations Characteristics | Cost (\$/m ²) |
|--|---|---|--|---------------------------|
| Cell for Contact Size Reduction Facility (MSM Repair Shop) | 0.001-0.020 R/h | Loose hardware | Manned entries with Anti-C's Respiratory protection | 354 |
| Radiochemical and Analytica Labs (Alpha Laboratory and Uranium Laboratory) | 0.005-0.300 R/h Airborne > Maximum Penmissible Concentration (MPC) | 15 gloveboxes Partition wall Fissile material present | Manned entries with Anti-C's and respirators | 479 |
| Cells and operating areas identified for Liquid Waste Treatment System (XCR, XC-3, PPC, UPC, ULO, UWA, LWA) ¹ | 0.001-0.175 R/h Airborne > MPC | 5.8 km pipe 63 metric tons vessels Limited accessibility XC-3 and PPC No mechanical capability Required air cooled vestin summer months | Semiremote decontamination Forced air Respiratory protection Multiratory anti-C's High cell temperatures | 1,038 |
| Cell for vitrified high-level waste storage (Chemical Process Cell) | 12.0-56.0 R/h Airborne > MPC | 144 piping jumpers 100 metric tons vessels and dissolvers 45 metric tons pedestal bases 2 cranes | All remote | 1,434 |

1. Extraction Chemical Room, Extraction Cell 3, Product Purification Cell, Uranium Product Cell, Uranium Load Out, Upper Warm Aisle, and Lower Warm Aisle.

床面の大半は除染されたが、正確にはこれらの部分は放射能総量のわずか2%程度にしか過ぎない。残り98%はほとんどPMCとGPC (General Purpose Cell) に属するものであるが、この部分はセルの機能に関するものを除いてまだ手つかずの状態である。

大量のセル内機器と廃棄物の除去作業が行なわれたにもかかわらず、これまでのところ必ずしもWVDPでそれほど大がかりな除染作業が行なわれたわけではない。今後フェーズIIにおいてフルスケールでの大がかりな除染・解体作業が実証されることとなる。

6. 将来施設への提言

WVDPの除染・解体作業に直接に係わったWVDPのメンバーは次のように述べている。除染・解体の観点に立った施設の最適設計とは、運転操作や維持管理の面から要求されるものとは異なる。すなわち前者はより長期的な観点に立つものであり、後者は短期的な観点に立つものである。ある種の折衷案もコスト的観点から検討されるべきものである。

特筆すべき提言として、次のようなものがあげられる。

- ① 汚染固定剤（解体撤去の際、表面汚染物を固定するためにWVDPで使用した）を作業開始

前に機器等の表面に塗布することによって解体作業がし易くなる。

- ② コンクリート表面に対する塗装剤としてある種のエポキシ/フェノール樹脂は恐らく最良のものであるが、年が経つと硬く脆くなる傾向がある。そのような塗装面は前述の汚染固定剤で固定することができる。
- ③ 遠隔操作は単純な自動接続やモジュール概念を採用するなどして、遠隔で取り扱い易い設計にすべきである。

参考文献

- 1) E. C. Phillips, M. P. Golden : DOE/NE/44139-4 (1986)
- 2) R. F. Vance : DOE/NE/44139-31 (1986)
- 3) E. C. Phillips, M. P. Golden : DOE/NE/44139-4 (1986)
- 4) WVDP 1989 Annual Report (1989)
- 5) L. W. Wiedemann, P. N. Standish : DOE/NE/44139-8 (1986)
- 6) C. W. McVay : DOE/NE/44139-16 (1987)
- 7) West Valley Demonstration Project 1990 Briefing Book (1990)
- 8) D. Tundo, R. F. Gessner, R. E. Lawrence : DOE/NE/44139-54 (1988)

原子炉解体分野へのウォータジェット切断技術の適用可能性

阿部 忠,¹⁾ 西崎 忠,²⁾ 松村 裕之³⁾
池本 善和,⁴⁾ 清水 英樹⁵⁾

“Applicability of Water-jet Cutting Technology to Nuclear Facility Decommissioning”

By Tadasi ABE, Tadasi NISIZAKI, Hiroyuki MATUMURA,
Yosikazu IKEMOTO, Hideki SIMIZU

In nuclear facilities there exist, besides relatively simple components, such as vessels and piping, numerous complex components including the multilayered plate with water layer in between, a bunch of thin tubes and composite lamination of dissimilar materials like metal/non-metal. In conventional development of reactor dismantling technology, the technology development has been made mainly for remote cutting of thick-walled structures like the reactor pressure vessel and the reactor internals. These techniques, however, are not always suitable in cutting the above-mentioned structures. As means of cutting such structures efficiently, there is available the abrasion water-jet cutting technology. This technology is now drawing attention for cutting or shaping new materials like composite material and ceramics in high precision and high efficiency. In the present report by way of its feasibility in nuclear facilities decommissioning the following are described: principle and features of the water-jet cutting technology, system configuration, cutting or shaping performance, and some examples of the cutting and shaping.

KEY WORD: *water-jet cutting technology, reactor dismantling, nuclear facility decommissioning.*

1. はじめに

従来、原子炉解体技術開発においては、作業場所の放射線量率が高く、遠隔切断が必要となるとともに、被切断物の構造物が複数かつ肉厚のものが多い等の理由から、特に切断技術、遠隔操作技術の開発が必要となっている。即ち、日本原子力研究所のJPDR 原子炉解体実施試験において開発された水中プラズマ、アークソー、インサイドディスクカッター、爆破切断技術、原子力工学試験センターにおいて開発が行われているガウジング・ガス切断、レーザー切

断技術等は、既存の切断技術の改良あるいは組み合わせによる切断能力の向上と遠隔切断化を目指した技術開発である。

しかし、特に、構造的に極めて複雑な、例えば、中間に空気層がある多層板や、細いパイプが束になった構造、あるいは金属と非金属のような異種材料のサンドイッチ構造物等の切断には前出の工法必ずしも適していない。これらの複雑な構造物を効率良く切断する有力工法として近年、開発が進められたアブレイシブウォータジェット切断工法が挙げられる。

アブレイシブウォータジェット切断技術の原子力

- 1) 川崎重工業株式会社 原子力本部 主幹
- 2) 川崎重工業株式会社 原子力本部開発部開発技術課
- 3) 川崎重工業株式会社 明石技術研究所溶接・加工研究室長
- 4) 川崎重工業株式会社 明石技術研究所溶接・加工研究室 主査
- 5) 川崎重工業株式会社 明石技術研究所溶接・加工研究室

分野への適用例としては、JPDRの生体遮蔽コンクリートの解体があるが、今後、米国アルゴンヌ研究所のEBWR圧力容器の解体、炉内建造物の切断(細断)に適用される予定と聞いている。¹⁾

川崎重工業(株)は、各種新素材、複合材料、新機能材の利用が進むにしたがって、これらの材料を高精度で、高能率で切断・加工する加工技術として、優れた特徴を有するウォータージェット切断技術に着目し、装置の開発を行い、現在、“KAWACS”(Kawasaki Water Cutting System)として商品化に成功した。“KAWACS”では切断水圧を大幅に上昇させ、被切断対象物によっては研磨材を混入させることによって更に切断能力を高めるとともに、ノズル寿命延長の工夫を加えることによって実務的な切断装置として価値を高めることに成功した。本文では、その原理と特徴、システム構成を明らかにし、切断・加工性能、切断・加工例を紹介する。

2. ウォータージェット切断・加工法の原理と特徴

高速で移動する水によって、物質を切断・破断することが考案されたのは、今から30年ほど前のことである。この頃、航空機業界で問題となっていた雨食現象(rain erosion:高速で衝突する雨滴による機体損傷)を積極的に加工法として利用しようとする試みが、日本を始めとして世界各地で研究されるようになり、その後1970年代には産業機械として利用されるようになっていった。

当初、実用化された切断装置は、水だけを使用するいわゆる純水型ウォータージェット切断装置であり、ウォータージェット中に研磨材を混入して切断性能を高めたアブレイシブ型ウォータージェット切断装置が開発されたのは1980年頃である。ウォータージェット加工の開発年表をTable 1に示す。

ウォータージェットの発生に必要となるのが超高压発生装置とウォータノズルである。超高压水発生装置の油水压回路の原理図を、Fig. 1に示す。超高压水発生装置は、2,000 kgf/cm² ~ 4,000 kgf/cm²の超高压水を発生させるもので、通常は本図に示すような増圧機方式が用いられる。

本方式の増圧機は、高压水シリンダ内のプランジャを油圧ピストンによって左右に駆動し、プランジャ断面積に対するピストン面積の比率(増圧比)に応じて、(油圧) × (増圧比)に相当する圧力の高压水を発生させるものである。増圧機によって複動(レ

Table 1 Chronological table of the development of water-jet cutting technology

| 年 | 国内 | 国外 |
|----------|---|---|
| 1945 | | 航空機におけるrain erosion(雨食現象)の発生 ・B707型機のGFRP製レダードームの構造事例等 |
| 1960年代初期 | ウォータージェット加工研究の始まり ・電子技術総合研究所 : 1,000 kgf/cm ² ・公害資源研究所 : 700 kgf/cm ² | ・アメリカ: ミシガン大学 (3,500 kgf/cm ²) ・イギリス: 動力機械山研究所 (6,000 kgf/cm ²) ・ソ連 実用化に向けての装置耐久性向上 ・高压シール、高压水シリンダ等 |
| 1970 | | 実用機の出現 |
| 1972 | 実用機の出現 | Jet Cutting Technologyに関する国際シンポジウムの開催(第1回) ・BHRA (British Hydromechanics Research Association) 主催 |
| 1980年代初期 | | アブレイシブウォータージェット加工研究の始まり |
| 1982 | | U.S. WATER JET CONFERENCEの開催(第1回) ・ASME (American Society of Mechanical Engineers) 主催 アブレイシブ型実用機の出現 |
| 1984 | ウォータージェット技術研究会発足 ・土木、建設業界中心 | |
| 1987 | | U.S. WATER JET CONFERENCEの開催(第4回) ・FA用工作機械としての研究の始まり |
| 1988 | 日本ウォータージェット学会に名称変更 | Jet Cutting Technologyに関する国際シンポジウム(第9回)が日本(仙台市)にて開催される FA用工作機械としての用途開発 |

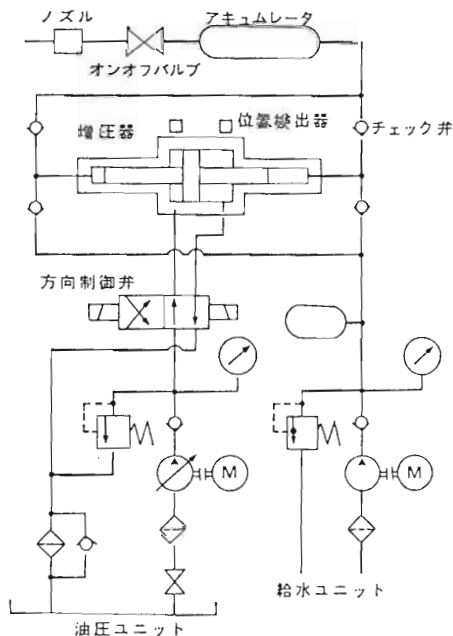


Fig. 1 Hydraulic circuits for the ultra-high-pressure water generating unit

シプロ)式に発生された高圧水は、アキュムレータを通して脈動を取り去り、ダイヤモンドまたはサファイア製ウォータノズルから吐出される。Fig. 2(a)にウォータノズルの構造を示す。ノズルの穴径は、通常、 $\phi 0.1\text{ mm} \sim \phi 0.5\text{ mm}$ のものが用いられ、噴流の速度は $4,000\text{ kgf/cm}^2$ において音速の約3倍に達する。これにより水のみで軟質材料の切断が可能である。

上記の方法で発生させたウォータジェットに、Fig. 2(b)に示すようなアブレイシブノズルヘッドを用いて、ガーネットや珪砂、鋳鉄グリットなどの研磨材を混合させたものがアブレイシブウォータジェットである。研磨材は、通常、ウォータジェット周辺に発生する負圧によって自然吸引され、混合室においてウォータジェット中に混合され、アブレイシブノズル内で加速されてワークに衝突する。研磨材の平均粒径は、 $\phi 0.1 \sim \phi 0.2\text{ mm}$ であり、アブレイシブノズルの材質は、通常、耐摩耗性の高い特殊硬質材料が用いられている。

純水型ではウォータジェット自体の力で材料を切断するのに対して、アブレイシブ型は研磨材の加速媒体としてウォータジェットを使用しているにすぎず、材料の切断は主として高速で移動する研磨材粒子と材料の衝突によって行われている。

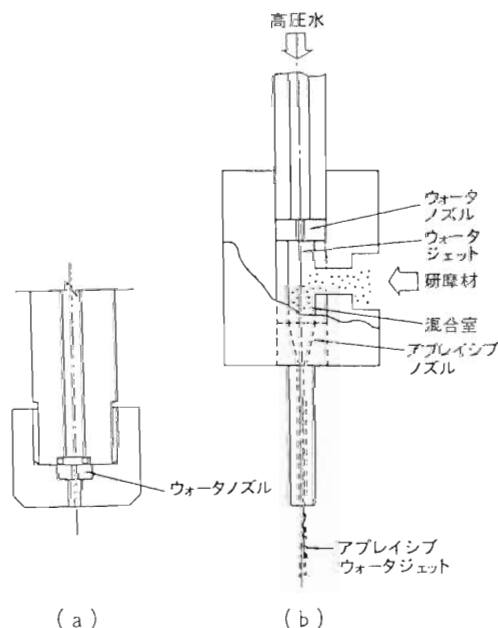


Fig. 2 Structure of the water-nozzle and abrasive-nozzle head

ウォータジェット切断は熱を用いない高エネルギービーム加工であるため、以下のような特徴がある。

- ① 切断に際して熱発生がなく、切断面に熱影響や加工歪がほとんど生じない。
- ② 切断に際してほとんど粉塵がでない。有毒ガスの発生もない。
- ③ 切断面にかかる力が小さく、薄板成型材の切断でも切口がつぶれない。
- ④ 切断反力が小さいので、ノズルの移動にロボットを容易に適用できる。
- ⑤ 3次元曲面の切断が容易。

これらの特徴を生かして、ウォータジェット切断はその適用範囲を広げつつある。Table 2 に考えられる適用分野を一括して示す。

純水型ウォータジェットは、すでにその産業機械としての地位を確立しつつある。適用材質は軟質材料に限るものの、高速かつ切断幅の少ない($0.1 \sim 0.2\text{ mm}$)切断が可能であり、騒音、粉塵の発生もないことから、繊維強化プラスチック材料の代表的な加工方法となっている。

これに対して、アブレイシブウォータジェット切断は、タイルや厚板ガラス、石材などを高速で切断できるほか、一部の高硬質材料を除くあらゆる材料を最小限の材料変化で加工できることから、新素材を含む種々の材料に対する強力な加工ツールとして大きな期待がかけられている。

3. 切断・加工システム (KAWACS : カワックス)

(1) システム構成

ウォータジェット切断・加工システムは以下のものから構成される。

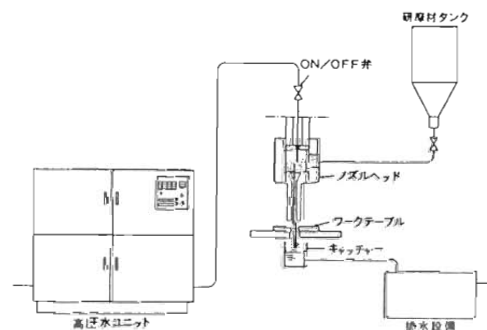


Fig. 3 Diagram of the abrasive type water-jet cutting system

Table 2 Applicable fields for water-jet cutting

A 純水タイプの需要分野

| | |
|-----------------|------------------------|
| ①プラスチックの切断 | エンブラ成形工業、家電部品工業、フィルム産業 |
| ②紙、パルプの切断 | 段ボール製造業、廃品回収業、紙オムツ産業 |
| ③繊維、織物 | 繊維産業、スポーツ用品産業、アパレル産業 |
| ④ゴム、皮革の切断 | ゴム工業、皮革工業、合成皮加工業、履物産業 |
| ⑤食品の切断（冷凍食品を含む） | 食品産業、冷凍食品産業、菓子製造業 |
| ⑥木材、合板の切断 | 林業、住宅産業、インテリア業 |
| ⑦その他 | 火薬業（固体燃料切断）、砕水船（氷切断） |

B 精密切断用アブレイシブタイプの需要分野

| | |
|---|--|
| ①金属板の切断 チタン、アルミ、ステンレス鋼、 高張力鋼、超合金など | 航空機工業、車両工業、自動車工業、造船業、各種機械工業、鉄骨製品、橋梁メーカ、鉄鋼業、非鉄工業、金属製品製造業、原動機製造業、厨房機器製造業など |
| ②ガラスの切断 網入ガラス、ステンドグラス、積層ガラスなど | ガラス工業、住宅産業、インテリア業（ステンドグラスなど）、広告業、医療機器製造業など |
| ③新素材の切断 ・複合材（FRP, FRM, FRC） ・セラミックス ・その他（磁性素材など） | （新素材関連産業） ・航空機工業、車両工業、自動車工業、スポーツ用品業 ・ファインセラミックス工業、窯業 ・電子部品工業、光ファイバー産業 |
| ④建材の切断 ・ボード、軽量コンクリートなど | 建設業、住宅産業、タイル業 |
| ⑤その他 | 原子力産業（使用済核燃料管の切断）、黒鉛製造加工業（各種黒鉛） |

C 屋外工事に用アブレイシブタイプの需要分野

| | |
|-------------------------|--------------------|
| ①鉄筋コンクリート、モルタルの切断 | 建設業、解体業、原子力産業、住宅産業 |
| ②岩石、石材、レンガの切断 | 鉱業、石切業、採炭業、造園業、窯業 |
| ③廃材（タンク、タイヤ、FRP、タタミ）の切断 | 廃材処理業、FRP 廃船処理 |
| ④その他 | 鋳物産業（バリ取） |

- ① 超高压水発生装置（KAWACS ポンプ）
- ② 加工装置（NC 装置、ロボット）
- ③ キャッチャー
- ④ 研磨材供給装置
- ⑤ 周辺機器（沈澱槽、排水ポンプなど）

アブレイシブタイプの全体システムを Fig. 3 に

示す。水のみで切断を行う純水タイプのシステムでは、研磨材供給装置が不要となる。

(2) システム例

- (i) 超高压水発生装置（KAWACS ポンプ）

Fig. 4 は超高压水発生装置の外観を示す。本装置はウォータージェット切断・加工システムの

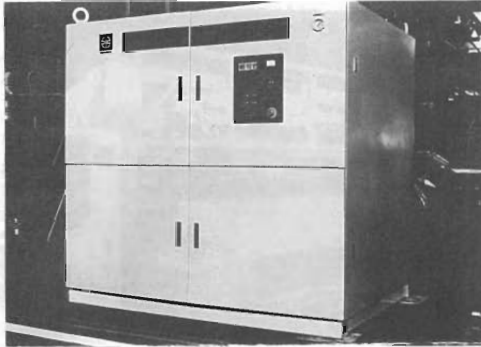


Fig. 4 View of the ultra-high-pressure generating unit

いわば心臓部であるが、ユーザーの多様な加工条件に応じて最適な機種を選択できるように、以下のバリエーションでシリーズ化を図っている。

- ① 高圧水圧力：2,000 kgf/cm²、または4,000 kgf/cm²
- ② 電動機出力：11 KW ~ 75 KW
- ③ 油圧ポンプ形式：自動負荷感応型（標準）、固定または手動可変（オプション）

本装置の超高圧水発生機構は Fig. 1 の原理図において示した通り、油圧駆動の複動型増圧機方式を採用している。2,000 kgf/cm² と 4,000 kgf/cm² シリーズとでは増圧比が異なっており、それぞれ、約 10 および 20 である。超高圧水の吐出量の増大に対しては、増圧機の本数を増大させて対応する（ツイン、マルチタイプ）。

(ii) NC (CNC) システム

ウォータージェットのアプリケーションにおいて、最も汎用性がありニーズの高いシステムは、2軸 NC 加工機と次節に示すロボット利用システムである。このうち、当社 KAWACS の 2 軸 NC 加工機は、テーブルサイズ (Y, X) で、500 × 500、1,000 × 1,000、1,000 × 2,000、1,250 × 2,450、1,550 × 3,100 の 5 種類の標準機種が用意されている。加工方式はワーク固定、ノズル移動方式を採用しており、キャッチャーはワーク下部に水を張ったオープンタンク式である。これは、テーブル面積が少なく、X-Y 軸の移動が容易なため高精度加工が可能で、重量物の加工にも適しているためである。Fig. 5 はテーブルサイズ 1,550 × 3,100 の場合の本標準加工機の外観写真を示している。

なお、500 × 500 程度の小型ワーク用には、ワークが X 軸方向に駆動され、Y 軸方向に駆動されるノズルとの協調動作によって 2 次元加工を行うタイプの加工機も用意されている。この場合は、Y 軸に沿った細長いスリット状キャッチャーを使用可能であり、キャッチャーがコンパクト化され、騒音ならびにミスト飛散が軽減される。

2 軸加工機の特徴は、

- ① 高精度加工が容易
 - ② 汎用性が高い
 - ③ NC プログラミング、CAD/CAM とのインターフェイスが容易
- などである。

適用分野としては、布地、ゴム、プラスチック、金属（アルミ合金、チタン合金、超合金等）、ガラス、セラミクス、建材ならびに複合材料などの主として平板ならびに準平板の切断・加工であり、種々な用途に利用可能である。

なお、上記以外に 3 次元形状ワークに対する高精度な切断・加工を目的とした多軸（4 ~ 6 軸）NC 加工機がある。本システムは自由度が高いため、噴流遅れや切断面倒れ等の種々の補正動作が可能であり、これらの手段を併用すれば、より高精度な加工を高速に行うことができる。Fig. 6 に 5 軸 NC 加工機の外観写真を示す。

(iii) ロボット利用システム

ロボットを使用した切断・加工システムの特徴は、

- ① 加工精度は中程度（ただし、高精度タイプも可）

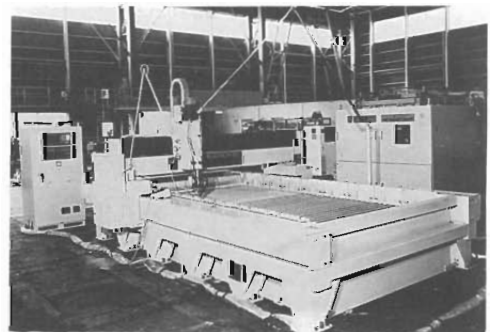


Fig. 5 View of a two-axis NC standard cutting machine "KAWACS" (Table size 1,550 × 3,100mm)

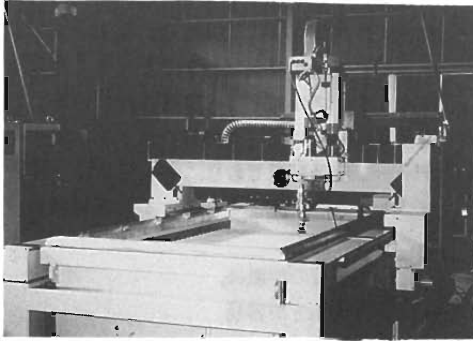


Fig. 6 View of a five-axis NC cutting machine

- ② 3次元加工が容易(立体形状のティーチングが容易で柔軟性に富む)
 - ③ 装置が比較的安価
 - ④ 汎用性が高い
- などである。

主な適用分野は、自動車内装材加工(ダッシュボード、天井板、ドアパネル、フロアカーペット)、プラスチック、FRP成形品の二次加工、航空機用部材(複合材、アルミ合金、チタン合金)の切断・加工などであり、さらに最近では鋳物のバリ取り、湯口切断への適用が試みられている。

Fig. 7及びFig. 8はそれぞれ産業ロボットとして広く利用されている当社製PH 760および最新型ロボットJs-10を用いたシステムを示している。当社のウォータージェット用ロボットシステムは、柔軟性に富み、汎用性が高い多関節型を標準としているが、より高速、高精度加工を要求される用途向けに直交型ロボットシステムの開発を進めている。

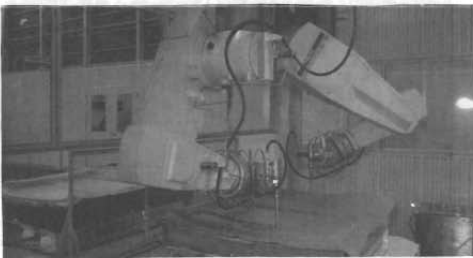


Fig. 7 View of a cutting system for the interior-materials of automobiles (PH760)

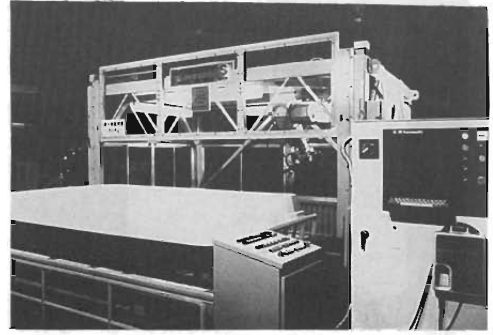


Fig. 8 Cutting system for FRP products (Js-10)

- (iv) その他のシステム

その他の切断・加工システムとしては、FRPや段ボールの生産ライン専用として使用されるノズル固定型のシステムやクロス切断システム等があり、すでに複数のFRPメーカーに納入済みである。

- (3) KAWACSの特徴

本システムの特徴は以下のとおりである。

- ① 省エネルギー、低騒音、低脈動設計の超高压水発生装置(自動負荷感応型油圧ポンプを標準装備)
- ② メカトロニクス、ロボットなどの自社保有技術を結集した高速、高精度加工システム
- ③ 新規開発の長寿命ノズルアセンブリー
- ④ ウォータージェット、レーザ加工機の開発によって蓄積された切断・加工に対するノウハウ、適用技術の提供

4. 切断・加工性能

当社製ウォータージェット切断・加工システムの代表的な切断・加工性能について紹介する。

Fig. 9は、水圧と切断深さとの関係を示したものである。材料は、アルミ合金とステンレス鋼であるが、いずれも水圧の増加にともなって増加することがわかる。増加の割合は、アルミ合金が直線的であるのに対して、ステンレス鋼では曲線となった。水圧の増加にともなって切断深さが増加するのは、ウォータージェットのエネルギーが増加することによって研磨材の速度が増加し、研磨材1個当りの研削量が増えるためであるが、エネルギー効率の観点からみると、被切断材料によって最適な水圧が存在するようである。

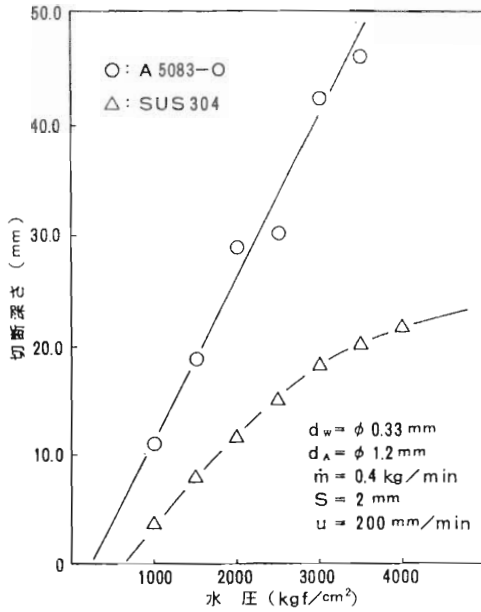


Fig. 9 Effect of hydraulic pressure on cutting depth

Fig. 10 は、研磨材としてガーネットを用いた場合の粒径と切断深さとの関係をグラフにしたものである。粒径が $200 \mu\text{m}$ までは粒径が大きくなるにつれて切断能力が増加するが、それよりも大きくなると切断能力が減少する。研磨材の粒径が大きいときに切断能力が低下するのは、①供給量を一定としているために材料と衝突する研磨材の数が減少したため、②研磨材 1 個当りの質量が大きくなったために十分に加速されないため、と考えられる。

Fig. 11 は、研磨材の供給量と切断深さとの関係を示している。研磨材供給量がある一定量を超えると、切断深さはあまり増加しない。従って、コストの関係で最適供給量が存在する。

Fig. 12 は、トラバース速度（ノズルの移動速度）と切断深さの関係を示している。図に示すように、トラバース速度が小さければ切断深さが大きくなり、同じ板厚ならば切断面が平滑になる。逆に、トラバース速度が大きくなると切断深さは小さくなり、同じ板厚の場合には切断下面にドラグライン（特有の周期的な起伏）が発生し、切断面の平滑度が悪くなる。また、軟鋼、ステンレス鋼及び超高張力鋼などの鉄鋼材料はほぼ同様の速度で切断可能である。鉄鋼材料を基準とした場合の切断速度は、アルミ合金で 2 倍、ガラスおよび花崗石などは約 10 倍であり、逆に

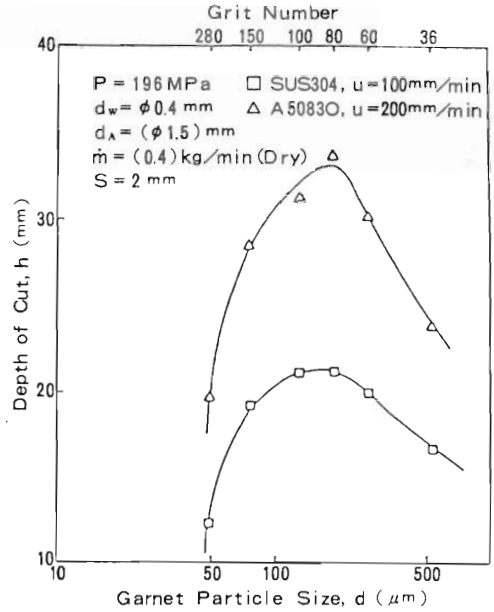


Fig. 10 Effect of garnet-particle size on cutting depth

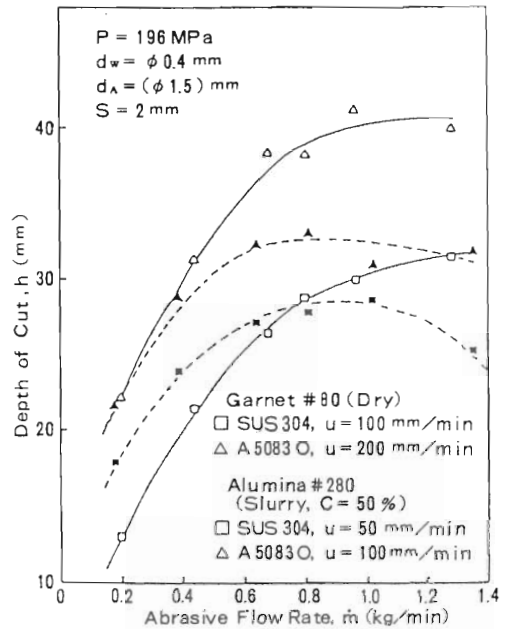


Fig. 11 Effect of feed rate of abrasives on cutting depth

アルミナセラミクスで約 $1/10$ 、超硬合金 (WC) や窒化珪素 (常圧焼結) の場合は $1/200$ 程度となる。

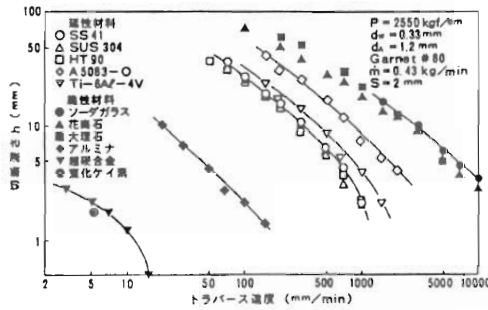


Fig. 12 Effect of traverse speed on cutting depth

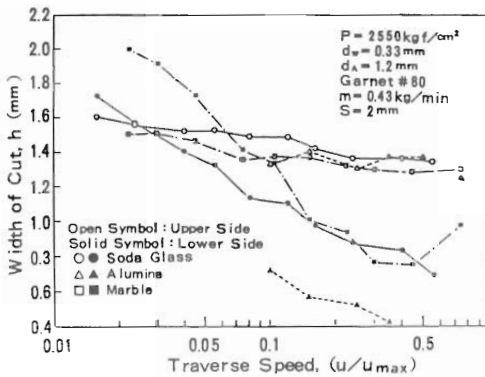


Fig. 13 Effect of traverse speed on width of cut

Fig. 13 はトラバース速度と切断幅の関係を示している。切断幅は、材料の上面及び下面について測定している。本図から、切断速度が遅い場合には切断幅は下に広がり、一方、切断速度が速い場合には逆の形状となる。この中間に、上下面の切断幅が一致する切断速度が存在する。与えられた板厚を切断できる最大の切断速度（限界切断速度）を基準にとると、この切断速度はアルミ合金などの金属材料で約 $1/10$ であるが、ガラスおよびアルミナセラミクスなどの硬質材料になるにつれてこの値はさらに小さくなる。

Fig. 14 は、各板厚のステンレス鋼をいくつかの切断速度で切断し、切断下部の面粗さ（すなわち、切断面の最大粗さ）を無次元化した切断速度（各板厚毎の限界切断速度に対する比率）でプロットしたものである。このように無次元化した切断速度を用いると、切断面の最大粗さはある程度のばらつき範囲内で、一つの曲線上にプロットされる。

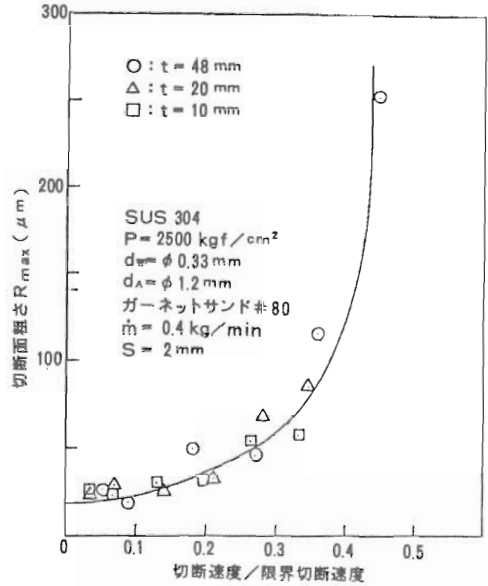


Fig. 14 Relationship between dimensionless cutting speed and surface roughness

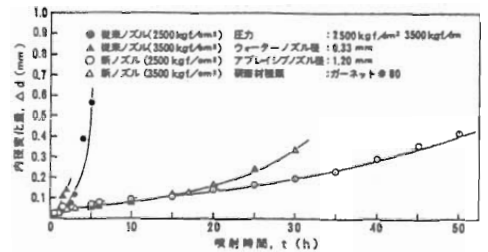


Fig. 15 Endurance limit of abrasive nozzle

切断の高速、高精度化のためには、アブレイシブノズルの長寿命化が必要である。当社では、このノズル寿命を伸ばすべくノズル材料の開発を行ってきた結果、特殊な硬質材料を開発することに成功した。この材料をアブレイシブノズルに適用することで、Fig. 15 に示すようにノズル寿命を飛躍的に伸ばすことが可能になった。このことにより、従来5時間ほどでノズル交換をしなくてはならなかったものが、一本のノズルで50～100時間の連続使用が可能となり、ランニングコストの低減ならびに高精度加工に大きく役立つようになった。

5. 切断・加工例

(1) 自動車内装材

Fig. 16 は、自動車内装材における純水型ウォータージェット切断の適用例である。現在、自動車産業界は多品種少量生産指向であるため、ニーズに応じて多様な部品を製作する必要に迫られている。ウォータージェット切断装置はノズルの駆動にロボットを適用することで、高価な金型が不要になり、多品種少量生産に柔軟に対応することができる。

その他、純水型ウォータージェットで切断した加工例を Table 3 に示す。切断対象物は、アクリル、ABS 樹脂など、金属材料と較べれば比較的柔らかい材料であるが、布地などは、切断速度を 100,000 mm/min (100 m/min) 程度にまであげることが可能である。

(2) FRP

Fig. 17 は、アブレイシブタイプウォータージェットによる FRP の切断例である。FRP などの複合材は航空機産業において機体軽量化のために使用されているが、これらの多くは難削材であり通常の切削工具で切断すると、騒音、粉塵などの作業

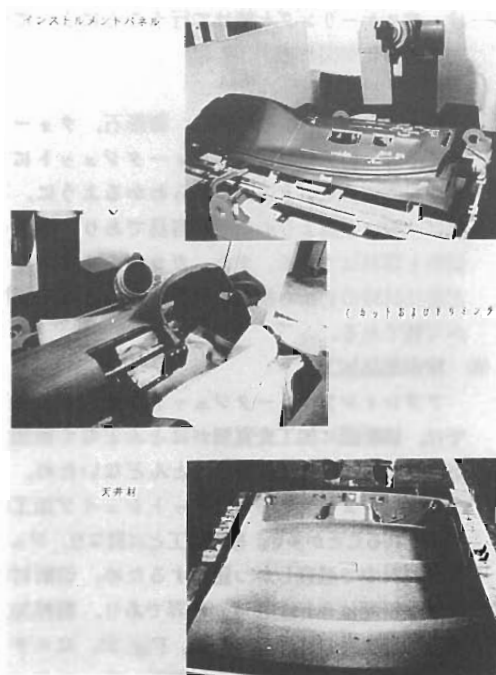


Fig. 16 Cut samples of automobiles' interior materials

| 切断対象物 | 材料厚さ (mm) | 吐出圧力 (kgf/cm ²) | ノズル径 (mm) | 切断速度 (mm/min) |
|---------------|-----------|-----------------------------|-----------|---------------|
| アクリル | 1.0 | 4,000 | 0.2 | 1,500 |
| ABS 樹脂 | 3.0 | 3,500 | 0.15 | 100 |
| ポリカーボネート | 1.2 | 4,000 | 0.2 | 1,500 |
| ケブラー織物 | 約 0.5 | 3,500 | 0.2 | 40,000 |
| F R P | 約 11 | 2,000 | 0.3 | 1,000 |
| 磁器タイル (焼き入れ前) | 13 | 3,500 | 0.2 | 20,000 |



Fig. 17 Cut samples of FRP

環境の問題や、断面が欠けたり、強化繊維がばりとなってはみだすなどの切断性能の問題がある。ウォータージェット切断ではこのような問題がなく、図にみられるように良好な切断面が得られる。

(3) 極厚板ステンレス鋼板

Fig. 18 は、板厚 170 mm のステンレス鋼をアブレイシブウォータージェットにより、一辺 600 mm の正方形に切り抜いたものである。従来の加工法、ワイヤ放電加工では切断速度約 0.3 mm/min で約 130 時間の切断時間を要していたが、ウォータージェット切断では切断速度約 3 mm/min、約 16 時間で切断ができた。

(4) パイプ加工

Fig. 19 (上) は、アブレイシブウォータージェットによる銅パイプの穴あけ加工の例である。キャッ

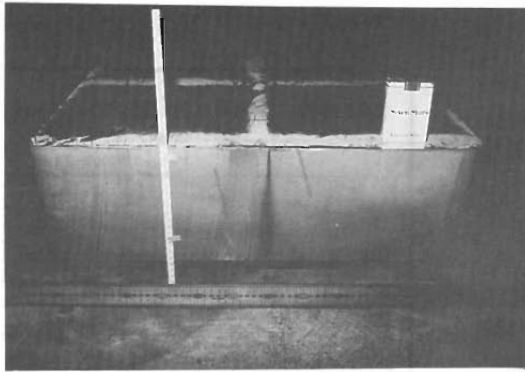


Fig. 18 Cut samples of stainless steel heavy plate ($t = 170\text{mm}$)

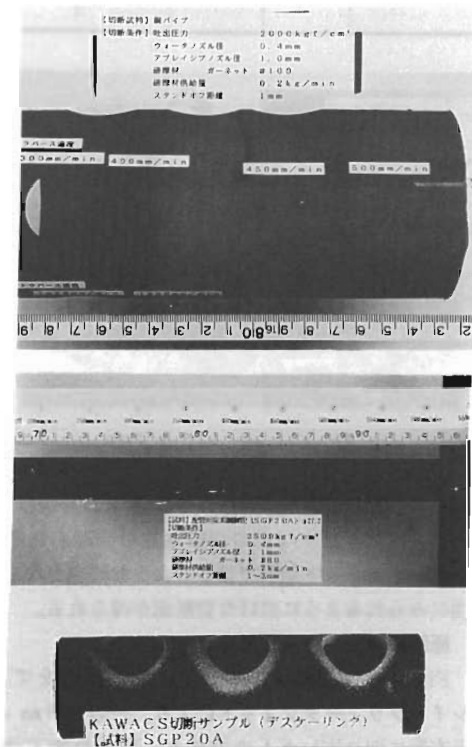
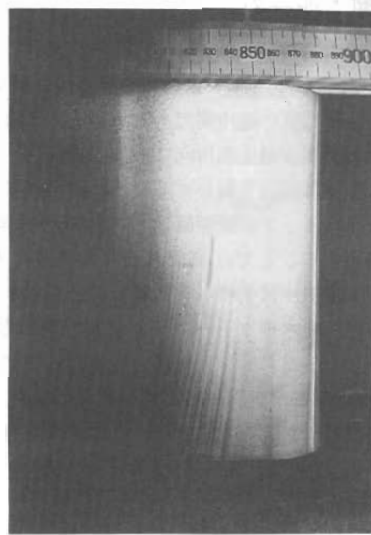


Fig. 19 Hole cuttings on pipe wall

チャーをパイプ内面に配置することによって、内面を損傷することなく切断できる。同図(下)は、鋼製パイプに穴あけ加工後、穴の周囲のスケールを除去したものである(デスクーリング)。これは、ノズルとパイプとの間の距離を広げ、アブレイシ

ブ粒子を分散させることで切断には至らずに、パイプ表面のスケールのみを除去するようにしたものである。デスクーリングは、引き続き行う管寄せ部の溶接、あるいはろう付けの際に必要なものであり、ウォータージェット切断装置により、穴あけ、デスクーリングと続けて行うことによって作業の効率化が図れる。

(5) 石材

Fig. 20は、石材(大理石、御影石、クォーツサイト等)のアブレイシブウォータージェットによる切断例である。Fig. 12からわかるように、石材は一般に金属よりも切断が容易であり、曲線の切断も容易にできる。また、ガラスやタイトルなど脆性材料の切断も割れを発生することなく切断が可能である。

(6) 精密部品加工

アブレイシブウォータージェット切断による加工では、切断面に加工変質層がほとんどなく後加工が容易であり、加工変形もほとんどないため、ニアネットシェイプあるいはネットシェイプ加工に利用されることが多い。機械加工とは異なり、ジェットが材料中で減衰しかつ屈曲するため、切断材料の寸法精度は 0.1mm 程度が限界であり、機械加工前の荒加工として用いられる。Fig. 21、にステンレス鋼のニアネットシェイプ加工、ネットシェイプ加工の例を示す。板厚 1mm のフィルターは切断したままの状態で使用され、板厚 6mm のタービン

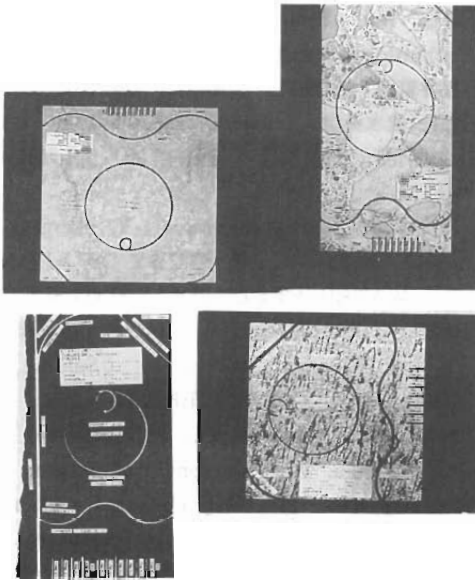


Fig. 20 Cut samples of marble, granite and quartzite

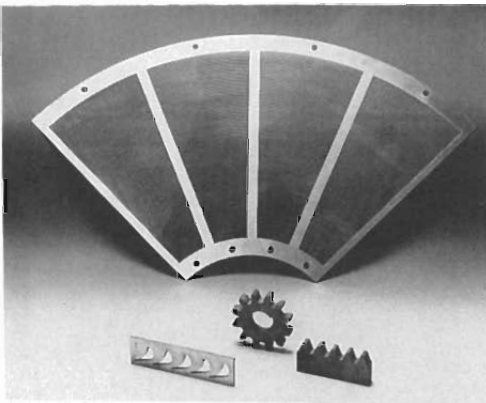


Fig. 21 Samples of net-shaped cutting* and near net-shaped cutting* of stainless steel plate (Plate thickness:screen 1mm², turbine diaphragm 6mm gear and rack 20mm²)
*No other cutting or process is required

翼穴加工は切断した翼穴にブレードを挿入して電子ビーム溶接を適用している。また、板厚 20 mm の歯車とラックは機械加工と研削加工によって仕

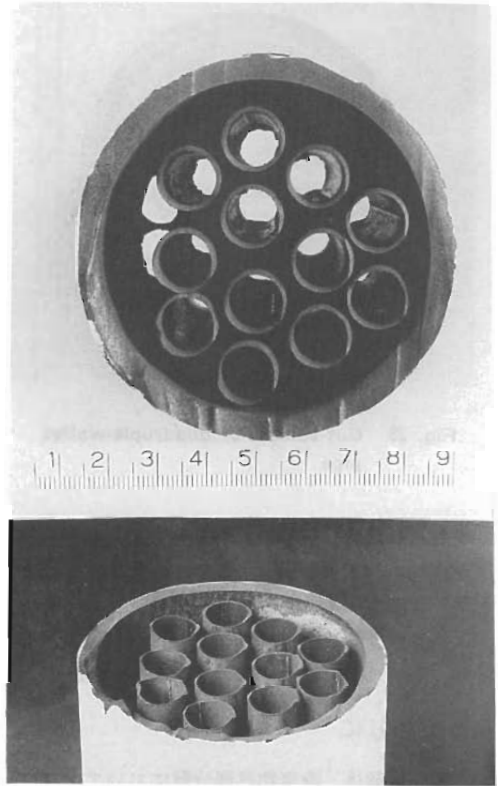


Fig. 22 Cut sample of tube nest assembly

上げを行う。

(7) 鋼構造物の解体等

Fig. 22 に、鋼製集合管構造物の切断サンプルを示す。本サンプルは多数の細いパイプを大きなパイプで包み込む構造である。このように、内部が複雑な中空構造物であるにもかかわらず、ノズルを 1 回トラバースすることで完全に分離することが可能である。ただし、このような複雑な中空構造物の切断においては、中空部分をジェットが通過する際に拡散するため、切断面下部に凹凸を生じる。

Fig. 23 は、多重管の切断サンプルである。本切断においては、ノズルヘッドを水没させ、水中で切断を行っている。ワークはターンテーブルにより回転し、ノズルを固定してアブレイシブウォータージェットを噴出させており、切断はワークが 1 回転したところで終了している。本切断において、中空部は水で満たされており、一番外側のパイプ

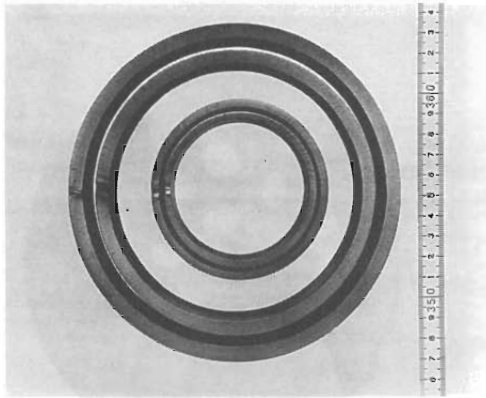


Fig. 23 Cut sample of quadruple-walled pipe

を貫通したジェットは、水中を通過しながら次々と内側のパイプに到達することになる。したがって、4層のパイプを貫通するのにジェットは3層（合計厚さ約25mm）の水中を通過することになるが、十分な切断能力を有していることが分かる。

6. おわりに

原子炉解体、廃棄物処理分野において、アブレイシブウォータージェット切断技術を適用するには、切断に使用する研磨材（アブレイシブ）切断水の回収システムを工夫する必要はあるが、支持が不安定でかつ複雑な構造物の効率的な解体を行うのに特に優れた適性を有する工法のひとつであり、本文が今後の検討の一助になれば幸甚である。

参考文献

1. 日本原子力研究所動力試験炉部編：“JPDR 解体実地試験の現状”，原子力工業，第37巻，第2号，pp. 14-59, 1991
2. 今中治：“ウォータージェット加工法の経緯”，ウォータージェット，1巻，1号（'84）pp. 4-15
3. 松井繁明，松村裕之，池本善和，清水英樹，越智忠文，辻田京史：“ウォータージェット切断の開発と応用”，溶接技術（Nov. '88）pp. 89-98
4. 中西保博，国代孝章：“油圧駆動式増圧機”，パワーデザイン，第28巻，6号（'90）pp. 26-30
5. Matsui. S, Matsumura. H, Ikemoto. Y, K. Tsujita and H. Shimizu：“HIGH PRECISION CUTTING METHOD FOR METALLIC MA-

- TERIALS BY ABRASIVE WATERJET”，10th Int. Symposium on Jet Cutting Technology (Amsterdam), (Oct. '90) [BHRA]
6. 松井繁明，松村裕之，辻田京史，池本善和，田中秀尚，清水英樹：“ウォータージェット切断ロボットの開発”，溶接技術（Jan. '90）pp. 110-119
 7. Kiyoshige. M, Matsumura. H, Ikemoto. Y and Okada. T：“A STUDY OF ABRASIVE WATERJET CUTTING USING SLURRIED ABRASIVES”，9th Int. Symposium on Jet Cutting Technology (Sendai), (Sept. '86) pp. 61-73 [BHRA]
 8. Matsui. S, Matsumura. H, Ikemoto. Y and Shimizu. H：“Current applications of abrasive waterjet (AWJ) cutting for manufacturing industries”，The 5th International Symposium of the Japan Welding Society (Tokyo), (April '90) pp. 225-230 [JWS]

カッター工法による原子炉生体遮蔽壁解体工法の開発

福沢 六朗, 近藤 信弘, 神山 義則, 八十島治典

"Research and Development of the Machine for the Removing System of Biological Shield wall of Nuclear Reactor"

By Rokuroo FUKUZAWA, Nobuhiro KONDOU,
Yosinori KAMIYAMA, Harunori YASOSHIMA

The removing system of heavily reinforced biological shield wall using new developed diamond saws (disc saws) for decommissioning of nuclear facilities is presented.

The cutting experiments of full model scale have been executed, in which the cutting speed was controlled automatically and remotely. This proves that the heavily reinforced concrete section with D51 deformed bar which has 51mm in diameter, can be cut in the depth of 100mm speedily, safely and continuously with high precision.

And the reinforced sections with SUS 304 stainless steel liner 9mm and carbon steel liner 16mm in thickness can be cut in the depth of 50mm speedily without deteriorating of cutting speed.

1. はじめに

わが国の商業用原子力発電所の総発電設備容量は、1991年7月現在、40基、3200万KWに達している。

一方で、近い将来これらの原子力発電所が寿命に達した時の廃止措置が重要な課題であるため、日本原子力研究所のJPDR解体実地試験をはじめ、関係各方面で解体に関する研究開発が進められている。

当社では、早くからカッター工法に着眼し、Photo. 1に示す切断機（ダイヤモンドカッター機）および削孔機（コアボーリング機）を用いて一般の鉄筋コンクリート構造物を部材別に解体する「戸田式カッター工法」を1974年に開発した¹⁾。

その後、1977年より当社はこの戸田式カッター工法を原子力施設の鉄筋コンクリート構造物の解体に適用するため研究開発を進めてきた。

原子炉回りの生体遮蔽壁は、放射化していると共に高配筋鉄筋コンクリート構造物である。この解体に当っては、遠隔操作により被曝を低減し、安全に秩序だてて行うことが必要である。さらに、従来の

鉄筋コンクリート用ブレードより切断性能を向上させることが必要である。

生体遮蔽壁に対する解体システムの検討を進めると共に、高配筋鉄筋コンクリート部材を効率よく切断するため、小型ブレードでの砥粒、メタルボンドなどの検討を行い、生体遮蔽壁解体用のブレードを開発した。さらに、切断作業を遠隔操作化するため、制御方法の検討を行った²⁾。引続き、これらの成果を反映させて大口径ブレードによる実証実験を行った^{3), 4), 5)}。

ここでは、実証実験を中心に研究開発の概要を述べる。

2. 解体システム

2.1 解体システムの構成

解体システムの基本構成をFig. 1に示す。作業員被曝を低減し安全に解体するため、システムを構成する主要な装置は遠隔で操作、監視する。切断、削孔作業の遠隔操作は、切断部の鋼材量の変化などに対応して、効率的な切断、削孔が可能な方法とする。

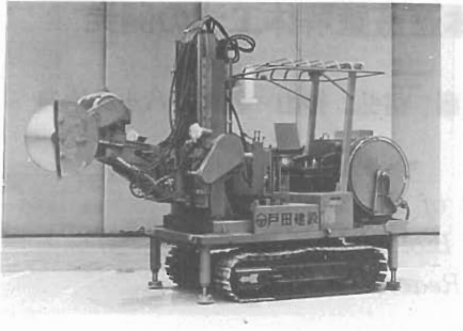


Photo. 1 Conventional cutting machine

切断時に供給する冷却水および切断により発生する粉塵は、できる限り発生元で回収し、放射能汚染の拡散防止に努める。また回収した冷却水はスラリーなどを分離した後再循環して使用する。

2.2 解体方法

生体遮蔽壁解体装置の検討例を Fig. 2 に示す。解体方法は、Fig. 3 に示すように上下、左右の水平、鉛直切断と背面の重ね削孔により、コア状部材とブロック状部材に分離し、解体部材回収装置により回収する。

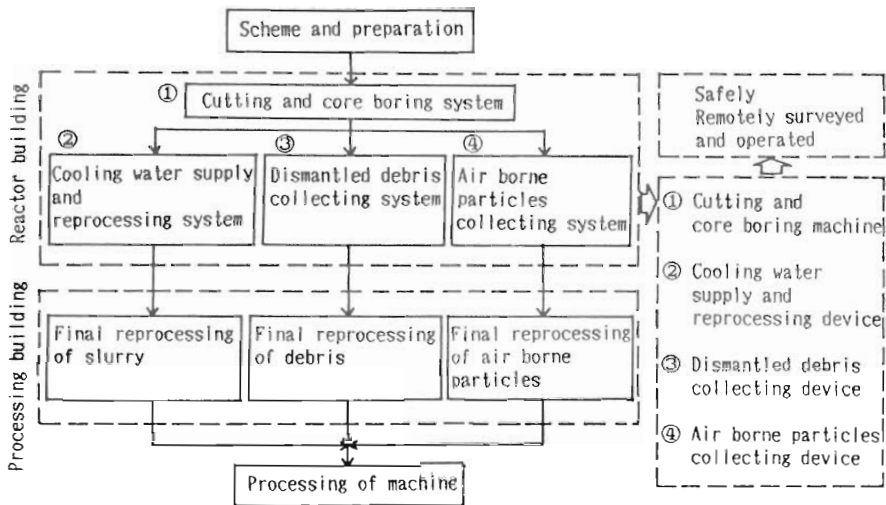


Fig. 1 Basic concept of dismantling system

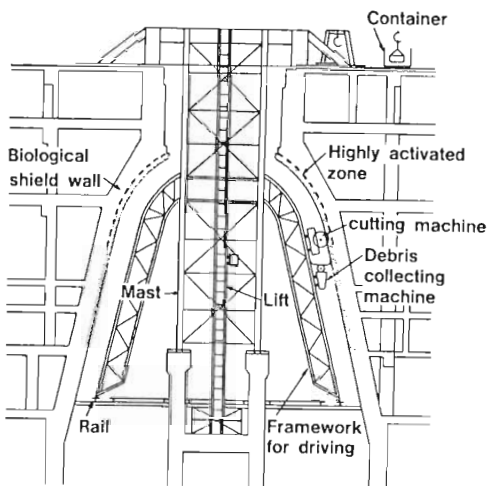


Fig. 2 Dismantling system for biological shield wall

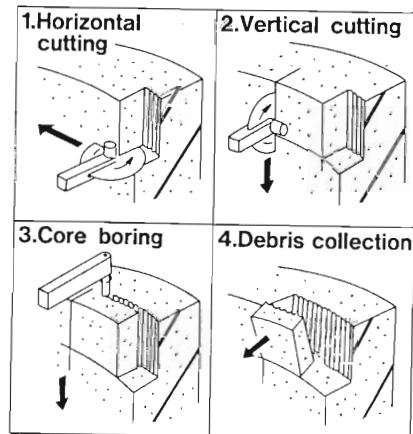


Fig. 3 Cutting concept

3. 実証実験

3.1 切断部材

切断部材の形状寸法を Fig. 4 に示す。部材の配筋は、わが国における BWR, PWR 型原子力発電所生体遮蔽壁の配筋を考慮して、D29, D38, D51 の 3 種類の鉄筋を配した部材ならびに表面に厚さ 12 mm, 16 mm の鋼板および 9 mm のステンレス鋼板を設けた部材とした。実験時のコンクリート強度は 371 kg/cm² であった。

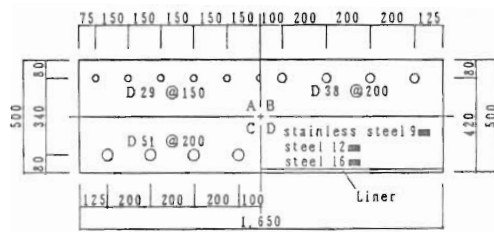


Fig. 4 Cross sections of specimens

3.2 ダイヤモンドブレード

鋼材量の多い部材の切断を行うため、ブレードの砥粒はダイヤモンドと金属材料に対する研削性能がよい窒化ほう素 (CBN) を混合した砥粒とし、メタルボンドは従来のものより軟らかくし、ブロンズ系のメタルボンドとした。

以上の砥粒、メタルボンドをパラメータとし、Photo. 2 に示す切断機を用いて、D51 鉄筋コンクリート、鋼板付コンクリートなどに対する切断性能試験を行った結果、実証実験では Table 1 に示す 3 種類のブレードを選定した。

3.3 切断機

本実験に用いた切断機を Photo. 3 に、切断機の構成を Fig. 5 に示す。切断機は実大切断機と同規模のものとした。ブレードは、最大切断深さ 400 mm を可能とするため Fig. 6 に示す 42 インチ (φ1076 mm)

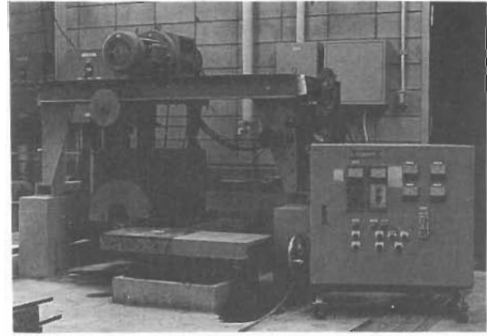


Photo. 2 Cutting and core boring machine

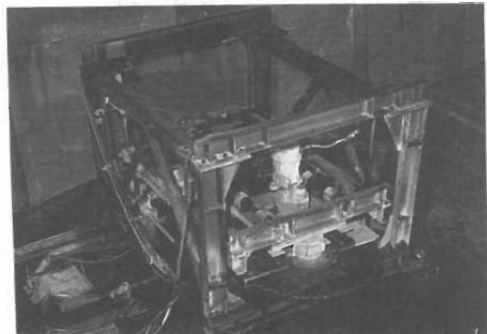


Photo. 3 Experimental cutting machine

のものを用いた。切断用のモーターは 40 馬力の高周波モーターを用い、ブレードの回転数を 1,000 rpm (周速 3,350 m/min) とした。切断方向の駆動は DC サーボモーターによった。

3.4 切断方法

鉄筋コンクリート部材および鋼板付コンクリート部材に対し、Fig. 7 に示すように水平方向の多層切断を行った。切断の制御方法は、鋼材量の違いによる切断負荷の変化に応じて切断速度を自動的に調整し、負荷電流を一定値に制御する定電流値切断によった。定電流値切断の目標電流値は 40A, 50A とした。

Table 1 Disc saw tips

| Sort of disc saw | | B1 | B2 | B3 |
|-------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Concentration of abrasive (%) | diamond | 30 | 30 | 60 |
| | boron nitride | 30 | 30 | 0 |
| | total | 60 | 60 | 60 |
| Metal bond | | bronze based | bronze based | bronze based |
| Specific gravity | | 8.25 | 7.82 | 8.25 |

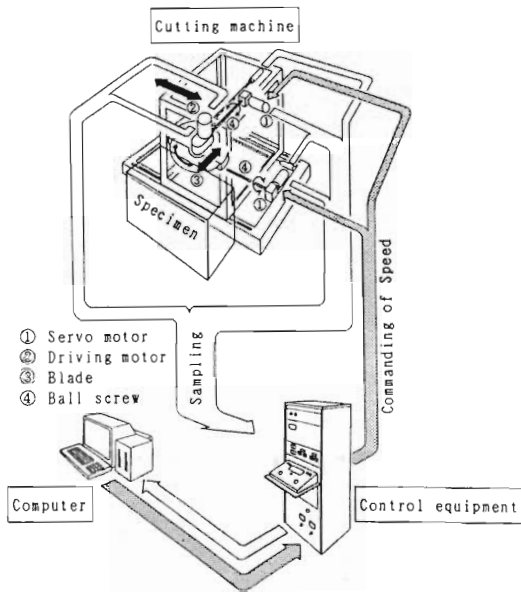


Fig. 5 Cutting system

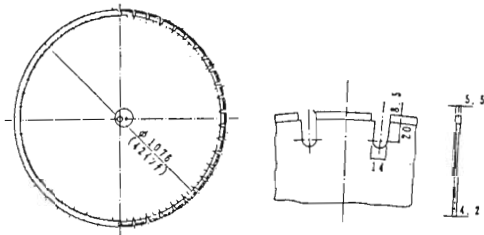


Fig. 6 Configuration of disc saw

定電流値切断の制御は、制御予備試験結果よりPID制御とし、下式により切断時の電流値から指令速度増分を求めた。制御式の制御定数は、ステップ応答結果を用いてTable 2により決定した。

$$\Delta V_K = K_P(I_{K-1} - I_K) + K_I(I_S - I_K) + K_D(2I_{K-1} - I_{K-2} - I_K)$$

ΔV_K : 切断速度増分 (Kステップ)

I_S : 目標電流値

I_K : 実測電流値 (Kステップ)

K_P, K_I, K_D : 制御定数

3.5 遠隔自動操作

Fig. 8に遠隔自動操作の流れ図を示す。制御はコンピューター用に作成した制御プログラムにより行った。切断パス、目標電流値、制御定数、異常状態判定値などを指定後Fig. 7に示す各層を切込み、送り

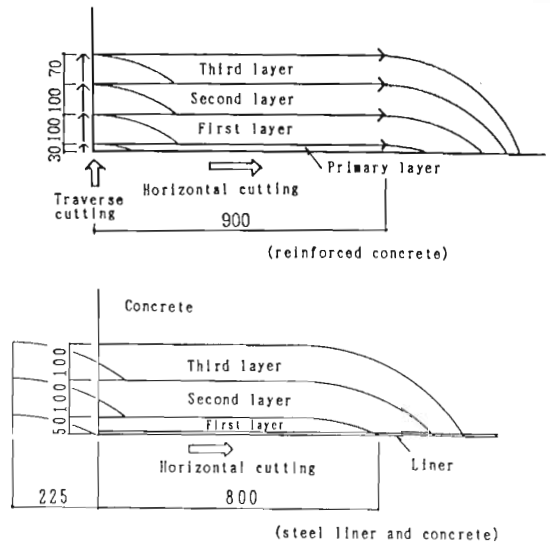


Fig. 7 Multi layers cutting

Table 2 Control parameters (PID)

| K_P | K_I | K_D |
|--|--|-------------------------|
| $\frac{1.2}{R(L+\Delta T)} - \frac{1}{2}K_I$ | $\frac{0.6 \Delta T}{R(L + \frac{\Delta T}{2})^2}$ | $\frac{0.6}{R\Delta T}$ |

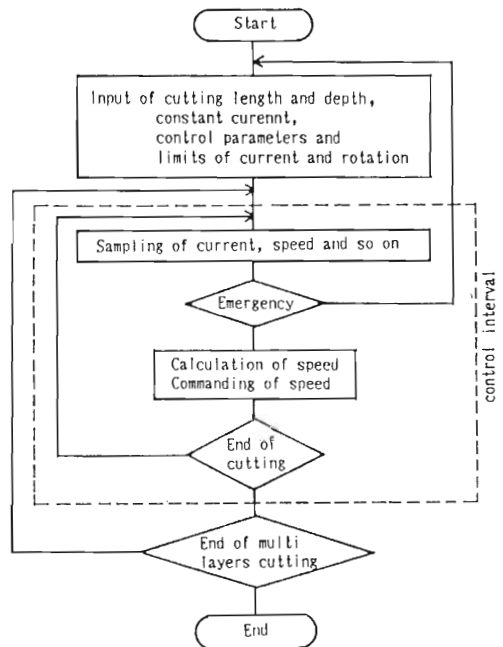


Fig. 8 Flow chart of automatic remote control

方向毎に切断した。切断中は、制御時間間隔（40～100 msec）毎に電流値、切断速度、ストローク、ブレード回転数をサンプリングし、指令速度の計算および計算結果の切断方向サーボモーターへの出力などを繰り返して、所定のストロークまで切断を行った。なお、切断中のデータが異常と判断される時は、緊急停止を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 切断性能

実大切断機を用いて遠隔自動で定電流値切断を行った結果、Fig. 9に示すように目標電流値に対する電流変動幅も小さく、安定してD51鉄筋コンクリート部材を高速で切断できた。D51部材の切断面をPhoto. 4に示す。

B1ブレードにより鋼板付コンクリート部材を切断した時の平均切断速度（以下切断速度）をFig. 10に示す。各部材の切断速度は、9mmステンレス鋼板部材で125～200mm/min、12mm鋼板部材で50～125mm/min、16mm鋼板部材で40～80mm/minである。切断量の増加に伴う切断速度の低下もなく、ブレードの切れ味は安定している。ステンレス鋼板部材も高速で安定して切断することができる。

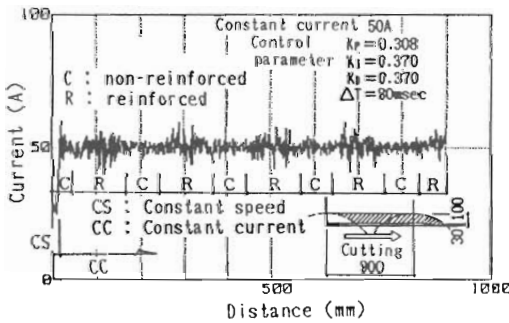


Fig. 9 Constant current cutting

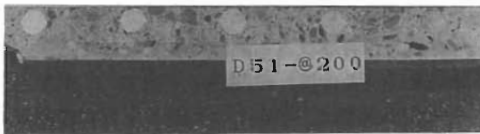


Photo. 4 Cutting section (D51)

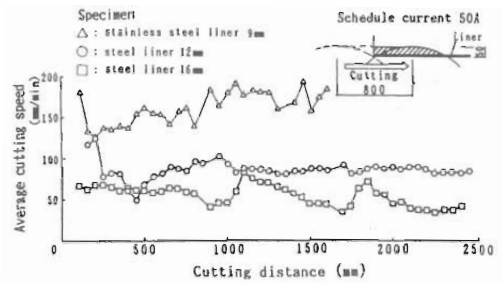


Fig. 10 Cutting distance and average cutting speed

各ブレードを用いてD51鉄筋部材およびD29鉄筋部材を切断した時の鉄筋部の平均切断速度（以下鉄筋部の切断速度）をFig. 11に示す。

各ブレードによるD51鉄筋部の切断速度は、初期において75～140mm/minと高い値を示している。個々のブレードについては、B1ブレードではD51鉄筋15本連続切断においても50mm/min以上である。B2ブレードではD51鉄筋15本連続切断後20mm/min以下に低下している。またB3ブレードは、初期の鉄筋部切断速度は最も高いが、速度の低下が大きく切れ味の持続性に欠けている。

D29鉄筋部の切断速度は、初期においてはB1、B3ブレードとも150～180mm/minで大きな差はない。しかし、鉄筋15本切断後ではB3ブレードで鉄筋部の切断速度の低下がみられる。

以上より、ダイヤモンドと窒化ほう素の混合砥粒を用いたB1ブレードは、B2、B3ブレードに比べて、切れ味およびその持続性において優れた特性を有している。

以上、高配筋鉄筋コンクリートの切断が容易となった要因は、次に示すことと推定される。

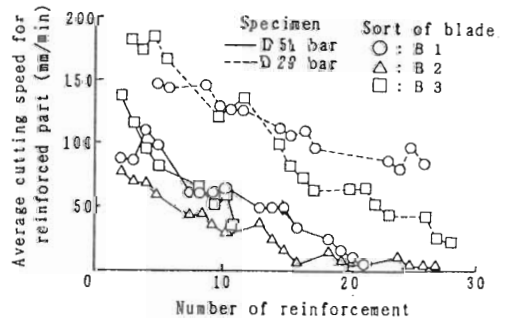


Fig. 11 Number of reinforcement and average cutting speed for reinforced part

- ① 切刃の砥粒として、鋼材の切断に用いられておりダイヤモンドよりも耐熱性のある窒化ほう素をダイヤモンドと混合して用いている。
- ② 砥粒を保持するメタルボンドが従来よりも軟らかく、切刃の自生作用が促進されている。
- ③ 切断モーターの馬力が40馬力と、従来の切断機に比べて3～12倍大きい。
- ④ 定電流値制御および大きな切断電流によってコンクリートの切断が速くなり、またドレッシング効果によって、切刃の自生作用が促進される。
- ⑤ 切れ味のよいブレードを用いることによって鉄筋切断時の発熱が少なくなり、切刃への金属の溶着、目づまりなどが少ない。

4.2 遠隔自動切断

定電流値切断において、切断開始時の一定速度(定速)から定電流値への移行および部材内の無筋部から鉄筋部、鉄筋部から無筋部への移行は、Fig. 12, Fig. 13に示すように円滑に行われている。

定電流値の反応速さである制御時間間隔 ΔT を、40～100 msecへ変化させて切断しても、Fig. 14に示す電流増分、電流変動幅、オフセットなどへの

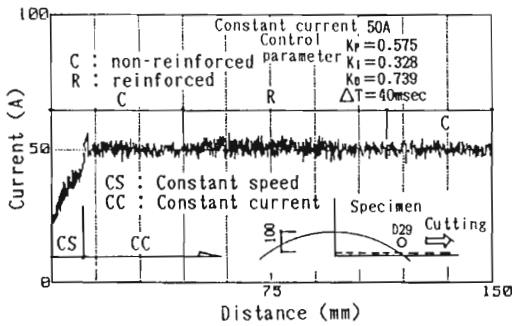


Fig. 12 Constant current cutting

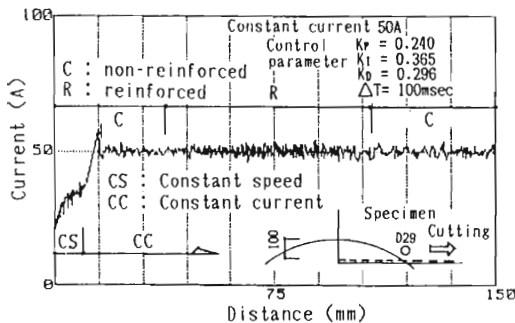


Fig. 13 Constant current cutting

悪影響はみられず、本実験における制御時間間隔で十分に高配筋鉄筋コンクリート部材の切断が制御できる。

4.3 切断部材と切断速度

各種部材を切断した時の切断鋼材比(切断鋼材面積を全切断面積で除した値)と切断速度の関係をFig. 15に示す。切断鋼材比の増加と共に切断速度

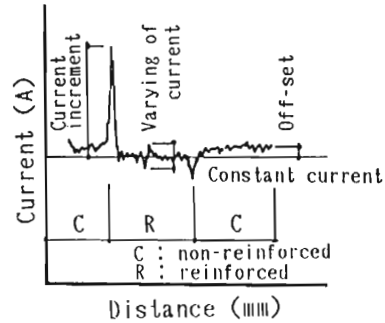


Fig. 14 Constant current cutting

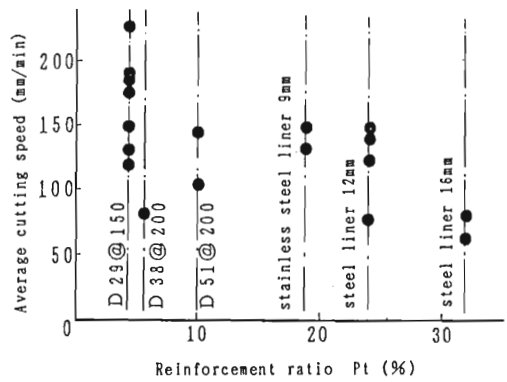


Fig. 15 Reinforcement ratio and average cutting speed

が低下する傾向を示すが、鉄筋部材と鋼板部材ではその特性が異なる。鋼板部材の切断速度は同じ鋼材比の鉄筋部材に比べて大きく、また鋼板部材の方が切断速度の低下割合が小さい。

切断鋼材の等価厚さと鋼材部の平均切断速度(以下鋼材部の切断速度)の関係をFig. 16に示す。鋼材部の切断速度は、鉄筋部の等価厚さ(切断鉄筋の断面積を鉄筋部の切断長さで除した値)と鋼板厚さによって評価することができる。

無筋部も含め以下の回帰式を得た。

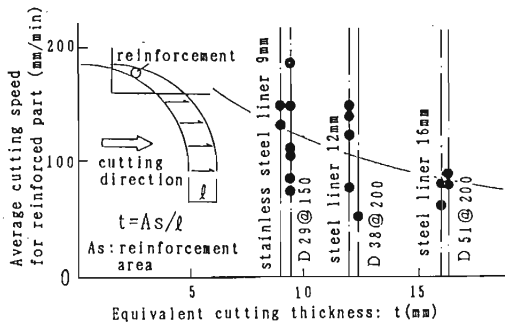


Fig. 16 Equivalent cutting thickness and average cutting speed for reinforced

$$V = \frac{5167}{2.9t + 14.43} \text{ [mm/min]} \quad \begin{array}{l} V: \text{切断速度} \\ t: \text{等価厚さ} \\ \text{(mm)} \end{array}$$

以上より鉄筋部材と鋼板部材の切断速度を評価する上で、切断鋼材比よりも切断等価厚さの方が適していると考えられる。

4.4 ブレードの摩耗と研磨

切断鋼材量の増加とともにブレードの刃先が摩耗する。鋼材量 1500 cm² を切断した時のブレード刃先の高さ方向摩耗量は 0.7 mm であり、刃先の高さ 8.5 mm に比べ充分小さい。

D51 鉄筋部材などの切断により切断速度が低下した場合、切れ味を回復させるためブレードの研磨を実施した。切断装置部で約 3 分間の簡易研磨を行い、簡易研磨と工場研磨の比較を行った。研磨前後での鉄筋部の切断速度の比較を Fig. 17 に示す。研磨による切れ味の回復は、研磨前の切れ味がよいほど大きい。研磨方法の違いによる研磨後の切断速度の比較を Fig. 18 に示す。簡易研磨による切れ味の回復は、工場研磨とあまり差がなく、十分に可能である。

5. あとがき

新しく開発したブレード（ダイヤモンドと窒化ほう素の混合砥粒および従来よりも軟らかなメタルボンドを使用）および切断機により D51 などの太径鉄筋、鋼板およびステンレス鋼板を高速で切断可能なこと、また、定電流値切断による遠隔自動制御を用いて鉄筋および鋼板の配された鉄筋コンクリート部材を効率よく安定して切断可能なことが確認できた。以上より、原子炉生体遮蔽壁のような、放射化した高配筋鉄筋コンクリート構造物の解体に適用する切

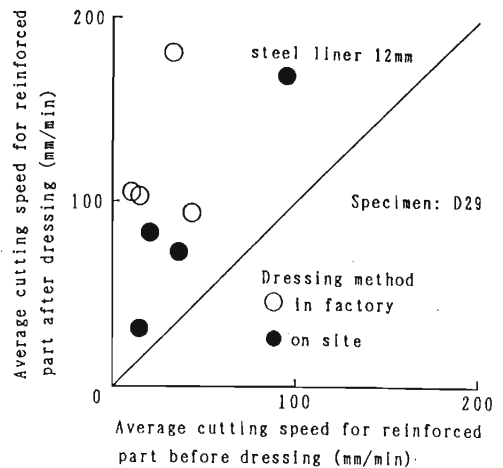


Fig. 17 Average cutting speed for reinforced part before and after dressing

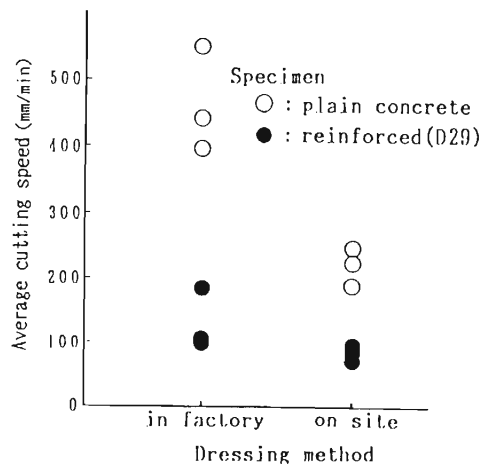


Fig. 18 Dressing method and average cutting speed

断装置の基本的な必要性能を満足することができた。

今後は、実際の原子力発電所の解体に適用するための切断システム、解体部材回収、処理システム、冷却水、粉塵回収処理システム等の検討をさらに進めて行く予定である。

参考文献

- 1) 平賀：鉄筋コンクリート部材の切断加工技術と建築現場への適用に関する研究、戸田建設技術開発センター報告、1983。

- 2) 浅川他：カッターによる原子炉生体遮蔽壁の解体工法に関する研究（その1～3），日本建築学会梗概集，1986.
- 3) 近藤他：カッターによる原子炉生体遮蔽壁の解体工法に関する研究（その4～5），日本建築学会梗概集，1987.
- 4) 川里他：カッターによる原子炉生体遮蔽壁の解体工法に関する研究（その6），日本建築学会梗概集，1988.
- 5) 神山他：カッターによる原子炉生体遮蔽壁の解体工法に関する研究（その7），日本建築学会梗概集，1989.
- 6) FUKUZAWA, R. et al. : Research and Development of a Machine for the Removing System of Biological Shield Wall of Nuclear Reactor, Proceedings of the 2nd International RILEM / DRC Symposium 1988.

プラズマジェット切断法による耐火物の切断試験

菊地 豊,¹⁾ 飛田 祐夫,
谷本 健一, 榎戸 裕二

*"Dismantling Experiments for Ceramic Materials
by using Plasma-jet cutting Method"*

By Yutaka KIKUCHI, Hiroo TOBITA,
Kenichi TANIMOTO, Yuji ENOKIDO

Decommissioning of nuclear fuel facilities has become important of age. Especially combustible waste incinerator or spent ceramic melter of vitrification facility is composed with ceramic materials. These ceramic materials are versatile in construction, configuration, and have different cutting characteristic from metal. So new dismantling technology for them should be developed.

This cutting test of non-transfer type plasma torch (plasma-jet) have been by using these ceramic materials.

1. はじめに

核燃料施設のコミッショニングを行うに当っては、セル等構造部材のコンクリート、焼却炉やガラス溶融炉等のセラミック性耐火物の切断をいかに効率良く行うかが重要になってくる。

セラミック性耐火物の切断技術に関しては、その特殊性から現在ダイヤモンドブレード等による研削切断等がある。この方法によると切断機械の大型化・遠隔ハンドリング性、機器のメンテナンス性から現在のところセラミック性耐火物の切断には適さない点が多い。

一方、金属類の切断技術の現状をみると、一般産業界からの金属加工技術の応用から、プラズマ切断や放電加工あるいは機械的切断としてのハクソー、バンドソー等を用いた種々の切断技術が存在している。中でも、近年急速な発展・普及を遂げつつあるプラズマジェット切断法は、金属、非金属の材質に関係なく切断可能な特徴を有している。

そこで今回、耐火物解体の一手法としての適用性を確認するために、プラズマジェット切断法による耐火物の切断試験を行ったのでその結果を報告する。

2. 試験方法

(1) プラズマジェットの特徵と試験装置の概要

プラズマ切断法は、プラズマアーク（トランスファープラズマまたは移行型）切断法とプラズマ噴射およびプラズマアーク発生補助手段に採用されているプラズマジェット（ノントランスファープラズマまたは非移行型）切断法がある。両者の切断法の違いは、プラズマアーク切断法は、切断対象物がアーク放電の電気回路の一部を形成しているのに対し、プラズマジェット切断法では、切断対象物が放電の電気回路を形成しなくても良いところにある。従って、プラズマアーク切断法の場合、その適用材料は金属材に限定されるのに対して、プラズマジェット切断法は、金属、非金属の材質に関係なくすべての材料が切断の対象となる。

試験に使用した装置は、プラズマ切断機本体、試験材の切断時に発生するドロス・ヒュームを回収するための水槽部ならびにフード、トーチを保持しそれを安定に直線移動させるための走行台車および、発生ヒューム捕集用の電気集塵機より構成されている。

1) 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 管理部 環境技術課

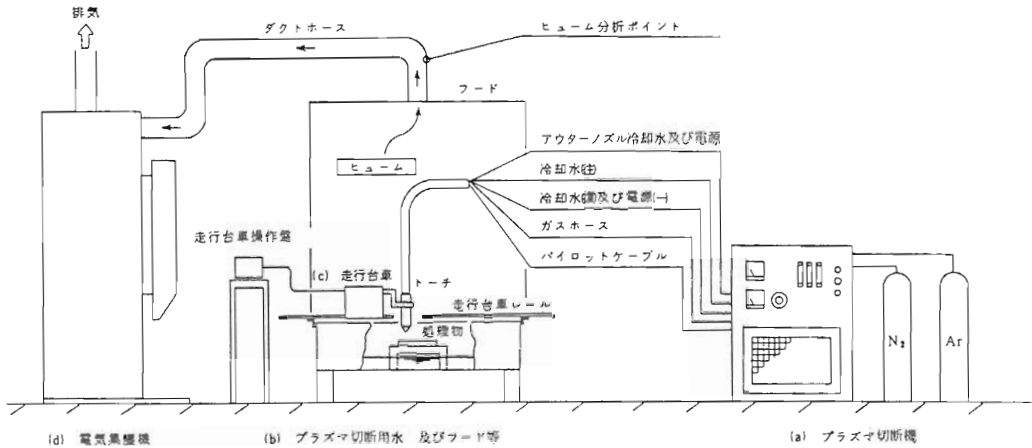


Fig. 1 Concept of Plasma Cutting Equipment

Table 1 Specification of Plasma Cutting Equipment

電源装置仕様

| 型 式 | PC-250E (メッサーグリースハイム社製) | |
|-----|-------------------------|--------------|
| 仕 様 | 作業電流範囲 | 20~250A |
| | 負荷電圧 | 100~200V |
| | 無負荷電圧 | 400V |
| | 100%使用率に於ける最大電流 | 250A |
| | 電源電圧 | 200V×3φ×50Hz |
| | 定格電流 | 250A |
| | 定格入力 | 150kVA |
| | 力率Cosφ (250A) | 0.6 |

プラズマ切断装置のシステム概念を Fig.1 に、装置仕様を Table 1 に示す。

電源装置は、トーチ部電極ノズル間にパイロットアークを発生させるための高周波発生器と、ノズルからの噴出プラズマの導電性を利用して、電極-母材（切断対象物）に主アーク（プラズマアーク）を発生させるプラズマアーク電源等から成る。

プラズマジェットトーチは、トーチ本体の先端にアウターノズルホルダならびに、アウターノズルを装着した形で成り立っている。

(2) 供試材

切断試験に使用した供試材は、ガラス固化技術開発施設のガラス溶融炉に採用予定の主要構造部材および、一般的に断熱、耐火性を必要とされる焼却炉、電気炉等に使用されているものである。

Table 2 に供試材の一覧とその特徴を示す。(以後、供試材は商品名でいう)

プラズマジェットトーチ仕様

| 型 式 | PMC-SE型 (メッサーグリースハイム社製) | | |
|-----|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 仕 様 | アウターノズルホルダ | 使用目的に応じた特注品 | |
| | アウターノズル | " | |
| | 定格電流 | DC 250A | |
| | 定格電圧 | DC 100A | |
| | 定格使用率 | 100% (ただし使用ガスがArのみの場合) | |
| | ホースバック長さ | 巻10m | |
| | 電極冷却方式 | 直接水冷 | |
| | アウターノズル冷却方式 | 直接水冷 | |
| | アーク移行形態 | 非移行式 | |
| | アウターノズル用 冷却水 | 水 質 | 飲料用ろ過水 |
| | | 供給圧力 | 9~12kg/cm ² |
| | | 供給流量 | 1.0~2.0ℓ/min |
| | 供給温度 | 4.0℃以下 | |

3. 耐火物切断試験

各種耐火物の切断試験は、①ピアシング試験、②無拘束状態での切断試験、③拘束状態での切断試験を行った。

なお、拘束状態での切断試験は、ガラス溶融炉等の耐火物が組積構造下にあり何らかの拘束（荷重）を受けていることから、耐火物片を冷具を用いて耐火物周囲に一定荷重をかける拘束状態としたものである。

3.1 耐火物ピアシング試験

耐火物のピアシング試験方法は、耐火物の上部で

Table 2 Feature of Test Pieces

| 種類 | 商品名 | 特徴及び主な用途 |
|--------------|---------------------|--|
| 電 鋳 A Z S | CS-5 | $Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$ を主要組成としており、溶融ガラス又は、スラグに対する侵蝕抵抗が大きい。ガラスタンク窯溶解槽のスロートのドッグハウス等に使用。 |
| " | CS-3 | 上記 CS-5 と同様であるが侵蝕抵抗が若干劣る。ガラスタンク窯溶解槽のサイドウォール等に使用する。 |
| 電 鋳 クロム-アルミナ | K-3 | 特に大きい耐蝕抵抗を有するクロム-アルミナ質の溶融鋳造耐火物である。ガラスタンク窯溶解槽のスロート等に使用される。 |
| 焼成アルミナ-ジルコン | AZ-GS | 骨材にアルミナを用い、微粉部にジルコンを加え高压成形、高温焼成してあり、耐スポーリング性に優れている。ガラスタンク窯の天井構造部に使用される。 |
| 焼 成 ム ラ イ ト | HYMUL-70 | Al_2O_3 を主成分とした高アルミナ質レンガである。熱風炉・加熱炉等の天井部に多く使用される。 |
| 断 熱 レ ン ガ | ZUS-5 (MARUKOSI) | $Al_2O_3-SiO_2$ を主成分として気孔率が高い為、保温効率が良い。断熱を用途する箇所で使用される(電気炉等)。 |
| 焼 成 粘 土 | - | 一般的に耐火レンガとして使用される。 |

プラズマジェットのアークを噴射させた状態で一定時間維持し、その後耐火物の切断深さ、孔の大きさ、割れ(以下単に「クラック」という)の発生等の状況を確認した。

耐火物のピアシング試験結果を Table 3 に示す。試験を行った7種類の耐火物すべてがプラズマジェットによる孔開けが可能であり、特にZUS-5は、待機30秒で約80mmの深さまで孔開けが可能であった。

次に、耐火物のクラック発生状況を見てみると、7種類のうち、K-3、CS-5、CS-3の耐火物3種類にクラックの発生が認められた。特にK-3は、試験材の厚みである約100mmを貫通するクラックが多く発生し、細かに砕けている。

以上のように、今回供試した耐火物については効率良く孔が開けられた。

この結果を踏まえ、プラズマジェットによるピアシングをガラス溶融炉に応用するとすれば、溶融ガラスが付着していない溶融槽の背面からピアシングを行うことで、直接熱を与えず揮発性核種の発生を抑えて、耐火物の解体を行うことが可能と考える。

さらに、プラズマジェットのピアシングによって開いた孔にくさびを打ち込む等の機械的解体工法も考えられる。

3.2 耐火物切断試験-I (無拘束状態)

耐火物の切断試験として、まず各耐火物の無拘束状態での切断を行い、切断深さ、クラックの発生状況の観察を行った。

切断試験の結果を Table 4 に示す。切断速度62.5 mm/minでは、試験したすべての耐火物は切断または破断によってその細断が可能であった。この中で

Table 3 Result of Piecing Test for Ceramic Materials

| 耐火物名 | | 断熱レンガ | 焼成粘土 | 焼成ムライト | 焼成アルミナ-ジルコン | 電鋳AZS | 電鋳AZS | 電鋳クロム-アルミナ |
|------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 項目 | | ZUS-5 | SK-34 | HYMUL-70 | AZ-GS | CS-3 | CS-5 | K-3 |
| 溶断物形状 (mm) | | 230×114 ×65t | 225×110 ×60t | 230×113 ×65t | 150×136 ×75t | 260×200 ×50t | 247×110 ×74t | 233×116 ×102t |
| 孔 | 耐火物上でのアーク発生時間 10秒 | 29.2φ×58.8D | 17.8φ×31D | 13.9φ×28.5D | 17.3φ×34.7D | 13.9φ×30.6D | 18.7φ×27.6D | 15.4φ×31.9D |
| | 耐火物上でのアーク発生時間 20秒 | 65mmの板厚 貫通 | 24.3φ×39.6D | 17.3φ×40.3D | 21.6φ×37.8D | 17.3φ×36.6D | 19.3φ×34.3D | 16.7φ×40.3D |
| 性 (mm) | 耐火物上でのアーク発生時間 30秒 | 33.8φ×84.2D | 30.1φ×40.5D | 19.8φ×43.8D | 25.8φ×40.7D | 19.8φ×39.4D | 23.2φ×39.6D | 20.1φ×57.8D |

最も切断し易かったのは、ピアシング試験同様に ZUS-5 であった。

また、切断試験においてクラックが発生したのは、これも前記ピアシング試験同様 K-3, CS-5, CS-3 の 3 種類の耐火物である。特に K-3 は、本試験によってバラバラに砕けた。

以上、無拘束状態での耐火物切断試験の結果、いずれの耐火物もプラズマジェット切断法が適用できる見通しを得た。今回供試した耐火物は既製品のために板厚を揃えることができなかったため、各耐火物材質の違いによる最大切断可能板厚はつかめていない。これについては、今後試験を行う必要があると考える。

3.3 耐火物切断試験-II (拘束状態)

前項 3.2 の耐火物切断試験-I では、7 種類の耐火物について無拘束の状態で行った。

耐火物は実際の使用条件下では、先に述べたように組積構造になっており、何らかの拘束を受けている。そこでこれを模擬するために、K-3 および AZ-GS に関して拘束治具により耐火物を拘束し切断試験を行い、クラック発生状況等の確認を行った。拘束方法は、耐火物を拘束治具を使用して四方向から 100 kgf/cm² で拘束した。

K-3 に関しては、耐火物を拘束した状態で切断した結果、板厚 102 mm に対して表面より深さ 46 mm

の溝が掘れ (溶融して)、その周囲に多数のクラックが発生した。拘束の状態では、耐火物の角型形状を維持していたが、拘束を解くと耐火物は、クラックに沿って砕けた。また、クラックの発生の状況は、無拘束の切断試験のとときほぼ同様に発生した。

AZ-GS は無拘束状態における切断試験でクラックの発生は無かったが、拘束の状態で行ったところクラックが発生した。しかし、その発生状況は K-3 耐火物に比べて少ない。また、この拘束を外した後における耐火物の破断は無かった。

次に溶融ガラスを付着した耐火物を切断した状況を Fig. 2 に示す。この図よりガラスは溶融され吹き飛ばされている状況が観察される。また、切断後にクラックが発生し耐火物が破断した。

3.4 耐火物切断時の温度測定

耐火物の切断時の切断面の温度については、種々の元素の揮発防止を図る上でプラズマジェット切断時に与える耐火物の温度影響は興味深いところである。特に、ガラス溶融炉の場合は高線量のガラス (F・P 含) が耐火物表面等に固着した状態である。これらの揮発を抑制するには 3.1 項でも考察したように耐火物背面からの切断、すなわち、ガラス付着のない側から切断をすることが望ましい。

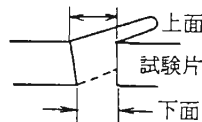
そこで、ガラス溶融炉の接液部 (ガラス溶融部) である K-3 をプラズマジェットで切断をした場合

Table 4 Result of Plasma Cutting for Ceramic Materials

| | 溶断速度 (mm/min) | 板厚 (mm) | 溶断の 可・否 | 溶断幅 | | 溶断による クラックの発 生の有無 | 備 考 |
|----------------------|------------------|------------|------------|---------------|------|-------------------------|---------------------|
| | | | | 上面/下面 | (mm) | | |
| 断熱レンガ ZUS-5 | 6.25 | 65 | 可 | 9.45/1.4 | | 無 | |
| | 196.7 | | | 9.3/12.4 | | | |
| 焼成粘土 SK-34 | 6.25 | 60 | 可 | 9.9/10.2 | | 無 | 深さ 3.5mm まで溶けた。 |
| | 196.7 | | | 7.9/— | | | |
| 焼成ムライト HYMUL-70 | 6.25 | 65 | 可 | 8.3/7.6 | | 無 | 深さ 45.2mm まで溶けた。 |
| | 196.7 | | | 8.4/— | | | |
| 焼成アルミナ-ジルコン AZ-GS | 6.25 | 65 | 可 | 10.9/8.9 | | 無 | 未溶断 |
| | 196.7 | | | — | | | |
| 電鍍クロム-アルミナ K-3 | 6.25 | 102 | (否) | 砕けたため測定できず | | 有 | クラックの状況 Appendix 参照 |
| | 196.7 | | | — | | | |
| 電鍍 AZS CS-5 | 6.25 | 74 | 可 | 冷却中砕けたため測定できず | | 有 | " |
| | 196.7 | | | — | | | |
| 電鍍 AZS CS-3 | 6.25 | 50 | 可 | 10.95/7.2 | | 有 | " |
| | 196.7 | | | 8.8/— | | | |

* 溶断の可・否は (貫通 → 可 とした。
不貫通 → 否

溶断幅 上面/下面



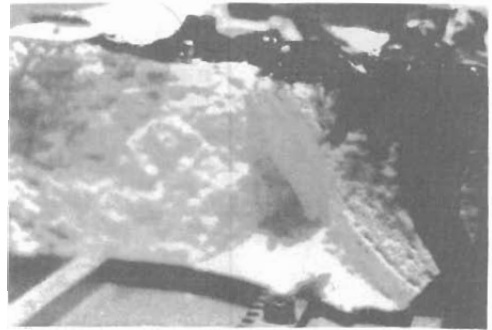


Fig. 2 Condition of ceramic Material (AZ-GS) later Plasma Cutting

に、その部位の耐火物背面の温度上昇について測定を行った。その結果、K-3はFig. 3に示すようにピアシング時間30秒で約26mmφ×45mmDの孔が開けられ、そのピアシングにより102mmtを貫通するクラックが入った。

その際の耐火物背面の温度変化をFig. 4に示す。ピアシング切断時の温度は切断開始の25℃と変化はなく、ピアシング終了後2分頃より温度が上昇し始め、その上昇速度は極めて穏やかで切断終了後約30分でピークに達した。また、温度降下は切断後約40分経過時から始まった。

以上のように、背面温度は低く抑えられ、かつ、耐火物クラックが入り砕けるという耐火物の解体(細断)に最良の結果が得られている。したがって、ガラス溶融炉に適用する場合は、耐火物背面すなわち溶融ガラスの付着のない背面側からK-3耐火物の切断を行うことによって、固着ガラスを溶かさずに(揮発性物質を抑えて)耐火物の細断が可能である。

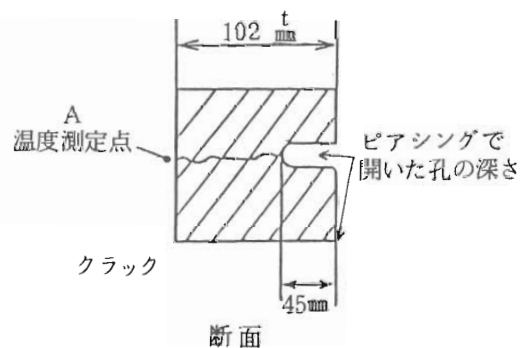


Fig. 3 Result of Piercing Test for Ceramic Materials

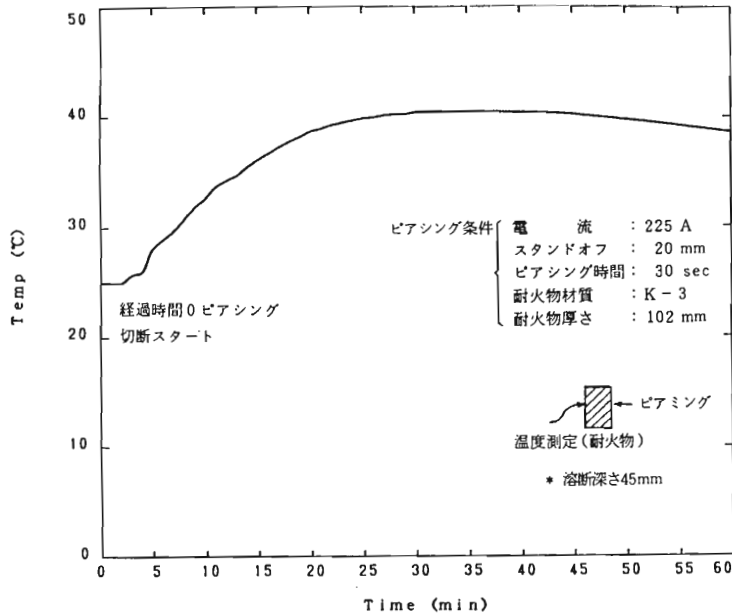


Fig. 4 Condition of Ceramic Material (K-3) Surface Temperature for Piercing Test

4. まとめ

(1) ピアシング試験では、今回供試したいずれの耐火物 (ZUS-5, K-3, HYMUL-70, AZ-GS, SK-34, CS-5, CS-3) も ϕ 20-33 mm, D 40~80 mm 程度の孔が開けられた。この中で K-3・CS-5・CS-3 の 3 種については、ピアシングまたは、その冷却 (自然放冷) 中にクラックの発生がみられた。

特に K-3 は、われ易く、約 100 mm を貫通するクラックが多く発生した。

(2) 耐火物切断試験 (無拘束状態) では、切断速度 625 mm/min (電流 225 A) の条件において、切断または、破断により 7 種類全ての耐火物の細断が可能であった。

(3) 2 種類の耐火物 (K-3, AZ-GS) を拘束状態にした切断試験においても、K-3 のクラック発生が多かった。また、その拘束を解かないうちは原形 (切断前の形状) をとどめ崩れなかったが、その拘束を解くことによって K-3 は崩れた。

一方、AZ-GS は、無拘束の状態での切断では、クラックの発生がなかったが、拘束時には、切断で掘れた溝の空隙に 100 kgf/cm² の拘束力が加わりクラックが発生した。これより拘束の影響

は顕著には解からないものの、クラックが入り易くなる傾向があると言える。

(4) 切断中 (ピアシング時間 30 秒) における K-3 耐火物背面の温度測定の結果、Fig. 3 に示す様に 102 mm に対して深さ 45 mm の孔が開けられたが、そのときの背面温度は 40°C (初期 25°C) 程度の温度上昇にとどまった。

5. ガラス溶融炉等への適用性に関する考察

今回のプラズマジェットによる切断試験では、ガラス溶融炉構成材料のうち、電鍍 AZS 系の CS-5, CS-3 の 2 種類は容易にピアシングならびに切断が可能であり、電鍍クロム-アルミナ系の K-3 もピアシングおよび切断でクラックが発生し簡単に切断し細断できた。これらのことより、耐火物の解体、細断にこのプラズマジェット切断法が一手法として十分適用可能である見通しを得た。

今後、廃メルターなどの解体にプラズマジェット切断法を適用していくためには、① 切断時に発生するヒュームおよびドロス回収、② プラズマジェットトーチのハンドリング、③ トーチの電極など消耗品の遠隔交換化、④ 切断片等の回収、等について要素試験を行う必要がある。

JPDR 解体廃棄物の管理

仲田 進

"Management of the Radioactive Waste Arising from the JPDR Decommissioning"

By Susumu NAKATA

In the JPDR decommissioning demonstration test, which was started in fiscal 1986, the removal of reactor peripheral components and the dismantling/removal of reactor internals and reactor pressure vessel have already been completed. At present, the dismantling of biological shields is proceeding. Generally, in dismantling/removal of reactors there arise large amounts of various radioactive wastes in short periods of time. Therefore, it is important to establish in advance the waste management scenario, the waste packaging means and the waste storage plans in the close association between decommissioning and waste management.

The reactor dismantling technologies for JPDR decommissioning are already described in detail in such as journals learned societies etc. In the present report, therefore, the practices of radioactive waste management in JAERI's Tokai Research Establishment are mainly described.

1. はじめに

日本原子力研究所（東海研究所）の JPDR は、昭和 38 年わが国で初の動力用試験炉として発電を開始した。

また、商用原子力発電炉としては、昭和 41 年日本原子力発電（株）東海発電所が運転を開始した。以後順次原子力発電所が建設され、現在（平成 2 年 10 月）では 39 基の商用原子力発電所が稼働しており、総発電力量 3,000 万 kW 強で石油火力発電所の比率を抜き第 1 位をしめるに至っている。昨今では地球規模で環境汚染や温暖化の問題などもあり、今後ますます原子力発電に期待がよせられるものと思われる。

このように原子力発電を推進していく中で、原子炉の寿命は 30～40 年程度と考えられることから、西暦 2,000 年前後には運転寿命に達する発電所が出てくるものと予想されている。このような状況を背景に寿命に達した商用原子力発電炉の廃止措置をいかに行うかが重要な課題となってきたことから、原子力委員会が昭和 57 年 6 月に決定した「原子力開発

利用長期計画」の中では、廃止措置について「原子炉の運転終了後できるだけ早い時期に解体撤去することを原則とし、個別には必要に応じた適当な密閉管理または遮へい隔離の期間を経るなど、諸条件を総合的に判断して決めるものとする」との方針が示されている。

また、昭和 60 年 7 月に公表された総合エネルギー調査会原子力部会原子炉廃止措置対策小委員会の「商業用原子力発電施設の廃止措置のあり方について」では、わが国の原子炉廃止措置の方針に沿って検討を行った結果、5～10 年密閉管理後撤去するという標準工程が示され、その費用については 110 万 kWe クラスの原子炉で約 300 億円の試算が示されている。

一方、商用原子力発電炉の廃止措置に先立ち、日本原子力研究所は使命の終えた動力試験炉（以下「JPDR」という）に関して「原子力開発長期計画」における「将来の商用発電炉の廃止措置において活用し得る解体技術等の開発と実地試験を行う」との位置づけのもとに、昭和 61 年度より JPDR の解体撤去が開始された。

原子炉施設の解体撤去に際しては、放射化されたあるいは表面汚染のある金属類並びにコンクリート解体物等が集中的かつ大量に発生することから、解体廃棄物に対しての合理的な対応がなされることを求められている。

今回は、JPDR 解体実地試験に関しての解体廃棄物のうち、放射性廃棄物について東海研究所の管理方法を中心に述べる。

2. JPDR 解体実地試験計画の概要

JPDR の解体実地試験においては、管理区域外の事務建家など将来一般の目的に転用できる建家を除き敷地内の機器、建家を解体撤去し跡地を整理して、グリーンフィールド状態に戻すことにしている。

原子炉施設には、運転を終了し使用済燃料を搬出した後も放射能が残存している。一般に原子炉施設の解体撤去においては、既設の廃棄物処理系統、すなわち気体排気系、液体処理系、放射線モニタリング設備等を有効に利用しながら放射能レベルの高い設備、機器を初期の段階で撤去する。

その後、放射能レベルの低い機器等を撤去したのち、建家の床壁等の汚染部分を撤去し、その後管理区域を解除して一般工法により建家を解体する手順がとられる。

JPDR の解体実地試験において発生する放射性廃棄物は約 4,100 トンと推定されており、その残存放射エネルギーは約 170 TBq と見積もられている。

残存放射エネルギーの 99 % は原子炉運転中に発生する中性子による放射化物であり、炉内構造物や原子炉圧力容器、生体遮へいコンクリート等が主要なものである。

このような設備、機器の解体には、作業者の放射線被曝低減を図るため遠隔操作による解体作業が要求される。

解体のクリティカルパスは、放射能が高く堅牢な圧力容器や生体遮へいコンクリートを包括している原子炉格納容器の解体にある。その他の設備、機器や建家の解体は、大量に発生する解体廃棄物の処理、保管等を考慮しながら、原子炉格納容器の解体と並行して順次行っている。

Table 1 に、上記の諸点を考慮のうえ進められている JPDR の解体実地試験工程を示す。

3. 主な解体工法と二次廃棄物

機器等の解体撤去にあたっては、対象物の内蔵放

Table 1 Schedule of the JPDR Decommissioning Programme

| 年度 | 主 要 工 程 |
|--------|--|
| 昭和61年度 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器（上蓋）の撤去 原子炉周辺機器の撤去 |
| 昭和62年度 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉周辺機器の撤去 炉内構造物の撤去（ロボットマニピュレーターによるプラズマアーク切断） ダンプコンテナ建家内機器等の撤去 |
| 昭和63年度 | <ul style="list-style-type: none"> 燃料貯蔵建家内機器等の撤去 原子炉格納容器内燃料プール内機器等の撤去 炉内構造物の撤去（マスト型プラズマアーク切断装置による切断） |
| 平成元年度 | <ul style="list-style-type: none"> 炉内構造物の撤去（マスト型プラズマアーク切断装置による切断） 圧力容器接続配管の撤去（ディスクカッター切断工法、成型爆薬切断工法） 原子炉周辺機器の撤去 原子炉圧力容器の準備（アークソー切断装置の据付） |
| 平成2年度 | <ul style="list-style-type: none"> 原子炉圧力容器の撤去 放射線しゃへい体（突出部）の撤去 タービン建家内機器の撤去 |
| 平成3年度 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線しゃへい体（突出部）の撤去 原子炉格納容器内残存機器の撤去 放射線しゃへい体／原子炉格納容器の撤去 タービン建家内機器の撤去 廃棄物処理建家内機器の撤去 制御建家内機器の撤去 |
| 平成4年度 | <ul style="list-style-type: none"> 放射線しゃへい体／原子炉格納容器の撤去 タービン建家の撤去 制御建家の撤去 緊急用建家内機器／建家の撤去 非常用換気建家内機器／建家の撤去 燃料貯蔵建家内機器／建家の撤去 排風機建家内機器／建家の撤去 排気筒の撤去 整地 |

射能や放射線レベルによって、適切な切断工法が選択されなければならない。そして切断時に発生する水素ガスやヒューム等の挙動を予測して、その対策を講じたり、二次廃棄物の回収方法、空気汚染や水汚染等を最小限にする工夫が必要となる。

3.1 炉内構造物の解体

原子炉施設の構成機器の中で、中性子照射による放射化量の最大値を示すのは原子炉圧力容器内に組み込まれている炉内構造物、すなわち炉心シュラウド、インコアモニタチューブ、制御棒、ポイズンカーテン等である。これらの構造物の主材質は、ステンレスやジルカロイ等である。

切断法は、高放射線量率下であることや比較的狭い場所への接近性に優れていることなどから、遠隔操作による水中プラズマ切断工法を適用した。この切断工法によって発生したドロスの量は、360 kgであった。

Table 2 に主な炉内構造物の切断工法と放射能データを示す。

3.2 原子炉圧力容器の解体

JPDR の原子炉圧力容器の概寸は、直径 2 m、高

Table 2 Dismantling Methods and Radioactivity Inventory of Principal Reactor Core Internals

| 炉内構造物 | 解体方法 | 比放射能 (Bq/g) | 重量 (t) | 最大表面線量率 (Sv/h) |
|--------------|------|-------------------|--------|----------------------|
| 蒸気乾燥器 | C | 3.7×10^2 | 0.05 | 4.0×10^{-4} |
| 気水分離器 | B | 7.4×10^2 | 2.6 | 3.0×10^{-4} |
| ライザ枠 | B | 7.4×10^3 | 2.2 | 2.5×10^{-3} |
| 中性子源 | C | 1.5×10^8 | 0.1 | 1.0×10^1 |
| ブラグ | C | 1.5×10^8 | 0.4 | 1.0×10^1 |
| ポイズンカーテン | C | 3.3×10^7 | 0.3 | 5.0×10^0 |
| 制御棒 | A | 3.0×10^7 | 1.7 | 1.1×10^2 |
| サンプルクーポンハンガー | A | 3.3×10^7 | 0.05 | 2.0×10^{-1} |
| インコアモニターチューブ | A | 1.6×10^8 | 0.08 | 3.1×10^0 |
| 炉心シュラウド | A | 2.9×10^7 | 1.4 | 3.7×10^0 |
| 炉心サポート | A | 1.5×10^8 | 2.3 | 9.4×10^{-3} |
| 下部支持板 | A | 1.7×10^8 | 0.5 | 2.0×10^{-1} |
| 下部グリッド | A | 3.0×10^8 | 0.6 | 2.0×10^{-1} |
| 制御棒ガイドチューブ | A | 1.5×10^8 | 1.1 | 2.5×10^{-2} |
| ポイズンスパーチャ | A | 1.5×10^8 | 0.03 | 8.0×10^{-8} |
| 給水スパーチャ | A | 7.4×10^2 | 0.1 | 1.8×10^{-4} |

A: 水中プラズマ切断、B: 気中プラズマ切断、C: 一体解体

さ 8 m の縦置円筒型容器であり、母材は低合金鋼でその内面にはステンレスが肉盛溶接 (6 mm) され、板厚は 73 mm である。

解体時の放射能量は約 7.4 TBq、表面の最大放射線当量率は約 0.12 Sv/h であった。

原子炉圧力容器の切断は、上蓋および下鏡部については気中でガス切断、胴部については、遠隔操作による水中アークソー切断工法を適用した。

本圧力容器胴部は、収納する遮へい容器内寸に合わせて 72 ブロックに切断し、延べ切断長さは 120 m に達する。これによるドロスの発生量は約 2,000 kg であった。

3.3 生体遮へいコンクリートの解体

生体遮へい体は、原子炉圧力容器廻りを鉄筋コンクリート (厚さ約 3 m) で覆い放射線をシールドするものである。特に炉心部 (長さ約 3.7 m) にあたる部位は、厚さ 13 mm (カーボンスチール) のライナーが組み込まれており、生体遮へい体の中では放射化が進んだ部位である。さらに生体遮へい体の中には、鉄筋コンクリートを冷却するためのシールド冷却配管が埋設されている。この生体遮へい体を解体する工法は、機械的切断、ウォータージェット切断、制御爆破法などの工法を組み合わせで行うことにしている。

機械的切断では、切断刃 (ブレード) を冷却するため水を使用しているのでコンクリートスラリーが

発生する。

また、ウォータージェット切断では、コンクリートスラリー中にアブレッシブル (研磨材) が混じった状態で二次廃棄物が発生する。

生体遮へい体の解体は、平成 3 年度から着手するためこれらの二次廃棄物量としての実績値はない。

4. 解体廃棄物の管理

4.1 解体廃棄物の分類

原子炉施設の解体に伴って発生する解体物は、炉内構造物等の高度に放射化されたものから、建家コンクリート構造物の放射能汚染のないものまで多種多様な形態で発生し、次のような特徴を有する。

- 1) 運転廃棄物とは異なり、大型構造物、機器、配管、コンクリート等が含まれる。
- 2) 物量も大量であり、比較的短期間に集中して発生する。

JPDR では、これらの解体物のうち放射性廃棄物を次の 4 種類に分類した。

(1) 放射化金属類

中性子によって放射化された金属で炉心シュラウドのように中性子束の高い炉心において放射能レベルの極めて高い廃棄物や炉心から離れた中性子束の弱いところにおいて、放射能レベルが汚染金属類とほとんど変わらないような廃棄物まで含

まれる。

対象物としては、炉心シュラウド、インコアモニタチューブ、制御棒、中性子源、ポイズンカーテン、チャンネルボックス、圧力容器等が挙げられる。

主要核種は、 ^{60}Co 、 ^{137}Cs 等が含まれるが長期保管を前提に考えると半減期の比較的長い ^{63}Ni （半減期100年）が支配的となり、総放射線量としての減衰効果は小さいが、放射線当量率としては炉停止後20年で1桁、100年で5桁程度の減衰が期待できる。

(2) 汚染金属類

機器等の内面や外面に汚染物が付着して放射性廃棄物となっているもので、一般に放射化金属よりも放射能レベルは低い。

また、除染による放射能の除去も可能であり一次系および廃棄物処理系の配管、機器等が含まれる。

主要核種は、 ^{60}Co （半減期5.3年）、 ^{137}Cs （半減期30.5年）であり、比較的放出 γ 線エネルギーの高い核種である。このため、総放射能の減衰は炉停止後100年で1～2桁、線量当量率も同程度の低下しか期待できない。

(3) コンクリート類

原子炉施設の解体によって最も大量に発生する廃棄物であり、その大部分が放射能レベルの低い廃棄物である。これも放射化コンクリートと汚染コンクリートに分類され、前者は生体遮へいコンクリート（JPDRでは、炉心部を中心に周方向3mのうち約1mが放射化が進行している）、後者は、それ以外の生体遮へいコンクリートおよび汚染歴のある床表面等のコンクリートである。

放射化コンクリートの主要核種は、半減期の比較的長い ^{45}Ca （半減期165/日）および長半減期の ^{41}Ca （半減期 1.03×10^5 /年）であり、総放射能の減衰は炉停止後100年で2桁程度で減衰効果はそれほど期待できない。

汚染コンクリートは、汚染金属類と同程度の減衰効果が期待できる。

(4) 解体付随物

解体作業に付随して発生する廃棄物は、除染等で発生した除染廃液、水中切断時に発生する微細な金属浮遊物を捕集するフィルタ、可燃性雑固体、不燃性雑固体および解体に使用した機器や工具等も含まれる。

4.2 JPDRの解体廃棄物の管理シナリオ

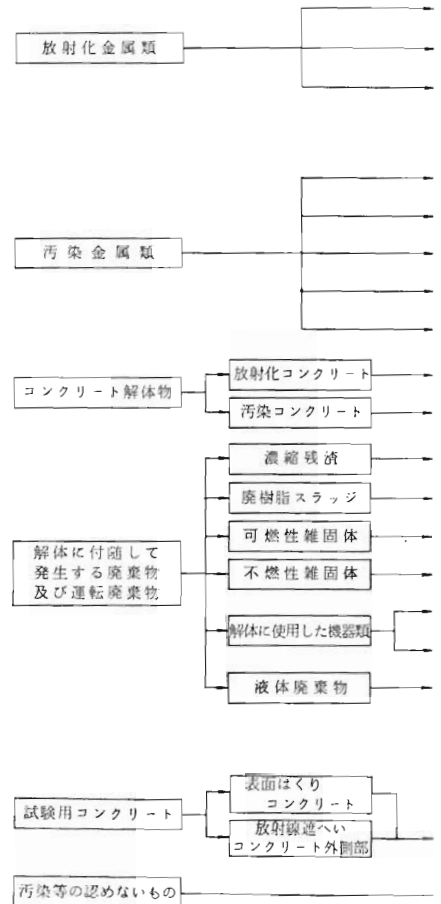
原子炉施設の解体にあたっては、合理的かつ経済

的に対処するためには解体廃棄物の管理シナリオが必要になる。

管理シナリオを作成する上では、廃棄物管理（収納容器、運搬、処理、保管、処分）方法の妥当性や解体工法との整合性および経済性を配慮しなければならない。

また、管理シナリオを構成する基本因子には、次の項目が考えられる。

- 1) 放射能インベントリの把握およびその区分
- 2) 解体前除染
- 3) 解体（切断工法による二次廃棄物や容器対策）
- 4) 解体後除染
- 5) 運搬Ⅰ（解体現場～一時保管場所）
- 6) 一時保管（サイト内）
- 7) 運搬Ⅱ（廃棄物処理施設への運搬）



- 8) 処理（サイト内）
- 9) 運搬Ⅲ（保管施設への運搬）
- 10) 保管廃棄（サイト内）
- 11) 廃棄物の再利用

JPDR の解体廃棄物管理フロー（基本）を Fig. 1 に示す。

4.3 解体廃棄物量と放射能

(1) 解体廃棄物量

JPDR の解体実地試験で発生する解体廃棄物の総発生量は、約 28,000 t と推定されている。

このうち、放射性固体廃棄物は約 4,100 t、その内訳は、放射化物が 1,500 t（金属 200 t、コンクリート 1,300 t）、汚染物が 2,400 t（金属 1,600 t、コンクリート 800 t）、解体付随廃棄物（二次廃棄物）が約 200 t と推定されている。

また、非放射性固体廃棄物は約 24,000 t で、このうち金属類が約 1,500 t、コンクリート類が 22,500 t である。

このように JPDR の解体廃棄物で管理を必要とする放射性廃棄物は約 14%，残りは放射性廃棄物として特別な管理を要しない非放射性廃棄物としている。

(2) 放射能量

解体廃棄物の放射能量を正確に把握することは、解体計画を順調に進行させるための必須の条件である。

JPDR では、内蔵放射能量や放射能汚染レベル等の決定方法について、次のような方法で行った。放射化された炉内構造物、原子炉圧力容器および放射線遮へいコンクリートの放射能分布および放

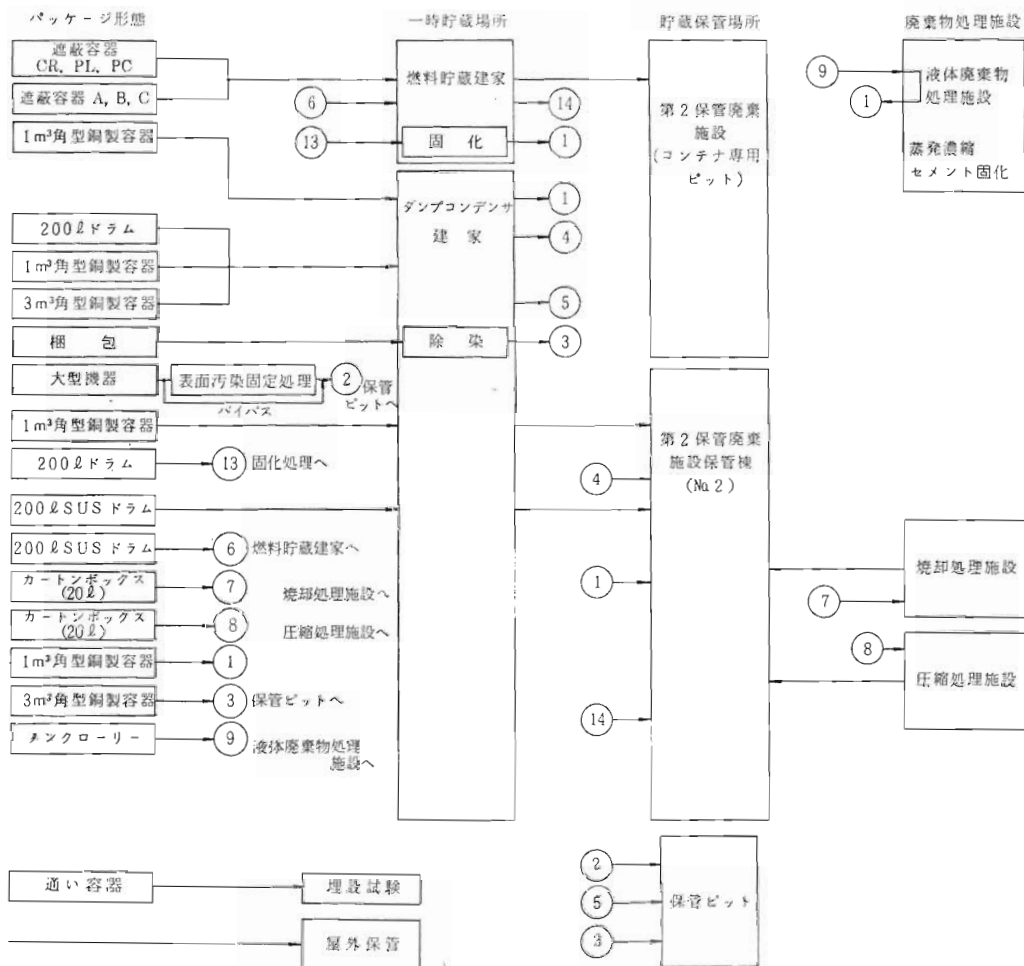


Fig. 1 Radioactive Waste System for the JPDR Decommissioning Wastes

射エネルギーについては、原子炉の運転履歴、構造材の組成および中性子束分布に基づく計算、表面線量当量率の直接測定、試料採取による測定等をもとに評価した。汚染された機器・配管類および床等の放射線量については、サーベイメータによる表面線量の直接測定、あるいは試料採取の測定結果をもとに決定した。

この結果、JPDR の内蔵放射線量は 170 TBq で、そのうち約 99.6 % が放射化物であり炉内構造物と原子炉圧力容器に集中しており、約 0.3 % が放射線遮へい体に含まれている。残り 0.1 % が汚染廃棄物として配管・機器類等に含まれている。

4.4 解体廃棄物の処理

JPDR の解体に伴って発生する解体廃棄物の処理については、東海研究所の廃棄物処理施設で処理する事となるが、現有する処理設備は可燃性廃棄物の焼却処理装置（処理能力：100 kg/h）、不燃性廃棄物の圧縮処理装置（処理能力 10 m³/日、3 軸 100 ton）および液体廃棄物の蒸発濃縮処理装置（処理能力 2 m³/h）であり、JPDR の解体実地試験に関して新たな処理設備等は設置していないのが現状である。

しかし、解体廃棄物の特徴である比較的短期間に大量の廃棄物が発生することから、減容を考慮した有効的な切断や分解等を念頭において対応しなければならない。

例えば、燃料チャンネルボックス等は、122 mm × 1,700 mm² の角柱状を 2 分割し、対角に縦切断して L 型の鋼板状にし、容器内に積み重ねることによって十分な減容効果が得られる。また、廃棄物収納容器の内寸や体積を考慮した切断位置の決定、容器への収納量の評価等が重要となる。

可燃性廃棄物は、布手、紙ウェス、ゴム手の放射線防護資材を含め圧倒的に養生等に使用した酢酸ビニールシートである。

4.5 パッケージ対策

解体廃棄物を収納する容器は、解体物の形状、切断大きさ、性状、放射線量等によりそれに合致するものを選定し、使用時期や数量を的確に把握して、解体計画に支障がでないように準備されていなければ

ならない。

特に炉内構造物等の比較的高い放射能レベルの廃棄物を収納する遮へい容器（特注品）などは、製作期間を見越した上での対応が必要になる。

固体廃棄物の収納容器は、一般的に 200 l ドラム缶がよく利用されている。ドラム缶も廃棄物の性状等に応じてその材質や板厚等を決定する必要がある。

JPDR では、汚染金属、汚染コンクリート、使用済樹脂等の収納に利用している。

また、解体撤去される大型ポンプやコンクリートブロックについては 1 m³ または 3 m³ の角型鋼製容器（板厚 6 mm）に収納した。Table 3 に代表的な汚染廃棄物の収納容器を示す。

JPDR の解体実地試験に伴う放射性廃棄物の発生量を Table 4 に示す。

これらの廃棄物収納容器ごとの放射性廃棄物の収納量について着目すると、昭和 61 年～平成 2 年までの作業実績で低レベル放射性廃棄物の容器あたりの収納重量は、200 l ドラム缶では、汚染金属で 180 kg/本、コンクリートで 200 kg/本であった。

1 m³ 角型鋼製容器では、汚染金属は 1.06 t/容器、コンクリートは 1.34 t/容器。また 3 m³ 角型鋼製容器については、金属類が 2.75 t/容器、コンクリート類は 3.10 t/容器であった。

さらに、カートンボックス（容量 20 l）については、可燃性廃棄物は、約 2.56 kg/個、不燃性廃棄物は 4.33 kg/個であった。

比較的高い放射能レベルの炉内構造物等の放射化物の収納容器については、Table 4 に示す 6 種類の専用の鋼製遮へい容器を 34 個製作し収納した。

遮へい容器の製作にあたっては、原子炉格納容器クレーン設備（20 ton 旋回クレーン）および機器搬入口の制限から、廃棄物と容器重量および吊り具等を含めて最大 20 t 以内とした。

また、容器材質を球状黒鉛鉄（FCD-37）に選定した理由は、機械的強度が炭素鋼に極めて類似しており、表面が一度酸化されると、錆の進行が鈍く長期保管に適していること、金型成型のため量産が可能なこと、厚肉の鋳込み技術が進歩しブローホール等の欠陥が解消されたことや経済的に有利であることなどである。

Table 3 Specifications of Low-level Radioactive Waste Containers

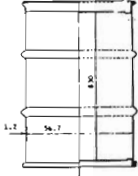
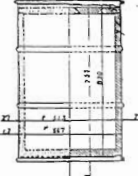
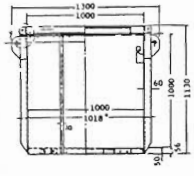
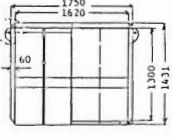
| | 200 ℓドラム缶 | 200 ℓ多重容器 | 1㎡角型鋼製容器 | 3㎡角型鋼製容器 |
|-----|---|---|---|--|
| 概略図 |  |  |  |  |
| 収納物 | 金属類 塊・粉状コンクリート 雑固体物等 | カートリッジフィルタ (水中切断時発生する 金属性水中浮遊物) | 圧力容器上蓋、鏡部 コンクリートブロック 配管、機器等 | 大型機器等の異形物 |
| 内容積 | 0.2 m ³ | 0.2 m ³ | 1.0 m ³ | 3.7 m ³ |
| 材質 | SPHC(JIS3131) | 外容器 SPHC(JIS3131) 内張り ポリマー含浸 コンクリート | SS-41 | SS-41 |
| 重量 | 20Kg | 170 Kg | 450Kg | 900Kg |
| 肉厚 | 1.2~1.6mm | 外容器 1.6 内張り 30mm | 6.0mm | 6.0mm |

Table 4 Volume of Radioactive Arising from the JPDR Decommissioning Programme (from fiscal 1986 to fiscal 1990)

| 年 度 | | 61 | 62 | 63 | 元 | 2 | 合 計 | 重量/容器 | | |
|------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|----------|--------|----------|
| 遮 蔽 容 器 | 取扱数量(個) | 0 | 0 | 18 | 9 | 7 | 34 | - | - | |
| | 取扱重量(ton) | 0 | 0 | 6.1 | 6.6 | 17.2 | 29.9 | | | |
| S - II 容 器 | 取扱数量(個) | 0 | 4 | 8 | 0 | 18 | 30 | 2.78 t/個 | 金 属 | 2.75 t/個 |
| | 取扱重量(ton) | 0 | 13.2 | 10.6 | 0 | 59.7 | 83.5 | | コンクリート | 3.10 t/個 |
| S - I 容 器 | 取扱数量(個) | 19 | 80 | 16 | 56 | 119 | 290 | 1.07 t/個 | 金 属 | 1.06 t/個 |
| | 取扱重量(ton) | 23.3 | 89.5 | 6.6 | 47.2 | 142.4 | 309.0 | | コンクリート | 1.34 t/個 |
| ド ラ ム 缶 | 取扱数量(本) | 502 | 282 | 43 | 269 | 454 | 1,550 | 193kg/本 | 金 属 | 179kg/本 |
| | 取扱重量(ton) | 83.1 | 50.8 | 7.7 | 60.9 | 96.8 | 299.3 | | コンクリート | 226kg/本 |
| 大 型 機 器 | 取扱数量(個) | 0 | 7 | 0 | 0 | 5 | 12 | - | - | |
| | 取扱重量(ton) | 0 | 44.4 | 0 | 0 | 3.3 | 47.7 | | | |
| 梱 包 | 取扱数量(記録票数) | 199 | 440 | 27 | 3,582 | 2 | 4,250 | - | - | |
| | 取扱重量(ton) | 101.3 | 36.8 | 0.6 | 25.1 | 13.5 | 177.3 | | | |
| カートンボックス | 取扱数量(個) | 3,571 | 6,524 | 4,669 | 8,294 | 8,130 | 31,188 | 3.0kg/個 | 可 燃 | 2.56kg/個 |
| | 取扱重量(ton) | 8.1 | 19.2 | 13.4 | 26.6 | 27.5 | 94.8 | | 不 燃 | 4.33kg/個 |

5. 解体廃棄物の処分と今後の課題

5.1 解体廃棄物の処分

現在のわが国の低レベル放射性固体廃棄物の陸地処分については、原子炉施設から発生する廃棄物に限定され、放射性物質の種類に応じて放射能濃度の上限値が定められている。

現行の規制の下で処分し得る廃棄物の形態は、容器にセメント等で固化された均質な廃棄体となっている。

いずれにせよ、濃度上限値が設定されたことにより原子炉の運転に伴って発生した放射性廃棄物の処分は可能となったが、原子炉解体廃棄物特有の短期間に大量発生する多様な廃棄物の対応を考えた場合、適合上の問題がある。現在検討されている雑固体廃棄物に係る基準等の整備が望まれるところである。

なお、JPDRの解体廃棄物の処分に対しては、具体的な処分場が決定していないため当分の間、東海研究所の保管廃棄施設に保管される。

5.2 今後の課題

放射性廃棄物の処理-輸送-保管-処分等の一連の管理コストは、合理的に可能な限り低減する必要

がある。

このため、原子炉の解体に限らず放射性廃棄物の発生量を極力少なくすることが大きな前提である。このような観点から原子炉解体を合理的に、また廃棄物発生量を低減するために必要な事項を以下に述べる。

- (1) 過去の運転履歴や使用場所等から非汚染物か汚染物かを明確に区分し、管理する。
- (2) 汚染物は、解体前除染および解体後除染を積極的に実施する。(コストおよび二次廃棄物の評価が必要)
- (3) 規制除外(いわゆる「すそ切り」)基準値の制度化
- (4) 放射性廃棄物の再利用基準の制度化
- (5) 雑固体廃棄物に係る処分場の受入れ基準の制度化
- (6) 放射性廃棄物の減溶処理

デコミッションングは、廃棄物対策が大きな課題であるが、集中的に大量に発生する廃棄物特性から規則、基準の整備や、処分方式、コスト等の幅広い検討が必要である。

Table 5 Specifications of Radiation Shielding Containers for Decommissioning Wastes

| | A容器 | B容器 | C容器 | CR容器 | PL容器 | PC容器 |
|------|---|--|-------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 概略図面 | | | | | | |
| 収納容器 | 炉心シュラウド インコアモニタ チューブ サンプルクーポ ハンガー ドロス等 | 圧力容器(中央部) ホールダウン チャンネルボッ クス枠等 | 圧力容器(端部) 放射能レベルの 低い炉内構造物 等 | 制御棒ブレード | 炉心プラグ 中性子源 | ポイズンカー テン |
| 内容積 | 0.36 m ³ | 0.76 m ³ | 1.33 m ³ | 0.40 m ³ | 0.18 m ³ | 0.34 m ³ |
| 材質 | 铸铁 | 铸铁 | 铸铁 | 铸铁 | 铸铁 | 铸铁 |
| 重量 | 15 ton | 13.4ton | 4.7ton | 16.4ton | 17.7ton | 17 ton |
| 肉厚 | 330mm | 330mm | 225mm | 70mm | 375mm | 325mm |

誤

正

22 頁

下から 8 行目 アイダホ国立工業研究所
 下から 6 行目 DWYF
 " " Processing

アイダホ国立工学研究所
 DWPF
 Processing

25 頁 表 6

1 行目 蒸気・真空・回収,
 " 負圧・蓋
 6 行目 不飽和地帯の熱処理
 7 行目 低温掘削
 8 行目 サイト剤処分
 10 行目 微生物をグラフト材に利用
 11 行目 亀裂や空隙のグラフト
 " 水分地質学的障壁
 " 爆発グラフト
 15 行目 原位置重合化
 " 原位置硫酸塩固化
 " 原位置グラフティング

蒸気真空回収
 負圧蓋
 不飽和地帯の熱処理
 低温掘削
 サイト外処分
 微生物をグラウト材に利用
 亀裂や空隙のグラウト
 水理地質学的障壁
 爆発グラウト
 原位置重合化
 原位置硫酸塩固化
 原位置グラウティング

22 頁 図 1

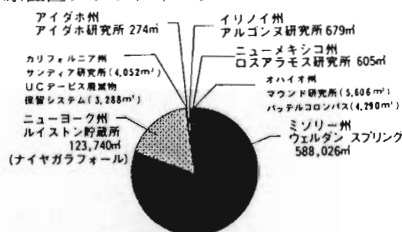


図 1 余剰施設管理活動からの発生廃棄物量

27 頁 表 7

| デコミッション方式 | 全コスト (百万ドル) | 職 業 被 害 量 (人:レム) | 1 万年間 発生廃棄物 (人:レム) | 井戸水からの 最大汚染率* (レム/年) |
|----------------|----------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|
| 現状維持 (デコミなし) | 41 | 24 | 50000 | 1.2 |
| 即時一括撤去 | 191 | 159 | 1900 | 0.04 |
| 安全貯蔵* - 遅延一括撤去 | 198 | 51 | 1900 | 0.04 |
| 安全貯蔵 - 遅延解体撤去 | 217 | 532 | 1900 | 0.04 |
| 原位置デコミッション | 181 | 33 | 4700 | 0.03 |

1) 被曝量は 8 基分 コストは 100 年間費用
 2) 天然放射能から 1 万年間に 90 億人・レムの累積量を求める
 3) 廃棄物体近くの井戸水を 1 万年まで飲んだ時の最大汚染率
 4) 安全貯蔵期間 75 年

財団法人 原子力施設デコミッション研究協会誌

© デコミッション技報 第四号

発行年月日: 平成 3 年 11 月 15 日 15/11/1991

発 行: (財)原子力施設デコミッション研究協会

住 所: 茨城県那珂郡東海村舟石川 821 - 100

TEL 0292-83-3010, 3011 FAX 0292-87-0022

