



大洗工学センターにおける放射性廃棄物管理の実績と現状

大森 宏之 一関 強 会川 英昭
清宮 勇二

大洗工学センター管理部

資料番号: 82-4

Review of Activity in Waste Management at O-arai Engineering Center

Hiroyuki Omori Tsuyoshi Ichinoseki Hidesaki Aikawa
Yuji Seimiya
(Administration Division, O-arai Engineering Center)

大洗工学センターにおける放射性廃棄物管理の実績と現状について報告する。
FBRやATRの研究開発のための高速実験炉「常陽」をはじめ照射燃料材料試験施設等多くのホット施設から発生する種々の放射性廃棄物は、隣接する日本原子力研究所大洗研究所に共同で設置された中央廃棄物処理場に運び、適切に処理された後貯蔵保管している。また、センター内では、中央廃棄物処理場の前処理施設として大型廃棄物を解体減容するための固体廃棄物前処理施設ならびに放射性廃液の前処理を行う「常陽」廃棄物処理建家の運転管理を行っている。

1. はじめに

大洗工学センター(以下「センター」と略す)では高速実験炉「常陽」および重水臨界実験施設(DCA)の原子炉施設、照射燃料集合体試験施設(FMF)、照射燃料試験施設(AGF)、照射材料試験施設(MMF)等の核燃料使用施設ならびに放射線管理棟のRI使用施設から固体、液体および気体の放射性廃棄物が発生し、固体については固体廃棄物前処理施設(WDF)、液体については「常陽」廃棄物処理建家において処理・減容を図った後、大洗中央廃棄物処理場(以下「中廃」と略す)に運ばれ処理・貯蔵が行われている。また、気体廃棄物については洗浄、ろ過等の処理後、各施設の排気筒より大気へ拡散放出している。これら気体廃棄物を除くセンターで発生するさまざまな放射性廃棄物の処理・貯蔵に関しては、動燃・原研間の「大洗地区における放射性廃棄物の処理に関する基本協定」に基づき、大洗地区放射性廃棄物処理運営協議会において年間運営計画ならびに長期5ヶ年計画が討議・決定され運営されるが、この形態が昭和48年以来今日まで大きな障害なく継続されてきた。

しかしながら、少量ではあるがセンターの今後の

業務展開の中で放射性廃棄物の管理を見通した場合、FMFでの「もんじゅ」燃料等の照射後試験(PIE)の実施および施設・設備のデコミ、「常陽」MK-III計画の遂行等従来の大洗工学センターの廃棄物処理計画になかった廃棄物も発生する。また、「中廃」に貯蔵中の廃棄物についても将来の貯蔵量増大等に対応するため、減容処理等の適切な処理も必要であり、現在今後の総合的な廃棄物処理計画の策定に向けて検討を進めているところである。今回はセンターにおける放射性廃棄物管理の実績および現状について報告する。

2. 大洗工学センターにおける放射性廃棄物管理

センターで発生する放射性固体廃棄物は、主として高速実験炉「常陽」の運転に伴い発生する放射化されたステンレス鋼等の高レベル^(E)βγ廃棄物と高速炉燃料の照射実験によって発生する高濃度の核分裂生成物(FP)とTRU核種を含む混合酸化物燃料の廃棄物、いわゆる高レベル^(E)α廃棄物である。この他の廃棄物としてはATR「ふげん」で照射された圧力管部材(MMFで発生)、「常陽」炉心燃料集合体等のナトリウム洗浄廃液を固化した固化体等の高

レベル $\beta\gamma$ 廃棄物も定常的に発生する。これらの高レベル $\beta\gamma$ および高レベル α 廃棄物は発生施設において所定の容器に収納され、 α 廃棄物はさらにPVC梱包されキャスクを用い「中廃」に輸送し、各分類の処理ラインで処理後それぞれの貯蔵施設に貯蔵する。一方、ホット施設の運転・保守に伴う α 、 $\beta\gamma$ の低レベル廃棄物が定常的に発生するが、これらは発生元でカートンボックスやドラム缶に収納し直接「中廃」へ輸送する。さらにセンターでは「中廃」の受け入れ基準を超える高レベルおよび低レベルの大型廃棄物（主として低レベル）がホット施設の機器故障や更新のため定常的に発生するため固体廃棄物前処理施設(WDF)を建設し、そこで除染、解体、

減容等の処理を行っているが、処理後の高低レベルの廃棄物については他の施設の物と同様、「中廃」に運ばれ、処理・貯蔵されている。

図1にセンターにおける固体廃棄物の種類と発生量を各施設毎に平成2年度の実績で示す。

「中廃」における固体廃棄物処理系統を図2に示す。

「中廃」の処理廃棄物の中でセンター廃棄物の占める割合を各々の廃棄物について図3に示す。 $\beta\gamma$ 固体については高レベルで約半分、低レベルで約30%、また α 固体については大半がセンターの発生分といえる。液体廃棄物以外はセンター廃棄物が対象廃棄物の半分以上を占めている。

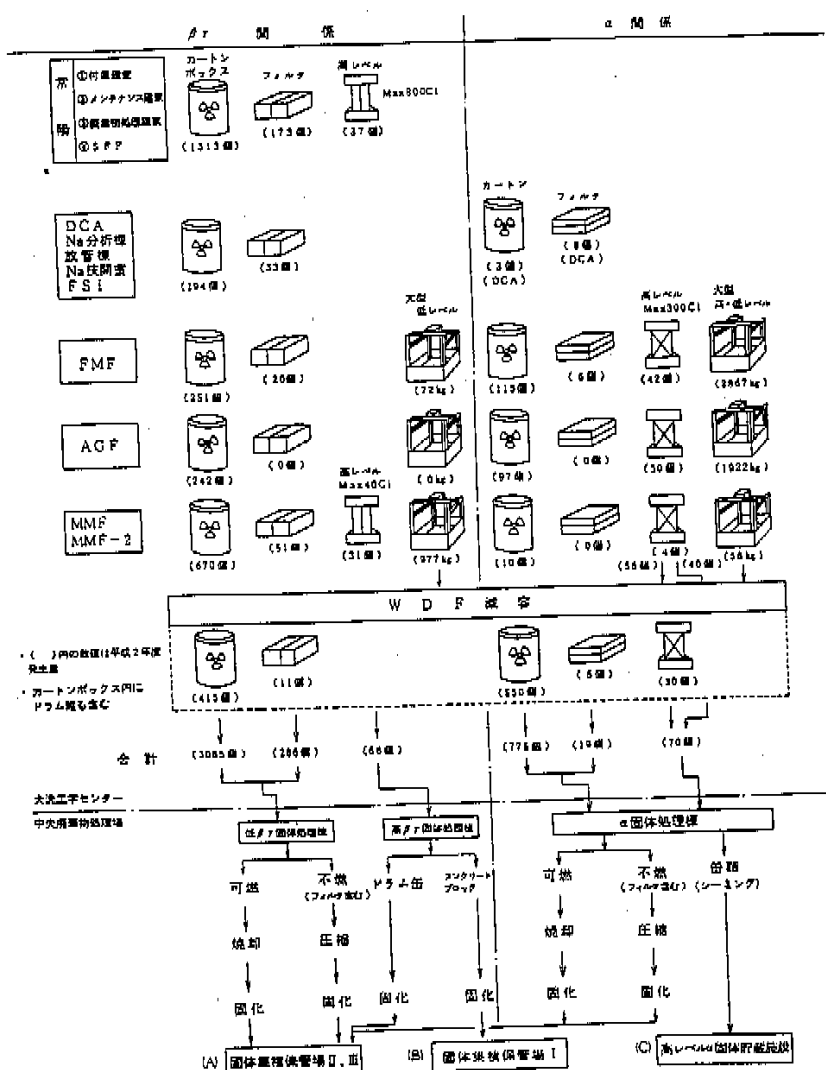


図1 大洗工学センターの廃棄物流れ図（固体関係）

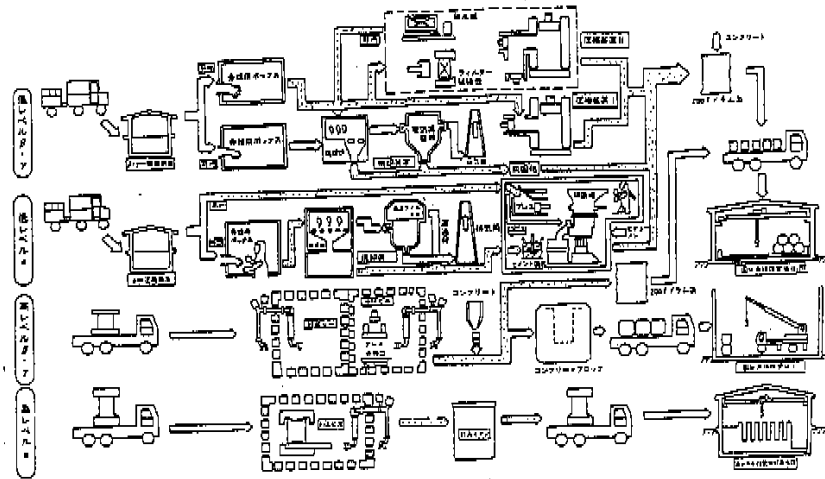


図2 「中廃」における放射性固体廃棄物処理系統図

次に、センターの放射性液体廃棄物は高レベルβγ廃液が「常陽」の燃料集合体ナトリウム洗浄設備から発生する。また、照射後燃料集合体試験施設(FMF)から低・中レベルの廃液が発生する。これらの廃液は「常陽」廃棄物処理建家に集められ蒸

発・固化処理後低レベル廃液として廃液輸送管で「中廃」に送られ、処理後処分される。照射燃料試験施設(AGF)で発生する廃液は原研のJMTR廃液と合わせ直接廃液輸送管で「中廃」に送られ処理される。その他の施設から発生する廃液はタンクローリにより「中廃」に輸送される。

図4にセンターにおける液体廃棄物のフローを示す。

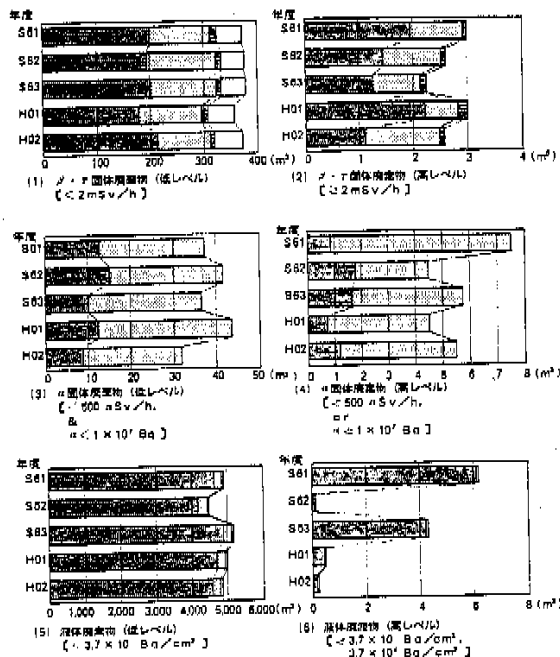


図3 事業所別廃棄物搬入状況
 (図:原研大洗、■:センター、□:東北大、□:NFD)
 (本資料は原研、大洗研究所のデータに基づくものである。)

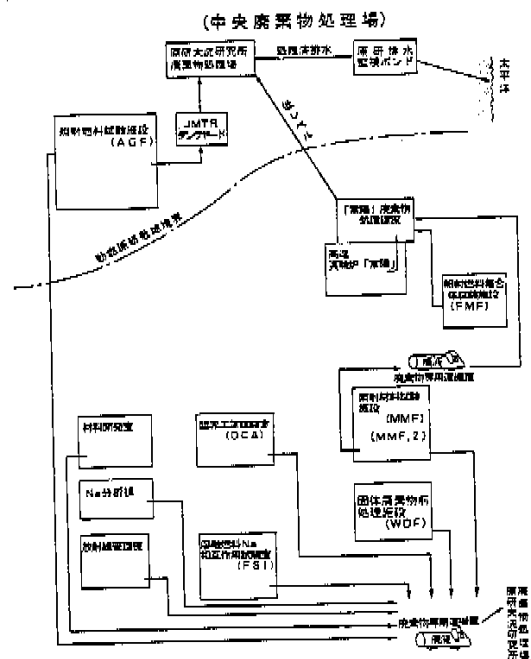


図4 大洗工学センターの廃棄物流れ図(液体関係)

なお、センターで発生する極低レベル廃液（管理排水）は約200トン／年、低レベル廃液は約400トン／年でそのうち低レベル廃液は「中廃」の年間処理量の約1割程度となっている。

注）文中の放射性廃棄物の名称、放射能レベル区分は大洗地区における廃棄物管理上特有のものであり、一般には“低レベル”に相当する。以下同様。

3. 固体廃棄物前処理施設(WDF)の運転

3.1 施設の概要

固体廃棄物前処理施設(WDF)は、照射燃料集合体試験施設(FMF)、照射材料試験施設(MMF)、照射燃料試験施設(AGF)等の燃料材料試験施設から発生する遠隔操作機器、試験機器等の大型固体廃棄物を「中廃」で処理、保管可能なように解体減容等の前処理を行う施設として、昭和55年5月に着工し昭和59年1月に完成した。

建家の規模は、地下1階、地上3階、大きさは約幅51m×奥行35mで建家の延床面積は、約5,400㎡となっておりα解体ホール、α解体セル、βγ解体セルの設備等で構成されている。

廃棄物の処理フローを図5に示す。主な設備は、以下のとおりである。

α解体ホール設備

α核種で汚染された低レベルの大型固体廃棄物の解体を行う設備であり気密作業服（フロッグマンスーツ）を着用した作業員がホールと呼ばれる気密室内に入り、ジグソー、ニブラ、バンドソー等の電動工具やプラズマ溶断ロボットにより直接解体を行う。

α解体セル設備

α核種で汚染された高レベルの大型廃棄物をアイスプラストにより除染し、プラズマ溶断装置やハクソー等のマニプレータによる遠隔操作

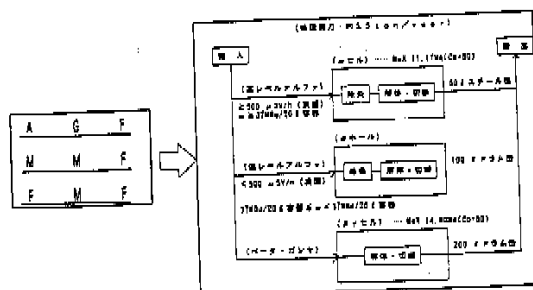


図5 固体廃棄物前処理施設(WDF)処理工程図

表1 主な処理廃棄物

区分	名称	概略寸法(mm)	重量kg	構成材料	表面積(㎡)
セ ル 高 α	引張試験機本体	1400×500×2000	650	SS41(鋼物)	3
	ダイヤモンドカッター	500×400×300	184	SS41(鋼物)	4×10 ⁴
	部材切断機本体	950×400×1000	150	SS41	4×10 ⁴
	部材切断機ベース	1200×1200×1030	523	SS41	8×10 ³
ホ ール 低 α	グローブボックス	1000×1000×700	118	PVC, アクリル	10
	グローブボックス	1600×1000×1000	540	SUS304, アクリル	30
	M.Sスレープ ウォールキューブ	300φ×1500	250	SS41, 鉛	200
	M.Sスレープアーム	2000×200×400	50	Al, SUS304	0.6
	フィルターユニット	2000×800×600	380	SS	0.3

で切断解体後、必要に応じて70トンプレス機により圧縮減容を行う。

βγ解体セル設備

βγ核種で汚染された大型廃棄物をバンドソーやジグソー等のマニプレータによる遠隔操作で切断解体を行う。

3.2 運転実績

1) 処理廃棄物

平成3年3月迄に解体処理した主な大型廃棄物を表1に示す。

累積処理量としては、図6に示すように平成2年度末で低レベルα廃棄物を中心に38トン処理した。また、61年度末からは、「中廃」の高レベルα固体貯蔵施設の満杯時期の延伸対策として大型廃棄物とは別に高レベルα廃棄物（雑団体）を6.8㎡を受け入れ減容処理を行い、2.5㎡に減容できた。高レベルα廃棄物の累積処理実績は表2に示す。

2) 除染

高レベル廃棄物については、解体処理工程や貯蔵時の廃棄物の取扱いを大幅に軽減させるた

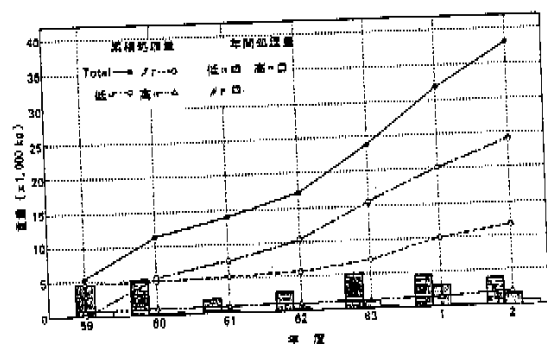


図6 大型固体廃棄物累積処理実績

表2 高レベル α 廃棄物の累積処理実績

t: トン (昭和62年1月~平成3年3月)

	処理前(A)	処理後					
		高線量(B)			低線量		
D-50	2缶	0.1 m ³	0.02 t	0.03 m ³	0.01 t	0.03 m ³	0.04 t
L缶	35缶	4.0 m ³	1.7 t	0.9 m ³	0.5 t	1.9 m ³	1.1 t
S缶	122缶	2.4 m ³	2.0 t	1.5 m ³	1.8 t	0.1 m ³	0.2 t
G缶	13缶	0.3 m ³	0.1 t	0.1 m ³	0.1 t	0.06 m ³	0.03 t
Total	172缶	6.8 m ³	3.8 t	2.5 m ³	2.5 t	2.1 m ³	1.4 t

* D-50: 200 l ドラム缶, L缶: 150 l 容器, S缶: 60 l 容器, G缶: 40 l 容器 (コンクリート内蔵)

めの除染技術として当初は温圧水設備による除染を行っていたが、現在は廃液を極力少なくするアイスプラスト除染装置を開発設置している。その実績として平成元年度末頃までは、表面線量当量率が0.1 Sv/h以上のものを含む約0.1トンの高レベル α 廃棄物を除染することにより、90%低レベルにすることができた。

3) 解体処理

α 解体セルには、プラズマ溶断およびハクソー等の設備を有し、これらの設備をマニプレータによる遠隔操作で溶断、切断を行っている。溶断、切断した廃棄物の内、プレス可能な廃棄物については、プレス缶に入れて70トンプレス機で圧縮した後、また、プレス不可能な廃棄物はそのまま搬出容器に入れ「中廃」へ払出している。

4) 減容効果

WDFでは、除染・解体処理した固体廃棄物を高レベル α 、低レベル α 、 $\beta\gamma$ の廃棄物に区分し、各々60 l、200 l、100 lの専用容器に収納して「中廃」へ払出している。特に、高レベル α 廃棄物（雑固体）の減容効果は、平成2年度末までに186缶の受け入れに対して172缶処理し、「中廃」へ96缶払出し約半分に減容することができた。これは、減容のほとんどがプレス機による圧縮効果によるものである。

3.3 技術開発および今後の課題

WDFの当初の設計年間処理能力は5.5t/年であるが、測定、除染、解体等の技術開発および運転技術の養成等により今日では約7t/年の廃棄物処理能力に向上した。しかし、現施設での減容処理作業は、いずれも手作業によるものであり、これ以上の処理能力の向上は困難であるため、今後は次のような設備の技術開発を行い、処理能力の向上を図る計画である。

- ① α 解体ホール: PVC、金属等の粉碎圧縮減容装置、自動バンドソー等の開

発

- ② α 解体セル: 高圧アイスプラストの開発、小物廃棄物を缶に入れてのアイスプラスト除染法の開発
③ $\beta\gamma$ 解体セル: プラズマ溶断設備用集塵装置とフードの開発
④ 廃液処理: 廃液処理クローズドシステムの開発

4. 「常陽」廃棄物処理建家の運転

4.1 施設の概要

「常陽」廃棄物処理建家（以下「処理建家」）は、高速実験炉「常陽」および照射燃料集合体試験施設(FMF)等から発生する放射性廃液を「中廃」の受け入れ基準に合うよう前処理を行う施設として、昭和46年5月に着工し、昭和49年5月に完成した。

建家規模は地下1階、地上1階、大きさは約幅25 m×奥行16 mとなっており、廃液タンク室、廃液処理室、蒸発缶室、固化室、固体廃棄物貯蔵室、機械室等から構成されている。建家の延床面積は、約730 m²である。

処理建家の廃液処理フローを図7に示す。廃液発生施設の「常陽」および照射燃料集合体試験施設(FMF)から発生する廃液は一定量ごとに処理建家の廃液タンクに送水される。これらの廃液のうち、床ドレン、手洗水等の廃液は処理建家の低レベルタンクに受け入れ、放射能濃度が「中廃」の受け入れ基準値以下であることを確認し、放出于備タンクから「中廃」へ移送する。

また、燃料等のナトリウム洗浄で発生する燃料洗浄廃液は、水酸化ナトリウムによる強アルカリ性であるため、中和槽に受け入れ硝酸で中和する。

中和槽では、廃液中の沈降性の放射性物質を沈降分離し、沈降液は定置槽および計量槽を経由して乾

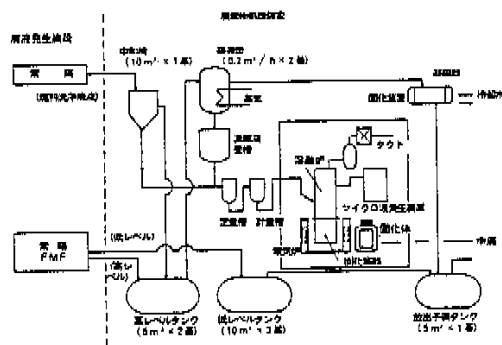


図7 廃棄物処理建家廃液処理フロー

表3 設備機器仕様

設備・装置	主 要 機 器 仕 様
蒸発・濃縮 処理装置	蒸発缶本体 外側加熱立型自然循環方式 処理量0.2M ³ /h
	蒸気凝縮器 横型U字管型膜水器
	濃縮液受槽 容量0.5m ³
乾燥・溶融 固化装置	固化ボックス 1,1×2,6×2,9Hm 処理量:Max9,3t/h
	マイクロ波発生装置 型式:共振型 処理量:2450MHz 5kW 固化容器 200φ×250H×6mmA SUS304
廃液輸送管	配管延長 「中廃」まで約800m(「中廃」との 境界フェンスまで約125m)
	口径等 50A SUS304

乾燥・溶融固化装置（以下固化装置）へ、また中和槽の上澄液は、高レベルタンクへ一旦移送後、蒸発缶で濃縮処理し、その処理済廃液は低レベル廃液と同様、放出予備タンクから「中廃」へ移送する。

一方、蒸発缶濃縮液は中和槽沈降液と同様に、固化装置へ移送し、ガラス原料と共に固化する。

固化装置で固化された固化体は、高レベルβγ固体廃棄物として「中廃」へ運搬する。

主な設備機器仕様を、表3に示す。このうち蒸発濃縮処理装置は外側加熱立型自然循環方式で、2基設置されており、主要機器は蒸発缶本体、蒸気凝縮器、濃縮液受槽、計装設備および各種配管等から構成されている。蒸発濃縮処理装置の処理能力は、それぞれ0.2m³/hである。また、乾燥・溶融固化装置に関しては、昭和60年度に当初のセメント固化装置から、マイクロ波による乾燥・溶融固化装置に改造したものである。主な系統構成は、濃縮液等を定量槽、計量槽を介して、固化ボックス内の固化容器へ供給する供給系統、廃液を蒸発・乾燥しガラス添加剤とともにマイクロ波とヒートで加熱溶融する固化系統および乾燥溶融固化時に発生するオフガスを凝縮器で気液分離後、ヘパノイルナジウ処理、建家排気系へ排気するオフガス処理系統等から構成される。溶融炉内（固化容器）における溶融温度は、1,200℃以下である。

4.2 運転実績

昭和52年の「常陽」臨界以来、平成2年度までの14年間に処理建家に受け入れ、処理等を行い「中廃」へ送水した廃液量は、約4,800m³である。図8にその実績を示す。

本実績より、平成2年度までの年間最大送水量は昭和57年のMK-II移行時に行われた使用済燃料等の洗浄廃液による1,170m³である。それ以後の発生

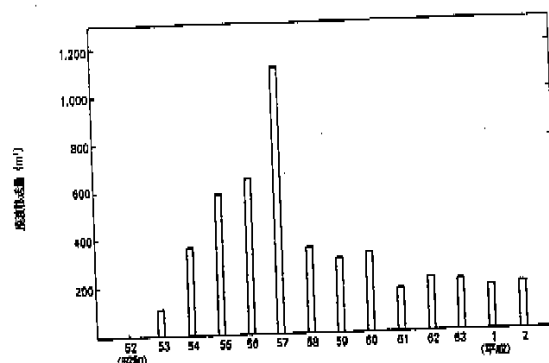


図8 廃棄物処理建家から「中廃」への廃液移送量

量は、年間200～400m³にとどまり、ほぼ横ばいの状況となっている。なお、全送水量約4,800m³のうち約600m³の廃液が「中廃」への移送基準を超えたため、蒸発処理後送水し、その濃縮廃液等については固化処理を行った。固化体発生量は高レベル固化体（固化体表面線量当量率が2 m Sv/h以上のもの）1.83m³（20ℓ容器相当約92体）および低レベル固化体（固化体表面線量当量率が2 m Sv/h未満のもの）85m³（100ℓドラム缶相当85体）である。

以上のような運転実績の中で、特に燃料洗浄廃液中に高速炉特有の放射性腐食生成物（以下CPと称す）が次第に多く含まれるようになり、廃液処理業務の課題となった。そのため、以下のような設備改造および技術開発等を行った。

① 燃料洗浄廃液処理系の改造

昭和57年のMK-II移行時頃から使用済燃料等のナトリウム洗浄によって発生する洗浄廃液中のCPにより、廃液タンク、配管等の廃液処理系の放射線量当量率が上昇¹⁾した。このため廃液設備の運転およびメンテナンス作業に伴う運転員の被ばくが増大し、CPの除去、除染技術の開発が強く望まれた。一次冷却系においてもCPが沈着残留していることが確認された^{2) 3)}。このような状況から、「常陽」を中心にFBRにおけるCP問題と対策を検討する「アルファベット計画」が組織化され解決にあたった。その結果、CPの性状を明らかにするとともに⁴⁾、従来設備を活用する燃料洗浄廃液処理系の改造を行った。これらの概要を次に示す。

イ) 廃液の放射能濃度は100Bq/cm²オーダ、pHは10～12である。

ロ) 主要核種は⁶⁰Co(44%)>⁵⁸Co>⁵¹Cr>⁵⁴Mn(7%)である。

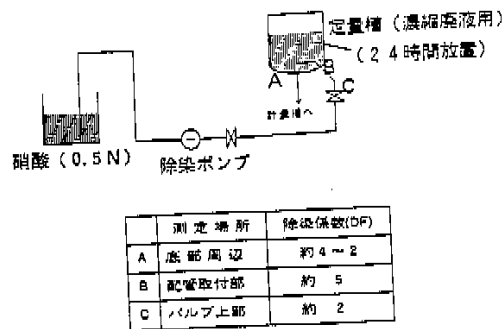


図11 希硝酸除染法の例

る。より効果的には、除染液の循環攪拌等を行う。
その結果、除染効果(DF)は2~5が得られた。

4.3 燃料洗浄廃液処理技術から得られた知見

処理建家は、「常陽」臨界以来原子炉および照射燃料集合体試験施設から発生した種々の廃液を受け入れ処理し、大型施設の安定運転に寄与してきた。

この間、燃料洗浄系から廃液処理系にいたる燃料洗浄廃液処理技術についての、CPに関するいくつかの知見を得た。以下に、その概要を示す。

1) CPの沈着に関する知見

沈降性CPの影響により、中和槽および蒸発缶濃縮液受槽から固化装置への廃液供給系の機器・配管類の表面線量当量率が上昇した。これらの系統のどのような箇所にCPが沈着しやすいか、中和槽回りの機器・配管類について表面線量当量率を測定した。その結果、図12にその概念図を示すように配管、機器のフランジ部のほか、差し込み溶接部、配管の液だまり部、内部構造物との取り付け部にCP沈着量が多いことが明らかになった。

2) 外側反射体洗浄廃液中のCP濃度に関する知見

近年、外側反射体洗浄廃液中のCP濃度が他の燃料等洗浄液に比べ、きわめて高いことが確

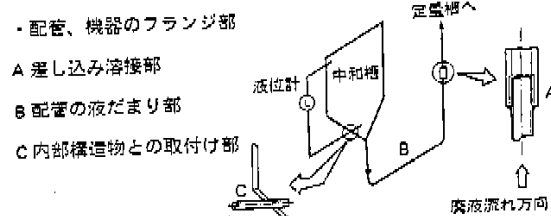


図12 CPの沈着しやすい箇所

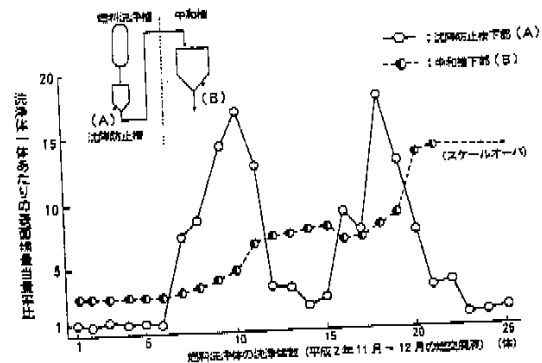


図13 燃料洗浄廃液貯槽の表面線量当量率

認されている。図13は、平成2年11月~12月に発生した燃料等洗浄廃液を原子炉付属建家内の沈降防止槽から処理建家中和槽への廃液移送過程において、タンク下部外表面の線量当量率を測定し、他の洗浄液と比較したものである。

その結果、外側反射体洗浄廃液の貯留時の線量当量率が、他の洗浄液に比べ沈降防止槽では10~20倍、中和槽では5~6倍高いことが明らかになった。

この理由として外側反射体の装荷位置、部材の形状(構造)、ナトリウムの流路(よどみ)等が考えられるが、これらの関連性については、現在検討を進めている。

3) 固化装置の運転に関する知見

本固化装置は、マイクロ波とヒータの併用加熱方式を採用しており廃液の蒸発、仮焼体の熔融等の加熱工程において図14に示すように、多量の粉じんが発生し、排気系配管(40A)内に付着閉塞した。

このため、既設を模倣した試験装置により粉

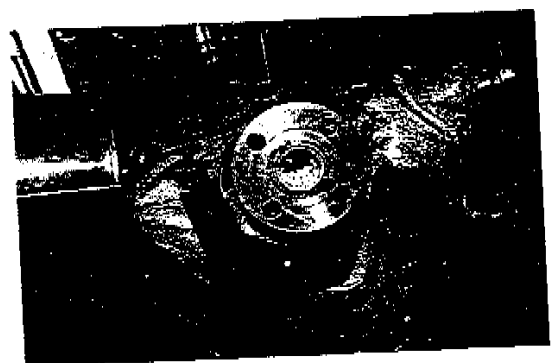


図14 排気系配管閉塞状況

じん性状、粉じん発生特性等を明らかにする目的で試験を実施した。その結果、粉じんの主成分は硝酸ナトリウム (NaNO_3) であること、全処理工程のうち硝酸ナトリウムの分解およびガラス熔融時に粉じん全発生量の約80%が飛散すること、粉じんは水溶性であり温水等で容易に除去可能であること等が明らかになった。

4.4 更新施設

1) 経緯

処理建家は、設計当時高速炉の廃液処理の実績がなく、処理技術に関する知見が不十分であったため、特にCPの処理系内沈着に対して合理的な設計にいたらなかった。

その結果、廃液処理およびメンテナンス作業に係わる作業員の被ばくが増加した。

この対策として遮蔽の強化、除染等を逐次実施してきたが、線量当量率の上昇が建家内の機器レイアウトを含めシステム設計に起因しているため根本的な解決にはならず、数年後には既施設での廃液処理の継続が困難となるとの見通しのもとに、全面的な施設更新が必要であると結論に達した。

本計画は、平成元年3月より処理装置の設計検討に着手、平成4年3月着工し、平成6年の運転開始を目標に進めている。

2) 施設の概要

本施設は、「常陽」および照射燃料集合体試験施設(FMF)等から発生した放射性廃液を受け入れ、その放射能濃度レベルに応じて処理するものである。

本施設は廃液処理設備、固化処理設備、給排水設備、非常用電源設備等から構成されてお

り、地上3階地下2階、大きき約21m×21m、高さ地上約16mの建物である。

施設更新にあたっては、これまでの知見を十分反映した設計としている。特に廃液処理の設備には、中空糸膜フィルタをCP対策として採用し、FBR廃液処理技術の開発、実証するとともに蒸発濃縮処理装置等の処理系にCP沈着を防止する設計とした。固化処理系については、マイクロ波によるガラス状固化方式を採用している。

5. まとめ

センターにおける放射性廃棄物管理はこれまで「中廃」をはじめとするWDFおよび「常陽」廃棄物処理建家で大きな問題も生ずることなく実施されてきた。

一方、センターの将来の廃棄物発生量の調査結果では、MK-IIIによる改造、「もんじゅ」照射後燃料試験の開始、老朽ホット施設のリコミッショニング等、現状のセンターでは処理できない大型/高レベルの多量の廃棄物の発生が予測されている。また、「中廃」の廃棄物貯蔵施設も高レベルα貯蔵施設が平成8年度末頃、β固体集積保管場もほぼ同じ頃満杯が予想されている。これらの施設整備計画については、現在検討を行っている。

参考文献

- 1) 田村政明 他：日本原子力学会「昭和61年会」要旨集、D57、(1986)
- 2) 飯沢克典 他：日本原子力学会「昭和61年会」要旨集、D58、(1986)
- 3) 小林孝良 他：日本原子力学会「昭和62秋の大会」要旨集、(C21)、(1987)
- 4) 川島徳康 他：日本原子力学会「昭和61年会」要旨集、D61、(1986)
- 5) 金川英昭 他：日本原子力学会「昭和62秋の大会」要旨集、(C26)、(1987)