

原子力発電所の廃棄物処理処分について

土木学会原子力土木委員会廃棄物部会

1. ま え が き

わが国における原子力発電の開発は、敦賀、美浜、福島各発電所の相次ぐ運転開始により、いよいよ実用段階を迎えるに至り、さらに引き続き数多くの建設が進められ、昭和 55 年には、出力 27 000 MW に達するものと見込まれており、その進展は著しいものがある。

このような原子力発電の増大は、改めて発電施設からの廃棄物処理処分についての関心を高めている。しかしながら、これらについては、現在かならずしもすべてが解決済みではなく、最終処分に関連した幾多の政策的・技術的な問題点が残されている。

本学会でも原子力土木委員会に廃棄物部会を設け、土木分野における、これらの問題点の解明について委員会活動が進められている。

本稿は廃棄物部会としてみた原子力発電施設からの廃棄物の処理処分について現況を紹介し、広く土木技術者の間に関心が高まれば幸いである。

2. 放射性廃棄物処理処分の基本思想

原子力発電施設からは、気体、液体および固体状の放射性廃棄物が生ずる。このうち、極低レベルのものは、自然放射能レベル程度にして環境に処分され、処理の対象になるのは、このレベル以上のものである。

放射性廃棄物の処理と処分は混同されがちなほど形態上密接な関係にある。処理とは、種々の操作により危険の少ない、取り扱いやすい状態とすることであり、処分とは、処理されたものを海洋投棄などにより始末することである。

処理には分離・濃縮や固化など、処分には廃棄物の形態により異なるが、固体状のものは保管廃棄、地中廃棄および海洋投棄など種々の方法がとられている。

各国で現在採用中の処分方法を大別すると、次のよう

である。

① 主として地中処分：アメリカ合衆国（以下アメリカ）、西ドイツ、ソビエト、インド、スペイン、チェコ。

② 地中処分と海洋処分の併用：イギリス、フランス。

③ 主として海洋処分：ベルギー。

④ 最終処分は未決定で、現在は保管廃棄（貯蔵）：カナダ、イタリア、スイス、日本。

わが国の法規は、処分方法として保管廃棄と海洋処分を認めているが、現在は保管廃棄する方向に行政指導されている。しかし、原子力発電の急激な伸び率からみて保管廃棄のみでは間もなく対処しきれなくなるので、廃棄物の処理処分体系を確立しなければならなくなっている。

昭和 44 年より処分体系の確立と処分に伴う安全性向上への官民あげての真摯な努力は、海洋投棄の実現性と地中処分への可能性に対し、光明を与える方向に結実しつつある。

放射性廃棄物処理・処分の基本的考え方としては、

① 人体に及ぼす影響が許容レベル以下であること。

② 国際放射線防護委員会（ICRP）の勧告を十分に尊重すること。

③ 安全性の確保とともに経済性にも十分配慮すること。

④ 処分の前後に適切な調査と監視を行なうこと。

⑤ 海洋処分については、国際的見地からの配慮を払うこと。

⑥ 海洋処分については、わが国における海洋利用の特殊性を十分に考慮すること。

などであり、完全な廃棄物管理が行なわれるために必要であれば、なんらかの規制措置がとられ、かつ行政的な管理を行なうべきである。海洋投棄を含め、処分地のモニターやサーベイは処分方法と環境の状況によく適合した計画をたて、調査の対象・頻度および地点についても十分考慮する必要がある。

3. 発生源とその特性

(1) 発生源と廃棄物の特性

わが国で現在商業用として採用され、軽水炉型原子力発電所で通常発生する気体、液体、固体廃棄物としては表一1~3に示すものがある。

気体廃棄物は、1次冷却材の放射化あるいは放射線分解により生ずる¹⁶N, ¹⁹O, ³H, ⁴¹Arなどの核種と、破損燃料から1次冷却系に漏洩してくる¹³²I, ¹³³Kr, ⁸⁵Xeの核種を含む核分裂生成物がある。前者は半減期が短いか、あるいは生成量が少なく、実際にはほとんど問題にならないが、後者は半減期およびその量的な面から重視されているが、これも最近の技術では十分低減しうるものである。

液体廃棄物は、機器ドレン、床ドレン、再生廃液および雑廃液に大別される。通常含まれる核種は溶存不純物と腐食生成物の放射化されたものであり、主要なものは⁵⁴Mn, ⁵⁶Mn, ⁵⁸Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ^{110m}Agである。また、燃料被覆管に欠陥を生じたときは核分裂生成物が混入する。なお、雑廃液には実験室ドレン、洗濯シャワードレン、除染廃液が含まれる。

固体廃棄物の大部分は極低レベルと低レベルのものであり、中レベルのものは、わずかに浄化系の廃樹脂であ

り、高レベルのものは使用済み制御棒のたぐいのみである。

低レベルのものはセルロース粉末からなるフィルタースラッジとイオン交換塔の廃樹脂があり、いずれも固形化される。雑固体廃棄物は大部分が極低レベルであり、紙、ボロ布、ゴム、木片などの可燃物と金属小片、ガラス片等の不燃物とがある。

(2) 廃棄物の発生量

処理されて濃縮物となった廃棄物を、固形化する直前の量としてとらえた数量を表一5の右欄に示す。なお、BWRのうち()内の数字は復水脱塩系に粉末樹脂を使った場合である。表一5に掲げた廃棄物はセメント等の固化材料により固形化され、最終処分される。

表一4は電気出力100MWあたりの固化体の発生量を200lドラム缶として求めたものである。なお、雑固体については圧縮減容のうえドラム缶詰めするものとし、BWR, PWRとも159本/年・基である。発生量は容器表面線量率の制限に左右されるので、線量率との関係や固化方法を今後とも検討する必要がある。

将来の原子力発電設備の伸びに対する、放射性廃棄物の発生量についての試算例を表一5に示す。これによると、昭和60年の原子力発電所設備容量60000MWeに対し、最大年間約300000本のドラム缶詰め固化体が発生することになる。

表一1 気体廃棄物の発生源と性状

発 生 源	成 分	放 射 能	風 量
原子炉水からの生成ガス PWR: 化学体積制御系の気相 BWR: 復水器, タービン回りの抽気	燃料破損によるFP 水の放射線分解ガス 水の放射化ガス 溶存ガスの放射化ガス	短半減期核種が多量 ³ H, ⁴¹ Ar, ¹³³ Xe, ⁸⁵ Krなどの長半減期のものあり 放射能: 大	少 量
汚染区域の換気 格納容器, 建物	ほとんど空気	放射能は少なくない	多 量

表一2 液体廃棄物の発生源と性状

発 生 源	不 純 物	比 放 射 能	備 考
機 器 ド レ ン 廃 液 床 ド レ ン 廃 液 樹 脂 再 生 廃 液 雑 廃 液	少 量 固 形 分 が 多 い 芒 硝, ホ ウ 酸 溶 液 多	比 較 的 高 い 比 較 的 低 い 比 較 的 高 い 少	い ず れ も 中 低 レ ベ ル

表一3 固体廃棄物の発生源と性状

区 分	性 状	性 状			発生量 (m ³ /年・100MW)	
		物 質	前 処 理	比 放 射 能	BWR	PWR
液 状	浄化系脱塩器 その他脱塩器 フィルター 蒸 発 缶	廃 樹 脂	脱 水	中 レ ベ ル	0.2	0.6
		廃 樹 脂	脱 水	低 レ ベ ル	3.6	0.6
		ス ラ ッ ジ	脱 水	低 レ ベ ル	1.3	—
		濃 縮 液	蒸 発	低 レ ベ ル	90 (8.5)	2.1
雑 固 体	可 燃 物 不 燃 物	紙, 布 金 属 等	圧 縮 か 焼 却 圧 縮	極 低 レ ベ ル 極 低 レ ベ ル	100 m ³ /年・基	同 左

表-4 固化体の単位発生量 (200 l ドラム缶)

(本/100 MWe・年)

区分 炉型	固化方法 線量率 (rem/h)	アスファルト固化			セメント固化		
		0.2	1.0* 残り 0.2	1.0	0.2	1.0* 残り 0.2	1.0
PWR		604	39	32	386	124	70
BWR	復水系に粉末樹脂	566	180	106	512	279	186
	復水系に粒状樹脂	692	306	202	963	730	730

注：* 印は、比較放射能が高い浄化系の腐樹脂の固化体のみについて、容器表面の許容線量率を 1rem/h とし、他の廃棄物については 200mrem/h で、かつ 1m の距離で 10mrem/h とした場合の単位発生量である。

4. 放射性廃棄物処理設備の実例

気体、液体および固体廃棄物の発生源は前項で述べたが、これらの放射性廃棄物に対して処理設備を設ける。ここでは、BWR 型の敦賀発電所（日本原子力発電（株）・出力 357 MWe）および PWR 型の美浜発電所（関西電力（株）・1号機出力 340 MWe）の実例について処理系統とその主要設備を図-1~3、表-6~11 および写真-1~3 により紹介する。

5. 管理体制

原子力発電所で取り扱う放射性廃棄物は、気体、液体および固体状のものがあることはすでに述べたとおりである。これらを安全に管理するために、原子力発電所においては環境に応じた管理体制が設けられている。ここでは、敦賀発電所の具体的な管理体制の実例を紹介する。

(1) 敦賀発電所の放射性廃棄物管理

当発電所の放射性廃棄物の管理は、発電所放射線管理

表-5 将来における固化体の発生量予想* (200 l ドラム缶)

年度 (昭和年)	炉型 固化方法 発電設備 (MWe)	PWR		BWR			
		アスファ ルト固化	セメント 固 化	復水系に粉末樹脂		復水系に粒状樹脂	
				アスファ ルト	セメント	アスファ ルト	セメント
47	2 000	400	1 200	1 800	2 800	3 100	7 300
50	8 600	1 400	4 300	9 000	14 000	15 300	36 500
55	27 000	3 900	12 400	30 600	47 500	52 000	124 000
60	60 000	7 800	24 800	72 000	111 600	122 400	292 000

注：① * 印は容器表面の許容線量率を浄化系腐樹脂について、1rem/h、他の廃棄物は 200mrem/h とし、1m の距離で 10mrem/h とした場合の発生量である。
② 容器表面の線量率は表-4 の条件に同じ、本/年。

要項に定めるところにより、放射線にかかわる管理は放射線管理担当課長が行ない、廃棄物の処理ならびに処分（固体は除く）は運転担当課長が行なっている。

なお、放射線管理担当課長は、各担当課長が行なう作

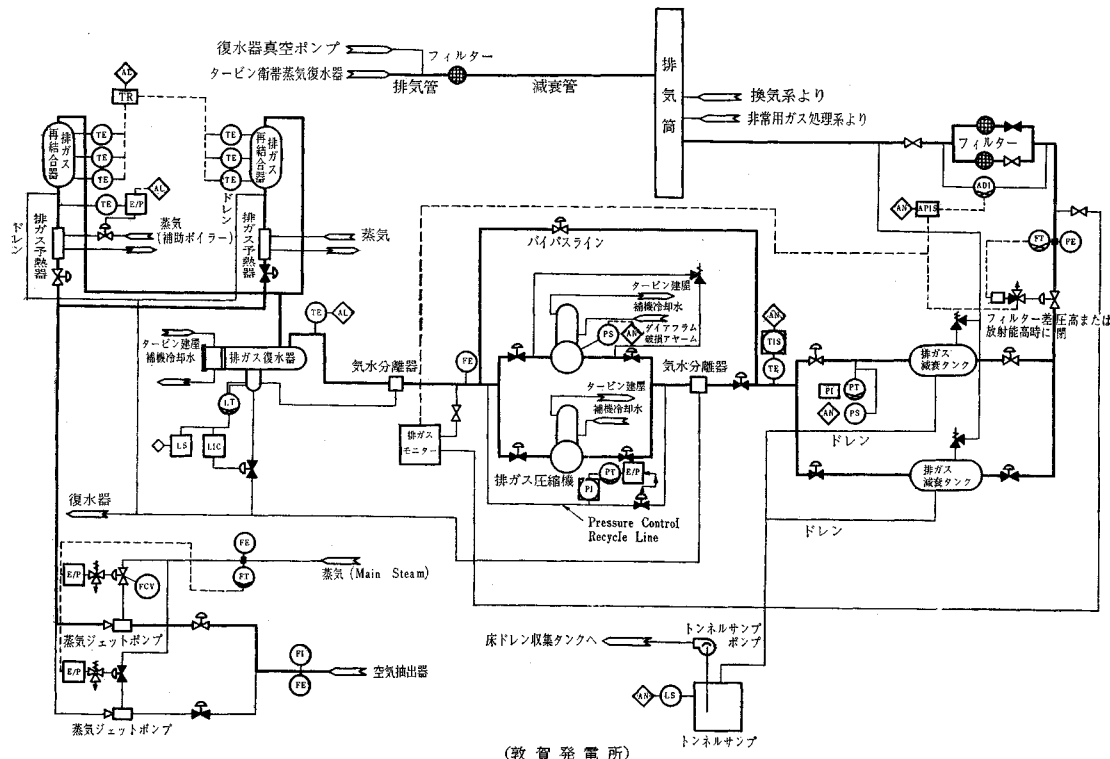


図-1 気体廃棄物処理設備系統図

表-6 気体廃棄物処理設備一覧表 (敦賀発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
蒸気ジェットポンプ	蒸気噴射式	104 kg/h	2	放出圧力 1.4 kg/cm ² abs. 最大放出圧力 17.5 kg/cm ² ・g 24 時間貯蔵能力, 運転圧力 (最大) 15.8 kg/cm ² ・g 0.3 μ 粒子除去率 99.97% 全長 約 350 m
排ガス予熱器	横置直管式	2.75×10 ⁴ kcal/h	2	
排ガス再結合器	触媒型	2.375 m ³ /h	2	
排ガス復水器	横置U字管式	1.31×10 ⁶ kcal/h	1	
排ガス圧縮器	多段ダイヤフラム式	0~25 m ³ /h	2	
排ガス減衰タンク	横円筒型	15 m ³	2	
排ガスフィルター	アブソリュート型		3	
減衰管			1	

表-7 液体廃棄物処理設備一覧表 (敦賀発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
機器ドレン収集タンク	立型	86 m ³	1	エポキシ樹脂コーティング施工
廃液サージタンク	立型	152 m ³	1	
機器ドレンサンプルタンク	立型	86 m ³	2	
床ドレン収集タンク	立型	38 m ³	1	エポキシ樹脂コーティング施工
床ドレンサンプルタンク	立型	38 m ³	2	
ランドリードレンタンク	立型	20 m ³	2	
		3.8 m ³	2	
廃液中和タンク	立型	48 m ³	1	溶存固形分を 25% まで濃縮 DF=5 DF=100, 樹脂量 2.7 m ³ (C:A=2:1)
廃液濃縮器	自然循環型外部加熱式	2.4 m ³ /h	2	
廃液フィルター	圧力型プレート式	45.4 m ³ /h	3	
廃液脱塩器	混床型イオン交換式	45.4 m ³ /h	1	

表-8 固体廃棄物処理設備一覧表 (敦賀発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
フィルタースラッジサージタンク	横型	46 m ³	1	エポキシ樹脂コーティング施工
フィルタースラッジ貯蔵タンク	立型	137 m ³	2	
濃縮廃液貯蔵タンク	立型	46 m ³	3	タンク1基あたりの貯蔵能力は生ずるスラッジの2.5年分。 タンク1基あたりの貯蔵能力は生ずる廃液の約1ヵ月分。
復水脱水器廃樹脂貯蔵タンク	立型	9 m ³	1	
廃樹脂貯蔵タンク	立型	46 m ³	2	貯蔵能力 2.5 年/基
遠心脱水器	連続遠心分離型	2.3 m ³ /h	2	ホッパー, ミキサ, ドラムドーリー, コンベア, テレビ, カメラなどが含まれる。
減容器	水圧式	3.5 kg/cm ²	1	
セメント固化設備			一式	
フォークリフトトラック	しゃへい付き		1	貯蔵能力, 約1年に生ずるドラム缶を貯蔵。
ドラム貯蔵庫			1	

表-9 気体廃棄物処理設備一覧表 (美浜発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
ガス減衰タンク	円筒型	8.49 m ³ /基	4	45 日間貯蔵能力 (平常運転時), 炭素鋼製, 10.54 kg/cm ² ・g 設計放出圧力 10.54 kg/cm ² ・g
圧縮機	遠心型	1.13 m ³ /h	2	

表-10 液体廃棄物処理設備一覧表 (美浜発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
1 次冷却機廃水タンク	円筒型	1.33 m ³	1	ステンレス鋼製
化学廃液タンク	円筒型	1.42 m ³	1	ステンレス鋼製
廃液サンプルタンク	立方型	3.41 m ³	1	ステンレス鋼製
廃液貯留タンク	円筒型	99 m ³	3	ステンレス鋼製
モニタータンク	円筒型	15.1 m ³ /基	2	ステンレス鋼製
樹脂再生廃液貯留タンク	円筒型	549 m ³	1	ステンレス鋼製
ほう素濃縮液貯留タンク	円筒型	2.7 m ³	1	ステンレス鋼製
脱ガス器		1.7 m ³ /h	1	ステンレス鋼製
蒸発濃縮器	真空型	1.7 m ³ /h	1	ステンレス鋼製
イオン交換器		1.7 m ³ /h	4	交換樹脂 450 l/基

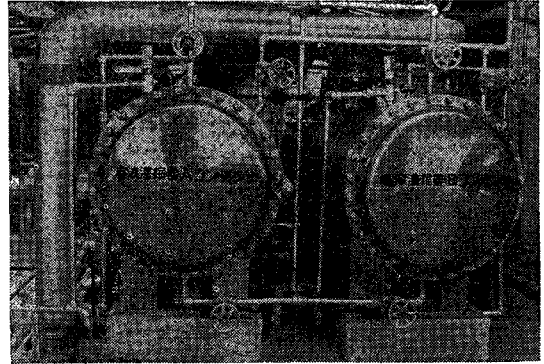
表-11 固体廃棄物処理設備一覧表 (美浜発電所)

名 称	種 類	容 量	個 数	備 考
廃樹脂貯蔵タンク	円筒型	8.5 m ³	1	ステンレス鋼製
ドラム詰装置		6ドラム同時可能	1	
ドラム缶貯蔵庫		1200 m ²	1	1, 2号機共通



(敦賀発電所)

写真-1 液体廃棄物処理設備



(敦賀発電所)

写真-2 液体廃棄物処理設備

業が安全かつ適切に行なわれていることを把握するとともに、必要に応じて援助指導をしている。

管理項目および作業の担当は次のとおりである。

a) 除染管理

1) 放設の除染

作業担当：保健担当課長

除染程度：機器または場所であらかじめ定められている基準値以下

2) 物品の除染

作業担当：搬出担当課長

除染程度：搬出場所の基準値以下

3) 人の除染

作業担当：退城時、検査は個々に行ない、汚染が発見された場合は、放射線管理担当課長が調査し、除染措置を講じる。除染困難な者、または傷口汚染のある者があった場合は、労働安全担当課長と協議して措置を講じる。

b) 放射性廃棄物の処理および処分

1) 気体廃棄物の廃棄

作業担当：運転担当課長

基準値：1日平均放出率 50 mCi/sec 以下と定めているが、減衰処理により1日平均放出率を5 mCi/sec 以下にして、大気に希釈放出する。圧力容器のガスを排出する場合は、放射線管理担当課長が測定し、¹³¹I の放能放出率が 2 μCi/sec を越えないことを確認したのち行なう。

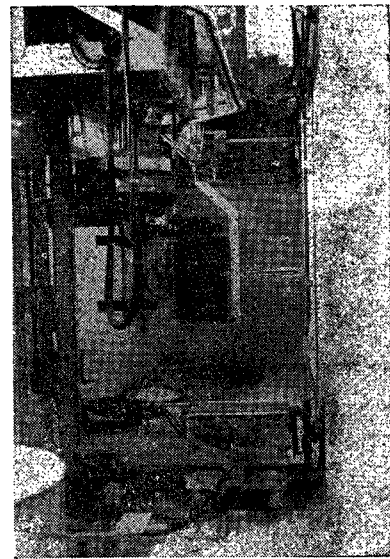
2) 液体廃棄物の廃棄

作業担当：運転担当課長。ただし、放射線管理担当課長の確認を得る。

基準値：会社が定めた値または国が定めた値の1/10 以下であること。

3) 固体廃棄物の廃棄

廃棄方法：廃棄物置場に保管（海洋投棄を考慮している）。



(敦賀発電所)

写真-3 固体廃棄物処理設備

保管作業担当：保管を行なう担当課長

保管担当：運転担当課長、ただし、放射線管理は、放射線管理担当課長が行なう。

6. 処理方式

軽水炉発電所における処理方式は、すでにほぼ定式化しつつあるが、その現状の方式について述べる。

(1) 固体

すでに 2. で述べたように、量的に大部分を占めるものは低および極低レベルの固体であり、現状ではすべて濃縮なり脱水したあとでセメントとませドラム缶に固化している。なお、セメント固化すると、もとの容積に比べ約 2 倍に増大するため、減容が可能でかつ水に漬けた場合の放射能浸出率が小さいアスファルト固化も検討さ

れている。

極低レベルのものうち雑固体はすべて圧縮減容してドラム缶詰めするのが現在の姿である。しかし、減容比は1/3から1/5であり、減容比の点に難点がある。将来は減容比が1/30から1/50の焼却法も併用される可能性がある。

中レベルのものは、浄化系脱塩器の廃樹脂(100~400 $\mu\text{Ci}/\text{m}^3$)は、やはりセメント固化されるが、現行輸送法規に従うと、輸送用しゃへいキャスクを付けないかぎりドラム缶に入れられる廃樹脂は1t程度に制限される恐れがある。

高レベルのものは使用済みの制御棒やポイズンカーテンに限られるため、サイト内の防水した地下のコンクリートピットに貯蔵されている。

(2) 液体

発電所の廃液処理方式も当然のことながら、環境を汚染させたり、作業員や公衆に被曝を与えるものであってはならない。さらに、処理装置の条件として、除染係数および処理能力が大で耐久性があり、施設費・運転費ともに安いことのほかに、運転の安全性と副生廃棄物対策の2つが、とくに強く要求される。

発電所で発生する廃液は中・低および極低レベルであり、高レベルのものはない。

基本的な方式は中・低レベルのものは濃縮減容し、極低レベルのものは希釈拡散の方法がとられている。実際の処理施設では、このほかに、立地条件、廃棄物の性状および発生量、施設の規模、事故対策などが加味され、安全性とともに経済性も十分に考慮する必要がある。

中低レベル廃液の濃縮減容法として、イオン交換法、蒸発法、化学沈殿法、濾過法、生物処理法などがあるが発電所で採用されているのは前三者である。また化学沈殿はガス炉で採用されているのみで、軽水炉発電所はイオン交換と蒸発の二方式のみで処理を行なっている。

軽水炉の廃液処理の中心をなすのはイオン交換法であり、1次冷却系の水、使用済み燃料冷却池水の浄化および廃液の処理に使われている。このイオン交換樹脂を再生使用する際に出る再生廃液や他の化学廃液の処理には蒸発法が用いられており、蒸発液は放出し、濃縮液は固形化している。このように、除染性能はきわめてよくイオン濃度の影響を受けないが、処理費が高い蒸発法と除染性能は比較的に高いが、イオン濃度が大きいと不経済になるイオン交換法をうまく組み合わせている。

なお、処理費が安く大量処理に適している化学沈殿法は除染性能が劣り、汚泥処理が困難なこともあり、特殊な場合を除き、発電所では用いられない。

(3) 固形化

中低レベル廃棄物の固形化方法として実用化の域に達しているのは、セメント固化とアスファルト固化である。いずれにも一長一短があり、優劣をつけがたい。軽水炉はアメリカの設計であるため、セメント固化を全面的に採用している。処理部門で技術開発の遅れているのは固形化技術であり、今後の開発に待つべきものが多い。固形化の対象となるものとしては、濃縮廃液、廃樹脂およびフィルタースラッジである。

a) セメント固化

セメントと廃棄物を水とともに容器内に固化するもので、発電所で採用されているものはインドラムミキシング法と注入法である。

セメント固化の問題点は、比重の小さい廃棄物とセメントの均一混合、セメントとの化学反応の抑制、固化体の力学的性状の解明および放射性核種の水中への浸出性であり、目下研究が進められている。

b) アスファルト固化

加熱溶解したアスファルト中に廃棄物を投入し、水分を蒸発除去したのち、放冷して固化体にする方法が一般に用いられる。国外およびわが国の計算例のいずれも経済性はセメント固化と同程度か、ややよいといわれている。

放射性核種の水中への浸出率がきわめて低く、セメントの場合に比し増容しないという利点があるが、再処理廃棄物を中心に開発されており、原子力発電所廃棄物について実証規模の固形化は、まだ行なわれていない。

最終処分形態により固化体の基準性状は若干変わるが共通した条件は、① 固化体からの放射性核種の浸出が小さいこと、② 強度などの物理的性状が長期間にわたって安定していること、③ 減容比が大きいこと、などである。

7. 処分方式

すでに2.で述べたように、原子力発電所廃棄物の処分体系は未確立の点もあり、目下これらの解決のための努力が払われているが、以下に現時点の状況について述べる。

(1) 大気放出

気体廃棄物中の放射性核種には微粒子状のものとガス状のものがある。粒子状のものは高性能フィルターにより0.3 μ のものまで除去できるため、すべての発電所で濾過方式が採用されている。ガス状のものに対しては活性炭への吸着やアルカリ吸収などの方法があるが、発電

所の場合、短半減期のものは減衰処理による例が多く、また燃料破損による核分裂生成物については、パイパスとして活性炭吸着装置を設けるものが多い。

これらの処理を受けた気体は、全量を煙突から大気に放出し拡散処分される。放出された気体の比放射能は、発電所敷地境界地で職業人の許容濃度の1/10に規制し、その拡散現象の解析には Sutton 式あるいは Pasquill 式が普通用いられている。なお、解析は通常時の放出のみならず、事故時の放出についても行なわれ、安全性が確かめられている。

(2) 沿岸放出

わが国の原子力発電所は、目下のところすべて沿岸立地となっており、処理済みの廃液および微汚染廃液は許容放出濃度をはるかに下回るまで希釈して沿岸海域に放出されている。

海洋は海水の保有量が膨大であり、発電所からの放出量の影響は無視しうるが、放出口周辺の海域についての影響を考慮し、十分安全であるように管理する必要がある。放射能被曝としては、放出廃液中の放射性物質が海産食品を介して人に摂取されることによって受ける内部被曝と、その海域において人が直接受ける外部被曝を、もっとも被曝線量が多くなると考えられる集団について検討しなければならない。

当面は発電所からの放出については、許容放出濃度のみの規制で十分であるが、将来は放射線審議会の海域放出特別部会報告書の沿岸放出に起因して、人体が受ける被曝線量は、ICRP の勧告する公衆の構成員に対する線量限度の1/10をこえないこととする方針が、発電所にも準用されることが予想される。

放射線廃液とは別に、発電所から放出される復水器冷却後の温排水がある。アメリカや西ヨーロッパの内陸立地型原子力発電所のように、湖沼や河川を取・放水源としている場合は、水域の温度上昇による環境への影響が問題になる。しかし、わが国のように沿岸立地の場合はその影響も少なく、むしろ温水の水産資源等への積極的利用により水産業の適正な保護と環境の保全をはかる余地のほうが多い。いずれにせよ長期的な視野にたって十分な監視体制のもとに、原子力施設からの廃棄物の沿岸放出を実施する必要がある。

(3) 保管廃棄

保管廃棄は、容器あるいは構築物を使用して放射性廃棄物を安全に管理しながら、一定の場所または地域に閉じ込める方式であり、わが国の原子力発電所は目下のところ所内に保管廃棄しているが、近いうちに他の処分方式にも依存せざるを得なくなる見とおしである。

使用済み制御棒のような高レベル固体廃棄物は、今後とも所内に保管廃棄し減衰させる。発電所からの中レベル廃棄物は、廃棄物容器の輸送線量率制限が現行のままである限り、経済的要因から所内に保管廃棄される可能性がある。セメント固化した廃棄物は、現在のところ敷地内の専用倉庫に保管廃棄されているが、将来他の処分方法が可能になるまでの一時保管と考えられる。

海洋投棄や地中処分が可能にならない限り、いずれ発電所外に保管廃棄施設を独立して設けなければならない。

なお、現行法規の拡大解釈により地中処分の形態に近い保管廃棄がどこまで可能かの検討も行なわれている。

保管廃棄に必要な理想的な立地条件として、次のような事項があげられる。

- ① 放射性廃棄物の発生場所、処理場所に近いこと。
- ② 1年中いつでも容易に行けること。
- ③ 人家から遠いこと。
- ④ 地下水取水点からなるべく離れていること。
- ⑤ 土の透水係数が一様で、交換容量が大きいこと。

なお、発電所では倉庫のほかには地下ピットへの保管廃棄も行なわれている。

(4) 地中処分

放射性廃棄物を地中処分することは、わが国では現在のところ、法規で禁止されているが、欧米諸国では各種の地中処分が実施されており、また大規模な調査研究も進められている。地中処分の基本概念は、土の持つ大きな交換容量を利用する点につきる。いまかりに海岸から1 km 離れた点に地中処分すると、地下水は海に向かって流れており、地下水帯水層の厚さが10 m で幅100 m にわたって地下水が放射能で汚染される可能性があるとする、砂なら交換容量が0.04 meq/g 程度であるから、 $1000\text{ m} \times 100\text{ m} \times 10\text{ m} \times 1.5\text{ t/m}^3 \times 10^6\text{ g/t} \times 0.04\text{ meq/g} \times 0.001\text{ meq/g} = 6 \times 10^7\text{ eq}$ に相当する交換容量が利用できることとなり、これはイオン交換樹脂3000 t に相当する。このため、地中処分した放射性廃棄物固化体から放射性物質が漏れても、土に吸着して動かず、やがて減衰して無害化する。しかし、地中処分については、次のようなことを考慮すべきである。

- ① 敷地内に地中処分することのできる廃棄物固化体の量には、発電所規模と敷地面積によって限度がある。
- ② 利用されている地下水の汚染が考えられる場合には、これに対する適切な処置が、あらかじめとられなければならない。
- ③ 現行法のもとでは、地中処分が認められていないので、この方法を採用するには今後法規の整備が必要である。

④ 固体廃棄物を地中処分するための費用は、深海投棄よりも一般に高くつく。

つぎに、地下埋設のときに考慮すべき立地条件について述べる。この場合、人間および環境への影響を十分に考え、処分地域は次の諸条件を備えていることが望ましい。

④ 地震があまりない土地であること。

⑤ 降雨量が少ないこと。降雨量が少ないと地下水水位面が低くなり、固体廃棄物から放射能が漏れても地下水に達するまでに長い時間を要し、したがって、人間および環境への影響が少なくなる。なお、人工的に埋設固化体と浸透水との接触を減少させるために、埋設固化体上部に不透水膜を張ることも行なわれる。

⑥ 地下水取水点からなるべく離れていること。

⑦ 透水性の低い粘土かシルトの土地がよい。地下水の流速は遅く、またこのような土はイオン交換容量が大きいので、核種の地下移動速度も遅くなる。

(5) 海洋投棄

廃棄物の海洋処分は国際的に認められており、国際原子力機関 (IAEA) のプリニールソン報告により中低レベルの廃棄物なら必要な条件を満たしてさえいれば、海中に安全に処分できるとされている。ヨーロッパ原子力機関 (ENEA) の加盟国は、協同で昭和 42 年には 11 000 t、44 年には 15 000 t の廃棄物を大西洋に投棄している。

わが国でも海洋投棄は法的には可能だが、明確な技術基準が定められていないこともあって、現在では海洋投棄は行なわないよう行政指導が行なわれている。

今後、海洋投棄を実施するためには、安全評価が必要である。そのためには

① 深海における海水の挙動、放射性核種の拡散機構、化学的挙動および生物への影響などの海洋学的調査研究。

② 投棄用容器および固化技術に関する工学的研究。

③ 投棄海域の選定

などの多くの解決が必要であり、現在官民一体となって海洋投棄の実現をめざし、調査検討が行なわれている。

法規でも、投棄用容器の強度、耐水性、耐食性にふれ

ているように、海洋投棄では、容器に課せられた条件はきびしい。原子力発電所の廃棄物を海洋投棄した場合の安全性に関する原子力安全研究協会の試算では、人体に必要なたん白質を全部海産物でまかなうとしても、放射性核種の摂取による被曝線量は ICRP の線量限度より数桁低く、十分安全であると報告されている。なお、この試算の前提条件は次のとおりである。

昭和 135 年 (2060 年) を想定し、設備容量は 12 億 kWe、廃棄物の発生量は 32 Ci/100 MWe 年とし水深 4 000 m の海域に投棄し、着底と同時に容器が破損して水中に拡散するものとする。

このように安全性に問題はないと考えられるので、近い将来に原子力発電所から発生する放射性廃棄物が海洋投棄される見とおしはある。さらに、安全評価の精度を向上させるための努力は必要である。

(6) 輸 送

原子力発電所の廃棄物を処分するためには、サイト内保管の場合を除き、必ず輸送問題が発生する。輸送手段としては陸上の道路輸送と鉄道輸送および海上輸送があるが、廃棄物は通常の貨物以上に積み換え、積荷おろし等の煩雑さやコスト上昇をさけるため、最少限の輸送手段で処分地まで輸送することが望ましい。わが国の原子力発電所の多くは、3 000 t 級の専用岸壁を備えているから、海洋投棄のための海上輸送には都合がよい。陸上処分でも処分地が海岸に近い場合は、海上輸送が可能である。

陸上処分の場合は、処分地まで一貫輸送が可能である道路輸送が優利に考えられるが、道路状況などを勘案すれば必ずしも有利とは限らない。

現行輸送法規の線量率制限では、たとえば浄化系脱塩器の腐蝕樹脂をドラム缶に 1 l を封入した場合には、しゃへいが必要となり、トラックではドラム缶を 1 台で 2~3 個しか運べない。また、しゃへい容器を使いすてにすることは不経済であり、回収をはかると投棄作業中の被曝の恐れも生ずる。したがって、輸送、荷役および投棄作業の合理化と荷役作業機械の改良は、輸送の経済性と安全性にきわめて重要な要件となる。

(1971.3.15・受付)

土木技術フィルムリスト 1970年版

B6・126 ページ 1 000 円 (〒 130 円) ●代金に送料をそえて申込んで下さい。