

原環センター トピックス

RADIOACTIVE WASTE MANAGEMENT CENTER TOPICS

1992.3.NO.22

目次

発電用原子炉運転廃棄物の発生と処理の変遷.....	①
IAEA放射性廃棄物安全基準 (RADWASS) 策定計画について	⑧

発電用原子炉運転廃棄物の発生と処理の変遷

1. はじめに

現在、我が国の電力供給のおよそ4分の1を担う原子力発電は、過去二十数年をかけて定着化をはかり、電源エネルギーの多様化ならびに電力の安定供給に大きく貢献している。

ここでは、その大部分を占める軽水炉(BWR,PWR)の放射性廃棄物処理技術を中心に、その変遷についてまとめてみることにした。

米国からの導入初期の発電プラントは、必ずしも良好な稼働率が得られず、我が国の国情を配慮しつつ幾多の改善策が取られて来た。この間、高度な技術力を背景に、3次に亘る改良標準化が進められ、世界的にも第一級の軽水炉発電プラントの完成を見ている。これからの成果は、先行プラントにもバックフィットされ、安全性の向上並びに高稼働率の確保に大きく寄与している。放射性廃棄物処理設備に関する改良標準化は、米国および我が国における次の安全規制面の強化(次表)に

対応しながら進められた。

米 国	1975年	10CFR50 Appendix 1 (ALAPの考慮) の発効
	1975年	Regulatory Guide 1.112 (環境放出放射能評価指針) の発行
日 本	1972年	原子力委員会・環境安全専門部会におけるALAPの考え方の導入検討
	1975年	発電用軽水炉施設周辺の線量目標値に関する指針の制定
	1976年	同上線量目標値の評価に関する指針の制定

この改良標準化の成果は、A-BWR、A-PWR発電プラントの設計に集大成されており、初期の発電用軽水炉に比べて次の点で大巾な改善を達成している。

- ・環境放出放射能の低減
- ・放射性廃棄物発生量の低減
- ・発生廃棄物の減容

- ・処理プロセスの信頼性向上と省力化
- ・従事者の被ばく低減

以下に、これらの改善項目に対する適用技術の開発経過と変遷を振り返るとともに、今後の技術動向についても考察する事とした。

2. 運転廃棄物の発生と処理の適用技術

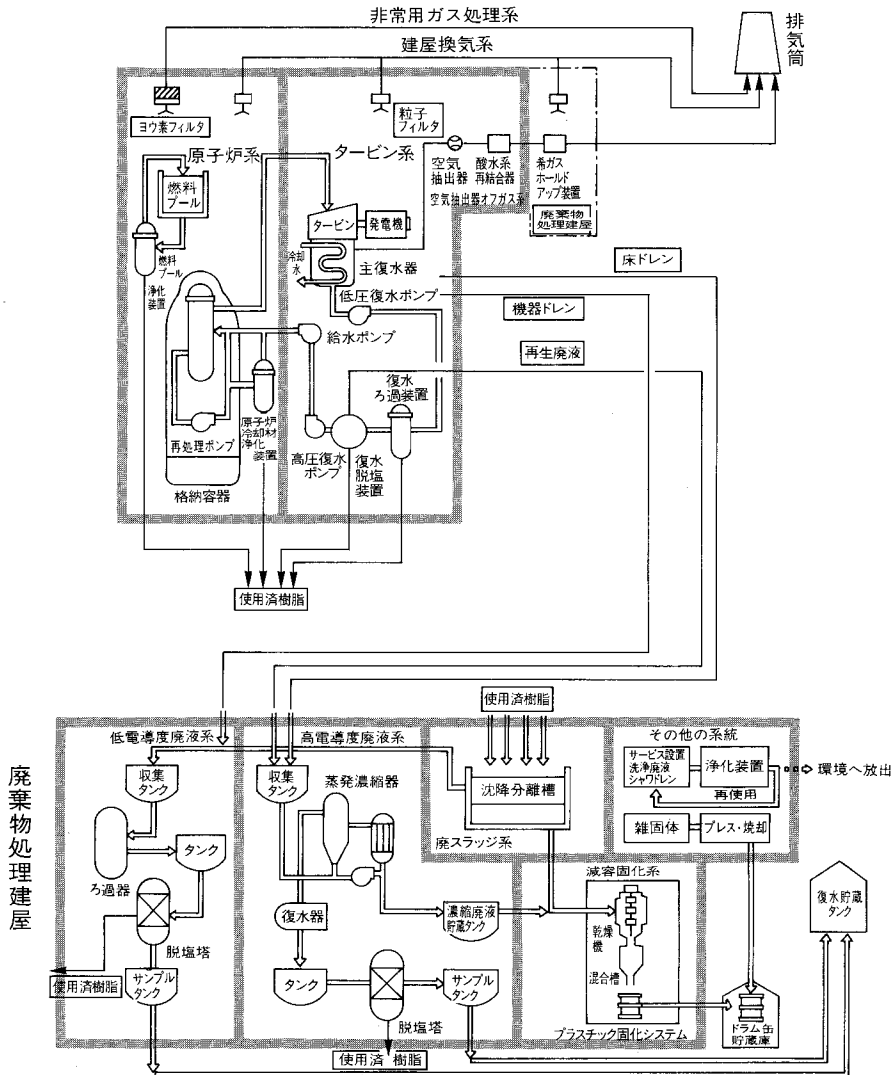
軽水炉発電所の運転に伴い発生する放射性廃棄物は、通常、低レベル放射性廃棄物に分類され、その発生時点での基本性状は、気体・液体・固体の三相であるが、気体および液体の処理に伴い派

生する最終的な廃棄物は、被処理物から分離した放射性物質を含む固体または固体に準じた物として取り扱われる。従って最終的な処分の対象となる廃棄物は、原則として固体廃棄物に集約されるものと考えられる。

(1) 主な発性廃棄物

通常運転中に発生する廃棄物は次の通りである。

気体廃棄物；プロセス廃ガス [タービンオフガス (BWRプラントのみ)、一次系機器ベントガス等]、汚染管理区域からの排気、放射性廃棄物焼却炉オフガスなどがある。



第1図 代表的なBWR発電プラントの例

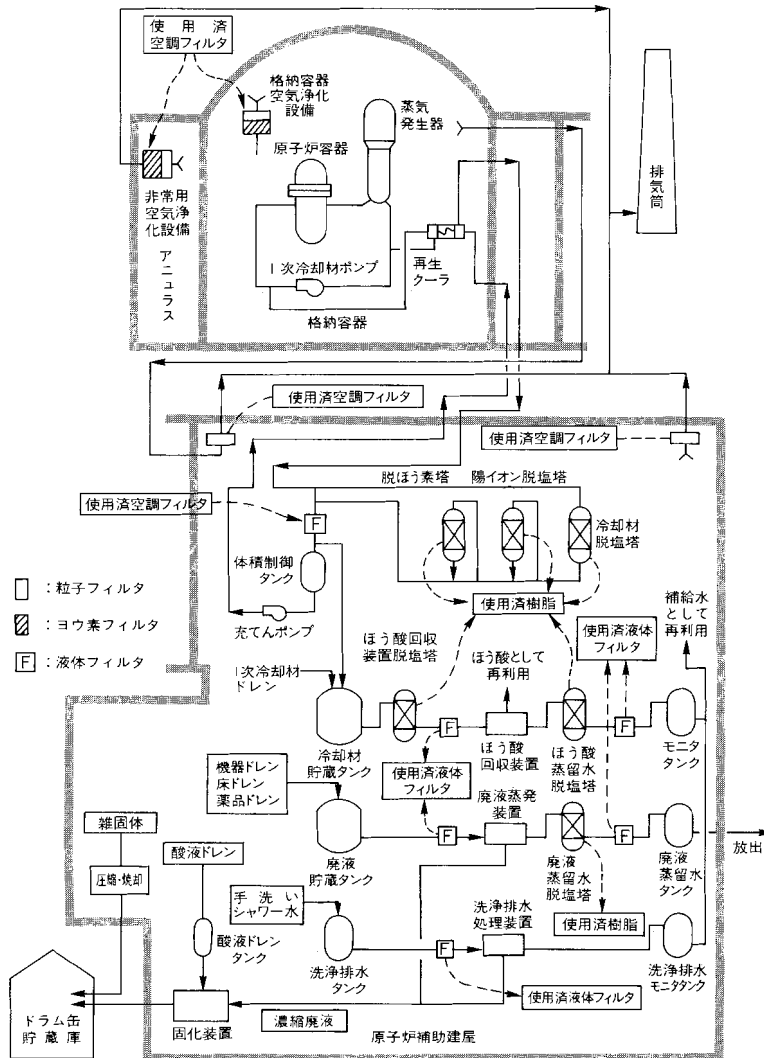
液体廃棄物；一次冷却系の各種ドレン類（低電導度系，高電導度系），一次冷却水浄化系廃液，使用済燃料プール冷却浄化系廃液，復水濾過脱塩系廃液[脱塩器再生廃液を含む(BWRプラントのみ)]ランドリー廃液，シャワー廃液，ラボラトリー廃液などがある。

固体廃棄物；可燃物では，使用済防護衣類，ウエス，紙タオル，プラスチックシート等，難燃物では，使用済み防護マスクや手袋等ゴム類，塩化ビニール製品等，不燃物では，機器消耗部品等の設備金属類，使用済足場材等資材金属類，オフガスや

排気系の使用済フィルタ類，保温材などがある。

発電所の定期検査時には，廃棄物発生の様相が変わり，プロセスからの廃ガスやドレン類が減少し，機器の分解点検に伴う洗浄廃棄，作業員の出入りに伴うランドリーやシャワー廃液，脱塩器からの廃樹脂，設備金属類，資材金属類，オフガスや排気系の使用済フィルタ，保温材，コンクリート片，養生用プラスチックシートなどが増加する。

これらの廃棄物の発生系統について，第1図および第2図に，それぞれ代表的なBWRおよびPWR発電プラントの例を示す。



第2図 代表的なBWR発電プラントの例

(2)放射性廃棄物処理の基本技術

放射性廃棄物処理の基本技術は、重合反応を伴うプラスチック固化技術等特殊なものを除き、原理的に複雑な反応を要しない比較的単純な化学プロセスから構成されている。

気体廃棄物処理系；オフガスや排気に含まれる**粒子状放射性物質**を除去するための高性能フィルタ（HEPAフィルタ）および**放射性ガスを吸着分離する活性炭ホールドアップ装置**、活性炭フィルタ等である。必要に応じ、銀ゼオライト等の特殊な吸着材が用いられる場合もある。

液体廃棄物処理系；廃液中の微小懸濁質およびイオン状不純物を除去し、浄化水を回収再利用するため、**懸濁質を除く固液分離装置**として、精密濾過器、遠心分離器、蒸発缶（廃液濃縮器）が用いられている。また、**イオン状物質を除去する脱塩**には、粒状イオン交換樹脂を用いた脱塩器および粉状イオン交換樹脂を用い、濾過も兼用した濾過脱塩器が用いられている。

固体廃棄物処理系；当初から固体で発生する前述の**可燃**、**難燃**、**不燃廃棄物**の他、液体廃棄物処理系から派生する精密濾過器や遠心分離器の排出スラッジ、蒸発缶の缶底液（濃縮廃液）、脱塩器や濾過脱塩器から排出される粒状および粉状廃樹脂等の**スラリー廃棄物**（水分を多量に含む固形粒子の混合流動体）がある。**可燃物**は、オフガス処理を備えた焼却炉により焼却され、少量の灰としてドラム缶に密封保管されている。廃樹脂や難燃物の一部は、焼却処理される場合もある。**難燃物**、**不燃物**は、後処理に都合のよいよう分別し、適切な大きさに切断したうえ、ドラム缶に密封保管される。その際、難燃物は、低い圧力で圧縮充填する場合もある。最近になり、不燃物のうち金属廃棄物を1000トン以上の高い圧力で圧縮し、3分の1程度に減容して保管する**高圧縮減容装置**も実用化されている。**スラリー廃棄物**は、タンク貯蔵された後、安定な固化体としてドラム缶に固化処理される。現在、主に定常的に固化処理されているものは、発生量の多い濃縮廃液で、一定期間タンクに貯蔵し、短半減期核種の減衰を待って固化処理が行われている。固化処理は固化装置に適用さ

れる固型化材とその混練方式によって、種々の固化方式に分類され、実用化されている。セメントを用いたセメント均質固化装置（インドラム混練法、アウトドラム混練法、真空注入法がある）、溶融アスファルトを用いたアスファルト均質固化装置（遠心薄膜蒸発缶法、混和機法がある）、プラスチックモノマーの重合反応を用いたプラスチック均質固化装置（インドラム混練法、アウトドラム混練法がある）が実用化されている。これらの方法と異なり、濃縮廃液を脱水、乾燥、粉体化してペレットに成型する**ペレット固化装置**（圧縮成型法、押出成型法がある）も実用化されているが、このペレットは、減容性の高い中間的な固化体として密封保管され、最終的にドラム缶等に充填し、固型化材を注入して固化体とする予定である。スラリー廃棄物のうち、粒状、粉状廃樹脂については、脱水、乾燥して焼却処理することも計画されている。

3. 廃棄物処理システムの変遷

導入初期の軽水炉発電プラントの廃棄物処理システムは、基本的に米国の設計思想に準じて造られていたが、その後の運転経験から、我が国独自の改善策が検討されるようになった。ここで、冒頭に述べた5項目の改善策に対応する適用技術の変遷を振り返ってみる事にする。

(1)環境放出放射能の低減

軽水炉発電プラントの運転に伴うプロセスオフガス、換気系排気および廃液の一部は、モニタリングされた後大気中や海洋に放出されている。言うまでもなくその放出濃度ならびに核種は、原子炉等規制法および関連法規に定める許容値を十分下回るよう配慮されて来たが、1975年の「発電用軽水炉施設周辺の線量目標値に関する指針」の制定を機に、ALAPの設計思想に基づく大巾な改良が実施された。

気体廃棄物処理系では、タービンオフガスのタンク貯溜減衰方式（数時間減衰）から活性炭ホールドアップ方式（数10時間～30日間減衰）への変更（BWRプラント）、一次系ベントガス系の同様な活性炭ホールドアップ装置への変更（PWR新規

プラント)が実施されている。

液体廃棄物処理系では、希釈放出していた一部プロセス廃液の全量を蒸発缶処理による回収リサイクル化、洗濯廃液の蒸発缶処理による回収リサイクル化がはかられ、ゼロリリースに近い運用が可能になった。これらに加えて、次に述べる発生量の低減対策と相俟って、発電所敷地境界での一般公衆被ばく線量当量は、上記指針の線量目標値(全身; 5ミリレム/年=0.05ミリシーベルト/年)を下回り、当初の輸入プラントに比べて100分の1以下であると評価されている。

(2)放射性廃棄物発生量の低減

廃棄物発生量の低減対策は、発電プラントの設計にまで遡及する発生源対策と廃棄物処理システムでの対応策との二面性を持っている。前者では、燃料体の改良(一次系冷却水への核分裂生成物放出率の減少)、一次系の構成材料に低コバルト材の採用、一次系冷却水の水質管理の高度化および停止中の蒸気配管の乾燥素塞封入保管(腐食生成物; クラッド発生量の抑制, BWRのみ)、タービン軸封蒸気系のクリーン蒸気への変更(オフガスの低減, BWRのみ)、タービン復水器冷却細管にチタン管採用(海水漏入の減少による復水脱塩器樹脂の長寿命化; 樹脂再生廃液の低減または非再生化, BWRのみ)、弁類軸封部のペローズシール化(排気系の清浄化)、汚染管理区域内の海水冷却熱交換器の排除(蒸発缶の長寿命化、廃液濃縮率の向上)、タービン建屋換気系排気量の抑制と局所排気を排気筒からの放出に変更(気体廃棄物の低減、希釈, BWRのみ)など極めて広範に亘って総合的な対策が実施されてきた。

一方、廃棄物処理システム側では、主に新技術による処理システムプロセスの変更により対処している。

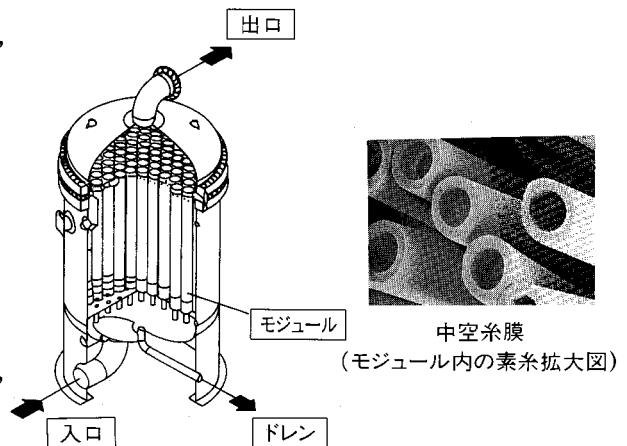
気体廃棄物については、発生源対策で、ほぼ対応済みと考えられる。

液体廃棄物については、廃棄中の微細な懸濁質を除去する精密濾過に、従来採用されていたセルロース短繊維の濾過助材を多量に用いるプリコート式濾過器に変えて、直接懸濁質を漉分けできる細密孔を有する、メンブレン(膜)式濾過器が実

用化され、更により濾過性能の向上した、中空糸膜式濾過器が採用されるようになった。これにより、濾過サイクル毎に逆洗排出されるスラッジは、濾過助材を伴わない捕集懸濁質のみとなり、その排出量を数10分の1に低減している。この中空糸膜式濾過器は、標準モジュール当たりの濾過面積が大きく取れるので、処理水流量の大きい復水脱塩系濾過器への適用が期待されており、実証試験段階にある。これは、BWRプラント復水系での粉状樹脂の使用を不要とするため、効果的な発生源低減対策となる。

中空糸膜濾過器の例を第3図に示す。

また、廃液発生量の多いランドリー設備について



項 目		仕 様
膜	型 式	中空糸膜式
	寸 法 (外径×長さmm)	1.2×2000
	孔 径	0.1μm
モジュール	型 式	カートリッジ式
	寸 法 (mm)	150φ×2300H

第3図 中空糸膜濾過器

は、水洗式に変わり水洗式と同程度の汚染除去能力があるドライランドリーが開発実用化されており、二次廃棄物の発生量も極めて少なく、廃液処理の負荷を大巾に軽減している。

そのほか、定期検査時の作業手順、施工法の見直し、汚染拡大の防止、器材の有効活用等管理面の改善も廃棄物発生量の低減に大きく寄与している。

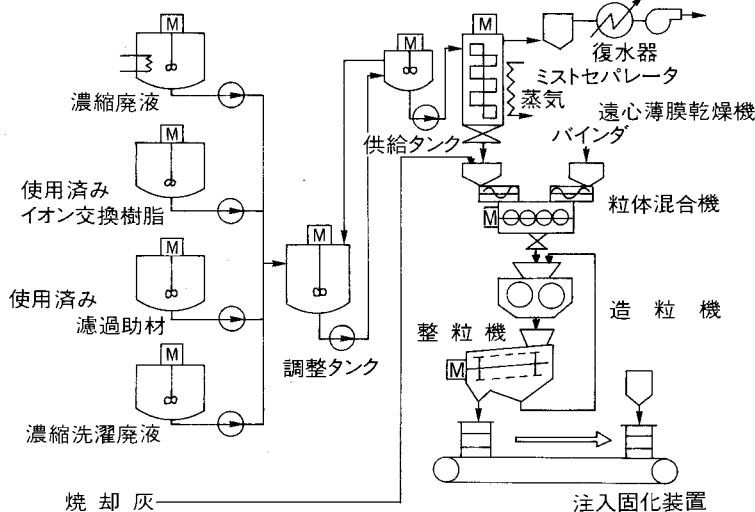
(3)発生廃棄物の減容

発生廃棄物は前述のように、最終的には固体廃棄物に集約され、浅地中埋設処分に適するコンディショニング（ドラム缶等の容器に固形化材で安定に固化する；廃棄体化）が施されて、その工程を終了する。従って、コンディショニングの適用技術により、処分の対象となる低レベル放射性廃棄物固化体（廃棄体）の発生量が変わる事になる。現在、定常的に廃棄体化が進められている濃縮廃液については、従来適用されたセメント均質固化法では、濃縮廃液（固形分約20%、残り水分）をそのまま混合、固化していた。このため、廃棄体に混入できる濃縮廃液の量に制約があり、廃棄体化の過程で約2倍に容積が増加することになる。この欠点を改善するため、不要な水分を蒸発分離して固形分のみを固形化材と混合できる、アスファルト均質固化法およびプラスチック均質固化法が実用化されている。これらの方法では、廃棄体の

発生量が、セメント均質固化法のそれに比べてそれぞれ約3分の1、5分の1程度に低減できる。また、濃縮廃液を乾燥、粉体化し、これをペレットに成型するペレット固化法では、成型時に圧密化がはかれるため更に減容性は向上し、廃棄体発生量が約7分の1程度になる。いずれの方法も改良標準化の過程で順次採用され、良好な成果が得られている。今後、濃縮廃液以外のスラリー廃棄物への適用についても検討されている。

ペレット固化システムの例を第4図に示す。

スラリー廃棄物以外の固体廃棄物のうち可燃物については、減容性の高い（50～70分の1）焼却処理技術が定着しているが、脱水、乾燥した廃樹脂、難燃物も焼却できる第二世代の焼却炉が開発されている。これは、復水濾過脱塩器をもつBWR発電プラントの粉状廃樹脂（1,100MW級で20～30tドライベース/年発生）の減容処理に特に有効である。焼却炉の普及に呼応して換気系フィルタの可燃化も進められている。換気系フィルタは、従来、金属棒とグラスファイバー・メディアおよびプラスチック・スペーサーから構成されており不燃物に分類されていた。これを一定温度以上で燃焼する特殊木棒と、同様な処理を施したセルロース系メディアおよび可燃プラスチック・スペーサーに変えて可燃化を計り、大巾な減容を可能にしている。また、一部で実用化されている特殊焼却炉に



第4図ペレット固化システム

高温焼却溶融炉がある。これは、不燃物の小金属片、保温材、コンクリート片等と可燃物を混合し、補助燃料と共に高温で焼却し、その灰を溶融して減容と同時に安定なスラグに変換するもので、前処理と廃棄物配合の繁雑さが解決できれば、更に普及するものと思われる。不燃物では、前に述べた高圧縮減容装置により、金属廃棄物を3分の1程度に減容することが可能である。現在、焼却灰、不燃物はドラム缶に密封保管されており、効率的な廃棄体化技術が模索されている。

(4)処理プロセスの信頼性向上と省力化

当初の処理プロセスでは、主に液体廃棄物系に支障が多く見られた。特に廃液蒸発缶（廃液濃縮器）およびその関連配管系では、腐食損傷や濃縮液配管の保温ヒーター断線による管内閉塞等が発生していた。腐食に関しては、管理区域内から海水冷却熱交換器を排除し、淡水冷却方式に変更して廃液系への海水混入を防止すると共に蒸発缶、配管材質の変更（接液部のチタンクラッド化、従来のSUS-304からSUS-306への変更等）を実施した。ヒーターについては、従来のシーズ線から信頼性の高い新型ヒーターへの変更によりこれらの問題は解決している。その他、廃液濾過についても当初の濾過助材プリコート型濾過器では、濾過工程が進み、差圧の上昇による逆流、スラッジ廃出サイクル毎に、新たな濾過助材の仕込み、プリコート操作等を運転員が現場で行っていた。しかし、中空糸膜式濾過器では、プリコート操作が不要になり、全ての操作は自動化されている。また、最近のデジタル制御技術とコンピュータの普及により運転操作系の改善や自動化の推進が計られ、大巾な省力化も達成されている。更に主要機器の信頼性向上により、従来必要であった一部予備系列が不要となり、システム構成の合理化も計られている。

(5)従事者の被ばく低減

今迄に述べてきた改善策は、相互に関連し合っており、運転員、補修要員の負担軽減に寄与し、結果として従事者の被ばくを大巾に低減することが可能になった。

4. 今後の技術動向

軽水炉発電プラントに適用される廃棄物処理プロセスの単位技術は、我が国の国情を配慮しつつ段階的に改善が図られてきた。したがって各発電プラントでの改善状況は、その建設時期によって導入技術に相違が生じており、最終処分の対象となる廃棄体の種類が多様化している。これらについては、なるべく同一の安全性評価にもとづいて浅地層処分が実施できるよう、裏づけとなる廃棄体の評価データを体系的に整備することが、必要になるものと考えられる。また、固体廃棄物のうち不燃性雑固体に関しては、より合理的な処分を可能とするため、放射性核種の組成、放射能濃度等を簡易に評価できる測定、評価手法の開発、標準化された廃棄体化技術の確立が望まれている。

金属廃棄物等については資源の有効利用と廃棄物低減の観点から、適切な除染技術や汚染管理技術の組み合わせを考慮した再利用技術の実用化が待たれている。当面は、原子力施設内での限定利用を前提として実用化を進めることも有効であろう。廃液処理系においては、高分子化学の進展による機能性膜の応用が、イオン交換処理や濃縮処理等の分野で期待されている。期待される機能性膜には、限外濾過膜、逆浸透膜、電気透折膜、イオン交換膜、水蒸気透過膜等があり、廃液の固液分離、吸着分離等への適用が考えられる。

最後に、現在までの開発技術をベースに1,100MW級BWR発電プラントの年間固体廃棄物発生量(200リットルドラム缶換算)の評価例を示す。

現行稼働プラントで可燃物焼却炉およびプラスチック均質固化装置を採用した場合、1000~1500ドラム(実績値)発生しているが、これに各種の発生源低減対策とペレット固化処理を導入したA-BWRでは、400~500ドラム程度、更に高圧縮減容装置を導入することにより、100~150ドラム程度まで低減が可能と予測されている。これは、浅地層埋設処分サイトの受入れ期間延長に大きく貢献するものと思われる。

(林 勝)

IAEA放射性廃棄物安全基準(RADWASS)策定計画について

IAEAは1991年放射性廃棄物管理における調和のとれた国際的な基準に関する一連のドキュメントRADWASS (RADioactive WAsTe Safety Standards) を作成するプロジェクトを開始した。このプロジェクトは、開発途上国では放射性廃棄物管理計画、管理組織及び規制体制の設定のためにそれぞれのドキュメントが使われ、先進国では放射性廃棄物の管理と処分に関する標準的な安全確保のための枠組みとして活用されることを期待して計画された。

わが国においては、このIAEAの策定計画に積極的に参加していくこととしており、プロジェクトに対する対応策の協議、会議出席者の報告の聴取及びプロジェクトの成果の評価を的確に行うため、原子力安全委員会の放射性廃棄物安全基準専門部会のもとに1991年5月放射性廃棄物国際基準等検討会が設けられ、本格的な取組みがなされている。

これらのドキュメントは次の4レベルからなっている。

- (1)安全原則 (Safety Fundamentals)
活動の目標
- (2)安全基準 (Safety Standards)
現実的な要件
- (3)安全指針 (Safety Guides)
実施のための勧告
- (4)安全実施細目 (Safety Practices)

実施方法の詳細

IAEAでは、上記(1)1件、(2)6件、(3)17件及び(4)多数(未定)のドキュメントの策定を計画しているが、このうちプロジェクトの第1段階としてのフェーズI (1991~1994)においては次の9つのドキュメントの策定が予定されている。

- ①放射性廃棄物管理の原則 (安全原則)
- ②国の放射性廃棄物システム計画 (安全基準)
- ③放射性廃棄物の区分 (安全指針)
- ④放射性廃棄物の処分前管理 (安全基準)
- ⑤医療、産業及び研究施設の低レベル放射性廃棄物の収集及び処理 (安全指針)
- ⑥放射性廃棄物の浅地中処分 (安全基準)
- ⑦浅地中処分施設のサイト選定 (安全指針)
- ⑧地層処分施設のサイト選定 (安全指針)
- ⑨原子力施設の解体 (安全基準)

なお、放射性廃棄物の地層処分についてはIAEAのSafety Series No.99 (高レベル放射性廃棄物の地層処分に関する安全原則と技術基準)を安全基準として位置づけて、このシリーズに組み込むことが考えられているようである。現在それぞれのドキュメントのドラフトが作成され、検討が進んでいる。現時点では流動的であるので、内容が纏まった適切な時期に、順次各ドキュメントの概要を本誌でも紹介する予定である。

(中村治人)

センターのうごき

平成3年度調査研究受託状況

平成3年度の事業として、平成3年12月1日以降平成4年2月末までの間に、次の受託契約が行われました。

委託元	調査研究課題	契約年月日
科学技術庁	低レベル放射性廃棄物の陸地処分(浅地中処分)に関する調査研究	4.1.20
電力各社等	雑固体廃棄物の基準整備に関する研究	3.12.4

編集発行

財団法人 原子力環境整備センター
〒105 東京都港区虎ノ門2丁目8番10号 第15森ビル
TEL 03-3504-1081 (代表) FAX 03-3504-1297