講座

放射線防護用機器

Ⅸ. 廃棄物処理装置の特性と使用法^{†,††}

内山憲一, 森川尚威*, 福山博之**

東洋熱工業(株)設計部 105 東京都中央区京橋 2-5-12

*東京大学アイソトープ総合センター113 東京都文京区弥生 2-11-16

**ダイダ(株)技術研究所 354 埼玉県入間郡三芳町北永井 390

Key Words: radioactive waste disposal, liquid waste, incinerator, liquid scintillator, air filter, charcoal adsorbent, waste treatment equipment

1. 放射性廃液処理装置

1.1 概要

管理区域で取り扱われる放射性同位元素(RI)は通常その原液をポリビンに回収して廃棄物保管室(保管廃棄設備)で減衰を待つ。原液が付着した器具等の洗浄水について一次洗浄水は回収し減衰を待ち、二次洗浄水については流しまたはフード(ドラフトチャンバ)の排水口から排水処理設備へ排水する。ここで減衰と希釈の組合せによって排水中の放射性核種の濃度が法定による規定濃度以下であることを確認した後、一般下水に放流する(図1参照)。

排水処理設備は貯留槽と希釈槽および弁、ポンプ等の汎用機器から成り立っている。一般的には貯留槽2基、希釈槽1基の構成が多いが、比較的半減期の長い核種や規制濃度の厳しい核種に対して減衰効果を高める

図1 排水処理の流れ

ため多数の貯留槽を設置するケースもある。また¹²⁵Iのように規制濃度が厳しくて半減期も比較的長い核種について使用場所が限定できる場合は、排水系統を他の核種と分離し、専用の貯留槽を多数設置することにより減衰効果を高める方法も可能である。排水処理設備の一般的な構成を下記に図示し、必要な機器について以下に説明する(図2参照)。

1.2 配管材

RI施設の排水は二次洗浄水と管理区域内で行われる実験や作業に付随して生じるRIを含まない化学排水である。したがってRIが付着しにくく耐食性を有するポリ塩化ビニルライニング鋼管やポリエチレンライニング鋼管あるいはタールエポキシライニング鋼管が使われる。排水の内容によってライニングの種類を選定する。

1.3 タンク(貯留槽, 希釈槽)

相当年数を経過している既存の設備ではコンクリート埋設の貯留槽、希釈槽などが残されているものもあるが、埋設にした場合、漏出の確認が難しい。したがって最近の設備は六面点検で目視によって漏れが確認

[†] (執筆分担) 1章: 内山憲一, 2章: 森川尚威, 3章: 福山博之。

^{††} Equipments and Instruments for Use in Radiological Protection. Ⅸ. Characteristics and Use of Radiation Waste Disposal Apparatus. Ken-ichi MARUYAMA, Naotake MORIKAWA* and Hiroyuki FUKUYAMA**: Toyo Netsu Kogyo Ltd., 2-5-12, Kyobashi, Chuo-ku, Tokyo 105, *Radioisotope Center, The University of Tokyo, Yayoi, Bunkyo-ku, Tokyo 113, **Technical Research Laboratory, ODD Corporation, 390 Kitaginagai, Miyoshi-machi, Iruma-gun, Saitama-Pref. 354.

図2 排水処理フロー図

1・4 電動弁

流入排水系の切換え電動弁の機能は、管理区域から流入する排水貯留槽を1または2のいずれか空いている方へ振り分けるもので、一般にモータ駆動のものを使用する。電磁弁は異物のはさまった時に支障があるため排水系には使用されず、希釈給水系に使われる。電動弁には手動開閉用レバー付のものが便利である(表2参照)。

できる据置タイプの槽がほとんどである。据置型のタンクには、組立て式パネルタンク(規格単板(1m×1m)を必要量に組み合わせる)と、鋼材を必要形状に切断して作るいわゆる製作物がある。接合部は溶接構造を採用している。ボルトによる接合の場合、パッキン部の定期交換またはメンテナンスが必要でありRIを扱うには難点がある。パネルタンクは規格化された単板の板厚が薄いため2m以上の高さになると内面をL鋼で補強をしている。製作物のタンクはSUS材で製作するものと、本体をSS材で内面に耐食性の樹脂被覆を施したものがある。板厚が大きくとれ、内部補強が要らないので内部の清掃がしやすい(表1参照)。

表1 タンクの種類

	SUS パネル	SUS 製作物	樹 脂 パネル	製作物SS+ 樹脂被覆
工 法	溶 接	溶接	溶着	溶接
組 立 場 所	現地可	工場	工場	工場
不 燃 性	○	○	×	○
耐 食 性	○	○	◎	◎

表2 制御弁の種類

	電 動 弁	電 磁 弁
駆 動	モータ	ソレノイド
弁 体	玉形弁(回転)	仕切弁(上下駆動)
材 質	接液部 SUS	黄銅、砲金
手動レバー	有	無

1・5 液面スイッチ

タンク内液面の上下限水位でポンプの発停を制御するために使用される。電極式とフロート式があり、電極式のは水中の2点間の導通を利用して接点信号に変えており棒状と帯状がある。フロート式はフロートの浮力でメカニカルスイッチを作動させるものである(表3参照)。

表3 液面スイッチの種類

	電 極 式		フ ロ ー ト 式	
	電極棒	電極帯	内部スイッチ	外部スイッチ
材 質	SUS	テフロン 外被	(フロート部) プラスチック	(フロート部) プラスチック

1・6 水位計

貯留槽および希釈槽には槽の容量を把握するために連続水位計を取付ける。静電容量式と圧力式があり、静電容量式は取付が簡単で安価なので広く使われているが、液組成によって指示値がばらつくことがある。圧力式のは液組成の影響を比較的受けにくく精度についても良好である(表4参照)。

表4 水位計(発信器)の種類

	静 電 容 量 式		圧 力 式
センサー	棒 状 電 極	ローブ状電極	投げ込み差圧
適 用	屋 外	屋 内	屋内、屋外
材 質	SUS またはポリエチレン被覆		SUS 316
精 度	±0.5%		±0.5%
信 号	4-20 mA, 0-5 V		4-20 mA, 0-5 V

1・7 ポンプ

貯留槽から希釈槽へ移送する移送ポンプと、希釈槽から下水へ放流する放流ポンプ、排水設備の雨水等を貯留槽へ移送するビットポンプがある。材質は SUS 製が良い。ビットポンプには水中ポンプが使われる。移送ポンプおよび放流ポンプには地上置き自給水式が一般的であるが、貯留槽、希釈槽内に架台を取り付け水中ポンプを設置する方法も、グランドパッキンからの漏洩がなく省スペースである点から有効である。ただし、タンク内にあることからメンテナンス性能を考慮して設置しなければならない(図3参照)。

図3 水中ポンプの設置

1・8 制御盤

排水設備現場に動力操作盤、管理室内に(遠隔)制御盤が必要である。制御盤は操作方法ができるだけ分かり易いものが良く、一般的にグラフィックパネル上

で操作できるようになっている。排水の流れに沿って配管ライン上を点灯させると第三者にもよく分かり使いやすい。

1・9 廃液処理方式

放射性排水の処理方法には、すでに触れた貯留(保管)あるいは希釈のほか濃縮法がある。濃縮法は、廃液中の放射性物質を濃縮分離する方法で、濃縮した高濃度のわずかの廃液を保管し、放射性物質を除去した排水を放流するもので、濃縮方法には蒸発法、イオン交換法、凝縮沈殿法などがある。表5に各種廃液処理方式の比較を示す。

2. 放射性有機廃液処理装置

2・1 概要

RI そのもの、またはRIによって汚染されている放射性廃棄物の取扱いについては法令によって規制されている。

日本アイソトープ協会は、わが国で現在実施可能な放射性廃棄物の処理・処分システムの範囲内で、廃棄業務を受託している。しかし、有機液体の委託廃棄は現在も中止の状態にある。したがって、 ^3H 、 ^{14}C 、 ^{32}P 、 ^{35}S 、 ^{45}Ca などの液体シンチレーション測定法が繁用されるRI利用の分野では、液体シンチレーション測定試料の廃棄物の処理を事業所内で行うことになる。実施されている具体的な処理の方式はつぎの三つに大

表5 放射性廃液の処理方式

処 理 方 法		長 所	短 所	適 応 廃 液	対 象 核 種
保 管 減 衰		処理費用がかからない	大量の廃液は保管室に保管できない	高レベルかつ少量	多種混在または特定
貯 留 希 釈		希釈水が安価に得られる場合はもっとも経済的かつ一般的	高レベルかつ長半減期のものの処理には適さない	低レベルかつ大量または高レベルかつ短半減期	多種混在または特定
濃 縮 法	蒸 発	放射性物質濃度の低減効果が大きい	装置の建設費および運転費とも高価	高・中レベル	特定
	有機イオン交換	放射性物質濃度の低減効果が大きい 装置の運転が容易である	樹脂の再生にさいし放射性廃液が出る 交換材樹脂が比較的高価	ヨウ素などの一次処理	特定
	無機イオン交換	交換材安価 特定の核種(Sr 、 Cs など)に低減効果が高い	交換材の交換にさいし不燃性廃棄物が出る	低レベル	特定
	凝集沈殿法	大量の廃液を処理できる	放射性物質濃度の低減効果が低い 大量の放射性スラッジが出る	低レベル大量	特定

別される。

(1) 放射性有機液体の集荷・一括処理・処分は国またはそれに代わる機関が責任を持って行うことが望ましいので委託廃棄が再開されるまで、あるいは有機液体廃棄物の発生量が多くないので貯蔵が限界に近づくまで保管廃棄する方式

(2) 有機溶媒を回収し、消防法上問題にならない、引火性の少ない、RIを含む残留物を保管廃棄する方式

(3) 有機液体廃棄物を燃焼させて処理・処分する方式

これらの処理の方式にはそれぞれ一長一短があるので、各事業所ではその事業所の実態に最も適合した方式を選んで廃棄しているのが現状であろう。

(1)の保管廃棄の方式では液体シンチレータの溶媒が消防法上の第一石油類(引火点21℃未満、たとえばトルエン、ジオキサン)、第二石油類(引火点21℃以上70℃未満、たとえばキシレン)に指定されている危険物であることが多いため、保管廃棄できる量は消防法で定められている指定数量(第一石油類: 100 l, 第二石油類: 500 l, それぞれを同時に貯蔵する場合はそれぞれの指定数量に対する割合の和が1となる数量)を基準にした保管場所の位置、構造および設備の整備状態によって規制される。

(2)の分離方式では溶媒の再利用が可能であるが、RIが完全に除ききれない溶媒が残ることが多く、減容効果はあるが、現行法令のもとではRI残留物とともに保管廃棄を続けることになるだろう。

RIを効果的に分離するためには、RIの種類別に、シンチレータ溶液の種類別に、また標識化合物の性質別(とくに水溶性、非水溶性、揮発性など)に、あらかじめ分別保管し、なるべく早期に処理する。長期保管したものは一般に分離しにくい。

分離操作としては蒸留法が簡便に利用される。乳化シンチレータの場合は蒸留法のほかに解乳化法も利用できる。乳化シンチレータ廃液を完全に乳化状態にしたのち、約60℃に加温すると解乳化して水層と有機層に分離する。通常の測定試料の場合には乳化-解乳化-水層分離(希釈廃棄)-乳化-解乳化……を繰り返すと有機液体中のRIは分別される。ただし、この場合にも試料調製後の日数を経たものは、分離しにくくなる。抽出法、吸着法、塩析法なども利用できるが多量の廃液の処理には適さない。

(3)の焼却方式では有機液体のすべてが焼却できるのではなく、液体シンチレーション測定試料の廃液の

うち、 ^3H , ^{14}C など科学技術庁長官の許可を得たRIを含む廃液だけが焼却対象であることに注意しなければならない。

2.2 有機溶媒を分離する装置の特性と使用法

(1) 蒸留装置

蒸留により放射性有機廃液から溶媒を回収すると、その廃液の経時変化(たとえば、トリチウムの交換反応など)が起こっておらず、RIを含む試料が不揮発性物質の場合には、廃液中のRIの約99%は残留物中に残り、留出液には約1%の放射能を検出するに過ぎない。この留出した溶媒は再蒸留により精製すると、その放射能は10 pCi/ml以下に減少させることが可能で、再利用することもできる。

蒸留装置としては減圧蒸留装置、ロータリーエバポレータ、フラッシュエバポレータが用いられるが、実用上はロータリーエバポレータが最も簡便である。減圧蒸留装置は機種にもよるが、一般に分離する能力が大きい反面、時間がかかる。一方、フラッシュエバポレータは標識化合物の分離を抑制して迅速に濃縮できるが、完全には分別しにくい。再蒸留のときは減圧蒸留装置を用いるのがよいが、ロータリーエバポレータで繰り返し蒸留している場合が多いようである。

以上は通常の蒸留装置を利用した例であるが、液体シンチレータを処理するために考案された装置もある。①空気または窒素ガスなどを通気して蒸留速度を大きくし、また蒸留温度を低くする。②水との共沸現象を利用して蒸留温度を低くする、乳化シンチレータ

図4 放射性有機廃液蒸留装置の一例

1. 廃液は、吸引パイプを通過して装置内の集積ビン(21)に集める
2. 集積ビンに集められた廃液を、エアポンプにより蒸留部に送り込む
3. 蒸留部は、廃液を約80℃で加温し、さらに強制通気しながら蒸留を促進する

のいわゆるベースの有機溶媒を留出させる, などの工夫がされている。市販されている装置の一例を図4に示す。

使用上の留意点は共沸混合物と残留物の取扱いである。標識化合物が揮発性の場合には前処理して不揮発性にする必要がある。また, ^3H 標識化合物の場合には本来不揮発性であっても, 長期間保存中に加水分解により HTO を生成することが少なくない。

(2) 送風・通気蒸発と冷却による溶媒分離装置

放射性有機廃液を加温しておき, この液面に空気を吹きつけると溶媒が蒸発するので, これを冷却して有機溶媒を分離捕集することができる。装置の概念としては, 直径約50cm, 深さ約25cmの円筒型冷却槽の中に廃液入りのパットを置き, プラスチックの蓋を冷却槽の開口部に載せ, その中心の小孔より金属管を差し入れ空気を吹き込む構造が考えられ, それを製品化した市販品がある。

蒸留法と異なり溶媒が多成分の場合には分別することはできないが, 簡便に安全に処理できる特長がある。しかし, トルエン系のシンチレータなどには適用できるが, 乳化シンチレータのように粘性の高くなる廃液には時間がかかる。あるいは溶媒分離ができないといった欠点がある。

2・3 放射性有機廃液焼却装置の特性と使用上の注意

2・3・1 法令の改正と安全指針

放射性有機廃液の大部分は低濃度の ^3H , ^{14}C を含む液体シンチレータの廃液であるが, 法律上の取扱いには「RI によって汚染されたもの」となるため, 放射性廃棄物としての保管もしくは処理を行わなければならない。

放射性水溶液の場合は, 希釈による環境への放出が認められているが, 放射性有機液体は危険物, 環境汚染物を含むため, 消防法関係条例や水質汚濁防止法により, 環境中への放流が制限されている。また, 放射性有機廃液の有効な処理法がなかったため, 各事業所の保管廃棄量は増大の一途を辿った。これを打開するため, 放射性有機廃液の有効かつ安全な処理方法として, 焼却炉による焼却について調査研究が行われ, その結果を踏まえて, 昭和54年3月7日に「放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律施行規則」第19条の廃棄の基準が改正され, 液体状の RI または RI によって汚染された液の廃棄の方法の一つとして「焼却炉において焼却すること」ができることに

なった。

しかし, 放射性有機廃液は RI を含むと同時に引火性, 爆発性を有する危険物であるため, この両面に着目した安全の確保のため, 焼却炉の材質, 構造, 性能, 安全な取扱い, 管理の方法についての指針が作成され, 昭和55年9月に公表された(旧指針)。この旧指針に基づく各種の焼却装置が市販されたが, これらは $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($37 \text{ Bq}/\text{cm}^3$) 以下の濃度の ^3H , ^{14}C を含む液体シンチレーション測定試料の廃液と限定されている。焼却装置は廃棄作業室に設置しなければならない。

昭和61年4月に RI 利用の現状に対応し, 旧指針のもとに市販されている機器の見直しなどを含めた新しい指針が出された。これによれば, ^3H , ^{14}C のほかに, ^{32}P , ^{35}S , ^{45}Ca を含む液体シンチレーション測定試料の廃液の焼却が可能になる。それぞれの RI の上限濃度の目標値としては, ^3H : $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($37 \text{ Bq}/\text{cm}^3$), ^{14}C : $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($37 \text{ Bq}/\text{cm}^3$), ^{32}P : $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($3.7 \text{ Bq}/\text{cm}^3$), ^{35}S : $1 \times 10^{-3} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($37 \text{ Bq}/\text{cm}^3$), ^{45}Ca : $1 \times 10^{-4} \mu\text{Ci}/\text{cm}^3$ ($3.7 \text{ Bq}/\text{cm}^3$) の値が示されている。

新指針が公表されても, 旧指針に基づいて従来どおり焼却を行うことは差支えない。昭和62年4月1日以降は新指針に基づいて製作され, その試験焼却を実施した機種のみが販売されている。したがって現時点で新たに焼却装置を設置し, 焼却を実施しようとする場合には, 新指針に基づいて販売されている焼却装置を設置し, 科学技術庁長官に使用変更申請をし, その許可を得るとともに, 事業所の放射線障害予防規定などを改訂し, 届け出ることが必要であろう。旧指針に基づいて製作された装置の場合, 新指針を適用するためには, その装置が新指針に基づいて製作された装置と同等以上の性能を有することの証明および上記の諸手続きが必要になる。

2・3・2 旧指針に基づく放射性有機廃液焼却装置の特性と使用上の注意

旧指針に定める焼却対象核種は ^3H と ^{14}C である。したがってこれらを含む有機廃液は完全に燃焼すれば, ごく低レベルのトリチウム水と ^{14}C を含む二酸化炭素を生成し, 一般環境に拡散することになる。

焼却装置としては, 10社ほどの製品が販売された。製品のなかには発売元が相違するだけで, 製造はまったく類似に行われているものもあるようである。

装置の構造と機能より分類すると大略つぎのようになる。

表6 液体シンチレータ組成分類表

会社名	品 名	分 類	組 成
Amersham	ACS II	B	キシレン+トリメチルベンゼン+乳化剤
	PCS	B	キシレン+乳化剤
	PCS II	B	キシレン+乳化剤
Beckman	REDY-SOLV CP	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	REDY-SOLV HP	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	REDY-SOLV HP/b	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	REDY-SOLV EP	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	REDY-SOLV MP	B	トリメチルベンゼン+キシレン+乳化剤
	REDY-SOLV NA	B	トリメチルベンゼン
半井化学	Scintiblender-I, II	A	トルエン
	Scintiblender-III, IV	C	ジオキサン
	Univer-Gel, -II	B	キシレン+乳化剤
NEN	AQUASOL-2	B	キシレン+乳化剤
	ATOMLIGHT	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	BIOFLUOR	B	キシレン+乳化剤
	BRAY'S SOLUTION	C	ジオキサン
	ECONOFLUOR	A	トルエン
	LIQUIFLUOR	A	トルエン
	OMUNIFLUOR	A, B, C	(A, B, C いずれかの溶媒を加えて使用)
	RIAFLUOR	B	キシレン+乳化剤
	Triton X-100	A, B	(A, B いずれかの溶媒を加えて使用)
Packard	OXIPREP-2	A	
	DIMILUME-30	B	キシレン
	FILTER COUNT	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	INSTA-FLUOR	B	キシレン
	INSTA-GEL	B	キシレン+乳化剤
	OPTI-FLUOR	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	MONOPHASE-40 PLUS	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
	PERMABLEND I, II, III	A, B, C	(A, B, C いずれかの溶媒を加えて使用)
	PERMAFLUOR I, III, V	A	トルエン
	EMULSIFIER SCINTILLATOR 299(SCINT-A)	B	キシレン+乳化剤
	TOLUENE SCINTILLATOR (SCINT-O)	B	トルエン
	PICO-FLUOR 15, 30	B	トリメチルベンゼン+乳化剤
和光純薬 (同仁化学)	Scintisol 500	B	キシレン+乳化剤
	Scintisol AL-1	A	トルエン+キシレン
	Scintisol ALX-2	C	ジオキサン
	Scintisol AM-1	A	トルエン+キシレン
	Scintisol EX-H	B	キシレン+乳化剤

分類欄の A, B, C は本文参照

(1) 放射性有機廃液をあらかじめ蒸留し、有機溶媒を分別し、その有機溶媒を強制給排気のもとで、圧力噴霧により燃焼させる。排ガスは大気中に放出する。この方式の最大の欠点は、蒸留残渣の処置にあるといえよう。

(2) 放射性有機廃液を粘度調整、ろ過、層分離のち、そのまま、補助燃料とともに強制燃焼させる方式で、排ガスは冷却水と接触し、冷却・洗浄される。燃焼で生成したトリチウム水はほとんどが冷却・洗浄水

中に、一方、 ^{14}C を含む可能性のある二酸化炭素は大半が大気中に放出される。

(3) 放射性有機廃液を(2)と同様前処理したのち、補助燃料とともに燃焼させる。排ガスは冷却装置で水分等を冷却捕集する。

(4) 放射性有機廃液を前処理後、たて形金属製燃焼炉中に滴下焼却させる。排ガスは冷却装置で水分等を冷却捕集する。

(5) 前処理した放射性有機廃液を気密な乾留容器に導き、有機溶媒およびその他の有機化合物を蒸発および熱分解し、有機溶媒および分解生成物を燃焼させる。排ガスは冷却装置により処理する。乾留容器に熱分解残渣がかなり残る。したがって、この残渣を委託廃棄する。

(6) (5)の特殊型で燃焼に触媒を使用する。

使用上の注意としては完全燃焼させ、煤を発生させないこと。燃焼が不安定で廃液の導入が不連続にならないようにすること。廃液導管等の目づまりを起こさせないこと。装置の腐蝕対策に十分留意することなどが最も重要な点である。

3.2.3 新指針に基づく放射性有機廃液焼却装置の特性

旧指針の焼却対象核種が完全燃焼すれば単純な化合物に転化し、焼却装置等に汚染がほとんど残留しないのに対して、新指針に追加された対象核種は、焼却装置の構造、機能などにより、複雑な挙動を示すであろう。この特徴を十分わきまえて焼却作業を実施しなければならない。

市販されている装置は旧指針に基づき製作された装置に改良を加えたものが多いようであるが、現時点で

分類してみると、2・3・2に示す(1),(2),(3),(4),(5)に該当する。完成度はまだ十分でないものが多く、今後の改良を期待したいものも少なくない。

2・3・4 放射性有機廃液の焼却処理上の留意点

焼却装置の燃焼方式により、焼却する廃液の前処理などが相違すると思われる。焼却処理にさいして留意しなければならない事例を以下に示す。

(1) 非放射性の試料を使用して、完全燃焼させる条件を把握し、装置の特徴を十分に理解する。

(2) 廃液の分類は直接燃焼方式のものでは、とくにその必要を認めない。むしろ消防法上の規制を遵守するため、溶媒が第一石油類であるが、第二石油類であるかによって分類の方がよい。また別に取り扱う方が無難なものもある。一例をつぎに示す(表6参照)。

A: トルエン系シンチレータ溶液およびトルエン溶媒の乳化シンチレータ溶液

B: キシレンなどの第二石油類に属する炭化水素系シンチレータおよび同系の乳化シンチレータ溶液

C: ジオキサン系シンチレータ溶液

市販の既製のシンチレータ溶液には組成の表示していないものが多いので、その分類を表5に示す。表中の分類欄の記号は上記のA,B,Cの分類を表す。

(3) 廃液を噴霧燃焼あるいは乾留後、溶媒および分解生成物を燃焼させる方式のものでは、乳化シンチレータを別に取り扱う方がよい場合もある。

(4) 固形物(100メッシュより大きいもの)はろ過して除く。液層が分離しているものは分液する。

(5) 生体関連物質は不活性化する。

(6) 燃焼の障害になる共存物質は、放射線作業者があらかじめ別に処理する。

(7) 焼却装置はほとんど自動化されているが、廃液の燃焼温度は連続記録できる方が管理しやすい。

(8) 一般の焼却装置では1日の焼却量は20t以下とする。

(9) 焼却終了後の装置の取扱いや保守点検を重視し、作業従事者の慣れによる異常事態の発生に注意する。

(10) 装置の腐蝕しやすい部分は常時点検する。

3. 排気浄化装置・フィルタ

3・1 概要

非密封RIを取り扱う施設の空調設備には、室内の空気中のRI許容濃度を満たし、かつ管理区域内を負圧に保つために、給気ファンと排気ファンを備えたブッシュプル方式が採用される。また、排気口における

排気中のRI濃度を室内の空気中のRI許容濃度の1/10以下にして放出しなければならないので、排気浄化装置が必要となる。

実験操作などで空気中に放出される放射性物質は、凝縮・凝集・化学反応・吸着などの作用によって空気中の塵埃に付着して浮遊し、その粒径分布は、そのときに存在する空中浮遊塵埃のそれに呼応しており、蒸気のエ어로ゾルへの凝縮では、粒子は非常に小さく、サブミクロンの範囲であるといわれている。空気中の放射性物質は、その除去方法から、希ガス・ハロゲンガス・粒状物質の三つのグループに分けられる。希ガスは、化学的に不活性なこと、利用できる吸着剤との反応に限界があること、および比較的半減期が短いことなどの理由から、高いスタックから垂直に放出し、大気中で拡散させることで通常処理される。ハロゲンガスは活性炭の吸着によって、また粒状物質はろ過によって除去される。

気体から汚染物を取り除くために使用されるガス除去装置は、除塵機・エアフィルタ・吸着フィルタの3種類に大別される。除塵機は、気体から高濃度(一般には 30 mg/m^3 以上)の塵埃を除去するためのもので、とくに著しく汚染された排出空気の清浄化に使用される。これには、スクラバ・エアワッシャ・サイクロン・セトリングチャンバ・バッグフィルタなどがあるが、除去効率に難点があったり、使用する水や液体の処理があったりするために、現在ではRI用の排気浄化装置には通常使用されない。エアフィルタは、 30 mg/m^3 以下、一般には 5 mg/m^3 よりも少濃度の、固体および液体の汚染物を除去するための装置で、とくに大気中の浮遊物質を除去するのに使用される。ガス吸着フィルタは、活性炭のような吸着物質で満たしたセルから構成され、ガス状の汚染物質を取り除くために使用される。排気浄化装置には、このエアフィルタと吸着フィルタが構成要素として使用される。排気浄化装置の種類には、人が中に入ってフィルタの取替えを行うチャンバ形と、外から密封交換のできる市販のユニット形とがあるが、安全性・保守のしやすさの点から、後者が専ら採用されている。

3・2 エアフィルタ

3・2・1 大気中の塵埃濃度と粒径分布

大気中の塵埃濃度は、年平均値でみると、田舎の 0.04 mg/m^3 から大都市の 0.7 mg/m^3 の程度まである。わが国の建築基準法や厚生省のビル管法*による空調された室内の空中浮遊塵埃濃度の基準は 0.15 mg/m^3

表7 塵埃フィルタの分類および試験法に対する
SWKI (スイス暖房空調技術家協会)の推薦

フィルタの種類	等級	除去効率%	試験法
粗塵フィルタ	G 1	60-74	AFI 試験 ^{a)}
	G 2	75-84	セクション I
	G 3	85以上	
細塵フィルタ	F 1	40-69	AFI (ダストス
	F 2	70-89	ポット) または
	F 3	90以上	NBSシステム 2
微細塵フィルタ	S 1	85-94	オイルミスト試
	S 2	95-99.70	験
	S 3	99.70以上 ^{c)}	(ボンの試験) ^{b)}

a) ASHRAE 規格52に統一されている

b) DOP の値はオイルミスト試験と同等と見なされる

c) S 3 等級のフィルタは、たとえば S 3/99.95% というように、記号を付して除去効率とともに補足する

(Ruegg, H.: "Luftfilter für Reinnräume", Schweizerische Blätter für Heizung und Lüftung, No. 3, 1972より引用)

である。

大気中の汚染物に関するある調査によれば、直径 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子は、個数でいくと全体の99%を構成しているが、重量でいくと3%にしかすぎず、また $10\mu\text{m}$ 以上の粒子は、重量では30%を占めるものの、個数では0.005%を構成しているにしかすぎない。

以上のことから、大気中の塵埃濃度は建物の換気にフィルタを必要とすること、またその粒径分布はフィルタの選定に十分影響を持っていることが分かる。

3・2・2 エアフィルタの分類

エアフィルタの国際的に承認された分類はまだ存在していないが、スイスの暖房空調技術家協会のものが分かりやすい(表7)。フィルタの種類は、粗塵・細塵・微細塵フィルタの三つに分けられているが、これらはまた通常、プレ・中性能・高性能フィルタと呼んでいるものである。微細塵フィルタで99.97%以上の除去効率のものをHEPAフィルタと呼んでいる。

(1) 粗塵フィルタ (プレフィルタ)

このフィルタは、 $10\mu\text{m}$ 以上の粒子の除去を目的としている。ろ材は、 $50-200\mu\text{m}$ の粗い繊維で、乾湿両用で使用される。ろ材通過風速は $1-3\text{m/s}$ で、初

期圧力損失 $5-10\text{mmAq}$ 、最終圧力損失 25mmAq 未満(初期圧力損失の3倍を超えない)で使用され、洗浄などによって再生することができる。このフィルタでの粒子の除去は、もっぱら運動作用(または慣性作用)で行われる。このフィルタに対しては、除去効率試験に重量測定法が適用される。この方法は、フィルタろ材の重量の変化や、ろ材の上流と下流における空气中に含まれる塵埃含有量の計量によって行われる。この方法にはAFI(現在はASHRAE規格52に統一されている)(米)、BS2831(英)、SFI(独)などがある。

(2) 細塵フィルタ (中性能フィルタ)

このフィルタは、 $10-1\mu\text{m}$ の粒子の除去を目的としている。ろ材は $5-30\mu\text{m}$ の細い繊維で、ブリート(ひだ折り)状や袋状にろ材を拡大して使用され、微細塵フィルタも含めて拡大ろ材フィルタと呼ばれる。ろ材通過風速は $0.4-1.2\text{m/s}$ で、初期圧力損失 $5-10\text{mmAq}$ 、最終圧力損失 40mmAq 未満で使用され、再生はできない。繊維を通過する空気の流れが遅いために、フィルタにすでに捕獲された塵埃の再飛散防止用の粘着性物質は通常必要とされないの、乾式で使用する。このフィルタでの粒子の除去は、運動作用が主体であるが、拡散作用も介在する。このフィルタに対しては、除去効率試験に比色測定法や光度測定法が適用される。通常は比色法がよく用いられる。これは、試験フィルタ前後の試料の着色に基づくものである。この方法にはAFIダストスポット法・NBSダストスポット法(現在はASHRAE規格52)、BS2831メチレンブルーなどがある。

(3) 微細塵フィルタ (高性能フィルタ)

このフィルタは、 $1\mu\text{m}$ 以下の粒子の除去を目的としている。ろ材は $0.1-1\mu\text{m}$ の非常に細い繊維で、拡大ろ材フィルタとして使用される。ろ材通過風速は 0.05m/s 未満で、初期圧力損失 30mmAq 未満、最終圧力損失 100mmAq 以下で使用され、再生はできない。このフィルタでの粒子の除去は、もっぱら拡散作用によって行われる。このフィルタに対しては、除去効率試験にDOP、SFIパラフィン油(オイルミスト)、BS3929(炎光度計)、BS2831(メチレンブルー)などが適用される。通常はDOP法がよく用いられる。この方法は、試験エロゾルに $0.3\mu\text{m}$ 単分散DOP(フタル酸ジオクチル)を用いて、フィルタ入口・出口の粒子個数を計測して除去効率を求めるもので、計数法と呼ばれる。

3・2・3 HEPAフィルタの構成と仕様

HEPAフィルタは、もともと原子力用に関連され

* (前頁)「建築物における衛生的環境の確保に関する法律」の略称

たものであるが、現在では半導体製造工場などのクリーンルームや製薬工場などのバイオクリーンルーム、遺伝子組換え実験などのバイオハザード施設などにも広く採用されている。

HEPA フィルタユニットは、ケーシング・ろ材・セパレータ・密封剤・ガスケットから成っている。ろ紙の厚さは0.2-0.5mmで、通常は100-300mmの深さにアコーディオン状（プリーツ）に折り返して、その間にろ紙がくっつかないように波形のセパレータを挿入している。また波形のセパレータの代わりに糸状のスペーサを用いたミニプリーツのものもあるが、これは原子力用には通常用いられない。フィルタろ材とセパレータのバックは、適当な密封剤を用いてケーシングにしっかりと取り付けられる。ケーシングの両面または片面には、ガスケットが固着されている。

ケーシング（外枠）には、ブライウッド（合板）・鋼・アルミニウム・アスベスト・プラスチックなどが使用されているが、RI施設では、難燃性合板・クロムめっき鋼・ステンレス鋼などが通常採用されている。

ろ材には、グラスファイバ、グラスファイバーアスベスト、セラミック、セルロース-アスベストなどが使用されているが、RI施設では、耐火性の観点からグラスファイバがもっぱら採用されている。

セパレータには、アスベスト紙・アルミニウムアスベスト・クラフト紙・プラスチックなどが使用されている。アスベストは耐食性に優れているが、耐湿性に乏しい。クラフト紙やプラスチック（ポリスチレン、塩化ビニル）は、耐熱性・耐火性に劣る。アルミニウムは耐湿性に優れているが、耐食性に乏しい。ステンレス鋼は高価すぎる。クロムめっき鋼が耐食性の面から推薦されている。米原子力委員会ではアルミニウムセパレータを推薦している。

ガスケットには、ラテックススポンジゴム、ネオプレンスポンジ、ネオプレン-コルク、鉱滓綿などが使用されているが、RI施設では、ASTM D1056グレードSCE43密閉セルネオプレンスポンジが固すぎも軟らかすぎもせず最適であるので、これが採用されている。

密封剤には、ゴム基剤接着剤、アスベストファーネスセメント、エポキシ樹脂、ケイ酸塩、ポリウレタン樹脂などが使用されている。RI施設では、エラストマ接着剤が耐熱・耐湿性なので、これかまたは耐火性のエポキシもしくはポリウレタンのものが採用される。

そのほか、100%ウォータブルーフで最高仕様温度120℃のものが、RI施設では推薦されている。耐湿性が100%でないと、その耐湿限度を超えたとろ材が

水分を吸入して、圧力損失が増加する。

HEPA フィルタユニットには諸サイズのものがあるが、RI施設では610×610×292のものもあれば用いられる。この初期の圧力損失25.4mmAq時の定格風量は1700m³/h（1000cfm）で、重量は合板枠のものが約15kg、鋼製枠のものが約18kgで、50.8mmAqの最終取替え時には約2kg重くなるという。

3.3 活性炭フィルタ

活性炭に用いられる材料には、泥炭・木・木炭・亜炭・果実の皮（やしの実、カカオの実、アーモンド、稲）などがある。原子力用にはコconaツツややしの実が用いられる。1gの活性炭は600-2000m²の表面を持っており、この表面が吸着に利用される。

活性炭によるガス除去の原理には、①拡散、②物理吸着、③毛管凝縮があり、また活性炭に化学物質を浸み込ませることによって、④化学吸着、⑤イオン交換、⑥加水分解、⑦同位体交換の現象が得られる。ヨウ素元素の除去は物理的凝縮（吸着）であるが、有機放射性ヨウ素（ヨウ化メチル）に対する捕獲機構は、化学吸着と同位体交換である。

原子力用の活性炭フィルタには、ユニットトレー形（引出し形）とプリーテッドベッド形が使用される。前者は、寸法が160×610×670-760（2"ベッド）で、風量が566m³/h、重量が36-51kgである。後者は、1"ベッドのものが、寸法610×610×292、風量1360m³/h、重量50-65kgで、2"ベッドのものが、寸法610×610×350-400、風量1020m³/h、重量67-101kgである。RI施設では2"ベッドのものを使用しなければならぬので、1"ベッドのものを直列で使用するか、2"ベッドのものを単体で使用する。活性炭フィルタの場合には、ヨウ化メチル除去のためのベッド通過風速は、最大0.3m/sであり、これを超えると効率の低下を招くので、定格風量を超える運転は推薦されない。したがって、HEPAフィルタと一緒に使用する場合には、使用されるHEPAフィルタユニットの寸法が610×610×292（定格風量が1700m³/h）だから、トレー形では3ユニットで定格風量1700m³/hとなり、また寸法的には610×610で納まる。プリーテッドベッド形を使用する場合には、1"ベッドのものを直列で2ユニット使用するときには、定格風量1360m³/h、また2"ベッドを使用するときには定格風量1020m³/hであるので、HEPAフィルタの定格風量を落として、これらの風量で使用しなければならないことに注意する必要がある。市販の排気浄化装置のカタログす

法は、ブリーテッドベッド形1"ベッドを使用したときのものなので、2"ベッドを使用しなければならないRI施設では、風の通る方向の寸法(垂直流れの場合には高さ、水平流れの場合には幅)が大きくなる。

ケーシング、ベッドスクリーン、デバイダ、ベッドキャップ、スーサなどは、長い使用寿命を得るために、ステンレス鋼が推薦されている。ガスケットは、HEPA フィルタ同様、ネオプレンゴムが推薦されている。接着剤は、天然ゴムまたは合成ゴム基剤で、耐湿・耐熱・耐オゾン・自己消火性のものが推薦されている。

活性炭フィルタの圧力損失は、初期も使用中も、吸着現象なので、変わらない。

3・4 排気浄化装置

市販の排気浄化装置は、処理風量に応じて決定されるフィルタ枚数を基準とした列数と、処理すべき放射性物質に対するフィルタの種類を基準とした段数との組合せで製作される。1段(HEPA フィルタだけ組込み)、2段(プレ・HEPA フィルタ組込み)、3段(プレ・HEPA・活性炭 フィルタ組込み)、4段(プレ・HEPA・活性炭・高性能フィルタ組込み)のものが市販されている。

1段のものは、処理すべき排気中にハロゲンガスが存在しておらず、かつ塵埃濃度が低い場合に採用される。塵埃濃度が高い場合(23 mg/m³ 以上)にはプレフィルタを備えることが経済的であり、また塵埃濃度が23 mg/m³ のところでは一応プレフィルタの設置を

検討すべきであるといわれている。排気系に使用されるフィルタの保守費は、単にフィルタの購入価格だけでなく、放射性物質で汚染されたフィルタの取替え費、放射性廃棄物として廃棄業者に引取ってもらうための費用などがかかる。したがって、フィルタの取替え回数(フィルタの使用寿命)を考慮することが非常に重要である。排気中の塵埃濃度をビル管法の室内許容濃度である0.15 mg/m³ としたとき、図5に示すように、HEPA フィルタ単独で定格風量で使用した場合の最終圧力損失 50 mmAq までの使用寿命は4000時間である。これを定格風量の75%の風量で使用した場合、最終圧力損失 50 mmAq までの使用寿命は6400時間で1.6倍に延びる。定格の50%で使用すると、12000時間で3倍に延びる。逆に定格の125%で使用すると、寿命は2000時間となり、定格使用時の寿命の半分に減ってしまう。また HEPA フィルタを定格で使用してこれに粗塵フィルタを併用すると、HEPA フィルタの寿命は6000時間となり、1.5倍に延びる。プレフィルタに比色効率85%の中性能フィルタを使用すると、HEPA フィルタの寿命は22000時間で5.5倍に延びる(中性能フィルタはこの間に3回取替え)。

ハロゲンガスが処理すべき排気中に存在する場合には、3段・4段のものが採用される。4段のものは、活性炭の飛散を考慮して、活性炭フィルタの後ろにもう1段高性能フィルタを用意したものである。

排気浄化装置はまた、風の流れの方向によって垂直バンクと水平バンクに分けられる。前者は空気が水平方向に流れるものである。後者は空気が垂直方向に流れるもので、これには上向きに流れるアップフローと下向きに流れるダウンフローとがある。これらは、いずれも使用されてうまくいっており、優劣の結論は下し得ないとされている。下向き流れのものと水平流れのものが市販されている。これらの市販品は、高・中・低レベルに受け入れられている。ハウジングの構造は、空気圧がかかったときに、過度の変形や漏れがないことが必要で、3.2mm 厚の鋼板で全溶接がなされている。ハウジングの内外表面は、腐食から守るために、エポキシ・塩化ビニル・アクリル・シリコン塗装などが推薦されている。これら市販品の特徴には、①フィルタの密封取替えができること、②フィルタの取付け状態を検査するための現場試験が行える構造になっていること、③各フィルタに圧力降下を調べるためのマノメータが取り付けられていること、などがある。

- A: HEPA フィルタ単独 (125% 定格)
- B: " (100% 定格)
- C: " (75% 定格)
- D: " (50% 定格)
- E: HEPA フィルタ100%定格+粗塵フィルタ使用
- F: HEPA フィルタ100%定格+比色効率85%の中性能フィルタ使用

図5 塵埃濃度 0.15 mg/m³ の空気に対する HEPA フィルタの寿命 (Harding, K. W.: "The Cost of High-Efficiency Air Filters", JIHVE, July, 1969より引用)