

放射線発生装置の金属放射化物の有効利用の成立性に関する調査検討

投稿

古川 修 林 健一 木村 昇 大越 実
Furukawa Osamu Hayashi Kenichi Kimura Noboru Okoshi Minoru

1. はじめに

医療分野、素粒子研究分野等において多数の放射線発生装置が使用されている。これらの放射線発生装置では、加速する粒子のエネルギーが大きくなると、加速した粒子がビームパイプ、ターゲット等の放射線発生装置の構成機器に衝突することにより、それらの構成機器が放射化する。また、加速粒子をターゲットに衝突させた際に発生する中性子線等の二次粒子が加速器の構成機器を放射化させる。その結果、放射線発生装置の部品交換や廃止措置に伴い、放射化した金属（放射化物）が発生する。これらの放射化物については、放射線障害防止法とその関連規則に従って適正に管理を行う必要がある。具体的な管理方策としては、その放射能レベル、性状等に応じて決定されることになるが、それらの放射化金属の放射能レベルが十分低く、使用用途がある場合には、放射線障害防止法に規定された濃度確認を受け、有価物として再利用することが考えられる（いわゆるクリアランス）。一方、放射能レベルが比較的高くてクリアランス対象とはならないが、利用価値のある金属については、管理区域内で利用する物品に加工し、再利用することが考えられる。

このため、本調査検討においては、放射線発生装置の廃止措置等で発生すると考えられる放射化金属の物量、性状等を調査すると共に、これらの放射化金属を管理区域内で使用する物品に加工するための設備の基本的仕様等について検討を行った。また、再利用品に加工する事業の成立性についても経済的観点から検討を行った。

2. 対象物の調査結果

国内にある放射線発生装置のうち、構成機器が放射化する放射線発生装置を対象に、放射化金属の発生物量、金属の種類、寸法等の性状について主要な関係機関に聞き取り調査を実施した。その結果を表1に示す。なお、サイクロトロン施設については、2017年末時点で国内で稼働している154台の設計仕様等を基に物量等の推定を行った。

3. 再利用方法の検討結果

放射化金属の管理区域内での再利用用途としては、諸外国の事例等を参考にすると、①放射性汚染物を収納するための容器、②放射線発生装置の遮蔽物が想定される。本検討においては、金属を大量に使用できる可能性があり、かつ、製品製造が比較的簡単に行える大型放射線発生装置の遮蔽物を放射化金属の再利用用途として選定した。

本調査検討で想定をした遮蔽物の仕様については、米国での製造例（図1参照）¹、国内の大型放射線発生装置施設での使用実績等を参考に設定した。設定した仕様を表2に示す。

4. 溶融・鋳造設備の技術的・経済的検討結果

炭素鋼とステンレス鋼を溶融し、遮蔽物に加工するための処理フローの検討とフローに基づく処理設備の概念設計を実施した。概念設計に当たっては、

¹ Waste Processing Capabilities, WM-13 Symposium, <http://www.wmsym.org/archives/2013/panels/041-537.pdf> (2018年9月12日閲覧)

表1 放射化金属の発生量の推定結果（単位：t）

施設名	炭素鋼	ステンレス	合計*
A 施設	3,010	750	3,760
B 施設	199	376	575
サイクロトロン施設	2,410	16	2,425
各金属合計*	5,618	1,142	6,760

*：四捨五入により合計が合わない場合がある。



図1 米国 Energy Solutions が製造した遮蔽ブロック

表2 想定をした遮蔽物の仕様

項目	値, 内容
寸法	500 mmW × 1,000 mmL × 500 mmH
重量	1.75 t
表面仕上げ	表面防錆・防水加工（機械加工仕上げなし）

非密封の放射性同位元素の使用施設に対して放射線障害防止法及びその関連規則で定められている基準を念頭に行った。

処理フローの検討結果を図2に、また、主要な機器の仕様を表3に、それぞれ示す。

上記の処理フロー及び概念設計結果に基づき、機器設備費と建屋費の概算費用を見積もった。その結果、機器設備の購入及び設置費用が約22億円、建屋の建設費が約17億円、合計で約39億円となった。なお、本費用には、土地（約1ha）の整地費は含まれるが、取得費用は含まれていない。

次に、2.で述べた放射化金属の発生量に基づく処理量とその処理量に応じた運転パターンとを3つにケース分けして、運営に必要な人員を検討した。ケース検討に当たって考慮した点を表4に示す。また、各ケースで必要な人員数の評価結果を表5に示す。

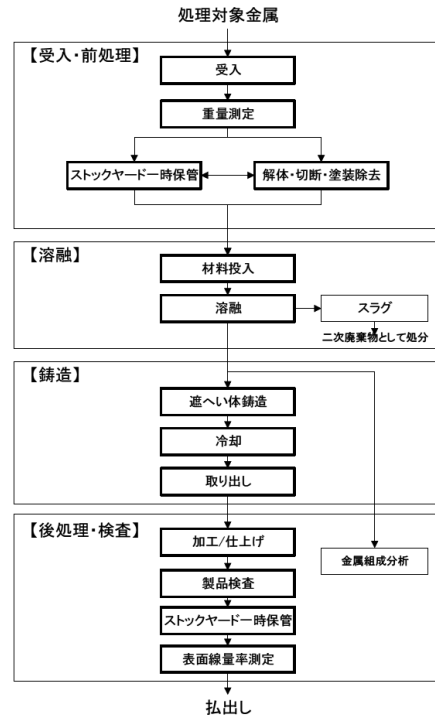


図2 金属放射化物の熔融・鑄造処理フロー

5. 事業の成立性に関する検討結果

4.で述べた検討結果を基に、事業の成立性について検討を行った。検討方法としては、再利用製品に加工するための単位重量当たりの処理単価と放射化金属を放射性汚染物として日本アイソトープ協会が引取るとした場合の引取り費用（以下「指標単価」という）とを比較することで、事業の成立性を判断することとした。

まず、ケース1から3について、処理を行う金属の単位重量当たりの処理単価を機器設備費と建屋費の概算費用、人件費、電気代等のユーティリティ費等を評価することにより求めた。次に、指標単価については、非圧縮性不燃物の集荷量金（116.5千円/50L）と廃棄物の容器への収納可能重量等から求めた。その結果、指標単価は932千円/tとなった。得られた結果について、横軸に処理を行う金属の物量（t）、縦軸に処理単価（千円/t）をプロットした。図3に示すように、いずれのケースについても、単位重量の処理単価が指標単価を下回ることはなかった。図3に示した曲線の累乗近似外挿を行うと、処理物量が10,000tを超えると指標単価を下回り、事業として成立する可能性があると考えられる。

表3 主要機器の仕様

工程名	機器名称	員数	仕様
受入・前処理工程	バンドソー（大型・小型）	各1	切断能力（大型）：1,300 W × 1,300 H 切断能力（小型）：300 × 300
	エアープラズマ切断機	1	最大切断厚さ：60 mm
	塗膜剥離用加熱装置	1	高周波誘導加熱方式
	ブラスト装置	1	ショットブラスト
溶融工程	溶融炉	1	高周波誘導炉 傾動出湯方式 処理量：2 t 電力：1,500 kW
	溶融・铸造チャンバ	1	換気回数：5 回 /h
铸造・脱塊工程	取鍋	1	耐火ルツボ方式 受湯量：2 t
	铸型設備	6	金型、タンディシユ、冷金 铸型：5 分割方式 （下底板 +4 面分割）
後処理、塗装工程	塗装装置	1	錆止め塗装 処理量：2 個 / 日
排気設備	排気プロワ	2	送風量：18,000 Nm ³ /h
	高性能フィルタユニット	2	処理能力：18,000 m ³ /h 捕集効率：99.97%

表4 ケース検討の概要

	対象物量 (t)	処理作業の考え方
ケース 1	6,760 t の金属を処理	前処理作業員と溶融作業員を兼任し、炉の稼働率を約 50% とする方法
ケース 2	同上	前処理作業員と溶融作業員を専任し、炉の稼働率を 100% とする方法
ケース 3 (参考)	9,260 t の金属を処理 (B 施設から発生する 2,699 t の超大型機器も処理対象とする場合)	同上

表5 各ケースにおける必要人員

職種	担当	ケース 1	ケース 2	ケース 3
管理職	総合管理	1	1	1
職長	製造	1	1	1
	設備 / 放射線管理	1	1	1
	品質管理	1	1	1
作業員	受入・前処理	3	4	4
	溶融・铸造		3	3
	後処理			
	検査・分析	1	1	1
	ユーティリティ保全	1	1	1
	放射線管理	1	1	1
事務員		1	1	1
合計		11	15	15

6. おわりに

国内の主要な放射線発生装置の廃止措置等に伴って発生する放射化金属の物量は、約 7,000 t と推定された。これらの放射化金属をすべて放射性汚染物

とすることは、資源の有効利用の観点からは合理的とはいえない。このため、放射化金属を大型の放射線発生装置の遮蔽物に再利用することを想定し、技術面と経済面からの評価を実施した。また、放射化金属の加工作業を事業として行う場合の成立性につ

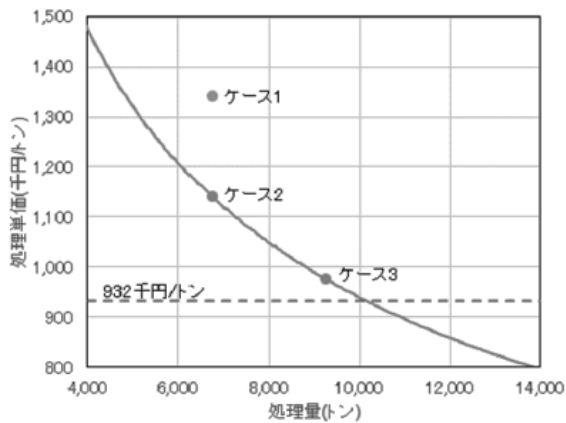


図3 放射化金属の重量当たりの処理単価と指標単価の比較結果

いても、処理量をベースにケース分けして検討を加えた。その結果、対象金属の物量が少なく、事業と

しての成立が困難との結論となった。

今回調査対象とした放射線発生装置の一部には、既に運転を停止している装置等もあることから、放射化金属の合理的な管理の在り方の検討は喫緊の課題である。引き続き、クリアランス制度の活用も含め、放射化金属の管理の在り方について関係者間での議論を深めていく必要がある。

謝辞

本調査にご協力をいただいた関係機関の皆様へ感謝の意を表す。また、調査及び検討を行っていただいた三菱マテリアル(株)の諸氏へ感謝の意を表す。

((公社)日本アイソトープ協会)