

福島第一原子力発電所事故後の状況と 超電導技術を利用した廃棄物処理の可能性

除染技術への超電導磁気力制御法の適用調査専門委員会編

目 次

1. 巻頭	03	4.6.3 スラッジ, スラリーの発生状況と処理・ 保管の方針	26
1.1 本報告書の背景	03	4.7 装置改良による廃棄物量の変化	26
1.2 本報告書の構成	03	4.8 スラリー, スラッジの安定化処理と保管に 向けて	26
1.2.1 原発事故対応技術の全体像	03	4.9 まとめ	27
1.2.2 本報告書の構成	04	5. 固体状リスク源(発電所内・周辺地域)の状況	29
1.3 福島第一原子力発電所事故の経緯と 現在の状況	04	5.1 はじめに	29
1.3.1 事故の経緯	04	5.2 固体状リスク源の種類	29
1.3.2 発電所の現在の状況	05	5.2.1 原発敷地内外の固体リスク源の種類	29
1.4 健全炉の廃止措置と事故炉の廃炉の比較	06	5.2.2 原発敷地内のリスク源の状況	30
1.4.1 健全炉の廃止措置	06	5.2.3 プール内燃料の状況	31
1.4.2 事故炉の廃炉	07	5.2.4 燃料デブリの状況	31
1.5 事故後の原発周辺地域の状況	07	5.3 原発敷地内廃棄物の状況	33
1.6 原発周辺地域の復興に関する課題	09	5.3.1 建屋内廃棄物の状況	33
1.7 まとめ	09	5.3.2 建屋外廃棄物の状況	33
2. 福島第一原子力発電所事故由来の放射性物質	10	5.4 敷地外周辺地域の廃棄物の状況	34
2.1 はじめに	10	5.5 まとめ	36
2.2 平常運転時における核燃料および 放射性物質の状況	10	6. 固体状リスク源(発電所内・周辺地域)の 処理手法と課題	38
2.3 福島第一原発事故に特有の核燃料および 放射性物質の状況	12	6.1 はじめに	38
2.3.1 核燃料および燃料デブリ	12	6.2 燃料デブリ	38
2.3.2 核分裂生成物	13	6.3 原子力発電所敷地内放射性廃棄物	39
2.3.3 放射化物	14	6.4 周辺地域のがれき(可燃物・不燃物)	39
2.3.4 放射性物質を含むがれき	14	6.5 周辺地域の除去土壌	40
2.4 まとめ	15	6.6 まとめ	40
3. 汚染水中の放射性物質の状況	16	7. 放射性廃棄物処理への超電導磁気力制御法の 適用可能性	42
3.1 はじめに	16	7.1 はじめに	42
3.2 汚染水対策の概要	16	7.2 周辺地域の除染廃棄物減容・再生利用への 適用可能性	42
3.3 汚染水に含まれる放射性物質の種類と性状	17	7.2.1 土壌からのセシウムの分離	42
3.4 汚染水中の核種に起因する放射線	18	7.2.2 焼却灰の減容	43
3.5 保管容器からの放射線	18	7.3 汚染水処理への適用可能性	43
3.6 港湾内海底土被覆	18	7.3.1 港湾内・沖合海水処理への可能性	43
3.7 まとめ	19	7.3.2 貯蔵タンク内の汚染水処理への適用	44
4. 汚染水の処理手法と課題	20	7.4 原子力発電所敷地内固体廃棄物減容への 適用可能性	44
4.1 はじめに	20	7.5 まとめ	44
4.2 汚染水処理の目標値と方法	20	8. 福島復興への課題に関する意見交換	45
4.3 物質の性状に応じた放射性物質の除去	20	8.1 はじめに	45
4.4 多核種除去設備(ALPS)の概要	21	8.2 トリチウムの海洋放出の是非について	45
4.5 トリチウム水の処分方法の検討	23	8.3 住民帰還の基準 20 mSv/年の是非について	48
4.6 二次廃棄物の発生状況と処理・保管の方針	24	8.4 補足事項	50
4.6.1 発生する二次廃棄物の種類	24		
4.6.2 二次廃棄物の発生状況と処理・保管 の方針	25		

除染技術への超電導磁気力制御法の適用 調査専門委員会委員

委員長	西嶋茂宏(福井工業大学)	委員	酒井保藏(宇都宮大学)
幹事	井原一高(神戸大学)		二ノ宮晃(明治大学)
幹事	福井聡(新潟大学)		廣田憲之(物質・材料研究機構)
委員	秋山庸子(大阪大学)		三浦大介(首都大学東京)
	岡徹雄(芝浦工業大学)		三島史人(福井工業大学)
	岡田秀彦(物質・材料研究機構)		横山和哉(足利大学)
	小原健司(大阪大学)		渡辺恒雄(首都大学東京)

主な参加者	赤澤展人	(大阪大学)
	上田正和	(大阪大学)
	大河原賢一	(製薬放射線コンファレンス)
	鬼頭駿介	(大阪大学)
	田中雄大	(大阪大学)
	PHAN TRONG DUC	(大阪大学)
	山本隼也	(大阪大学)

1. 巻頭

1.1 本報告書の背景

2011年3月11日に発生した福島原子力第一発電所事故に伴う原発敷地内での事故収束作業、および周辺地域の復興に向けた除染、それに伴い排出された廃棄物の処理作業は現在も続いている。今後も廃炉作業も含めて数十年単位の持続的な対応が必要であると言われている。特に深刻な問題は、放射性物質を含む廃棄物が原子力発電所敷地内および敷地外ともに大量に排出されており、今後もその排出量が増加していくことである。放射性物質を含む廃棄物の処理方法の選定にあたっては、それらに含まれる放射性物質の核種と存在形態、放出される放射線の種類を考慮する必要がある。したがって、対象となるそれぞれの廃棄物の特性に応じた処理が必要であり、安全かつ高度な処理技術の開発が求められている。

本技術報告書は、原発事故後の廃棄物処理に対する超電導技術の適用の可能性について調査結果をまとめ、今後の技術開発の方向性を見いだそうとするものである。これまで我々が検討してきた超電導磁気分離システムは、新たな局面を迎えている。強磁性粒子を対象とした磁気分離システムは体系化された技術として確立されつつあり、実用化に向けてのいくつかの課題はあるものの、水環境をはじめとした分野で社会実装に近い段階に来ているといえる。一方で基礎研究においては、分離に強磁場を必要とし、分離システムや媒質の工夫を必要とする常磁性・反磁性体を含めて、あらゆる物質をそのままの状態でも分離できることが明らかにされてきている。これらの技術は水環境分野のみならず、土壌処理、資源循環、機器分析、医療分野への幅広い応用が期待されている。

このような状況の中で、本調査専門委員会の前身となる「超電導磁気分離システムを利用した除染技術」調査専門委員会（平成24年6月～平成27年5月）が設立され、特に原発周辺地域で当時すすめられていた土壌や建材等の除染への磁気分離システムの利用可能性についての検討がなされた。結論として、磁気分離技術の除染への適用可能性

は、除染活動によって排出された、放射性物質に汚染された水、土壌、建材等の減容・再生利用に有用であるという方向性が示された。

ここで、「除染」という言葉は、対象とする物質が放射性物質や有害化学物質などによって汚染された際に、薬品などを使ってそれを取り除くことを示す。一般の有害な化学物質は、化学反応によって別の物質に改質または無害な形態にすることで、無害化することが可能な場合もある。しかし、放射性物質の場合は、基本的に無害化することはできないため、汚染された対象物から放射性物質をできる限り取り除き、それを濃縮・安定化して安全に長期保管するという

ことになる。この目的に合う方法として、二次廃棄物や添加剤を最小限にできる物理的な分離手法である超電導磁気分離の有用性が期待されるという結論となった。

上記調査専門委員会では、対象をオフサイト（原子力発電所の敷地外）に拡散した放射性物質に絞り、その巨視的・微視的動態を理解したうえで、分離・除去方法の一つとしての磁気分離法の位置づけについて議論した。これに対し、本調査専門委員会ではオフサイトに加えてオンサイト（原子力発電所敷地内）の汚染水、燃料デブリ、汚染がれき等にも対象を広げて原発事故に関係する放射性物質の状態について網羅的かつ系統的にまとめることを目標とした。これは、オフサイトからオンサイトの事故処理への転換点にあたる現在の状況に基づいている。具体的には、事故の背景を踏まえ、問題となっているそれぞれの放射性物質の種類や存在形態に対応した分離除去技術の動向、さらには放射性廃棄物の減容・再生利用の技術動向の調査を行い、その中での超電導磁気分離法の位置づけに関して考察する。

1.2 本報告書の構成

1.2.1 原発事故対応技術の全体像

本報告書ではオンサイトおよびオフサイトでの放射性物質の処理技術の調査結果をまとめるにあたり、原発事故からの復興に関わる技術を図1.1にまとめた。まず、オフサイトで必要な技術は主として住民の安全を確保するための環境修復技術である。一方、オンサイトで必要な技術は、汚染水対策技術、廃炉技術、環境修復技術の3つに大きく分けられる（後で詳しく述べるが、これらの3つの技術は時系列で実施され、必ずしも同時進行ではない。）。1つ目の汚染水対策は、緊急時対応として事故直後から継続的な対応が進められており、他の2つの技術とは独立して位置づけられることが多い。2つ目の廃炉技術は、核燃料を含む燃料デブリの取り出しに関する技術と、その周りのコンクリートや金属の構造物を解体・撤去するサイト修復技術に大きく分けられる。3つ目の環境修復技術は、敷地内の作業員の被ばくリスクを低減するために、土壌、建屋、がれき等の比較的放射能濃度の低い廃棄物を処理する技術である。次に、原発事故に起因する放射性物質の起源から最終処分に至るまでの大まかな流れについて考える（図1.2参照）。

オフサイト、オンサイトの双方において、事故に起因する放射性物質は、核燃料、核分裂生成物または放射化物のいずれかに該当し、通常の原子炉であればすべて炉内に存在すべき物質である。今回の原発事故ではその一部が敷地内のみならず敷地外にも拡散している。さらにその一部の半減期の長い核種は事故後長期にわたって放射線を放出しているとみることができる（この部分の詳細については旧委員会の技術報告書を参照されたい⁽¹⁾）。廃炉および環境修復作業によって最終的に排出される放射性廃棄物の処理・処分に関しては、濃度にかかなりの差はあるが、可能なものに対し