

使用済みイオン交換樹脂の海外委託処理に関する検討

Investigation of Waste Disposal Procedure of Spent Ion Exchange Resin Using
Overseas Consignment

木村 正 大戸 勤 出雲 寛互 長尾 美春
河村 弘

Tadashi KIMURA, Tsutomu OHTO, Hironobu IZUMO, Yoshiharu NAGAO
and Hiroshi KAWAMURA

大洗研究開発センター
照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center

March 2009

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2009

使用済みイオン交換樹脂の海外委託処理に関する検討

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター
照射試験炉センター

木村 正⁺・大戸 勤⁺・出雲 寛互・長尾 美春・河村 弘

(2008年12月19日 受理)

JMTR 原子炉施設においては、原子炉一次冷却水及びプール・カナル水の精製にイオン交換樹脂を使用している。その使用済みイオン交換樹脂については、廃液貯槽に貯蔵しており、その貯蔵量は、施設の運転に伴い増加している状況にある。

このため、JMTR 施設内の使用済み廃棄物の管理の観点から、使用済みイオン交換樹脂の海外委託を利用した廃棄物処理の可能性について調べた。この結果、海外委託による使用済みイオン交換樹脂の廃棄物処理方法に関して技術的、法的及び社会的観点からのいくつかの問題点を抽出し、廃棄物処理方法の実現性を検討した。

Investigation of Waste Disposal Procedure
of Spent Ion Exchange Resin Using Overseas Consignment

Tadashi KIMURA⁺, Tsutomu OHTO⁺, Hironobu IZUMO,
Yoshiharu NAGAO and Hiroshi KAWAMURA

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center
Oarai Research and Development Center
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received December 19, 2008)

The ion exchange resin is used for the purification system of the primary cooling water and the pool canal water in the JMTR. The spent ion exchange resin is stored in the liquid waste tank. The amount of the spent ion exchange resin in the liquid waste tank increases with reactor operation.

The possibility of waste disposal of the spent ion exchange resin was examined using an overseas consignment as the waste management in the JMTR. As the results, some problems in the viewpoints of technologies, regulations and society were extracted from the waste disposal procedure of the spent ion exchange resin using an overseas consignment, and the realization of the waste disposal procedure was discussed.

Keywords: Waste Management, Waste Disposal, Overseas Consignment, JMTR

⁺ Department of JMTR Operation

目 次

1. はじめに	1
2. 海外における使用済みイオン交換樹脂の処理方法の調査	1
3. 課題の抽出と検討	3
3.1 技術的課題と検討	3
3.2 法規上の課題と検討	4
3.3 社会的な課題と検討	4
3.4 考察	4
4. まとめ	5
謝 辞	5
参考文献	5
付録 小規模実証試験計画	13

Contents

1. Introduction	1
2. Spent ion exchange resin processing for oversea processing facilities	1
3. Extraction and Investigation of issues	3
3.1 Technical issues	3
3.2 Regulatory issues	4
3.3 Social issues	4
3.4 Discussion	4
4. Summary	5
Acknowledgement	5
References	5
Appendix Small-scale proof examination plan	13

This is a blank page

1. はじめに

現在、JMTR原子炉施設においては、JMTRの一次冷却水及びプール・カナル水の精製にイオン交換樹脂を使用している。冷却水の精製に用いた使用済みイオン交換樹脂は、JMTR原子炉施設の第3排水貯槽(以下、廃液貯槽という。)に貯蔵しており、その貯蔵量はJMTRの運転に伴い増加する。このため、使用済みイオン交換樹脂の貯蔵においては、廃液貯槽の貯蔵能力を超える前に廃液貯槽を増設することにより対応してきた。¹⁾

これまで、JMTR原子炉施設内の放射性廃棄物の管理の観点から、使用済みイオン交換樹脂の廃棄方法を検討してきたが、溶存固形物含量が高く、放射性汚染性の高い液体廃棄物のため、大洗研究開発センター内にある廃棄物処理場では保管・廃棄処理ができないとされている。

国内において、使用済みイオン交換樹脂(Table 1 参照)を処理するための施設は存在しておらず、使用済みイオン交換樹脂の処理、減容等がほとんどできないのが現状である。このため、使用済みイオン交換樹脂を処理、減容等を行うための施設整備の検討も行ったが、施設の新設や廃樹脂処理装置の開発が必要であり、多くの費用及び期間を要することが分かった²⁾。

一方、海外では原子力発電所の使用済みイオン交換樹脂を受け入れて、集中的に処理する施設が存在する。例えば、米国では、スタズビック処理施設(Studsвик Processing Facility)があり、合理的かつ合法的に使用済みイオン交換樹脂が処理されている³⁾。

このことから、スタズビック処理施設等の海外処理施設を利用して、使用済みイオン交換樹脂を委託処理するプロセスを確立することにより、廃樹脂処理装置または廃液貯槽を国内に新設する場合に比べて、低コストかつ短期間で使用済みイオン交換樹脂の処理が可能になる。

本検討では、スタズビック処理施設においてJMTR施設内に保管されている使用済みイオン交換樹脂の委託処理方法について調査し、海外委託による使用済みイオン交換樹脂の廃棄物処理方法に関して技術的、法的及び社会的観点から問題点を抽出すると共に、廃棄物処理の実現性を検討した。

2. 海外における使用済みイオン交換樹脂の処理方法の調査

JMTR原子炉施設に保管されている使用済みイオン交換樹脂を米国のスタズビック処理施設で委託処理することを仮定した場合の処理工程について検討した結果をFig.1に示す。Fig.1に示すように処理工程は、大きく分けて、抜取り、輸送、処理、残滓の返還の4つの工程から構成される。以下に、各処理工程の概要を示す。

(1)使用済みイオン交換樹脂の抜取り

使用済みイオン交換樹脂の抜取りにあたっては、まず、JMTR原子炉施設の廃液貯槽から使用済みイオン交換樹脂を抜取り、スタズビック処理施設が準備する専用の収納容器に充填する。スタズビック処理施設で用いている専用収納容器の写真をFig.2に示す。JMTR原子炉施設内での抜取り作業は、スタズビック処理施設が予め準備する専用の抜取りシステムを廃液貯槽付近に設置し、水中ポンプ等を介して廃液貯槽と接続して行う。⁴⁻⁵⁾

このとき、廃液貯槽中の使用済みイオン交換樹脂は水分とともにスラリー状態で抜取れ、収納容器に

移される。収納容器に移送後、収納容器のドレンから水分のみ排出され、廃液貯槽に戻される。したがって、水分の除去された使用済みイオン交換樹脂のみが収納容器内に収納されている。

(2)使用済みイオン交換樹脂の輸送

使用済みイオン交換樹脂の輸送は、それを充填した収納容器を所定の輸送容器に収納し、当該輸送容器を積載して行う。輸送行程は、日本国内の輸送、日本から米国までの海上輸送及び米国内の陸上輸送に分類される。日本国内の輸送については、所定の港湾まで陸上輸送することになるが、その経路としては、以下の2通りが考えられる。

- ① 大洗研究開発センター ⇒ (構外輸送) ⇒ 原子力科学研究所 ⇒ (構内輸送) ⇒ 東海港
- ② 大洗研究開発センター ⇒ (構外輸送) ⇒ 東京港

①はB種船(照射済核燃料等を運搬する船舶であって放射能の量の合計が4ペタベクレル以上を輸送可能)のうち船体が短いPNTL船(Pacific Nuclear Transport Ltd.所有の原子燃料輸送専用船)を利用して米国まで海上輸送する場合であり、②はその他A種船(照射済核燃料等を運搬する船舶であって放射能の量の合計が4ペタベクレル未満を輸送可能)またはB種船等の専用船を利用して米国まで海上輸送する場合を想定したものである。

米国内の港湾に到着した後、輸送容器は、スタズビック処理施設まで陸上輸送される。米国内における使用済みイオン交換樹脂の陸上輸送の様子をFig.3に示す。

放射性物質の安全輸送規則上における輸送物の区分は、使用済みイオン交換樹脂の放射能濃度により異なる。輸送物の区分をTable 2に示す。JMTR原子炉施設内に保管されている使用済みイオン交換樹脂の放射能濃度の実測値と平均比放射能をTable 3に示す。この結果、JMTR原子炉施設で用いた使用済みイオン交換樹脂は、検出された放射性核種が全体にわたって分布していること及び平均比放射能がTable 2において低濃度の区分であり、産業用輸送物(IP-2 型輸送物)で輸送ができることが分かった⁶⁾。

以上の検討結果により、IP-2 型輸送物については、日本国内の輸送実績があること、米国内の輸送についても使用済みイオン交換樹脂の受託実績はスタズビック処理施設が有していること、日本から米国までの海上輸送については、使用済燃料(B 型輸送物)などの実績があることから、JMTR原子炉施設内に保管されている使用済みイオン交換樹脂の輸送は、可能であることがわかった。

(3)使用済みイオン交換樹脂の処理

スタズビック処理施設に到着した使用済みイオン交換樹脂については、輸送容器から収納容器が取り出され、収納容器内の使用済みイオン交換樹脂が供給タンクに移送され、その後、熱分解プロセス装置に投入して熱分解処理される。

使用済みイオン交換樹脂の処理フローをFig.4に示す。スタズビック処理施設における熱分解処理は、使用済みイオン交換樹脂を燃焼し、二酸化炭素と水分に分解する方法である。燃焼後の使用済みイオン交換樹脂は無機化・減容される。Fig.5にスタズビック処理施設の制御室の状況を示す。本施設の運転は24 時間体制で行われている。また、スタズビック処理施設における使用済みイオン交換樹脂の管理に関しては、供給タンクが委託者毎に独立しており、他の委託者の使用済みイオン交換樹脂が混ざることがないことがわかった。

(4) 残滓の返還

使用済みイオン交換樹脂の処理では最終生成物として顆粒状の残滓(放射性)が発生する。残滓の発生量(体積)は廃樹脂の約10%程度となる。残滓は所定の収納容器に充填され大洗研究開発センターに返還されることになる。返還に当たっては、スタズビック処理施設において放射線測定により放射エネルギーが評価される。

残滓の返還についての輸送行程は、大洗研究開発センターからスタズビック処理施設に使用済みイオン交換樹脂を輸送する行程と基本的に逆の輸送行程となる。

残滓の輸送について、放射性物質の安全輸送規則上における輸送物の区分は、使用済みイオン交換樹脂の輸送の場合と同様に残滓の放射能濃度により異なる(Table 2 参照)が、熱分解処理後の使用済みイオン交換樹脂の体積が1/10となり、残滓の放射能が10倍に濃縮されても、IP-2型で輸送可能である。一方、残滓は、ガラス固化体(B 型輸送物)の例があることから、残滓の最終処理方法の検討を行う必要がある。

3. 課題の抽出と検討

スタズビック処理施設における使用済みイオン交換樹脂の委託処理方法について調査した結果をもとに、海外委託による使用済みイオン交換樹脂の廃棄物処理方法に関して技術的課題、法規上の課題及び社会的受容性に係わる課題を抽出し検討した。

3.1 技術的課題と検討

JMTR原子炉施設内にある廃液貯槽から使用済みイオン交換樹脂を抜取る際には、廃樹脂抜きシステムを廃液貯槽付近に設置し、廃液貯槽とシステムを接続する必要がある。適切かつ合理的な抜きシステムの設置場所、接続箇所及び接続方法、安全な抜き取り作業を実施するための作業環境の設定及び必要なしゃへい等について検討する必要がある。また、廃液貯槽からイオン交換樹脂を収納容器へ抜き取る場合においては、水中ポンプを利用して行われるため、水分を排出するための排出(戻し)ライン等を検討する必要がある。

使用済みイオン交換樹脂の海外輸送においては、1回当りの廃樹脂輸送量が多くすることにより、輸送単価を削減可能であるため、輸送船に積載できるコンテナ数及びコンテナを配置するスペースの有無を確認し、最適な輸送量と輸送船を検討することが効率的である。また、使用済みイオン交換樹脂搬出時に放射エネルギーを評価し、返還される残滓中の放射エネルギーが同等であることを確認することが重要である。このため、使用済みイオン交換樹脂搬出時の放射エネルギーの評価方法を検討し、JMTR側と海外処理委託先との評価方法を共通化しなければならない。

輸送船の選定においては、PNTL 船を使用する場合は専用港接岸で廃樹脂の荷積みが可能であるが、一般船を使用する場合は積替えが必要となる場合があり、また、放射性物質輸送船の接岸が認められている一般港湾は、米国では東海岸に限定されているため使用する航海に調査が必要である。海上輸送ルートとしては、一般的な太平洋横断後にパナマ運河を経由するルートの他に、喜望峯、スエズ運河経由等があるが、最近の情勢を勘案すると、放射性物質輸送では政治的問題、テロ等の干渉を受けることが想定される。これらのことを考慮して、実現性・経済性などの観点から海上輸送ルート

を決定しなければならない。

海外で処理されたイオン交換樹脂の残滓の返還において、大洗研究開発センターの廃棄物管理施設にて受け入れ可能な残滓の返還形態、収納容器の寸法及び放射エネルギー評価方法を基準に海外処理委託先の仕様がこれに適合するか確認する必要がある。

3.2 法規上の課題と検討

Fig. 6に示すように、仮に使用済みイオン交換樹脂が「廃棄物」と位置づけられた場合であっても、放射性物質を他国に廃棄せず持ち帰れば、廃棄したと解釈されないことも考えられるので、使用済みイオン交換樹脂の原子炉等規制法上の位置づけを明確にしなければならない。また、事業所外の運搬においては、『放射性物質の事業所外の運搬に関する規則(核燃料物質事業所外運搬規則)』及び米国NRCの放射性物質に関する輸送規則 [49 CFR 173 / 10 CFR 71] に基づき、使用済みイオン交換樹脂が水分を除去した状態で固体であり均一とみなせれば、IP-2 の適用としてコンテナを用いて比較的簡単に輸送できる可能性がある。

使用済みイオン交換樹脂の海外への輸送にあたっては、輸出扱いとなるため、それが有価物であることの確認が必要(委託加工貿易)である。また、仮に使用済みイオン交換樹脂が「廃棄物」とみなされたとしても、『輸出貿易管理令』に基づき、関係省庁に確認の上、必要な承認手続きを行う必要がある。

3.3 社会的な課題と検討

スタズビック処理施設の米国内での使用済みイオン交換樹脂の処理実績をFig. 7に示す。スタズビック処理施設を例にとると、米国内における使用済みイオン交換樹脂の陸上輸送は、一般的なものであり、社会的に議論になることはないと考えられる。一方、残滓の返還については、関係官庁への説明が不可欠である。

3.4 考察

上述した使用済みイオン交換樹脂を海外委託して処理、減容するための課題を抽出し、課題項目とその検討実施の優先順位について整理した結果をTable 4に示す。その結果、海外委託により処理、減容するためするためのプロセスを確立するためには、次のステップで実施すべきであると考えられる。

(1) 基本計画の策定

使用済みイオン交換樹脂の抜取り、輸送、処理、残滓の返還の4つのプロセスの基本計画について、抽出された課題を骨子として作成し、事業の成立性を明確にする。スタズビック処理施設は操業開始から8年経過したところであり、現時点においてプラント寿命(一般的には約30年)は十分に残存していると思われる。JMTRが2011年の再稼動後少なくとも20年間は運転することを考慮すれば、スタズビック処理施設の老朽化・寿命の観点から、2011年頃までに委託が可能であるとの見通しを得ることができれば、スタズビック処理施設がプラント寿命に到達する前にJMTRに貯蔵している使用済みイオン交換樹脂を全て処理することが可能と考えられるため、早期に基本計画を作成する。

なお、使用済みイオン交換樹脂の事業所外への搬出、運搬、輸出(入)に係わる法規等の検討は、本プロセスの成立性に関わることであるため、最優先に取り組む必要がある。

(2) 経済性評価

基本計画に基づいて概算のプロジェクト費用を算出し、経済的な成立性及び他の処理処分方法と比しての優位性を明確にする。

(3) 小規模実証試験の実施

試験的に極少量の廃樹脂(500cm³程度)をスタズビック処理施設に輸出し、実際に処理することにより、実規模の輸出を合理的に行うための条件を抽出した(附録参照)。

4. まとめ

海外委託による使用済みイオン交換樹脂の廃棄物処理方法に関して技術的、法規上及び社会的観点からいくつかの問題点を抽出し、海外処理委託の実現に向けて今後課題とすべき事項を明確にすることができた。まず、課題のうち以下の点を解決することにより、海外委託によるJMTR原子炉施設内に保管されている使用済みイオン交換樹脂の処理が実施可能である見通しを得た。

今後、イオン交換樹脂の海外処理実現に向けて、Table 4に示したように技術的懸案事項においては、残滓の返還形態、収納容器の検討を行い、法規上の懸案事項においては、イオン交換樹脂の事業所外運搬及び輸出に係る関連法規、残滓の返還における事業所外運搬に係る法規について重点的に検討し、基本計画を作成した後、経済性及び優位性の観点から実現性を評価し、小規模実証試験を経ることにより実現確実なものとする。

謝 辞

報告書をまとめるにあたり、照射試験炉センター 石原正博副センター長から有意義なご助言、ご指導を頂きました。本報告書の内容について貴重なご意見を頂きました照射試験炉センター照射試験開発課 土谷邦彦研究主幹に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 日本原子力研究所大洗研究所原子炉施設設置変更許可申請書(完本), (2001)
- 2) 原子力産業会議: “放射性廃棄物管理 日本の技術開発と計画”, (1997)
- 3) IAEA-TECH-DOC 1527: “Application of Thermal Technologies for Processing of Radioactive Waste”, (2006)
- 4) 材料試験炉部: “JMTR第3排水貯槽増設設備機器 完成図”, (1989)
- 5) 材料試験炉部: 私信, (1986)
- 6) 原子力規制関係法令研究会“原子力規制関係法令集”, (2007)

Table 1 JMTRのイオン交換樹脂の仕様(1)

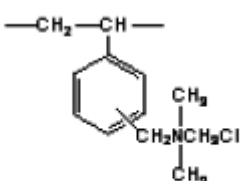
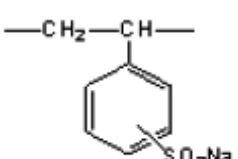
Type	Anion Exchange Resin	Cation Exchange Resin
Trade Name	SA10AL	SK1BL
Formula		
Anion	Cl ⁻	Na ⁺
Bulk Density (g/L-R)	665	830
Moisture Content (%)	43~47	43~50
Grain size	Greater than 1,180 μm : Less than 5% Less than 300 μm : Less than 1%	
Diameter (mm)	Greater than 0.40	
True Density	1.07	1.29

Table 2 樹脂及び残滓の種類と輸送物の区分

樹脂及び残滓の種類	比放射能	性状	収納物の区分	輸送物の区分	輸送容器
高濃度	$> 10^{-4} A_2$	——	——	A or B 型	キャスク
低濃度	$< 10^{-4} A_2$	均一	LSA-II	IP-2 型 (産業用輸送物)	ISOコンテナ

A_2 : 輸送規則で規定される放射能の値、 LSA: 低比放射性物質

Table 3 放射性物質安全輸送規則上の廃樹脂の位置づけ

-JMTRの使用済樹脂の放射能濃度実測値と平均比放射能-

	放射能濃度の実測値 (Bq/g)								平均比放射能 (A_2 との比)
	H-3	C-14	Co-60	Ni-63	Sr-90	Nb-94	Cs-137	全 α	
JMTR	—	—	54.69	—	—	—	3.28	—	1.42E-10

* : 「Table 1-1 JMTRの廃樹脂の仕様」の値を基に、廃樹脂の推定平均比放射能を評価すると次の通りである。比放射能は、産業用輸送物2型の要件を満足している。

-核種毎の規制値 (A_2 値)-

	H-3	C-14	Co-60	Ni-63	Sr-90	Nb-94	Cs-137	全 α
A_2 値 (Bq)	4.00E+13	3.00E+12	4.00E+11	3.00E+13	3.00E+11	7.00E+11	6.00E+11	9.00E+07

*1 : Ni-94は無制限なので除外

*2 : 収納する放射性物質が以下の要件を満足する場合、産業用輸送物2型の輸送物として、ISOコンテナで輸送することが認められている。

- ・ 放射能が全体にわたって分布している
- ・ 推定平均比放射能が以下の数量を超えない
 固体: $10^{-4} A_2/g$
 液体: $10^{-5} A_2/g$

Table 4 検討課題と優先順位

抽出された課題		計画段階	実行段階	
1. 技術的懸案事項	(1) 廃樹脂の抜取り	①廃樹脂抜取りシステム(仮設)の設計	-	3
		②排水場所の決定	-	3
		③廃樹脂輸送量の決定	2	-
		④放射エネルギー評価方法の設定	-	3
	(2) 廃樹脂の輸送	①使用船の検討	2	-
		②海上輸送ルート of 検討	2	-
	(3) 廃樹脂の処理	①委託処理量の決定	2	-
		②委託時期の早期化	1	-
	(4) 残滓の返還	①残滓の返還形態、収納容器の決定	1	-
		②放射エネルギー評価方法の設定	-	3
2. 法規上懸案事項	(1) 廃樹脂の抜取り	①廃樹脂の事業所外への搬出に係わる法規の検討	1	-
	(2) 廃樹脂の輸送	①廃樹脂の事業所外の運搬に係わる法規の検討	1	-
		②廃樹脂の輸出に係わる法規の検討	1	-
	(3) 残滓の返還	①残滓の事業所外の運搬に係わる法規の検討	1	-

1:重要事項。事業の成立性に係わるので早急に解決する必要がある。

2:基本的情報。計画時に解決する必要がある。

3:その他

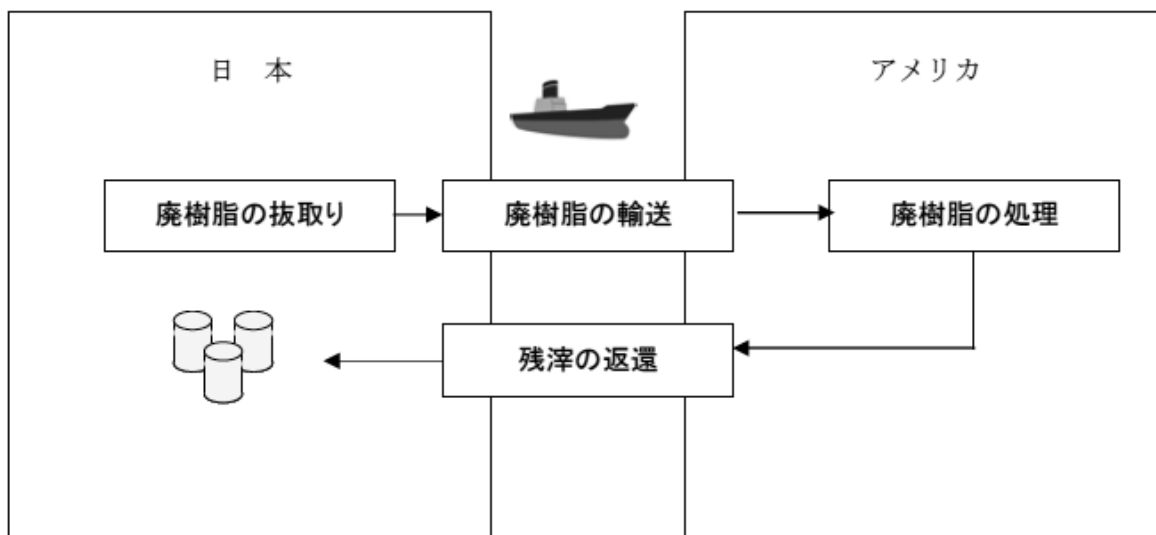


Fig. 1 使用済みイオン交換樹脂の海外委託処理の処理工程



Fig. 2 使用済みイオン交換樹脂の専用収納容器



Fig. 3 使用済みイオン交換樹脂の米国内の陸上輸送

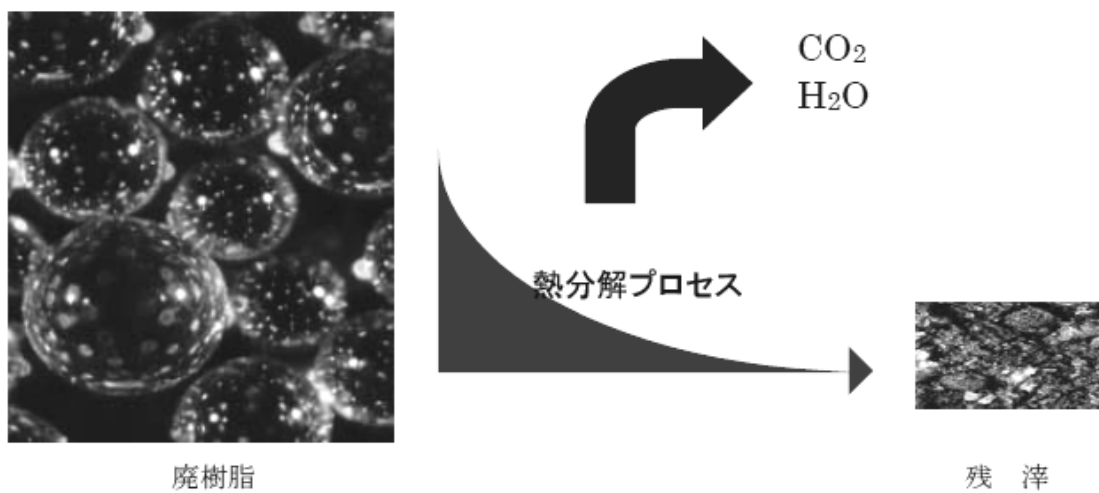


Fig. 4 使用済みイオン交換樹脂の処理フロー



Fig. 5 スタブビック処理施設制御室の状況

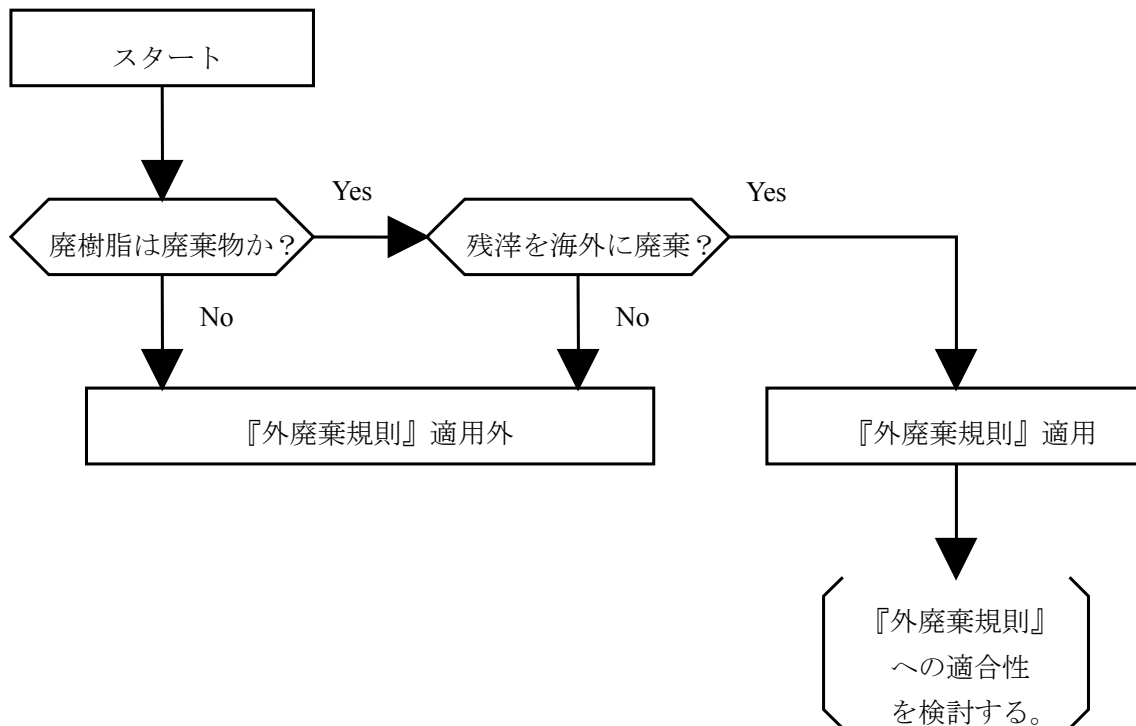


Fig. 6 『外廃棄規則』への適合性検討フロー



- ★: SPF (廃樹脂処理実績: 約1,000m³/年間)
- : 廃樹脂委託処理の原子力発電所(米国)

Fig. 7 スタズビック処理施設での使用済みイオン交換樹脂の処理実績

【スタズビック社からの情報提供による】

附録 小規模実証試験計画

1. 目的

海外では使用済みイオン交換樹脂等の放射性廃棄物を減容、再利用する集中処理事業が実用化しているが、わが国には集中処理施設がなく処理、減容、再利用等は各サイトが独自に実施しており不経済となっている。今後、原子力施設の老朽化による更新工事や廃止措置が進むと、少量にも係わらず特殊な処理が必要となり、廃樹脂等の処理が深刻な課題になると予想される。

この課題の有力な解決策として、放射性廃棄物を海外の集中処理事業者に委託処理することが考えられる。海外の集中処理事業者に委託できれば、高額な処理設備の建設や運転員の確保が不要となり、必要の都度廃棄物を搬出できるので、経済的で便利なオプションが得られる。

本調査は、試験的に少量の廃樹脂を米国のスタズビック処理施設(Fig.A-1)に輸出し、実際に処理することにより、放射性廃棄物の輸出実績を確保し、将来の実規模の輸出を合理的に行うための条件を抽出することを目的とする。

2. 課題

本調査で解決しようとする課題は次の通りである。

① 放射性物質の輸出に関する承認の取得

わが国の放射性物質の輸出に関連する法令は以下の通りである。

- － 使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約
- － 外為法/輸出貿易管理令

平成15年にわが国が批准した「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」に基づく国内法の整備により、輸出貿易管理令の一部が改定(別2貨物)され、核燃料物質及び核原料物質(使用済燃料含む)、放射性廃棄物等、放射性同位元素を他国に輸出することが可能となっている。

② 二次廃棄物の輸入に関する手続きの確立

全欧州及び米国の一部で放射性廃棄物を処理した場合は、分離・除去された放射能を含んだ残滓は委託者に返還されるルールとなっている。これは、前出「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」の前文に明記されている[放射性廃棄物は、その管理の安全と両立する限り、それが発生した国において処分されるべきもの]との国際的原則に基づいている。また、放射能の返還(輸入)については、慎重に対処しなければならない事項である。

わが国には、返還廃棄物を規制する法令として唯一「外廃棄規則」があるが、これは廃棄物が搬出元でない他の事業所に返還される場合に適用される。例えば、電力の搬出した使用済み燃料を海外で再処理して、発生した高レベル廃棄物を六ヶ所に返還する場合は該当する。返還に際しては二次廃棄物の仕様が受け入れる事業所の保安に支障がないことを事前に確認することが義務付けられている。

しかし、この規則は、放射性廃棄物を搬出した同一の事業所に二次廃棄物を返還するケースには適用されない。したがって、同一事業所に廃棄物を返還する場合は規制を受けないと解釈できる。ただし、前出の「使用済燃料管理及び放射性廃棄物管理の安全に関する条約」において、廃棄物の越境移動に際しては仕向け国(つまり日本)の同意を求めており、当局による何らかの介入

が必要になると考えられる。この手続きについて、関係省庁と協議する必要がある。

③ コスト因子の抽出

試験サンプルの輸出と処理を通じて、コスト因子を抽出し、将来の実業務の合理化策を検討する必要がある。

3. 目標

本調査の達成目標は次の通りとする。

- ① 廃樹脂の輸出承認の実績の確保
- ② 二次廃棄物の輸入確認の実績の確保
- ③ 廃樹脂の処理条件の確認
- ④ 将来の実業務の作業要領書の整備

4. 本調査のメリット

- ① 試験に供する廃樹脂は少量であり、実証試験に要するコストが安い。
- ② 手続きなど将来の実務の環境が整備される。
- ③ 得られた知見に基づき将来のコストダウンの方策を検討できる。

5. 実施内容

(1) 前提条件の調査

使用済みイオン交換樹脂の輸送、処理に係わる基本情報を調査、整理する。

(2) 試験マトリックスの策定

集中処理場の試験施設で実施する試験マトリックスを策定する。

(3) 輸出手続き

関係省庁と本件輸出について承認取得の協議を行う。

(4) 輸送

約500cm³の脱水した廃樹脂の大洗研究開発センター～スタズビック処理施設(米国、テネシー州)間の輸送を行う。本件の輸送量は少量のため航空機輸送を考える。

(5) 試験

本試験は、スタズビック処理施設が米国で運営する廃樹脂の集中処理事業所で実施する。この事業所では、「熱分解/水蒸気改質処理法: THOR」という特許技術を用いて、廃樹脂のような燃えにくい性状のプラスチックを効率的に処理しており、これまでに全米40ヶ所の原子力発電所から廃樹脂を受け入れている。試験に使用する装置は、事業所内のホットラボ(Fig.A-2参照)に設置されている、加熱炉及びベンチスケール炉(Fig.A-3参照)である。

a. 予備試験

加熱炉を用いて廃樹脂の重量減少量及び残渣中の塩分含有量を分析する。これらのデータとスタズビック処理施設のデータベースを突き合わせ、廃樹脂の処理条件を決定する。

b. 本試験

ベンチスケール炉を用いて廃樹脂の熱分解/水蒸気改質処理を複数実施し、最適なサイクルタイムと処理温度を見極めると共に、減容率、核種移行率を求める。

(6) 二次廃棄物の輸入

試験で発生する残渣約50cm³ を空輸で大洗サイトに返還する。

(7) 成果報告書の作成

得られた情報、データを報告書にまとめ、将来の実輸出業務の要領書案を策定し、コスト因子を抽出して、合理化対策を検討する。



Fig.A-1 スタズビック処理施設



Fig.A-2 スタズビック処理施設のホットラボ

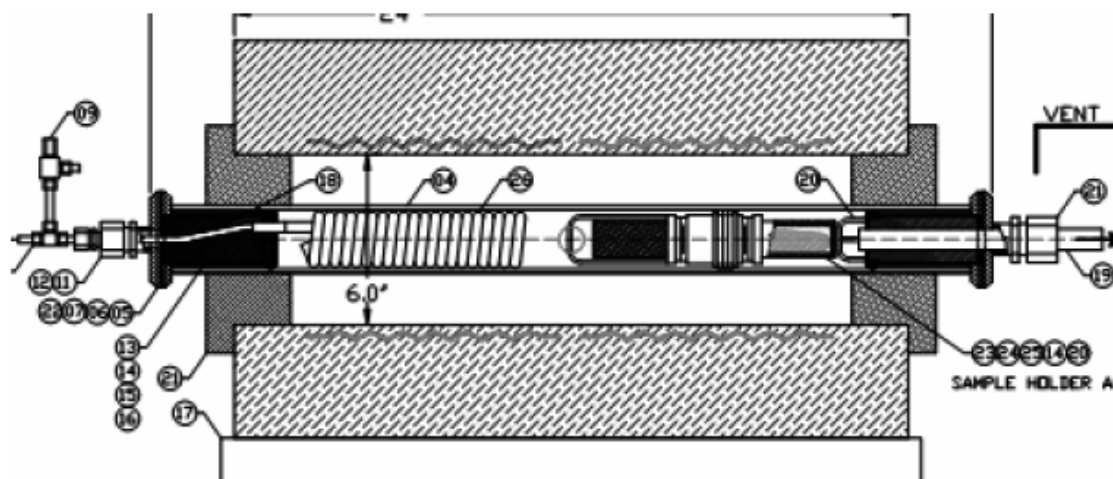


Fig.A-3 試験装置の一例(ベンチスケール炉)

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m ²
体積	立方メートル	m ³
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²
波数	毎メートル	m ⁻¹
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m ²
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²
屈折率 ^(b)	(数字の)	1
比透磁率 ^(b)	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	s ⁻¹	s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²	m ⁻² cd
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性	カタール	kat		s ⁻¹ mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で「radioactivity」と記される。
 (g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ =s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² =s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎立方メートル	J/K	m ³ kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ³ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ³ s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ² s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m ³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
吸収線量	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射強度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ =m ² kg s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ =kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 ²⁴	ヨタ	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペタ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テラ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギガ	G	10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁶	メガ	M	10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ³	キロ	k	10 ⁻¹⁸	アト	a
10 ²	ヘクト	h	10 ⁻²¹	ゼプト	z
10 ¹	デカ	da	10 ⁻²⁴	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60 s
時	h	1 h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha=1 hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=1 l=1 dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1 t=10 ³ kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1 Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1 u=1 Da
天文単位	ua	1 ua=1.495 978 706 91(6)×10 ¹¹ m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1 nm=100 pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852 m
バイン	b	1 b=100 fm ² =(10 ⁻¹² cm) ² =10 ⁻²⁸ m ²
ノット	kn	1 kn=(1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的な関係は、 対数量の定義に依存。
ベベル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エルグ	erg	1 erg=10 ⁻⁷ J
ダイン	dyn	1 dyn=10 ⁻⁵ N
ポアズ	P	1 P=1 dyn s cm ⁻² =0.1 Pa s
ストークス	St	1 St=1 cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1 cd cm ⁻² =10 ⁻⁴ cd m ⁻²
フォトル	ph	1 ph=1 cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1 cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G cm ² =10 ⁻⁸ Wb
ガウス	G	1 G=1 Mx cm ⁻² =10 ⁻⁴ T
エルステッド ^(c)	Oe	1 Oe ≐ (10 ³ /4π) A m ⁻¹

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≐」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R=2.58×10 ⁻⁴ C/kg
ラド	rad	1 rad=1 cGy=10 ⁻² Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10 ⁻² Sv
ガンマ	γ	1 γ=1 nT=10 ⁻⁹ T
フェルミ	f	1 f=1 fm=10 ⁻¹⁵ m
メートル系カラット		1メートル系カラット=200 mg=2×10 ⁻⁴ kg
トル	Torr	1 Torr=(101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm=101 325 Pa
カロリー	cal	1 cal=4.1868 J (「15°C」カロリー), 4.1868 J (「IT」カロリー), 4.184 J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ=1 μm=10 ⁻⁶ m

