



低レベル放射性廃棄物の廃棄体輸送に関する検討

Study on Transportation of Low Level Waste Package for Disposal

高橋 邦明 川戸 喜実 花田 圭司

Kuniaki TAKAHASHI, Yoshimi KAWATO and Keiji HANADA

バックエンド推進部門

バックエンド技術開発ユニット

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit

Nuclear Cycle Backend Directorate

July 2009

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは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 +81-29-282-5901, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

低レベル放射性廃棄物の廃棄体輸送に関する検討

日本原子力研究開発機構
バックエンド推進部門バックエンド技術開発ユニット
高橋 邦明、川戸 喜実、花田 圭司*

(2009年4月24日受理)

今後、放射性廃棄物の処分が本格化すると、大量の廃棄体を処理施設から埋設処分施設へ輸送することが予想されることから、廃棄体の輸送については、安全、確実な方法の検討が必要であるとともに、輸送作業の軽減や輸送コストの低減が重要な検討課題となる。

そこで、輸送計画の具体化に資するため、廃棄体輸送に関する関係法令、規則及び規準等を調査・整理するとともに、一例として原子力機構の再処理施設及びMOX施設から発生する廃棄体の輸送区分や一定規模の廃棄体量を想定したときの輸送回数、輸送コスト等について検討を行った。検討に当たっては、平成17年に取りまとめたTRU廃棄物処分技術検討書等で想定した原子力機構の廃棄体を例に行った。

その結果、輸送区分は、IP型輸送物は86%、A型輸送物は2%、B型輸送物は12%であった。一方、輸送回数に関しては、TRU廃棄物処分技術検討書等で想定した再処理施設及びMOX施設廃棄物の廃棄体量(2000ドラム缶換算で約15,000本)を海上輸送した場合、120回程度になることが分かった。

Study on Transportation of Low Level Waste Package for Disposal

Kuniaki TAKAHASHI, Yoshimi KAWATO and Keiji HANADA※

Nuclear Cycle Backend Technology Development Unit
Nuclear Cycle Backend Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 24, 2009)

It is anticipated that a large number of waste packages will be transported from waste processing facilities to a disposal facility when the disposal of Low Level Waste (LLW) will be begun in earnest. It is needed to study on measures of safe, economic and feasible transportation of waste packages.

Regulatory matters for transportation of radioactive waste, legislation, regulations and standards, are checked. We have conducted a study on cost and transportation measure for waste packages from Tokai reprocessing plant and MOX fuel fabrication facilities in Nuclear Fuel Cycle Engineering Laboratories. Here, the number, radioactive inventory and properties of the waste packages are quoted from the second progress report on research and development for TRU waste disposal in Japan. We sorted out the waste packages by the type of packages based on the legislation for transportation of radioactive material. We have studied the packaging for each type of package, and have estimated number of the packages of a conveyance, number of conveyances for transportation of all waste packages.

As a result, the waste packages constitutes ca. 86 % of Industrial package Type 2, ca. 2 % of Type A package and ca. 12 % of Type B package. Number of transport by sea for the waste packages is estimated as about 120 times.

Keywords : Low Level Waste, Waste Packages, Transportation, Radioactive Waste, Packaging

※ Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 輸送規則の整理	2
2.1 廃棄体の輸送に係る輸送規制	2
2.1.1 海上輸送に係る法体系	2
2.1.2 陸上輸送に係る法体系	3
2.2 工場又は事業所内の輸送に関する法令	4
2.3 輸送物の種類	5
2.3.1 輸送物の区分	5
2.3.2 L型輸送物	6
2.3.3 A型輸送物	6
2.3.4 B型輸送物	7
2.3.5 IP型輸送物	7
2.3.6 核分裂性輸送物	10
2.4 輸送区分の評価方法	11
2.5 輸送物の技術基準及び試験条件	12
2.5.1 輸送容器の設計に対する要件	12
2.5.2 技術要件	12
3. 廃棄体の輸送区分及び輸送方法	17
3.1 輸送対象物（廃棄体）の種類	17
3.1.1 操業廃棄物	17
3.1.2 解体廃棄物	18
3.2 廃棄体の放射能濃度	18
3.3 埋設処分で設定されている廃棄物の輸送区分	18
3.4 輸送容器	27
3.4.1 IP型輸送物の輸送容器	27
3.4.2 B型輸送物の輸送容器	27
3.5 輸送手段	28
3.5.1 海上輸送	28
3.5.2 陸上輸送	29
4. 輸送区分、輸送回数及び輸送コストの検討	30
4.1 輸送区分	30
4.2 輸送回数、輸送コスト	32
4.2.1 処分容器及び輸送容器の条件	32
4.2.2 輸送物量	33
4.2.3 輸送能力及び輸送単価	34
4.2.4 検討結果	34
5. まとめ	36
6. おわりに	37
参考文献	37

Contents

1. Introduction	1
2. Investigation about transport regulations	2
2.1 Transportation regulation concerning the transportation of the waste packages	2
2.1.1 Regulations on sea transport	2
2.1.2 Regulations on land transport	3
2.2 Laws about the transportation in the factory or the premises	4
2.3 Package type	5
2.3.1 Classification of the transportation packages	5
2.3.2 Type L package	6
2.3.3 Type A package	6
2.3.4 Type B package	7
2.3.5 Industrial package	7
2.3.6 Packages containing fissile material	10
2.4 Evaluation method of the transportation classification	11
2.5 Technical standard on and examination conditions of the transportation packages	12
2.5.1 Requirement for the design of the transportation container	12
2.5.2 Technical requirement	12
3. Transportation classification and transportation mode of the waste packages	17
3.1 Kind of waste packages	17
3.1.1 Operation waste	17
3.1.2 Dismantling waste	18
3.2 Radioactivity concentration of waste packages	18
3.3 Transportation classification of waste established in underground disposal	18
3.4 Packaging	27
3.4.1 Packaging of industrial packages	27
3.4.2 Packaging of type B packages	27
3.5 Conveyance	28
3.5.1 Sea transport	28
3.5.2 Land transport	29
4. Study on Transportation classification, number of transportation and transportation cost	30
4.1 Transportation classification of waste packages	30
4.2 Number of transportation and transportation cost	32
4.2.1 Condition on disposal container and packaging	32
4.2.2 Transportation amount of waste	33
4.2.3 Transportation capacity and unit price	34
4.2.4 Result	34
5. Summary	36
6. Conclusion	37
Reference	37

図目次

図 1	海上輸送に適用される主な法体系	2
図 2	陸上輸送に適用される主な法体系	3
図 3	放射性廃棄物の輸送区分評価フロー	11
図 4	廃棄体の輸送フロー	17
図 5	LLW-1型輸送容器の外形図	27
図 6	ISOコンテナの外形図	27
図 7	ATB8K型輸送容器の外形図	28
図 8	低レベル放射性廃棄物輸送の専用船（青栄丸）での積載例	29
図 9	使用済燃料輸送の専用船（六栄丸）での積載例	29
図 10	輸送隊列の編成例	29
図 11	廃棄体全体の輸送区分	31
図 12	施設別にみた輸送区分	31
図 13	処分区分別にみた輸送区分	32

表目次

表 1	構内輸送に関する主要な要件	4
表 2	L型輸送物の収納物に係る放射能限度	6
表 3	IP型輸送物の区分	7
表 4	LSA-II及びLSA-IIIの満たすべき条件	9
表 5	廃棄体の輸送物に係る技術上の基準	13
表 6	一般及び特別の試験条件	15
表 7	廃棄体の放射能濃度	18
表 8-1	埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分（サイクル廃棄物）（1/2）	19
表 8-2	埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分（サイクル廃棄物）（2/2）	21
表 9-1	埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分（原子炉廃棄物）（1/2）	23
表 9-2	埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分（原子炉廃棄物）（2/2）	25
表 10	輸送区分の評価条件	30
表 11	廃棄体量	32
表 12	処分容器及び輸送容器の条件	33
表 13	輸送物量	33
表 14	輸送能力及び輸送単価	34
表 15	輸送回数	35
表 16	輸送頻度	35
表 17	概算輸送コスト	35

This is a blank page.

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」という）では、これまでの50年に亘る研究開発に伴い発生した多種多様な低レベル放射性廃棄物（以下「廃棄物」という）を保管しており、今後も継続して進めていく研究開発により廃棄物が発生する。これまでに発生した廃棄物は、関連する法令や各研究所で定められた規則に従い安全に保管しており、今後、これらの廃棄物をドラム缶等の処分容器にセメントで固定化するなどして処分に適した形態（以下「廃棄体」という）にし、安全かつ合理的に処分を行っていく計画である。原子力機構から発生する廃棄体量は、平成60年までに2000ドラム缶換算で約54万本と見積もっている¹⁾。これらの廃棄体は、放射能濃度等に応じて浅地中処分施設、余裕深度処分施設、地層処分施設へ輸送し、埋設処分する計画である。

現在、原子力機構では、保管廃棄物や今後発生する廃棄物を廃棄体に処理するための施設（以下「廃棄体化施設」という）の建設や運転に向けた準備を進めているところである。また平成20年の原子力機構法の改正により、原子力機構は研究所等廃棄物の浅地中処分の事業主体として、浅地中処分施設の建設、操業を行っていくことが決定され、そのための準備を開始したところである。

一方、廃棄体化施設で製作した廃棄体を埋設処分するためには、廃棄体化施設から埋設処分施設へ輸送する必要がある。仮に上記の約54万本の廃棄体を50年間で埋設処分施設へ輸送すると、年間1万本強の廃棄体を輸送する必要がある。このように多量の放射性物質を定常的に輸送したことはこれまでないことから、廃棄体の輸送を安全かつ合理的に実施するための方策を検討することは重要な課題である。

そこで本報告書では、廃棄体輸送の検討に資するため、廃棄体の輸送に係る関係法令、規則及び規準等を調査・整理するとともに、ケーススタディとして核燃料施設から発生する廃棄体の輸送区分、輸送手段及び輸送頻度、輸送コスト等について予備的検討を行った。検討は、平成17年に取りまとめたTRU廃棄物処分技術検討書²⁾等（以下「TRU2次レポート等」という）で想定されている原子力機構の再処理施設及びMOX施設からの廃棄物を対象に行った。

2. 輸送規則の整理

2.1 廃棄体の輸送に係る輸送規制

我が国では、原子力発電所で使用する新燃料や原子力発電所からの使用済燃料の輸送、低レベル放射性廃棄物の輸送が定期的に行われている。核燃料物質等は国内においては主としてトラックやトレーラ等による陸上輸送が行われているが、使用済燃料や原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の輸送は、専用の輸送船によって行われている。これらの輸送は、国による厳重な安全規制と事業者による安全対策の下に実施されている。

核燃料物質や放射性廃棄物などの輸送に係る安全規制は、国際原子力機関（以下「IAEA」という）が定めた放射性物質安全輸送規則を、我が国を含め各国が各々の国内法令に取り込み、国際的な共通基準の下に実施されている。具体的には、陸上輸送の場合は核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律（以下「原子炉等規制法」という）によって規制され、海上輸送の場合は船舶安全法によって規制されている。

陸上輸送の場合、輸送を行おうとする者は、運搬のつど、核燃料輸送物が技術基準に適合していることを、核燃料物質の使用者及び試験研究用の原子炉設置者は文部科学大臣又は原子力安全基盤機構の確認を受け、また、製錬、加工、使用済燃料の貯蔵、再処理、廃棄事業者、発電用の原子炉設置者は経済産業大臣又は原子力安全基盤機構の確認をそれぞれ受ける。さらに、輸送にあたっては、あらかじめ運搬の経路を管轄する都道府県公安委員会に届けて運搬証明書の交付を受けなければならない。

海上輸送の場合は、基本的には陸上輸送と同様の規制が国土交通省及び海上保安庁によって行われており、核燃料物質に関する技術基準も陸上輸送に供されるものと同様である。陸、海を一貫して輸送される核燃料輸送物については、文部科学省、経済産業省又は原子力安全基盤機構の確認が行われた場合は、船舶安全法に基づく国土交通大臣の確認を受けたものとみなされる。

以下に海上輸送と陸上輸送に係る輸送規制の法体系の概要を示す。

2.1.1 海上輸送に係る法体系

輸送船による海上輸送に適用される主な法体系を図1に示す。

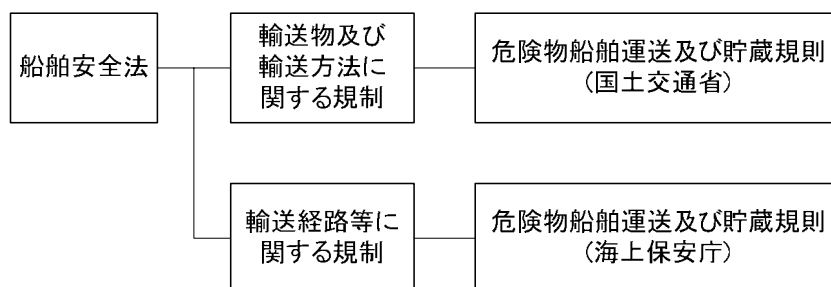


図1 海上輸送に適用される主な法体系

図中の危険物船舶運送及び貯蔵規則（以下「危規則」という）は、危険物を海上輸送する場合の技術基準全般を規定した規則であり、放射性物質は危険物（例えば、爆発物、毒物等）の一つとして位置づけられ、収納物に応じた適切な輸送容器を用いることが規定されている。

危規則での放射性物質の輸送に関する事項や考え方は、IAEAの輸送規則に基づき定められている。IAEAの輸送規則は、国際間の輸送を円滑に行う目的で、各国の輸送規則を統一するために作成された文書であり、規則と呼ばれているものの、実際にはIAEAが各国の規制当局に向けて発信する勧告で、それ自体に法的な拘束力はない。IAEAに加盟する各国は、IAEAの輸送規則に基づき自国の輸送規則を策定することに合意している。IAEAの輸送規則が改定された場合、各国の規制当局は、自国の法令を改正することとなっているが、各国内の規則は、各国の規制当局の管轄であるため、各国内規則の細部がIAEAの輸送規則と異なっている場合もある。

2.1.2 陸上輸送に係る法体系

トレーラ等の輸送車両による陸上輸送に適用される主な法体系を図2に示す。

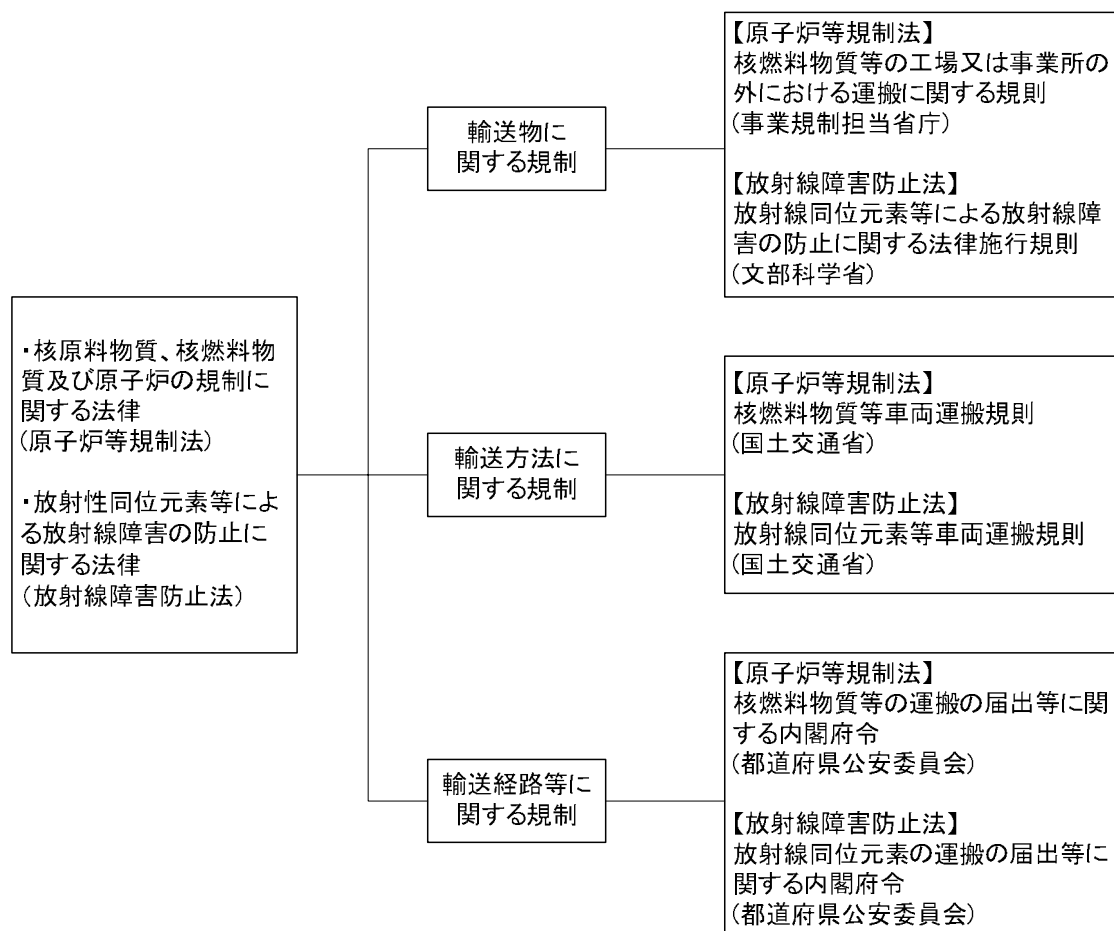


図2 陸上輸送に適用される主な法体系

図中の核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則（以下「外運搬規則」という）は、輸送物に関する技術基準を規定した規則であり、海上輸送の場合と同様に I A E A の輸送規則に基づき策定されている。

輸送対象物が核燃料物質等に区分される場合は、原子炉等規制法が適用され、放射性同位元素等に区分される場合は、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（以下「障害防止法」という）が適用される。両法令とも I A E A の輸送規則に準拠しており、基本的に同様の技術基準が課せられている。両法令の主な相違点は、核燃料物質等に係る法令では、放射性物質として輸送しなくともよい下限の放射能濃度が定められていないのに対し、放射性同位元素等に係る法令では、この下限値が定められている点である。

2.2 工場又は事業所内の輸送に関する法令

前項に示す規則は、事業所外の輸送、すなわち事業所から埋設処分施設までの輸送に適用される規則である。一方、廃棄体化施設から事業所の搬出門までの輸送（事業所構内の輸送）は、各施設の規則に定められている。

再処理施設を例にとると、「使用済燃料の再処理の事業に関する規則」の適用を受け、当該規則の第 14 条に「工場又は事業所内の運搬」が定められている。表 1 に構内輸送に関する主要な要件を示す。なお、構内輸送は管理区域以外に適用される。

表 1 構内輸送に関する主要な要件

	構内輸送の要件	備考
臨界の防止	いかなる場合においても臨界に達するおそれがないように行うこと	
容器	直方体の各辺が 10cm 以上	
	容易かつ安全に取り扱う、かつ、運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動により、亀裂、破損等が生じない	外運搬規則における L 型輸送物の要件に同じ
線量当量率	運搬物の表面の線量当量率：2mSv/h	外運搬規則に同じ
	運搬物の表面から 1m 離れた位置の線量当量率：0.1mSv/h	
表面汚染	α 線を放出する放射性物質：0.4Bq/cm ²	外運搬規則に同じ
	α 線を放出しない放射性物質：4Bq/cm ²	
転倒防止	運搬中において移動し、転倒し、又は転落するおそれのないように行うこと	
標識	運搬物及びこれらを運搬する車両の適当な箇所に経済産業大臣の定める標識を取り付けること	

構内輸送の場合、構外輸送での事故時の要件を課されないのが特徴である。

また、輸送物が外運搬規則に適合している場合、構内輸送に係る規則は適用されない。このことから、構内輸送に用いる輸送容器などは外運搬規則に適合させることで共用化を図ることが合理的である。

第 14 条

4 再処理事業者は、核燃料物質等の運搬に関し、核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する規則第 3 条から第 17 条まで及び核燃料物質等車両運搬規則第 3 条から第 19 条までに規定する運搬の技術上の基準に従って保安のために必要な措置を講じた場合には、第 1 項の規定にかかわらず、当該核燃料物質等を再処理施設を設置した工場又は事業所内において運搬することができる

2.3 輸送物の種類

2.3.1 輸送物の区分

我が国における輸送規則の基となっている I A E A の輸送規則での基本的な考え方は、収納物に応じた適切な輸送容器を用いることにより、放射性物質を閉じ込め、あるいは臨界を防止することで安全を確保することである。輸送物は、輸送容器に放射性収納物を収納したものと定義され、放射性収納物に含まれる放射エネルギーによって、L 型輸送物、A 型輸送物、B 型輸送物、I P 型輸送物及び核分裂性輸送物に分類され、それぞれ満たすべき技術基準が規則に定められている。

輸送区分を判断するための放射エネルギーの判定基準は、放射エネルギーの限度値として A_1 値及び A_2 値の 2 つが定められている。「核燃料物質等の工場又は事業所の外における運搬に関する技術上の基準に係る細目等を定める告示」（以下「外運搬告示」という）では以下のように定義されている。

外運搬告示第 4 条

規則第 3 条第 1 項第 2 号の主務大臣の定める量は、次の表の上欄（注：左欄）に掲げる核燃料物質等の区分に応じ、それぞれ同表の下欄（注：右欄）に掲げる放射エネルギーとする。

核燃料物質等の区分	放射エネルギー
特別形核燃料物質等	A_1 値
特別形核燃料物質等以外のもの	A_2 値

また、特別形核燃料物質等は以下のように定義されている。

（外運搬告示第 3 条の表中）

容易に散逸しない固体状の核燃料物質等又は核燃料物質等を密封したカプセルであって、次に掲げる基準に適合するもの（以下「特別形核燃料物質等」という。）

イ 外接する直方体の少なくとも一辺が 0.5cm 以上であること。

ロ 別記第一に定めるところにより、衝撃試験及び打撃試験（長さが 10cm 以上であり、かつ、長さの幅に対する比率が 10 以上である核燃料物質等にあつては、衝撃試験、打撃試験及び曲げ試験）を行った場合に損壊せず、加熱試験を行った場合に熔融又は分散せず、並びに浸漬試験を行った場合に水中への放射性物質の漏えい量が、2kBq を超えないものであること。

核燃料物質等の場合、外運搬告示に核種毎の A_1 値及び A_2 値が定められている。

本検討で対象としている廃棄体についてみると、「特別形核燃料物質等」とは、非散逸性の固体状の核燃料物質又は核燃料物質等を密封したカプセルであることから、これには該当せず「特別形核燃料物質等以外のもの」として取扱われるものと考えられる。従って、廃棄体の輸送区分を判断する際に用いる放射エネルギーは A_2 値が妥当である。

2.3.2 L型輸送物

L型輸送物は、危険性がきわめて少ない輸送物として定められているもので、これは我が国独特の輸送区分に対する呼称であり、IAEAの輸送規則では適用除外輸送物 (Excepted Package) と呼称されている。後述するように、A型やB型輸送物の線量基準では、輸送物表面の最大線量当量率が 2mSv/h 、輸送物から 1m 離れた位置の最大線量当量率が 0.1mSv/h であるのに対し、L型輸送物では、輸送物表面の最大線量当量率が $5\mu\text{Sv/h}$ と他の型式の輸送物と比較して著しく厳しいものとなっている。L型輸送物の収納物に係る放射能限度を表2に示す。

表2 L型輸送物の収納物に係る放射能限度

核燃料物質等の区分		機器又は物品		物質
		品目毎の限度	輸送物毎の限度	輸送物毎の限度
固体	特別形放射性物質	$10^{-2}A_1$	A_1	$10^{-3}A_1$
	その他の形	$10^{-2}A_2$	A_2	$10^{-3}A_2$
液体		$10^{-3}A_2$	$10^{-1}A_2$	$10^{-4}A_2$
気体	トリチウム	0.8TBq	8TBq	0.8TBq
	特別形放射性物質	$10^{-3}A_1$	$10^{-2}A_1$	$10^{-3}A_1$
	その他の形	$10^{-3}A_2$	$10^{-2}A_2$	$10^{-3}A_2$

ここで、「機器又は物品」は、放射性物質を密封する機能を有した機器類を意味している。また「特別形放射性物質」は、非散逸性の固体状放射性物質又は密封カプセルと定義されている。

本検討で対象としている廃棄体についてみると、放射性物質を密封する機能を有しない固体状の「物質」の「その他の形」に属するものと考えられることから、輸送する廃棄体がL型輸送物になるか否かを判断する放射能限度は、 $10^{-3}A_2$ 値と比較することになる。しかし、現実的には廃棄体中に含まれる放射エネルギーは $10^{-3}A_2$ 値を超えることからL型輸送物に区分されるものはほとんどない。

2.3.3 A型輸送物

A型輸送物は、 A_2 値以下の放射エネルギーをもった放射性物質が収納されたものであり、これに区分される輸送物は後述するような技術上の基準や一般試験基準が課せられている。

2.3.4 B型輸送物

B型輸送物は、 A_2 値を超える放射エネルギーをもった放射性物質が収納されたものであり、BM型輸送物とBU型輸送物とがある。BM型輸送物は、国際輸送する場合に設計国、通過国及び使用国のすべての国の当局から輸送物や輸送の安全性などについて許可を受けなければならないのに対し、BU型輸送物は、設計国の許可を取れば、通過国、使用国は自動的にその安全性について許可を与えるとともに使用を承認される輸送物である。そのためBU型輸送物はBM型輸送物に比べて厳しい技術基準と試験が課せられている。またB型輸送物は、A型輸送物に課せられている一般の試験に加えて、特別の試験条件による試験が課せられている。

本検討で対象としている廃棄物の内、線量の高い再処理施設廃棄物の廃棄物や α 核種を多く含むMOX施設廃棄物の廃棄物、即ち地層処分相当の廃棄物ではB型輸送物に区分されるものが多い。

2.3.5 IP型輸送物

IP型輸送物は、低比放射性（以下「LSA」という）物質又は表面汚染物（以下「SCO」という）を収納するものである。LSA物質は、放射能濃度が低い核燃料物質等で危険性が少ないもの、SCOは、核燃料物質等によって表面が汚染されたものである。

IP型輸送物は、収納物の種類（液体、固体）や専用積載か否かによって、IP-1型、IP-2型、IP-3型に分類されている。IP型輸送物の区分を表3に示す。

表3 IP型輸送物の区分

LSA物質又はSCO (収納物)		輸送物の区分	
		専用積載として 運搬する場合	専用積載としないで 運搬する場合
LSA-I	固体	IP-1型	IP-1型
	液体又は気体	IP-1型	IP-2型
LSA-II	固体	IP-2型	IP-2型
	液体又は気体	IP-2型	IP-3型
LSA-III		IP-2型	IP-3型
SCO-I		IP-1型	IP-1型
SCO-II		IP-2型	IP-2型

専用積載とは、以下のように定義されている。

外運搬規則第1条

七 専用積載 鉄道、軌道若しくは無軌条電車の車両、索道の搬器、自動車、軽車両又は外接する直方体の一辺が1.5m以上のコンテナ（内容積が 3m^3 を超えるものに限る。）が一の荷送人によって専用され、かつ、運搬する物の積み及び取卸しが荷送人又は荷受人の指示によって行われる積載の方法をいう。

(1) S C Oの基準

S C Oに関する基準は、以下の通りである。

外運搬告示第5条

2 規則第3条第2項の主務大臣の定める表面汚染物は、核燃料物質等によって表面が汚染されたもの（以下この項において「汚染物」という。）であって、次に掲げる各号の一に該当するもののうち、放射能の量がA₂値の100倍を超えず、かつ、容器に収納することとした場合に、当該汚染物の表面から3m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないものとする。ただし、容器によるしゃへの効果は考慮しないこととする。

一 次の表の上欄（注：左欄）に掲げる表面の汚染の区分に応じ、それぞれ同表の下欄（注：右欄）に掲げる密度を超えないもの（以下「S C O-I」という。）

表面の汚染の区分		密度
通常の手扱ひにおい て、人が触れるおそ れがある表面の汚染 であって、はく離す るおそれがあるもの （以下「接近できる 表面の非固定性汚 染」という。）	α線を放出する低危険性の放射性物質 （天然ウラン、劣化ウラン、天然トリウ ム、U 2 3 5、U 2 3 8、T h 2 3 2、 精鉍に含まれるT h 2 2 8若しくはT h 2 3 0又はα線を放出する物理的半減期 が10日未満の放射性物質をいう。以下同 じ。）以外のα線を放出する放射性物質	0.4Bq/cm ²
	α線を放出しない放射性物質及びα線を 放出する低危険性の放射性物質	4Bq/cm ²
その他の汚染	α線を放出する低危険性の放射性物質以 外のα線を放出する放射性物質	4kBq/cm ²
	α線を放出しない放射性物質及びα線を 放出する低危険性の放射性物質	40kBq/cm ²

二 次の表の上欄（注：左欄）に掲げる表面の汚染の区分に応じ、それぞれ同表の下欄（注：右欄）に掲げる密度を超えないもの（前号に定めるものを除く。以下「S C O-II」という。）

表面の汚染の区分		密度
接近できる表面の 非固定性汚染	α線を放出する低危険性の放射性物質以 外のα線を放出する放射性物質	40Bq/cm ²
	α線を放出しない放射性物質及びα線を 放出する低危険性の放射性物質	400Bq/cm ²
その他の汚染	α線を放出する低危険性の放射性物質以 外のα線を放出する放射性物質	80kBq/cm ²
	α線を放出しない放射性物質及びα線を 放出する低危険性の放射性物質	800kBq/cm ²

本検討で対象としている廃棄物についてみると、余裕深度処分相当の廃棄体の中には、セメントなどで固化せずに、廃棄物を直接処分容器に封入する廃棄体が発生する可能性があるが、放射化された廃棄物は対象外であることや汚染廃棄物はその表面汚染密度が高いことから、実質的にはS C Oに区分されるものはない。

(2) L S A物質の基準

L S A-Iの基準は、以下の通りである。

外運搬告示第5条

規則第3条第2項の主務大臣の定める低比放射性物質は、次に掲げる各号の一に該当する核燃料物質等であつて、容器に収納することとした場合に、当該核燃料物質等の表面から3m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないものとする。ただし、容器によるしゃへいの効果は考慮しないこととする。

一 次に掲げる要件の一に適合するもの（以下「L S A-I」という。）

イ 天然ウラン、劣化ウラン若しくは天然トリウムであつて未照射のもの又はこれらの化合物若しくは混合物であつて固体状若しくは液体状のもの

ロ 核分裂性物質以外の核燃料物質等であつて、 A_2 値に制限がないもの

また、L S A-II及びL S A-IIIの満たすべき条件を表4に示す。

表4 L S A-II及びL S A-IIIの満たすべき条件

		L S A-II	L S A-III
比放射能の 上限	固体	一万分の一 A_2/g	五百分の一 A_2/g
	液体	十万分の一 A_2/g	—
	気体	一万分の一 A_2/g	—
均一性		全体に分布 (各部分の差が10倍以内)	全体に均一に分布 (各部分の差が3倍以内)
浸漬試験		—	十分の一 $A_2/7$ 日間
可燃物/液体/気体		輸送物当たり A_2 値の百倍を超えないこと	
最大線量当量率		しゃへい無しで輸送物から3m離れた位置の 最大線量当量率が10mSv/hを超えないこと	

上記のようにL S A-II及びL S A-IIIの比放射能の上限は、放射能濃度で定められている。

我が国の規則では、均一性に関する基準は「全体に分布」又は「全体に均一に分布」と表現されている。IAEAの解説文書では、廃棄物を収納する容器の大きさに応じて対象物を分割し、各部分の比放射能を比較する方法が示されており、L S A-IIでは各部分の差が10倍以内、L S A-IIIでは各部分の差が3倍以内とされている。また、L S A-IIの均一性に関しては、廃棄体の体積が0.2m³に満たない場合（例えば2000のドラム缶を処分容器とする場合など）は、均一性の評価が求められていない。

一例として、I P-2型輸送物では、現在行われている原子力発電所で発生した低レベル放射性廃棄物の輸送（L L W型容器を用いた輸送）がある。また諸外国では、英国のフルハイトコンテナ（処分容器と兼用の輸送用I S O準拠のコンテナ）による輸送がある。

一方、原子力機構の核燃料施設から発生する廃棄体は、予想される放射エネルギーや処分容器から推定すると、L S A-II、即ちI P-2型輸送物に区分されるものが多い。

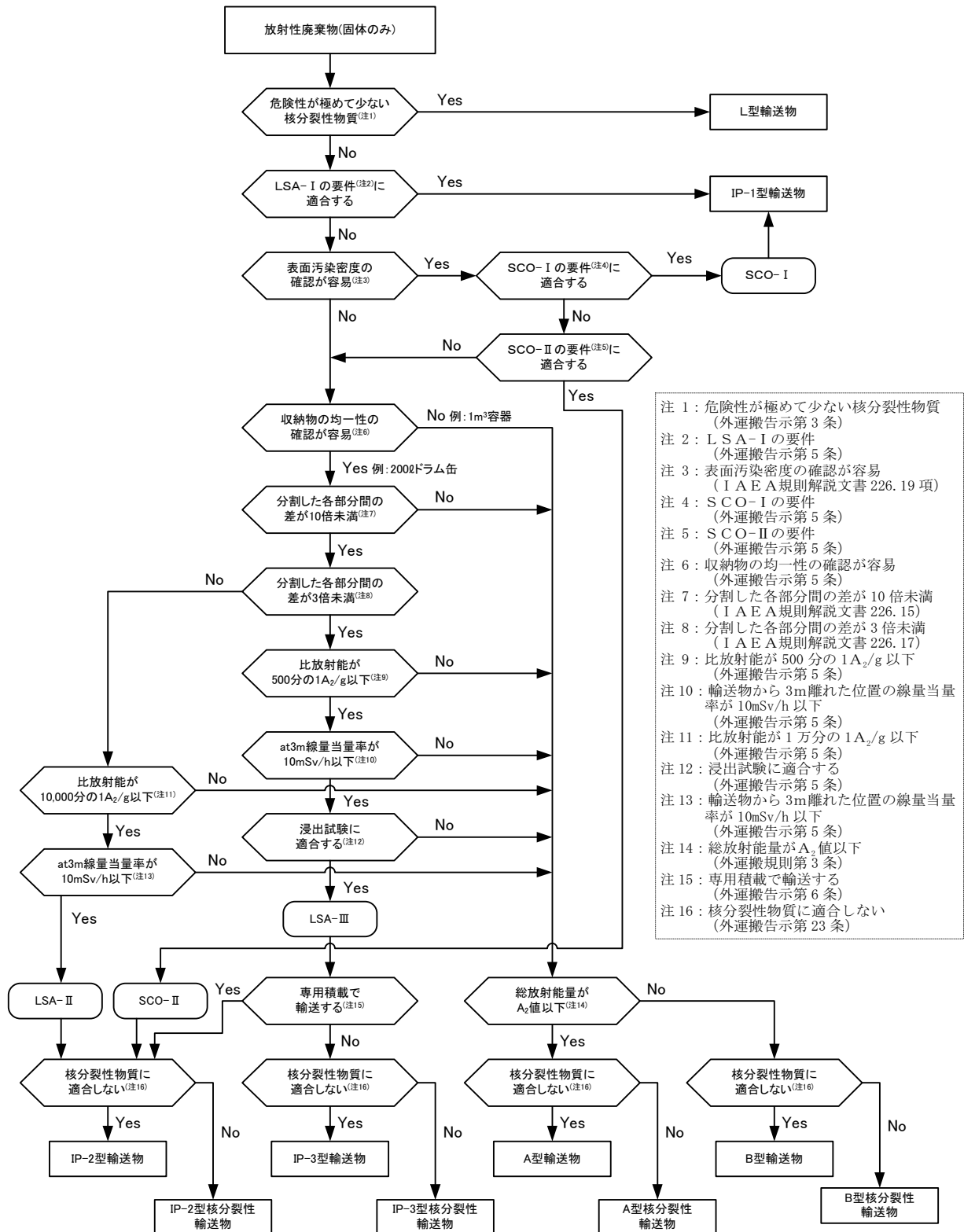
2.3.6 核分裂性輸送物

核分裂性輸送物とは、核分裂性物質を収納する放射性輸送物であり、輸送される物質が核分裂反応を起こさないよう特別に考慮しなければならない。外運搬告示第23条第1項第1号イでは、個々の収納物当たりの核分裂性核種（U 2 3 3、U 2 3 5、P u 2 3 9及びP u 2 4 1）の合計重量が15gを超える場合などが核分裂性輸送物に区分され、臨界安全性を担保することが義務付けられている。MOX施設廃棄物等の α 核種を比較的多く含む廃棄体の一部が、当該輸送物に区分される。

なお、核分裂性輸送物となるものは、A型、B型、I P型の後ろに「F」を付けて、A F型、B F型、I F型（I P型）のように表される。

2.4 輸送区分の評価方法

輸送物の輸送区分を評価する一例として、放射性廃棄物の輸送区分評価フローを図3に示す。



- 注 1 : 危険性が極めて少ない核分裂性物質 (外運搬告示第3条)
- 注 2 : LSA-Iの要件 (外運搬告示第5条)
- 注 3 : 表面汚染密度の確認が容易 (IAEA規則解説文書 226.19 項)
- 注 4 : SCO-Iの要件 (外運搬告示第5条)
- 注 5 : SCO-IIの要件 (外運搬告示第5条)
- 注 6 : 収納物の均一性の確認が容易 (外運搬告示第5条)
- 注 7 : 分割した各部分間の差が10倍未満 (IAEA規則解説文書 226.15)
- 注 8 : 分割した各部分間の差が3倍未満 (IAEA規則解説文書 226.17)
- 注 9 : 比放射能が500分の1A₂/g以下 (外運搬告示第5条)
- 注 10 : 輸送物から3m離れた位置の線量当量率が10mSv/h以下 (外運搬告示第5条)
- 注 11 : 比放射能が1万分の1A₂/g以下 (外運搬告示第5条)
- 注 12 : 浸出試験に適合する (外運搬告示第5条)
- 注 13 : 輸送物から3m離れた位置の線量当量率が10mSv/h以下 (外運搬告示第5条)
- 注 14 : 総放射能量がA₂値以下 (外運搬規則第3条)
- 注 15 : 専用積載で輸送する (外運搬告示第6条)
- 注 16 : 核分裂性物質に適合しない (外運搬告示第23条)

図3 放射性廃棄物の輸送区分評価フロー

2.5 輸送物の技術基準及び試験条件

輸送する廃棄体の性質や量によって輸送物を分類し、分類に応じて技術基準及び試験条件が定められている。

2.5.1 輸送容器の設計に対する要件

輸送容器設計時の要件は、輸送時の状態を考慮して以下のように設定されている。

①一般要件

吊り上げ時、輸送中の状態（振動、温度）等を想定して設定する。

②通常の輸送条件に耐える能力を実証する要件

車両への積み下ろしの際の架台からの転落等の事象を想定して設定する。

③事故時の輸送条件に耐えうることを実証する要件

輸送中の他車両との衝突、火災との遭遇等の事故を想定して設定する。

このほか、核分裂性輸送物については、いかなる場合においても未臨界状態が維持されるような追加要件が課される。

2.5.2 技術要件

輸送する廃棄体の放射エネルギー等に応じて、分類した輸送容器の型式毎に技術要件が課され、分類した輸送容器の形式と要件との組合せに応じて、技術基準が定められている。

輸送物の型毎に課せられる廃棄体の輸送物に係る技術上の基準を表5に、一般及び特別の試験条件を表6に示す。

表 5 廃棄体の輸送物に係る技術上の基準

技術基準	L型	I P 型			A型	B型	核分裂性輸送物
		I P-1型	I P-2型	I P-3型			
1. 容易に、かつ、安全に取扱うことができること	○	○	○	○	○	○	—
2. 運搬中に予想される温度及び内圧の変化、振動等により、き裂、破損等の生じることがないこと	○	○	○	○	○	○	—
3. 表面に不要な突起物がなく、かつ、表面の汚染の除去が容易であること	○	○	○	○	○	○	—
4. 材料相互の間及び材料及び材料と収納される核燃料物質等との間で危険な物理的作用又は化学反応の生じることがないこと	○	○	○	○	○	○	—
5. 弁が誤って操作されないような措置が講じられていること	○	○	○	○	○	○	—
6. 開封されたときに見やすい位置に「放射性」又は「Radioactive」の表示を有していること	○	—	—	—	—	—	—
7. 表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと(注1)	○	○	○	○	○	○	—
8. 外接する直方体の各辺が10cm以上であること	○	○	○	○	○	○	—
9. みだりに開封されないように、かつ、開封された場合に開封されたことが明らかになるように、容易に破れないシールのはり付け等の措置が講じられていること	—	—	—	—	○	○	—
10. 構成部品は、-40℃から70℃までの温度の範囲において、き裂、破損等の生じることがないこと	—	—	—	—	○	○	—
11. 周囲の圧力を60kPaとした場合に、放射性物質の漏えいがないこと (1) 容器に収納することができる核燃料物質等の量の二倍以上の量の核燃料物質等を吸収することができる吸収材又は二重の密封部分から成る密封装置を備えること (2) 核燃料物質等の温度による変化並びに運搬時及び注入時の挙動に対処し得る適切な空間を有していること	—	—	—	—	○	○	—
12. 液体状の核燃料物質等が収納されている場合 (1) 5μSv/hを超えないこと (2) 2mSv/hを超えないこと(注3)	○	—	—	—	—	—	—
13. 表面における最大線量当量率 (1) 5μSv/hを超えないこと (2) 2mSv/hを超えないこと(注3)	—	○	○	○	○	○	—
14. 表面から1m離れた位置における最大線量当量率100μSv/hを超えないこと(注4)	—	○	○	○	○	○	—
15. 核燃料物質等の使用等に必要書類その他の物品以外のものが収納されていないこと	—	—	—	—	○	○	—
16. 一般の試験条件下 (1) 放射性物質の漏えい (1-1) 放射性物質の漏えい (1-2) 1時間当たり10 ⁻⁶ A ₂ 値を超えないこと (2) 表面における最大線量当量率が著しく増加せず、かつ、2mSv/hを超えないこと(注5) (3) 表面の温度が日陰において50℃を超えないこと(注6) (4) 表面の放射性物質の密度が表面密度限度を超えないこと (5) 容器の構造部に一辺10cmの立方体を包含するようなくぼみが生じないこと (6) 主務大臣の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合に臨界に達しないこと(注7) (7) 主務大臣の定める配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子倍増率になるような状態で、核分裂性輸送物の輸送制限個数の5倍に相当する個数積載することとした場合に臨界に達しないこと(注8)(注9)(注10) (1) 表面から1m離れた位置における最大線量当量率が10mSv/hを超えないこと (2) 放射性物質の1週間当たりの漏えい量がA ₂ 値を超えないこと (3) 主務大臣の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合に臨界に達しないこと(注7) (4) 主務大臣の定める配列系の条件の下で、かつ、核分裂性輸送物相互の間が最大の中性子倍増率になるような状態で、核分裂性輸送物の輸送制限個数の2倍に相当する個数積載することとした場合に臨界に達しないこと(注8)(注9)(注10)	—	—	—	—	—	—	
17. 特別の試験条件下 (1) 運搬中に予想される最も低い温度から38℃まで(注11) (2) -40℃から38℃まで	—	—	—	—	—	—	○
18. 周囲の温度の範囲において、き裂、破損等の生じることがないこと	—	—	—	—	—	—	○
19. A ₂ ×10 ⁵ 値を超える量の放射能を有する核燃料物質等が収納されている核燃料輸送物にあっては、深さ200mの水中に1時間浸漬させる試験条件の下に置くこととした場合に、密封装置の破損のないこと	—	—	—	—	—	—	○
20. フィルタ又は機械的冷却装置を用いなくとも内部の気体のろ過又は核燃料物質等の冷却が行われる構造であること(注12)	—	—	—	—	—	—	○
21. 最高使用圧力が700kPaを超えないこと(注12)	—	—	—	—	—	—	○
22. 臨界に達しないこと (1) 輸送中の場合 (2) 主務大臣の定める孤立系の条件の下に置くこととした場合(注7)	—	—	—	—	—	—	○

注1：α線を放出する放射性物質は0.4Bq/cm²、α線を放出しない放射性物質は4Bq/cm²。

注2：核分裂性物質(U233、U235、Pu239、Pu241及びこれらの化合物並びにこれらの一または二以上を含む核燃料物質(天然U又は熱中性子炉で照射された劣化Uを除く)が収納されている場合。

注3：専用積載として運搬する核燃料輸送物であって、核燃料物質等車両運搬規則の第4条第2項並びに第19条第3項第1号及び第2号に規定する運搬の技術上の基準に従うものうち、安全上支障がない旨の主務大臣の承認を受けたものは、10mSv/hを超えないこと。

注4：コンテナ又はタンクを容器として使用する核燃料輸送物であって、専用積載としない運搬するものについては、表面から1m離れた位置における最大線量当量率に最大係数を乗じた線量当量率が100μSv/hを超えないこと。ただし、核燃料輸送物を専用積載として運搬する場合であって、安全上支障がない旨の主務大臣の承認を受けたときは、この限りでない。

注5：注3に該当する場合は、10mSv/hを超えないこと。

注6：専用積載として運搬する核燃料輸送物にあっては、輸送中人が容易に近づき得る表面(その表面に近接防止枠を設ける核燃料輸送物にあっては、当該近接防止枠の表面)において85℃を超える条件とする。

注7：主務大臣の定める孤立系の条件は、次に定める条件とする。

- ・核分裂性輸送物の最大と中性子倍増率が最大となる配置及び減速状態にすること。
- ・収納される核燃料物質等は中性子倍増率が最大となる中性子の放射があること。
- ・密封装置の周囲に置かれた厚さ20cmの水による中性子の反射があることとする。

注8：主務大臣の定める配列系の条件は、任意に配列した核分裂性輸送物の周囲に置かれた厚さ20cmの水による中性子の放射があることとする。

注9：中性子倍増率とは、原子核分裂の連鎖反応において、核分裂により放出された1個の中性子ごとに、次の核分裂によって放出される中性子数をいう。

注10：輸送制限個数とは、1箇所(集合積載した核分裂性輸送物が、他のどの核分裂性輸送物とも6m以上離れている状態をいう。)に集合積載する核分裂性輸送物の個数の限度として定められる数を用いる。

注11：B(M)型に適用。

注12：B(U)型に適用。

注13：運搬中に予想される最も低い温度が特定できる場合は、この限りではない。

○印は基準の適用、—印は基準の適用外を示す

表6 一般及び特別の試験条件

技術基準	L型	I P型			A型	B型	核分裂性輸送物
		I P-1型	I P-2型	I P-3型			
1. 50mm/hの雨量に相当する水を1時間吹き付けること	—	—	—	○	○	○	
2. 落下試験(注1)(注2)	—	—	○(注3)	○	○	○(注2は除く)	
3. 重量の5倍に相当する荷重又は鉛直投影面積に13kPaを乗じて得た値に相当する荷重のうち、いずれか大きいものを24時間加えること	—	—	○(注3)	○	○	○	
4. 重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であって、その先端が半球状のものを1mの高さから核燃料輸送物の最も弱い部分に落下させること	—	—	—	○	○	○	
5. 9mの高さから最大の破損を及ぼすように落下させること	—	—	—	○(注4)	—	—	
6. 重量が6kgであり、直径が3.2cmの容易に破損しない棒であって、その先端が半球状のものを1.7mの高さから核燃料輸送物の最も弱い部分に落下させること	—	—	—	○(注4)	—	—	
7. 38℃の条件下に1週間おくこと(注5)	—	—	—	—	○	—	
8. 9mの高さから落下させること	—	—	—	—	○(注6)	△(注7)(注8)	
9. 垂直に固定した直径が15cmであり、長さが20cmの軟鋼丸棒であって、その上面が滑らかな水平面であるものに1mの高さから落下させること	—	—	—	—	○	△(注7)	
10. 38℃の条件下に表面温度が一定になるまで置いた後、800℃で、かつ、平均値が最小で0.9の放射率を有する火炎の放射熱の条件下に30分置くこと(注9)(注10)	—	—	—	—	○	△(注7)	
11. 深さ15mの水中に8時間浸漬させること	—	—	—	—	○	△(注7)	
12. 深さ200mの水中に1時間浸漬させること	—	—	—	—	○(注11)	—	
13. 深さ0.9mの水中に8時間浸漬させること(注12)	—	—	—	—	—	△(注7)	

注1：5,000kg未満は1.2m、5,000kg以上10,000kg未満は0.9m、10,000kg以上15,000kg未満は0.6m、15,000kg以上は0.3mの高さから、それぞれ、最大の破損を及ぼすように落下させること。

注2：50kg以下のファイバー板製又は木製の直方体のものは、それぞれの角に対して最大の破損を及ぼすように、100kg以下のファイバー板製の円筒形のものは、両縁の四半分ごとに置いて最大の破損を及ぼすように、それぞれ0.3mの高さから落下させること。

注3：主務大臣が認める条件の下に置く場合は、この限りではない。

注4：液体状又は気体状の核燃料物質等が収納されている場合であって、どちらか最大の破損を受ける条件の下に置くこと。

注5：次の表の左欄に掲げる核燃料輸送物の表面の形状及び位置の区分に応じ、それぞれ右欄に掲げる放射熱を1日につき12時間負荷すること。

表面の形状及び位置の区分		放射熱(W/m ²)
水平に輸送される平面	下向きの表面	なし
	上向きの表面	800
垂直に輸送される表面及び水平に輸送されない下向きの表面		200
その他の表面		400

注6：重量が500kg以下、比重が1以下、かつ、収納する核燃料物質等が特別形核燃料物質等以外のものであって、核燃料物質等の放射能の量がA₂値の1,000倍を超えるものにあつては、これに代えて、重量が500kg、縦及び横の長さが1mの軟鋼板を9mの高さから核燃料輸送物が最大の破損を受けるように水平に落下させること。

注7：一般の試験条件の下に置いた後、実施すること。ただし、一般の試験条件の下に置いた条件を含めて、最大の破損を受ける条件の下に置くこと。

注8：重量が500kg以下、かつ、比重が1以下のものにあつては、これに代えて、重量が500kg、縦及び横の長さが1mの軟鋼板を9mの高さから核燃料輸送物が最大の破損を受けるように水平に落下させること。

注9：この場合、注4に定める放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷発熱するものとし、核燃料輸送物の表面吸収率は0.8又は実証された値とするものとする。

注10：38℃の条件下で注4に定める放射熱及び設計上最大となる内部発熱を負荷しつつ冷却すること。ただし、人為的に冷却してはならない。

注11：B(M)型で、A₂×10⁵を超える量の放射能を有する核燃料物質等を収納した核燃料輸送物の場合。

注12：臨界の評価において、浸水又は漏水があらかじめ想定されている場合は、この限りではない。

3. 廃棄物の輸送区分及び輸送方法

原子力発電所から発生する低レベル放射性廃棄物の廃棄体は、既に専用船（青栄丸）を用いた海上輸送が実施されており、安全かつ効率的な輸送方法として確立されている。一方、核燃料施設から発生する廃棄物の廃棄体は、廃棄体化施設や廃棄体の埋設処分施設が計画段階であるため、現在のところ埋設処分施設への輸送は行われていない。

従って、ここでは核燃料施設から発生する廃棄物の廃棄体について、現在想定している種類や発生量の概要を示すとともに、輸送区分の検討結果及び国内外で用いられている輸送容器等の一例を示すこととする。参考として、図4に廃棄体の輸送フローを示す。

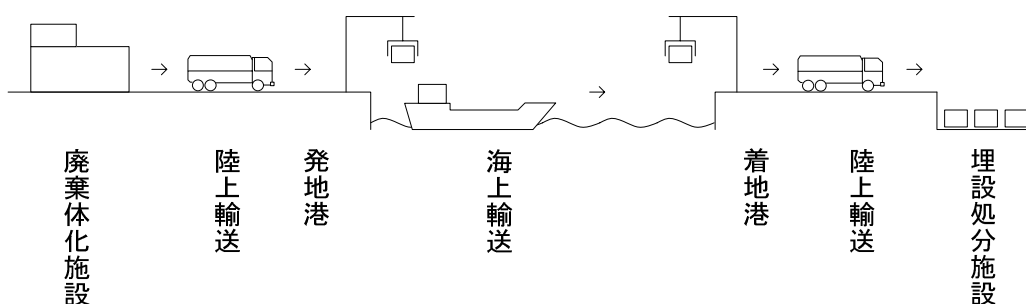


図4 廃棄体の輸送フロー

3.1 輸送対象物（廃棄体）の種類

核燃料施設から発生する低レベル放射性廃棄物は、研究開発及び施設の運転・保守に伴い発生するもの（以下「操業廃棄物」という）と施設の解体・廃止措置に伴い発生するもの（以下「解体廃棄物」という）に大別される。原子力発電所から発生する廃棄物の内、操業廃棄物は主に廃棄物の表面に放射性物質が付着した汚染廃棄物、解体廃棄物は主に放射化物（ β γ 核種）である。それらに対して、核燃料施設から発生する廃棄物は、主に廃棄物の表面に放射性物質が付着した汚染廃棄物であり、ウラン及びTRU核種（ α 核種）並びに核分裂生成物（ β γ 核種）を含み、放射能濃度の高いものから低いものまで幅広く分布している。

3.1.1 操業廃棄物

施設の操業で発生する操業廃棄物は、紙、ゴム手袋、ビニルシート、布、プラスチックなどの可燃性または難燃性のものと設備の補修等で発生する金属などの不燃性のものがある。

可燃性または難燃性の廃棄物は、焼却して焼却灰とし、セメントなどで固化して廃棄体とする。また、不燃性の廃棄物は、圧縮、溶融などして減容処理した後にセメントなどで固定化して廃棄体とする。廃液など液体系の廃棄物は、セメントやプラスチックなどで固化して廃棄体とする。

これらの廃棄体は、廃棄体中に含まれる放射性核種の組成や放射能量等の観点から、処分方法を区分（浅地中処分、余裕深度処分、地層処分）し、適切な時期に輸送する。

原子力機構において、平成60年頃までに発生が見込まれる操業廃棄物の廃棄体量は、2000ドラム缶換算で約21万本と推定している¹⁾。

3.1.2 解体廃棄物

施設の操業終了後、施設の解体・撤去で発生する解体廃棄物は、操業廃棄物と同様に可燃性または難燃性のものは焼却して焼却灰とし、セメントなどで固化して廃棄体とする。また、金属製機器、配管、ケーブル、コンクリートなど不燃性の廃棄物はセメントで固定化するなどして廃棄体とする。

原子力機構において、平成 60 年頃までに発生が見込まれる解体廃棄物の廃棄体量は、200ℓドラム缶換算で約 33 万本と推定している¹⁾。

3.2 廃棄体の放射能濃度

核燃料施設から発生する廃棄物は、多種多様な性状があり、放射能濃度は高いものから低いものまで幅広く分布している。このため、廃棄体の濃度もまた幅広く分布する。参考に原子力機構の再処理施設及びMOX施設廃棄物の廃棄体の推定される放射能濃度を表 7 に示す。

表 7 廃棄体の放射能濃度 (推定値) (Bq/t)

施設	β γ 核種	α 核種
再処理施設	$10^6 \sim 10^{15}$	$10^4 \sim 10^{14}$
MOX 施設	$10^9 \sim 10^{15}$	$10^8 \sim 10^{14}$

3.3 埋設処分で設定されている廃棄物の輸送区分

放射性廃棄物は、その放射能濃度に応じて処分区分が浅地中処分、余裕深度処分、地層処分に区分され、区分値は、それぞれの処分における埋設施設の自然条件、埋設の方法、埋設量及び管理期間などを基に、埋設される廃棄体中の放射性物質に起因する被ばく線量が評価された上で決められるものである³⁾。

一方、2.3 項で示したとおり、輸送物中に含まれる放射性物質の放射能濃度に応じて、L型、A型、B型、IP型などに区分され、区分値は、廃棄体の輸送の場合には、 A_2 値が用いられる。この A_2 値は、事故時に放出される放射性物質に起因する被ばく線量が評価された上で決められたものである。

このように、処分区分と輸送区分に用いる区分値は、その導出の考え方・方法が異なっている。そこで、原子力安全委員会による低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値の検討において対象とされた代表的な浅地中処分（コンクリートピット処分）対象及び余裕深度処分対象の核燃料サイクル施設から発生するサイクル廃棄物及び原子力発電に伴って発生する原子炉廃棄物について、輸送区分を検討した。

浅地中処分（コンクリートピット処分）対象、余裕深度処分対象のサイクル廃棄物の放射能濃度と検討結果を表 8 に、原子炉廃棄物の放射能濃度と検討結果を表 9 に示す。その結果、サイクル廃棄物、原子炉廃棄物ともに浅地中処分（コンクリートピット処分）対象の廃棄体はIP型輸送物、余裕深度処分対象の廃棄体はB型輸送物に区分されることがわかった。

表 8-1 埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分 (サイクル廃棄物) (1/2)

処分区分	核種	対象廃棄物の 平均濃度 (Bq/g) (C)	処分容器 1 個 当りの放射能量 (Bq/処分容器) ^(注1) (D)	A型又はB型の検討		I P型の検討		輸送容器 の区分 ^(注4)
				A ₂ 値 (Bq)	D/A ₂	A型 /B型の 判定 ^(注2)	C/ (A ₂ /10,000)	
	H-3	3.10E+02	2.48E+08	4.00E+13	6.20E-06		7.75E-08	
	Be-10	4.50E-09	3.60E-03	6.00E+11	6.00E-15		7.50E-17	
	C-14	6.50E+00	5.20E+06	3.00E+12	1.73E-06		2.17E-08	
	Cl-36	2.00E-02	1.60E+04	6.00E+11	2.67E-08		3.33E-10	
	Ca-41	5.50E-04	4.40E+02	制限なし	—		—	
	Mn-54	2.50E-05	2.00E+01	1.00E+12	2.00E-11		2.50E-13	
	Fe-55	3.00E+03	2.40E+09	4.00E+13	6.00E-05		7.50E-07	
	Fe-59	9.10E-08	7.28E-02	9.00E+11	8.09E-14		1.01E-15	
	Co-58	4.40E-03	3.52E+03	1.00E+12	3.52E-09		4.40E-11	
	Co-60	5.60E+03	4.48E+09	4.00E+11	1.12E-02		1.40E-04	
	Ni-59	4.60E+00	3.68E+06	制限なし	—		—	
	Ni-63	7.10E+02	5.68E+08	3.00E+13	1.89E-05		2.37E-07	
	Se-79	7.10E-03	5.68E+03	2.00E+12	2.84E-09		3.55E-11	
	Sr-90	3.30E+03	2.64E+09	3.00E+11	8.80E-03		1.10E-04	
	Zr-93	2.70E-01	2.16E+05	制限なし	—		—	
	Nb-93m	4.90E-04	3.92E+02	3.00E+13	1.31E-11		1.63E-13	
	Nb-94	1.30E+00	1.04E+06	7.00E+11	1.49E-06		1.86E-08	
	Mo-93	3.60E-02	2.88E+04	2.00E+13	1.44E-09		1.80E-11	
	Tc-99	1.30E+00	1.04E+06	9.00E+11	1.16E-06		1.44E-08	
	Ru-106	1.00E+04	8.00E+09	2.00E+11	4.00E-02		5.00E-04	
	Pd-107	1.80E-03	1.44E+03	制限なし	—		—	
	Ag-108m	7.20E-04	5.76E+02	7.00E+11	8.23E-10		1.03E-11	
	Sn-121m	6.10E-01	4.88E+05	9.00E+11	5.42E-07		6.78E-09	
	Sn-126	5.80E-02	4.64E+04	4.00E+11	1.16E-07		1.45E-09	
	Sb-125	6.40E+02	5.12E+08	1.00E+12	5.12E-04		6.40E-06	
	Te-125m	1.60E+02	1.28E+08	9.00E+11	1.42E-04		1.78E-06	
	I-129	2.90E-02	2.32E+04	制限なし	—		—	
	Cs-134	7.80E+02	6.24E+08	7.00E+11	8.91E-04		1.11E-05	
	Cs-135	2.10E-02	1.68E+04	1.00E+12	1.68E-08		2.10E-10	
	Cs-137	4.60E+03	3.68E+09	6.00E+11	6.13E-03		7.67E-05	
	Ce-144	4.80E+02	3.84E+08	2.00E+11	1.92E-03		2.40E-05	
	Sm-151	5.30E+00	4.24E+06	1.00E+13	4.24E-07		5.30E-09	
	Eu-152	7.40E-03	5.92E+03	1.00E+12	5.92E-09		7.40E-11	I P
	Eu-154	1.40E+02	1.12E+08	6.00E+11	1.87E-04		2.33E-06	I P
	Eu-155	7.00E+01	5.60E+07	3.00E+12	1.87E-05		2.33E-07	
	Ho-166m	9.80E-07	7.84E-01	5.00E+11	1.57E-12		1.96E-14	
	Pb-210	1.60E-11	1.28E-05	5.00E+10	2.56E-16		3.20E-18	
	Po-210	4.20E-09	3.36E-03	2.00E+10	1.68E-13		2.10E-15	
	Ra-226	2.10E-10	1.68E-04	3.00E+09	5.60E-14		7.00E-16	
	Ra-228	3.20E-14	2.56E-08	2.00E+10	1.28E-18		1.60E-20	
	Ac-227	3.10E-09	2.48E-03	9.00E+07	2.76E-11		3.44E-13	
	Th-228	1.10E-05	8.80E+00	1.00E+09	8.80E-09		1.10E-10	
	Th-229	1.30E-09	1.04E-03	5.00E+08	2.08E-12		2.60E-14	
	Th-230	1.40E-07	1.12E-01	1.00E+09	1.12E-10		1.40E-12	
	Th-232	1.10E-13	8.80E-08	制限なし	—		—	
	Pa-231	2.10E-08	1.68E-02	4.00E+08	4.20E-11		5.25E-13	
	U-232	3.30E-03	2.64E+03	1.00E+09	2.64E-06		3.30E-08	
	U-233	2.00E-07	1.60E-01	6.00E+09	2.67E-11		3.33E-13	
	U-234	4.10E-03	3.28E+03	6.00E+09	5.47E-07		6.83E-09	
	U-235	3.10E-04	2.48E+02	制限なし	—		—	
	U-236	5.20E-03	4.16E+03	6.00E+09	6.93E-07		8.67E-09	
	U-238	4.40E-03	3.52E+03	制限なし	—		—	
	Np-237	2.50E-02	2.00E+04	2.00E+09	1.00E-05		1.25E-07	
	Pu-238	5.60E+01	4.48E+07	1.00E+09	4.48E-02		5.60E-04	
	Pu-239	5.00E+00	4.00E+06	1.00E+09	4.00E-03		5.00E-05	
	Pu-240	7.90E+00	6.32E+06	1.00E+09	6.32E-03		7.90E-05	
	Pu-241	2.00E+03	1.60E+09	6.00E+10	2.67E-02		3.33E-04	
	Pu-242	3.30E-02	2.64E+04	1.00E+09	2.64E-05		3.30E-07	
	Am-241	1.70E+01	1.36E+07	1.00E+09	1.36E-02		1.70E-04	
	Am-242m	9.20E-01	7.36E+05	1.00E+09	7.36E-04		9.20E-06	
	Am-243	3.90E-01	3.12E+05	1.00E+09	3.12E-04		3.90E-06	
	Cm-242	1.60E+00	1.28E+06	1.00E+10	1.28E-04		1.60E-06	
	Cm-243	3.50E-01	2.80E+05	1.00E+09	2.80E-04		3.50E-06	
	Cm-244	4.10E+01	3.28E+07	2.00E+09	1.64E-02		2.05E-04	
	Cm-245	4.90E-03	3.92E+03	9.00E+08	4.36E-06		5.44E-08	
	Cm-246	3.80E-06	3.04E+00	9.00E+08	3.38E-09		4.22E-11	
	合計	3.19E+04	2.56E+10	1.93E+14	1.83E-01		2.29E-03	

コンクリートピット処分

注1：ドラム缶を想定し、廃棄体量は800kgと仮定した。

注2：D/A₂の合計が1以下の場合はA型、1より大きい場合はB型となる。

注3：C/(A₂/10,000)の合計が1以下の場合はI P型、1より大きい場合はI P型となる。

注4：廃棄体表面から3m地点の線量基準に対する評価はしていない。

表 8-2 埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分 (サイクル廃棄物) (2/2)

処分区分	核種	対象廃棄物の 平均濃度 (Bq/g) (C)	処分容器 1 個 当りの放射能 (Bq/処分容器) (注1) (D)	A 型又は B 型の検討		I P 型の検討		輸送容器 の区分 (注4)
				A ₂ 値 (Bq)	D/A ₂	A 型 /B 型の 判定 (注2)	C/ (A ₂ /10,000)	
	H-3	8.50E+03	4.76E+10	4.00E+13	1.19E-03		2.13E-06	
	Be-10	2.00E-06	1.12E+01	6.00E+11	1.87E-11		3.33E-14	
	C-14	1.90E+03	1.06E+10	3.00E+12	3.55E-03		6.33E-06	
	Cl-36	3.30E+01	1.85E+08	6.00E+11	3.08E-04		5.50E-07	
	Ca-41	4.10E+00	2.30E+07	制限なし	—		—	
	Mn-54	1.00E-02	5.60E+04	1.00E+12	5.60E-08		1.00E-10	
	Fe-55	1.00E+07	5.60E+13	4.00E+13	1.40E+00		2.50E-03	
	Fe-59	3.10E-04	1.74E+03	9.00E+11	1.93E-09		3.44E-12	
	Co-58	5.70E+00	3.19E+07	1.00E+12	3.19E-05		5.70E-08	
	Co-60	3.60E+06	2.02E+13	4.00E+11	5.04E+01		9.00E-02	
	Ni-59	7.60E+03	4.26E+10	制限なし	—		—	
	Ni-63	1.20E+06	6.72E+12	3.00E+13	2.24E-01		4.00E-04	
	Se-79	3.30E+00	1.85E+07	2.00E+12	9.24E-06		1.65E-08	
	Sr-90	8.70E+05	4.87E+12	3.00E+11	1.62E+01		2.90E-02	
	Zr-93	8.80E+02	4.93E+09	制限なし	—		—	
	Nb-93m	2.10E-01	1.18E+06	3.00E+13	3.92E-08		7.00E-11	
	Nb-94	6.70E+02	3.75E+09	7.00E+11	5.36E-03		9.57E-06	
	Mo-93	2.50E+01	1.40E+08	2.00E+13	7.00E-06		1.25E-08	
	Tc-99	2.40E+02	1.34E+09	9.00E+11	1.49E-03		2.67E-06	
	Ru-106	2.80E+05	1.57E+12	2.00E+11	7.84E+00		1.40E-02	
	Pd-107	2.10E-01	1.18E+06	制限なし	—		—	
	Ag-108m	2.10E+01	1.18E+08	7.00E+11	1.68E-04		3.00E-07	
	Sn-121m	3.50E+03	1.96E+10	9.00E+11	2.18E-02		3.89E-05	
	Sn-126	1.40E+01	7.84E+07	4.00E+11	1.96E-04		3.50E-07	
	Sb-125	3.10E+06	1.74E+13	1.00E+12	1.74E+01		3.10E-02	
	Te-125m	7.70E+05	4.31E+12	9.00E+11	4.79E+00		8.56E-03	
	I-129	5.80E+00	3.25E+07	制限なし	—		—	
	Cs-134	2.90E+05	1.62E+12	7.00E+11	2.32E+00		4.14E-03	
	Cs-135	5.40E+00	3.02E+07	1.00E+12	3.02E-05		5.40E-08	
	Cs-137	1.20E+06	6.72E+12	6.00E+11	1.12E+01		2.00E-02	
	Ce-144	1.80E+05	1.01E+12	2.00E+11	5.04E+00		9.00E-03	
	Sm-151	2.00E+03	1.12E+10	1.00E+13	1.12E-03		2.00E-06	
	Eu-152	3.20E+00	1.79E+07	1.00E+12	1.79E-05		3.20E-08	
	Eu-154	5.10E+04	2.86E+11	6.00E+11	4.76E-01		8.50E-04	
	Eu-155	2.60E+04	1.46E+11	3.00E+12	4.85E-02		8.67E-05	
	Ho-166m	4.30E-04	2.41E+03	5.00E+11	4.82E-09		8.60E-12	
	Pb-210	7.90E-09	4.42E-02	5.00E+10	8.85E-13		1.58E-15	
	Po-210	2.10E-06	1.18E+01	2.00E+10	5.88E-10		1.05E-12	
	Ra-226	1.10E-07	6.16E-01	3.00E+09	2.05E-10		3.67E-13	
	Ra-228	1.70E-11	9.52E-05	2.00E+10	4.76E-15		8.50E-18	
	Ac-227	1.60E-06	8.96E+00	9.00E+07	9.96E-08		1.78E-10	
	Th-227	5.90E-03	3.30E+04	1.00E+09	3.30E-05		5.90E-08	
	Th-229	1.60E-05	8.96E+01	5.00E+08	1.79E-07		3.20E-10	
	Th-230	7.10E-05	3.98E+02	1.00E+09	3.98E-07		7.10E-10	
	Th-232	5.60E-11	3.14E-04	制限なし	—		—	
	Pa-231	1.10E-05	6.16E+01	4.00E+08	1.54E-07		2.75E-10	
	U-232	1.40E-01	7.84E+05	1.00E+09	7.84E-04		1.40E-06	
	U-233	2.80E-02	1.57E+05	6.00E+09	2.61E-05		4.67E-08	
	U-234	6.50E+00	3.64E+07	6.00E+09	6.07E-03		1.08E-05	
	U-235	3.00E-01	1.68E+06	制限なし	—		—	
	U-236	1.30E+00	7.28E+06	6.00E+09	1.21E-03		2.17E-06	
	U-238	1.50E+00	8.40E+06	制限なし	—		—	
	Nb-237	6.70E+00	3.75E+07	2.00E+09	1.88E-02		3.35E-05	
	Pu-238	3.10E+04	1.74E+11	1.00E+09	1.74E+02		3.10E-01	
	Pu-239	7.20E+03	4.03E+10	1.00E+09	4.03E+01		7.20E-02	
	Pu-240	8.40E+03	4.70E+10	1.00E+09	4.70E+01		8.40E-02	
	Pu-241	1.10E+06	6.16E+12	6.00E+10	1.03E+02		1.83E-01	
	Pu-242	2.20E+01	1.23E+08	1.00E+09	1.23E-01		2.20E-04	
	Am-241	1.70E+04	9.52E+10	1.00E+09	9.52E+01		1.70E-01	
	Am-242m	2.10E+02	1.18E+09	1.00E+09	1.18E+00		2.10E-03	
	Am-243	9.50E+01	5.32E+08	1.00E+09	5.32E-01		9.50E-04	
	Cm-242	3.90E+02	2.18E+09	1.00E+10	2.18E-01		3.90E-04	
	Cm-243	8.80E+01	4.93E+08	1.00E+09	4.93E-01		8.80E-04	
	Cm-244	1.00E+04	5.60E+10	2.00E+09	2.80E+01		5.00E-02	
	Cm-245	1.20E+00	6.72E+06	9.00E+08	7.47E-03		1.33E-05	
	Cm-246	2.90E-03	1.62E+04	9.00E+08	1.80E-05		3.22E-08	
	合計	2.28E+07	1.27E+14	1.93E+14	6.07E+02		1.08E+00	

余裕深度処分

注1：角型容器を想定し、廃棄体量は5,600kgと仮定した。

注2：D/A₂の合計が1以下の場合にはA型、1より大きい場合はB型となる。

注3：C/(A₂/10,000)の合計が1以下の場合にはI P型、1より大きい場合はI となる。

注4：廃棄体表面から3m地点の線量基準に対する評価はしていない。

表 9-1 埋設処分の対象廃棄体における輸送容器の区分 (原子炉廃棄物) (1/2)

処分区分	核種	対象廃棄物の 平均濃度 (Bq/g) (C)	処分容器 1 個 当りの放射能 (Bq/処分容器) (注1) (D)	A型又はB型の検討			I P型の検討		輸送容器 の区分 (注4)
				A ₂ 値 (Bq)	D/A ₂	A型 /B型の 判定 (注2)	C/ (A ₂ /10,000)	I P型の 判定 (注3)	
	H-3	9.90E+02	7.92E+08	4.00E+13	1.98E-05		2.48E-07		
	Be-10	0.00E+00	0	6.00E+11	0		0		
	C-14	3.50E+01	2.80E+07	3.00E+12	9.33E-06		1.17E-07		
	Cl-36	2.80E-03	2.24E+03	6.00E+11	3.73E-09		4.67E-11		
	Ca-41	3.90E-01	3.12E+05	制限なし	—		—		
	Mn-54	5.20E+02	4.16E+08	1.00E+12	4.16E-04		5.20E-06		
	Fe-55	4.80E+03	3.84E+09	4.00E+13	9.60E-05		1.20E-06		
	Fe-59	2.50E+02	2.00E+08	9.00E+11	2.22E-04		2.78E-06		
	Co-58	7.90E+02	6.32E+08	1.00E+12	6.32E-04		7.90E-06		
	Co-60	8.50E+02	6.80E+08	4.00E+11	1.70E-03		2.13E-05		
	Ni-59	7.60E-01	6.08E+05	制限なし	—		—		
	Ni-63	1.20E+02	9.60E+07	3.00E+13	3.20E-06		4.00E-08		
	Se-79	0.00E+00	0	2.00E+12	0		0		
	Sr-90	1.60E+02	1.28E+08	3.00E+11	4.27E-04		5.33E-06		
	Zr-93	4.80E-02	3.84E+04	制限なし	—		—		
	Nb-93m	4.00E-03	3.20E+03	3.00E+13	1.07E-10		1.33E-12		
	Nb-94	5.90E-03	4.72E+03	7.00E+11	6.74E-09		8.43E-11		
	Mo-93	1.00E-03	8.00E+02	2.00E+13	4.00E-11		5.00E-13		
	Tc-99	2.90E-02	2.32E+04	9.00E+11	2.58E-08		3.22E-10		
	Ru-106	1.10E+03	8.80E+08	2.00E+11	4.40E-03		5.50E-05		
	Pd-107	2.40E-04	1.92E+02	制限なし	—		—		
	Ag-108m	5.40E-18	4.32E-12	7.00E+11	6.17E-24		7.71E-26		
	Sn-121m	4.70E-06	3.76E+00	9.00E+11	4.18E-12		5.22E-14		
	Sn-126	1.60E-03	1.28E+03	4.00E+11	3.20E-09		4.00E-11		
	Sb-125	2.90E+01	2.32E+07	1.00E+12	2.32E-05		2.90E-07		
	Te-125m	0.00E+00	0	9.00E+11	0		0		
	I-129	6.90E-05	5.52E+01	制限なし	—		—		
	Cs-134	3.20E+02	2.56E+08	7.00E+11	3.66E-04		4.57E-06		
	Cs-135	1.00E-03	8.00E+02	1.00E+12	8.00E-10		1.00E-11		
	Cs-137	2.20E+02	1.76E+08	6.00E+11	2.93E-04		3.67E-06		
	Ce-144	2.10E+03	1.68E+09	2.00E+11	8.40E-03		1.05E-04		
	Sm-151	7.90E-01	6.32E+05	1.00E+13	6.32E-08		7.90E-10		
	Eu-152	2.10E+01	1.68E+07	1.00E+12	1.68E-05		2.10E-07		
	Eu-154	2.30E+01	1.84E+07	6.00E+11	3.07E-05		3.83E-07		
	Eu-155	1.40E+01	1.12E+07	3.00E+12	3.73E-06		4.67E-08		
	Ho-166m	2.20E-16	1.76E-10	5.00E+11	3.52E-22		4.40E-24		
	Pb-210	0.00E+00	0	5.00E+10	0		0		
	Po-210	0.00E+00	0	2.00E+10	0		0		
	Ra-226	9.00E-14	7.20E-08	3.00E+09	2.40E-17		3.00E-19		
	Ra-228	6.20E-15	4.96E-09	2.00E+10	2.48E-19		3.10E-21		
	Ac-227	1.50E-10	1.20E-04	9.00E+07	1.33E-12		1.67E-14		
	Th-228	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Th-229	0.00E+00	0	5.00E+08	0		0		
	Th-230	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Th-232	5.50E-14	4.40E-08	制限なし	—		—		
	Pa-231	0.00E+00	0	4.00E+08	0		0		
	U-232	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	U-233	2.10E-05	1.68E+01	6.00E+09	2.80E-09		3.50E-11		
	U-234	0.00E+00	0	6.00E+09	0		0		
	U-235	0.00E+00	0	制限なし	—		0		
	U-236	0.00E+00	0	6.00E+09	0		0		
	U-238	7.60E-04	6.08E+02	制限なし	—		—		
	Np-237	0.00E+00	0	2.00E+09	0		0		
	Pu-238	4.50E+00	3.60E+06	1.00E+09	3.60E-03		4.50E-05		
	Pu-239	7.30E-01	5.84E+05	1.00E+09	5.84E-04		7.30E-06		
	Pu-240	1.20E+00	9.60E+05	1.00E+09	9.60E-04		1.20E-05		
	Pu-241	2.90E+02	2.32E+08	6.00E+10	3.87E-03		4.83E-05		
	Pu-242	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Am-241	3.20E-01	2.56E+05	1.00E+09	2.56E-04		3.20E-06		
	Am-242m	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Am-243	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Cm-242	9.30E+01	7.44E+07	1.00E+10	7.44E-03		9.30E-05		
	Cm-243	0.00E+00	0	1.00E+09	0		0		
	Cm-244	3.80E+00	3.04E+06	2.00E+09	1.52E-03		1.90E-05		
	Cm-245	0.00E+00	0	9.00E+08	0		0		
	Cm-246	0.00E+00	0	9.00E+08	0		0		
	合計	1.27E+04	1.02E+10	1.93E+14	3.53E-02		4.41E-04		

コンクリートピット処分

注1：ドラム缶を想定し、廃棄体量は800kgと仮定した。

注2：D/A₂の合計が1以下の場合A型、1より大きい場合はB型となる。

注3：C/(A₂/10,000)の合計が1以下の場合I P型、1より大きい場合はI P型となる。

注4：廃棄体表面から3m地点の線量基準に対する評価はしていない。

表 9-2 埋設処分の対象廃棄物における輸送容器の区分 (原子炉廃棄物) (2/2)

処分区分	核種	対象廃棄物の 平均濃度 (Bq/g) (C)	処分容器 1 個 当りの放射能量 (Bq/処分容器) (注1) (D)	A型又はB型の検討			I P型の検討		輸送容器 の区分(注4)
				A ₂ 値 (Bq)	D/A ₂	A型 /B型の 判定(注2)	C/ (A ₂ /10,000)	I P型の 判定(注3)	
	H-3	6.80E+05	3.81E+12	4.00E+13	9.52E-02		1.70E-04		
	Be-10	3.20E-03	1.79E+04	6.00E+11	2.99E-08		5.33E-11		
	C-14	2.30E+05	1.29E+12	3.00E+12	4.29E-01		7.67E-04		
	Cl-36	3.10E+03	1.74E+10	6.00E+11	2.89E-02		5.17E-05		
	Ca-41	3.80E+02	2.13E+09	制限なし	—		—		
	Mn-54	1.60E+05	8.96E+11	1.00E+12	8.96E-01		1.60E-03		
	Fe-55	1.50E+06	8.40E+12	4.00E+13	2.10E-01		3.75E-04		
	Fe-59	1.30E+01	7.28E+07	9.00E+11	8.09E-05		1.44E-07		
	Co-58	6.20E+00	3.47E+07	1.00E+12	3.47E-05		6.20E-08		
	Co-60	2.20E+08	1.23E+15	4.00E+11	3.08E+03		5.50E+00		
	Ni-59	1.30E+06	7.28E+12	制限なし	—		—		
	Ni-63	1.60E+08	8.96E+14	3.00E+13	2.99E+01		5.33E-02		
	Se-79	9.70E-01	5.43E+06	2.00E+12	2.72E-06		4.85E-09		
	Sr-90	6.70E+03	3.75E+10	3.00E+11	1.25E-01		2.23E-04		
	Zr-93	1.20E+02	6.72E+08	制限なし	—		—		
	Nb-93m	7.50E+01	4.20E+08	3.00E+13	1.40E-05		2.50E-08		
	Nb-94	9.00E+03	5.04E+10	7.00E+11	7.20E-02		1.29E-04		
	Mo-93	1.40E+02	7.84E+08	2.00E+13	3.92E-05		7.00E-08		
	Tc-99	5.30E+02	2.97E+09	9.00E+11	3.30E-03		5.89E-06		
	Ru-106	1.40E+00	7.84E+06	2.00E+11	3.92E-05		7.00E-08		
	Pd-107	1.70E-04	9.52E+02	制限なし	—		—		
	Ag-108m	6.00E+04	3.36E+11	7.00E+11	4.80E-01		8.57E-04		
	Sn-121m	1.50E+02	8.40E+08	9.00E+11	9.33E-04		1.67E-06		
	Sn-126	9.90E-04	5.54E+03	4.00E+11	1.39E-08		2.48E-11		
	Sb-125	3.80E+03	2.13E+10	1.00E+12	2.13E-02		3.80E-05		
	Te-125m	8.30E+02	4.65E+09	9.00E+11	5.16E-03		9.22E-06		
	I-129	7.80E-02	4.37E+05	制限なし	—		—		
	Cs-134	3.50E+02	1.96E+09	7.00E+11	2.80E-03		5.00E-06		
	Cs-135	1.10E-03	6.16E+03	1.00E+12	6.16E-09		1.10E-11		
	Cs-137	1.70E+04	9.52E+10	6.00E+11	1.59E-01		2.83E-04		
	Ce-144	7.00E-01	3.92E+06	2.00E+11	1.96E-05		3.50E-08		
	Sm-151	4.80E+00	2.69E+07	1.00E+13	2.69E-06		4.80E-09		
	Eu-152	3.80E+04	2.13E+11	1.00E+12	2.13E-01		3.80E-04		
	Eu-154	1.70E+04	9.52E+10	6.00E+11	1.59E-01		2.83E-04		
	Eu-155	4.40E+01	2.46E+08	3.00E+12	8.21E-05		1.47E-07		
	Ho-166m	5.60E+00	3.14E+07	5.00E+11	6.27E-05		1.12E-07		
	Pb-210	6.10E-07	3.42E+00	5.00E+10	6.83E-11		1.22E-13		
	Po-210	6.20E-07	3.47E+00	2.00E+10	1.74E-10		3.10E-13		
	Ra-226	5.30E-08	2.97E-01	3.00E+09	9.89E-11		1.77E-13		
	Ra-228	5.20E-05	2.91E+02	2.00E+10	1.46E-08		2.60E-11		
	Ac-227	5.30E-04	2.97E+03	9.00E+07	3.30E-05		5.89E-08		
	Th-228	2.50E-01	1.40E+06	1.00E+09	1.40E-03		2.50E-06		
	Th-229	9.80E-05	5.49E+02	5.00E+08	1.10E-06		1.96E-09		
	Th-230	1.30E-05	7.28E+01	1.00E+09	7.28E-08		1.30E-10		
	Th-232	5.90E-05	3.30E+02	制限なし	—		—		
	Pa-231	1.90E-03	1.06E+04	4.00E+08	2.66E-05		4.75E-08		
	U-232	2.60E-01	1.46E+06	1.00E+09	1.46E-03		2.60E-06		
	U-233	8.00E-02	4.48E+05	6.00E+09	7.47E-05		1.33E-07		
	U-234	2.40E-03	1.34E+04	6.00E+09	2.24E-06		4.00E-09		
	U-235	1.40E-05	7.84E+01	制限なし	—		—		
	U-236	1.90E-05	1.06E+02	6.00E+09	1.77E-08		3.17E-11		
	U-238	3.70E-04	2.07E+03	制限なし	—		—		
	Np-237	8.20E-05	4.59E+02	2.00E+09	2.30E-07		4.10E-10		
	Pu-238	7.30E-01	4.09E+06	1.00E+09	4.09E-03		7.30E-06		
	Pu-239	1.60E+02	8.96E+08	1.00E+09	8.96E-01		1.60E-03		
	Pu-240	3.30E-01	1.85E+06	1.00E+09	1.85E-03		3.30E-06		
	Pu-241	1.80E+01	1.01E+08	6.00E+10	1.68E-03		3.00E-06		
	Pu-242	1.90E-03	1.06E+04	1.00E+09	1.06E-05		1.90E-08		
	Am-241	5.80E+01	3.25E+08	1.00E+09	3.25E-01		5.80E-04		
	Am-242m	5.60E-03	3.14E+04	1.00E+09	3.14E-05		5.60E-08		
	Am-243	5.50E-02	3.08E+05	1.00E+09	3.08E-04		5.50E-07		
	Cm-242	5.00E-03	2.80E+04	1.00E+10	2.80E-06		5.00E-09		
	Cm-243	5.70E-03	3.19E+04	1.00E+09	3.19E-05		5.70E-08		
	Cm-244	2.50E+01	1.40E+08	2.00E+09	7.00E-02		1.25E-04		
	Cm-245	3.20E-03	1.79E+04	9.00E+08	1.99E-05		3.56E-08		
	Cm-246	1.50E-02	8.40E+04	9.00E+08	9.33E-05		1.67E-07		
	合計	3.84E+08	2.15E+15	1.93E+14	3.11E+03		5.56E+00		

余裕深度処分

注1：角型容器を想定し、廃棄体量は5,600kgと仮定した。

注2：D/A₂の合計が1以下の場合はA型、1より大きい場合はB型となる。

注3：C/(A₂/10,000)の合計が1以下の場合はI P型、1より大きい場合はIとなる。

注4：廃棄体表面から3m地点の線量基準に対する評価はしていない。

3.4 輸送容器

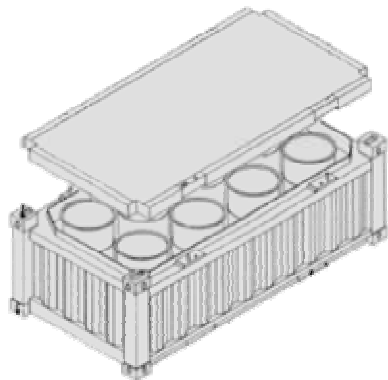
廃棄体輸送に用いる輸送容器は、収納物に含まれる放射エネルギーに応じて適切なものを用いることにより、放射性物質の閉じ込め、臨界防止などの安全を確保することとしており、対象収納物によってその構造が大きく異なる。

そこで、前項で想定した輸送区分毎の輸送容器（海上輸送に用いる輸送容器）の一例を以下に示す。

3.4.1 I P型輸送物の輸送容器

I P型輸送物の輸送容器には、既に原子力発電所の低レベル放射性廃棄物（廃棄体）の輸送に用いられているLLW-1型輸送容器がある。また、国内では使用されていないが、欧米などではISOコンテナがI P型輸送物の輸送容器として用いられている。

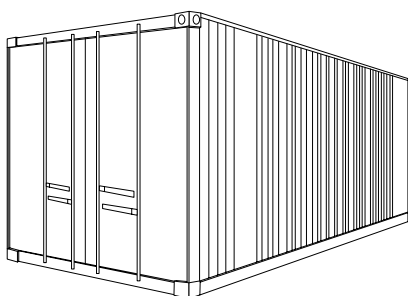
LLW-1型輸送容器の外形図を図5⁴⁾に、また、ISOコンテナの外形図を図6に示す。



概略外寸 : H1.1m×W1.6m×L3.2m
 容器重量 : 1.0ton
 輸送物の総重量 : 7.5ton

出典：原燃輸送㈱

図5 LLW-1型輸送容器の外形図



概略外寸 : H2.4m×W2.4m×L6.1m
 容器重量 : 2.3ton
 最大重量 : 24 ton

図6 ISOコンテナの外形図

3.4.2 B型輸送物の輸送容器

余裕深度処分相当及び地層処分相当の廃棄体の中には、放射エネルギーが多く、I P型輸送物の輸送容器では輸送できないものがある。現在、国内では放射性廃棄物を対象としたB型輸送物の輸送

容器は実用化されていないが、ドイツ、イギリス、スウェーデン等では廃棄体の種類に応じた輸送容器が使用されている。処分容器を角型容器とする場合、スウェーデンで使用されている輸送容器（ATB8K型輸送容器）などが今後のB型輸送物の輸送容器検討で参考となる。

ATB8K型輸送容器の外形図⁵⁾を図7に示す。

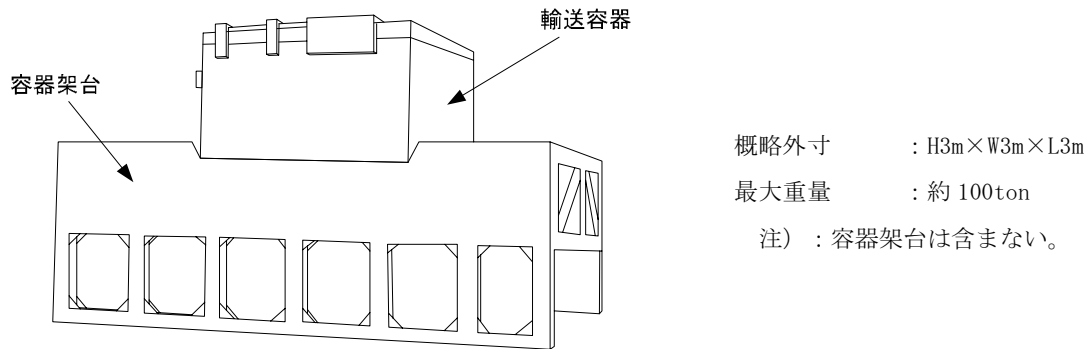


図7 ATB8K型輸送容器の外形図

3.5 輸送手段

3.5.1 海上輸送

輸送物量が少なく、輸送頻度の低い場合、トレーラ等を用いる陸上輸送でも問題とならないが、廃棄体輸送のように輸送物量が多く、高頻度で輸送しなければならない場合は合理的な輸送手段を用いることが必須である。この観点で輸送船を用いる海上輸送は、陸上輸送に比べて一度に大量の廃棄体が輸送できるため、輸送回数が少なくできるといった利点がある。

海上輸送で用いる輸送船についてみると、IP型輸送物に区分される廃棄体は、原子力発電所から青森県六ヶ所村の低レベル放射性廃棄物埋設センターへの輸送に使用されているような専用船（青栄丸）で輸送するか、あるいは一般貨物船をチャーターし、専用積載として輸送することとなる。一方、B型輸送物に区分される廃棄体は、輸送容器自体が大型、且つ重量物となる可能性が高いことから、使用済燃料の輸送に見られるように、輸送船と言えども積載できる輸送容器数はIP型輸送容器に比べて大幅に制限される。

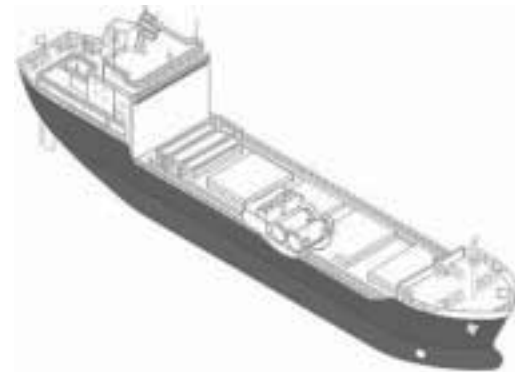
低レベル放射性廃棄物輸送の専用船（青栄丸）での積載例⁴⁾を図8に、使用済燃料輸送の専用船（六栄丸）での積載例⁴⁾を図9に示す。



主要寸法 : 全長約 100m、全幅約 16m
 積貨重量 : 約 3,000ton
 貨物積載個数 : LLW型輸送容器最大 384 基
 (ドラム缶 3,072 本)

出典 : 原燃輸送㈱

図 8 低レベル放射性廃棄物輸送の専用船（青栄丸）での積載例



主要寸法 : 全長約 100m、全幅約 16.5m
 積貨重量 : 約 3,000ton
 貨物積載個数 : 使用済み燃料輸送容器最大 20 基

出典 : 原燃輸送㈱

図 9 使用済燃料輸送の専用船（六栄丸）での積載例

3.5.2 陸上輸送

3 項の図 4 に示すとおり海上輸送を行う場合でも、廃棄体化施設から発地港までの輸送及び着地港から埋設処分施設までの輸送は、トラック等を用いて陸上輸送を行わなければならない。現在国内で行われている新燃料の輸送などをみると、一般道路や高速道路を利用することから、パブリックアクセプタンス（社会的受容性）上、数台の輸送車両と警備車で隊列を組んで輸送されており、廃棄体でも同様の輸送になると思われる。一方、陸上輸送にかかる制約としては、一般道路や高速道路を通行する関係から、国や自治体の行事や道路工事期間を避けるため輸送日に制約があり、また、一隊列あたりの輸送車両数も制限される。従って、一度に大量の輸送を行わなければならない廃棄体輸送においては、特に廃棄体化施設から発地港及び着地港から埋設処分施設までの輸送を効率的に行うことが重要である。過去に実施した輸送（IP型輸送物）の編成例を図 10 に示す。

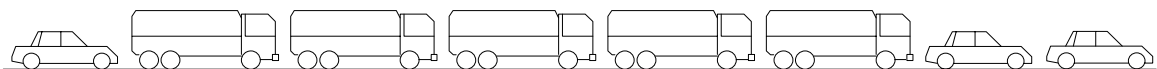


図 10 輸送隊列の編成例

4. 輸送区分、輸送回数及び輸送コストの検討

本項では、ケーススタディーとして原子力機構の再処理施設及びMOX施設からの廃棄体（2000ドラム缶換算で約15,000本）について、輸送区分を検討するとともに、海上輸送を想定した場合の輸送回数と輸送コストについて概算した。また、比較のために同量の廃棄体を陸上輸送する場合の輸送回数と輸送コストも概算した。

4.1 輸送区分

本項では、原子力機構の再処理施設及びMOX施設から発生する廃棄物の廃棄体を例に、具体的な輸送区分を評価した。

TRU2次レポート等では、廃棄体は廃棄物の種類に応じてセメント固化体、プラスチック固化体、アスファルト固化体、溶融固化体等を想定している²⁾。また、各廃棄体中の放射能濃度は、廃棄物の発生場所や処理方法毎に設定された核種組成と放射エネルギーによって決められている。ここでは、個々の廃棄体に設定されている放射能濃度及び放射エネルギー（以下「廃棄体データ」という）を基に比放射能、核分裂性物質質量、線量当量率を評価した。

輸送区分の評価条件を表10に示す。

表10 輸送区分の評価条件

	コンクリートピット 処分相当の廃棄体	余裕深度処分相当の 廃棄体	地層処分相当の 廃棄体
処分容器	2000ドラム缶	角型容器 ^(注1)	廃棄体パッケージ ^(注2)
評価項目	<ul style="list-style-type: none"> ・放射エネルギー ・比放射能 ・核分裂性物質質量 ・線量当量率^(注3) 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射エネルギー ・核分裂性物質質量 	<ul style="list-style-type: none"> ・放射エネルギー ・核分裂性物質質量
線量当量率評価 (評価コード等)	<ul style="list-style-type: none"> ・評価コード：ANISN ・データライブラリ：DLC-23 ・線量率換算係数： ICRP Pub. 74⁽⁶⁾ 	—	—

注1：余裕深度処分相当の廃棄体は、現在、発電所解体廃棄物などの処分容器として検討されている1.6m角の角型容器⁷⁾を想定した。輸送区分の評価にあたっては、角型容器の場合、IP型輸送物になるか否かを判断する際に適用する比放射能の均一性を確認することが困難であるため、ここではA型又はB型輸送物のいずれかに区分するものとした。

注2：地層処分相当の廃棄体は、2000ドラム缶等が想定されているが、処分にあたっては2000ドラム缶4本をパッケージ化した状態で埋設施設に定置することを想定している²⁾ことから、ここでは廃棄体パッケージを処分容器とみなして検討した。輸送区分の評価にあ

たつては、余裕深度処分相当の廃棄物と同様に、容器内の比放射能の均一性を確認することが困難であるため、ここではA型又はB型輸送物のいずれかに区分するものとした。

注3：廃棄物表面から3m地点の線量当量率を評価した。また、IP型輸送物に区分された輸送物は、輸送容器の遮蔽能力が低いことを考慮して、表面線量当量率及び1m地点の線量当量率についても評価した。

評価の結果、廃棄物全体としては、86%がIP型輸送物に区分され、A型輸送物は2%、B型輸送物は12%となった。一方、施設別に見た場合は、再処理施設廃棄物の廃棄物は、90%がIP型輸送物、A型輸送物は2%、B型輸送物は8%となった。MOX施設廃棄物の廃棄物は、再処理施設廃棄物に比べて A_2 値が小さい α 核種が多く含まれることから、輸送区分は全てB型輸送物となった。また、処分区別に見ると、コンクリートピット処分の廃棄物は、ほぼ全数がIP型輸送物となった。余裕深度処分の廃棄物は、処分容器を角型容器（2000ドラム缶7本分の量）とした結果、IP型の要件を満足できないため、72%がA型輸送物、28%がB型輸送物となった。地層処分の廃棄物についても、角型容器（2000ドラム缶4本をパッケージ化したもの）を前提とした結果、全てB型輸送物となった。

廃棄物全体の輸送区分を図11、施設別にみた輸送区分を図12に、また処分区別にみた輸送区分を図13に示す。

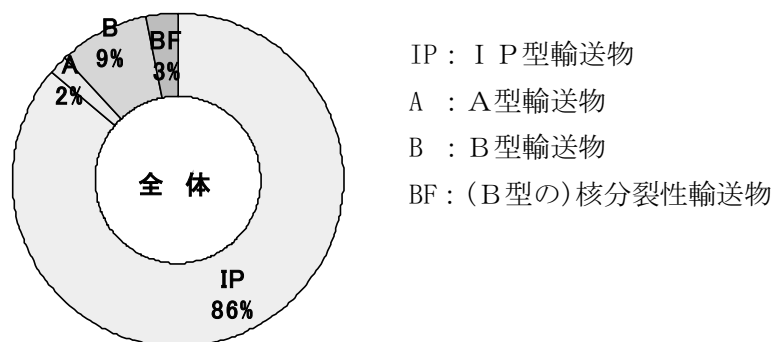


図11 廃棄物全体の輸送区分

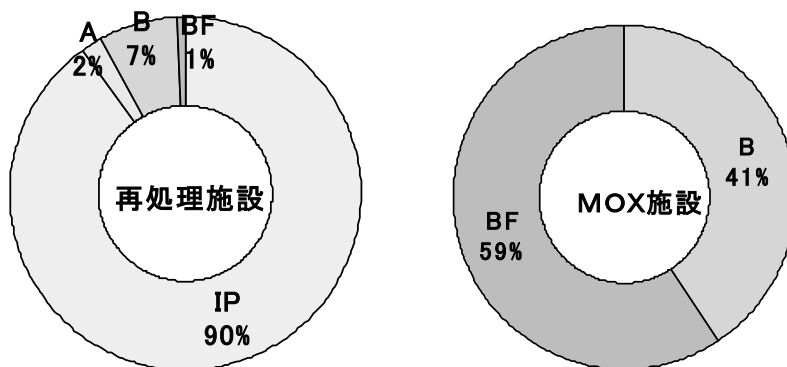


図12 施設別にみた輸送区分

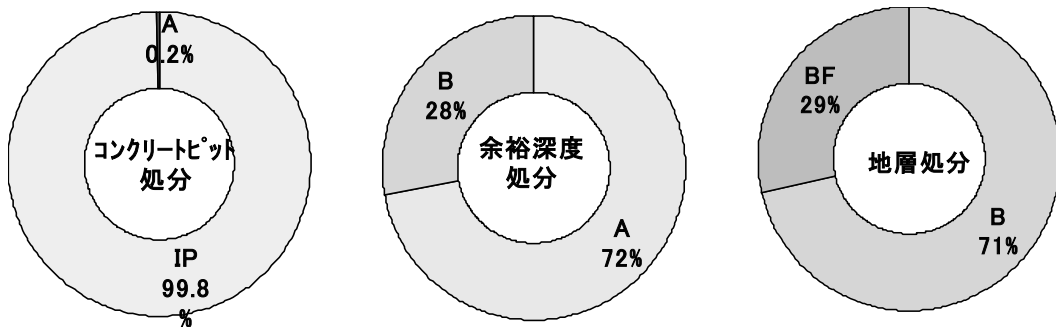


図 13 処分区分別にみた輸送区分

4.2 輸送回数、輸送コスト

4.2.1 処分容器及び輸送容器の条件

廃棄体の輸送は、最終の荷姿として廃棄体を輸送容器に収納した状態（以下「輸送物」という）で行われる。輸送船や輸送車両への積み込み作業などは全てこの輸送物単位で行われることから、ここでは輸送物量を輸送物の数で表すこととする。

評価の前提とした廃棄体量を表 11 に、また、輸送物量の算出にあたって仮定した処分容器及び輸送容器の条件（処分容器の収納数）を表 12 に示す。

表 11 廃棄体量

	コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分
処分容器	2000ドラム缶	角型容器	廃棄体パッケージ
廃棄体量 ^(注1)	86,726 本	2,656 基	11,108 基

注 1：TRU 2 次レポート等で想定している物量を処分容器単位で集計した値。

表 12 処分容器及び輸送容器の条件

		コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分	
処分容器		2000ドラム缶	角型容器	廃棄体パッケージ	
輸送容器 条件 (処分容器 収納数)	海上 輸送	I P型	8本/輸送容器 ^(注1)	—	—
		A型	32本/輸送容器 ^(注2)	8基/輸送容器 ^(注3)	—
		B型	—	8基/輸送容器 ^(注3)	8基/輸送容器 ^(注3)
		B F型	—	—	8基/輸送容器 ^(注3)
	陸上 輸送	I P型	8本/輸送容器 ^(注1)	—	—
		A型	4本/輸送容器 ^(注4)	1基/輸送容器 ^(注5)	—
		B型	—	1基/輸送容器 ^(注5)	1基/輸送容器 ^(注5)
		B F型	—	—	1基/輸送容器 ^(注5)

注1：LLW型相当の輸送容器を想定し、2000ドラム缶が8本収納できるものとした。

注2：ATB8K型相当の輸送容器を想定し、2000ドラム缶が32本収納できるものとした。

注3：ATB8K型相当の輸送容器を想定し、角型容器が8基収納できるものとした。

注4：2000ドラム缶が4本収納できる輸送容器を想定した。

注5：角型容器が1基収納できる輸送容器を想定した。

4.2.2 輸送物量

前項に基づき算出した輸送物量を表13に示す。

なお、輸送区分毎の内訳は4.1項の評価結果に基づくものとする。

表 13 輸送物量 (基)

輸送方法	輸送区分	コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分
海上輸送	I P型	10,766	0	0
	A型	19	240	0
	B型	0	92	991
	B F型	0	0	398
陸上輸送	I P型	10,766	0	0
	A型	151	1,922	0
	B型	0	734	7,929
	B F型	0	0	3,179

4.2.3 輸送能力及び輸送単価

輸送回数及び輸送コストの算出にあたって、設定した輸送能力及び輸送単価を表 14 に示す。

なお、ここで設定した輸送単価については、本検討のために概算した値であり、実際の輸送単価を示すものではない。

表 14 輸送能力及び輸送単価

			コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分
輸送能力 (1 回当たりの輸送 可能な輸 送容器数)	海上 輸送	I P 型	380 基 ^(注 1)	—	—
		A 型	20 基 ^(注 2)	20 基 ^(注 2)	—
		B 型	—	20 基 ^(注 2)	20 基 ^(注 2)
		B F 型	—	—	20 基 ^(注 2)
	陸上 輸送 ^(注 3)	I P 型	10 基 ^(注 4)	—	—
		A 型	5 基 ^(注 5)	5 基 ^(注 5)	—
		B 型	—	5 基 ^(注 5)	5 基 ^(注 5)
		B F 型	—	—	5 基 ^(注 5)
輸送 単価	海上輸送	1.3 億円/輸送 ^(注 6)			
	陸上輸送	0.4 億円/輸送 ^(注 7)			

注 1：青栄丸（原子力発電所低レベル放射性廃棄物の輸送船）と同等の積載能力を想定した。

注 2：六栄丸（使用済み燃料の輸送船）と同等の積載能力を想定した。

注 3：輸送 1 回あたりの輸送隊列は 1 隊列とし、隊列中の輸送車両数は 5 台とした。

注 4：輸送車両 1 台に輸送容器を 2 基積載できるものとした。

注 5：輸送車両 1 台に輸送容器を 1 基積載できるものとした。

注 6：埋設処分施設は事業所から遠隔地にあるものとし、発地港は事業所内又は近傍に隣接、着地港は埋設処分施設敷地内または近傍に隣接しているものとした。輸送船は専用とし、設備購入費（輸送船）、設備購入利子、諸費、固定資産税、減価償却費、保険料及び船員・警備員等の人件費を考慮し、輸送容器の設計費及び製作費は対象外として輸送単価を概算した。また、廃棄体化施設から発地港、着地港から埋設処分施設までの陸上輸送コストは輸送単価に含めた。

注 7：輸送車両は専用とし、設備購入費（車両）、設備購入利子、諸費、固定資産税、減価償却費、保険料及び警備員等の人件費を考慮し、輸送容器の設計費及び製作費は対象外として輸送単価を概算した。

4.2.4 検討結果

(1) 輸送回数

4.2.1 項から 4.2.3 項の評価条件に基づいた海上及び陸上輸送それぞれにおける輸送回数を表 15 に示す。

表 15 輸送回数 (回)

輸送方法	輸送区分	コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分	合計
海上 輸送	I P型	28	0	0	28
	A型	1	12	0	13
	B型	0	4	50	54
	B F型	0	0	20	20
	合計	29	16	70	115
陸上 輸送	I P型	1,076	0	0	1,076
	A型	31	384	0	415
	B型	0	147	1,586	1,733
	B F型	0	0	637	637
	合計	1,107	531	2,223	3,861

(2) 輸送頻度

年間の輸送回数（以下「輸送頻度」という）は、年間に発生する廃棄体量や既設の廃棄体貯蔵能力との関係などで決まるものであるが、ここでは輸送期間を20年間、30年間、40年間としたときの平均的な輸送頻度として表16に一例を示す。

表 16 輸送頻度 (回/年)

処分区分	輸送期間	コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分
海上輸送	20年間	1.5	0.8	3.5
	30年間	1.0	0.5	2.3
	40年間	0.7	0.4	1.8
陸上輸送	20年間	55.4	26.6	111.2
	30年間	36.9	17.7	74.1
	40年間	27.7	13.3	55.6

(3) 輸送コスト

海上輸送ケース及び陸上輸送ケースにおける概算輸送コストの検討結果を表17に示す。

表 17 概算輸送コスト (億円)

処分区分	コンクリート ピット処分	余裕深度処分	地層処分	合計
海上輸送	38	21	91	150
陸上輸送	443	212	889	1,544

5. まとめ

現在、廃棄体化施設の建設や運転に向けた準備を進めるとともに、輸送先である埋設処分施設についても、建設に向けた準備を進めているところである。廃棄体輸送に関しては、輸送量が多いことなどを踏まえると、輸送コストの低減は重要な検討すべき課題である。

廃棄体輸送に係る関係法令、規則、規準等の整理及び核燃料施設から発生する廃棄物の廃棄体輸送区分、並びに一定の規模を想定した時の輸送回数、輸送コスト等について概算した。

輸送区分は、86%の廃棄体がI P型輸送物であり、輸送基準の厳しいA型輸送物は2%、B型輸送物は12%であった。

輸送回数についてみると、海上輸送の場合、I P型輸送物は一度に大量の輸送量に対応できるため30回弱であるが、A型、B型輸送物は1回あたりの輸送量が少ないため、輸送回数は90回弱となる。今後の検討においては、これらの輸送効率を上げる検討が必要である。

輸送コストについては、概算の比較ではあるが、大量の廃棄体を運ぶ場合、海上輸送の費用は陸上輸送に比べて約1/10であり、海上輸送が有利であることを確認した。港湾整備費など今回考慮しなかった費用が別途必要となる可能性もあるが、これらを考慮しても海上輸送が有利であると考えられる。

また、今後の輸送計画の具体化では、以下のような点についても検討を行う必要がある。

- ・ I P型輸送物の輸送容器は、L L W型など国内で実績はあるものの、廃棄体輸送専用のA型、B型、B F型の輸送容器は実用化されていないことから、今後の検討では国外の実績（スウェーデンで開発、使用実績があるA T B 8 K型や米国でのT R U P A C Tなど）も参考にしつつ合理的、且つ効率的な輸送容器を開発する必要がある
- ・ 船舶による海上輸送は、大量の廃棄体を一度に輸送できるが、廃棄体化施設から発地港まで及び着地港から埋設処分施設までは陸上輸送によることから、これらの陸上輸送が全体の輸送効率に影響を与えないよう合理的な輸送システムを構築する必要がある。
- ・ 本検討では地層処分相当の廃棄体を廃棄体パッケージに加工する作業を廃棄体化施設側として検討したが、今後の検討では輸送コストの削減の観点から合理的な作業場所（廃棄体化施設側もしくは埋設処分施設側）を設定する必要がある。

6. おわりに

現在、原子力発電所から発生したコンクリートピット処分相当の廃棄体輸送は、安全かつ合理的な方法で実施されている。核燃料施設から発生する大量の廃棄物の廃棄体輸送については、これらの実績を参考にしつつ、輸送条件、廃棄体の特徴等を勘案して効率的な輸送方法を検討しなければならない。

今後の廃棄体化施設や埋設処分施設の建設、操業の早期実現を目指す一方、これらの計画に合わせて輸送容器の開発、発地、着地の港設定、輸送船の検討など諸条件について具体化を図り、安全で確実な合理性のある輸送方法を検討していく計画である。

参考文献

- 1) 日本原子力研究開発機構 : 「低レベル放射性廃棄物管理計画書」平成 19 年 3 月
- 2) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構 : 「TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-」 JNC TY1400 2005-013, 平成 17 年 9 月
- 3) 原子力安全委員会 : 「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」平成 19 年 5 月 21 日
- 4) 原燃輸送株式会社 : 公開ホームページ <http://www.nft.co.jp/equipment/equipment4.html>
- 5) Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co : Transportation of radioactive waste
- 6) 日本アイソトープ協会 : 「ICRP Publ. 74 外部放射線に対する放射線防護に用いるための換算係数」
- 7) 原子力安全・保安院 廃棄物安全小委員会 : 第 24 回「余裕深度処分に関する検討状況について」 資料 2-2(1) 平成 18 年 9 月 11 日

This is a blank page.

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	立法メートル	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	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
質量濃度 ^(a)	モル毎立方メートル	mol/m ³
質量濃度	キログラム毎立法メートル	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	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) とよばれる。
 (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	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷	クーロン	C		s A
電位差 (電圧)	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	ウエーバ	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	K
光束流	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	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
性線量当量				
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
粘り度	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱流密度	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
熱容量	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比熱容量	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
モルエンタルピー	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
照射線量 (X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ⁴ m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
放射輝度	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
酵素活性濃度	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	デカ	d
10 ²¹	ゼタ	Z	10 ²	ヘンチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ³	ミリア	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=60s
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=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1 L=111 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=0.1MPa=100kPa=10 ⁵ Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10 ⁻¹⁰ m
海里	M	1 M=1852m
バイン	b	1 b=100fm 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 =0.1Pa s
ストークス	St	1 St=1cm ² s ⁻¹ =10 ⁻⁴ m ² s ⁻¹
スチルブ	sb	1 sb=1cd cm ² =10 ⁻⁴ cd m ²
フォト	ph	1 ph=1cd sr cm ² 10 ⁴ lx
ガリ	Gal	1 Gal=1cm 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=1Mx 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=1cGy=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 フェルミ=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=4.1858J (「15°C」カロリー), 4.1868J (「IT」カロリー), 4.184J (「熱化学」カロリー)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

