

<概要>

核燃料物質は国際原子力機関（IAEA）が定めた「放射性物質安全輸送規則」に従って国際的な運搬が行われている。この規則の中で、輸送物は収納される放射エネルギーによって「L型輸送物」、「A型輸送物」および「B型輸送物」に区分される。また、放射能の濃度が低いものや、表面のみが汚染されたものを対象とした「IP型輸送物」がある。運搬に当たっては、これらの区分ごとに定められた技術基準を満足することが要求されている。技術基準に合致していることについては、（１）輸送物設計承認、（２）容器承認、（３）車両運搬確認、（４）積載方法承認、（５）運搬届というように、段階的に確認が行われている。ここでは、これらの基準に従って実施している運搬の実例を紹介する。核燃料物質の車両運搬の代表的な例としては、六フッ化ウランとウラン燃料（新燃料）集合体および使用済燃料の運搬がある。

<更新年月>

2008年12月

<本文>

1. 安全規制の概要

核燃料物質等の運搬については、国際原子力機関（IAEA：International Atomic Energy Agency）により国際基準となる「放射性物質安全輸送規則」が定められており、各国はこの2005年版輸送規則に従って安全規制を実施している。

わが国においても、このIAEAの輸送規則（2005年版）に準じて運搬の安全規制が行われている。具体的には、工場または事業所の外であって陸上での車両運搬については、「核原料物質、核燃料物質および原子炉の規制に関する法律（昭和32年6月10日、法律第11号、最終改正平成19年6月13日法律第84号）」（「原子炉等規制法」と略称）に基づき、経済産業省、文部科学省、国土交通省および都道府県公安委員会により実施されている。さらに、海上での船舶運送については、「船舶安全法（昭和8年3月15日、法律第11号、最終改定）」に基づき国土交通省および海上保安庁により、また、航空機による航空輸送については、「航空法（昭和27年7月15日、法律第231号）」に基づき国土交通省により、それぞれ実施されている。

核燃料物質等は図1に示す核燃料サイクルの大きな流れに従って運搬され、核燃料物質等の運搬、運送、輸送は、核燃料サイクルの動脈に例えることができる。核燃料物質等の車両運搬の代表的な例としては、六フッ化ウランとウラン燃料（新燃料）集合体および使用済燃料の運搬がある。

2. 輸送物の安全基準

核燃料輸送物は、収納する放射能の総量により「L型輸送物」、「A型輸送物」および「B型輸送物」に区分され、また、これらの区分の他に、放射能濃度が低いものや表面のみが汚染されたものの「IP型輸送物」の4つに区分される。ここで、「核燃料輸送物」とは、核燃料物質等が容器に収納されているものをいう（「事業所外運搬規則」第1条）。さらに、核燃料物質のうちでもウラン235、プルトニウム239、プルトニウム241およびこれらの化合物等の核分裂性物質は、ある条件を満たすと臨界になる性質をもっているため、上記の区分とは別に「核分裂性輸送物」として分類されている。これらの核燃料物質を輸送する場合には、いずれも区分ごとに定められた技術基準を満足することが必要である。核燃料輸送物の技術上の基準を表1-1、表1-2に示す。表の中で「一般の試験条件」とは、通常の手続きで生じうる状況を想定した試験条件であり、「特別の試験条件」とは、万一、思いがけない事故に遭遇した場合を想定した試験条件であ

る。この技術基準を満足しているかどうかの試験条件を表2に、試験条件の概念を図2に示す。

3. 安全審査

核燃料物質を初めて（承認された輸送容器によらないで）運搬する場合には、B型輸送物および核分裂性輸送物の運搬にあたっては以下の確認等が行われる。これらの手続きの流れを図3に示す。

(1) 輸送物設計承認（主務省：本文末の注を参照）

輸送物を設計する段階で、その設計が基準に適合していることについて安全審査を受ける必要がある。その内容は、輸送物の説明、輸送物の安全解析（構造強度、熱（火災）、密封性、遮へい、臨界等）および輸送容器の製作方法に関する事項等である。審査の結果、輸送物の設計が技術上の基準に適合していると認められた場合には、「核燃料輸送物設計承認書」が交付される。これらの技術的な審査にあたっては、必要に応じ「輸送物安全技術顧問会」が開催され、専門的な見地から慎重な審査が行われる。

(2) 容器承認（主務省）

輸送容器を製作する段階で、その輸送容器が上記の「核燃料輸送物設計承認書」に記載されているとおりに製作され、基準に適合していることの確認を受け、「容器承認書」の交付を受ける。検査は、輸送容器の製作中、製作後の各段階で行われる。

(3) 車両運搬確認（主務省）

実際の運搬を行う前に発送前検査（外観検査、吊り上げ検査、重量検査、表面密度検査、線量当量率検査、収納物検査、温度測定検査、気密漏洩検査および圧力測定検査）を行い、技術上の基準に適合していることの確認を受け、「車両運搬確認証」の交付を受ける。

(4) 積載方法承認（国土交通省）

運搬中に、移動、転倒、転落等により輸送物の安全性が損なわれることがないように、車両への積載方法、固縛用具、架台等に関する強度計算、運搬の実施体制等について確認を受け、「積載方法承認証」の交付を受ける。

(5) 運搬届（公安委員会）

通過する都道府県の公安委員会に対し運搬届出をし、公安委員会から安全運搬のための指導や指示を受ける。

4. 輸送物の概要

図4、図5、図6および図7に、各種の輸送容器例を示す。また、図8に使用済燃料輸送の一例を示す。輸送容器の大きさは種類によって多少の差があるが、外部の直径は約2メートル程度の円筒形で、本体はステンレス鋼でできている。内部には放射線を遮へいするために鉛やシリコンゴムが張られている。また、外部の表面には使用済燃料が出す熱を放散するために、フィンが取り付けられている。輸送の際にはこの輸送容器に使用済燃料が入れられ、ステンレス製のふたで密封したうえ、上部と下部に緩衝体を取りつけられる。

これらの輸送容器を使用して核燃料物質等を運搬する場合には、いずれも上記の安全規制に従って、安全基準に適合することの確認等が行われており、既に数多くの運搬実績が積み上げられている。なお、文部科学省（旧科学技術庁）では、核燃料等の運搬に係る技術基準について、その信頼性を実証するため、実物大（使用済燃料輸送容器の場合には100トン級になる）の輸送容器による各種実証試験を（財）電力中央研究所に委託して実施しており、十分に信頼性が確保できることを確認している。

5. まとめ

1966年8月、わが国において初めての使用済燃料運搬が行われた（茨城県東海村から日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）の研究炉（JRR-2）の使用済燃料を米国のアイダホ州に運搬）。それ以来、40年以上にわたって、毎年、発電炉等からの使用済燃料の運搬が実施されている。また、放射性物質（ラジオアイソトープを含む）の運搬は、毎日、数百件の割合で実施されている。

このような状況下、放射性物質の運搬で、特に大きなトラブルは生じていない。これは、放射性物質の運搬に係る技術基準等が、安全性の観点からみて信頼に足るものであることを示している。なお、特定核燃料物質の運搬にあたっては、上記の他に、必要な防護措置を講ずることが要求されている。

（注）主務省とは、行政事務の主管権限を持つ省を言い、事業の種類によって以下のように区分されている。

- (1) 精錬、加工、使用済燃料貯蔵、再処理、廃棄、発電用原子炉：経済産業省
- (2) 上記以外の事業における核燃料物質等の使用、試験研究用原子炉：文部科学省
- (3) 船舶用原子炉：国土交通省

<関連タイトル>

核燃料物質の船舶運送 (11-02-06-14)
核燃料物質の輸送に関する技術上の基準 (11-03-05-01)
核物質の車両運搬時の防護措置 (13-05-03-07)
核物質の船舶運送 (13-05-03-08)
核物質の航空機輸送 (13-05-03-09)

<参考文献>

- (1) 原子力安全委員会（編）：原子力安全白書 平成18年版、佐伯印刷（2007年）
 - (2) 麻岡秀行：高レベル放射性廃棄物輸送物の安全性について、原子力工業、41巻第10号、日刊工業新聞社（1995年10月）p.24-30
 - (3) 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室（監修）：パンフレット「核燃料サイクルと輸送-安全輸送をめざして-」、（財）原子力安全技術センター（1999年1月）
 - (4) 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課（監修）：パンフレット「核燃料輸送の安全性-使用済燃料輸送容器信頼性実証試験-」、（財）電力中央研究所
 - (5) 日本原子力産業会議（編集発行）：原子力ポケットブック1997年版（1997年5月）p.209-210
 - (6) （財）電力中央研究所バックエンド研究会（編）：核燃料輸送工学、日刊工業新聞社（1998年3月）
 - (7) 松岡 理：核燃料輸送の安全性評価、日刊工業新聞社、（1996年11月）
 - (8) IAEA輸送規則編集委員会（編）：IAEA放射性物質安全輸送規則 1985年版解説、情報センター出版会（1985年）
 - (9) IAEA：Safe Transport of Radioactive Material（Booklet）.1996
（科学技術庁：日本語版「放射性物質の安全輸送」、1988）
 - (10) 青木成文：放射性物質輸送のすべて、日刊工業新聞社、（1990年6月）
 - (11) 有富正憲ほか：特集「放射性物質の安全輸送-現状と将来の課題-」、日本原子力学会誌、Vol.39、No.3、（社）日本原子力学会（1997年3月）p.2-31
 - (12) 原子力規制関係法令研究会（編著）：原子力規制関係法令集2008年版、大成出版社（2008年）
 - (13) Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material-2005 Edition, Safety Standards Series No.TS-R-1, IAEA, 2005
-

表 1—1 核燃料輸送物の技術上の基準（核分裂性輸送物を除く）

基 準	L 型輸送物	IP型輸送物			A 型輸送物	B 型輸送物	
		IP-1型	IP-2型	IP-3型		B(M)型	B(U)型
1. 取扱いが容易かつ安全	○	○	○	○	○	○	○
2. 運搬中に亀裂、破損等のおそれがない。	○	○	○	○	○	○	○
3. 不要な突起物がなく、除染容易	○	○	○	○	○	○	○
4. 材料相互間及び材料収納物間で物理・化学的作用がない	○	○	○	○	○	○	○
5. 弁が誤操作されない措置	○	○	○	○	○	○	○
6. 開封された時に見やすい位置に「放射性」の表示	○	—	—	—	—	—	—
7. 表面汚染が表面密度限度以下（注 1）	○	○	○	○	○	○	○
8. どの辺の大きさも10cm以上	—	○	○	○	○	○	○
9. シールの貼り付け等の封印	—	—	—	○	○	○	○
10. 構成部品が-40℃から70℃で運搬中に亀裂、破損のおそれがない	—	—	—	○	○	○	○
11. 周囲圧力25kPaの下で漏えいがない	—	—	—	○	○	○	○
12. 液体を収納する場合2倍の吸収材又は二重の密封装置	—	—	—	—	○	—	—
13. 液体を収納する場合、注入時の動特性に対応した空間の配慮	—	—	—	○	○	○	○
14. 線量当量率が基準値以下 (1) 表面 (mSv/h)	0.005	2(専用積載かつ輸送方法の3条件が満たされ長官の承認で10) 0.1(専用積載かつ長官の承認で制限なし)(注2)	同左	同左	同左	同左	同左
(2) 表面から1m(mSv/h)	—		同左	同左	同左	同左	同左
15. 不必要な物品の収納不可	—	—	—	—	○	○	○

(注1) 表面密度限度；L型輸送物(0.04Bq/cm²：α(アルファ)、0.4Bq/cm²：α(アルファ)以外)、その他の輸送物(0.4Bq/cm²：α(アルファ)、4Bq/cm²：α(アルファ)以外)

(注2) コンテナ、タンクを輸送物として使用する場合であって、専用積載としないで運搬する場合は、表面から1m離れた点の位置における線量当量率 (mSv/h) に係数をかけた値が0.1を超えないこと。

A2：A型輸送物として輸送できる放射能の限度で、収納する放射性物質の種類（核種）により決められている。

○印：基準が適用

mSv（ミリシーベルト）：放射線の人体に対する影響の度合を示す単位で、例えば、胸のX線間接撮影1回当たりでは約0.3ミリシーベルト程度となる。

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室（監修）：パンフレット「核燃料サイクルと輸送—安全輸送をめざして—」、（財）原子力安全技術センター（1999年1月）p.11

表 1-2 核燃料輸送物の技術上の基準（核分裂性輸送物を除く）

基準	L型輸送物	IP型輸送物			A型輸送物	B型輸送物	
		IP-1型	IP-2型	IP-3型		B(M)型	B(U)型
16. 一般の試験条件下で (1) 表面の線量当量率の著しい増加がない (2) 表面の最大線量当量率 (mSv/h)	—	—	○ 2(専用積載かつ輸送方法の3条件が満たされ長官の承認で10)	○ 同左	○ 同左	○ 同左	○ 同左
(3) 放射性物質の許容漏えい量 (1時間当たり)	—	—	0	0	0	$A_2 \times 10^{-6}$	$A_2 \times 10^{-6}$
(4) 表面の温度が50℃（専用積載の場合85℃）以下	—	—	—	—	—	○	○
(5) 表面汚染が表面密度限度以下	—	—	—	—	—	○	○
17. 特別の試験条件下で (1) 表面から1mでの最大線量当量率 (mSv/h)	—	—	—	—	—	10	10
(2) 放射性物質の許容漏えい量 (1週間当たり)	—	—	—	—	—	A_2 (クリプト)85 は、100TBq)	A_2 (クリプト)85 は、100TBq)
18. 37PBqを超える使用済燃料を収納する場合、200m浸漬試験	—	—	—	—	—	○	○
19. 運搬中に予想できる最低濃度から38℃までの温度で亀裂破損なし	—	—	—	—	—	○	—
20. -40℃から38℃までの温度で亀裂破損なし	—	—	—	—	—	—	○
21. フィルタ、機械的冷却装置の使用不可	—	—	—	—	—	—	○
22. 最高使用圧力が700kPa以下	—	—	—	—	—	—	○

(注1) 表面密度限度；L型輸送物(0.04Bq/cm²：α(アルファ)、0.4Bq/cm²：α(アルファ)以外)、その他の輸送物(0.4Bq/cm²：α(アルファ)、4Bq/cm²：α(アルファ)以外)

(注2) コンテナ、タンクを輸送物として使用する場合であって、専用積載としないで運搬する場合は、表面から1m離れた点の位置における線量当量率 (mSv/h) に係数をかけた値が0.1を超えないこと。

A₂：A型輸送物として輸送できる放射能の限度で、収納する放射性物質の種類（核種）により決められている。

○印：基準が適用

mSv（ミリシーベルト）：放射線の人体に対する影響の度合を示す単位で、例えば、胸のX線間接撮影1回当たりでは約0.3ミリシーベルト程度となる。

【出典】科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室（監修）：パンフレット「核燃料サイクルと輸送－安全輸送をめざして－」、（財）原子力安全技術センター（1999年1月）p.11

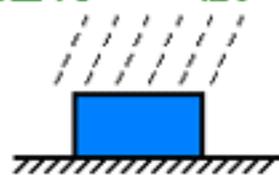


図1 核燃料サイクル

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室 (監修) : パンフレット「核燃料サイクルと輸送 - 安全輸送をめざして -」、(財) 原子力安全技術センター (1999年1月) p. 4, 5

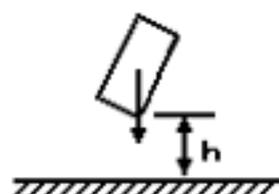
(1) A型輸送物の一般の試験条件

その1



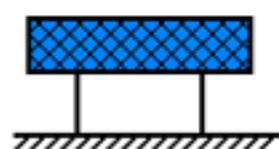
水の吹きつけ試験

輸送中の雨（どしゃ降り）50mm/hの雨量



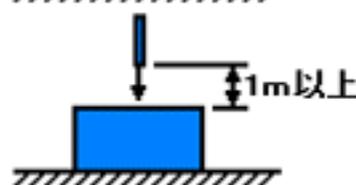
自由落下試験

取扱中の落下、輸送中の耐衝撃性
例) 5トン以下は $h=1.2\text{m}$



圧縮試験

積み重ねた場合の耐圧縮性
例) 自重の5倍で24時間



貫通試験

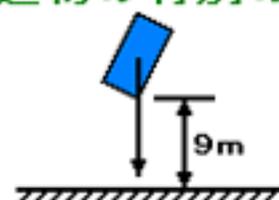
鋼管のような物（重量6kg、直径3.2cm）による耐貫通性

その2

液体状および気体状の放射性物質等を収納したA型輸送物の場合は、9m以上の落下試験および1.7m以上からの貫通試験を追加して行うことがある。

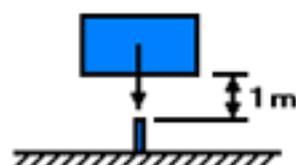
(2) B型輸送物の特別の試験条件

その1



落下試験1

9mの高さから最大の衝撃を受けるように落下



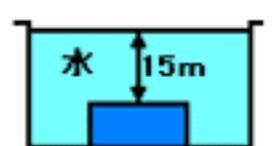
落下試験2

直径15cmの棒上への落下



耐火試験

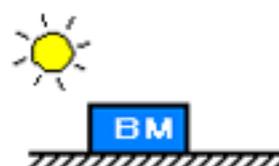
800℃、30分



浸漬試験

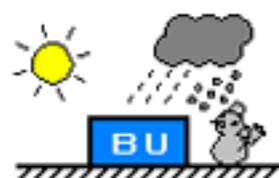
水深 15m

その2



環境試験

BM型輸送物は38℃の環境に1週間放置

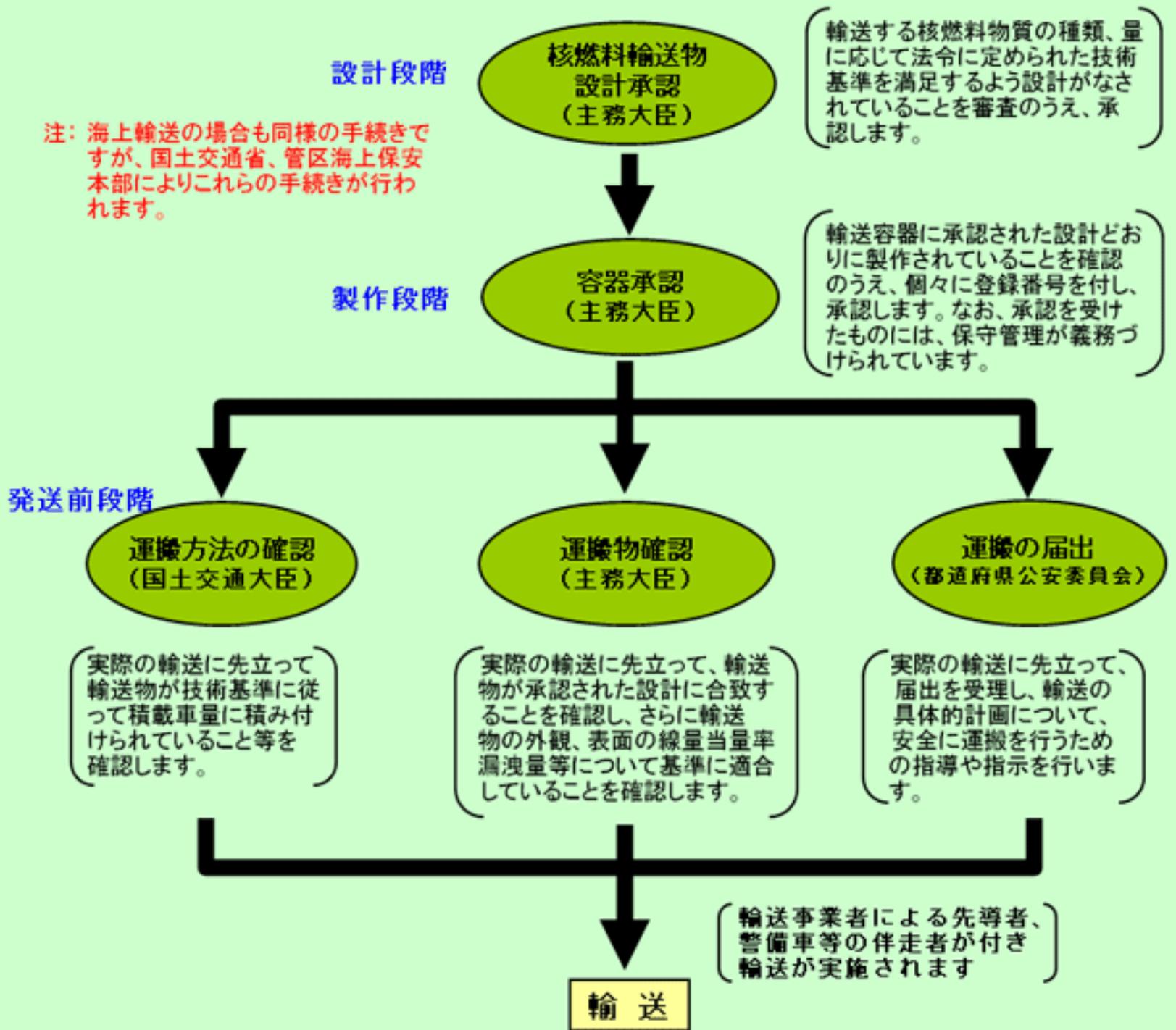


BU型輸送物は38～-40℃の環境に1週間放置

図2 輸送物の試験条件概念図

(注) 下記の【出典】をもとに作成した。

【出典】 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課：核燃料輸送の安全性－使用済燃料輸送容器信頼性試験－、(財)電力中央研究所、p. 6-7



**図3 核燃料輸送物に係る手続きの流れ
(陸上輸送の場合)**

(注) 下記の出典に基づき、原子炉等規制法の改定を反映して作成した。

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室(監修):
パンフレット「核燃料サイクルと輸送—安全輸送をめざして—」、
(財)原子力安全技術センター(1999年1月)p.7

● 天然六フッ化ウランの輸送

転換工場から輸送される天然六フッ化ウランには、弁などが保護された耐圧密封性を有するシリンダー型の輸送容器が使われます。



天然六フッ化ウラン輸送容器

● 濃縮六フッ化ウランの輸送

濃縮された六フッ化ウランを収納する輸送容器は、耐圧密封性を有するシリンダー部と耐衝撃性、耐熱性を有する保護容器からなっています。



濃縮六フッ化ウラン輸送容器

六フッ化ウラン

六フッ化ウランは、常温では白色、結晶状態の固体です。

転換工場から濃縮工場へ輸送される天然六フッ化ウランと濃縮工場から再転換工場へ輸送される濃縮六フッ化ウラン（濃縮度約2～5パーセント）があります。



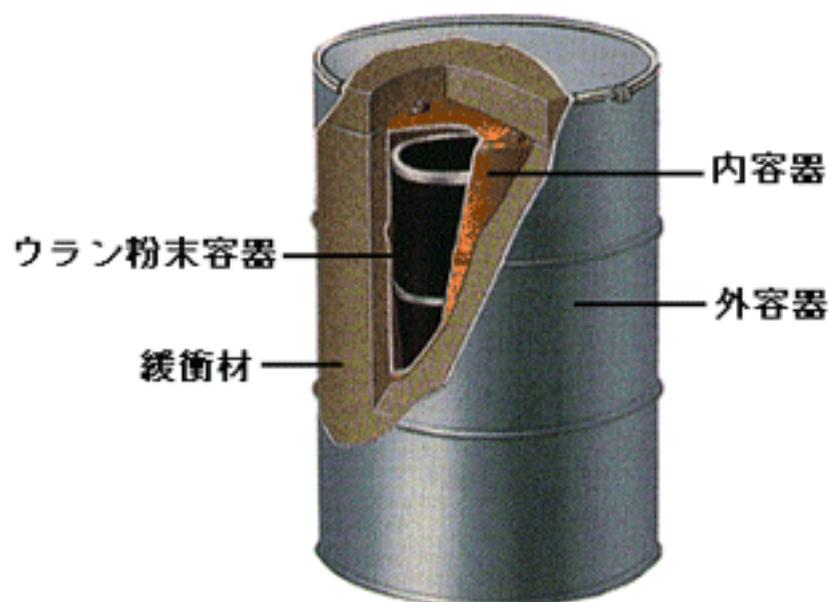
輸送容器のタイプ・寸法・重量等（一例）

種類	タイプ	寸法	総重量
天然六フッ化ウラン輸送容器	A型	長さ約3.8m、直径約1.2m	約14.9トン
濃縮六フッ化ウラン輸送容器	AF型	長さ約2.5m、直径約1.3m	約3.9トン
二酸化ウラン粉末輸送容器	AF型	高さ約0.9m、直径約0.6m	約0.2トン

輸送容器のタイプでFは核分裂性輸送物を示します。

● 二酸化ウランの輸送

二酸化ウランを収納する輸送容器は、密封性能を有する内容器と、耐熱性および耐衝撃性を有する外容器の二重構造になっています。



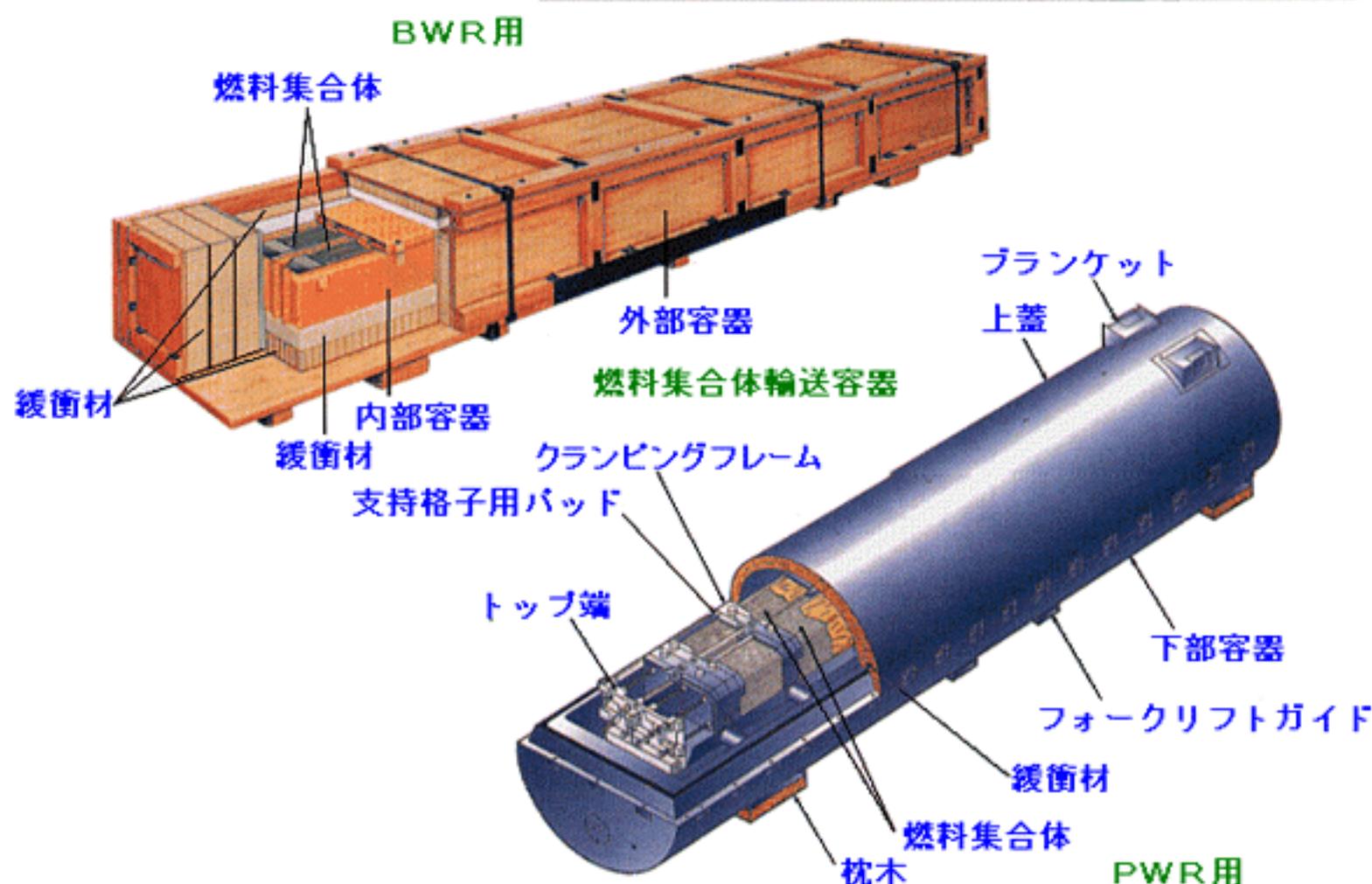
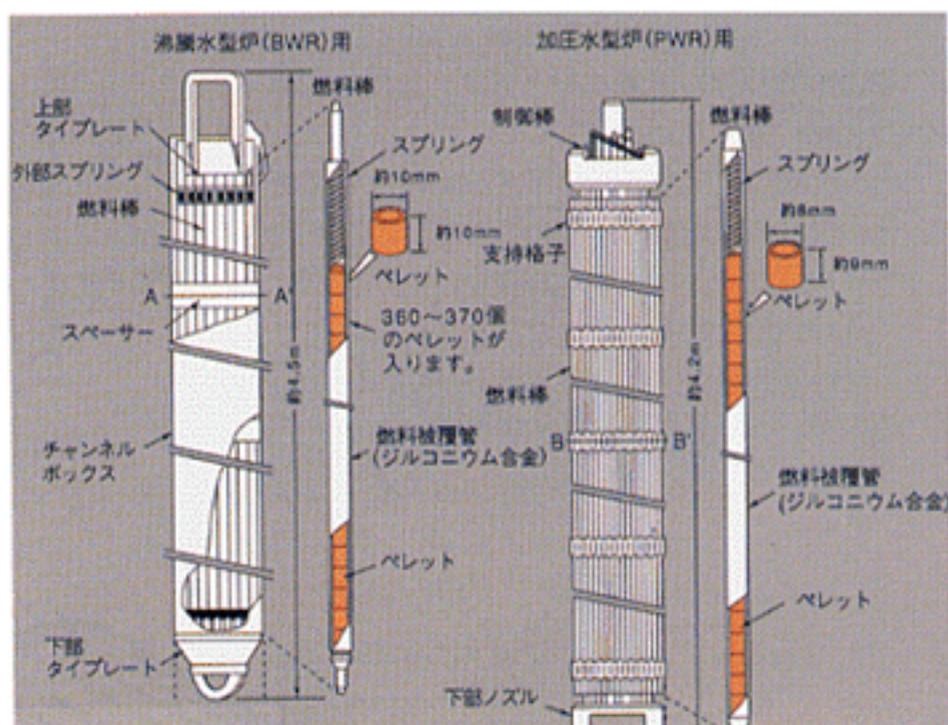
二酸化ウラン輸送容器

図4 六フッ化ウラン、二酸化ウランの輸送容器

【出典】 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室（監修）：パンフレット「核燃料サイクルと輸送－安全輸送をめざして－」、（財）原子力安全技術センター（1999年1月）p. 18-19

● 燃料集合体の輸送

燃料集合体はそれ自体耐熱性、密封性能が保証されているものですが、さらに耐衝撃性のある輸送容器に収納されます。



輸送容器のタイプ・寸法・重量等 (一例)

種類	タイプ	寸法	総重量
燃料集合体輸送容器(BWR用)	AF型	長さ約 5.3m、直径約 0.9m	約 1.3トン
燃料集合体輸送容器(PWR用)	AF型	長さ約 5.4m、直径約 1.3m	約 4.3トン

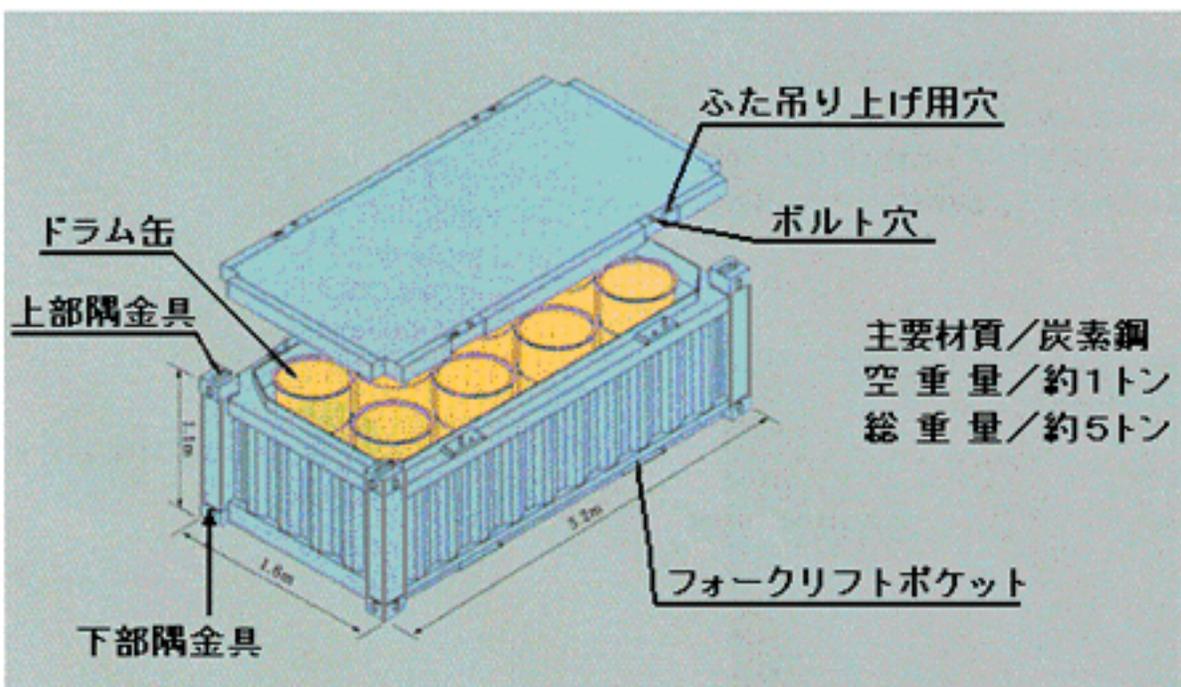
輸送容器のタイプでFは核分裂性輸送物を示します。

図5 BWR、PWR用燃料集合体の輸送容器

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室 (監修):
パンフレット「核燃料サイクルと輸送-安全輸送をめざして-」、
(財) 原子力安全技術センター (1999年1月) p. 19

●低レベル放射性廃棄物の輸送

原子力発電所の運転や定期検査にともなって発生する低レベル放射性廃棄物は、セメント、アスファルトなどと混ぜてドラム缶に詰められ、さらに耐衝撃性を有するコンテナに収納されます。



低レベル放射性廃棄物輸送容器

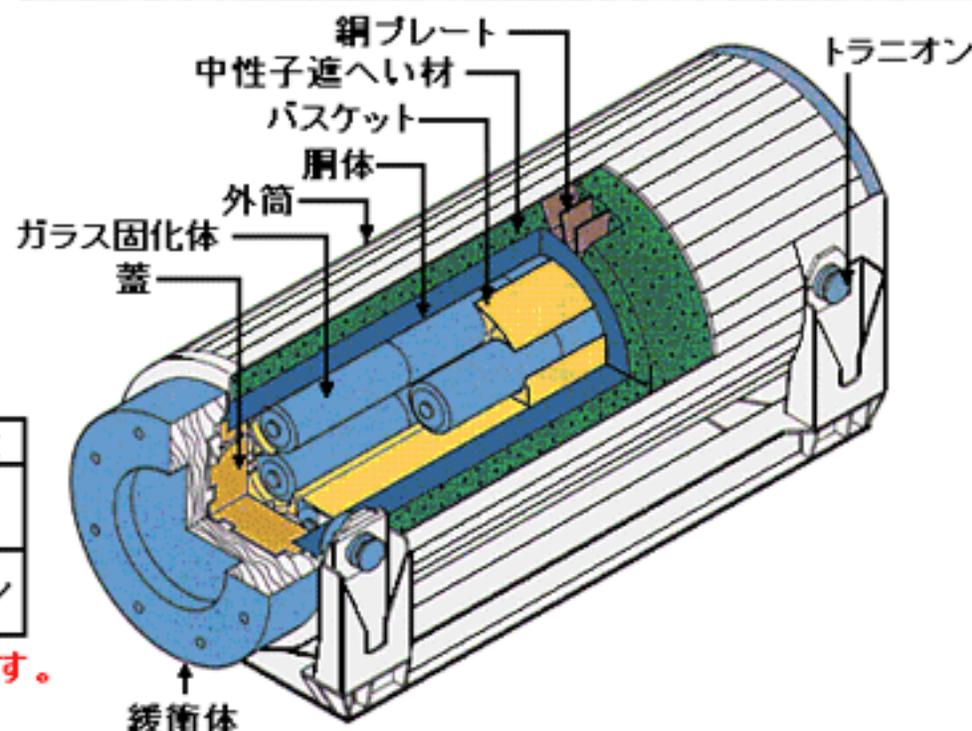
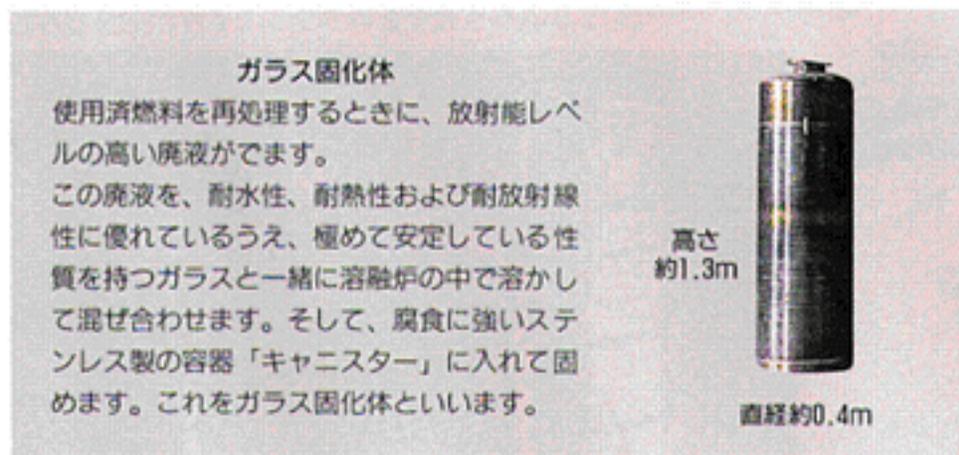
輸送容器のタイプ・寸法・総重量 (一例)

種類	タイプ	寸法	総重量
低レベル放射性 廃棄物輸送容器	IP-2型	長さ約3.2m、幅約1.6m 高さ約1.1m	約5トン
高レベル放射性 廃棄物輸送容器	B(M)F型	長さ約6.6m、直径約2.4m	約110トン

輸送容器のタイプでFは核分裂性輸送物を示します。

●高レベル放射性廃棄物の輸送

再処理にともなって発生する高レベル放射性廃棄物はガラス固化体に加工され、特に放射線遮へい性能や耐熱性を有した頑丈な輸送容器に収納されます。



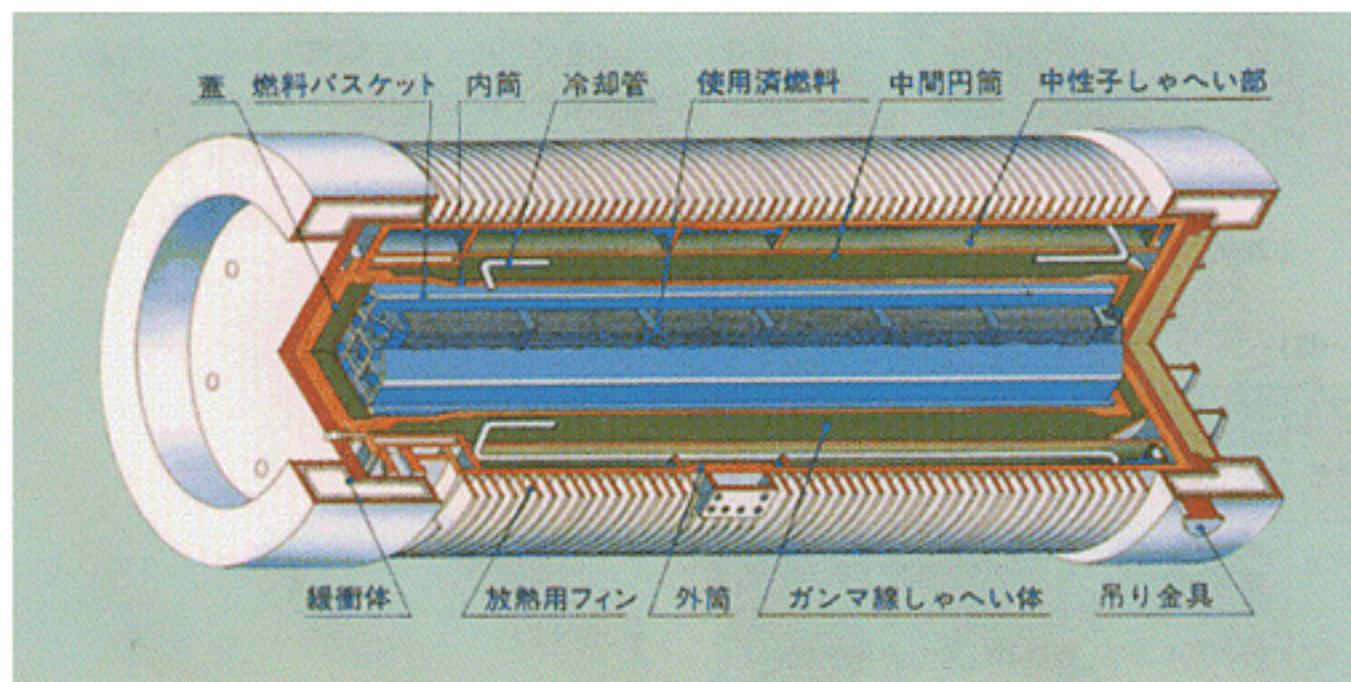
高レベル放射性廃棄物輸送容器

図6 放射性廃棄物の輸送容器

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室 (監修) : パンフレット「核燃料サイクルと輸送 - 安全輸送をめざして -」、(財) 原子力安全技術センター (1999年1月) p. 20-21

● 使用済燃料の輸送

原子力発電所で燃料として使用された使用済燃料は、高い放射能を持っているため、放射線遮へい性能および耐熱性を有する頑丈な輸送容器に収納されます。



使用済燃料輸送容器

輸送容器のタイプ・寸法・総重量（一例）

種類	タイプ	寸法	総重量
使用済燃料輸送容器	B(M)F型	長さ約 5.9m、直径約 2.3m	約 80トン

輸送容器のタイプでFは核分裂性輸送物を示します。

図7 使用済燃料輸送容器

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室（監修）：
パンフレット「核燃料サイクルと輸送－安全輸送をめざして－」、
（財）原子力安全技術センター（1999年1月）p. 21



使用済燃料輸送用トレーラ



輸送隊列の一例

図8 使用済燃料輸送の一例

[出典] 科学技術庁原子力安全局核燃料規制課核燃料物質輸送対策室 (監修): パンフレット
「核燃料サイクルと輸送－安全輸送をめざして－」、(財) 原子力安全技術センター
(1999年1月) p. 12