

JAERI-Tech

2001-062



JP0150817



海水中有用金属捕集材実海域試験で 捕集した有用金属の輸送

2001年10月

武田 隼人・大沼 謙二*・玉田 正男・笠井 昇・片貝 秋雄
長谷川 伸・瀬古 典明・川端 幸哉*・須郷 高信

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂
郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料セン
ター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をお
こなっております。

This report is issued irregularly.
Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research
Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy
Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2001

編集兼発行 日本原子力研究所

海水中有用金属捕集材実海域試験で捕集した有用金属の輸送

日本原子力研究所高崎研究所材料開発部

武田 隼人・大沼 謙二 *・玉田 正男・笠井 昇・片貝 秋雄
長谷川 伸・瀬古 典明・川端 幸哉 **・須郷 高信

(2001年8月17日受理)

放射線グラフト重合法によって合成した金属捕集材の実海域での適応性を調査検証するため、海水中に極低濃度で溶存するウラン、バナジウム等の有用金属の捕集試験をむつ事業所沖合いの実海域で実施している。実海域に浸漬された捕集材から溶離したウラン、バナジウム等の有用金属はキレート樹脂に再吸着して分離・精製を依頼した会社の施設に輸送して精製した。キレート樹脂はPVC製の樹脂筒に収納し更にステンレススチール製の円筒形の樹脂筒輸送容器に収納して、トラックで専用積載として輸送した。本試験で取り扱うウランの量は、1回の試験当たり150 g(1.92 MBq)以下としたので、試験の各工程におけるウランの濃度はキレート樹脂に吸着したときが最大で60 Bq/gであるが、取り扱い量も濃度も法規制の対象外である。したがって、分離・精製施設への輸送も一般の物質として取り扱うことができるが、自主的にL型輸送物に準拠して輸送することにした。L型輸送物は法令上輸送容器に関する構造強度上の要求はないが、輸送に当って安全を期すため輸送容器についてはIP-2型相当の強度を有することを予め解析評価して、通常の取扱い条件において輸送容器の健全性を確保できることを確認した。また、輸送に当っては、予め輸送計画書を作成し、これに従って実施した。

高崎研究所：〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町 1233

* 三菱マテリアル株式会社

** 株式会社荏原総合研究所

Transport of Significant Metals Recovered in Real Sea Experiment of Adsorbents

Hayato TAKEDA, Kenji ONUMA*, Masao TAMADA, Noboru KASAI, Akio KATAKAI,
Shin HASEGAWA, Noriaki SEKO, Yukiya KAWABATA** and Takanobu SUGO

Department of Material Development
Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Watanuki-cho, Takasaki-shi, Gunma-ken

(Received August 17, 2001)

Real sea experiment for the recovery of significant metals such as uranium and vanadium which dissolved in seawater with extremely low concentration has been carried out at the offing of Mutsu establishment to evaluate the adsorption performance of adsorbent synthesized by radiation-induced graft-polymerization. The significant metals of uranium and vanadium eluted from the adsorbent which was soaked in the real sea were adsorbed onto the conventional chelate resin. The chelate resin which adsorbed the metals was packed in a plastic (PVC) column and further put in a cylindrical stainless transport container. This container was transported to the facility for separation and purification by a truck for the exclusive loading. Then the recovered metals were purified there. The recovered metals contained the uranium of 150 g (1.92 MBq) and less in one recovery experiment. The maximum concentration is 60 Bq/g when the uranium is adsorbed on the chelate resin. Transport of recovered metals can be treated as general substance since these amount and concentration are out of legal control. However, the recovered metals were transported in conformity to L type Transport as a voluntary regulation. Though there is no requirements of structural strength for L type package legally, the structural strength of container was designed on that of IP-2 type which is higher transport grade than L type to take its safety measure. Its strength analysis proved the safety under general transport process. The transport was based on the plan made in advance.

Keywords: Transport, Significant Metals, Uranium, Strength Analysis, Legal Control, Seawater, Adsorbents, Graft-polymerization, Plastic Column, Transport Container, Separation and Purification

*MITSUBISHI MATERIALS CORPORATION

**EBARA RESEARCH CO., LTD.

目次

1. 緒言	1
1.1 有用金属の捕集と精製	1
1.2 輸送方法	1
2. 輸送	1
2.1 有用金属中のウランの量	1
2.2 法的規制	2
2.3 樹脂筒輸送容器	2
2.3.1 設計仕様	3
2.3.2 解析手法	3
2.3.3 自由落下解析	4
2.3.4 解析結果のまとめ	8
2.4 輸送手順	8
2.4.1 樹脂筒の取り外し	8
2.4.2 樹脂筒輸送容器への充填	8
2.4.3 樹脂筒輸送容器の積み込み	9
2.4.4 樹脂筒輸送容器の輸送	9
2.4.5 樹脂筒輸送容器の回収	9
2.5 輸送計画	9
2.5.1 輸送計画書	9
3. まとめ	10
3.1 ウランの取扱量と濃度について	10
3.2 法的規制について	11
3.3 樹脂筒輸送容器について	11
3.4 輸送について	11
謝辞	11
参考文献	11
付録	27

Contents

1. Introduction	1
1.1 Recovery and Purification of Significant Metals	1
1.2 Transport Process	1
2. Transport	1
2.1 Uranium Amount in Recovered Metals	1
2.2 Legal Control	2
2.3 Transport Container for Plastic Column	2
2.3.1 Design Specification	3
2.3.2 Strength Analysis	3
2.3.3 Free Drop Analysis	4
2.3.4 Conclusions of Analysis	8
2.4 Transport Process	8
2.4.1 Detaching of Plastic Column	8
2.4.2 Packing of Plastic Column into Transport Container	8
2.4.3 Loading of Transport Container	9
2.4.4 Transport of Container	9
2.4.5 Recovery of Plastic Column	9
2.5 Transport Plan	9
2.5.1 Transport Specification	9
3. Summary	10
3.1 Uranium Amount and Concentration	10
3.2 Legal Control	11
3.3 Transport Container for Plastic Column	11
3.4 Transport	11
Acknowledgements	11
Reference	11
Appendix	27

表目次

1	解析結果一覧表	12
---	-------------------	----

図目次

1	海水中有用金属捕集材実海域試験工程	13
2	樹脂筒の外観	14
3	試験工程とウラン濃度	15
4	樹脂筒輸送容器の構造	16
5	垂直落下姿勢	17
6	垂直落下解析モデル	18
7	水平落下姿勢	18
8	水平落下解析モデル	19
9	コーナー落下姿勢	19
10	コーナー落下解析モデル	20
11	樹脂筒の搬出手順	21
12	樹脂筒の吊り上げ	22
13	樹脂筒を樹脂筒輸送容器に収納	23
14	樹脂筒輸送容器のフタを閉めた状態	24
15	樹脂筒輸送容器を機排棟天井クレーンで吊り上げ	25
16	樹脂筒輸送容器をトラックの荷台に積載	26

Contents for table

1	Analysis results	12
---	----------------------------	----

Contents for figures

1	Experimental process for recovery of significant metals from seawater	13
2	Appearance of plastic column	14
3	Uranium concentration at each process	15
4	Structure of transport container	16
5	Vertical drop attitude	17
6	Analysis model for vertical drop	18
7	Horizontal drop attitude	18
8	Analysis model for horizontal drop	19
9	Corner drop attitude	19
10	Analysis model for corner drop	20
11	Transport procedure of plastic column	21
12	Hoist of plastic column	22
13	Packing of plastic column into transport container	23
14	Putting lid on transport container	24
15	Hoist of transport container	25
16	Loading of transport container onto truck	26

1. 緒言

1.1 有用金属の捕集と精製

高崎研究所材料開発部照射利用開発室では、海水中に極低濃度で溶存する有用希少金属を効率よく吸着捕集する捕集材を開発した。この捕集材の実海域での適応性を調査検証するために、海水中有用金属捕集材実海域試験装置を製作し青森県むつ港根浜沖合に設置した。実海域に20日間から40日間浸漬された捕集材は、有用金属以外のカルシウム、マグネシウムとウラン、バナジウム等の有用金属を溶離する。ウラン、バナジウム等の有用金属を含む溶離液は、キレート樹脂を充填した樹脂筒に送り樹脂に再吸着固定した。有用金属を吸着したキレート樹脂は、分離・精製を依頼した会社の施設に輸送して精製した。海水中有用金属捕集材実海域試験の工程をFig. 1に示す。

本報告は海水中有用金属捕集材実海域試験で捕集した有用金属輸送容器の設計及び輸送の方法をまとめたものである。

1.2 輸送方法

有用金属を吸着したキレート樹脂は、樹脂筒に充填した状態で円筒形のステンレススチール製輸送容器に収納して輸送した。輸送にはトラックを使用し、有用金属のみの専用積載とした。輸送に当っては輸送計画書を作成し、これに従って実施した。

2. 輸送

2.1 有用金属中のウランの量

実海域に浸漬された捕集材(乾燥質量120 kg)は、分別溶離装置によって、カルシウム、マグネシウムといった有用金属以外の吸着成分とウラン、バナジウム等の有用金属を分別溶離する。有用金属を含む溶離液(8 m³)は、樹脂筒に充填されたキレート樹脂(ユニチカ UR-3100S、32 kg)に再吸着固定して、むつ事業所から分離・精製を依頼した会社の施設へ輸送する。

樹脂筒は、胴の内径202 mm、高さ(フランジ蓋を除く)1210 mmの円筒形で、上部にフランジ蓋があり、集水台(溶離液の流入口と流出口)が付いている。材質は、フランジの締め付け用ボルトはSUS304、集水台はABS樹脂、他の部分は硬質塩化ビニールである。質量は空時20 kg、運転時70 kgである。最高使用圧力は0.15 MPaである。

筒の下から約3.2 L(100 mm)にはガラスピーブを充填し、その上にキレート樹脂を20 L(約630 mm)充填する。2段溶離液は筒上部から流入し、キレート樹脂を通過し、筒下部のガラスピーブを通過後、中心部に設置されたパイプを通じて流出する。樹脂筒の外観をFig. 2に示す。

ウランの取扱量は、実海域への浸漬により捕集材1 kg当たり1.25 gのウランが取れると想定して、試験1回当たり最大150 g(1.92 MBq=1.92×10⁶ Bq)としたので各工程におけるウランの濃度は、捕集材で16 Bq/g、溶離液で0.24 Bq/g、キレート樹脂では60 Bq/gとなる。試験の工程とウランの濃

度を Fig. 3 に示す。

2.2 法的規制

2.1 項に示したウランの取扱量とウラン濃度に対する法的規制について調査した。調査した法令は、「原子力基本法」、「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)」、「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)」、「労働安全衛生法」、及びこれらの法律に関連する施行令、規則、告示などである。

調査結果の概要は次のとおりである。

- 海水から捕集したウランの位置付け: 核原料物質に該当する—核燃料物質や国際規制物資には該当しない(「原子力基本法」第3条、「核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令」第1条、第2条、「原子炉等規制法」第2条、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の規定に基づき国際規制物資を定める件」)
- ウランの使用の許可: 不要—核燃料物質や国際規制物資ではないため(同上)
- ウランの使用の届出: 不要—取扱量が規制値(300 g)以下、濃度も規制値(74 Bq/g、固体の場合 370 Bq/g)以下のため(「原子炉等規制法」第61条の2、「同法律施行令」第19条)
- 計量管理: 不要—ただし、輸送の都度、自主的に種類と数量を記録し保管する(同上)
- 輸送管理: 不要—ただし、安全を期すため、自主的に次のとおり輸送管理を行なう(同上)
 - L型輸送物に準拠して輸送容器に収納して、専用積載として輸送する(「核原料物質の使用に関する規則」第2条第12項)
 - 輸送容器はIP-2型に対する試験条件に準拠した解析を実施して構造強度を確認する(「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規則」第9条、「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」第11条)
 - 輸送に当っては輸送計画書を作成し、それに従って実施する。
- 放射性物質としての管理: 不要—放射性物質に該当しないため(「障害防止法」第2条、「障害防止法施行令」第1条、「労働安全衛生法」第22条、「電離放射線障害防止規則」第2条)

調査結果の詳細を資料1に示す。

2.3 樹脂筒輸送容器

ウランを含む有用金属を吸着した樹脂筒は、2.2項に述べたとおり一般の物質として輸送することができるが、自主的にL型輸送物に準拠して輸送することにした。L型輸送物は、輸送法令上の要求としては線量当量率制限(表面 $5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ 以下)、表面密度制限、取り扱いの留意点のみである。従って、輸送用容器に関する落下試験等の規定はなく落下解析の必要性もないが、輸送に当って安全を期すため、輸送容器がIP-2型(資料1の6.項参照)相当の強度を有することを予め解析評価し、通常の取り扱い条件において、容器の健全性を確保できることを確認した。

2.3.1 設計仕様

樹脂筒輸送容器は、内径 567 mm、内高 1500 mm の SUS304 製の円筒形容器で、200 L のドラム缶を 2 個溶接した構造である。胴と底板は溶接構造で、蓋は締付バンドで締め付ける構造である。質量は空時 60 kg、輸送時最大 130 kg(通常約 120 kg) である。

内部は発泡スチロール製のクッション材を使用して樹脂筒を振動や衝撃から保護する構造になっている。

樹脂筒輸送容器の構造を Fig. 4 に示す。

解析条件は、「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」(平成 2 年 11 月 28 日 科学技術庁告示第 5 号)別記第 3 の一のロ(1)に準拠(全重量が 5,000 kg 未満の輸送物)して、輸送物を 1.2 m の高さから剛体床に落下した場合に、外殻がどのくらい変形するか解析し、この変形が内容器(樹脂筒)に及ぶかどうか評価した。

落下姿勢は、底が下向きの姿勢、水平の姿勢及び底が下向きでコーナーから落下する姿勢の 3 通りについて行なった。

2.3.2 解析手法

輸送物を剛体床に落下させた場合、位置のエネルギー(全落下エネルギー)は衝突時の輸送物の圧潰変形、曲げ変形、部材の局部破壊、弾性歪、リバウンド等のエネルギーに変化するが、ここでは安全側に変形量を大きく評価すべく、古典的な VDM 法¹⁾にて解析した。すなわち、輸送物の全落下エネルギーが全て圧潰変形仕事に変化吸収されるものとして輸送物の変形量を求める。

本解析の特徴としては、変形量を求める解析モデルにおいて、VDM 法で広く用いられているように、樹脂筒輸送容器の構成部品を完全弾塑性体、すなわち、「応力-ひずみ曲線において、降伏応力までは両者は直線的な比例関係にあるが、それを超えると降伏応力一定のままひずみが増える」と仮定し、応力-ひずみ関係を 2 直線に理想化した。これにより、変形量は安全側に大きく算出される。

(1) 物性値

樹脂筒輸送容器に使用されるステンレス製容器(ドラム缶)及び内部のクッション材に使用される材料、及びそれぞれの平均変形抵抗には下記の値を使用する。

(a) 樹脂筒輸送容器

- 材質: SUS304
- 平均変形抵抗: 205 N/mm²(MITI 告示 501 号に規定された常温における設計降伏点)
- JIS Z 1600 に規定される 200 L オープンドラムを 2 本使用する

(b) クッション材

- 材質: JIS Z 1536 「ポリスチレンフォーム包装用緩衝材」に定める 4 号

- 平均変形抵抗: 圧縮応力の規格最小値 147 kPa
- (2) 落下エネルギーに対する吸収エネルギーの配分について
- 輸送物の総質量と落下高さが決まれば、位置のエネルギーすなわち落下エネルギーも自動的に決まるので、輸送物の圧潰変形による吸収エネルギーも同様に決まってくる。
- 輸送物の構造が一体物と見なせる構造体、すなわち、収納物も含め内部の全構成要素が外容器に何らかの形で固定（拘束）されている場合は、外容器の外殻の変形によって落下エネルギーが吸収される。
- しかし、一般には収納容器（ここでは樹脂筒）等は外容器に固定されずにフリーなっているので、この場合は収納容器とクッション材との内部衝突により、落下エネルギーの一部が吸収されることになる。したがって、落下エネルギーの吸収量を外殻側の変形エネルギーと内面側の変形エネルギーに配分する必要がある。
- 配分方法は、外殻側の変形に輸送物の総質量が寄与し、内面側の変形には樹脂筒及び収納物による質量が寄与することを考慮して、下記の式により質量比に基いて、輸送物の全落下エネルギーを、外殻側の変形エネルギーと内面側の変形エネルギーとに配分する。
- なお、この方法は VDM の中で一般的に用いられている。

$$E_0 = M_o g H$$

$$E_1 = E_0 \frac{M_0}{M_i + M_0}$$

$$E_2 = E_0 \frac{M_i}{M_i + M_0}$$

ここで、

E_0 : 輸送物の全落下エネルギー

E_1 : 外殻側の変形エネルギー

E_2 : 内面側の変形エネルギー

M_0 : 輸送物の総質量

M_i : 樹脂筒及び収納物の質量

g : 重力の加速度

H : 落下高さ

2.3.3 自由落下解析

(1) 全落下エネルギーと配分

1.2 m の高さから剛体床へ輸送物を自由落下させた時の全落下エネルギー及びこのエネルギーの配分は次のようになる。

$$E_0 = M_o g H = 130 \times 9.80665 \times 1200 = 1.530 \times 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$E_1 = E_0 \frac{M_0}{M_i + M_0} = 1.530 \times 10^6 \times \frac{130}{70 + 130} = 9.945 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$E_2 = E_0 \frac{M_i}{M_i + M_0} = 1.530 \times 10^6 \times \frac{70}{70 + 130} = 5.355 \times 10^5 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

ここで、

E_0 : 輸送物の全落下エネルギー [N·mm]

E_1 : 外殻側の変形エネルギー [N·mm]

E_2 : 内面側の変形エネルギー [N·mm]

M_0 : 輸送物の総質量 130 kg

M_i : 樹脂筒及び収納物の質量 70 kg

g : 重力の加速度 9.80665 m/sec²

H : 落下高さ 1200 mm

(2) 垂直落下

前述の 2.3.2 項に示す評価手法を用いて解析を行う。垂直落下姿勢を Fig. 5 に示し、解析モデルを Fig. 6 に示す。

外殻側の変形エネルギーと、樹脂筒輸送容器衝突部及びクッション材の吸収エネルギーの関係は次式で与えられる。

$$E_1 = (V_1\sigma_1 + V_2\sigma_2 + V_3\sigma_3) \quad (1)$$

ここで、

E_1 : 自由落下時の外殻側の変形エネルギー = 9.945×10^5 N·mm

V_1 : 樹脂筒輸送容器底部(チャイム巻締形状部含む)の変形体積 = $A_1\delta_1$

A_1 : 樹脂筒輸送容器底部(チャイム巻締形状部含む)の断面積

δ_1 : 樹脂筒輸送容器底部(チャイム巻締形状部含む)の変形量

σ_1 : 樹脂筒輸送容器底部(チャイム巻締形状部含む)の平均変形抵抗

V_2 : 樹脂筒輸送容器胴部の変形体積 = $\pi D_2 t_2 \delta_2$

D_2 : 樹脂筒輸送容器胴部の直径(JIS 200L ドラム缶の肉厚中心)= 568.5 mm

t_2 : 樹脂筒輸送容器胴部の肉厚 = 1.5 mm

δ_2 : 樹脂筒輸送容器胴部の変形量 [mm]

σ_2 : 樹脂筒輸送容器胴部の平均変形抵抗 = 205 N/mm²

V_3 : クッション材の変形体積(中央の穴部まで変形が及ばないことが試算の結果分かつてているので = $\frac{\pi}{4}D_3^2\delta_3$)

D_3 : クッション材の直径 = 560 mm

δ_3 : クッション材外殻側の変形量 [mm]

σ_3 : クッション材の平均変形抵抗 = 0.147 N/mm²

上記より、

$$V_2 = \pi D_2 t_2 \delta_2 = 2.679 \times 10^3 \times \delta_2 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} D_3^2 \delta_3 = 2.463 \times 10^5 \times \delta_3 \text{ mm}^3$$

一方、樹脂筒輸送容器底部はチャイム巻締形状部があるため、構造上、剛性が大きく断面積も胴部の断面積に比べて数倍あるので、1.2 m からの落下では底部及びチャイム巻締形状部はほとんど変形せず、その直ぐ上の胴部が圧縮変形すると予想される。したがって、ここでは安全側に全変形量を大きく評価するため V_1 を無視し、 $E_1 = (V_2\sigma_2 + V_3\sigma_3)$ とする。また、樹脂筒輸送容器が変形する場合、同時にクッション材も同じ量だけ変形するので $\delta_2 = \delta_3$ である。これを δ と置くと(1)式は、

$$9.945 \times 10^5 = \delta(2.679 \times 10^3 \times 205 + 2.463 \times 10^5 \times 0.147)$$

$$\therefore \delta = \frac{9.945 \times 10^5}{2.679 \times 10^3 \times 205 + 2.463 \times 10^5 \times 0.147} = 1.699 \text{ mm}$$

小数点第2位を切り上げると、外殻側の変形量は1.7 mmとなる。この変形量は、Fig. 4に示す底部クッションの厚み78.5 mmに比べて十分小さく、外殻側の変形が樹脂筒に及ぶことはない。

(3) 水平落下

水平落下姿勢を Fig. 7 に示し、解析モデルを Fig. 8 に示す。

外殻側の変形エネルギーと、樹脂筒輸送容器衝突部及びクッション材の吸収エネルギーの関係は次式で与えられる。

$$E_1 = 2 \times \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta) t \sigma_s + \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta) (L_1 + L_2) \sigma_c \quad (2)$$

上式の左辺 E_1 は外殻側の変形エネルギーで記述のように $9.945 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm}$ 、右辺の第1項は樹脂筒輸送容器の両端板すなわちドラム缶の蓋と底板の変形に基づく吸収エネルギー(変形体積×変形抵抗)、第2項はクッション材の変形に基づく吸収エネルギー(変形体積×変形抵抗)である。

変形状態を Fig. 8 に示すように、側面から見ると扇型円弧部が三日月状に潰れ、弓型の面積 S になることが分る。 S は次式で表わされる。

$$S = \frac{1}{2} R^2 (\theta - \sin \theta)$$

ここで、

R : 樹脂筒輸送容器(ドラム缶)の半径 = $570/2 = 285 \text{ mm}$

θ : 扇型の角度

t : 樹脂筒搬送容器天蓋部及び底板の板厚 = 3.0 mm

(ただし、天蓋部は締付バンド及びこの位置での胴カール部を考慮し、又、底部はチャイム巻締形状を考慮した板厚)

σ_s : 樹脂筒搬送容器天蓋部及び底板の平均変形抵抗 = 205 N/mm^2

L_1 : クッション材の上部長さ = 168.5 mm(Fig. 4 参照)

L_2 : クッション材の下部長さ = 1121.5 mm(Fig. 4 参照)

σ_c : クッション材の変形抵抗 = 0.147 N/mm^2

一方、扇型の図形において三角関数を適用すると、

$$\cos \frac{\theta}{2} = \frac{R - \delta}{R}$$

であるから

$$\delta = R(1 - \cos \frac{\theta}{2}) \quad (3)$$

となる。(2) 式に数値を代入して整理すると、

$$\theta - \sin \theta = 0.001725$$

となる。

$$\therefore \theta = 0.48958 \text{ rad} = 28.05^\circ$$

従って、(3) 式より $\delta = 8.496 \text{ mm}$ となる。小数点第 2 位を切り上げると、外殻側の変形量は 8.5 mm となる。

この変形量は、Fig. 4 に示す胴部クッションの厚み 170 mm に比べて十分小さく、外殻側の変形が樹脂筒に及ぶことはない。

なお、樹脂筒輸送容器にはアイナットボルトが 90° ピッチで 4 箇所に設けられているが、水平落下解析では、これに当たらない位置で解析した。

(4) コーナー落下

コーナー落下とは、Fig. 9 に示すように、樹脂筒輸送容器を斜めに θ 傾けたとき、樹脂筒輸送容器の重心（ほぼ容器の中心位置）から下向きに引いた鉛直線が、容器のコーナーを通る姿勢での落下をいう（変形量が最大になる）。

傾斜角度は Fig. 10 に示す解析モデル図より $\tan \theta = r/h = 285/750$ であるから $20.81^\circ(0.3631 \text{ rad})$ である。

自由落下における外殻側の落下エネルギーは、(1) 項より $9.945 \times 10^5 \text{ N}\cdot\text{mm}$ である。このエネルギーをドラム缶底部とクッション材が馬蹄形（円柱を斜めに切断した場合のひづめ形：右図）に変形することによって吸収するものとする。

エネルギーの釣り合いは次式で表わされる。

$$E_1 = (V_{dr}\sigma_2) + (V_{cus}\sigma_3)$$

ここで、

E_1 : 外殻側の変形エネルギー

V_{dr} : 樹脂筒輸送容器の変形体積

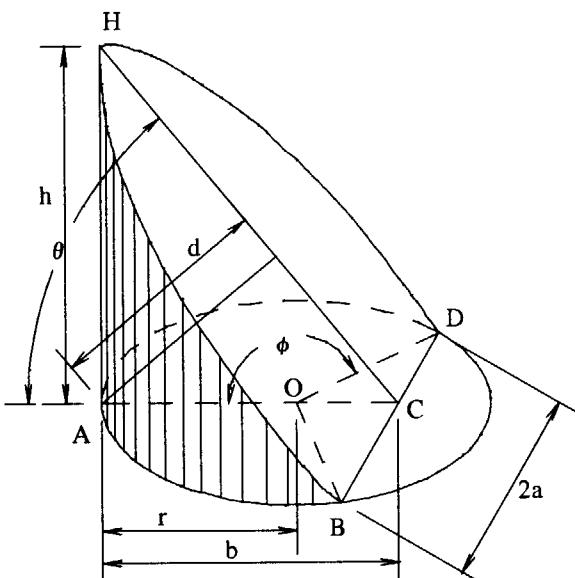
V_{cus} : クッション材の変形体積

σ_2 : 樹脂筒輸送容器の平均変形抵抗

σ_3 : クッション材の変形抵抗

ひづめ形の体積の一般式²⁾は、

$$V = \frac{h}{3b} \left\{ a(3r^2 - a^2) + 3r^2(b - r)\phi \right\} \quad (4)$$



ひずめ型の図を基に(4)式を変形するとひずめ形の体積の一般式は次のような。

$$V = \frac{\tan \theta}{3} \left[\sqrt{r^2 - \left(r - \frac{d}{\sin \theta}\right)^2} \left\{ 2r^2 + \left(r - \frac{d}{\sin \theta}\right)^2 \right\} + 3r^2 \left(\frac{d}{\sin \theta} - r\right) \cos^{-1} \left(\frac{r - \frac{d}{\sin \theta}}{r}\right) \right]$$

ここに d はコーナー落下時の変形量を示す。詳細な算出方法を資料 2 に示す。

計算の結果、変形量は $d = 39.92$ mm となる。小数点第 2 位を切り上げて 40.0 mm とする。

この変形量は、コーナー姿勢におけるコーナー部クッションの厚み 133.78 mm に比べて十分小さく、外殻側の変形が樹脂筒に及ぶことはない。

2.3.4 解析結果のまとめ

以上の解析結果を Table 1 にまとめて示す。

2.4 輸送手順

樹脂筒は、ホイストクレーンで樹脂筒輸送容器に充填し、次に樹脂筒輸送容器をトラックに積載して輸送する。樹脂筒の搬出手順を Fig. 11 に示す。

2.4.1 樹脂筒の取り外し

溶離液入出口 (Fig. 2 の N-1、N-2) に接続されているホースを外してプラグを装着し、樹脂筒を架台に固定しているバンドのボルトナットを外して樹脂筒を架台から取り外す。

2.4.2 樹脂筒輸送容器への充填

樹脂筒を輸送容器に充填する作業は輸送前日に行なっておく。

- (1) 輸送容器をドラム缶カートに乗せて分別溶離装置ホイストクレーンのレールの下に移動する。
- (2) 樹脂筒のフランジ固定用ナットのうち、対角線上の 2 個をアイナットに交換する。
- (3) アイナットに樹脂筒吊り具のフックを掛けて分別溶離装置のホイストクレーンで吊り上げて (Fig. 12)、輸送容器のクッション中央の収納部に収納する (Fig. 13)。
- (4) アイナットを元のナットに戻す。
- (5) 樹脂筒輸送容器上部のクッション材をセットし、樹脂筒輸送容器のフタを被せて締め付けバンドを締める (Fig. 14)。
- (6) 樹脂筒輸送容器の表面及び表面から 1m の位置における線量当量率と表面密度を測定し、記録する (事前測定)。

2.4.3 樹脂筒輸送容器の積み込み

樹脂筒輸送容器のトラックへの積み込みは輸送当日行なう。

- (1) 樹脂筒輸送容器の表面及び表面から 1m の位置における線量当量率と表面密度を測定し、記録する(発送時測定)。
- (2) 樹脂筒輸送容器にドラムハンガー(Fig. 11)をセットして機排棟天井クレーンで吊り上げて輸送用トラックに積載する(Fig. 15、Fig. 16)。
- (3) 樹脂筒輸送容器をトラックの荷台に固定する。
- (4) トラックの表面及び 1m の位置における線量当量率を測定し、記録する(発送時測定)。
- (5) 輸送物(核原料物質)の種類と数量を記載した「樹脂筒輸送容器の受渡し確認書」を作成し、受け渡し側と受け取り側双方が内容を確認する。

2.4.4 樹脂筒輸送容器の輸送

樹脂筒輸送容器は 2 本積載して輸送する。輸送中は予め決めた時刻に、所在と異常の有無を連絡する。

2.4.5 樹脂筒輸送容器の回収

分離・精製施設で有用金属を溶離された樹脂筒は再び樹脂筒輸送容器に充填して、次回輸送前日までに、上記と同様の手順で分離・精製施設からむつ事業所に輸送する。

2.5 輸送計画

2.5.1 輸送計画書

樹脂筒の輸送は、あらかじめ輸送計画書を作成し、これに従って行なう。

輸送計画書には次の項目を記載した。

- (1) 輸送の目的
「海水中有用金属捕集材実海域試験」の試料を分離・精製施設へ輸送すること、輸送物にはウランも含まれているが規制の対象外の数量であり、輸送に関しても規制の対象外であるが、安全を確保するため L 型輸送物に準拠して輸送することを記載した。
- (2) 荷送人及び荷受人の氏名又は名称及び住所
荷送り人は高崎研究所長で、輸送物の発地はむつ事業所であること、荷受人は分離・精製を依頼した会社の施設長で、着地は分離・精製を依頼した会社の施設であることを記載した。
- (3) 輸送人の氏名又は名称及び住所

輸送人は荷受人と同じである。

(4) 輸送日時

輸送日と出発予定時刻、到着予定時刻を記載した。

(5) 輸送経路

むつ事業所から分離・精製を依頼した会社の施設までの輸送経路を記載した。通過地点、所要時間、定時連絡体制等の詳細を添付資料に記載した。

(6) 輸送物の仕様

輸送物の種類(L型輸送物に準拠)、個数、質量、輸送物に収納されている有用金属の種類、取り扱いの注意事項等を記載した。外観図、有用金属中のウランに関する詳細、樹脂筒の輸送容器への収納状態を示す図を添付資料とした。

(7) 車両及び積載方法

輸送用車両の概略仕様と積載方法を記載した。車両の外観と積載方法を示す図を添付資料とした。

(8) 放射線管理

輸送に万全を期すため、輸送物の線量当量率及び表面密度の測定、輸送用車両の線量当量率の測定を行なうこと、並びに放射線管理の専門家が同行することを記載した。

線量当量率等の記録様式を添付資料とした。

(9) 輸送物の受渡確認

輸送物の授受を確認するために、輸送物の引き渡し時に樹脂筒輸送容器受渡確認書により記録することを記載した。記録様式を添付資料とした。

(10) 輸送実施体制及び連絡体制

運搬責任者、運搬実施者を記載し、非常時の連絡体制を添付資料とした。

(11) 非常時の措置

非常時には応急措置を取り、被害の発生、拡大の防止に努めること、非常時の連絡体制により連絡をとること等を記載した。応急措置要領及び警察機関への連絡要領を添付資料とした。

輸送計画書の詳細は資料3に示す。

3.まとめ

3.1 ウランの取扱量と濃度について

海水中有用金属捕集材実海域試験におけるウランの取扱量は1回の試験当たり150 g(1.92 MBq)以下としたので、試験の各工程におけるウランの濃度は、捕集材で16 Bq/g以下、溶離液で0.24 Bq/g以下、キレート樹脂で60 Bq/g以下であった。この取扱量と濃度について法的規制の調査を行なった。

3.2 法的規制について

ウランの取り扱いに関する法令を調査した。

調査の結果、本試験で取り扱うウランは核原料物質に該当するが、取り扱う量と濃度が規制値以下であるため、核原料物質の使用の届出は不要であり、一般の物質として取り扱うことができることが分った。従って、輸送に関しても一般の物質として取り扱うことができる。

しかしながら、取り扱いや輸送に関して万全を期すために、法令に準拠して輸送管理と計量管理を行なうこととした。

3.3 樹脂筒輸送容器について

前項のとおり、本試験で捕集したウランは一般の物質として輸送できることが分ったが、輸送に当っては安全を期するため、L型輸送物に準拠して輸送することにした。輸送容器はL型輸送物より上位輸送物であるIP-2型輸送物に対する構造強度基準に準拠して解析を実施し、輸送中の樹脂筒の安全性を確認した。

3.4 輸送について

樹脂筒輸送容器は、トラックによる専用積載として輸送を行なった。輸送は、予め作成した輸送計画書に従って実施した。

謝辞

本研究を行うにあたって、装置の設置場所であるむつ事業所の皆様方には、捕集材の海水への浸漬から輸送までご指導、ご支援を頂いたことを心より感謝いたします。とりわけ、有用金属の輸送にあたっては海務課及び保安管理課の方々にご指導、ご協力を頂きました。輸送の計画にあたっては三菱マテリアル株式会社システム事業センター 矢野肇氏、同社那珂研究センター 近沢孝弘氏よりご指導、ご支援を承りました。また、輸送にあたっては同社システム事業センター在間直樹氏のご指導、ご協力を承りました。心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 幾島毅: JAERI-M 91-060、“放射性物質輸送容器構造解析ハンドブック”、6(1991)
- 2) 日本機械学会: “機械工学便覧 基礎編 応用編”、A2-41(1987)

Table 1 解析結果一覧表

(単位:mm)					
落下姿勢	解析項目	解析基準	解析基準値 (当初のクッショング材の厚み)	解析結果 (変形量)	余裕 (クッショング材未変形部)
垂直落下 (底下向き)	衝突部の変形が樹脂筒に及ばないこと(底部クッショング材の厚みが0にならないこと)	78.5 (底部クッショング材の厚み)	1.7	76.8	
水平落下	衝突部の変形が樹脂筒に及ばないこと(円筒部クッショング材の厚みが0にならないこと)	170.0 (円筒部クッショング材の厚み)	8.5	161.5	
コーナー落下 (底下向き)	衝突部の変形が樹脂筒に及ばないこと (コーナー部クッショング材の厚みが0にならないこと)	133.8 (コーナー部クッショング材の厚み)	40.0	93.8	

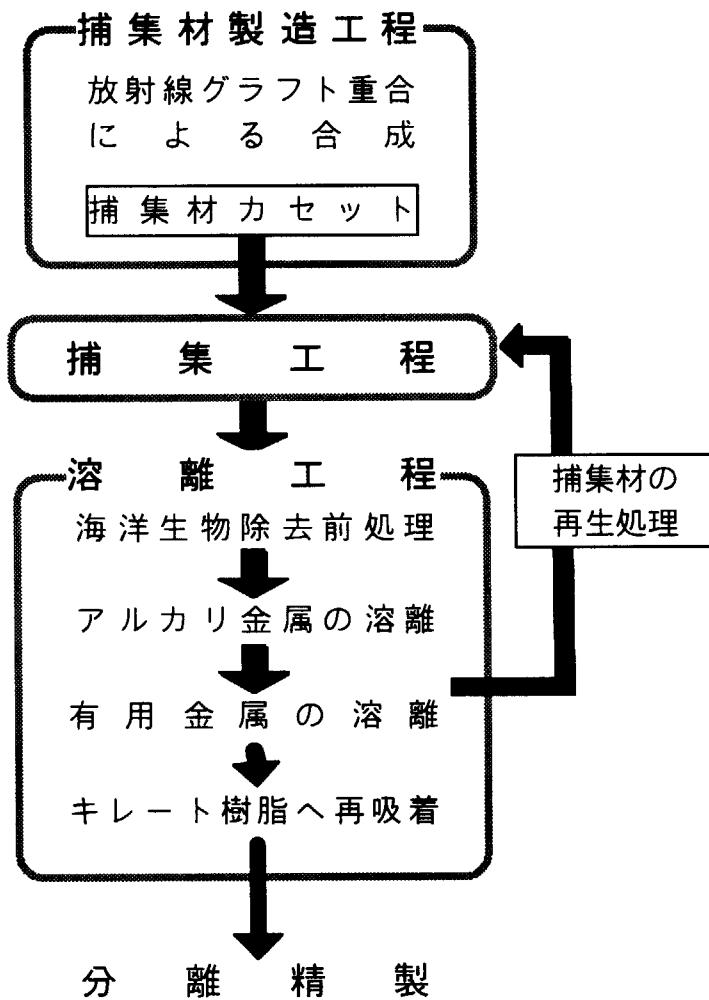


Fig.1 海水中有用金属捕集材実海域試験工程

寸法の単位: mm

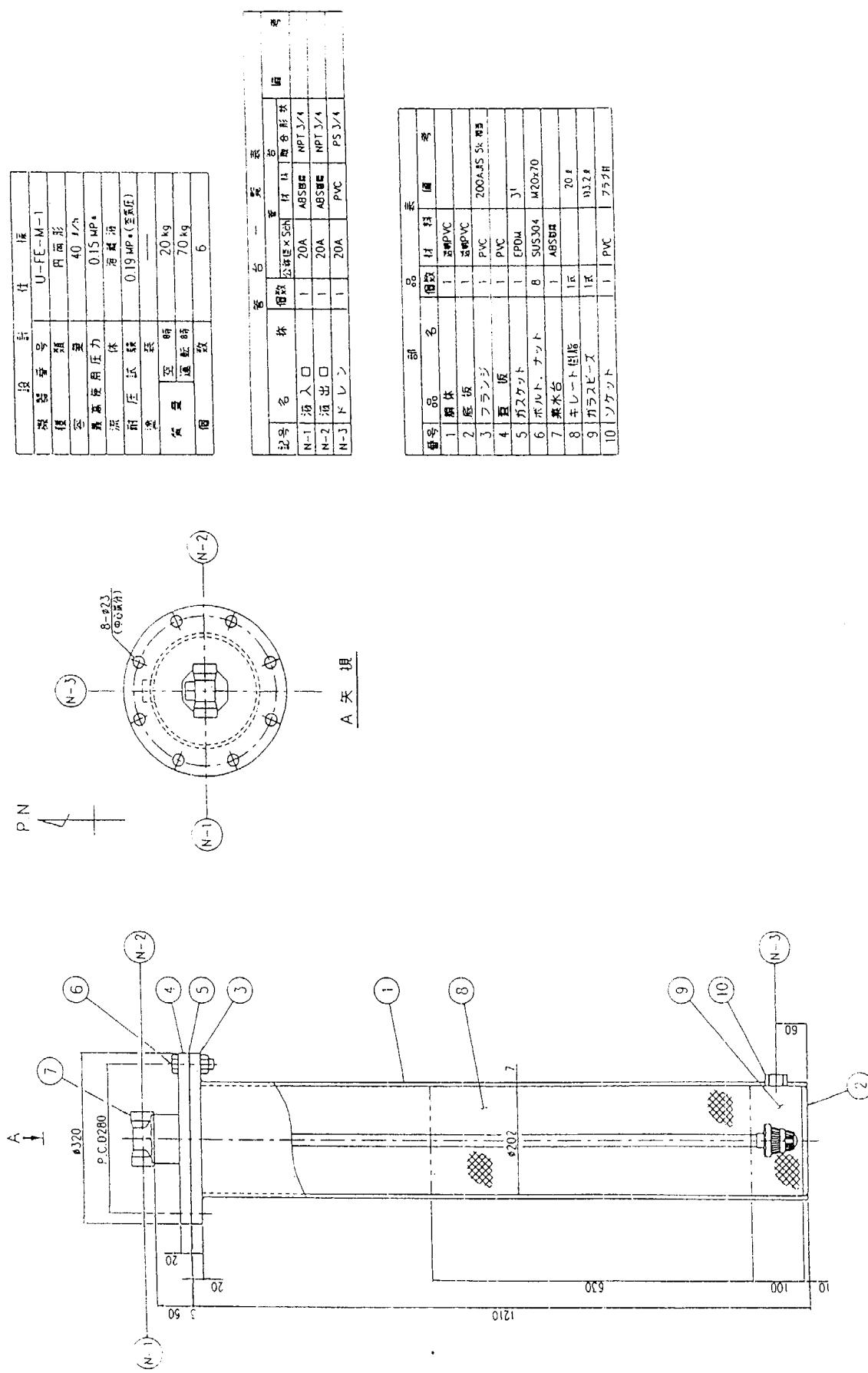


Fig. 2 樹脂筒の外観

(工 程)

(ウラン濃度)

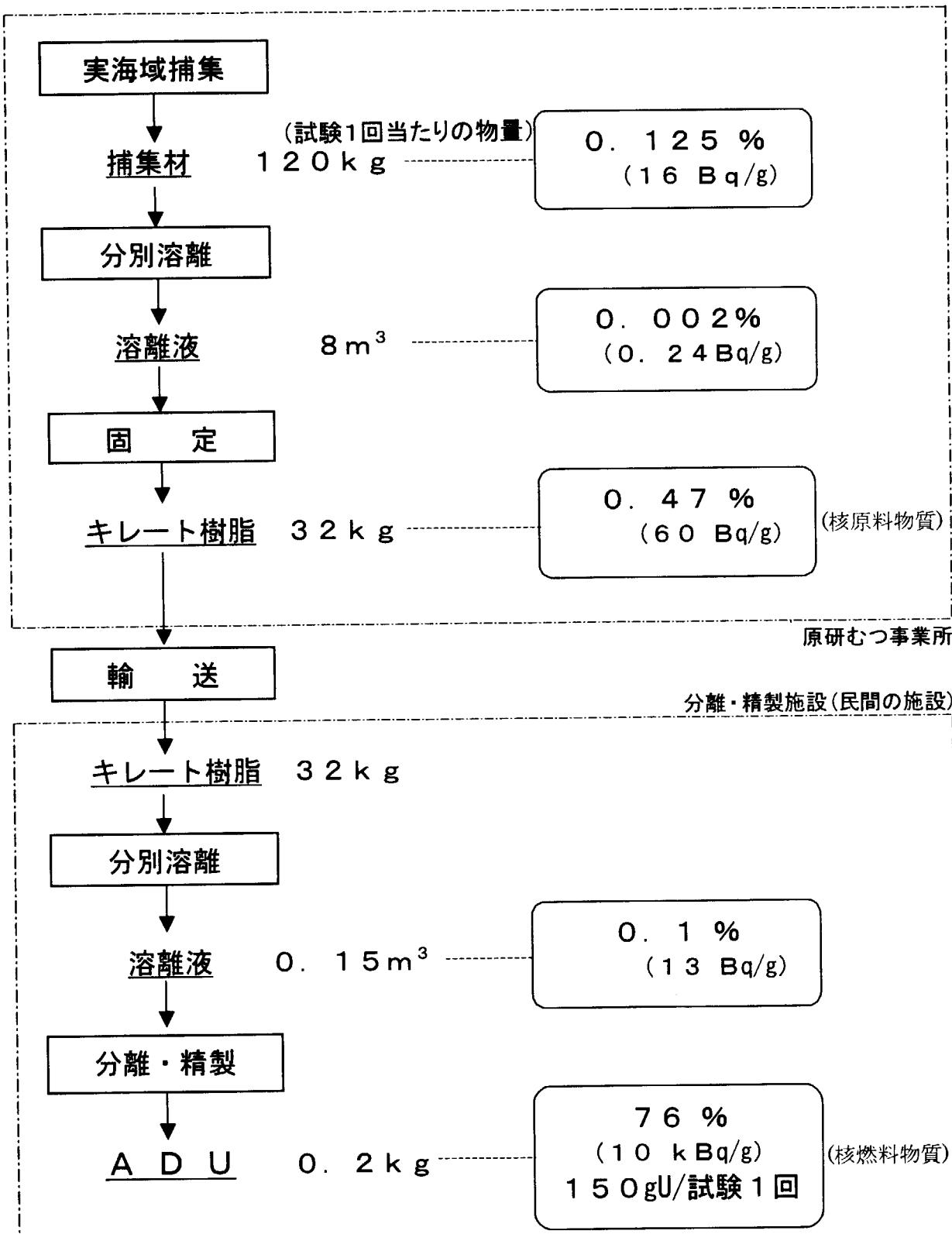


Fig. 3 試験工程とウラン濃度

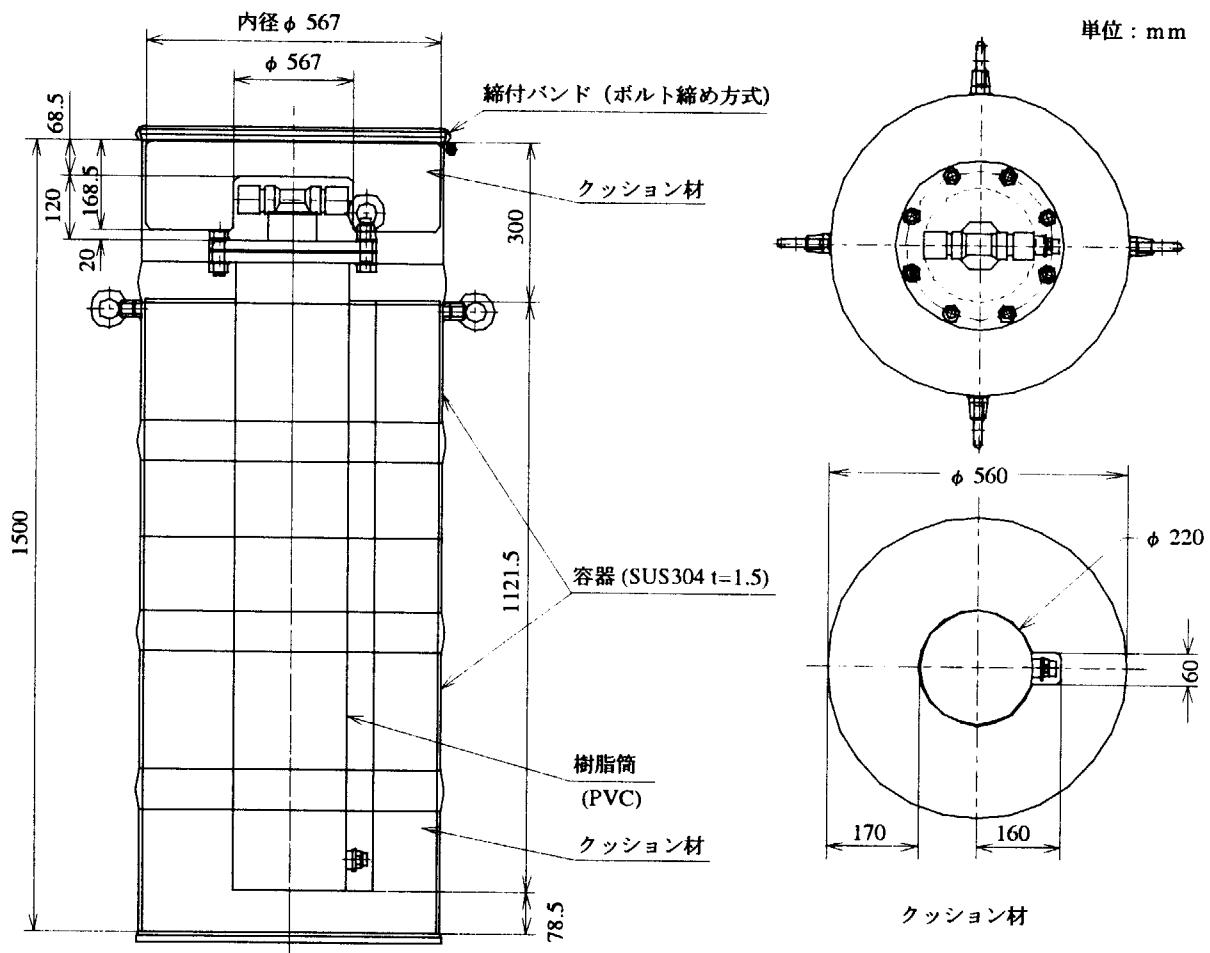


Fig. 4 樹脂筒輸送容器の構造

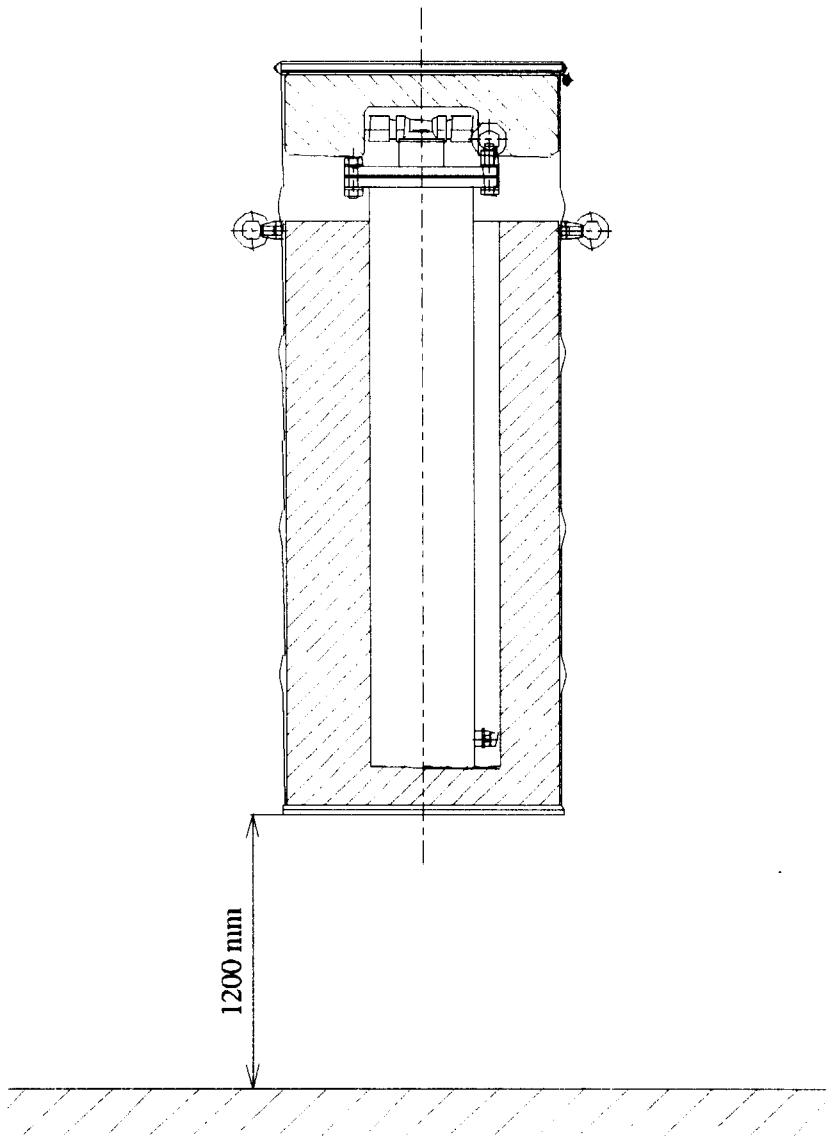


Fig. 5 垂直落下姿勢

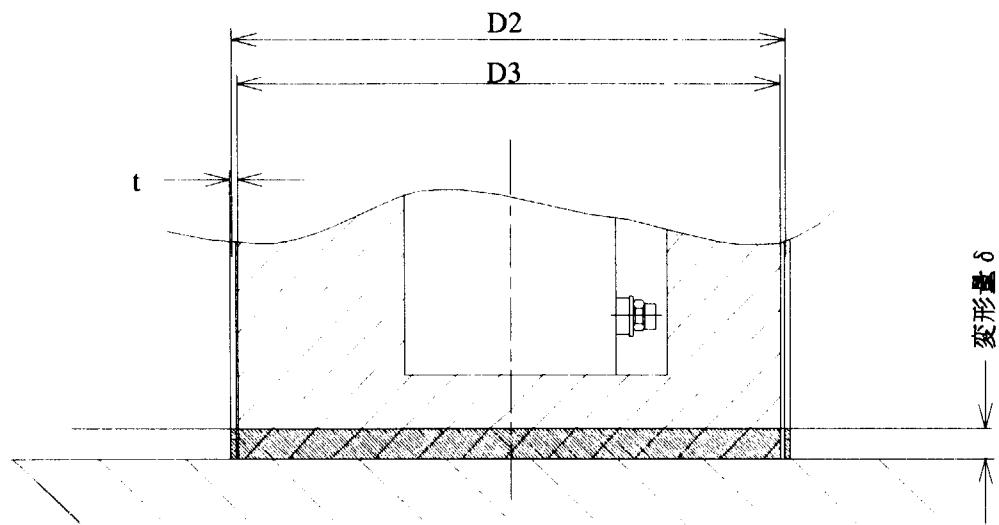


Fig. 6 垂直落下解析モデル

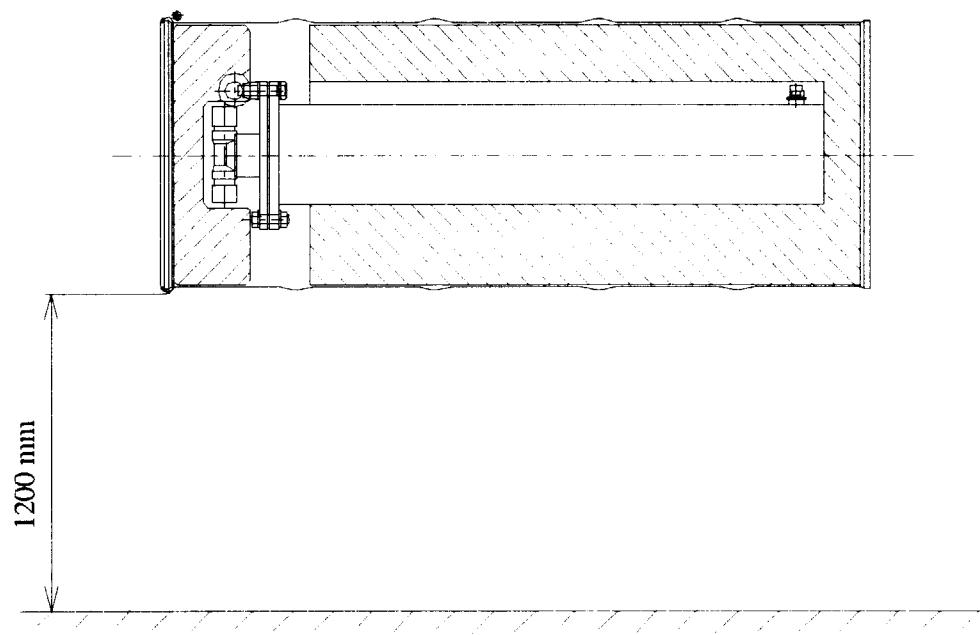


Fig. 7 水平落下姿勢

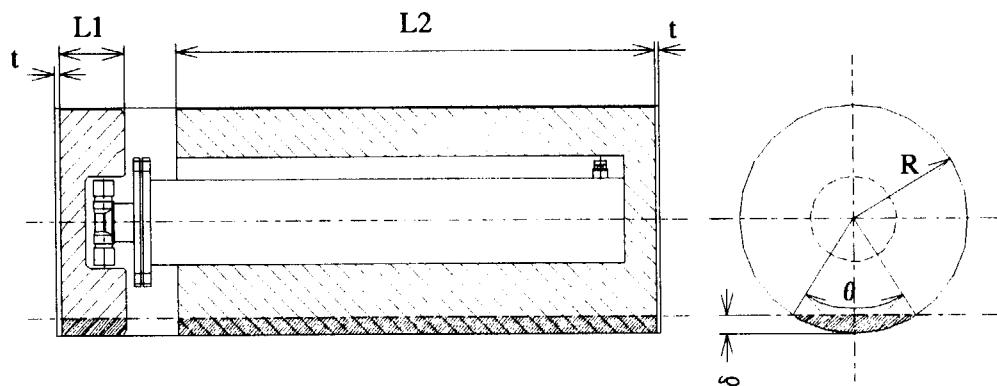


Fig. 8 水平落下解析モデル

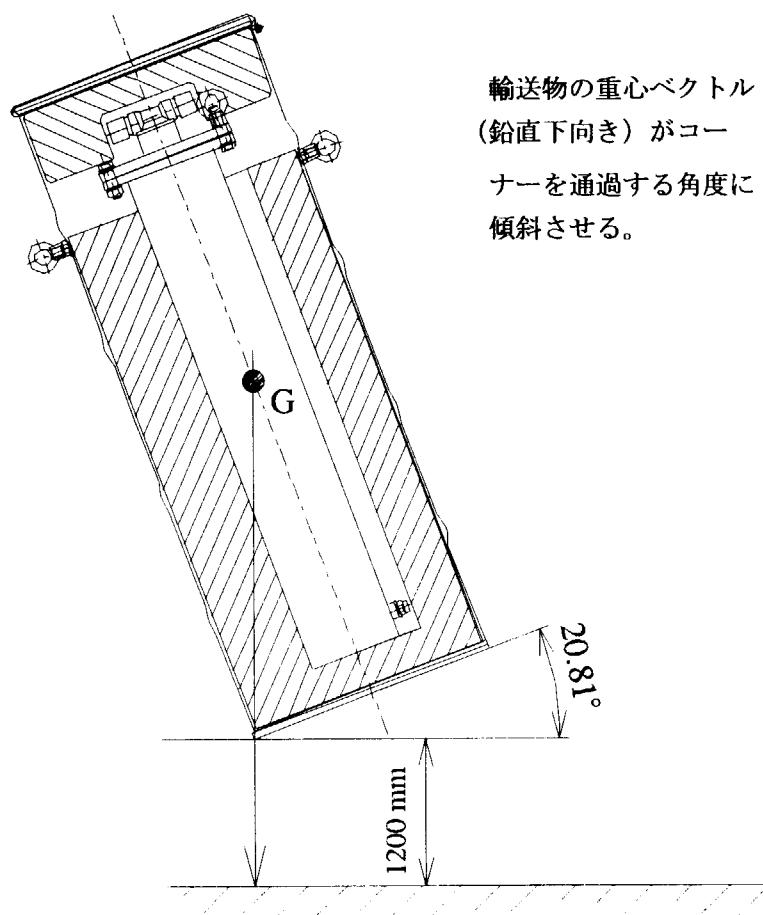


Fig. 9 コーナー落下姿勢

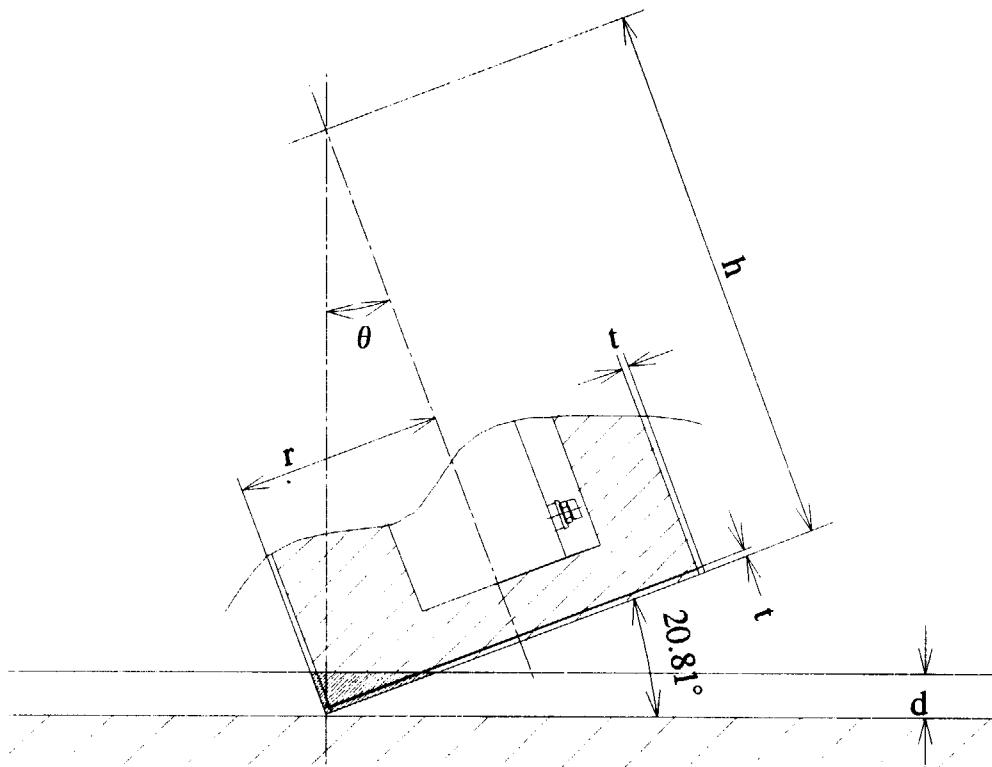


Fig. 10 コーナー落下解析モデル

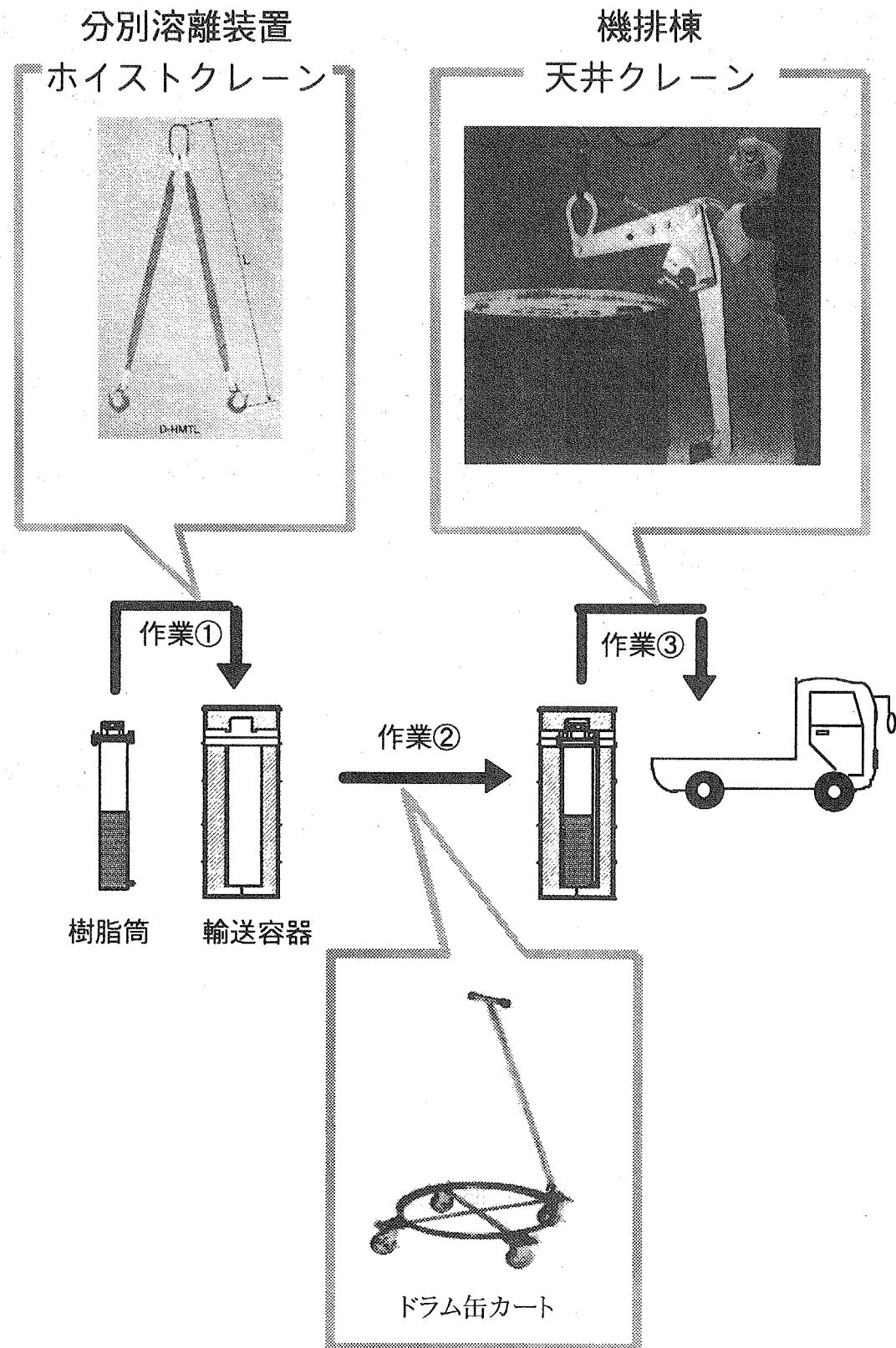


Fig.11 樹脂筒の搬出手順



Fig. 12 樹脂筒の吊り上げ



Fig. 13 樹脂筒を樹脂筒輸送容器に収納

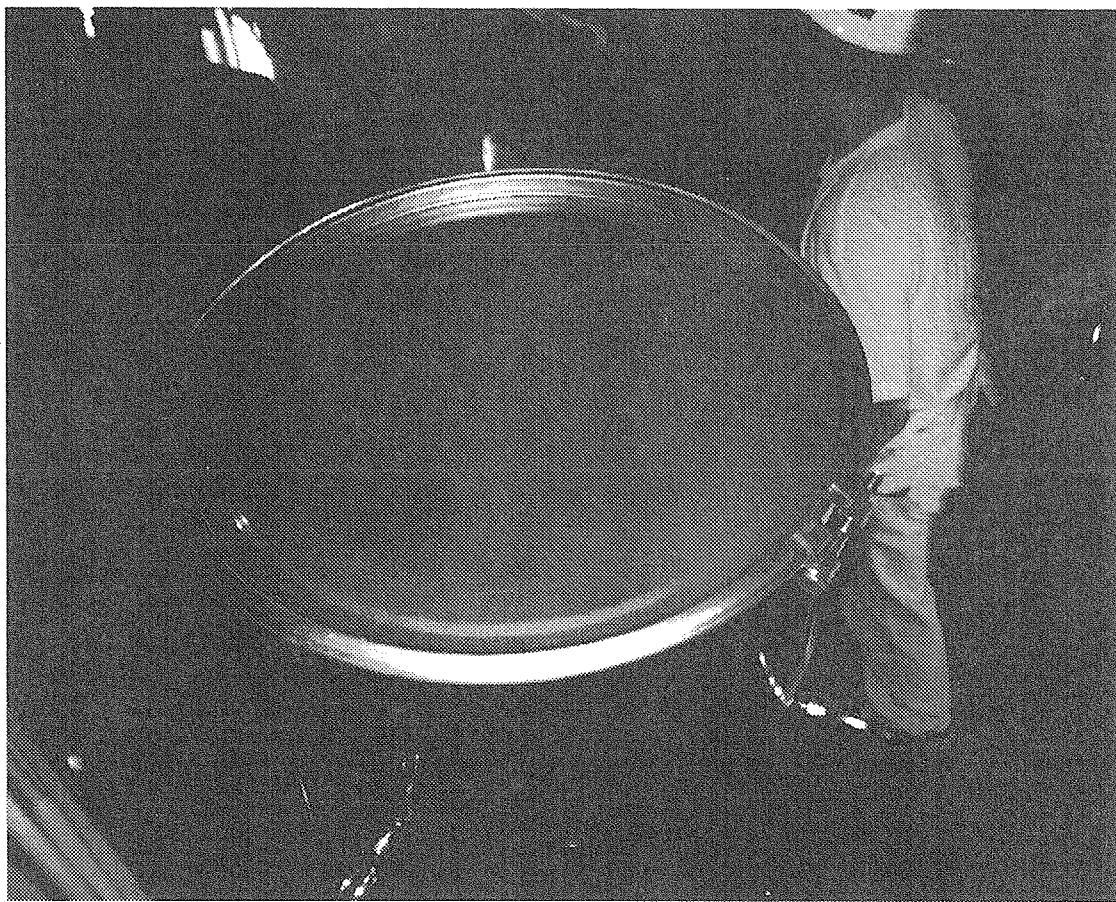


Fig. 14 樹脂筒輸送容器のフタを閉めた状態



Fig. 15 樹脂筒輸送容器を機排棟天井クレーンで吊り上げ

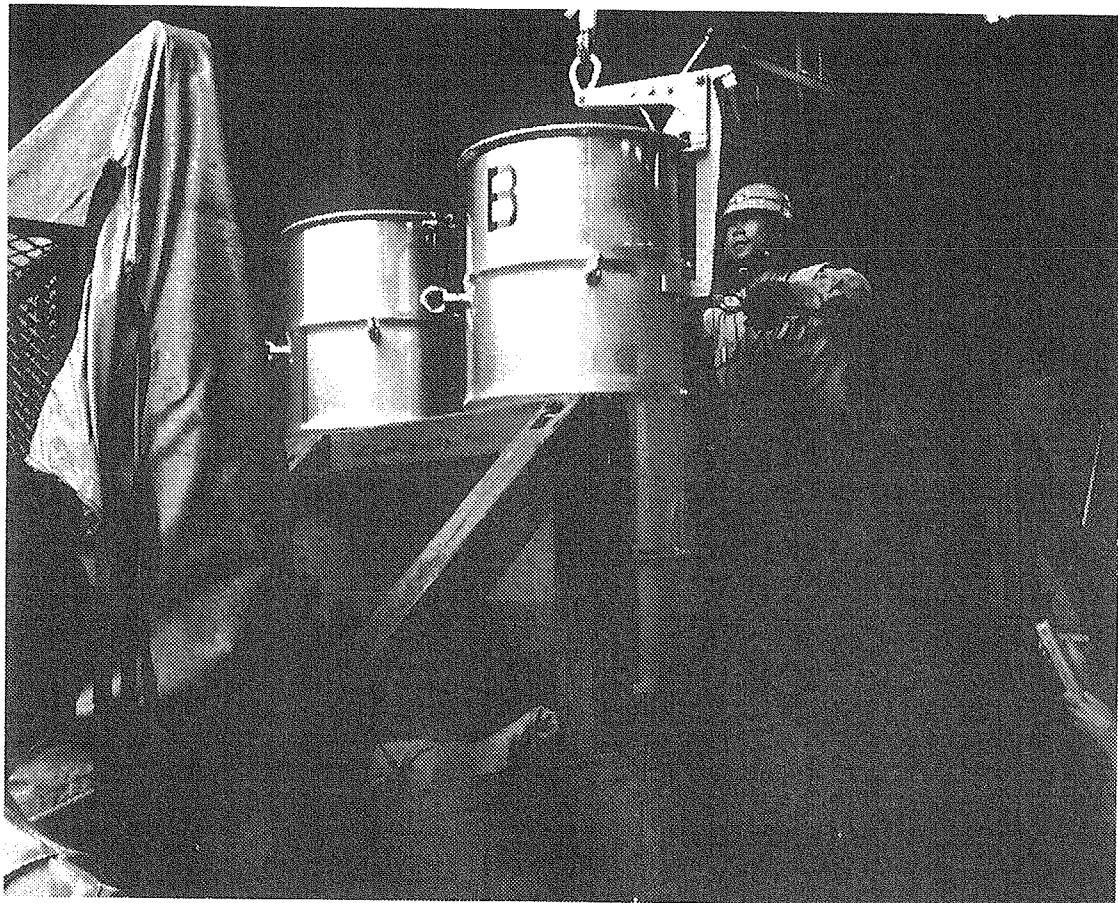


Fig. 16 樹脂筒輸送容器を トラックの荷台に積載

付録

資料 1 海水中有用金属捕集材実海域試験 に関する法令の調査結果

海水中有用金属捕集材実海域試験に関して調査した法令は次のとおりである。なお、調査した法令は平成 12 年末におけるものである。

- 「原子力基本法」(昭和 30 年 12 月 19 日 法律第 186 号)
- 「核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令」(昭和 32 年 11 月 21 日 政令第 325 号)
- 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」(昭和 32 年 6 月 10 日 法律第 166 号)
- 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」(昭和 32 年 11 月 21 日 政令第 324 号)
- 「核原料物質の使用に関する規則」(昭和 43 年 7 月 20 日 総理府令第 46 号)
- 「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」(昭和 53 年 12 月 28 日 総理府令第 57 号)
- 「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」(平成 2 年 11 月 28 日 科学技術庁告示第 5 号)
- 「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の規定に基づき国際規制物資を定める件」(昭和 47 年 10 月 16 日 総理府告示第 49 号)
- 「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」(昭和 32 年 6 月 10 日 法律第 167 号)
- 「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施行令」(昭和 35 年 9 月 30 日 政令第 259 号)
- 「労働安全衛生法」(昭和 47 年 6 月 8 日 法律第 57 号)
- 「電離放射線障害防止規則」(昭和 47 年 6 月 8 日 労働省令第 41 号)

以下に調査結果を示す。

1. 原子力基本法

「原子力基本法」(昭和 30 年 12 月 19 日 法律第 186 号)では、核燃料物質や核原料物質について次のように定義している。

(定義)

第三条 この法律において次の掲げる用語は、次の定義に従うものとする。

- 一 (省略)
- 二 「核燃料物質」とは、ウラン、トリウム等原子核分裂の過程において高エネルギーを放出する物質であつて、政令で定めるものをいう。
- 三 「核原料物質」とは、ウラン鉱、トリウム鉱その他核燃料物質の原料となる物質であつて、政令で定めるものをいう。

各号の「政令で定めるもの」は、「核燃料物質、核原料物質、原子炉及び放射線の定義に関する政令」(昭和32年11月21日政令第325号)で次のとおり定義している。

(核燃料物質)

第一条 原子力基本法第三条第二号の核燃料物質は、次に掲げる物質とする。

- 一 ウラン二三五のウラン二三八に対する比率が天然の混合率であるウラン及びその化合物
- 二 (以下省略)

(核原料物質)

第二条 原子力基本法第三条第三号の核原料物質は、ウラン若しくはトリウム又はその化合物を含む物質で核燃料物質以外のものとする。

以上のことから、本試験によって捕集されたウランは、「核燃料物質の原料となる物質」と考えられるので「核原料物質」に該当すると考えられる。

2. 核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律

本試験によって捕集されたウランは、核原料物質であることが分ったので核原料物質の取り扱いに関する法令を調査した。

「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)」(昭和32年6月10日法律第166号)では、核原料物質の使用について次のように規定している。

(核原料物質の使用の届出等)

第六十一条の二 核原料物質を使用しようとする者は、政令で定めるところにより、あらかじめ内閣総理大臣に届け出なければならない。ただし、次の各号の一に該当する場合は、この限りでない。

- 一～二 (省略)
- 三 放射能濃度又は含有するウラン若しくはトリウムの数量が政令で定める限度を超えない核原料物質を使用する場合

2～5 (省略)

6 核原料物質使用者は、総理府令で定めるところにより、核原料物質の使用に関し
総理府令で定める事項を記録し、これをその工場又は事業所に備えて置かなければ
ならない。

第三号の「政令で定める限度」については、「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律施行令」(昭和 32 年 11 月 21 日政令第 324 号) に次のとおり規定されている。

(使用の届出を要しない核原料物質の放射能濃度等の限度)

第十九条 法第六十一条の二第一項第三号に規定する政令で定める限度は、放射能濃度について
は、七十四ベクレル毎グラム (固体状の核原料物質にあっては、三百七十ベクレル毎グラム) とし、ウラン又はトリウムの数量については、ウランの量に三を乗じて得られる数量若しくはトリウムの量又はこれらを合計した数量で九百グラムとする。

放射能濃度が 74 Bq/g 以下 (固体状の場合 370 Bq/g 以下) 又は、ウランの量が 300 g 以下の場合は核原料物質の使用の届出は不要であることがわかる。

本試験で取り扱うウランの濃度 (キレート樹脂 (固体) 60Bq/g、溶離液 (液体) 0.24 Bq/g) も数量 (150g) もこの規定値以下であるので核原料物質の使用の届出は不要である。

3. 國際規制物資

原子炉等規制法では国際規制物資について、概略次のように定義している。

(定義)

第二条

1~8 (省略)

9 この法律において「国際規制物資」とは、核兵器の不拡散に関する条約第三条 1 及び 4 の規定の実施に関する日本国政府と国際原子力機関との間の協定その他日本国政府と一の外国政府 (国際機関を含む。) との間の原子力の研究、開発及び利用に関する国際約束に基づく保障措置の適用その他の規制を受ける核原料物質、核燃料物質、原子炉その他の資材又は設備をいう。

10 前項の国際規制物資は、内閣総理大臣が告示する。

国際規制物資は、第二条第 10 項の規定に基づいて「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律の規定に基づき国際規制物資を定める件」(昭和 47 年 10 月 16 日 総理府告示第 49 号) により、概略次のように定められている。

- 一 日米協定 (第一次から第三次) に基づき、アメリカ合衆国政府又はその管轄の下にある者から売却その他の方法により移転された核原料物質、核燃料物質及び減速材物質 (次号において移転物質という。)
- 二 移転物質において使用され、移転物質から回収され又は移転物質の使用の結果生産された核燃料物質

- 三 日米協定(第一次から第三次)に基づき、アメリカ合衆国政府又はその管轄の下にある者から売却その他の方法により移転された設備
- 四 前号の設備において使用され又はその使用の結果生産された核燃料物質
- 五～八 日英協定(以下、一から四と同内容)
- 九～十 国際原子力機関との協定(以下、核燃料物質について一から二と同内容)
- 十一～十四 日加協定(以下、一から四と同内容)
- 十四の二～十四の四 日加協定(以下、重水について一から四と同内容)
- 十五～十八 日豪協定(以下、同内容)
- 十九～二十二 日仏協定(以下、同内容)
- 二十三～二十六 日中協定(以下、同内容)
- 二十七 前号までの核燃料物質以外の核燃料物質であって、核兵器の不拡散に関する条約 第三条1及び4の規定の実施に関する日本国政府と国際原子力機関との間の協定に基づく保障措置の適用を受けるもの

国際規制物資とは日本とアメリカ、イギリス等との二国間の協定に基づいて移転された核燃料物質、核原料物質及び設備、並びにこれら以外の核燃料物質で保障措置の適用を受けるものである。

海水から捕集したウランは、アメリカ、イギリス等との協定によって移転された核原料物質ではなく、また核燃料物質でもないので、「国際規制物資」に該当しない。

4. 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

「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)」(昭和32年6月10日法律第167号)では、放射性同位元素について次のとおり定義している。

(定義)

第二条 この法律において「放射線」とは、(以下省略)

2 この法律において「放射性同位元素」とは、りん三十二、コバルト六十等放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物(機器に装備されているこれらのものを含む)で政令で定めるものをいう。

第2項の「政令で定めるもの」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施行令」(昭和35年9月30日政令第259号)で、次のとおり規定している。

(放射性同位元素)

第一条 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第二条第二項の放射性同位元素は、放射線を放出する同位元素及びその化合物並びにこれらの含有物で、放射線を放出する同位元素の数量及び濃度が科学技術庁長官が定める数量及び濃度を超えるものとする。ただし、次に掲げるものを除く。

一 原子力基本法第三条第二号に規定する核燃料物質及び同条第三号に規定する核原料物質

(以下省略)

障害防止法では、原子力基本法に規定する核原料物質は除かれているので海水から捕集したウランは障害防止法の規制を受けない。

5. 労働安全衛生法

「労働安全衛生法」(昭和47年6月8日法律第57号)には、次のような規定がある。

第二十二条 事業者は、次の健康障害を防止するため必要な措置を講じなければならない。

一 (省略)

二 放射線、高温、低温、超音波、騒音、振動、異常気圧等による健康障害

この規定を受けて、「電離放射線障害防止規則」(昭和47年9月30日労働令第41号)では次のとおり規定している。

(定義等)

第二条 この省令で「電離放射線」とは、次の粒子線又は電磁波をいう。(以下省略)

2 この省令で「放射性物質」とは、放射線を放出する同位元素(以下「放射性同位元素」という。)、その化合物及びこれらの含有物で、次の各号のいずれかに該当するものをいう。ただし、その濃度が、七十四ベクレル毎グラム以下の固体のもの及び密封されたものでその数量が三・七メガベクレル以下のものを除く。

一 放射性同位元素が一種類のものにあっては、次の表の上欄に掲げる種類に応じ、それぞれ同表の下欄に掲げる数量を超えるもの。

種類	(中略)	水素三、ベリリウム七、炭素十四、フッ素十八、クロム五十一、ゲルマニウム七十一、タリウム二百一、トリウム又はウラン
数量	(中略)	三・七メガベクレル

(以下略)

数量が3.7 MBq以下のウランは、放射性物質の定義から除外(本試験での取扱い量は一回当たり1.92 MBq)されるし、キレート樹脂に吸着した状態では濃度が60 Bq/gの固体であり、溶離液では濃度が0.24 Bq/gの液体であるので濃度の点からも放射性物質から除外されるため、この法律の規制は受けない。

6. ウランの運搬に関する規制

これまでの調査で、今回の試験で海水から捕集したウランは一般の物質として取り扱うことができることが分ったので、ウランの分離・精製施設への輸送に関しても同様に一般の物質として取り扱うことができる。しかしながら、ウランを吸着したキレート樹脂を安全に輸送するために、運搬に関する規制を調査した。

「核原料物質の使用に関する規則(以下、「核原料使用規則」という)」(昭和43年7月20日総理府令第46号)では、核原料物質の運搬に関して次のとおり規定している。

(技術上の基準)

第二条 原子炉等規制法第六十一条の二第四項に規定する技術上の基準は、次の各号に掲げるとおりとする。(以下省略)

一～十一 (省略)

十二 核原料物質の運搬は、次に定めるところにより行うこと。

イ 核原料物質を運搬する場合は、これを容器に収納すること。

(以下省略)

ロ 容器は、次に掲げる基準に適合するものであること。ただし、核原料物質の使用施設の内部において運搬する場合は、この限りではない。

- (1) 外接する直方体の各辺が十センチメートル以上であること。
- (2) 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。
- (3) 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、破損等の生じるおそれがないこと。
- (4) 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。
- (5) 材料相互の間及び材料と収納される核原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おそれがないこと。
- (6) 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。

ハ～ニ (省略)

ホ 運搬する核原料物質を収納した容器の表面における長官の定める線量当量率は、二ミリシーベルト毎時を超えないようにし、かつ、容器の表面から一メートルの距離における長官の定める線量当量率が百マイクロシーベルト毎時を超えないようにすること。(以下省略)

ヘ 運搬する核原料物質を収納した容器の表面の放射性物質の密度が第三号ハの表面密度限度の十分の一を超えないようにすること。(以下省略)

ト (省略)

十三 (以下省略)

このように、核原料使用規則では、核原料物質の運搬に関しては、取り扱いの注意点、線量当量率及び表面密度の規定のみで輸送用容器に対する構造強度上の要求はない。

そこで、核燃料物質等の運搬に関する規制(「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」(昭和53年12月28日総理府令第57号))についても調査した。

(核燃料輸送物としての核燃料物質等の運搬) 第三条 核燃料物質等は、次に掲げる核燃料物質等の区分に応じ、それぞれ当該各号に定める種類の核燃料輸送物として運搬しなければならない。

- 一 危険性が極めて少ない核燃料物質として科学技術庁長官(以下「長官」という。)の定めるもの L型輸送物
- 二 長官の定める量を超えない量の放射能を有する核燃料物質等(前号に掲げるものを除く) A型輸送物
- 三 前号の長官の定める量を超える量の放射能を有する核燃料物質等(第一号に掲げるものを除く) BM型輸送物又はBU型輸送物
- 2 前項の規定にかかわらず、放射能濃度が低い核燃料物質であって危険性が少ないものとして長官の定めるもの(中略)は長官の定める区分に応じ、IP-1型輸送物、IP-2型輸送物又はIP-3型輸送物として運搬することができる。
- 3 前二項に掲げるL型輸送物、(中略)、IP-1型輸送物、IP-2型輸送物及びIP-3型輸送物は、それぞれ次条から第十条までに規定する技術上の基準に適合するものでなければならぬ。

(L型輸送物に係る技術上の基準)

第四条 L型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

- 一 容易に、かつ、安全に取り扱うことができること。
- 二 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、破損等の生じるおそれがないこと。
- 三 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。
- 四 材料相互の間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おそれがないこと。
- 五 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。
- 六 開封されたとき見易い位置に「放射性」又は「Radioactive」の表示を有していること。ただし、長官の定める場合はこの限りではない。
- 七 表面における長官の定める線量当量率が五マイクロシーベルト毎時を超えないこと。
- 八 表面の放射性物質の密度が第5条第9項に規定する密度の十分の一を超えないこと。

(A型輸送物に係る技術上の基準)

第五条 A型輸送物に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

- 一 前条第一号から第五号までに定める基準
- 二 外接する直方体の各辺が十センチメートル以上であること。
- 三～六 (省略)

七 表面における長官の定める線量当量率が二ミリシーベルト毎時を超えないこと。

(以下省略)

八 表面から一メートル離れた位置における長官の定める線量当量率(中略)が百マイクロシーベルト毎時を超えないこと。(以下省略)

九 表面の放射性物質の密度が長官の定める密度(以下「表面密度限度」という)を超えないこと。

十 (省略)

十一 長官の定めるA型輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合に、次に掲げる要件に適合すること。

イ 放射性物質の漏洩がないこと。

ロ 表面における長官の定める線量当量率が著しく増加せず、かつ、二ミリシーベルト毎時(第7号ただし書に該当する場合は、十ミリシーベルト毎時)を超えないこと。

第六条～第七条 (省略)

(IP-1型輸送物に係る技術上の基準)

第八条 IP-1型輸送物に係る技術上の基準は、第五条第一号及び第二号並びに第七号から第九号までに定める基準とする。

(IP-2型輸送物に係る技術上の基準)

第九条 IP-2型輸送物(次号に該当するものを除く)に係る技術上の基準は、次の各号に掲げるものとする。

一 前条に定める基準

二 長官の定めるIP-2型輸送物に係る一般の試験条件の下に置くこととした場合に、第五条第十一号イ及びロに定める要件に適合すること。

第10条～ (省略)

L型輸送物とIP-1型輸送物に関しても、核原料物質の運搬と同様に、取り扱いの注意点、線量当量率及び表面密度に関する規定のみで、輸送用容器に対する構造強度上の要求はない。しかし、上位輸送区分であるIP-2型輸送物に対しては、第五条第十一号の要求に合致することと規定されている。第五条第十一号の要件に対する試験条件は、「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」(平成2年11月28日 科学技術庁告示第5号)で次のとおり定められている。

(A型輸送物に係る一般の試験条件)

第11条 規則第五条第十一号の長官の定めるA型輸送物に係る一般の試験条件は別記第三に掲げる条件とする。

別記第三(第十一条関係) A型輸送物に係る一般の試験条件

一 条件

- イ 五十ミリメートル毎時の雨量に相当する水を一時間吹き付けること。
- ロ イの条件に置いた後、次の条件の下に置くこと。(以下省略)
 - (1) その重量が、五千キログラム未満のものにあっては一・二メートルの高さから、(中略)最大の破損を及ぼすように落下させること。
 - (2)~(4) (省略)

二 (省略)

本輸送物は既述のように、L型、A型、B型、IP-1型、IP-2型、IP-3型のいずれの輸送物にも該当しないが、樹脂筒の輸送時の質量は最大 130 kg(通常約 120 kg) であるので、IP-2型輸送物の容器に関する強度試験条件である 1.2 m の高さからの落下を想定し通常の取り扱い条件における解析を行なって、輸送用容器の構造強度上の健全性を確認することにした。

7. ウランの計量管理

分離・精製施設における分離・精製過程で核燃料物質が生成されるため、搬出するウランは核原料物質として自主的に計量管理を行なうこととした。

核原料物質の使用に関する記録については、原子炉等規制法第六十一条の二第六項(29 ページ)に規定されている。この規定の「総理府令で定める事項」は核原料使用規則で次のとおり規定されている。

(記録)

第三条 法第六十一条の二第六項の規定による記録は、工場又は事業所ごとに、次表の左欄に掲げる事項について、それぞれ同表中欄に掲げるところに従って記録し、それぞれ同表右欄に掲げる期間これを保存して置かなければならない。

記録事項	記録すべき場合	保存期間
一 核原料物質の種類別の受渡し量及び在庫量	毎月一回	十年間
二 (以下省略)		

この規定に準拠して、搬出時には核原料物質の種類と受渡し量を記録し、引き渡し側(原研)と受け取り側(分離・精製施設)がそれぞれ記録を保管することにした。

資料2 ひずめ型体積の算出方法詳細

基本的な計算式と計算結果は本文に示しているが、ひずめ型（馬蹄形）の体積算出はかなり面倒なので、その詳細を以下に述べる。

衝突面の変形に関するエネルギーの釣り合いは次式で表わされる。

$$E_1 = (V_{dr}\sigma_2) + (V_{cus}\sigma_3)$$

ここで、

E_1 : 外殻側の変形エネルギー = 9.945×10^5 N·mm

V_{dr} : 樹脂筒輸送容器の変形体積

V_{cus} : クッション材の変形体積

σ_2 : 樹脂筒輸送容器の平均変形抵抗 = 205 N/mm²

σ_3 : クッション材の変形抵抗 = 0.147 N/mm²

d : 変形量

θ : コーナー落下傾斜角 = 20.81° (0.3631 rad)

ひずめ形の体積の一般式は次式で表わされる。

$$V = \frac{h}{3b} \left\{ a(3r^2 - a^2) + 3r^2(b - r)\phi \right\}$$

一方、落下傾斜角度 θ 及び A 点から面 (BHD) への鉛直距離 d との関係から

$$h = b \tan \theta$$

$$a = \sqrt{BO^2 - CO^2} = \sqrt{r^2 - \left(r - \frac{d}{\sin \theta}\right)^2}$$

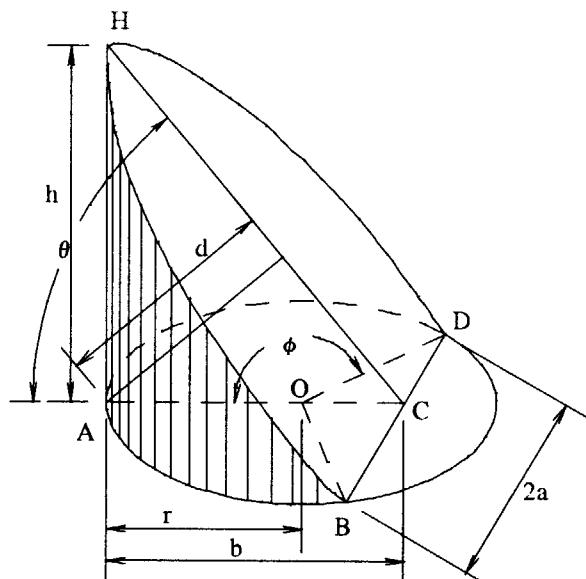
$$b = \frac{d}{\sin \phi}$$

$$\phi = \cos^{-1} \left(\frac{CO}{r} \right) = \cos^{-1} \frac{r - \frac{d}{\sin \theta}}{r}$$

であるので、ひずめ形の体積の一般式は次のようになる。

$$V = \frac{\tan \theta}{3} \left[\sqrt{r^2 - \left(r - \frac{d}{\sin \theta}\right)^2} \left\{ 2r^2 + \left(r - \frac{d}{\sin \theta}\right)^2 \right\} + 3r^2 \left(\frac{d}{\sin \theta} - r \right) \cos^{-1} \left(\frac{r - \frac{d}{\sin \theta}}{r} \right) \right]$$

この式を用いてドラム缶の変形体積 V_{dr} と、クッション材の変形体積 V_{cus} を計算する。



V_{dr} は、上記の式で $r = (\text{ドラム缶の外径 } 570)/2$ とした体積から、底部チャイム巻締を考慮した $r = (\text{ドラム缶の内径 } 564/2)$ の場合の体積を差し引いたものであり、また、 V_{cus} は、 $r = (\text{クッショング材の外径 } 560/2)$ とした体積であるから、 V_{dr} 及び V_{cus} はそれぞれ次のようになる。

ドラム缶の変形体積 V_{dr} :

$$\begin{aligned} V_{dr} = & \frac{\tan 0.3631}{3} \left[\sqrt{285^2 - \left(285 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2} \left\{ 2 \times 285^2 + \left(285 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2 \right\} + \right. \\ & \left. 3 \times 285^2 \left(\frac{d}{\sin 0.3631} - 285 \right) \cos^{-1} \left(\frac{285 - \frac{d}{\sin 0.3631}}{285} \right) \right] - \\ & \frac{\tan 0.3631}{3} \left[\sqrt{282^2 - \left(282 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2} \left\{ 2 \times 282^2 + \left(282 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2 \right\} + \right. \\ & \left. 3 \times 282^2 \left(\frac{d}{\sin 0.3631} - 282 \right) \cos^{-1} \left(\frac{282 - \frac{d}{\sin 0.3631}}{282} \right) \right] \end{aligned}$$

クッショング材の変形体積 V_{cus} :

$$\begin{aligned} V_{cus} = & \frac{\tan 0.3631}{3} \left[\sqrt{280^2 - \left(280 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2} \left\{ 2 \times 280^2 + \left(280 - \frac{d}{\sin 0.3631}\right)^2 \right\} + \right. \\ & \left. 3 \times 280^2 \left(\frac{d}{\sin 0.3631} - 280 \right) \cos^{-1} \left(\frac{280 - \frac{d}{\sin 0.3631}}{280} \right) \right] \end{aligned}$$

上で求めた V_{dr} 及び V_{cus} をエネルギーの釣り合い方程式 $E_1 = (V_{dr}\sigma_2) + (V_{cus}\sigma_3)$ に代入して変形量 d を求める。

なお、 E_1 、 σ_2 、 σ_3 は既知数であるから上記の式は d について解くことができる。

資料 3

樹脂筒輸送容器の輸送計画書

平成 12 年 月

日本原子力研究所 高崎研究所 材料開発部

○○○○株式会社

1. 輸送の目的
2. 荷送人及び荷受人の氏名又は名称及び住所
3. 輸送人の氏名又は名称及び住所
4. 輸送日時
5. 輸送経路
6. 輸送物の仕様
7. 車両及び積載方法
8. 放射線管理
9. 輸送物の受渡確認
10. 輸送実施体制及び連絡体制
11. 非常時の措置

- | | |
|---------|-------------------------|
| 添付資料－1 | 通過地点、所要時間等の詳細 |
| 添付資料－2 | 輸送物の外観図 |
| 添付資料－3 | 輸送物に収納されている天然ウランの詳細 |
| 添付資料－4 | 有用金属の収納状態 |
| 添付資料－5 | 車両の積載状態及び外観図 |
| 添付資料－6 | 車両及び輸送物の線量当量率及び表面密度測定記録 |
| 添付資料－7 | 輸送に係る個人線量当量測定記録 |
| 添付資料－8 | 樹脂筒輸送容器受渡確認書 |
| 添付資料－9 | 非常時の連絡体制 |
| 添付資料－10 | 応急措置要領及び警察機関等への連絡要領 |

4. 輸送日時

発地：平成12年 月 日 午前10時
着地：平成12年 月 日 午後 8時

5. 輸送経路

輸送経路は次の通りである。

日本原子力研究所 むつ事業所
平成12年 月 日 午前10時発
↓ (県道及び国道○○号線等)
○○ I C
↓ (○○自動車道)
○○ J C T
↓ (○○自動車道)
○○ J C T
↓ (○○自動車道)
○○ I C
↓ (県道及び国道○○号線等)
○○○○株式会社
平成12年 月 日 午後8時着

これらの運行の通過地点、所要時間等の詳細を添付資料-1に示す。

6. 輸送物の仕様

(1) 輸送物の種類等

種類 L型輸送物（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）に準拠

個数 2個

緒元 樹脂筒輸送容器

重量 約120kg／個×2個=約240kg

外観図を添付資料-2に示す。

(2) 輸送物に収納されている有用金属の種類等

輸送物に収納されている有用金属の種類は天然ウラン、バナジウム、チタン他である。

天然ウランに関する詳細を添付資料-3に示す。

なお、天然ウランであるので輸送に関する数量の制限はなく、線量当量率計算により表面 $5 \mu \text{Sv/h}$ 以下となることを確認しているので、L型輸送物準拠として輸送で

きる。

(3) 有用金属の収納状態

輸送物に収納されている有用金属の収納状態は、キレート樹脂に吸着して樹脂筒(PVC 製円筒容器)内に密閉収納している。これをさらに発泡スチロールの緩衝材を詰めたステンレス製ドラム缶の外容器に収納している。収納状態の図を添付資料－4に示す。

(4) 輸送物に貼付する標識及び表示

標識及び表示は貼付しない。

(5) 輸送物の取扱い上の注意事項

輸送物の取扱は次の点に注意して行う。

- ① 関係者以外の者が通常立ち入る場所での積み込み、取卸しをしない。
- ② 運搬中において、移動、転倒、転落等により、輸送物の安全性が損なわれないよう積載する。
- ③ 火薬類、高圧ガス等他の危険物と混載しない。

7. 車両及び積載方法

(1) 車両の概要

輸送物の運搬は、次の車両を使用する。

車種	: 平ボディトラック (4トン車)
車両登録番号	: ○○○○
車両型式	: ○○○○
最大積載量	: 2, 550 kg

(2) 車両の外観図並びに積載方法及び固定方法等

- ① 輸送車両は本件輸送物の専用積載とする。
 - ② 輸送物は転倒及び左右の移動を防止するため、車両後部にロープ等で固縛する。
- 以上の積載状態等と車両の外観図を添付資料－5に示す。

(3) 見張り人等

駐車する場合は、見張り人を配置する。

8. 放射線管理

(1) 専門家の同行

輸送の安全に万全を期すため、放射線取扱主任者資格を有する者、又は実務経験3

年以上を有する者が同行する。

(2) 携行物

輸送の安全に万全を期すため、又非常時における応急措置を行うために次の機材を携行する。

- ・輸送計画書
- ・サーベイメータ（線量当量率測定用、汚染検査用 各 1）
- ・信号煙管
- ・赤旗
- ・ウェス
- ・ゴム／布手袋
- ・ポリ袋
- ・トラロープ
- ・ビニールテープ等
- ・標識

(3) 放射線測定

運搬が安全に実施されていることを確認するために、下記の放射線測定を行い、記録する。記録様式は添付資料－6に示す。

- ① 輸送物表面及び表面から 1 m 位置での線量当量率並びに輸送物の表面密度
(事前測定)
- ② 輸送物表面及び表面から 1 m 位置での線量当量率並びに輸送物の表面密度
(発時測定)
- ③ 車両表面および運転席の線量当量率 (発時測定)

(4) 線量当量管理

運搬従事者は、個人線量計を着用し、運搬に係わる線量当量の測定を行う。測定結果は、添付資料－7 の様式で記録し保管する。

9. 輸送物の受渡確認

輸送物の授受を確認するために、輸送物の引き渡し時に樹脂筒輸送容器受渡確認書により記録する。記録様式を添付資料－8 に示す。

10. 輸送実施体制及び連絡体制

(1) 運搬責任者

名称 : ○○○○株式会社

代表者 : ○○○○

住所 : 〒000-0000 ○○○○○○○○○○○○○○○○○○

(2) 運搬実施者

① 代表者

氏名 : ○○○○

所属 : ○○○○株式会社

住所 : 〒000-0000 ○○○○○○○○○○○○○○○○○○

② 運行従業者

氏名 : ○○○○

所属 : ○○○○株式会社

住所 : 〒000-0000 ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

以上の体制で運搬を実施するとともに、非常時の連絡体制を添付資料－9に示す。

11. 非常時の措置

運搬中の交通事故、地震、火災等が発生した場合には、携行器材のサーベイメータ等を使用して応急措置をとる。放射線障害の発生防止、汚染拡大の防止に努めるとともに、非常時の連絡体制に従って電話連絡を行い、その指示により必要な措置を講じる。応急措置要領及び警察機関への連絡要領を添付資料－10に示す。

添付資料－1

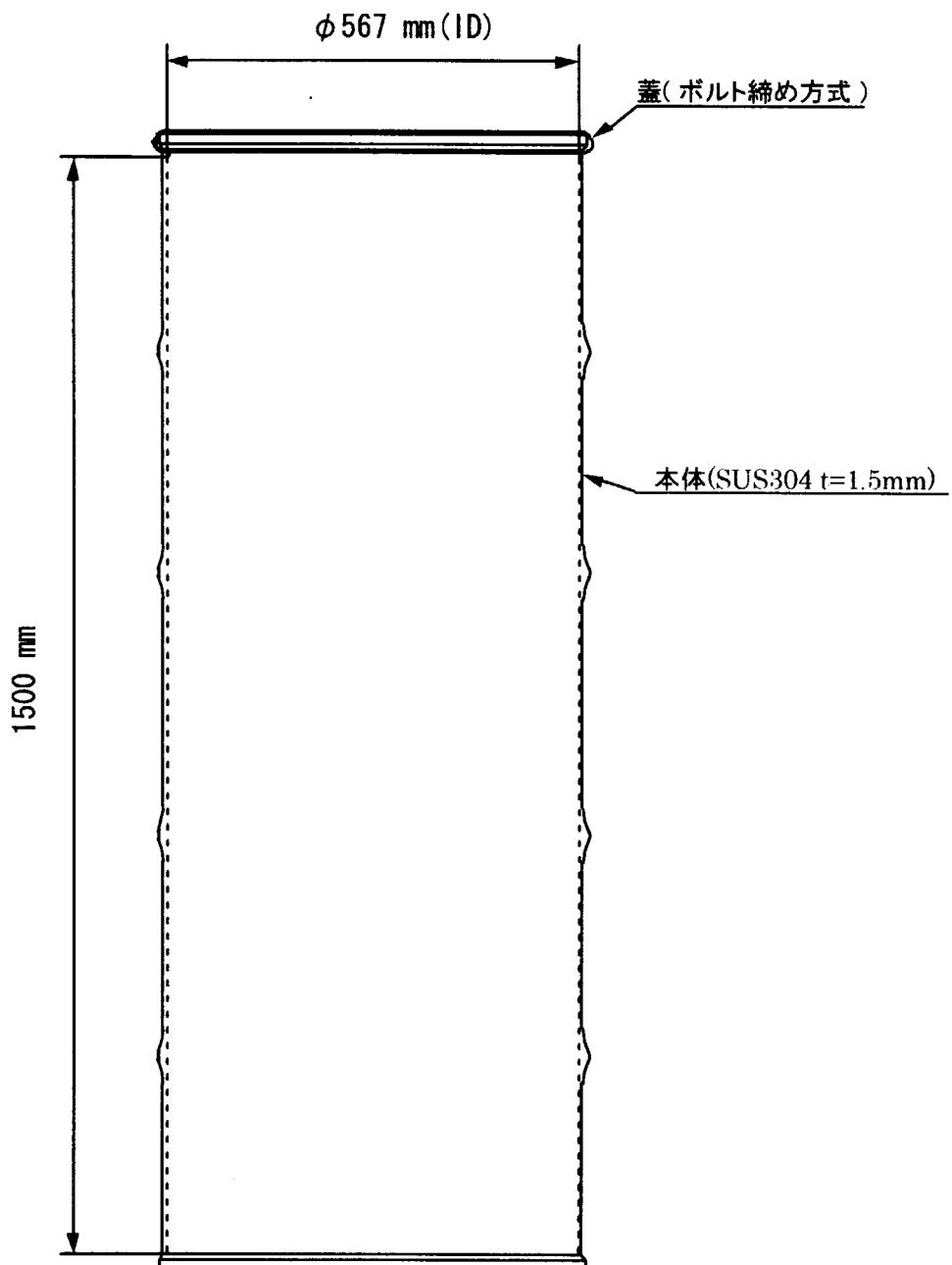
通過地点、所要時間等の詳細

通過地点及び所要時間の詳細

都県名	発着経由地	路線名	距離 (km)		区間所要時間 (分)	通過予定時刻	備考
			区間	累計			
青森県 〇〇県	日本原子力研究所 むつ事業所 ↓ 〇〇I.C ↓ 〇〇JCT ↓ 〇〇JCT ↓ 〇〇I.C ↓ 〇〇〇〇株式会社	国道〇〇〇号 〇〇自動車道 〇〇自動車道 〇〇自動車道 〇〇自動車道 〇〇自動車道 国道〇〇号線				10:00	
			90		110	11:50	
			70	160	50	12:40	車両点検 昼食休憩 30 分
			350	510	260	17:30	
			80	590	60	18:50	車両点検 休憩 20 分
			70	670	50	19:40	
			10	680	20	20:00	
							所要時間 10 時間 00 分
合計				680			

添付資料－2

輸送物の外観図



輸送物の外観図

添付資料－3

輸送物に収納されている天然ウランの詳細

本件の輸送物に収納されている有用金属のうち、天然ウランは、ウラニル錯体がアミノリン酸基を有するキレート樹脂に吸着したものであり、放射能濃度は約10Bq/g（約0.08%）である。

キレート樹脂を収納した樹脂筒は2本あり、樹脂筒1筒当たり収納されているキレート樹脂量は約32kgである。樹脂筒1筒当たり吸着している天然ウラン量は約25gであり、樹脂筒2本では天然ウランの重量は約50gである。

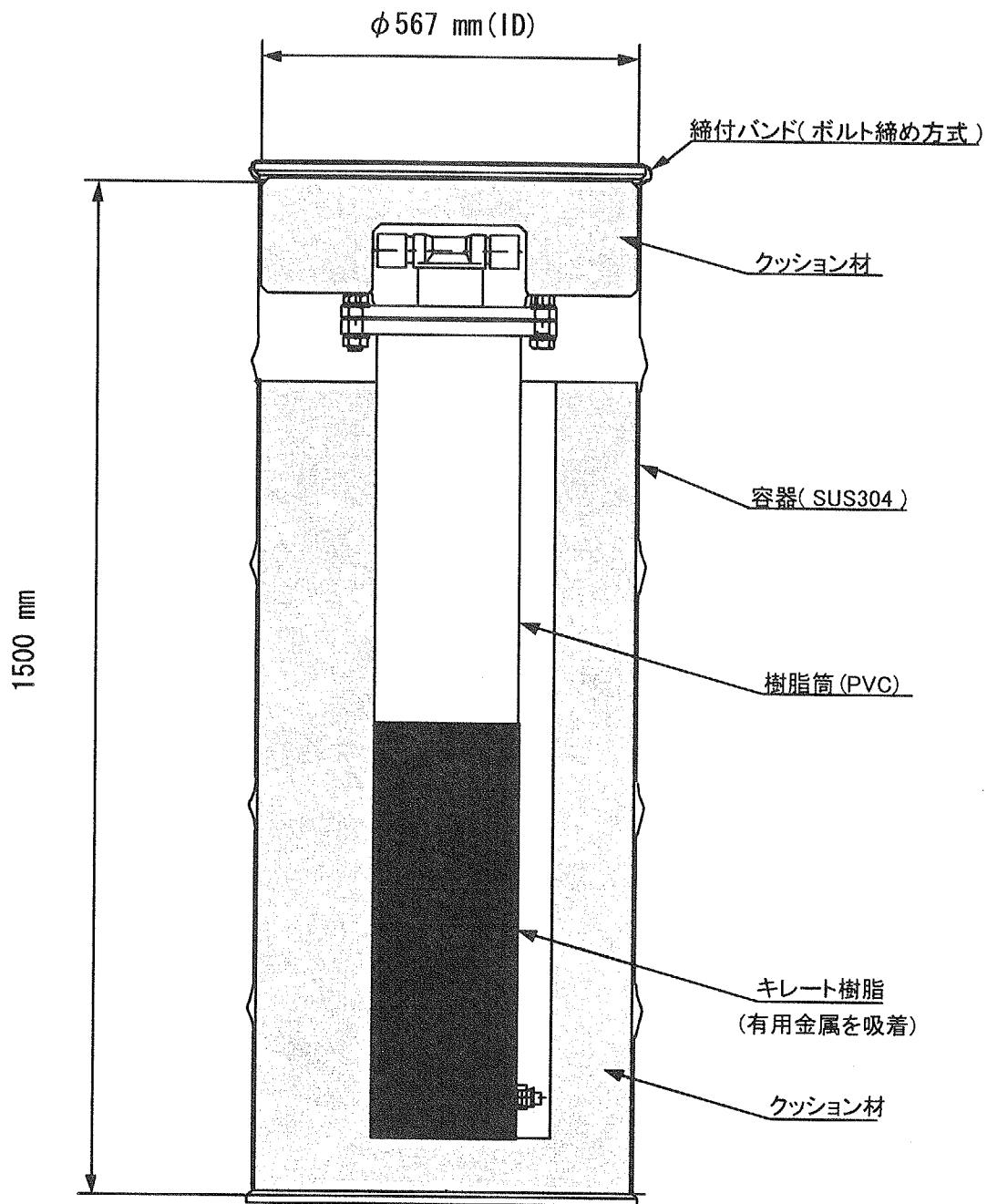
天然ウランは原子力基本法及び関連法令で定義される核原料物質であるが、炉規法第61条の二第1項第三号、炉規法施工令第19条による届け出が必要な濃度限度（固体の場合は370Bq/g）と、数量（ウランについては300g）を下回っている。

輸送物の物質名等と吸着されている天然ウラン

物質名	物質の形態	物質の重量	天然ウラン濃度	放射能濃度	天然ウランの重量	天然ウランの形態
キレート樹脂	固体 (水に不溶)	32kg/筒 ×2筒 =64kg	約0.08%	約10Bq/g	約50g	ウラニル錯体：アミノリン酸基を有するキレート樹脂吸着材との錯体

添付資料－4

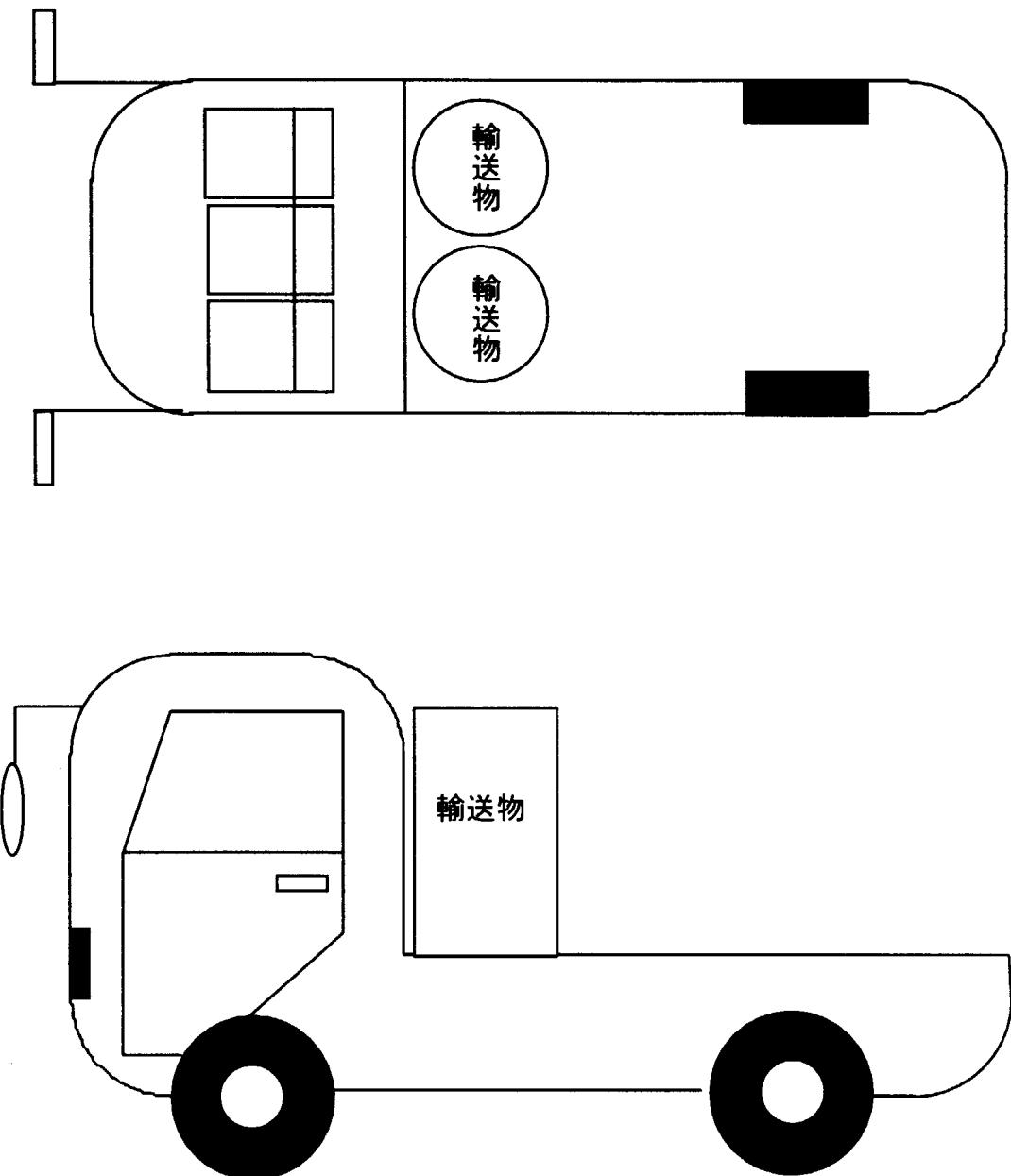
有用金属の収納状態



有用金属の収納状態

添付資料－5

車両の積載状態及び外観図



車両の積載状態及び外観図

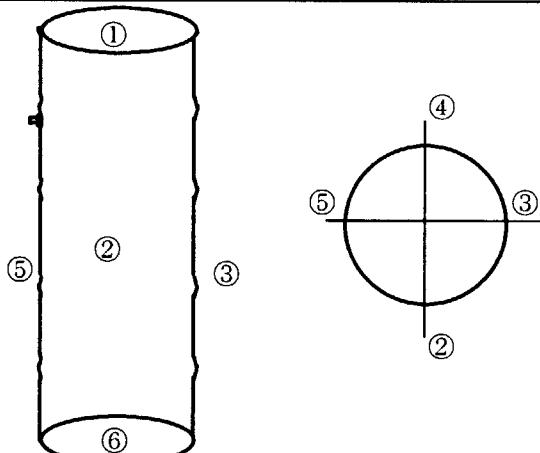
添付資料－6

車両及び輸送物の線量当量率及び表面密度測定記録

輸送物測定記録 [事前測定結果]

保安管理課		照射利用開発室	
課長	担当者	室長	担当者

測定目的	輸送物サーベイ		
容器	(L型)		
測定日時	平成 年 月 日 時 分		
測定者氏名	日本原子力研究所 むつ事業所 保安管理課		
測定場所	日本原子力研究所 むつ事業所		
測定項目	線量当量率	表面密度	
測定器種類			
バックグラウンド	線量当量率	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	
	検出下限表面密度	Bq/cm^2 (計数率 s^{-1})	

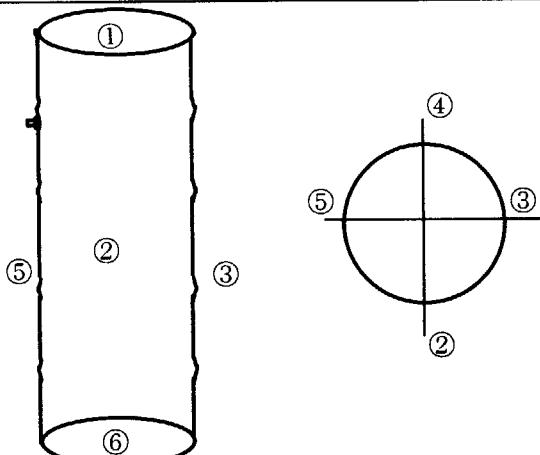


測定ポイント	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		表面密度
	表面	1m	(Bq/cm^2)
①上面			
②側面			
③側面			
④側面			
⑤側面			
⑥底面			

輸送物測定記録 [発送時測定結果]

保安管理課		照射利用開発室	
課長	担当者	室長	担当者

測定目的	輸送物サーベイ		
容器	(L型)		
測定日時	平成 年 月 日 時 分		
測定者氏名	日本原子力研究所 むつ事業所 保安管理課		
測定場所	日本原子力研究所 むつ事業所		
測定項目	線量当量率	表面密度	
測定器種類			
バックグラウンド	線量当量率 検出下限	$\mu\text{Sv}/\text{h}$	
	表面密度	Bq/cm^2 (計数率 s^{-1})	



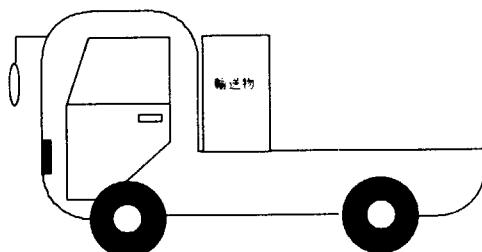
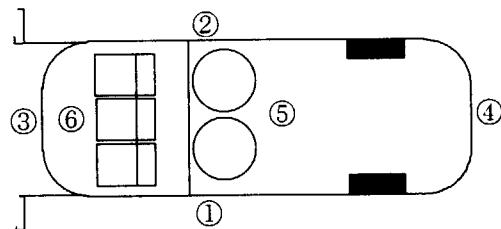
測定ポイント	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		表面密度 (Bq/cm^2)
	表面	1m	
①上面			
②側面			
③側面			
④側面			
⑤側面			
⑥底面			

輸送車両に係わる放射線測定 [発送時測定結果]

保安管理課	
課長	担当者

照射利用開発室	
室長	担当者

測定目的	輸送車両サーベイ	
車両番号		
測定日時	平成 年 月 日	
測定者氏名	日本原子力研究所 むつ事業所 保安管理課	
測定場所	日本原子力研究所 むつ事業所	
測定項目	線量当量率	表面密度
測定器種類		
バックグラウンド	線量当量率 検出下限	$\mu\text{Sv}/\text{h}$ Bq/cm^2 (計数率 — s^{-1})



測定ポイント	線量当量率 ($\mu\text{Sv}/\text{h}$)		表面密度 (Bq/cm^2)
	表面	1m	
①車両左側面	—	—	—
②車両右側面	—	—	—
③車両前面	—	—	—
④車両後面	—	—	—
⑤車両底面	—	—	—
⑥車両運転席	—	—	—

添付資料一7

輸送に係る線量当量率測定記録

輸送に係る個人線量当量測定結果

(ポケット線量計型番：)

氏名	所属	着用期間	線量当量 (μSv)
○○○○	○○○○株式会社	平成 12 年 月 日 10:00~20:00	
○○○○	○○○○株式会社	同 上	
○○○○	○○○○株式会社	同 上	

添付資料－8

樹脂筒輸送容器受渡確認書

樹脂筒輸送容器受渡確認書

○○○○	日本原子力
株式会社	研究所
担当者	担当者

下記の通り、樹脂筒輸送容器の受渡を確認した。

記

1. 日時

平成 年 月 日 時 分

2. 受渡場所

日本原子力研究所 むつ事業所

3. 引き渡し確認者

日本原子力研究所 高崎研究所 むつ駐在

氏名 :

4. 受け取り確認者

○○○○株式会社

氏名 : ○○○○

5. 受渡品

(1) 名 称 : 樹脂筒輸送容器

(2) 数 量 : 2 個

(3) 樹脂筒輸送容器重量 : 約 120 kg × 2 = 約 240 kg

(4) 樹脂筒内容物 : キレート樹脂 (海水から捕集したウラン等有用金属を吸着)

(5) キレート樹脂重量 : 約 32 kg × 2 = 約 64 kg

(6) ウランの濃度 : 約 0.08% (重量) 、 約 10Bq/g

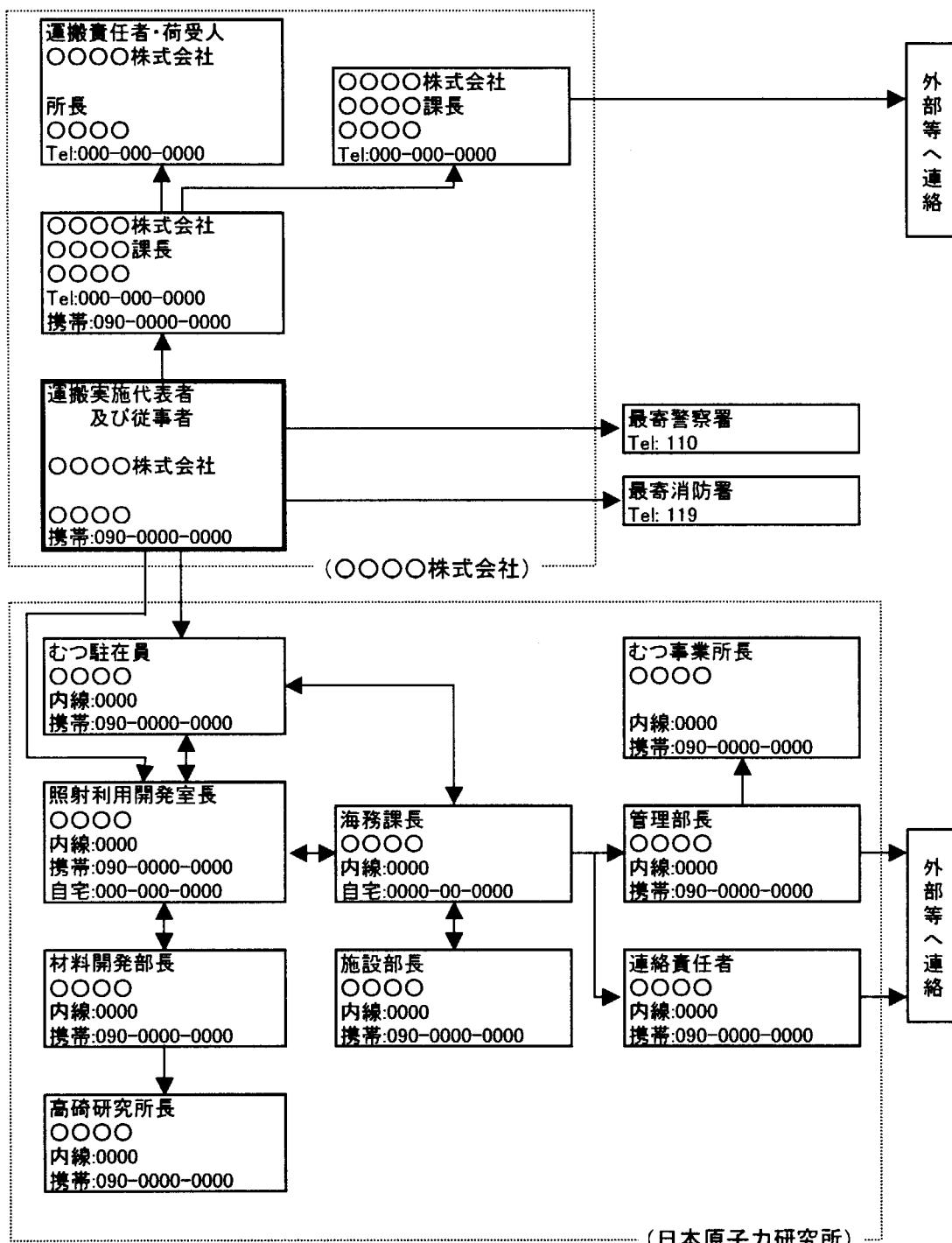
(7) ウランの数量 : 約 50g

以上

添付資料－9

非常時の連絡体制

非常時の連絡体制



添付資料－10

応急措置要領及び警察機関等への連絡要領

応急措置要領

事故が発生した場合には、状況によって措置方法は異なるが、原則として次の措置をとる。

1. 運搬実施者は、下記に示す警察機関への連絡要領に従い、最寄りの警察機関に 110 番で連絡し、指示を仰ぐ。
2. 運搬実施者は、必要な場合、最寄りの消防機関に 119 番で連絡する。
3. かかる後に、非常時の連絡体制に従ってトラロープを張り、見張り人を置き、赤旗または赤色灯により事故現場に関係者以外を近づけないようにする。

消防機関及び警察機関への連絡要領

交通事故、輸送物の盗難、輸送物の漏洩等の非常事態が発生した場合には、運搬実施者が 119 番及び 110 番で最寄りの消防機関及び警察機関へ連絡する。

消防機関

1. 事故の発生時刻および場所
2. 事故の原因および状況
3. 負傷者、輸送物の漏洩の有無
4. 事故の拡大性の有無
5. 講じた措置
6. 連絡者の氏名および今後の連絡先

警察機関

1. 事故の発生時刻および場所
2. 事故の原因および状況
3. 連絡者の氏名および今後の連絡先

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	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
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	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
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束	ウェーバー	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束照度	ルーメン	lm	cd·sr
放光束度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10^{18}	エクサ	E
10^{15}	ペタ	P
10^{12}	テラ	T
10^9	ギガ	G
10^6	メガ	M
10^3	キロ	k
10^2	ヘクト	h
10^1	デカ	da
10^{-1}	デシ	d
10^{-2}	センチ	c
10^{-3}	ミリ	m
10^{-6}	マイクロ	μ
10^{-9}	ナノ	n
10^{-12}	ピコ	p
10^{-15}	フェムト	f
10^{-18}	アト	a

(注)

1. 表1~5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。

2. 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。

3. barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。

4. EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N($=10^5$ dyn)	kgf	lbf
	1	0.101972	0.224809
	9.80665	1	2.20462
	4.44822	0.453592	1

粘度 $1 \text{ Pa}\cdot\text{s} = 10 \text{ P(ポアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$

動粘度 $1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St(ストークス)} (\text{cm}^2/\text{s})$

圧力	MPa($=10$ bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
力	1	10.1972	9.86923	7.50062×10^3	145.038
	0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233
	0.101325	1.03323	1	760	14.6959
	1.33322×10^{-4}	1.35951×10^{-3}	1.31579×10^{-3}	1	1.93368×10^{-2}
	6.89476×10^{-3}	7.03070×10^{-2}	6.80460×10^{-2}	51.7149	1

エネルギー・仕事・熱量	J($=10^7$ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV
	1	0.101972	2.77778×10^{-7}	0.238889	9.47813×10^{-4}	0.737562	6.24150×10^{18}
	9.80665	1	2.72407×10^{-6}	2.34270	9.29487×10^{-3}	7.23301	6.12082×10^{19}
	3.6×10^6	3.67098×10^5	1	8.59999×10^5	3412.13	2.65522×10^6	2.24694×10^{25}
	4.18605	0.426858	1.16279×10^{-6}	1	3.96759×10^{-3}	3.08747	2.61272×10^{19}
	1055.06	107.586	2.93072×10^{-4}	252.042	1	778.172	6.58515×10^{21}
	1.35582	0.138255	3.76616×10^{-7}	0.323890	1.28506×10^{-3}	1	8.46233×10^{18}
	1.60218×10^{-19}	1.63377×10^{-20}	4.45050×10^{-26}	3.82743×10^{-20}	1.51857×10^{-22}	1.18171×10^{-19}	1

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270×10^{-11}
	3.7×10^{10}	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58×10^{-4}	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

海水中有用金属捕集材実海域試験で捕集した有用金属の輸送

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています。