



研究用照射済ベリリウム試料の外国輸送

(受託研究)

Overseas Transport of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation

(Contract Research)

谷本 政隆 田口 剛俊 岡田 学 埴 善雄

土谷 邦彦 池田 昌之 藤本 洋一 Vladimir KOTOV

Yergazy KENZHIN

Masataka TANIMOTO, Taketoshi TAGUCHI, Manabu OKADA, Yoshio HANAWA
Kunihiko TSUCHIYA, Masayuki IKEDA, Yoichi FUJIMOTO, Vladimir KOTOV
and Yergazy KENZHIN

大洗研究開発センター

照射試験炉センター

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center

Oarai Research and Development Center

March 2011

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

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

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2011

研究用照射済ベリリウム試料の外国輸送
(受託調査)

日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター
照射試験炉センター

谷本 政隆、田口 剛俊、岡田 学、埜 善雄、土谷 邦彦
池田 昌之*1、藤本 洋一*1、Vladimir KOTOV*2、Yergazy KENZHIN*2

(2011年1月13日 受理)

中性子照射されたベリリウムを処理して再利用することは、資源の有効利用、核不拡散体制の強化などのために行うべき課題である。そこで、現在実施されている JMTR の改修・再稼働の一環として、処理処分方法の検討を行っている。平成 20 年度から、処理処分方法の一つであるベリリウムリサイクルに関する実証試験を国際科学技術センター(ISTC)のプロジェクトがカザフスタン共和国の国立原子力センター原子力研究所(NNC-IAE)で開始されている。このベリリウムリサイクル技術は、ベリリウム中に存在する放射性不純物をほとんど除去することができ、リサイクルしたベリリウムの再利用するための実証試験である。

本報告書は、国際協力 ISTC プロジェクトに基づき、研究用照射済ベリリウム試料を原子力機構からカザフスタン共和国の NNC-IAE に外国輸送するための輸送方法の検討を行うとともに、その検討結果に基づき、実際の照射済ベリリウム試料を輸送するために実施した試験結果をまとめたものである。

本報告書は、丸紅ユーティリティサービス(株)との受託研究「研究用照射済ベリリウム試料の外国輸送に関する検討」に基づいて実施したものである。

大洗研究開発センター：〒311-1393 茨城県東茨城郡大洗町成田町 4002

*1 丸紅ユーティリティ・サービス株式会社

*2 Institute of Atomic Energy (IAE),

National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan (NNC-RK)

Overseas Transport of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation
(Contract Research)

Masataka TANIMOTO, Taketoshi TAGUCHI, Manabu OKADA, Yoshio HANAWA

Kunihiko TSUCHIYA, Masayuki IKEDA^{*1}, Yoichi FUJIMOTO^{*1}

Vladimir KOTOV^{*2} and Yergazy KENZHIN^{*2}

Neutron Irradiation and Testing Reactor Center

Oarai Research and Development Center

Japan Atomic Energy Agency

Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received January 13, 2011)

It is important problem to recycle the irradiated beryllium from the points of effective use of resources, reduction of radioactive waste and nuclear nonproliferation. The recycling of the irradiated beryllium has been considered as the part of the development of Irradiation technology for JMTR refurbishment and restart. From FY2008, the ISTC regular project (K-1566) on recycling technology of irradiated beryllium was started in the Institute of Atomic Energy (IAE), National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan (NNC-RK). In the recycling technology of the irradiated beryllium, the radioactive nuclides will be able to be removed from the irradiated beryllium. Thus, preliminary demonstration test has been performed in the hot cell of the institute in Kazakhstan.

This paper is described on the transport procedure and transport results of the irradiated beryllium from Japan Atomic Energy Agency (JAEA) to IAE, NNC-RK under the ISTC project.

Keywords: Beryllium Recycling, ISTC Project, JMTR

This report is based on the results of “Overseas Transport of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation” entrusted to Marubeni Utility Services, Ltd. by Japan Atomic Energy Agency (JAEA).

*1 Marubeni Utility Services, Ltd.

*2 Institute of Atomic Energy (IAE),

National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan (NNC-RK)

目 次

1. はじめに	1
2. 輸送する照射済ベリリウムプラグの概要	1
3. 輸送方法の検討	2
3.1 輸送ルート	2
3.2 輸送容器	3
3.3 収納限度 (A ₂ 値) の評価	3
3.4 輸送容器の線量評価及び輸送指数の評価	3
4. ホットセル内作業の検討	4
5. 照射済ベリリウム試料の梱包	5
5.1 梱包方法	5
5.2 梱包結果	6
5.3 搬出	6
6. おわりに	7
謝 辞	7
参考文献	8
付 録	13
A.1 外国への航空輸送に係る国交省・文科省への説明資料	13
A.2 国立原子力センター原子力研究所向け試験結果 (英語版)	23
A.3 IAE-NNC からの照射済ベリリウム試料の受領書	39

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of Irradiated Beryllium Plug for Transport.....	1
3. Consideration of Transport Procedure	2
3.1 Transportation Root	2
3.2 Packages for Transportation.....	3
3.3 Evaluation of A_2 Values	3
3.4 Evaluation of Radiation Dose and Transport Index of Package.....	3
4. Consideration of Operation in Hot Cell.....	4
5. Packing of Irradiated Beryllium Samples	5
5.1 Packing Procedure	5
5.2 Packing Results.....	6
5.3 Carrier.....	6
6. Summary	7
Acknowledgment	7
References	8
Appendices.....	13
A.1 Documents on Air Transport for MLIT and MIXT, Japan	13
A.2 Specification of Beryllium Samples and Packaging in Containers	23
A.3 Receiving Documents of Beryllium Samples from IAE-NNC	39

1. はじめに

ベリリウムは、中性子捕獲断面積が非常に小さく、散乱断面積が大きいいため、試験研究炉の中性子反射体及び減速材として重要な役割を担っている⁽¹⁾。このベリリウムは、

- 炉内での中性子との核反応により材料中に有害なトリチウムガスを生成すること、
- 核兵器の必須構成材料であるために国際規制物質であること、
- 人体への影響を考慮した特定化学物質に指定されていること、

などにより、世界中のほとんどの試験研究炉を有する国において廃棄処理が難しく、主に原子炉施設内で保管されているのが現状である。日本においては、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）が所有する材料試験炉(JMTR)で使用されたベリリウム製中性子反射体が、JMTRのカナル内に約2トン保管されている。

一方、米国では中性子照射されたベリリウムを砂漠に埋蔵処分していた例があるが、現在、その放射化したベリリウムから長半減期核種である¹⁴Cが地下水に混入し、汚染しているという環境問題が生じ、米国内で大きな問題になっている⁽²⁾。

また、ベリリウムの資源量は約80万トンで、年間生産量も数百トンと少なく、単価が高い材料である。日本にはベリリウムの資源はなく、ベリリウムの調達は米国と中国からの輸入に依存している⁽³⁾。

このような背景から、中性子照射されたベリリウムを処理して再利用することは、資源の有効利用、核不拡散体制の強化などのために行うべき課題である。そこで、現在実施されているJMTRの改修の一環として、照射済ベリリウムの処理処分方法の検討を開始した。特に、平成20年度から、処理処分方法の一つである照射済ベリリウムリサイクル⁽⁴⁾に関する実証試験を国際科学技術センター(ISTC)のプロジェクトがカザフスタン共和国の国立原子力センター原子力研究所(NNC-IAE)で開始されている。この照射済ベリリウムリサイクル技術は、ベリリウム中に存在する放射性不純物をほとんど除去することができ、リサイクルしたベリリウムの再利用するための実証試験である。

本報告書は、国際協力ISTCプロジェクトに基づき、研究用照射済ベリリウム試料を原子力機構からカザフスタン共和国のNNC-IAEに外国輸送するための輸送方法の検討を行うとともに、その検討結果に基づき、実際の照射済ベリリウム試料を輸送するために実施した試験結果をまとめたものである。

2. 輸送する照射済ベリリウムプラグの概要

JMTR炉心の配置図とその写真⁽⁵⁾をFig.1に示す。JMTRの炉心中央に制御棒が十字に、その周りに燃料要素が配置されている。中性子反射体要素として、燃料要素の周辺にベリリウム棒とベ

リリウム反射体要素が、その外側にアルミニウム反射体要素が配置されている。今回輸送を予定しているベリリウムプラグは、ベリリウム枠中にある照射孔へキャプセルを挿入しない場合の反射体用として装荷されていたものである。

ベリリウムプラグの写真を Fig. 2 に示す。ベリリウムプラグの大きさは、直径 30mm で長さが 820mm、アルミニウム製のプラグアダプタ部とベリリウム部で構成されている。このベリリウムプラグの照射履歴は、第 1 世代（照射期間：1968～1975 年、積算出力：24017.4MWD）に装荷されたベリリウム枠の内、東側ベリリウム枠の N-12 照射孔で、平均熱中性子束が $8.0 \times 10^{17} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、平均高速中性子束 ($E > 1\text{MeV}$) が $7.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ で照射されたものである。

この照射履歴から、ベリリウムプラグの放射化量を計算した結果を Table 1 に示す。この結果、このベリリウムプラグ中に生成している核種は、ベリリウムと中性子の核反応から生成するトリチウム (^3H) と ^{10}Be 、ベリリウム中の不純物から生成する ^{60}Co 、 $^{108\text{m}}\text{Ag}$ などの核種が生成していた。

3. 輸送方法の検討

日本からカザフスタン共和国への輸送に関して、(1) 輸送ルートの調査、(2) 輸送容器の選定、(3) 核燃料物質等の区分と収納限度 (A_2 値) の評価、(4) 輸送容器の線量評価及び輸送指数の評価、(5) ホットセル内の作業検討の 5 項目の検討を行った。

3.1 輸送ルート

ユーラシア大陸のほぼ中央にあるカザフスタン共和国 (Fig. 3 参照) への輸送ルートを決定するために輸送手段⁽⁶⁾を調べた結果、「海上輸送と陸上(トラックもしくは鉄道)輸送」と「航空輸送」の 2 つの方法があった。

まず、これまでに非管理区域で使用していた実験装置をカザフスタン共和国に輸送した経験のある中国経由での「海上輸送と陸上(トラック)輸送」について検討した。この結果、今回輸送する放射化ベリリウムは放射性物質であるため、海上輸送では、中国側への専用船航路及び受入れ港湾施設がないこと、内陸部へのトラック輸送に不確定要素が多いこと中国の許認可の手続きが不明確であることなどから、輸送許可が得られるまでに非常に時間と費用がかかることが分かった。

次に、シベリア鉄道を利用するロシア経由の場合について検討した。この場合も中国経由と同様に、海上輸送ではロシア側への専用船航路及び受入れ港湾施設がないこと、ロシアにおける鉄道貨車の配転システムが整備不足であることなどから、目的地に到着までの不確定要素が多いことが分かった。

このため、放射性物質の海外からの輸送に実績のある航空輸送について調べた結果、カザフスタン共和国への直行便はないものの、途中の経由地を経てカザフスタン共和国までの貨物空路

があった。今回のベリリウムプラグの輸送検討は、航空輸送に絞り、IAEA 安全基準の適用に関する規定⁽⁷⁾、航空機による放射性物質の輸送に関する航空法及び関係法規⁽⁸⁾に準拠して行った。なお、日本国内の道路輸送は、国内法⁽⁹⁾の要件を満たすための検討を行った。

3.2 輸送容器

航空機による放射性物質の輸送は年間約 250,000 個の放射性物質輸送量⁽¹⁰⁾のうち、A 型輸送物が 90%以上であり、輸送の実績も多い。このため、今回のベリリウムプラグの輸送も、Table 1 に示した放射化量から A 型輸送物として輸送することを前提に検討を開始した。A 型輸送物の基準を満足する輸送容器⁽⁶⁾を新規に製作するのは、設計・製作・検査のための時間と費用が必要となるため、放射性物質の海外への輸送に実績のある標準の A 型輸送容器に着目した。技術基準を満たし、使用実績のある標準タイプの輸送容器の概略図を Fig. 4 に示す。この輸送容器の構造から、ベリリウムプラグを 10 個に切断し、輸送物にすることで輸送が可能である見通しが得られた。

3.3 収納限度 (A_2 値) の評価

今回輸送を予定しているベリリウムプラグは、JMTR の炉内構造物と見做されるため、放射性同位元素ではなく、核燃料物質等として日本の法律上は区分される。このため、「核燃料物質等の輸送」に準拠して検討を行った。

収納限度 A_1 、 A_2 とは、A 型輸送物として輸送し得る収納放射性物質の放射能限度を示す数値であり、各々の核種に対して決められている。この値は、各々の核種の外部被ばく、内部被ばくにより人体に影響を与える限界値に対して十分余裕を持って決められた値である。今回のベリリウムプラグの性状は、特別形放射性物質以外(非密封)の核燃料物質等として輸送することにして、各々の核種における A_2 値について評価した。なお、 A_2 値の評価にあたっては、Table 1 に示す放射エネルギーからベリリウムプラグを 10 個に切断した時の 1 個あたりの平均放射エネルギーにより行った。その評価結果を Table 2 に示す。この結果、全 A_2 値は 0.6×10^{-3} と 1 以下であり、A 型輸送物として問題なく輸送できることが分かった。

以上の評価結果により、国内輸送では、「特別形放射性物質以外の核燃料物質等」で輸送し、航空輸送では、航空法の準拠により、「A 型輸送物、非特別形、非核分裂性物質または適用除外核物質性物質」なので、国連番号「UN2915」として、航空会社に対して危険物申請することが必要であることが分かった。

3.4 輸送容器の線量評価及び輸送指数の評価

ベリリウムプラグを装荷した輸送容器(以下、輸送物という)の放射線線量率を評価し、A 型輸送物の基準を満足するかについて調べた。

法律による A 型輸送物の基準値は、放射線量当量率が、(1)表面で 2mSv/h、(2)表面から 1m で 0.1mSv/h である。このため、Table 2 に示す放射エネルギーを含む放射エネルギーを含むベリリウムを装荷したときの輸送容器の外側の線量当量率を計算した。その結果を Fig. 5 に示す。ベリリウムプ

ラグ表面部での線量は、生成核種の放射エネルギーに対して遮蔽計算コード(γ -Shielder)により求めた値である。この結果、輸送容器の表面で最大 $80\mu\text{Sv/h}$ 、表面から 1m で $1.6\mu\text{Sv/h}$ から、輸送容器に取付ける輸送物の標識は第 II 類-黄色となる。

4. ホットセル内作業の検討

ベリリウムプラグを A 型輸送物として航空輸送が可能である見通しを得たため、ホットセル内での全体作業工程を策定し、その技術課題を抽出した。

ホットセル内の作業計画を Fig. 6 に示す。JMTR カナルに保管されているベリリウムプラグは、ホットセル内に搬入後、アルミニウム製のプラグアダプタを取外す。この後、これまで検討したようにベリリウムプラグを 10 個に切断する。切断後、ホットセル内で密封容器に封入し、この密封容器を遮へい容器に装荷し、外箱からなる専用の輸送容器に収納する。収納後、輸送容器表面の表面線量率測定し基準値以下であることを確認する。

この作業計画の策定により、ホットセル内に設置している既存の切断装置ではベリリウムプラグの切断が困難であることから、専用の切断装置の開発が必要であることが分かった。このため、遠隔で切断操作が容易なこと、切断時にベリリウム粉末が飛散しないことを開発目標として、切断装置の概念設計を行った。切断装置の概念図を Fig. 7 に示す。直径約 120mm のダイヤモンドカッターを用い、試料固定部で $\phi 36\text{mm}$ までの試料を固定し、切断できるようにした。また、試料を固定し、錘の位置の微調整で試料の自重により切断する方式とした。本切断装置には切断時の粉末を回収するための吸引装置も設置し、切断時に生じる粉塵をほとんど回収し、セル内の汚染を防止する構造とした。

また、密封容器に切断したベリリウムプラグを封入するが、この容器は遠隔での密封及び開封操作が容易であること、シール性が保持されることが必要である。このため、その密封容器の概念設計を行った。密封方式の比較を Table 3 に示す。これまで、JMTR ホットラボの照射後試験技術として、照射用燃料ピンや再照射キャプセル製作でホットセル内での遠隔操作型 TIG 溶接技術⁽¹¹⁾があった。しかしながら、大型の装置をホットセル内に設置するため、装置の設置前後にセル内を除染する必要があること、密封操作も複雑になることなどから、金属 O リングを用いる方法を調査し、概念設計を行った。その結果、マンプレータにより六角レンチで締め付けることにより容易に密封出来ること、接合部の放射線影響は金属製の O リングを使用したことにより、He リーク試験でも溶接構造と遜色ないことなどの利点があり、セル内作業を迅速かつ容易になることが分かったため、この密封方式を採用した。密封容器の概念図を Fig. 8 に示す。

以上のホットセル内の作業検討及び機器の概念検討により、ベリリウムプラグの輸送容器への梱包作業ができる見通しを得た。

5. 照射済ベリリウム試料の梱包

第3章で行った検討結果により、カザフスタン共和国の国立原子力センター原子力研究所に海外輸送するためのホットセル内作業は、JMTR ホットラボのホットセルを用いて行うものとし、切断装置、輸送容器及びそれらの備品については、受託研究の相手方である丸紅ユーティティ・サービス(株)にて製作し、原子力機構に支給された。一方、海外への航空輸送にあたっては添付資料1に示す書類を作成し、A型輸送物ではあるが、国土交通省及び文部科学省に事前説明を行うとともに、ベリリウムが規制物質であるため、経済産業省への輸出許可申請を行った。また、受託研究の相手方が策定する輸送実施計画書及び原子力機構内規定に基づいて、輸送の準備を行った。

5.1 梱包方法

JMTR ホットセル内で実施する梱包にあたっては、まず照射後試験要領を策定する必要がある。このため、第3章の検討結果により、作業内容の策定を行った。

まず、概略工程としては、JMTR カナルに保管されているベリリウムプラグは、ホットセル内に搬入後、アルミニウム製プラグアダプタを除去した後、ベリリウムプラグを10個に切断する。切断後、ホットセル内で密封容器に封入し、この密封容器を遮蔽容器に装荷し、外箱からなる専用の輸送容器に収納する。収納後、輸送容器表面の表面線量率測定し基準値以下であることを確認することである。

以下に各工程の実施内容を記載する。

(1) ベリリウムプラグの移動

ベリリウムプラグをカナルから JMTR ホットラボへ移動する。

(2) ベリリウムプラグの表面汚染密度測定

ベリリウムプラグをホットセル内に移動したのち、ベリリウムプラグの表面汚染を確認する。

(3) ベリリウムプラグの切断

ベリリウムプラグをホットセル内に移動したのち、以下の手順で切断する。

(a) アルミニウム製プラグアダプタを除去するために、アルミニウム製プラグアダプタからベリリウム製プラグ側に約3mmの部分切断する。

(b) 切断箇所の要領に基づいて、ベリリウム製プラグを10個に切断する。

(4) 寸法及び重量測定

切断したベリリウム製プラグについて、マジックにて番号を記載するとともに、各々の試料の寸法及び重量測定を行う。寸法測定については0.1mm、重量測定については0.1gの単位で測定する。

(5) 外観写真撮影

切断したベリリウムプラグについて、写真撮影を行う。

(6) 密封容器への封入

切断した各々の試料を密封容器に封入する。本作業で密封容器表面を出来るだけ汚染させない対策を講じる。

(7) 遮蔽容器への梱包

各々のベリリウム試料を装荷した密封容器を遮蔽容器に梱包し、外箱からなる専用の輸送容器に収納する。

(8) 表面線量率測定

輸送容器表面の表面線量率測定し、基準値以下であることを確認するとともに、その結果をまとめる。

(9) 搬出

受託研究先が契約した輸送業者にて、輸送物を搬出する。搬出する際は、放射線管理課による測定も行う。なお、輸送に際しては、策定した輸送計画書及び輸送実施計画書に基づいて実施するものとする。

5.2 梱包結果

照射後試験結果の概要は、国立原子力センター原子力研究所に提出する関係から、添付 A. 2 に示す英語版の検査結果を作成した。報告書の内容は、以下の通りである。

- (1) ベリリウムプラグの形状、化学的特性及び写真
- (2) ベリリウムプラグの照射履歴
- (3) ベリリウムプラグの照射条件
- (4) 梱包方法及び線量評価結果
- (5) 照射済ベリリウム試料のホットセル内試験フロー、切断箇所及び放射性物質の評価
- (6) 切断後の照射済ベリリウム試料の寸法・重量測定結果
- (7) 梱包及びその結果

5.3 搬出

搬出は、輸送容器 10 個を 14.5 トントラックに積載し、JMTR ホットラボから成田空港に向けて運搬した。なお、輸送容器の積み込む作業の様子を Table 4 に示す。

6. おわりに

国際協力 ISTC プロジェクトに基づき、研究用照射済ベリリウム試料を原子力機構からカザフスタン共和国の NNC-IAE に外国輸送するための輸送方法の検討の結果、カザフスタン共和国への輸送が技術的に可能である見通しを得るとともに、諸手続の上、航空機による外国輸送を行い、平成 22 年 6 月 22 日に無事に完了した。

謝 辞

本受託研究の実施にあたり、大洗研究開発センター 河村弘副所長（照射試験炉センター長兼務）、原子炉施設管理部 新見素二部長及び中川哲也次長に有意義なご指導及びご助言を頂きました。また、文部科学省、国土交通省及びへの当該外国輸送の説明にあたっては、核不拡散センター核物質管理室 田所昇室長代理及び高柳栄之氏に、経済産業省への輸出許可申請にあたっては、国際部国際交流課 高津戸哲也課長に多大なご指導及びご協力を頂きました。さらに、照射済ベリリウムの輸送準備にあたっては、原子炉施設管理部原子炉更新課及びホットラボ管理課諸氏には多大なご協力を頂きましたことを深く感謝いたします。

参考文献

- (1) Edited by C.R.Tipton, Reactor handbook - Second edition in four volumes - , Interscience Publishers, Inc., New York, (1960) p.897.
- (2) DOE, Fast Action Needed On Buried Beryllium At INEEL, The Energy Daily, Mar. 18, 2004.
- (3) 例えば、金属鈹業事業団編、希少金属データブック(改訂版)―ベリリウム(Be)―、(2000)、核融合会議開発戦略検討分科会編、核融合エネルギーの技術的実現性―計画の拡がりと裾野としての基礎研究に関する報告書―、平成12年5月17日。
- (4) H. Kawamura, K. Tatenuma, Y. Hasegawa, N. Sakamoto, Reprocessing technology development for irradiated beryllium, Proc. 2nd IEA International Workshop on Beryllium Technology for Fusion, Sept. 6-8 (1995), Jackson Lake Lodge, Wyoming USA, P. 261.
- (5) 例えば、日本原子力研究開発機構 大洗研究開発センター JMTR パンフレット。
- (6) 青木成文、放射性物質輸送のすべて(第2版)、日刊工業新聞社。
- (7) IAEA 安全基準の適用 TranSAS-7、IAEA 安全基準の適用に関する規定 ―放射性物質安全輸送に関する対日評価(仮訳)―、IAEA Safety Standards Applications-TranSAS-7, Provision for the Application of the IAEA Safety Standards - Appraisal for Japan of the Safety of the Transport of Radioactive Material.
- (8) 例えば、航空法、航空法施行規則、航空機による放射性物質等の輸送基準を定める告示。
- (9) 例えば、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、放射性同位元素等車両運搬規則、など。
- (10) 国土交通省、放射性物質(RI)等の輸送に係る規制、原子力委員会原子力防護専門部会(第9回)資料、平成19年11月26日、
(<http://www.aec.go.jp/jicst/NC/senmon/bougo/siryu/bougo09/bougo-si09.htm>)。
- (11) 清水道雄, 岩松重美, 高田文樹, 相沢静男, 他, JMTR ホットラボにおける遠隔操作による溶接技術の開発, JAERI-Tech 2000-029, (2000)。

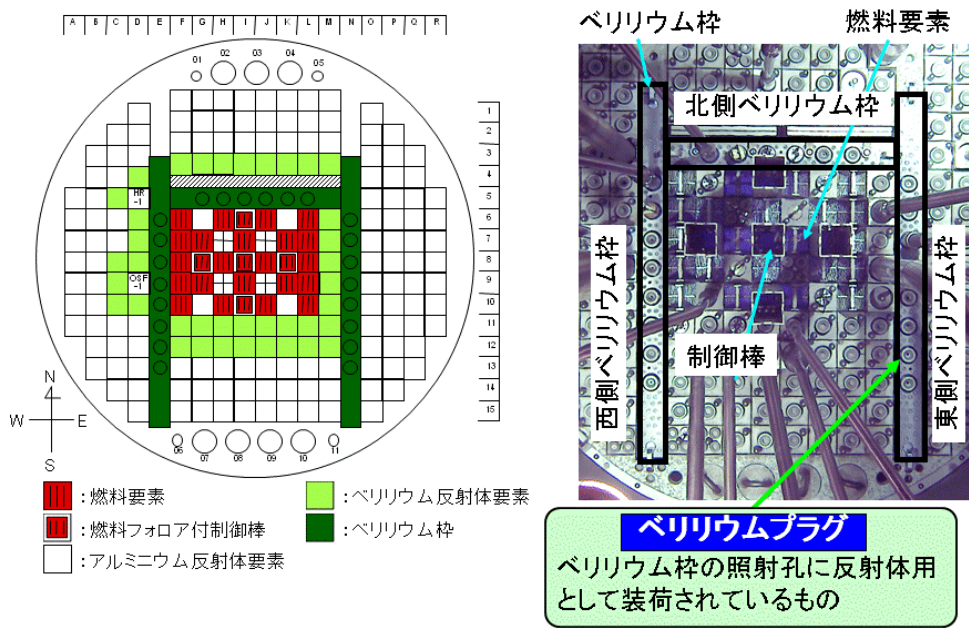


Fig. 1 JMTR 炉心の配置図と JMTR 炉心部の写真

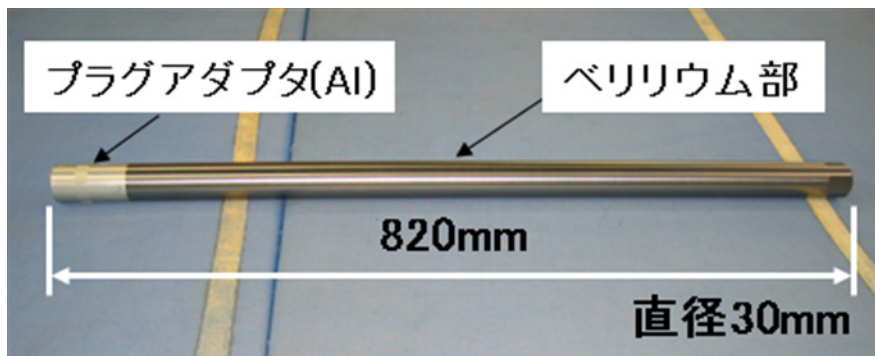


Fig. 2 ベリリウムプラグの外観写真

Table 1 ベリリウムプラグの放射化量

Radioactive	Nuclear Reaction	Activity (Bq)	Calculation code
^3H (Tritium)	$^9\text{Be}(n, \alpha)^6\text{Li}(n, \alpha)$	2.5×10^{11}	HEINBE code
^{10}Be	$^9\text{Be}(n, \gamma)$	2.9×10^7	RASC code
^{55}Fe	$^{54}\text{Fe}(n, \gamma)$	4.5×10^6	
^{59}Ni	$^{58}\text{Ni}(n, \gamma)$	3.7×10^6	
^{60}Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)$	2.7×10^8	
^{103m}Ag	$^{107}\text{Ag}(n, \gamma)$	2.4×10^7	

(2009年7月1日現在)

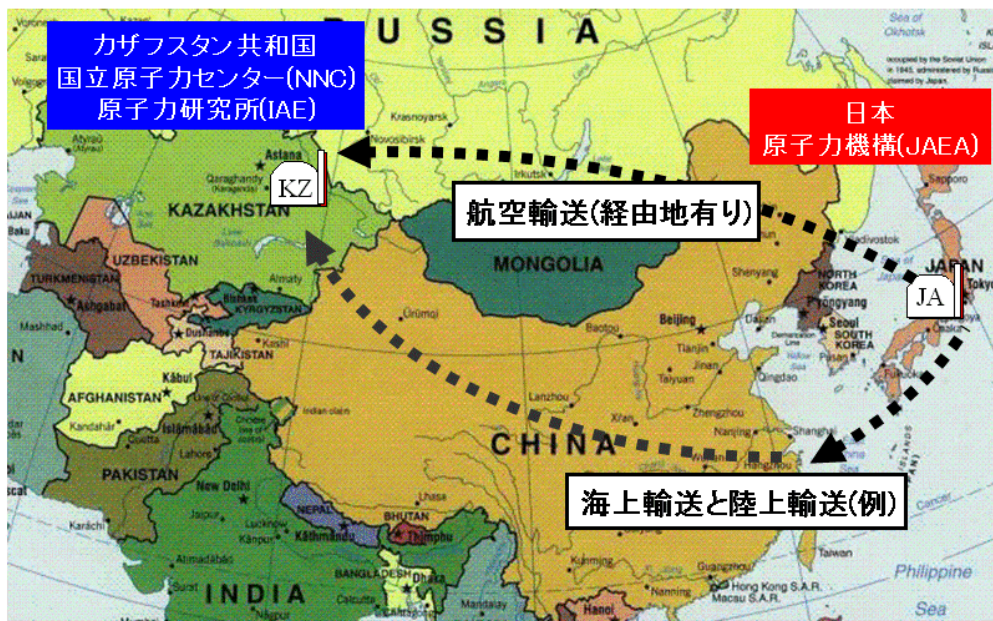


Fig. 3 ベリリウムプラグの輸送ルート

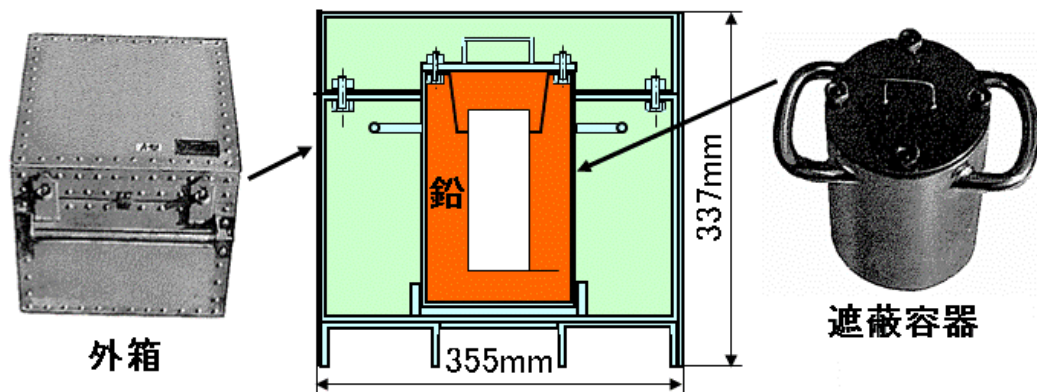


Fig. 4 標準の A 型輸送容器の概略

Table 2 1個あたりの平均放射エネルギー及びそのA₂値の評価結果

核種	A ₂ 値(Bq)	放射エネルギー(Bq/個)	評価値
³ H(トリチウム)	40T(4.0 × 10 ¹³)	2.5 × 10 ¹⁰	0.6 × 10 ⁻³
¹⁰ Be	0.6T(6.0 × 10 ¹¹)	2.9 × 10 ⁶	0.5 × 10 ⁻⁵
⁵⁵ Fe	40T(4.0 × 10 ¹³)	4.5 × 10 ⁵	1.1 × 10 ⁻⁸
⁵⁹ Ni	制限なし	3.7 × 10 ⁵	—
⁶⁰ Co	0.4T(4.0 × 10 ¹¹)	2.7 × 10 ⁷	6.8 × 10 ⁻⁵
^{108m} Ag	0.7T(7.0 × 10 ¹¹)	2.4 × 10 ⁶	3.4 × 10 ⁻⁶
全A ₂ 値			0.6 × 10 ⁻³

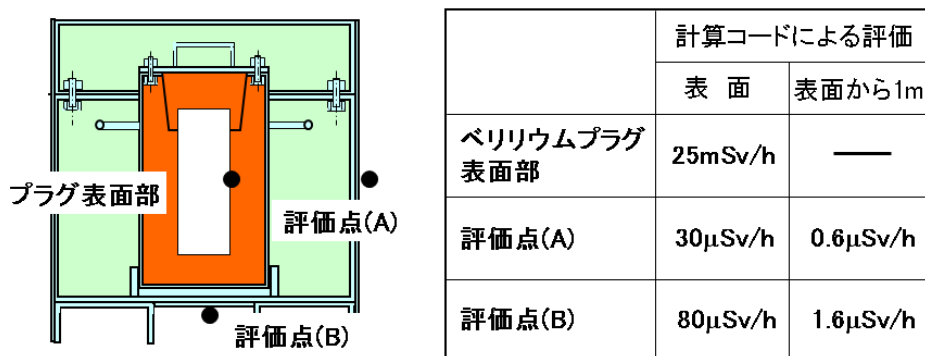


Fig. 5 輸送容器の線量当量率の評価点及び評価結果

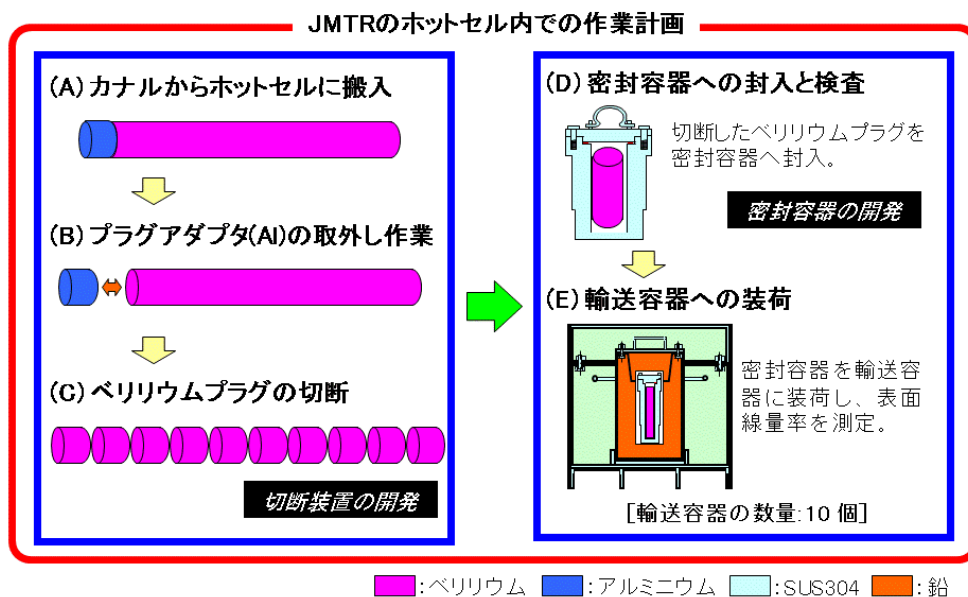


Fig. 6 JMTR ホットセル内の作業計画

Table 3 密封方式による容器の性能比較

項目	密封方式	TIG溶接	金属リング (SUS中空)
セル内の除染		必要	不要
準備装置		溶接機、真空チャンバー等	固定ジグ
密封操作		複雑	容易
Heリーク量		$<1 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$	$<1 \times 10^{-7} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$
密封操作(相手側)		困難	容易

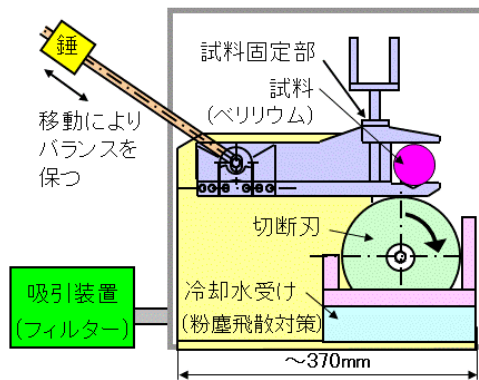


Fig. 7 切断装置の概念図

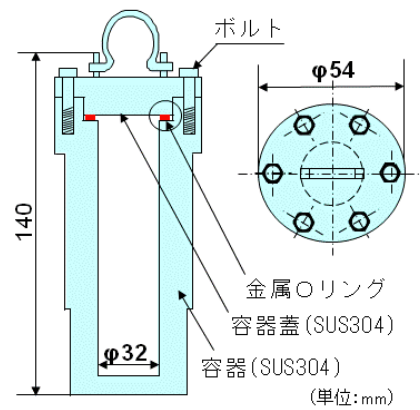


Fig. 8 密封容器の概念図

Table 4 トラックへの積み込み作業 (国内輸送)

輸送物の車両積み込み状況	輸送物の固縛状態

付 録

A.1 外国への航空輸送に係る国交省・文科省への説明資料

国土交通省 航空局 殿

「研究用照射済ベリリウム試料の航空輸送」
打合せ資料

資料1：ISTC K-1566 プロジェクトの概要
資料2：航空輸送によらなければならない合理的理由
資料3：国際科学技術センター（ISTC）プロジェクトによる
研究用照射済ベリリウム試料の輸送計画概要

平成21年10月19日

(独)日本原子力研究開発機構

This is a blank page.

平成 21 年 10 月 13 日

日本原子力研究開発機構

ISTC K-1566 プロジェクトの概要

1. 国際科学技術センター (ISTC) の概要

旧ソ連の核兵器を中心とした大量破壊兵器の解体廃棄に伴い、これまで大量破壊兵器の開発に取り組んできた多くの科学者・技術者の国外流出を防止し、これらの人材に平和目的の研究開発の機会を提供するために発足した組織である。

1992 年に日本、米国、欧州委員会 (EU) 及びロシアの 4 者により国際協定が交わされ、1994 年に ISTC がモスクワに設立され活動を開始した。2003 年には支援側の加盟国は日本、米国、EU、ノルウェー、韓国、非支援国はロシア、アルメニア、ベラルーシ、グルジア、カザフスタン、キルギスタンとなっている。資金は、米国、EU、日本、韓国、ノルウェーの政府及び民間企業等が提供し、実際の研究は、ロシアをはじめ旧ソ連地域の 6 カ国 (CIS 諸国、ロシア、アルメニア、ベラルーシ、グルジア、カザフスタン、キルギスタン) の研究所、企業で実施されている。プロジェクトの対象分野は、基礎研究、核融合、エネルギー、原子力安全、医学、電気工学、材料、宇宙・航空等広範な範囲にわたっている。これまでに各国政府・民間企業等が支援したプロジェクトは総計 2,578 件、約 7 億 8 千 5 百万ドルである。うち、日本政府の支援表明は 217 件、約 6,100 万ドルとなっている (2007 年 12 月現在)。

2. ISTC K-1566 プロジェクトの概要

国際科学技術センター (ISTC) のプロジェクトの枠組みで ISTC と国立原子力センター (NNC-RK) との間に ISTC K-1566 プロジェクト (照射済ベリリウムのリサイクル技術) が、平成 20 年 10 月に締結された。平成 20 年 10 月から 2 年間実施される本プロジェクトは、日本政府が研究協力に係る資金を ISTC 経由 NNC-RK に提供しているものである。日本原子力研究開発機構 (JAEA) はコラボレーターとして本プロジェクトの支援・協力をを行うとともに、本研究期間に中性子照射された研究用照射済ベリリウム試料を NNC-RK の傘下である原子力研究所 (IAE) に提供することになっている (K-1566 WORK PLAN に明記)。

3. ISTC K-1566 プロジェクトの目的

ベリリウムは、中性子捕獲断面積が非常に小さく、散乱断面積が大きいので、試験研究炉の中性子反射体及び減速材として重要な役割を担っている。このベリリウムは、世界中のほとんどの試験研究炉を有する国において、主に原子炉施設内で保管されているのが現状である。日本においても、日本原子力研究開発機構が所有する試験研究炉で照射済ベリリウムは、現在総計約 2～3 トン規模になっている。

一方、米国では中性子照射された照射済ベリリウムを砂漠に埋蔵処分していた例があるが、現在、そのベリリウムから長半減期である ^{14}C が地下水に混入し、汚染しているという環境問題が生じ、米国内で大きな問題になっている。このような背景から、中性子照射された照射済ベリリウムを処理して再利用することは、資源の有効利用、核不拡散体制の強化などのために行うべき課題であるが、この照射済ベリリウムの再利用に関するプレ工学規模 (1 回の操作で照射済ベリリウムが 10kg 処理できる規模) での実証は行われていないのが現状である。

本プロジェクトでは、中性子で照射された照射済ベリリウムの再利用 (リサイクル) を念

頭においた処理方法の技術的確立を行うとともに、実際に日本の試験研究炉で中性子照射した研究用照射済ベリリウム試料をカザフスタン共和国に輸出し、その材料を用いたリサイクルのプレ工学規模実証試験を行うことを目的とする。

1年目は、ベリリウムのリサイクルに関する炉外試験、実証試験用試験装置（処理量：10kg/1回処理）の設計及び日本からの研究用照射済ベリリウム試料の輸送方法の検討を行う。2年目は、研究用照射済ベリリウム試料の輸送、実証試験用試験装置の製作とホットセル内設置、照射済ベリリウム試料を用いた実証試験を行う。

4. 機器を提供する相手方

- a. 名称 : National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNG-RK)
- b. 所在地 : Lenin St., 6 Kurchatov, Kazakhstan
- c. 設立年月日 : 1992年5月15日
- d. 事業概要 : 1992年に大統領令により設立された研究機関。6つの研究機関から構成され、これらの機関がそれぞれ核物理分野、原子炉工学、放射線環境科学、放射性物質科学、核不拡散に関連した地球物理学などの研究活動を実施。

5. 最終需要者（使用者）

- a. 名称 : Institute of Atomic Energy (IAE), National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan (NNG-RK)
- b. 所在地 : 071100 Kurchatov, Krasnoarmeiskaya st., 10 Kazakhstan
- c. 事業概要 : NNG-RKを構成する研究機関のひとつ。主に原子炉工学の分野に従事する。

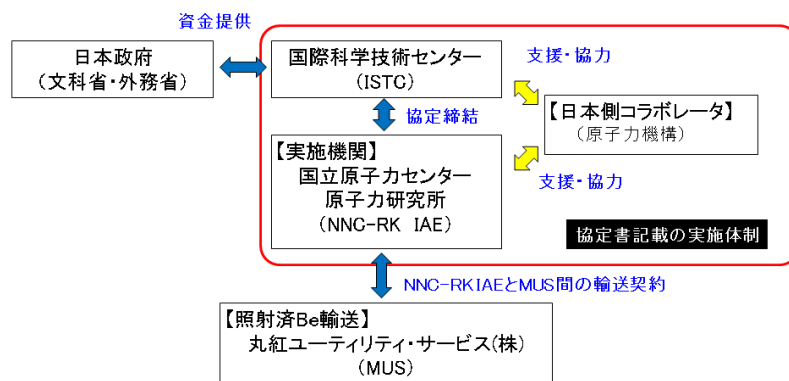
6. 提供貨物の用途（最終使用目的）

提供貨物である研究用照射済ベリリウム試料は、JAEAがコラボレーターとして携っているISTG K-1566プロジェクトで基礎科学研究、即ち試験物質の基礎物性を測定するのに用いられる（契約書のwork planに明記）。

7. 貨物の提供時期

平成21年11月下旬～12月上旬

8. プロジェクト（契約）スキーム図



平成 21 年 10 月 13 日

日本原子力研究開発機構

航空輸送によらなければならない合理的理由

本プロジェクトは、日本政府が研究協力に係る資金を ISTC 経由にてカザフスタン共和国の国立原子力センター(NNC-RK)に提供し、日本原子力研究開発機構(JAEA)がコラボレーターとして研究活動の支援・協力を行っている国際協力である。本プロジェクトの研究期間は、平成 20 年 10 月～平成 22 年 9 月の 2 年間である。本プロジェクトを進める上で日本から研究用照射済ベリリウム試料を NNC-RK の傘下である原子力研究所(IAE)に提供することになっている。

日本からカザフスタン共和国への輸送に関して、(1)輸送ルートの調査、(2)輸送容器の選定、(3)核燃料物質等の区分と収納限度(A₂値)の評価、(4)輸送容器の線量評価及び輸送指数の評価、(5)ホットセル内の作業の 5 項目について検討を行った。

特に、(1)輸送ルートの調査に関して、ユーラシア大陸のほぼ中央にあるカザフスタン共和国への輸送ルートを決断するために輸送手段を調査し、「海上輸送と陸上輸送(トラックもしくは鉄道)」と「航空輸送と陸上輸送(トラックもしくは鉄道)」の 2 つの方法(図 1 参照)について検討を行った。

- 1) まず、「中国経由での海上輸送と陸上輸送(トラック)」及び「ロシア経由での海上輸送と陸上輸送(シベリア鉄道)」について調査した結果、中国及びロシア両国とも放射性物質の専用船航路及び受入れ港湾施設がなく、物理的に放射性物質である研究用照射済ベリリウム試料の海上輸送が困難であることが分かった。

また、両国とも、国内法上、放射性物質の陸上輸送による国内通過は認められておらず、法律的に放射性物質である研究用照射済ベリリウム試料の両国経由の陸上輸送が不可能であることが判明した。

- 2) 次に、放射性物質の海外からの輸送に実績のある航空輸送について調査した結果、カザフスタン共和国への直行便はないものの、途中の経由地(フランクフルト空港)を経てカザフスタン共和国までの貨物空路が存在することから、物理的に同国への航空輸送が可能であることが分かった。

また、同国及び経由地であるドイツ両国とも IAEA 放射性物質安全輸送規則(ICA0)、航空法、航空機による放射性物質等の輸送基準を定める告示等その他関係法規に準拠することにより、放射性物質の航空輸送が認められることから、法律的にも放射性物質である研究用照射済ベリリウム試料の航空輸送が可能であることが分かった。

以上の検討結果から、日本からカザフスタン共和国への本件輸送については、航空輸送によらざるを得ないものと考えられる。

以上



図1 輸送ルートの調査結果

平成 21 年 10 月 13 日
日本原子力研究開発機構

国際科学技術センター（ISTC）プロジェクトによる 研究用照射済ベリリウム試料の輸送計画概要

1. 目的

平成 20 年 10 月に国際科学技術センター（ISTC）の国際協力プロジェクトの枠組みで、ISTC とカザフスタン共和国の国立原子力センター（NNC-RK）との間に ISTC K-1566 プロジェクトが締結され、2 年間にわたり本プロジェクトを実施することになった。本プロジェクトは、日本政府（文科省・外務省）がファイナンスパートナーとして研究協力に係る資金を ISTC 経由 NNC-RK に提供しているものである。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。）はコラボレーターとして、本プロジェクトの協力・支援をするとともに、その協力の一環として研究に必要な中性子照射された研究用照射済ベリリウム試料を NNC-RK の傘下である原子力研究所（IAE）に提供することになっている。

このため、本年度、原子力機構・大洗研究開発センターから、以下の研究用照射済ベリリウム試料を NNC-RK IAE に輸出する。

2. 輸送対象物、輸送方法

- 1) 名 称：研究用照射済ベリリウム試料（別図-1 参照）
- 2) 数 量：10 個（A 型輸送容器 1 個当たりの A2 値評価は、別図-2 参照）。
- 3) 収納方法：A 型輸送容器に収納（10 個）。なお、収納方法は、別図-3 参照。
- 4) 積載・輸送方法：
 - ① 陸上輸送：トラック等の車両上に積載し、固縛治具により固縛の後、同車両にて輸送する。
 - ② 航空輸送：A 型輸送容器専用の外装箱に収納した後、エアカーゴ内に収納航空機により航空輸送する。

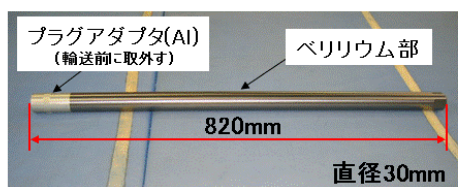
3. 需要国、輸送予定、頻度

需要先：カザフスタン共和国 平成 21 年 11 月下旬～12 月上旬 1 回の輸送を実施

別図-1 研究用照射済ベリリウム試料の概要

(1) 照射済ベリリウムプラグの形状

照射済ベリリウムプラグ(原子炉構造材)の写真



(2) 照射済ベリリウムプラグの照射履歴

- ・照射期間
: 1968～1975 年
(照射後、JMTRカナル内で保管)
- ・積算出力
: 24,017.4MWD
- ・平均熱中性子束
: $\sim 8.0 \times 10^{17} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (50MW時)
- ・平均高速中性子束
: $\sim 7.5 \times 10^{16} \text{ m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ (50MW時)

(3) 照射済ベリリウムプラグの放射エネルギー

(平成21年7月1日現在)

核種	主な生成反応	放射エネルギー (Bq)	使用計算コード
^3H (トリチウム)	$^9\text{Be}(n, \alpha)^6\text{Li}(n, \alpha)$	2.5×10^{11}	HEINBEコード
^{10}Be	$^9\text{Be}(n, \gamma)$	2.9×10^7	RASCコード
^{55}Fe	$^{54}\text{Fe}(n, \gamma)$	4.5×10^6	
^{59}Ni	$^{58}\text{Ni}(n, \gamma)$	3.7×10^6	
^{60}Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)$	2.7×10^8	
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	$^{107}\text{Ag}(n, \gamma)$	2.4×10^7	

別図-2 A型輸送容器1個当たりのA2値評価

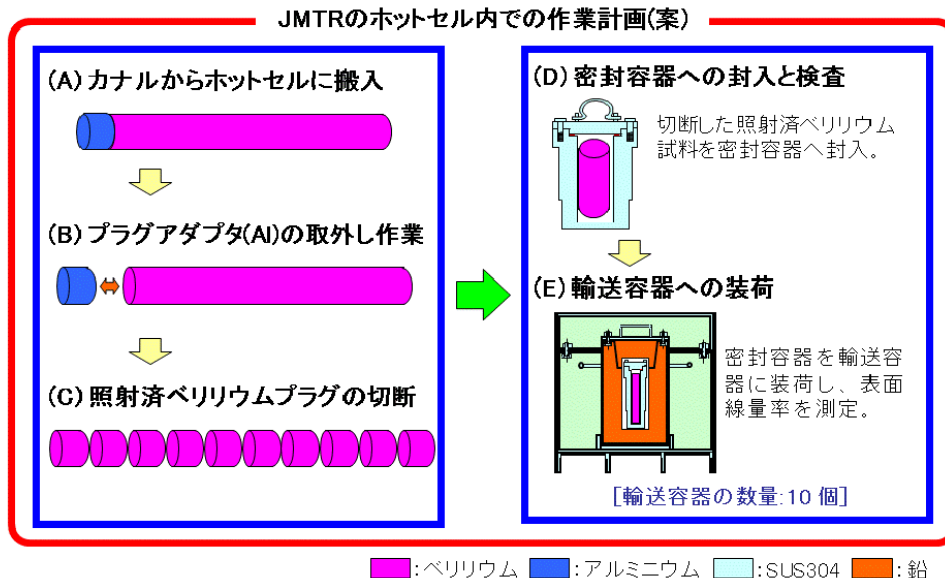
【輸送条件】

照射済ベリリウムプラグを10個に切断し、標準A型輸送容器に梱包して輸送する。

核種	A ₂ 値 (Bq)	1個当たりの放射エネルギー (Bq/個)	評価値
^3H (トリチウム)	40T (4.0×10^{13})	2.5×10^{10}	0.6×10^{-3}
^{10}Be	0.6T (6.0×10^{11})	2.9×10^6	0.0×10^{-3}
^{55}Fe	40T (4.0×10^{13})	4.5×10^5	0.0×10^{-3}
^{59}Ni	制限なし	3.7×10^5	—
^{60}Co	0.4T (4.0×10^{11})	2.7×10^7	0.1×10^{-3}
$^{108\text{m}}\text{Ag}$	0.7T (7.0×10^{11})	2.4×10^6	0.0×10^{-3}
全A ₂ 値			0.6×10^{-3}

照射済ベリリウムプラグにおけるα核種の表面密度: ##Bq/cm²以下(実測値表示)

別図-3 研究用照射済ベリリウム試料の梱包方法



This is a blank page.

付 録

A.2 国立原子力センター原子力研究所向け試験結果（英語版）

Transportation of
Irradiated Beryllium Samples
for Scientific Investigation

Specification of Beryllium Samples
and Packaging in Containers

June, 2010

Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

Marubeni Utility Services, Ltd. (MUS)

This is a blank page.

Contents

1. Specification	27
(1) Dimension and Weight of Irradiated Beryllium Frame	27
(2) Chemical Composition	27
(3) Photograph of Beryllium Frame	27
2. Irradiation Condition	27
3. Radioactivity of Beryllium Frame	28
4. Dose Evaluation of Package	28
(1) Configuration of Package	28
(2) Evaluation Model and Points	29
(3) Results	29
5. Preparation of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation	30
(1) Flowchart of Packing Procedure in JMTR Hot Cell	30
(2) Cutting Position of Beryllium and Activity Evaluation of Co-60	30
(3) Packing Procedure in Sealed Container	31
6. Irradiated Beryllium Samples after Cutting	32
(1) Specification of Beryllium Samples	32
(2) Photograph of Beryllium Samples	33
7. Packing	34
(1) Photograph of Packing Procedure	34
(2) Dose Measurements of Sealed Containers and Shield Containers	35
(3) Photograph of Packages	36
(4) Specification of Packages	37

This is a blank page.

1. Specification

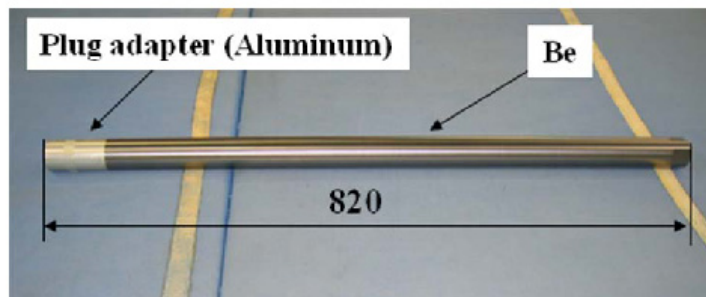
(1) Dimension and Weight of Irradiated Beryllium Frame

Size : $\phi 30 \times 820$ mm (including aluminum plug adapter)
 Weight : about 0.96 kg

(2) Chemical Composition

Elements	Unit	1st BeFrame	
		Top	Bottom
Be	%	98.41	98.36
BeO	%	1.28	1.33
Fe	ppm	800	930
C	ppm	1030	920
Al	ppm	250	220
Mg	ppm	80	80
Si	ppm	210	190
N	ppm	310	320
Mn	ppm	50	50
Cr	ppm	50	50
Ni	ppm	120	100
Ag	ppm	-	8
Cu	ppm	60	60
Co	ppm	5	5
Cd	ppm	0	80
Cd	ppm	0.5	0.5
Mo	ppm	8	8
Pb	ppm	5	5
Li	ppm	1.2	1.1
B	ppm	2	2
Cl	ppm	22	18

(3) Photograph of Beryllium Frame



The aluminum plug adapter is dismantled in the JMTR hot cell.

2. Irradiation Condition

- Irradiation Period : 1968 ~1975 (1st Be frame)
- Cumulative Power : 24,017.4MWD
- Av. Thermal Neutron Flux : $\sim 8.0 \times 10^{13}$ n/cm²/s (JMTR 50MW)
- Av. Fast Neutron Flux : $\sim 7.5 \times 10^{12}$ n/cm²/s (JMTR 50MW)

3. Radioactivity of Beryllium Frame

Radioactive	Nuclear Reaction	Activity (Bq)	Calculation code
^3H (Tritium)	$^9\text{Be}(n, \alpha)^6\text{Li}(n, \alpha)$	2.5×10^{11}	HEINBE code
^{10}Be	$^9\text{Be}(n, \gamma)$	2.9×10^7	RASC code
^{55}Fe	$^{54}\text{Fe}(n, \gamma)$	4.5×10^6	
^{59}Ni	$^{58}\text{Ni}(n, \gamma)$	3.7×10^6	
^{60}Co	$^{59}\text{Co}(n, \gamma)$	2.7×10^8	
^{108m}Ag	$^{107}\text{Ag}(n, \gamma)$	2.4×10^7	

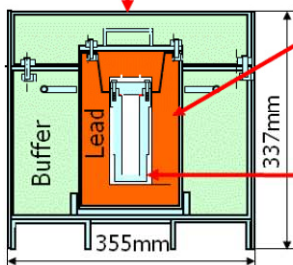
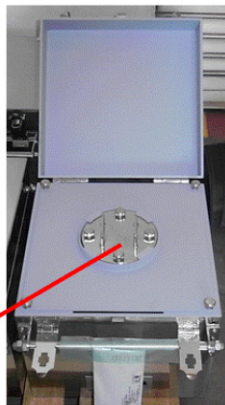
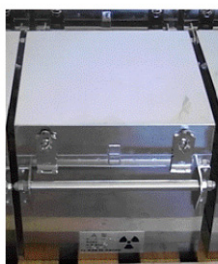
- Evaluation of Maximum Radioactivity at 1 July 2009

4. Dose Evaluation of Package

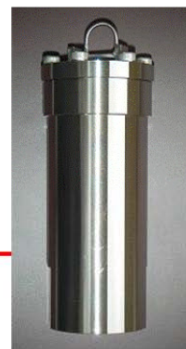
(1) Configuration of Package

Outer containers

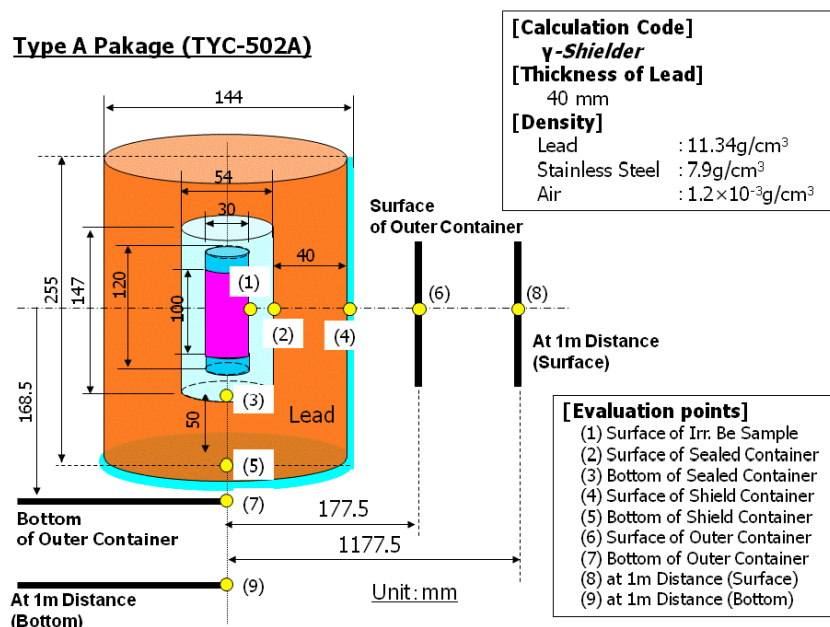
Shield containers



Sealed containers



(2) Evaluation Model and Points



(3) Results

Radioactivity of Irradiated Beryllium for Dose Evaluation (No.3 sample)

	Co-60	Fe-55	Ni-59	Ag-108m
Activity(Bq)	3.20 × 10 ⁷	5.33 × 10 ⁵	4.39 × 10 ⁵	2.84 × 10 ⁶

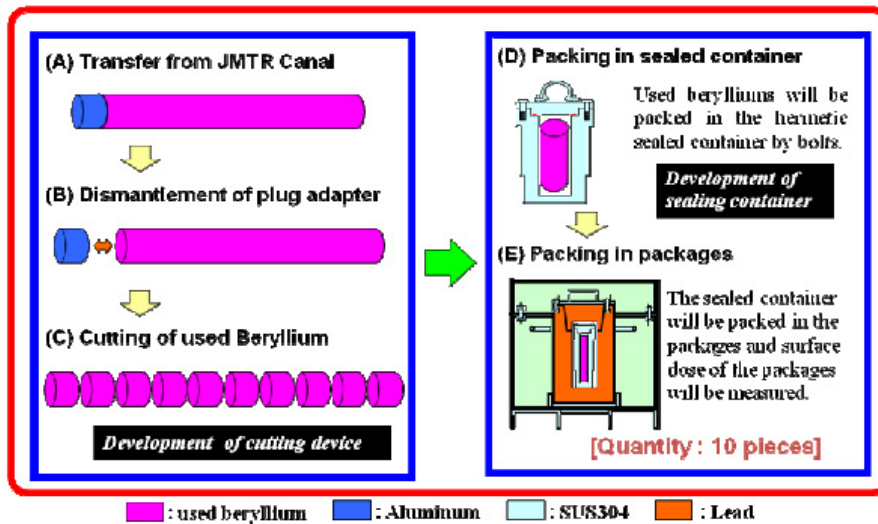
Calculation Results of Dose at Each Point

Point	Results of dose at each point (μSv/h)			
	Co-60	Fe-55	Ni-59	Ag-108m
(1)	1.79 × 10 ⁴	2.33 × 10 ⁻⁸	1.70 × 10 ⁻³	1.10 × 10 ³
(2)	5.41 × 10 ³	2.18 × 10 ⁻⁹	3.84 × 10 ⁻⁴	2.65 × 10 ²
(3)	5.35 × 10 ²	1.89 × 10 ⁻¹¹	2.02 × 10 ⁻⁵	1.63 × 10 ¹
(4)	1.46 × 10 ²	0.0	1.68 × 10 ⁻⁷	7.52 × 10 ⁻¹
(5)	1.22 × 10 ¹	0.0	2.57 × 10 ⁻⁹	2.55 × 10 ⁻²
(6)	1.97 × 10 ¹	0.0	1.99 × 10 ⁻⁸	9.36 × 10 ⁻²
(7)	5.87 × 10 ⁰	0.0	1.16 × 10 ⁻⁹	1.18 × 10 ⁻²
(8)	4.78 × 10 ⁻¹	0.0	4.81 × 10 ⁻¹⁰	2.26 × 10 ⁻³
(9)	1.22 × 10 ⁻¹	0.0	2.41 × 10 ⁻¹¹	2.45 × 10 ⁻⁴

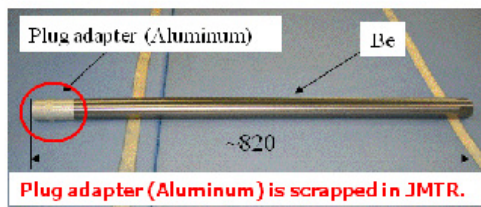
Package surface : <2mSv/h, at 1m distance : <0.1mSv/h

5. Preparation of Irradiated Beryllium Samples for Scientific Investigation

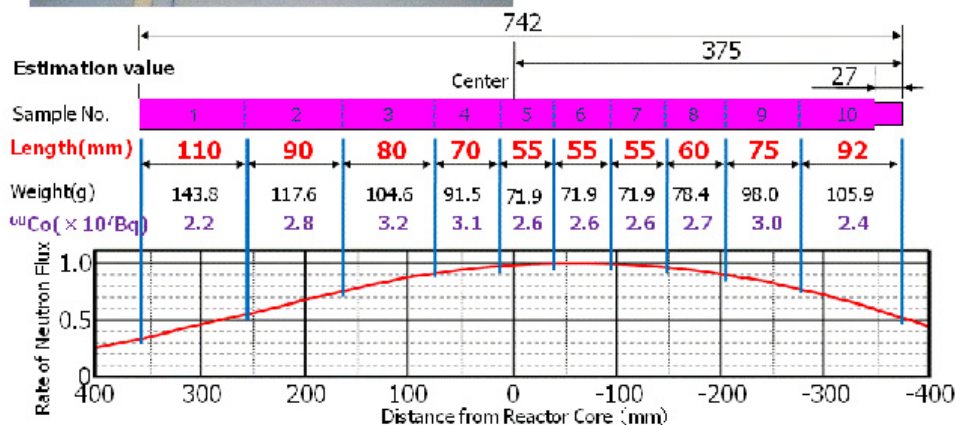
(1) Flowchart of Packing Procedure in JMTR Hot Cell



(2) Cutting Position of Beryllium and Activity Evaluation of Co-60

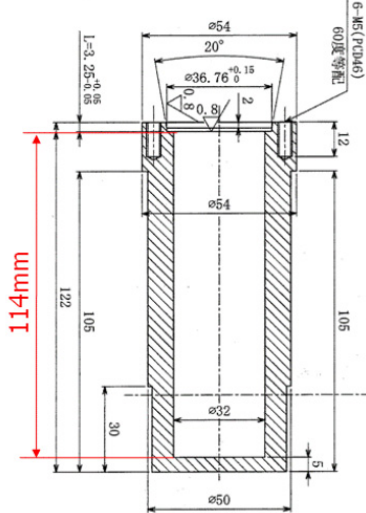


Size : φ30 x 820mm
 (including plug adapter)
 Weight : about 0.96kg



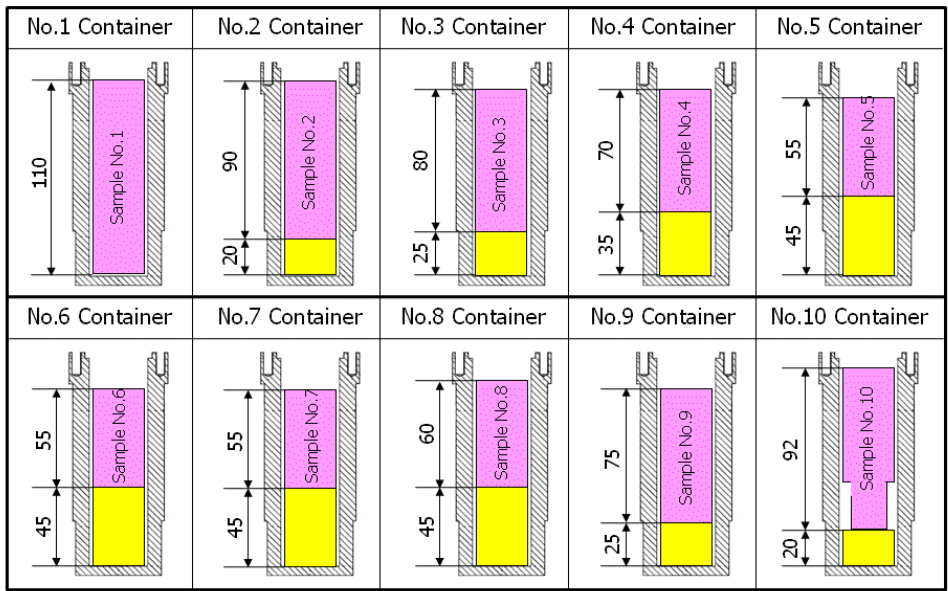
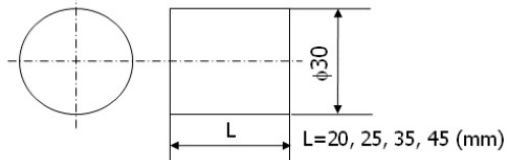
(3) Packing Procedure in Sealed Container

Sealed Container (under part)



Container No.	Irradiated Be Samples (mm)	Aluminum Spacer (Un-irradiated) (mm)
1	φ30x110	-
2	φ30x90	φ30x20
3	φ30x80	φ30x25
4	φ30x70	φ30x35
5	φ30x55	φ30x45
6	φ30x55	φ30x45
7	φ30x55	φ30x45
8	φ30x60	φ30x45
9	φ30x75	φ30x25
10	φ30x92	φ30x20

Aluminum Spacer



(unit : mm)

: Irradiated Beryllium

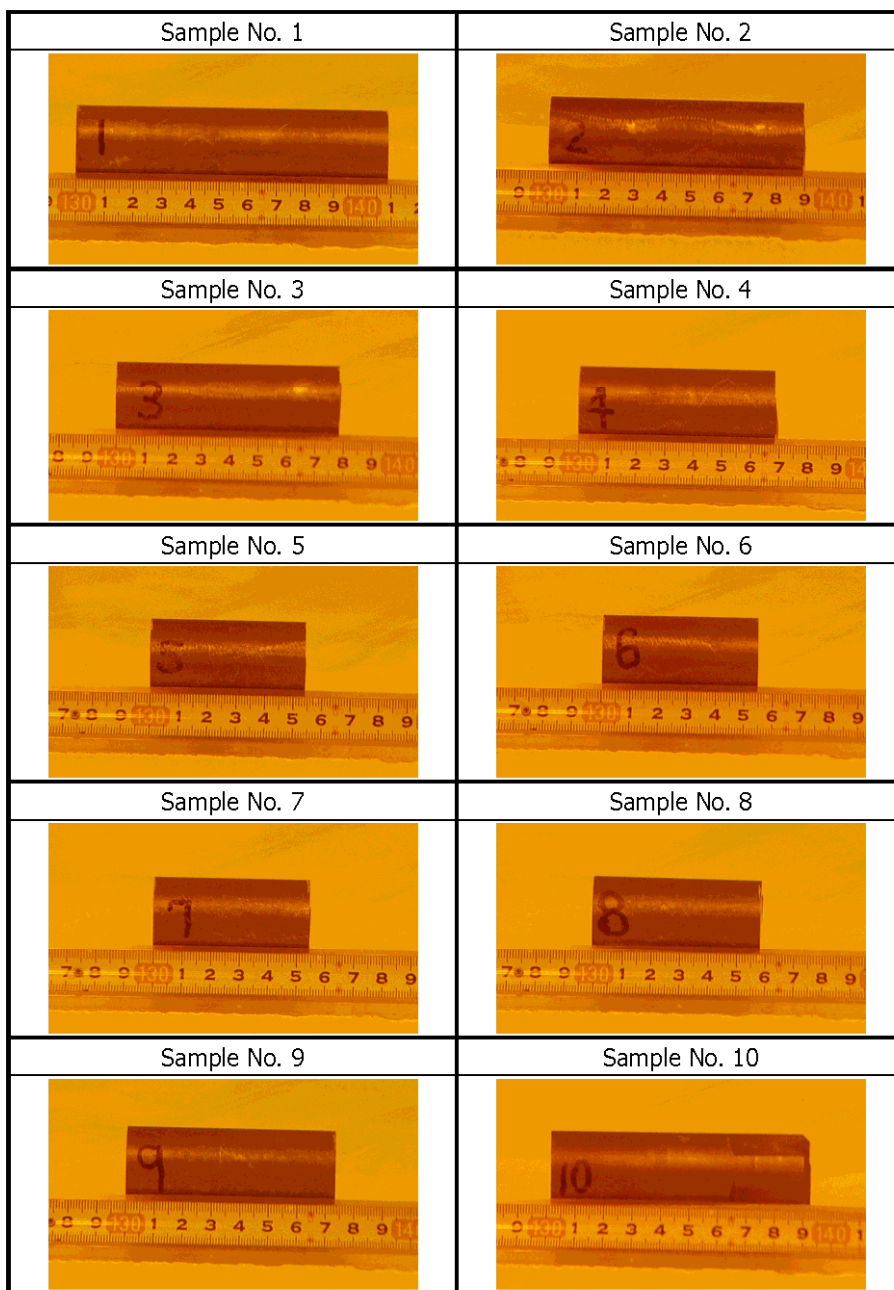
: Aluminum Spacer

6. Irradiated Beryllium Samples after Cutting

(1) Specification of Beryllium Samples

No.	Size (mm)	Weight (g)	Evaluation of radioactivity (Bq)		Evaluation of A ₂ value	Surface Dose (mSv/h)	
						Calculation*	Measurement
1	φ30×109	141	Fe-55	3.67×10 ⁵	5.72×10 ⁻⁴	12.3	1.0
			Ni-59	3.01×10 ⁵			
			Co-60	2.20×10 ⁷			
			Ag-108m	1.96×10 ⁶			
			Be-10	2.36×10 ⁶			
			H-3	2.04×10 ¹⁰			
2	φ30×89	115	Fe-55	4.67×10 ⁵	7.26×10 ⁻⁴	15.7	1.3
			Ni-59	3.84×10 ⁵			
			Co-60	2.80×10 ⁷			
			Ag-108m	2.49×10 ⁶			
			Be-10	3.01×10 ⁶			
			H-3	2.59×10 ¹⁰			
3	φ30×79	102	Fe-55	5.33×10 ⁵	8.30×10 ⁻⁴	17.9	1.3
			Ni-59	4.39×10 ⁵			
			Co-60	3.20×10 ⁷			
			Ag-108m	2.84×10 ⁶			
			Be-10	3.44×10 ⁶			
			H-3	2.96×10 ¹⁰			
4	φ30×69	89	Fe-55	5.17×10 ⁵	8.05×10 ⁻⁴	17.3	1.4
			Ni-59	4.25×10 ⁵			
			Co-60	3.10×10 ⁷			
			Ag-108m	2.76×10 ⁶			
			Be-10	3.33×10 ⁶			
			H-3	2.87×10 ¹⁰			
5	φ30×54	70	Fe-55	4.33×10 ⁵	6.75×10 ⁻⁴	14.5	0.88
			Ni-59	3.56×10 ⁵			
			Co-60	2.60×10 ⁷			
			Ag-108m	2.31×10 ⁶			
			Be-10	2.79×10 ⁶			
			H-3	2.41×10 ¹⁰			
6	φ30×55	71	Fe-55	4.33×10 ⁵	6.75×10 ⁻⁴	14.5	0.95
			Ni-59	3.56×10 ⁵			
			Co-60	2.60×10 ⁷			
			Ag-108m	2.31×10 ⁶			
			Be-10	2.79×10 ⁶			
			H-3	2.41×10 ¹⁰			
7	φ30×55	71	Fe-55	4.33×10 ⁵	6.75×10 ⁻⁴	14.5	1.2
			Ni-59	3.56×10 ⁵			
			Co-60	2.60×10 ⁷			
			Ag-108m	2.31×10 ⁶			
			Be-10	2.79×10 ⁶			
			H-3	2.41×10 ¹⁰			
8	φ30×59	76	Fe-55	4.50×10 ⁵	7.01×10 ⁻⁴	15.1	1.1
			Ni-59	3.70×10 ⁵			
			Co-60	2.70×10 ⁷			
			Ag-108m	2.40×10 ⁶			
			Be-10	2.90×10 ⁶			
			H-3	2.50×10 ¹⁰			
9	φ30×74	95	Fe-55	5.00×10 ⁵	7.79×10 ⁻⁴	16.8	1.0
			Ni-59	4.11×10 ⁵			
			Co-60	3.00×10 ⁷			
			Ag-108m	2.67×10 ⁶			
			Be-10	3.22×10 ⁶			
			H-3	2.78×10 ¹⁰			
10	φ30×92	112	Fe-55	4.00×10 ⁵	6.22×10 ⁻⁴	13.4	0.90
			Ni-59	3.29×10 ⁵			
			Co-60	2.40×10 ⁷			
			Ag-108m	2.13×10 ⁶			
			Be-10	2.58×10 ⁶			
			H-3	2.22×10 ¹⁰			



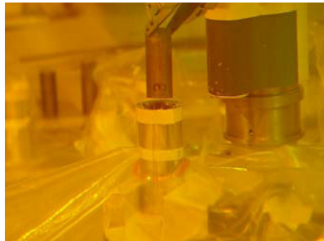
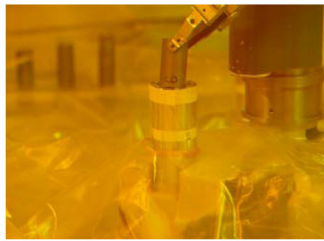
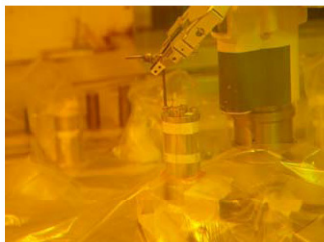
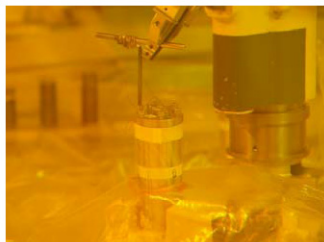
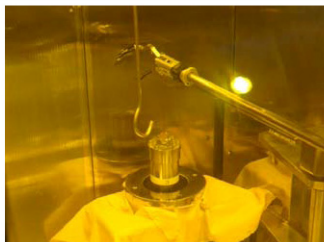
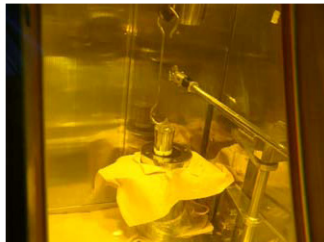
(2) Photograph of Beryllium Samples



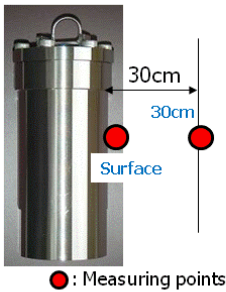
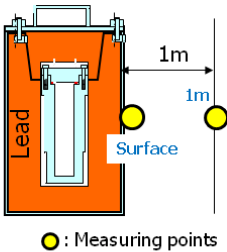
α dose of Beryllium sample surface : 0.19Bq/cm²

7. Packing

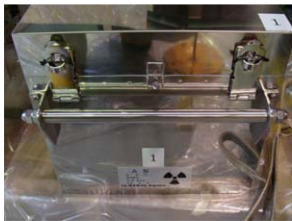



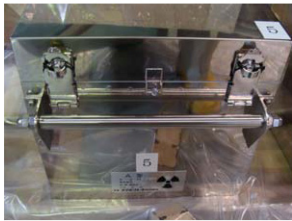
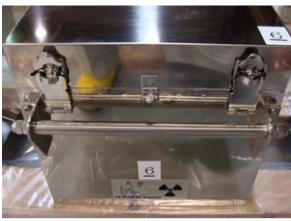

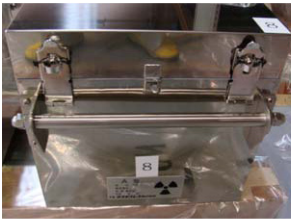
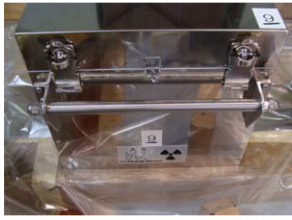

(1) Photograph of Packing Procedure

(1) Preparation of Sealed Containers	
No.1 – No.5 Sealed Containers	No.6 – No.10 Sealed Containers
	
(2) Installation of Beryllium Samples in sealed container (for example)	
No.3 samples	No.6 samples
	
(3) Clamp-down on bolts of sealed container (for example)	
No.3 samples	No.6 samples
	
(4) Installation of sealed container in Shield container (for example)	
No.3 samples	No.6 samples
	

(2) Dose Measurements of Sealed Containers and Shield Containers

Packing No.	Dose of sealed containers		Dose of shield containers	
	Surface dose ($\mu\text{Sv/h}$)	30cm dose ($\mu\text{Sv/h}$)	Surface dose ($\mu\text{Sv/h}$)	1m dose ($\mu\text{Sv/h}$)
1	400	140	25	0.4
2	550	140	30	1.0
3	500	140	32	1.0
4	650	150	33	1.2
5	520	140	28	0.6
6	420	140	28	0.8
7	550	140	25	0.8
8	540	140	30	0.9
9	400	140	30	0.9
10	420	140	28	1.0
Measuring Points	 <p>● : Measuring points</p>		 <p>● : Measuring points</p>	

(3) Photograph of Packages

<p>Packing No.1</p> 	<p>Packing No.2</p> 
<p>Packing No.3</p> 	<p>Packing No.4</p> 
<p>Packing No.5</p> 	<p>Packing No.6</p> 
<p>Packing No.7</p> 	<p>Packing No.8</p> 
<p>Packing No.9</p> 	<p>Packing No.10</p> 

(4) Specification of Packages

Packing No.	Weight (kg)	Dose Measurements		Remarks
		Surface dose ($\mu\text{Sv/h}$)	1m dose ($\mu\text{Sv/h}$)	
1	67.6	5.5	0.5	II Yellow
2	67.5	6.5	0.5	II Yellow
3	67.6	7.5	0.5	II Yellow
4	67.4	7.5	0.5	II Yellow
5	67.4	6.5	0.4	II Yellow
6	67.6	6.5	0.5	II Yellow
7	67.6	6.5	0.5	II Yellow
8	67.6	6.5	0.5	II Yellow
9	67.6	6.0	0.4	II Yellow
10	67.5	6.5	0.5	II Yellow

This is a blank page.

付 録

A. 3 IAE-NNC からの照射済ベリリウム試料の受領書

Customer:

ASE <<Institute of Atomic Energy>> RSE
<<National Nuclear Center RK>> Ministry of
Energy and Mineral Resources RK
(ASE IAE RSE NNC RK)

10, Krasnoarmeyskaya St., 071100,
Kurchatov, VKO, Republic of Kazakhstan

Seller:

Marubeni Utility Services, Ltd.

2F, Palaceside Bldg.
1-1-1, Hitotsubashi, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-0003 JAPAN

ACCEPTANCE CERTIFICATE
CONTRACT #81-05-09 (FROM 10, April, 2009)
"Arrangement of supply of Beryllium"

The undersigned, the Representative of the Seller and Customer have drawn up the present ACCEPTANCE CERTIFICATE to confirm that in accordance with the Contract provisions the Seller has delivered the "Goods" mentioned in clause 1.1 to the Customer within the assigned time of delivery (clause 4.2 : Additional Agreement N1, March. 30, 2010)

The work has been performed in full scope, the required documents for customs have been submitted to the Customer and accepted in accordance with the contract terms.

On behalf of the Customer:

On behalf of the Seller:

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
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

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

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

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m ² /m ²
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz		s ⁻¹
力	ニュートン	N		m kg s ⁻²
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m ²	m ⁻¹ kg s ⁻²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m ² kg s ⁻²
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m ² kg s ⁻³
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻¹
静電容量	ファラド	F	C/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ²
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m ² kg s ⁻³ A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m ² kg s ⁻² A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²	kg s ⁻² A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m ² kg s ⁻² A ⁻²
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C		K
光照度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
放射線量	ルクス	lx	lm/m ²	m ² cd
放射線種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s ⁻¹	s ⁻¹
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m ² s ⁻²
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	m ² s ⁻²
酸素活性炭	カタール	kat	s ⁻¹ mol	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に、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみに使用される。
 (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
粘着力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m ⁻¹ kg s ⁻¹
表面張力	ニュートンメートル	N m	m ² kg s ⁻²
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s ⁻²
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m ⁻¹ s ⁻¹ = s ⁻¹
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m m ⁻¹ s ⁻² = s ⁻²
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m ²	kg s ⁻³
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² kg s ⁻² K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m ² s ⁻² K ⁻¹
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² s ⁻²
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s ⁻³ K ⁻¹
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m ³	m ⁻¹ kg s ⁻²
電荷密度	ボルト毎メートル	V/m	m kg s ⁻³ A ⁻¹
表面電荷密度, 電気変位	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
透磁率	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
モルエネルギー	ファラド毎メートル	F/m	m ⁻³ kg ⁻¹ s ⁴ A ²
モルエントロピー, モル熱容量	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s ⁻² A ⁻²
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル	J/mol	m ² kg s ⁻² mol ⁻¹
吸収線量率	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m ² kg s ⁻² K ⁻¹ mol ⁻¹
放射線強度	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ s A
放射線輝度	グレイ毎秒	Gy/s	m ² s ⁻³
酵素活性濃度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = m ² kg s ⁻³
	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	m ² m ⁻² kg s ⁻³ = kg s ⁻³
	カタール毎立方メートル	kat/m ³	m ³ s ⁻¹ mol

表5. SI接頭語

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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=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	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=1l=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=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	1eV=1.602 176 53(14)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×10 ⁻²⁷ kg
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	1ua=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	1mmHg=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)/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
フォトル	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ファラド	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	cal	1cal=4.1858J (「15°C」カロリ), 4.1868J (「IT」カロリ), 4.184J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ=1μm=10 ⁻⁶ m

