

## シリコン回転装置の設計、製作及び輸送

Design, Fabrication and Transportation of Si Rotating Device

木村 伸明 今泉 友見 竹本 紀之 谷本 政隆 齋藤 隆 堀 直彦 土谷 邦彦  
Nataliya ROMANOVA Shamil GIZATULIN Alexandr MARTYUSHOV  
Darkhan NAKIPOV Petr CHAKROV 田中 太 中島 雄志

Nobuaki KIMURA, Tomomi IMAIZUMI, Noriyuki TAKEMOTO, Masataka TANIMOTO  
Takashi SAITO, Naohiko HORI, Kunihiro TSUCHIYA, Nataliya ROMANOVA  
Shamil GIZATULIN, Alexandr MARTYUSHOV, Darkhan NAKIPOV  
Petr CHAKROV, Futoshi TANAKA and Takeshi NAKAJIMA

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

June 2012

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

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

## シリコン回転装置の設計、製作及び輸送

日本原子力研究開発機構大洗研究開発センター  
照射試験炉センター

木村 伸明、今泉 友見、竹本 紀之、谷本 政隆、齋藤 隆、堀 直彦、土谷 邦彦、  
Nataliya ROMANOVA\*1、Shamil GIZATULIN\*1、Alexandr MARTYUSHOV\*1、  
Darkhan NAKIPOV\*1、Petr CHAKROV\*1、田中 太\*2、中島 雄志\*2

(2012 年 3 月 6 日受理)

日本原子力研究開発機構(JAEA)照射試験炉センターでは、産業利用拡大の観点から材料試験炉(Japan Materials Testing Reactor : JMTR)を活用した中性子核変換ドーピング(Neutron Transmutation Doping : NTD)法によるシリコン半導体製造を検討している。この検討の一環として、カザフスタン共和国国立原子力センター(NNC-RK)と JAEA との原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め(試験研究炉に関する原子力技術)における特定協力課題のうち、シリコン半導体製造に関する技術(STC No.II-4)のもとで、NNC-RK の核物理研究所(INP)にある WWR-K 炉を用いて、高品位シリコン半導体製造のためのシリコン試料の照射試験を行う。本照射試験の実施に先立ち、シリコン試料の照射試験に必要となるシリコン回転装置を JAEA で製作し、照射試料と共に INP-NNC-RK に輸送した。

本報告書は、シリコン回転装置の設計、製作、性能試験及び輸送手続きについてまとめたものである。

---

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:カザフスタン国立原子力センター 核物理研究所

\*2:産業科学株式会社

## **Design, Fabrication and Transportation of Si Rotating Device**

Nobuaki KIMURA, Tomomi IMAIZUMI, Noriyuki TAKEMOTO, Masataka TANIMOTO,  
Takashi SAITO, Naohiko HORI, Kunihiro TSUCHIYA,  
Nataliya ROMANOVA\*<sup>1</sup>, Shamil GIZATULIN\*<sup>1</sup>, Alexandr MARTYUSHOV\*<sup>1</sup>,  
Darkhan NAKIPOV\*<sup>1</sup>, Petr CHAKROV\*<sup>1</sup>, Futoshi TANAKA\*<sup>2</sup> and Takeshi NAKAJIMA\*<sup>2</sup>

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

(Received March 6, 2012)

Si semiconductor production by Neutron Transmutation Doping (NTD) method using the Japan Materials Testing Reactor (JMTR) has been investigated in Neutron Irradiation and Testing Reactor Center, Japan Atomic Energy Agency (JAEA) in order to expand industry use. As a part of investigations, irradiation test of silicon ingot for development of NTD-Si with high quality was planned using WWR-K in Institute of Nuclear Physics (INP), National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan (NNC-RK) based on one of specific topics of cooperation (STC), Irradiation Technology for NTD-Si (STC No.II-4), on the implementing arrangement between NNC-RK and the JAEA for “Nuclear Technology on Testing/Research Reactors” in cooperation in research and development in nuclear energy and technology. As for the irradiation test, Si rotating device was fabricated in JAEA, and the fabricated device was transported with irradiation specimens from JAEA to INP-NNC-RK.

This report described the design, the fabrication, the performance test of the Si rotating device and transportation procedures.

**Keywords :** JMTR, NTD, Irradiation Test, Silicon Ingot, WWR-K, Si Rotating Device

---

\*1 : National Nuclear Center of Republic of Kazakhstan (NNC-RK),  
Institute of Nuclear Physics (INP)

\*2 : Sangyo Kagaku Co., LTD



## 目 次

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1. はじめに .....                  | 1  |
| 2. 照射試験計画 .....                | 1  |
| 3. シリコン回転装置の設計 .....           | 2  |
| 3.1 シリコン回転装置の構成 .....          | 2  |
| 3.2 設計条件 .....                 | 2  |
| 3.3 各部の仕様 .....                | 3  |
| 3.3.1 シリコンホルダ .....            | 3  |
| 3.3.2 回転モータ .....              | 3  |
| 3.3.3 昇降モータ .....              | 4  |
| 3.3.4 制御盤 .....                | 4  |
| 3.3.5 リモートコントロールパネル .....      | 4  |
| 4. シリコン回転装置の製作及び性能試験 .....     | 5  |
| 4.1 各種検査 .....                 | 5  |
| 4.1.1 外観検査 .....               | 5  |
| 4.1.2 寸法検査 .....               | 5  |
| 4.1.3 員数検査 .....               | 5  |
| 4.1.4 材料検査 .....               | 5  |
| 4.1.5 検査結果 .....               | 5  |
| 4.2 性能確認試験 .....               | 5  |
| 5. INP-NNC-RK への輸送 .....       | 6  |
| 5.1 許可申請に関する確認 .....           | 6  |
| 5.2 リスト規制に係る調査 .....           | 6  |
| 5.2.1 シリコン回転装置 .....           | 6  |
| 5.2.2 シリコン試料 .....             | 7  |
| 5.2.3 アルミニウム試料 .....           | 7  |
| 5.3 用途及び需要者の確認 .....           | 7  |
| 5.3.1 大量破壊兵器補完的輸出規制に係る要件 ..... | 7  |
| 5.3.2 通常兵器補完的輸出規制に係る要件 .....   | 8  |
| 5.4 調査結果 .....                 | 8  |
| 5.5 輸送及び梱包 .....               | 8  |
| 6. まとめ .....                   | 9  |
| 謝辞 .....                       | 9  |
| 参考文献 .....                     | 10 |
| 付録 1 輸出令及び貨物等省令のマトリクス .....    | 29 |

## Contents

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction .....                                                                      | 1  |
| 2. Test Schedule .....                                                                     | 1  |
| 3. Design of Si rotating device .....                                                      | 2  |
| 3.1 Structure of Si rotating device .....                                                  | 2  |
| 3.2 Design condition .....                                                                 | 2  |
| 3.3 Function of each device .....                                                          | 3  |
| 3.3.1 Holder of Si ingot .....                                                             | 3  |
| 3.3.2 Rotating motor .....                                                                 | 3  |
| 3.3.3 Up-and-down motor .....                                                              | 4  |
| 3.3.4 Control panel .....                                                                  | 4  |
| 3.3.5 Remote control panel .....                                                           | 4  |
| 4. Manufacture and performance test of Si rotating device .....                            | 5  |
| 4.1 Inspections .....                                                                      | 5  |
| 4.1.1 Visual inspection .....                                                              | 5  |
| 4.1.2 Dimensional inspection .....                                                         | 5  |
| 4.1.3 Number inspection .....                                                              | 5  |
| 4.1.4 Material inspection .....                                                            | 5  |
| 4.1.5 Inspection results .....                                                             | 5  |
| 4.2 Performance verification test .....                                                    | 5  |
| 5. Transportation to INP-NNC-RK .....                                                      | 6  |
| 5.1 Confirmation about license application .....                                           | 6  |
| 5.2 Investigation about list control .....                                                 | 6  |
| 5.2.1 Si rotating device .....                                                             | 6  |
| 5.2.2 Si ingot .....                                                                       | 7  |
| 5.2.3 Al ingot .....                                                                       | 7  |
| 5.3 Confirmation of purpose and end user .....                                             | 7  |
| 5.3.1 Requirement for complemental export controls<br>of weapons of mass destruction ..... | 7  |
| 5.3.2 Requirement for complemental export controls<br>of conventional weapons .....        | 8  |
| 5.4 Investigation results .....                                                            | 8  |
| 5.5 Transportation and packing .....                                                       | 8  |
| 6. Summary .....                                                                           | 9  |
| Acknowledgements .....                                                                     | 9  |
| References .....                                                                           | 10 |
| Appendix 1 Matrix from export trade control order, etc. ....                               | 29 |

## 1. はじめに

中性子による核反応  $^{30}\text{Si} (n, \gamma) ^{31}\text{Si}$  を利用する中性子核変換ドーピング (Neutron Transmutation Doping: NTD) 法により製造される高品位シリコン半導体 (NTD-Si) は、他のドーピング法より均一性に優れることから、主に高速鉄道やハイブリットカーのインバータなどの高耐圧のパワーデバイスで使用されており、社会インフラ系のデバイスに不可欠な存在である。世界の NTD-Si の生産量は年間 160ton (2004 年推定) であり、今後需要が急速に伸びると予測されている<sup>1)</sup>。また、近年、コスト低減及び大量生産の観点から NTD-Si の大口径化が求められている<sup>2)</sup>。このような中、日本で生産している NTD-Si の世界総生産量は約 3%程度であり、国内需要の 6%程度にすぎない。また、その口径は最大 6 インチであり、今後の市場における NTD-Si の大口径化に対応していく必要がある。

そこで、日本原子力研究開発機構 (以下、「JAEA」という。) 照射試験炉センターでは、産業利用の拡大及び NTD-Si の国内安定供給に貢献するため、材料試験炉 JMTR<sup>3)</sup> において大口径 (8 インチ) の高品位 NTD-Si を製造するための製造装置の検討を行った<sup>4)</sup>。この結果、JMTR の中性子スペクトル特性による製品品質への影響を把握することが重要な課題となっていた。

一方、カザフスタン共和国国立原子力センター (以下、「NNC-RK」という。) 核物理研究所 (以下、「INP-NNC-RK」という。) の有する WWR-K 炉においても JMTR と同様に NTD-Si 製造のための検討が進められてきた<sup>5)</sup>。

そのため、JMTR 及び WWR-K における高品位 NTD-Si の製造に向けた検討として、NNC-RK と JAEA との原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め (試験研究炉に関する原子力技術) における特定協力課題のうち、シリコン半導体製造に関する技術 (STC No.II-4) のもとで、JMTR と同様の軽水減速型の研究炉である WWR-K 炉において、中性子スペクトル特性による製品品質への影響の評価を行うため、単結晶のシリコン試料の照射試験を行うこととした。

本報告書は、WWR-K 炉でシリコン試料の照射試験を行うために必要なシリコン回転装置の設計、製作及び性能試験並びにシリコン回転装置及び照射試料の INP-NNC-RK への輸送手続きについてまとめたものである。

## 2. 照射試験計画

INP-NNC-RK の有する WWR-K 炉は、軽水減速冷却プール型の研究炉で熱出力は 6MWt である。炉心は直径 720mm、実効高さ 600mm の円筒状で、炉内及び炉外に複数の水平照射実験孔及び垂直照射実験孔を有している。

照射試験計画を策定するため、INP-NNC-RK と情報交換を行った。その結果、水平照射実験孔を使用することにより最大 8 インチまでのシリコン試料の照射試験に対応できるが、設備の大幅な改造を伴うことが分かった。そのため、まず炉外にある垂直照射実験孔の一つである K-23 実験孔を使用して、6 インチのシリコン試料の照射試験を行うこととした。本照射試験の実施内容は、以下のとおりである。

### (1)実験孔における試料に対する核的評価

シリコン試料の照射試験に先立ち、後述するシリコン試料の形状を模したアルミニウム試料を用いて、原子炉冷却水雰囲気ですべて照射試験を行う。アルミニウム試料には中性子束測定用のフルエンスモニタ<sup>3)</sup>を装荷して照射し、照射後にフルエンスモニタを取り出して放射化量を測定するとともに、モンテカルロ法による核計算を行い、実験孔における試料に対する核的評価を行う。

### (2)シリコン試料の照射試験

Fig. 1 に示す寸法の異なる 2 種類の単結晶のシリコン試料の照射試験を行い、照射後に特性評価を行う。なお、詳細な照射条件は、(1)の核的評価結果をもとに策定する。

これら照射試験を行うため JAEA では、アルミニウム試料及びシリコン試料を準備するとともにシリコン回転装置の設計、製作を行った。

## 3. シリコン回転装置の設計

### 3.1 シリコン回転装置の構成

シリコン回転装置は、原子炉運転中にシリコン試料を上下に移動させるとともに、軸を中心に回転させることによって、K-23 実験孔においてシリコン試料に均一に中性子を照射するための装置であり、WWR-K 炉頂に設置する。

本装置は、シリコンホルダ、昇降モータ、回転モータからなる装置本体、制御盤、リモートコントロールパネル等から構成される。シリコン回転装置の概念図を Fig. 2 に示す。

このうち、シリコンホルダは、シリコン試料を収納するための円筒型容器である。昇降モータは、原子炉運転中にシリコン試料を所定の照射位置及び冷却位置に配置するため、実験孔内を軸方向に移動させるための装置である。回転モータは、原子炉運転中、シリコン試料の径方向の中性子束分布を均一にするために、軸を中心にシリコン試料を回転させるための装置である。原子炉運転中の昇降モータ及び回転モータの操作は、WWR-K 炉外に設置する制御盤又は研究室に設置するリモートコントロールパネルで行う。

### 3.2 設計条件

WWR-K 炉にシリコン回転装置を設置する場合の構造上の設計条件を Table 1 に示す。WWR-K 炉は、原子炉運転中、原子炉容器上部に遮蔽ブロックを設置する構造であるため、遮蔽ブロックに覆われた狭い空間である炉頂部にシリコン回転装置を設置する必要がある。また、原子炉運転中は、遮蔽ブロック内に入りできない構造であるため、WWR-K 炉外に制御盤類を設置し、本装置の遠隔監視及び制御を行う必要がある。一方、シリコン試料に均一に中性子を照射する観点から、炉内中性子束分布が大きく変化する原子炉起動時及び停止時等には照射せず、定格出力 6MWt の間を利用して照射試験を行う必要がある。

このような状況下でシリコン試料の照射試験を行う場合の流れについて検討を行った。検討結果を以下に示す。

- (1) 遮蔽ブロックが解放されている原子炉停止中にシリコン試料をシリコンホルダに収納

する。

- (2) シリコンホルダを冷却位置に配置する。
- (3) 遮蔽ブロックを設置し、原子炉を起動する。
- (4) 定格出力 6MWt 到達後、シリコンホルダを回転させながら照射位置に配置し、照射を行う。
- (5) 目標中性子照射量に到達後、冷却位置にて冷却を行う。
- (6) 原子炉停止後、遮蔽ブロックを解放し、シリコン試料を原子炉から取り出し、特性評価等を実施する。

次に、この流れで照射試験を行うために必要な装置の機能的要求条件及びその対策について検討を行った。検討結果を Table 2 に示す。

また、本検討結果に基づき装置の設計を行った。3.3 項に装置各部の仕様について述べる。

### 3.3 各部の仕様

#### 3.3.1 シリコンホルダ

シリコンホルダは、シリコン試料を収納して照射するための円筒型容器である。シリコンホルダの設計図を Fig. 3 に示す。

シリコンホルダは、昇降時及び回転時のシリコンホルダ及びシリコン試料による荷重に対して十分な強度を有するとともに、シリコンホルダを水平に維持するため、アルミリンクチェーンで吊り下げる方式とする。収納したシリコン試料は、くさび 3 個を上部に挿入することによって固定する。くさびは照射中に脱落しない形状とする。

Fig. 1 に示すように、高さの異なるシリコン試料を収納するが、照射試験上は互いのシリコン試料の軸方向の中心が同じ位置にあることが望ましいため、長さの短いシリコン試料を収納する場合は、シリコン試料下部にスペーサを配置することによって軸方向中心位置が同じになるよう位置調整を行う。

シリコンホルダ底面には、 $\phi 10$  の孔を 17 箇所設ける。これにより、シリコンホルダの実験孔への装荷時にシリコンホルダ内に空気が滞留しないようにするとともに、取出し時にシリコンホルダ内の冷却水が速やかに流れ出るようにする。シリコン試料底部とシリコンホルダが密着して孔を塞ぐことが無いように、厚さ 2mm のスペーサをシリコンホルダ底部に設置する。

なお、これらシリコンホルダの構造材料には、熱中性子による不純物の放射化を最小限にとどめるため、高純度アルミニウムを使用するものとする。

#### 3.3.2 回転モータ

回転モータは、原子炉運転中、シリコン試料に対する径方向の中性子束分布を均一にするため、軸を中心にシリコン試料を回転させるための装置である。回転モータの写真を Fig. 4 に示す。

シリコンホルダの回転速度は、2 回転/分とする。回転時に回転モータ自体が回転しないようにするため、実験孔内にガイドレール 2 本を設置してモータを固定する。

回転モータは、炉外に設置する制御盤またはリモートコントロールパネルによって操作を行う。回転モータには回転速度計を設置し、制御盤に回転速度を表示することにより、原子炉運転中にシリコン試料が一定回転速度で回転していることを制御盤から常時確認できるようにする。なお、

実験孔内は、湿度 100%であるため、結露防止用の気密カバーを設ける。また、モータに過負荷が掛かった際には自動停止する構造とする。

### 3.3.3 昇降モータ

昇降モータは、実験孔内において、シリコン試料を収納したシリコンホルダを所定の照射位置及び冷却位置に配置するため、実験孔内でモータによるワイヤーの巻上げ、巻き下ろしによって、シリコンホルダを軸方向に移動させるための装置である。シリコン回転装置の構造図を Fig. 5 に、シリコン回転装置の主な部品の設計図を Fig. 6 に、昇降モータの写真を Fig. 7 に示す。また、Table 3 に Fig. 6 の構造番号対応表を示す。

炉頂部は、湿度 100%であるため、昇降モータには結露防止用の気密カバーを設ける。昇降中にモータに過負荷が掛かった際に自動停止する構造とする。昇降モータは、炉頂にある既存のボルト孔を使用して、ボルトによって固定する。

シリコン試料の照射位置は、シリコン試料の軸方向中心位置が、WWR-K 炉心の熱中性子束分布において最大値になる位置とする。シリコン試料の冷却位置は、シリコン試料が照射後に不要な中性子にさらされず冷却できるようにするため、シリコンホルダ下面が炉心実効長上面から 1m 以上の位置になるように設定する。これにより必要な昇降ストロークは 1.5m であることが分かった。

昇降モータは、炉外に設置する制御盤またはリモートコントロールパネルによって操作を行う。昇降モータにはエンコーダを設置し、軸方向の位置検出を行い、制御盤に軸方向位置情報を表示し、これによって昇降位置の監視及び任意位置への昇降操作を行う。

また、安全機構として昇降の上限及び下限位置にそれぞれリミットスイッチを設置し、モータが安全に自動停止する構造とする。昇降モータによりシリコンホルダを吊り下げている回転モータ毎、昇降させる構造であることから昇降の際、下限リミットスイッチ等の電源ケーブルが回転モータに接触しないようにするため、ガイドレール脇にガイドパイプを設置し、ガイドパイプ内に当該ケーブル類を通すものとする。

### 3.3.4 制御盤

制御盤は、炉外に設置し、シリコン回転装置本体の監視及び操作を行うための装置である。回転モータの制御については、シリコンホルダの回転の ON/OFF の両ボタン、回転速度の表示計及び緊急停止ボタンを設置する。昇降モータの制御については、シリコンホルダの上昇・下降の UP・DOWN 両ボタン、シリコンホルダの軸方向位置の表示計を設ける。上昇途中での停止を行う場合は上昇ボタンを、下降途中での停止を行う場合は下降ボタンを再度押すことで停止する機構とする。また、緊急停止ボタンは、回転モータと昇降モータの両方の緊急停止を行うためのボタンである。制御盤の構造概略図を Fig. 8 に示す。

### 3.3.5 リモートコントロールパネル

リモートコントロールパネルは、炉外から約 30m 離れた研究室でもシリコン回転装置の操作を行えるようにするために研究室に設置する操作盤である。詳細な操作を行う場合は、2.3.4 項の制御盤を使用するものとし、本装置は簡易的な操作盤と位置付け、シリコンホルダの回転の ON/OFF、昇降及び緊急停止の操作のみ行えるようにした。そのため、各種表示計も設置しない。



リモートコントロールパネルの構造概略図を Fig. 9 に示す。

## 4. シリコン回転装置の製作及び性能試験

3.3 項の各部の仕様に基づき、シリコン回転装置の製作を行った。シリコン回転装置の全体写真を Fig. 10 に示す。次に、製作したシリコン回転装置の性能試験として、外観検査、寸法検査、員数検査、材料検査等の各種検査及び性能確認試験を行った。各種検査の概要及び結果を 4.1 項に、性能確認試験の概要及び結果を 4.2 項に述べる。

### 4.1 各種検査

#### 4.1.1 外観検査

シリコンホルダ、回転モータ、昇降モータ、制御盤及びリモートコントロールパネルについて、目視、触手により外観に有害な傷、変形、割れ、バリがないこと、異物、汚れ、油脂の付着がないこと及び構造外観が図面の通りであることを確認した。

#### 4.1.2 寸法検査

シリコンホルダ、回転モータ、昇降モータ、制御盤及びリモートコントロールパネルについて、鋼製巻尺及びノギスを用いて寸法検査を行い、図面で指定した寸法が公差内であることを確認した。

#### 4.1.3 員数検査

シリコンホルダ、回転モータ、昇降モータ、制御盤及びリモートコントロールパネルについて、目視による員数の確認を行い、必要数量が揃っていることを確認した。

#### 4.1.4 材料検査

シリコンホルダ及びスペーサについて、材料検査成績表に示された値と日本工業規格で定める値の比較を行い、許容値内であることを確認した。

#### 4.1.5 検査結果

製作に伴う各種検査の結果、全ての検査項目について合格であることを確認した。シリコン回転装置の製作に伴う各種検査の結果を Table 4 に示す。

### 4.2 性能確認試験

シリコン回転装置が正常に作動すること、設置調整、作業手順、作業者への OJT 及び作業の安全性の確認を行うため、シリコン回転装置を工場にて仮設置し、作動試験及び照射試験の流れに沿った一連の作業を実施した。

性能確認試験実施項目を Table 5 に示す。性能確認試験の結果、装置が所定の性能を有することを確認した。また、作業人数、作業時間、作業の安全性等を確認した。

## 5. INP-NNC-RK への輸送

NNC-RK と JAEA との「原子力科学分野における研究開発協力のための実施取決め」に基づく特定協力課題「試験研究炉に関する原子力技術」に係る協力分野「シリコン半導体製造に関する技術 (STC No.II-4)」において、WWR-K 炉におけるシリコン試料の照射試験を行うため、JAEA ではシリコン回転装置を製作するとともにシリコン試料及びアルミニウム試料を準備した。これら Table 6 に示す貨物を INP-NNC-RK に輸送するため、本貨物に対する輸出許可申請の必要性について調査し、所定の手続きを行った。調査及び輸送の実施結果について、以下に示す。

なお、JAEA と NNC との間で締結されている本実施取決めには、『両当事者は、本プロジェクトの下で得られ、交換される情報に核拡散や原子炉施設の設計に係わる機微な技術が含まれていないこと及びそれらの情報が原子力の平和利用に限定して利用されることを保証する。』と明記されており、本輸出は、本実施取決めに基づき実施した。

### 5.1 許可申請に関する確認 ⑥～⑫)

我が国の安全保障と国際的な平和及び安全の維持の観点から、大量破壊兵器や通常兵器の開発・製造等に関連する資機材並びに関連汎用品の輸出やこれらの関連技術の非居住者への提供については、外国為替及び外国貿易法（以下、「外為法」という。）に基づき、必要最小限の管理が実施されている。

物を外国に向けて送付する行為は、外為法の輸出に当たるため、外国に向けて送付する際には、法令に基づく手続きを行う必要がある。外為法による規制の対象となる貨物及び技術の概要を Table 7 に示す。

特定の地域を仕向地とする特定の種類の貨物を輸出しようとする場合、外為法第 48 条第 1 項に基づいて輸出規制が行われている。特定の仕向地や特定の種類の貨物については政令である輸出貿易管理令（以下、「輸出令」という。）の別表第 1 で大枠が定められている。輸出規制には、リスト規制とキャッチオール規制があり、輸送する貨物がこれらの規制に該当するか確認する必要がある。このため、以下の手順で確認を行った。

- (1) 貨物の輸出を検討。
- (2) 該非判定（リスト規制）：省令で規定する仕様と貨物の仕様を比較し、該当性を確認。
- (3) 用途及び需要者の確認：武器及び核兵器等の開発等のために用いられるおそれの有無を確認。

### 5.2 リスト規制に係る調査

貨物の技術の機能や性能に着目した規制をリスト規制といい、輸出令別表第 1（外為令別表）の 1～15 の項で定められる。具体的な性能や機能については、経済産業省令 輸出貿易管理令別表第 1 及び外国為替令別表の規定に基づき貨物又は技術を定める省令（以下、「貨物等省令」という。）で規定されている。輸送する各貨物について、それぞれリスト規制に係る調査を行った。

#### 5.2.1 シリコン回転装置

本貨物は、輸出令別表第 1 の第 2 項(2)の原子炉の部分品又は原子炉の附属装置に該当する可



能性が考えられたため、これらの項目について確認を行った（輸出令及び貨物等省令のマトリクスは付録 1 に示す）。

本貨物は、原子炉本体を構成するもの若しくは原子炉本体の外側に据え付けるために設計等されたものではないため、本貨物を規制する項目はないことが分かった。

### 5.2.2 シリコン試料

本貨物は、輸出令別表第 1 の（１）第 7 項(16)の半導体物質、（２）第 7 項(18)の半導体基板、（３）第 7 項(22)のインゴットに該当する可能性が考えられたため、これらの項目について確認を行った（輸出令及び貨物等省令のマトリクスは付録 1 に示す）。

本貨物は、第 7 項(16)の単結晶シリコンに該当すると考えられたが、第 7 項(16)は単結晶シリコンの製造用の装置若しくは試験装置又はこれらの部分品若しくは附属品を指すことから、輸出令に、単結晶のシリコンインゴットである本貨物を規制する項目はないことが分かった。

### 5.2.3 アルミニウム試料<sup>13)</sup>

本貨物は、輸出令別表第 1 の（１）第 2(17)のアルミニウム合金、（２）第 4 項(6)の推進薬又はその原料となる物質、（３）第 5 項(5)のアルミニウム合金及び（４）第 7 項(20)の粉末状の金属に該当する可能性があるため、確認を行った（輸出令及び貨物等省令のマトリクスは付録 1 に示す）。

本貨物は、ガス遠心分離機のロータに用いられる構造材料ではない、推進薬又はその原料となる物質ではない、有機金属化合物又は有機化合物（アルミニウム、ガリウム、インジウム、磷、砒素又はアンチモンが、分子の有機部分の炭素と直接に結合している化合物をいう。）ではない、粒子が球形で、かつ、その径が 60 μm 以下のアルミニウムの粉であって、アルミニウムの純度が 99%以上のものからなるものではないため、本貨物を規制する項目はないことが分かった。

## 5.3 用途及び需要者の確認

貨物の需要者や用途に着目した規制をキャッチオール規制といい、輸出貿易管理令別表第 1、外国為替令別表のそれぞれ 16 の項に該当する。リスト規制を補完していることから、補完的輸出規制ともいい、大量破壊兵器補完的輸出規制及び通常兵器補完的輸出規制がある。

### 5.3.1 大量破壊兵器補完的輸出規制に係る要件

リスト規制に該当しない場合でも、相手先が輸出管理を厳格に実施している 26 カ国（ホワイト国）を除く地域であって、食料品や木材などを除くほぼすべての貨物（輸出令別表第 1 の 16 の項）を輸出する場合で、以下の（１）及び（２）に該当する場合は、大量破壊兵器補完的輸出規制の対象となる。

（１）相手先の目的、取引先の情報などから判断して、輸出しようとする貨物が、核兵器等の開発等のために使用されるおそれがある場合。

（２）経済産業大臣から許可の申請をすべき旨の通知を受けた場合。

カザフスタン共和国は、非ホワイト国に属するが、本貨物は、核兵器、軍用の化学製剤若しくは細菌製剤若しくはこれらの散布のための装置又はこれらを運搬することができるロケット若しくは無人航空機であってその射程若しくは航続距離が 300km 以上のものではなく、それらの開発、

製造、使用又は貯蔵を行わないこと、JAEA と NNC との間で締結されている実施取決めから原子力の平和利用に限定して利用されることから、大量破壊兵器補完的輸出規制には該当しないことが分かった。

### 5.3.2 通常兵器補完的輸出規制に係る要件

リスト規制に該当しない場合でも、提供先が国連武器禁輸国・地域（国連の安全保障理事会の決議により武器の輸出が禁止されている国）である 10 カ国・地域であって、食料品や木材などを除くほぼすべての貨物を輸出する場合で、以下の（１）及び（２）に該当する場合は、規制の対象となる。ただし、相手先が非ホワイト国であるが国連武器禁輸国・地域でない場合は、通常兵器の開発等に用いられるおそれの強い貨物（輸出令別表 1 の 16 の項（１））に限り規制対象となる。

- （１）輸出しようとする貨物が、通常兵器等の開発等のために使用されるおそれがある場合。
- （２）経済産業大臣から許可の申請をすべき旨の通知を受けた場合。

カザフスタン共和国は、国連武器禁輸国・地域（アフガニスタン、コンゴ民主共和国、コートジボワール、イラク、レバノン、リベリア、北朝鮮、シエラレオネ、ソマリア、スーダン）には該当しないことが分かった。また、本貨物は、輸出令別表第 1 の 1 の項の中欄に掲げる貨物から核兵器を除いた通常兵器等の開発、製造、使用又は貯蔵に該当しないこと、JAEA と NNC との間で締結されている実施取決めから原子力の平和利用に限定して利用されることから、通常兵器補完的輸出規制に該当しないことが分かった。

## 5.4 調査結果

以上の調査により、Table 6 に示す INP-NNC-RK に輸送する貨物がリスト規制とキャッチオール規制ともに該当せず、輸出許可申請の必要がないことを確認した。次に、国際部の協力を得て、経済産業省安全保障貿易審査課を訪問し、貨物の輸出許可申請の有無の確認を行った。以上の結果、本貨物の輸出許可申請の必要が無いことが明らかになったため、INP-NNC-RK 側より支給依頼及びエンドユーザを発行してもらい、所定の輸出手続きを開始した。

## 5.5 輸送及び梱包

所定の輸出手続きが完了した JAEA で準備した Table 6 に示す貨物について、WWR-K 炉にて照射試験を行うため INP-NNC-RK への輸送を行った。

輸送においては、まずシリコン回転装置については Fig. 11 に示すように簡易包装を行い、シリコン試料、アルミニウム試料及びシリコン回転装置付属物については段ボール箱に箱詰めを行い、大洗研究開発センターから成田空港へ運搬した。成田空港に到着後、安全に航空輸送を行うため、木箱への梱包を行った。梱包作業の状況を Fig. 12 に、梱包後の写真を Fig. 13 に示す。その後、航空機による輸送を行い、平成 23 年 9 月 13 日にカザフスタン共和国アルマティ空港にて通関手続きを完了し、INP-NNC-RK に無事到着した。

## 6. まとめ

軽水減速冷却型の照射研究炉である JMTR において高品位シリコン半導体製造を行うための照射設備の検討の一環として、カザフスタン共和国国立原子力センター核物理研究所 (INP-NNC-RK)にある同じく軽水減速冷却型の研究炉である WWR-K 炉を用いてシリコン試料の照射試験を行うことが決まり、照射試験を行うために必要なシリコン回転装置の設計及び製作を行った。炉内の設置場所は、遮蔽ブロックに覆われていることから狭隘かつ多湿環境であり、炉外での遠隔操作が必要である点が設計上の課題であった。そのため、限られたスペースを最大限に活用できる構造を検討し、これに適した機器を選定するとともに、必要に応じて機器には気密処理を施すこととした。さらに、炉外に設置した制御盤に回転速度、昇降位置の表示計を設けることにより、遠隔での監視及び操作を可能とした。以上により設計上の課題を克服し、製作を行い、完成させた。完成後に性能試験を実施し、所定の性能を有することを確認し、本装置及び照射試料の輸出手続きを行い、平成 23 年 9 月 13 日に INP-NNC-RK への輸送を完了した。

その後、本装置を WWR-K 炉に設置し、平成 23 年 10 月より照射試験を実施している。

## 謝辞

本報告書をまとめるにあたり、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 鈴木雅秀センター長、神永雅紀副センター長、照射試験開発課 中村仁一研究副主幹、並びに原子力水素・熱利用センター 小型高温ガス炉研究開発ユニット 原子炉設計グループ 角田淳弥研究副主幹から有意義なご指導及びご助言を頂きました。また、INP-NNC-RK への輸送に関して、事業推進部門 国際部 国際協力課 高津戸裕司元課長から適切なご指導及びご協力を頂きました。以上、記して感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) NTD 技術検討会, 研究炉等(JRR-3,JRR-4 and JMTR)を用いた中性子核変換ドーピング Si 半導体(NTD-Si)製造機能拡充の検討, JAEA-Review 2005-006, (2005).
- 2) C. H. Carter, Jr, M. Brady, D. Malta, D. Henshall, S. Muller, V. Tsvetkov, R. Glass, D. Hobgood and A.Powell, 大口径、低欠陥 SiC 単結晶成長の現状, FED ジャーナル VOL.11 NO.2, (2000), p.7-10.
- 3) 材料試験炉部, JMTR 照射ハンドブック, JAERI-M 94023, (1994).
- 4) 細川甚作, 菅野勝, 坂本太一, JMTR を用いたシリコン半導体製造装置の概念検討, JAEA-Technology 2008-038, (2008).
- 5) P. Chakrov, F. Arinkin, Sh. Gizatulin, E. Bekmukhambetov, D. Nakipov, E. Chakrova, O. Maksimkin, WWR-K Research Reactor –Status and Future Plans, Proceedings of the International Symposium on Materials Testing Reactors, JAEA-Conf 2008-011, (2008), p.35-41.
- 6) 一般財団法人 安全保障貿易情報センター, 輸出管理基本情報, available from  
<[http://www.cistec.or.jp/export/yukan\\_gaiyou/index.html](http://www.cistec.or.jp/export/yukan_gaiyou/index.html)>
- 7) 経済産業省, 安全保障貿易管理ハンドブック (第3版), (2010), available from  
<<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/seminer/shiryo/100604handbook.pdf>>
- 8) 経済産業省 貿易経済協力局貿易管理部 安全保障貿易管理課ホームページ, available from  
<<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/index.html>>
- 9) 経済産業省 北海道経済産業局ホームページ, available from  
<[http://www.hkd.meti.go.jp/hokia/boueki\\_faq/index.htm](http://www.hkd.meti.go.jp/hokia/boueki_faq/index.htm)>
- 10) 関税と税関のてびき, 財務省 税関, available from  
<[http://www.customs.go.jp/zeikan/pamphlet/tebiki/index\\_tebiki.htm](http://www.customs.go.jp/zeikan/pamphlet/tebiki/index_tebiki.htm)>
- 11) 経済産業省, 貿易管理部法令遵守のポイント, 2010, available from  
<<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/kanri/topics/anposetsumeikai/setsumeikaisiryoyou/21fy3tekikakusetumeikaisiryoyou2jyunsyupoint.pdf>>
- 12) 輸出管理マニュアル (改定第1版), 日本原子力研究開発機構 国際部, 平成 22 年 1 月
- 13) 社団法人日本アルミニウム協会, アルミニウム材料特性データベース, available from  
<<http://metal.matdb.jp/JAA-DB/>>

**Table 1 Structural design condition**

|                            | Item                      | Design condition                                 |
|----------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------|
| Top of core                | Atmosphere                | Air                                              |
|                            | Humidity                  | 100%                                             |
| Irradiation tube<br>(K-23) | Height (Max.)             | 4.900m                                           |
|                            | Internal diameter         | 193mm                                            |
|                            | Atmosphere                | Coolant water / Air                              |
|                            | Coolant water level       | At least 2 m above the top of the effective core |
|                            | Coolant water temperature | about 45°C                                       |
|                            | Coolant water flow        | No                                               |
| Power source               | In-core<br>Ex-core        | 48V (AC50Hz / DC)<br>220V (AC50Hz / DC)          |

**Table 2 Requirements and those countermeasures**

| Item               | Requirement                                                                                                                                                                                                                                        | Countermeasure                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Holder of Si ingot | ①Consistency of the axial center position of Si ingot with different height<br>②No accumulation of coolant water or air into the holder during loading or unloading<br>③Avoidance of activation of impurity by thermal neutron as much as possible | ①Position coordination by a spacer<br><br>②Set up of holes for coolant water and air on the bottom of the holder of Si ingot<br>③Use of materials made of high purity aluminum                                            |
| Rotating motor     | ①Remote control during reactor operation<br>②Detection of rotating speed of the ingot<br>③Fixing of the motor itself against rotating<br>④Moisture prevention of the motor                                                                         | ①Control by the control panel or the remote control panel<br>②Installation of revolution indicator<br><br>③Fixing of the motor by two guide pipes<br>④Air sealing against dew condensation                                |
| Up-and-down motor  | ①Remote control during reactor operation<br>②Detection of axial location of the ingot<br><br>③Safety stopping of the motor at the upper and lower limit position<br>④Moisture prevention of the motor                                              | ①Control by the control panel or the remote control panel<br>②Installation of encoder and indication of position in the control panel<br>③Automatic stopping by limit switch<br><br>④Air sealing against dew condensation |

**Table 3 Table of structural drawing number**

| No. | Name                          | Material   | N | No. | Name                       | Material  | N |
|-----|-------------------------------|------------|---|-----|----------------------------|-----------|---|
| 1   | Base                          | SUS304     | 1 | 41  | Stepping motor unit        |           | 1 |
| 2   | Flange for up-and-down 1      | SUS304     | 1 | 42  | Striker                    | SUS304    | 1 |
| 3   | Flange for up-and-down 2      | SUS304     | 1 | 43  | Striker holder             | SUS304    | 1 |
| 4   | Connecting shaft              | SUS304     | 1 | 44  | Upper LS's bracket         | SUS304    | 1 |
| 5   | Set collar A                  | SUS304     | 1 | 45  | Limit switches A           |           | 2 |
| 6   | Guide shaft                   | SUS304     | 2 | 46  | Spring                     | SUS304    | 1 |
| 7   | Aluminum chain                | A5052      | 1 | 47  | Missing number             |           |   |
| 8   | Drum bracket                  | SUS304     | 1 | 48  | Missing number             |           |   |
| 9   | Flange                        | SUS304     | 1 | 49  | Drum flange B              | SUS304    | 1 |
| 10  | Brushless DC motor unit       |            | 1 | 50  | Washer C                   | SUS304    | 1 |
| 11  | Upright A                     | SUS304     | 3 | 51  | Guide pipe                 | SUS304    | 1 |
| 12  | Mechanical joining device     | SUS/Bronze | 1 | 52  | Nut                        | SUS       | 2 |
| 13  | Needle roller bearings        | SUJ2       | 1 | 53  | Striker for Rotation motor | SUS304    | 1 |
| 14  | Eyebolt A                     | SUS304     | 1 | 54  | Hexagon socket head screw  | SUS/Brass | 1 |
| 15  | Drum shaft                    | SUS304     | 1 | 55  | Cover A                    | SUS304    | 1 |
| 16  | Set collar B                  | SUS304     | 2 | 56  | Gasket A                   | Rubber    | 1 |
| 17  | Bearing set                   | SUS        | 1 | 57  | Flame-retarded grommet     |           | 3 |
| 18  | Bevel gear A                  | S45C       | 1 | 58  | Upright B                  | SUS304    | 4 |
| 19  | Bevel gear B                  | S45C       | 1 | 59  | Cover B1                   | SUS304    | 1 |
| 20  | Missing number                |            |   | 60  | Cover B2                   | SUS304    | 1 |
| 21  | Drum A                        | SUS304     | 1 | 61  | Gasket B                   | Rubber    | 1 |
| 22  | Drum B                        | SUS304     | 1 | 62  | Set collar D               | SUS304    | 2 |
| 23  | Drum flange A                 | SUS304     | 2 | 63  | Hexagon coupling bolt      | SUS       | 2 |
| 24  | Spur gears A                  | S45C       | 1 | 64  | Lower LS Bracket           | SUS304    | 2 |
| 25  | Spur gears B                  | S45C       | 1 | 65  | LS B                       |           |   |
| 26  | Bracket for Up-and-down motor | SUS304     | 1 | 66  | Rotation LS's bracket      | SUS304    | 1 |
| 27  | Bearing holder                | SUS304     | 1 | 67  | LS C                       |           | 1 |
| 28  | Bearing                       | SUJ2       | 2 | 68  | Collar                     | SUS304    | 2 |
| 29  | Set collar C                  | SUS304     | 1 | 69  | Hexagon coupling bolt      | SUS       | 2 |
| 30  | Hexagon socket head screw     | SUS/Brass  | 2 | 70  | Leg                        | SUS304    | 2 |
| 31  | Key                           | SUS316     | 1 | 71  | Eyebolt                    | SUS304    | 4 |
| 32  | Washer A                      | SUS304     | 1 | 72  | Extension Screw            | SUS304    | 4 |
| 33  | Holder of Si ingot            | Al070      | 1 | 73  | Hexagon coupling bolt      | SUS       | 1 |
| 34  | Al ingot L=278                | Al070      | 1 | 74  | Spacer strip               | Al050     | 1 |
| 35  | Al ingot L=202                | Al070      | 1 | 75  | Encoder                    |           | 1 |
| 36  | Key B                         | SUS304     | 1 |     |                            |           |   |
| 37  | Key C                         | SUS304     | 1 |     |                            |           |   |
| 38  | Key D                         | SUS304     | 1 |     |                            |           |   |
| 39  | Wire                          | SUS304     | 1 |     |                            |           |   |
| 40  | Washer B                      | SUS304     | 1 |     |                            |           |   |



**Table 4 Inspection result of Si rotating device**

| Inspection item        | Test object          | Inspection result | Remark                                 |
|------------------------|----------------------|-------------------|----------------------------------------|
| Visual inspection      | Rotating device※     | Pass              |                                        |
|                        | Control panel        | Pass              |                                        |
|                        | Remote control panel | Pass              |                                        |
| Dimensional inspection | Rotating device      | Pass              | Measuring equipment :<br>Slide calipas |
|                        | Control panel        | Pass              | Measuring equipment :<br>Tape measure  |
|                        | Remote control panel | Pass              | Measuring equipment :<br>Tape measure  |
| Number inspection      | Rotating device      | Pass              | Check with eyes                        |
|                        | Control panel        | Pass              | Check with eyes                        |
|                        | Remote control panel | Pass              | Check with eyes                        |
| Material inspection    | Holder of Si ingot   | Pass              | Review of mill sheet                   |
|                        | Spacer strip         | Pass              | Review of mill sheet                   |

※Rotating device : Holder of Si ingot, rotating motor and up-and-down motor.

**Table 5 Item of performance verification test(1/4)**

| Inspection item |                           | Inspection method                                                                                                   | Criterion                                                       |
|-----------------|---------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Control panel   | POWER Lamp                | Connect the control panel to a power source and turn on the switch.                                                 | The POWER Lamp turns on.                                        |
|                 | PANEL-REMOTE SELECTION SW | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and operate each switch in the remote control panel.                  | Operate each switch in the remote control panel, and not work.  |
|                 |                           | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and operate each switch in the control panel.                         | Operate each switch in the control panel, and it does not work. |
|                 | OPERATION SW              | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel.                         | The lamp of "OPERATION SW" flashes 5 times, and turns on.       |
|                 |                           | Push "OPERATION SW" again.                                                                                          | The lamp of "OPERATION SW" is remained on.                      |
|                 |                           | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE,                                                                      | The lamp of "OPERATION SW" turns off.                           |
|                 | WINCH UP SW               | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and push "WINCH UP SW". | The winch rises.                                                |
|                 |                           |                                                                                                                     | The lamp of "WINCH UP SW" flashes when winch is rising.         |
|                 |                           | Push "WINCH UP SW" again when winch is rising.                                                                      | The winch stop.                                                 |
|                 |                           |                                                                                                                     | The lamp of "WINCH UP SW" is turned off.                        |



**Table 5 Item of performance verification test(2/4)**

| Inspection item      |                         | Inspection method                                                                                                                                                                      | Criterion                                                                   |
|----------------------|-------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| Control panel        | WINCH DOWN SW           | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and push "WINCH DOWN SW".                                                                  | The winch goes down.                                                        |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The lamp of "WINCH DOWN SW" flashes when winch is going down.               |
|                      |                         | Push "WINCH DOWN SW" again when winch is going down.                                                                                                                                   | The winch stops.                                                            |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The lamp of "WINCH DOWN SW" is turned off.                                  |
|                      | ROTATOIN ON SW          | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and push "ROTATION ON SW".                                                                 | The holder of Si ingot rotates                                              |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The lamp of "ROTATION ON SW" turns on.                                      |
|                      | ROTATOIN OFF SW         | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and push "ROTATION OFF SW" when the holder of Si ingot is rotating.                        | Rotation of the holder of Si ingot is stopped.                              |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The lamp of "ROTATION ON SW" is turned off.                                 |
|                      | SCAN-INDEX SELECTION SW | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and set the "SCAN-INDEX SELECTION SW" as SCAN. Push the "WINCH UP SW" or "WINCH DOWN SW".  | The winch rises and goes down by operation.                                 |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The lamp of "WINCH UP SW" or "WINCH DOWN SW" flashes when winch is working. |
|                      |                         | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and set the "SCAN-INDEX SELECTION SW" as INDEX. Push the "WINCH UP SW" or "WINCH DOWN SW". | The lamp of "OPERATION SW" turns on.                                        |
|                      |                         |                                                                                                                                                                                        | The winch rises and goes down the level that was set.                       |
| Remote control panel | POWER Lamp              | Connect the control panel to the remote control panel by a cable. Connect the control panel to a power source and turn on the switch.                                                  | The POWER LAMP of remote control panel is turned on.                        |
|                      | OPERATION SW            | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and push "WINCH DOWN SW".                                                          | The lamp of "OPERATION SW" flashes 5 times, and turns on.                   |
|                      |                         | Push the "OPERATION SW" in the remote control panel again.                                                                                                                             | The lamp of "OPERATION SW" is remained on.                                  |
|                      |                         | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL.                                                                                                                                          | The lamp of "OPERATION SW" is turned off.                                   |

**Table 5 Item of performance verification test(3/4)**

| Inspection item            |                                  | Inspection method                                                                                                                                                       | Criterion                                                      |
|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Remote control panel       | WINCH UP SW                      | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and push "WINCH UP SW".                                             | The winch rises.                                               |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "WINCH UP SW" flashes when winch is rising.        |
|                            |                                  | Push "WINCH UP SW" again when winch is rising.                                                                                                                          | The winch stops.                                               |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "WINCH UP SW" is turned off.                       |
|                            | WINCH DOWN SW                    | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and push "WINCH DOWN SW".                                           | The winch goes down.                                           |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "WINCH DOWN SW" flashes when winch is going down.  |
|                            |                                  | Push "WINCH DOWN SW" again when winch is going down.                                                                                                                    | The winch stops.                                               |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "WINCH DOWN SW" is turned off.                     |
|                            | ROTATOIN ON SW                   | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and push "ROTATION ON SW".                                          | The holder of Si ingot rotates                                 |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "ROTATION ON SW" is turned on.                     |
|                            | ROTATOIN OFF SW                  | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and push "ROTATION OFF SW" when the holder of Si ingot is rotating. | Rotation of the holder of Si ingot is stopped.                 |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | The lamp of "ROTATION ON SW" is turned off.                    |
| The operation confirmation | The test of lifting and lowering | Operate the control panel to winch up and down on the holder of Si ingot.                                                                                               | ①The holder of Si ingot easily rise and goes down              |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | ②Present position is indicated by indicator.                   |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | ③The speed of winch up and down is $1 \pm 10\%$ m/min.         |
|                            | Rotation test                    | Operate the control panel to rotate the holder of Si ingot.                                                                                                             | ①The holder of Si ingot rotates easily.                        |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | ②Rotating speed of the holder of Si ingot is $2 \pm 10\%$ rpm. |
|                            | Confirmation of the upper limit  | Operate the control panel to winch up to the upper limit switch.                                                                                                        | ①The winch stops at the upper limit.                           |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | ②The lamp of "WINCH UP SW" changes from flashing to lighting.  |
|                            |                                  |                                                                                                                                                                         | ③The lamp of "UPPER LIMIT" turns on.                           |

**Table 5 Item of performance verification test(4/4)**

| Inspection item            |                                                                      | Inspection method                                                                                                                                                                                                        | Criterion                                                                                                                                       |
|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| The operation confirmation | Confirmation of the lower limit                                      | Operate the control panel to winch down to the lower limit switch.                                                                                                                                                       | ①The winch stops at the lower limit.<br>②The lamp of "WINCH DOWN SW" changes from flashing to lighting.<br>③The lamp of "LOWER LIMIT" turns on. |
|                            | Confirmation of the operation by the switch of the "WINCH POSITION". | Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and set the "SCAN-INDEX SELECTION SW" as INDEX.                                                                              |                                                                                                                                                 |
|                            |                                                                      | ① Type in the height from lower limit switch on "WINCH POSITION", and push "WINCH UP SW" or "WINCH DOWN SW".                                                                                                             | The winch stops by the typed height.                                                                                                            |
|                            |                                                                      | ② Type in the height from lower limit switch which is exceeded value for the upper limit, and push "WINCH UP SW"                                                                                                         | The winch stops at the upper limit.                                                                                                             |
|                            |                                                                      | ③ Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as REMOTE, and push "OPERATION SW" in the remote control panel, and set the "SCAN-INDEX SELECTION SW" as INDEX. Push "WINCH UP SW" or "WINCH DOWN SW" on the remote control panel. | The holder of Si ingot rises and goes down irrespective of the typed height into "WINCH POSITION".                                              |
|                            | Confirmation of the underwater operation.                            | Put the Al ingot in the holder of Si ingot, and put it in the water tank. Set the "PANEL-REMOTE SELECTION SW" as PANEL, and push "OPERATION SW" in the control panel, and push "ROTATION ON SW".                         | The holder of Si ingot rotates easily.                                                                                                          |

**Table 6 Goods for export to INP-NNC-RK**

| Goods name             | Quantity | Weight |
|------------------------|----------|--------|
| (1) Si rotating device | 1set     | 120kg  |
| (2) Si ingot           | 2        | 20.1kg |
| (3) Al ingot           | 4        | 45kg   |

**Table 7 The summary of Goods and Technologies subject to regulation by Foreign Exchange and Foreign Trade Control Act .<sup>12)</sup>**

|                   |                                    | No. | Goods and Technologies subject to regulation.                | International framework for evidence.            |
|-------------------|------------------------------------|-----|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| List Control      | Weapon                             | 1   | Ordnance stores.                                             | WA<br>(Wassenaar Arrangement)                    |
|                   | Weapon of mass destruction-related | 2   | Nuclear weapons-related.                                     | NSG<br>(Nuclear Suppliers Group)                 |
|                   |                                    | 3   | Chemical weapons-related.                                    | AG                                               |
|                   |                                    | 3-2 | Biological weapons-related.                                  | (Australia Group)                                |
|                   |                                    | 4   | Missile-related.                                             | MTCR<br>(Missile technology Control Regime)      |
|                   | Conventional weapon-related        | 5   | Advanced material.                                           | WA<br>(Wassenaar Arrangement)                    |
|                   |                                    | 6   | Material processing.                                         |                                                  |
|                   |                                    | 7   | Electronics.                                                 |                                                  |
|                   |                                    | 8   | Computer.                                                    |                                                  |
|                   |                                    | 9   | Communication-related.                                       |                                                  |
|                   |                                    | 10  | Sensor and laser.                                            |                                                  |
|                   |                                    | 11  | Navigation-related.                                          |                                                  |
|                   |                                    | 12  | Marine-related.                                              |                                                  |
|                   |                                    | 13  | Propulsion unit.                                             |                                                  |
|                   |                                    | 14  | Others.                                                      |                                                  |
|                   |                                    | 15  | Subtleties item.                                             |                                                  |
| Catch-all Control | Weapon of mass destruction-related | 16  | Almost all of the items except foods and woods and so forth. | Catch-all control of weapons of mass destruction |
|                   | Conventional weapon-related        |     |                                                              | Catch-all control of conventional weapons        |



(1) Si ingot ( $\phi 151\text{mm} \times 202\text{mm}$ )



(2) Si ingot ( $\phi 151\text{mm} \times 278\text{mm}$ )

Fig. 1 Si ingot

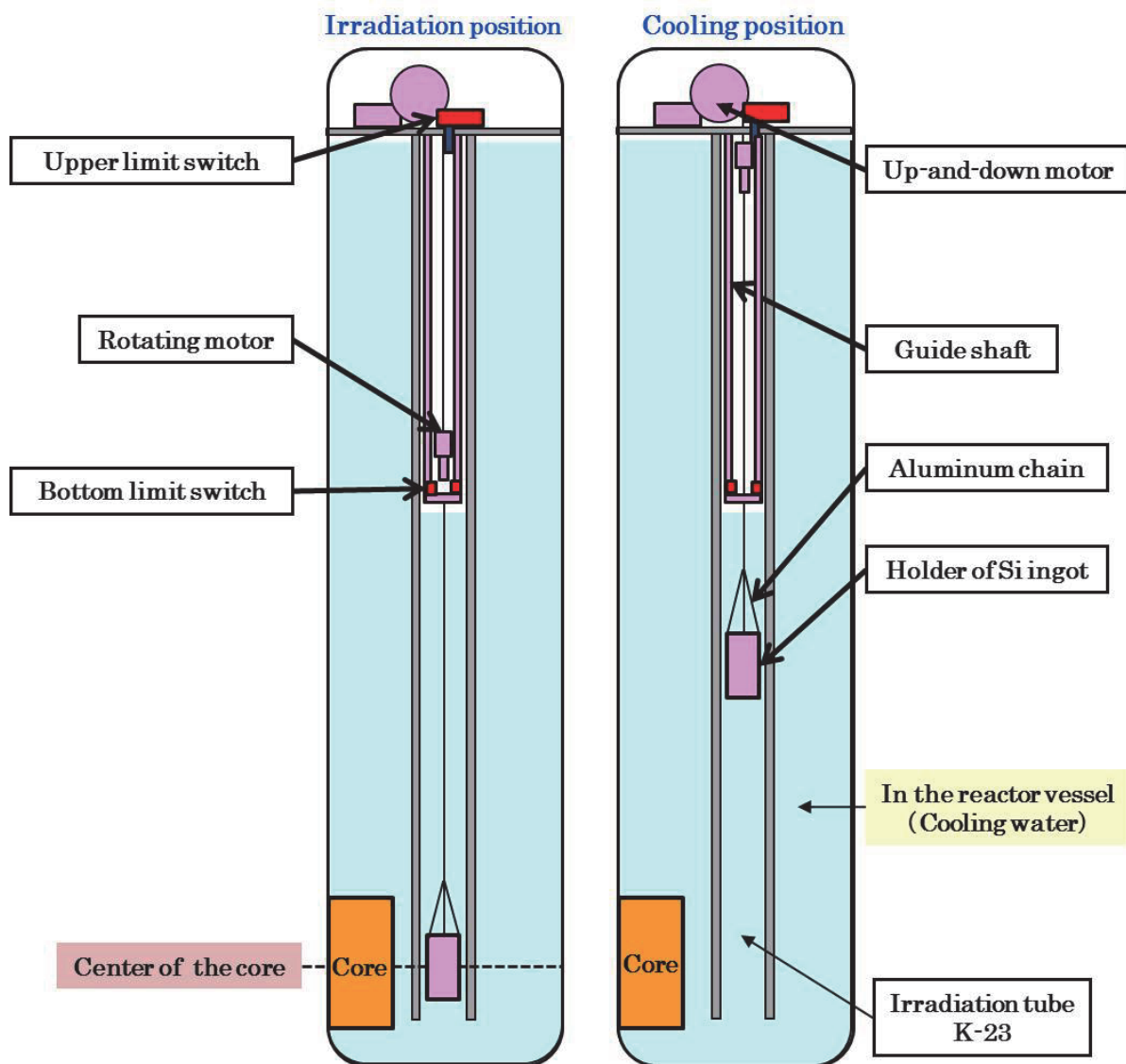


Fig. 2 Schematic drawing of the Si rotating device

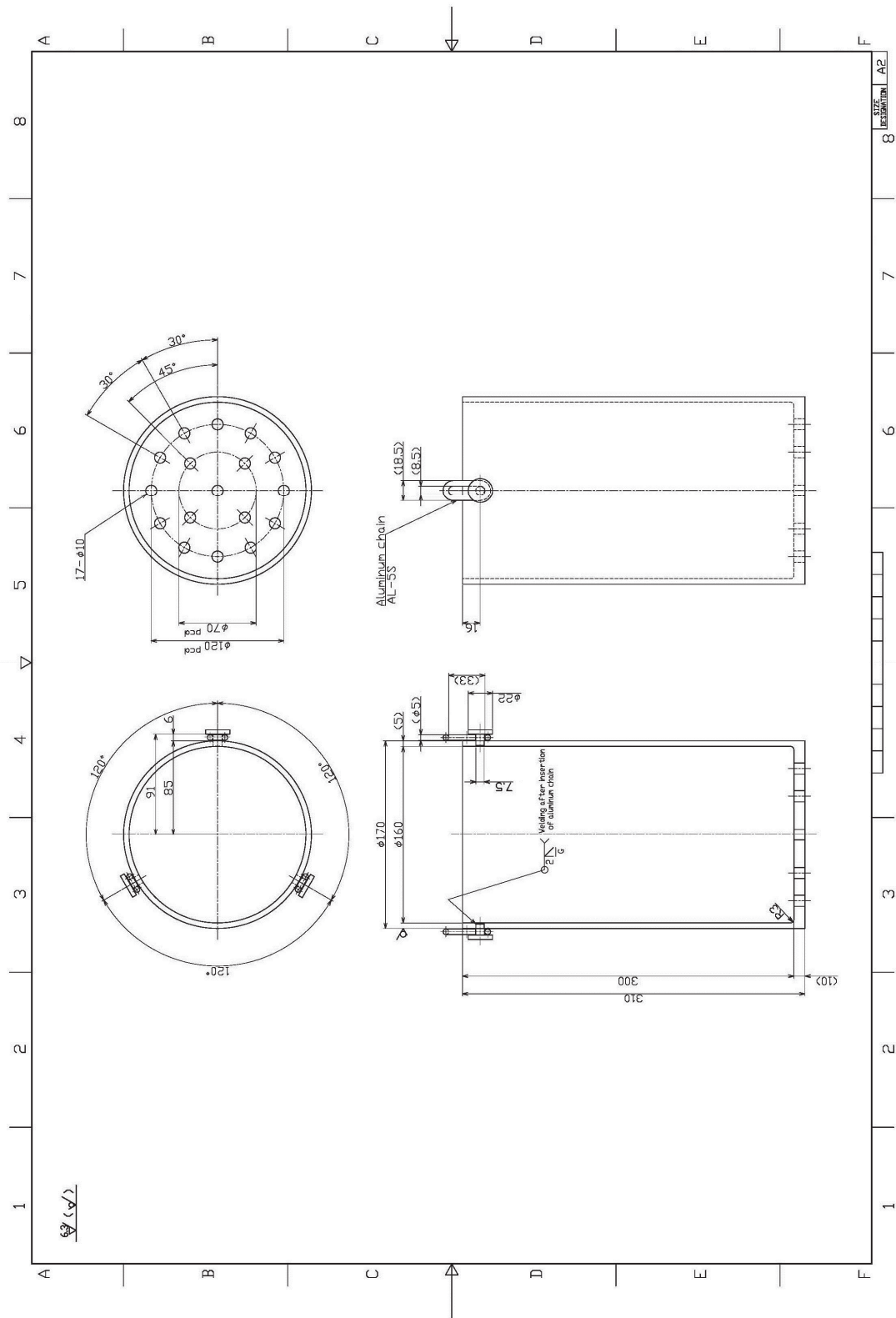
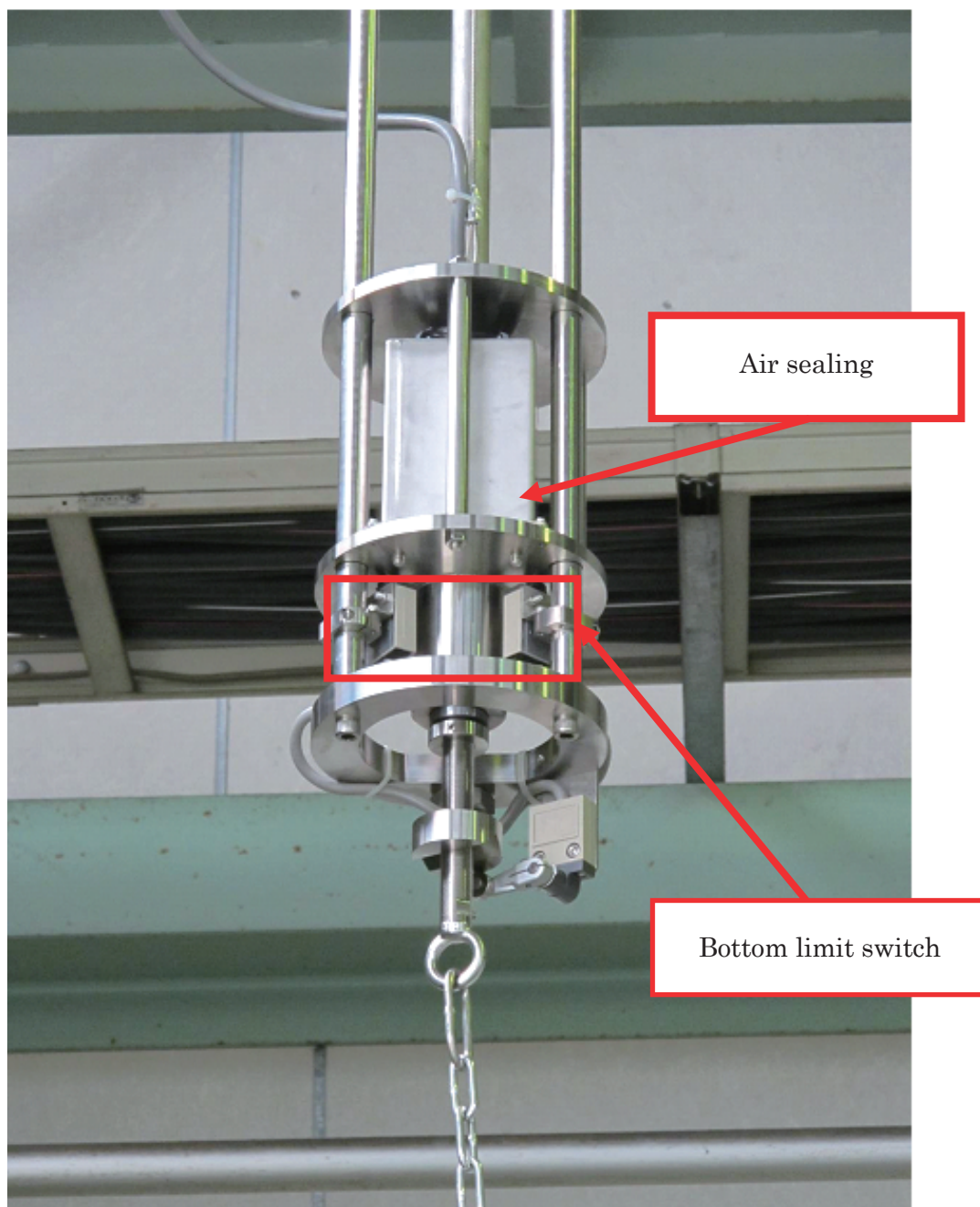


Fig.3 Structural drawing of the holder of Si ingot





**Fig. 4 Photograph of the rotating motor**



– 21 –

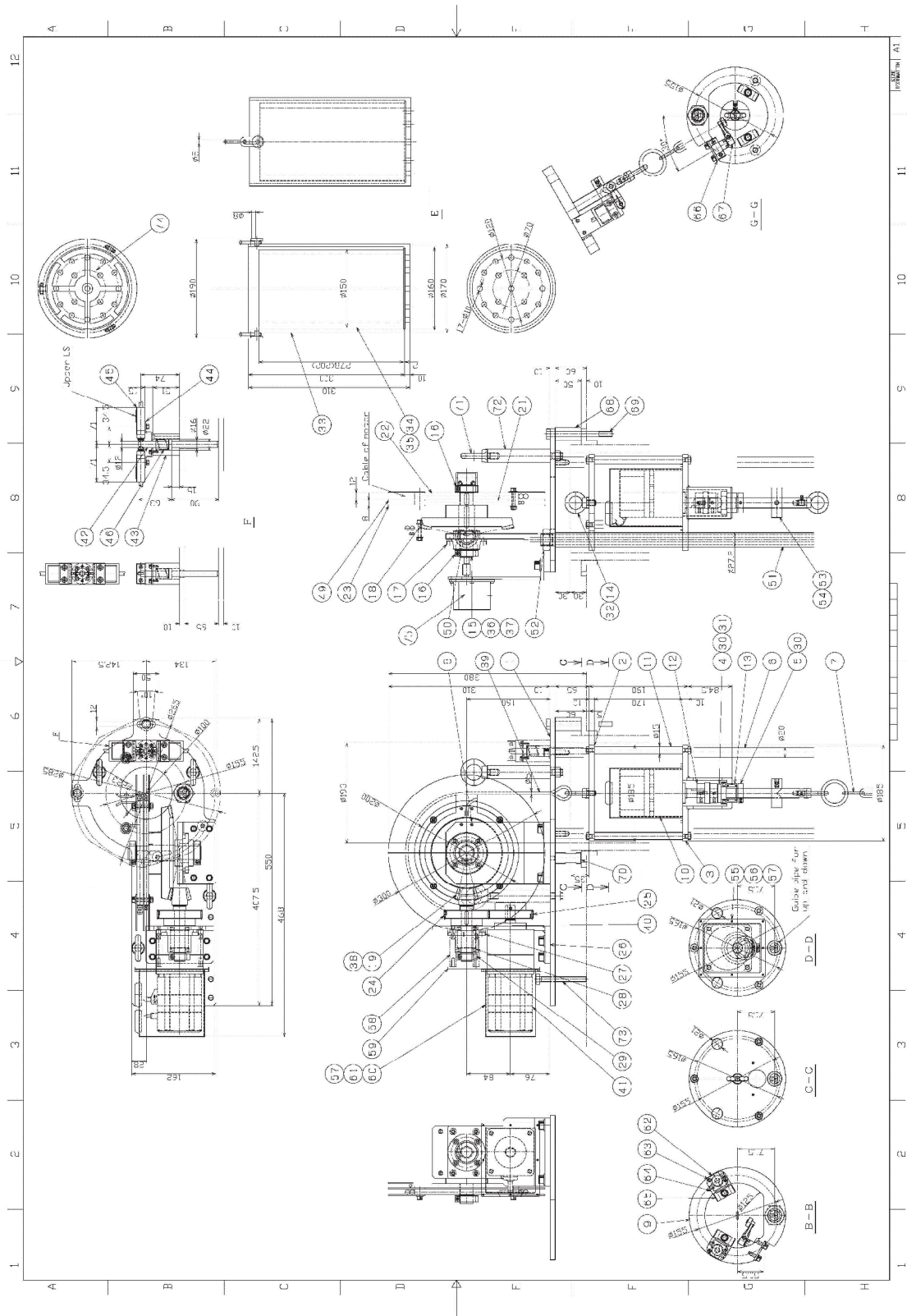


Fig. 6 Structural drawing of the Si rotating device (2/2)

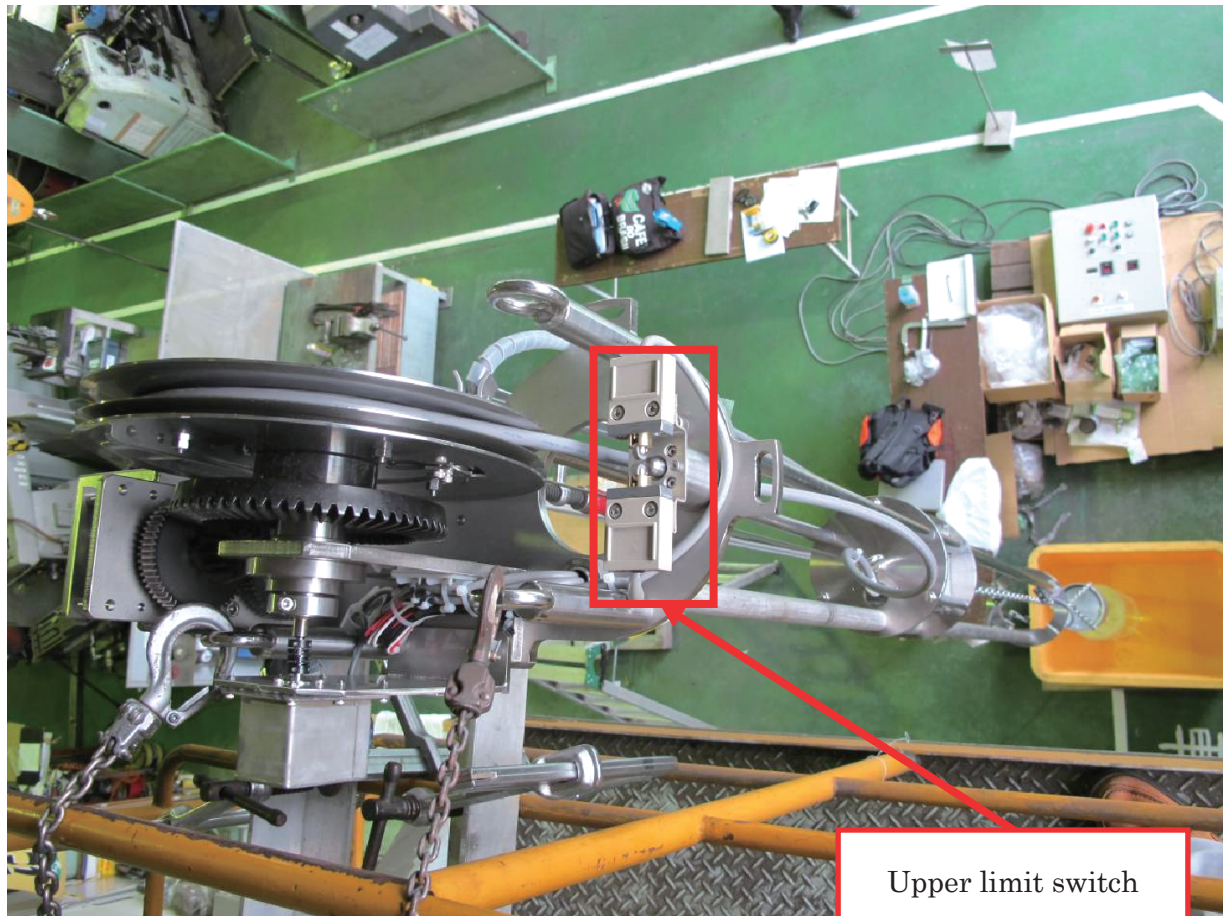


Fig. 7 Photograph of the up-and-down motor





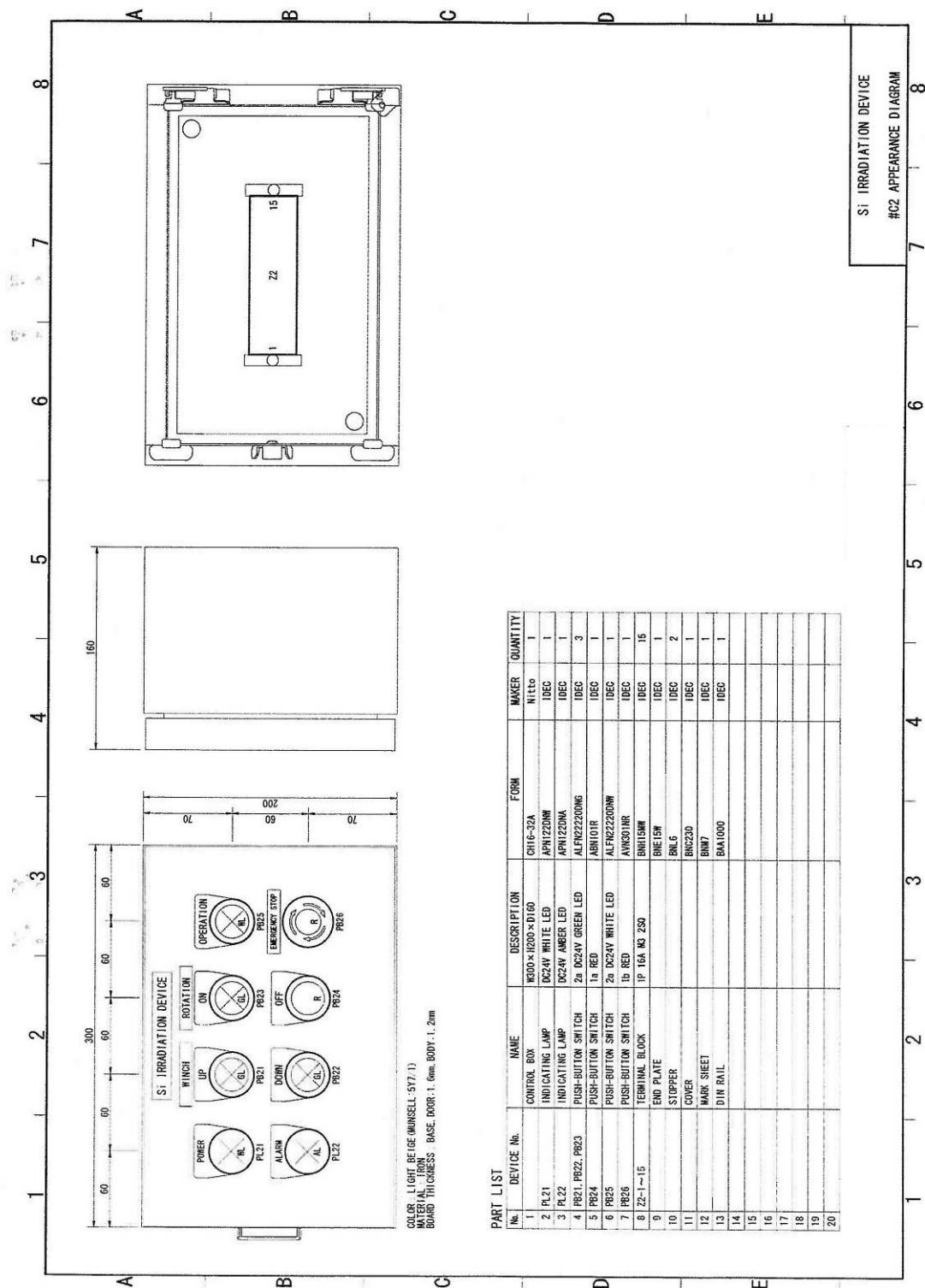


Fig. 9 Structural drawing of the remote control panel



Fig. 10 The whole photograph of the Si rotating device



**Fig.11 Simple packing of Si rotating device**



**Fig.12 Crating work**





(1) Si rotating device



(2) Si ingot and Al ingot

**Fig. 13 Photograph of the crated goods**

## 付録1 輸出令及び貨物等省令のマトリクス

INP-NNC-RK に輸送する貨物の規制内容の確認は、経済産業省「安全保障貿易管理 貨物のマトリクス表（<http://www.meti.go.jp/policy/anpo/kanri/shyourei-matrix/matrix1.htm>）に基づいて行った。以下に関連する輸出令及び貨物等省令のマトリクスを抜粋した。

### (1) シリコン回転装置

| 輸出令第2項            |                                               | 貨物等省令第1条            |                                                                                 | 解 釈      |                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-------------------|-----------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項番                | 項 目                                           | 項番                  | 項 目                                                                             | 用 語      | 用語の意味                                                                                                                                                                                                                                               |
| 輸出令<br>第2項<br>(2) | 原子炉若しくはその部分品若しくは附属装置又は原子炉用に設計した発電若しくは推進のための装置 | 貨物等省令<br>第1条<br>第二号 | 原子炉若しくはその部分品若しくは附属装置又は車両、船舶、航空機若しくは宇宙空間用若しくは打ち上げ用の飛しょう体の原子炉用に設計した発電若しくは推進のための装置 | 原子炉の部分品  | 原子炉本体を構成するために設計又は製造されたものであって、次のいずれかに該当するものをいう。<br>イ 原子炉容器又はその主要部分品（上部蓋を含む。）<br>ロ 原子炉制御棒、中性子吸収部分の支持及び懸架機構、制御棒案内管<br>ハ 炉心板、炉心支持板、炉心支持柱、燃料チャネル、炉心槽、熱遮へい板、炉心バップル、分散板、シュラウド、シュラウドヘッド、上部格子板、気水分離機、蒸気乾燥機、原子炉容器内に設置する中性子検出器若しくは中性子測定器又はその他の内部部分品            |
|                   |                                               |                     |                                                                                 | 原子炉の附属装置 | 原子炉本体の外側に据え付けられるために設計又は製造されたものであって、次のいずれかに該当するものをいう。<br>イ 原子炉への燃料装荷、取出装置<br>ロ 一次冷却材を循環させるポンプ<br>ハ 中性子束レベルを決定するための中性子検出器又は中性子測定器<br>ニ 蒸気発生器又は熱交換器（発生した熱を一次系から二次系へ伝えるために設計又は製造された蒸気発生器又は高速増殖炉の中間熱交換器に限る。非常用炉心冷却系及び崩壊熱冷却系に用いられるものを除く。）<br>ホ 原子炉制御棒駆動機構 |

– 30 –

(3) アルミニウム試料

| 輸出令第2項             |                                                                                                                                                                             | 貨物等省令第1条              |                                                                                                      | 解 釈                     |                                                                        |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| 項番                 | 項 目                                                                                                                                                                         | 項番                    | 項 目                                                                                                  | 用 語                     | 用語の意味                                                                  |
| 輸出令<br>第2項<br>(17) | ガス遠心分離機のロータに用いられる構造材料であつて、次に掲げるもの(四の項の中欄に掲げるものを除く。)<br><br>1 アルミニウム合金<br>2 炭素繊維、アラミド繊維若しくはガラス繊維、炭素繊維若しくは炭素繊維を使用したプリプレグ又は炭素繊維若しくはアラミド繊維を使用した成型品<br><br>3 マルエージング鋼<br>4 チタン合金 | 貨物等省令<br>第1条<br>第二十二号 | ガス遠心分離機のロータに用いられる構造材料であつて、次のいずれかに該当するもの                                                              | ロータに用いられる構造材料           | ロータに用いることができる構造材料をいう。                                                  |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | イ アルミニウム合金(鍛造したものを含む。)であつて、引張強さが20度の温度において460メガパスカル以上となるもののうち、外径が75ミリメートルを超える棒又は円筒形のもの               | 引張強さが460メガパスカル以上となるもの   | 製造業者が発行する技術資料等により当該貨物の熱処理を行った場合に、引張強さが460メガパスカル以上となることを製造業者が保証するものをいう。 |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | ロ 炭素繊維、アラミド繊維若しくはガラス繊維、炭素繊維若しくはガラス繊維を使用したプリプレグ又は炭素繊維若しくはアラミド繊維を使用した成型品であつて、次のいずれかに該当するもの             | 外径が75ミリメートルを超える棒又は円筒形   | 外径が75ミリメートルを超える円筒形のものをつくることができる円柱形又は円筒形のもので、外径に比し高さの長いものをいう。           |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | 〈一〉炭素繊維又はアラミド繊維であつて、次のいずれかに該当するもの<br>1 比弾性率が12,700,000メートル以上のもの<br>2 比強度が235,000メートル以上のもの            | 炭素繊維、アラミド繊維、ガラス繊維       | 連続したモノフィラメント、ヤーン、ロービング、トウをいう。                                          |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | 〈二〉ガラス繊維であつて、次の1及び2に該当するもの<br>1 比弾性率が3,180,000メートル以上のもの<br>2 比強度が76,200メートル以上のもの                     | 比弾性率                    | 23度プラスマイナス2度の温                                                         |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | 〈三〉〈一〉又は〈二〉に該当する炭素繊維又はガラス繊維に熱硬化性樹脂を含浸したプリプレグであつて、次のいずれかに該当するもの<br>1 繊維状のもの<br>2 幅が15ミリメートル以下のテープ状のもの | 比強度                     | 23度プラスマイナス2度の温                                                         |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | 〈四〉〈一〉に該当する繊維又は〈三〉に該当するプリプレグ(炭素繊維を使用したものに限る。)を用いた円筒形の成型品であつて、内径が75ミリメートル超400ミリメートル未満のもの              | 引張強さが2,050メガパスカル以上となるもの | 製造業者が発行する技術資料                                                          |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | ハ マルエージング鋼であつて、引張強さが20度の温度において2,050メガパスカル以上となるもののうち、寸法の最大値が75ミリメートルを超えるもの                            | 寸法の最大値                  | あらゆる方向について当該貨                                                          |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       | ニ チタン合金(鍛造したものを含む。)であつて、引張強さが20度の温度において900メガパスカル以上となるもののうち、外径が75ミリメートルを超える棒又は円筒形のもの                  | 引張強さが900メガパスカル以上となるもの   | 製造業者が発行する技術資料                                                          |
|                    |                                                                                                                                                                             |                       |                                                                                                      |                         |                                                                        |

| 輸出入第4項        |                             | 貨物等省令第3条        |                                                                                                                                                                                         | 解釈                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項番            | 項目                          | 項番              | 項目                                                                                                                                                                                      | 用語                                            | 用語の意味                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|               | 次に掲げる貨物であって、経済産業省令で定める仕様のもの |                 | 輸出入別表第1の4の項の経済産業省令で定める仕様のものは、次のいずれかに該当するものとする。                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 輸出入第4項<br>(6) | 推進薬又はその原料となる物質              | 貨物等省令第3条<br>第七号 | 推進薬又はその原料となる物質であって、次のいずれかに該当するもの                                                                                                                                                        | その原料となる物質                                     | 当該貨物(省令第3条第7号イ、ホ、ヘ又はトに該当するものを除く。)を含む混合物にあっては、推進薬製造のために設計したものをいう。                                                                                                                                                                                                                                      |
|               |                             |                 | イ 濃度が70パーセントを超えるヒドラジン<br>ロ ヒドラジンの誘導体                                                                                                                                                    | ヒドラジンの誘導体                                     | 非対称ジメチルヒドラジン、モノメチルヒドラジン、硝酸ヒドラジン(硝酸ヒドラジウム、トリメチルヒドラジン、テトラメチルヒドラジン、N/N-ジアリルヒドラジン、アリルヒドラジン、エチレンジヒドラジン、モノメチルヒドラジニ硝酸塩、非対称ジメチルヒドラジン硝酸塩、アジヒドヒドラジニウム、アジヒドジメチルヒドラジニウム、ジイミドしゅう酸ヒドラジン、2-ヒドロキシエチルヒドラジン硝酸塩、過塩素酸ヒドラジニウム(過塩素酸ヒドラジン)、二過塩素酸ヒドラジニウム、メチルヒドラジン硝酸塩、ジエチルヒドラジン硝酸塩及び1-4-ジヒドラジノテトラジン硝酸塩(3-6-ジヒドラジノテトラジン硝酸塩)をいう。 |
|               |                             |                 | ハ 過塩素酸アンモニウム                                                                                                                                                                            |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ニ アンモニウムジニトラミド                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ホ 粒子が球形で、その径が200マイクロメートル未満のアルミニウムの粉であって、重量比による純度が97パーセント以上のもののうち、国際規格ISO2591(1988)又はこれと同等の規格で定める測定方法により測定した径が63マイクロメートル未満のものの含有量が全重量の10パーセント以上のもの                                       |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ヘ 重量比による純度が97パーセント以上のジルコニウム(天然の比率でジルコニウムに含まれるハフニウムを含む。)、ベリリウム、マグネシウム又はこれらの合金であって、粒子の径が60マイクロメートル未満の粉末状のもの                                                                               | 同等の規格                                         | 日本工業規格JIS Z 2820を含む。                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|               |                             |                 | ト 重量比による純度が85パーセント以上のほう素又はその合金であって、粒子の径が60マイクロメートル未満の粉末状のもの                                                                                                                             | 貨物等省令第3条第7号<br>ヘ中のジルコニウム、ベリリウム、マグネシウム又はこれらの合金 | アルミニウム、マグネシウム、ジルコニウム又はベリリウムによりカプセル封じをしたものを含む。                                                                                                                                                                                                                                                         |
|               |                             |                 | チ 過塩素酸塩、塩素酸塩又はクロム酸塩であって、粉末状の金属又は燃料成分が混合されたもの                                                                                                                                            | ほう素又はその合金                                     | アルミニウム、マグネシウム、ジルコニウム又はベリリウムによりカプセル封じをしたものを含む。                                                                                                                                                                                                                                                         |
|               |                             |                 | リ カルボラン、デカボラン、ペンタボラン又はこれらの誘導体                                                                                                                                                           |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ヌ 液体酸化剤であって、次のいずれかに該当するもの                                                                                                                                                               | 窒素酸化物の混合物                                     | 二酸化窒素又は四酸化二窒素と酸化窒素の混合溶液をいう。                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|               |                             |                 | (一) 三酸化二窒素<br>(二) 二酸化窒素又は四酸化二窒素<br>(三) 五酸化二窒素<br>(四) 窒素酸化物の混合物<br>(五) 耐腐食性を有する赤褐色固体<br>(六) ぶっ素及びその他のハロゲン、酸素又は窒素からなる化合物(気体の3ぶっ化窒素を除く。)                                                   | 化石燃料又は植物由来する有機物を原材料として製造される燃料を用いて製造したもの       | 本邦又は外国政府機関による型式証明を受けた民間航空機のエンジンに使用するために特別に製造したものを含む。                                                                                                                                                                                                                                                  |
|               |                             |                 | ル 末端にカルボキシル基を有するポリブタジエン                                                                                                                                                                 |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ラ 末端に水酸基を有するポリブタジエン                                                                                                                                                                     |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ワ グリシジルアジドの重合体                                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | カ プタジエンとアクリル酸との重合体                                                                                                                                                                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | コ プタジエンとアクリロニトリルとアクリル酸との重合体                                                                                                                                                             |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | タ 次のいずれかに該当する推進薬<br>(一) 1キログラム当たりの発熱量が40,000,000ジュール以上の固体及び液体の混合燃料<br>(二) 20度の温度かつ1気圧において計測した一立方メートル当たりの発熱量が97,500,000,000ジュール以上の燃料及び燃料添加剤(化石燃料又は植物由来する有機物を原材料として製造される燃料を用いて製造したもの)を除く。 |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | レ トリス——(ニメチル)アジリジニルホスフィンオキシド                                                                                                                                                            |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | シ テトラエチレンベンタミン、アクリロニトリル及びグリシドールの反応生成物                                                                                                                                                   |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ツ テトラエチレンベンタミン及びアクリロニトリルの反応生成物                                                                                                                                                          |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ネ イノフタル、トリメシン、インシアナル又はトリメチルアジピンの骨格を有する多官能性アジリジニアミドであって、ニメチルアジリジン基又はニエチルアジリジン基を有するもの                                                                                                     |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ナ トリフェニルビスマス                                                                                                                                                                            |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ラ フェロセン誘導体                                                                                                                                                                              | フェロセン誘導体                                      | カドセン、エチルフェロセン、プロピルフェロセン、n-ブチルフェロセン、ペンチルフェロセン、シクロペンチルフェロセン、シクロヘキシルフェロセン、ジエチルフェロセン、ジプロピルフェロセン、ジブチルフェロセン、ジペンチルフェロセン、ジヘキシルフェロセン、アセチルフェロセン、フェロセンカルボン酸、ブタセン及びロケットの推進薬として使えるその他のフェロセン誘導体を含む(芳香族フェロセン誘導体を除く。)                                                                                                 |
|               |                             |                 | ム トリエチレングリコールジナイトレート                                                                                                                                                                    |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ウ トリメチロールエタニトリナイトレート                                                                                                                                                                    |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | キ 一・二・四-ブタニトリオールトリナイトレート                                                                                                                                                                |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ノ ジエチレングリコールジナイトレート                                                                                                                                                                     |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | オ ポリテトラハイドロフランポリエチレングリコール                                                                                                                                                               |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ク 四・五-ジアジドメチル-ニメチル-一・二-ニートリアゾール                                                                                                                                                         |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ヤ メチル-ニトラトエチルニトラミン                                                                                                                                                                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | マ エチル-ニトラトエチルニトラミン                                                                                                                                                                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | ケ ブチル-ニトラトエチルニトラミン                                                                                                                                                                      |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | フ ビス(ニ-ニージニトロプロピル)アセタール                                                                                                                                                                 |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|               |                             |                 | コ ビス(ニ-ニージニトロプロピル)フォルマール                                                                                                                                                                |                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |



| 輸出令第5項    |                                                                                                                                    | 貨物等省令第4条    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 解釈                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項番        | 項目                                                                                                                                 | 項番          | 項目                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 用語                                                                                                                                                                                                                                           | 用語の意味                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| 輸出令第5項(5) | 次に掲げる貨物であって、経済産業省令で定める仕様のもの<br><br>ニッケル合金、チタン合金、ニオブ合金、アルミニウム合金若しくはマグネシウム合金若しくはこれらの粉末又はこれらの製造用の装置若しくはその部分品若しくは附屬品(この項の中欄に掲げるものを除く。) | 貨物等省令第4条第4号 | 輸出令別表第1の5の項の経済産業省令で定める仕様のものは、次のいずれかに該当するものとする。<br><br>合金又はその粉末の製造用の装置(コンタミネーション防止対策を講じてあるものに限る。)であって、第7号ハ(二)1から7までのいずれかに該当する方法において使用するように設計したもの                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|           |                                                                                                                                    | 貨物等省令第4条第7号 | 合金又はその粉末であって、次のいずれかに該当するもの(基材の表面に定着させるコーティング用のものを除く。)<br>イ アルミニウムの化合物となっている合金であって、次のいずれかに該当するもの<br>(一) アルミニウムの含有量が全重量の15パーセント以上38パーセント以下であって、アルミニウム又はニッケル以外の合金元素を含むニッケル合金<br>(二) アルミニウムの含有量が全重量の10パーセント以上であって、アルミニウム又はチタン以外の合金元素を含むチタン合金<br>ロ ハに該当するものからなる合金であって、次のいずれかに該当するもの<br>(一) ニッケル合金であって、次のいずれかに該当するもの<br>1 650度の温度において676メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの応力破断時間が10,000時間以上のもの<br>2 550度の温度において1,095メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの低サイクル疲労寿命が10,000サイクル以上のもの<br>(二) ニオブ合金であって、次のいずれかに該当するもの<br>1 800度の温度において400メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの応力破断時間が10,000時間以上のもの<br>2 700度の温度において700メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの低サイクル疲労寿命が10,000サイクル以上のもの<br>(三) チタン合金であって、次のいずれかに該当するもの<br>1 450度の温度において200メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの応力破断時間が10,000時間以上のもの<br>2 450度の温度において400メガパスカルの応力が発生する荷重を加えたときの低サイクル疲労寿命が10,000サイクル以上のもの<br>(四) アルミニウム合金であって、引張強さが次のいずれかに該当するもの<br>1 200度の温度において240メガパスカル以上のもの<br>2 25度の温度において415メガパスカル以上のもの<br>(五) マグネシウム合金であって、引張強さが345メガパスカル以上のもののうち、3パーセント食塩水中における腐食が1年につき1ミリメートル未満のもの<br><br>ハ 合金の粉末であって、次の(一)から(三)までのすべてに該当するもの<br>(一) 次のいずれかに該当するものからなるもの<br>1 製造工程中に混入する金属以外の粒子(径が100マイクロメートルを超えるものに限る。)の数が粒子1,000,000,000個当たり3個未満のニッケル合金であって、アルミニウム及びニッケルを含む3種類以上の元素からなるもの<br>2 アルミニウム、鉄又はチタンのいずれかの元素及びニオブを含む3種類以上の元素からなるニオブ合金<br>3 アルミニウム及びチタンを含む3種類以上の元素からなるチタン合金<br>4 マグネシウム、亜鉛又は鉄のいずれかの元素及びアルミニウムを含む3種類以上の元素からなるアルミニウム合金<br>5 アルミニウム及びマグネシウムを含む3種類以上の元素からなるマグネシウム合金<br>(二) 次のいずれかの方法によって製造したもの<br>1 真空噴霧法<br>2 ガス噴霧法<br>3 回転噴霧法<br>4 スプラットクエンチ法<br>5 メルトスピニング法及び粉化法<br>6 メルトエキストラクション法及び粉化法<br>7 機械的合金法<br>(三) イ又はロに該当するものを製造することができるもの<br><br>ニ 次の(一)から(三)までのすべてに該当する合金材料<br>(一) ハ(一)1から5までのいずれかに該当するものからなるもの<br>(二) 細かく砕かれていないフレーク状、リボン状又は細い棒状のもの<br>(三) 次のいずれかの方法によって製造されたもの<br>1 スプラットクエンチ法<br>2 メルトスピニング法<br>3 メルトエキストラクション法 | ニッケル合金、チタン合金、ニオブ合金、アルミニウム合金、マグネシウム合金<br><br>貨物等省令第4条第7号イ、ロの合金<br><br>応力破断時間<br><br>低サイクル疲労寿命<br><br>三パーセント食塩水中における腐食<br><br>真空噴霧法<br><br>ガス噴霧法<br><br>回転噴霧法<br><br>スプラットクエンチ法<br><br>メルトスピニング法<br><br>粉化法<br><br>メルトエキストラクション法<br><br>機械的合金法 | 重量比でそれぞれニッケル、チタン、ニオブ、アルミニウム又はマグネシウムの含有量が他の成分のいずれよりも多い合金をいう。<br><br>板、棒、シート、塊、条、管、線、ベレット及び粒の形状であって、加工されるものをいう。<br><br>ASTM規格E-139又は同等の国家規格によって測定されるものとする。<br><br>ASTM規格E-606「定振幅低サイクル疲労試験に対する推薦方式」又は同等の国家規格によって測定されるものとする。試験は平均応力比が1でかつ応力集中係数(Kt)が1になるような軸方向の試験である。平均応力比は(最大応力-最小応力)/最大応力と定義される。<br><br>ASTM規格G-31又は同等の国家規格によって測定されるものとする。<br><br>溶融した金属流を真空中で吸蔵したガスを急速に放出させることによって、径500マイクロメートル以下の溶滴にする方法をいう。<br><br>溶融した金属合金の流れを高圧ガス流によって、径500マイクロメートル以下の溶滴にする方法をいう。<br><br>溶融した金属流又は溶滴を遠心力によって、径が500マイクロメートル以下の溶滴にする方法をいう。<br><br>溶融した金属流を冷却した回転体につけることにより急速固化して薄片状の製品にする方法をいう。<br><br>溶融した金属流を冷却した回転体の上へぶつけて急速固化することにより薄片、リボン又はロッド状の製品にする方法をいう。<br><br>材料を破砕又は粉砕によって微粒にする方法をいう。<br><br>溶融した金属合金の中へ冷却した回転体の一部を差し込むことにより、急速固化してリボン状の合金製品を抽出する方法をいう。<br><br>機械的衝撃で基本的かつ主要な合金粉末を混合したり、分離したり、ふたたび混合するか又はこれらを粉砕し返すことにより合金とする方法をいう。非金属の粒子は適当な粉末を加えることにより、合金の中に取り込むことができる。 |

| 輸出令第7項     |                                                   | 貨物等省令第6条     |                                                                                                                                           | 解釈                          |                                                                                                                                                   |
|------------|---------------------------------------------------|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 項番         | 項目                                                | 項番           | 項目                                                                                                                                        | 用語                          | 用語の意味                                                                                                                                             |
| 輸出令第7項     | 次に掲げる貨物であって、経済産業省令で定める仕様のもの                       | 貨物等省令第6条     | 輸出令別表第1の7の項の経済産業省令で定める仕様のものは、次のいずれかに該当するものとする。                                                                                            | 輸出令別表第1の7の項の経済産業省令で定める仕様のもの | 貨物等省令第6条第一号イ、ロ若しくはヌ又は同条第二号から第十六号の二までに該当するものであって輸出令別表第1の1の項から15の項までの中欄のいずれかに掲げられた貨物に使用するように特別に設計したもの又はこれと同じ機能特性のものは、輸出令別表第1の当該貨物の規定に基づいて判定するものとする。 |
|            |                                                   |              |                                                                                                                                           |                             | 貨物等省令第6条第一号イ、ロ若しくはヌ又は同条第二号から第十六号の二までに該当するものであって、他の貨物(輸出令別表第1の1の項から15の項までの中欄のいずれかに掲げられた貨物を除く。)に使用するように設計したものを除く。                                   |
| 輸出令第7項(20) | アルミニウム、ガリウム若しくはインジウムの有機金属化合物又は燐、砒素若しくはアンチモンの有機化合物 | 貨物等省令第6条第二十号 | 有機金属化合物又は有機化合物であって、次のいずれかに該当するもの<br>イ アルミニウム、ガリウム又はインジウムの有機金属化合物であって、純度が99.999パーセントを超えるもの<br>ロ 燐、砒素又はアンチモンの有機化合物であって、純度が99.999パーセントを超えるもの | 有機金属化合物又は有機化合物              | アルミニウム、ガリウム、インジウム、燐、砒素又はアンチモンが、分子の有機部分の炭素と直接に結合している化合物をいう。                                                                                        |

# 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 <sup>2</sup>     |
| 体積                      | 立方メートル       | m <sup>3</sup>     |
| 速度                      | メートル毎秒       | m/s                |
| 加速度                     | メートル毎秒毎秒     | m/s <sup>2</sup>   |
| 波数                      | 数メートル        | m <sup>-1</sup>    |
| 密度, 質量密度                | キログラム毎立方メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 面積密度                    | キログラム毎平方メートル | kg/m <sup>2</sup>  |
| 比体積                     | 立方メートル毎キログラム | m <sup>3</sup> /kg |
| 電流密度                    | アンペア毎平方メートル  | A/m <sup>2</sup>   |
| 電界の強さ                   | アンペア毎メートル    | A/m                |
| 量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度 | モル毎立方メートル    | mol/m <sup>3</sup> |
| 質量濃度                    | キログラム毎立法メートル | kg/m <sup>3</sup>  |
| 輝度                      | カンデラ毎平方メートル  | cd/m <sup>2</sup>  |
| 屈折率 <sup>(b)</sup>      | (数字の) 1      | 1                  |
| 比誘電率 <sup>(b)</sup>     | (数字の) 1      | 1                  |

- (a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
(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 <sup>(b)</sup>   | rad               | 1 <sup>(b)</sup>     | m/m                                                            |
| 立体角                           | ステラジアン <sup>(b)</sup> | sr <sup>(c)</sup> | 1 <sup>(b)</sup>     | m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>                                 |
| 周波数                           | ヘルツ <sup>(d)</sup>    | Hz                |                      | s <sup>-1</sup>                                                |
| 力                             | ニュートン                 | N                 |                      | m kg s <sup>-2</sup>                                           |
| 圧力, 応力                        | パスカル                  | Pa                | N/m <sup>2</sup>     | m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>                             |
| エネルギー, 仕事, 熱量                 | ジュール                  | J                 | N m                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>                              |
| 仕事率, 工率, 放射束                  | ワット                   | W                 | J/s                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>                              |
| 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 <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>              |
| 静電容量                          | ファラド                  | F                 | C/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup> |
| 電気抵抗                          | オーム                   | Ω                 | V/A                  | m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>              |
| コンダクタンス                       | ジーメンズ                 | S                 | A/V                  | m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup> |
| 磁束密度                          | ウェーバ                  | Wb                | Vs                   | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>              |
| インダクタンス                       | テスラ                   | T                 | Wb/m <sup>2</sup>    | kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>                             |
| セルシウス温度                       | セルシウス度 <sup>(e)</sup> | °C                | Wb/A                 | m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>              |
| 光照射度                          | ルーメン                  | lm                |                      | K                                                              |
| 放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>      | ベクレル <sup>(d)</sup>   | Bq                | cd sr <sup>(c)</sup> | m <sup>2</sup> cd s <sup>-1</sup>                              |
| 吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ           | グレイ                   | Gy                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 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 <sup>(g)</sup>  | Sv                | J/kg                 | m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>                                 |
| 酸素活性                          | カタール                  | kat               |                      | s <sup>-1</sup> mol                                            |

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

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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

表5. SI 接頭語

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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

| 名称    | 記号   | SI 単位による値                                                                                |
|-------|------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 分     | min  | 1 min=60s                                                                                |
| 時     | h    | 1 h =60 min=3600 s                                                                       |
| 日     | d    | 1 d=24 h=86 400 s                                                                        |
| 度     | °    | 1°=(π/180) rad                                                                           |
| 分     | ′    | 1′=(1/60)°=(π/10800) rad                                                                 |
| 秒     | ″    | 1″=(1/60)′=(π/648000) rad                                                                |
| ヘクタール | ha   | 1ha=1hm <sup>2</sup> =10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>                                     |
| リットル  | L, l | 1L=1l=1dm <sup>3</sup> =10 <sup>3</sup> cm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| トン    | t    | 1t=10 <sup>3</sup> kg                                                                    |

表7. SIに属さないが、SIと併用される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 <sup>-19</sup> J   |
| ダルトン     | Da | 1Da=1.660 538 86(28)×10 <sup>-27</sup> 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 <sup>11</sup> 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 <sup>5</sup> 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 <sup>-10</sup> m                                                            |
| 海里        | M    | 1 M=1852m                                                                                      |
| バイン       | b    | 1 b=100fm <sup>2</sup> =(10 <sup>-12</sup> cm <sup>2</sup> )2=10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup> |
| 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 <sup>-7</sup> J                                                                |
| ダイン                   | dyn | 1 dyn=10 <sup>-5</sup> N                                                                |
| ポアズ                   | P   | 1 P=1 dyn s cm <sup>-2</sup> =0.1Pa s                                                   |
| ストークス                 | St  | 1 St =1cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> =10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> |
| スチルブ                  | sb  | 1 sb =1cd cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> cd m <sup>-2</sup>                         |
| フォトリ                  | ph  | 1 ph=1cd sr cm <sup>-2</sup> 10 <sup>4</sup> lx                                         |
| ガリ                    | Gal | 1 Gal =1cm s <sup>-2</sup> =10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>                           |
| マクスウェル                | Mx  | 1 Mx = 1G cm <sup>2</sup> =10 <sup>-8</sup> Wb                                          |
| ガウス                   | G   | 1 G =1Mx cm <sup>-2</sup> =10 <sup>-4</sup> T                                           |
| エルステッド <sup>(c)</sup> | Oe  | 1 Oe ≐ (10 <sup>7</sup> /4π)A m <sup>-1</sup>                                           |

- (c) 3 元素の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 <sup>10</sup> Bq                                     |
| レントゲン     | R    | 1 R = 2.58×10 <sup>-4</sup> C/kg                                 |
| ラド        | rad  | 1 rad=1cGy=10 <sup>-2</sup> Gy                                   |
| レム        | rem  | 1 rem=1 cSv=10 <sup>-2</sup> Sv                                  |
| ガンマ       | γ    | 1 γ =1 nT=10 <sup>-9</sup> T                                     |
| フェルミ      | f    | 1フェルミ≐1 fm=10 <sup>-15</sup> m                                   |
| メートル系カラット |      | 1メートル系カラット = 200 mg = 2×10 <sup>-4</sup> kg                      |
| トル        | Torr | 1 Torr = (101 325/760) Pa                                        |
| 標準大気圧     | atm  | 1 atm = 101 325 Pa                                               |
| カロリー      | cal  | 1cal=4.1858J (「15℃」カロリー) , 4.1868J (「IT」カロリー) 4.184J (「熱化学」カロリー) |
| ミクロン      | μ    | 1 μ =1μm=10 <sup>-6</sup> m                                      |

