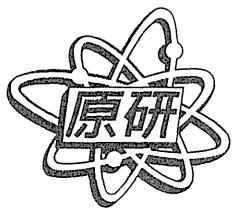


JAERI-Tech  
2005-039



JP0550300



超ウラン元素仕様高温音速弹性率測定装置及び  
円筒形試料成型機の製作及び性能試験

2005年 7月

芹澤 弘幸・菊地 啓修・岩井 孝・荒井 康夫  
黒澤 誠・三村 英明・阿部 治郎

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

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

This report is issued irregularly.

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

---

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2005

編集兼発行 日本原子力研究所

超ウラン元素仕様高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機の製作  
及び性能試験

日本原子力研究所東海研究所エネルギーシステム研究部  
芹澤 弘幸・菊地 啓修・岩井 孝・荒井 康夫  
黒澤 誠+・三村 英明+・阿部 治郎+

(2005年5月27日受理)

プルトニウム等超ウラン元素を含むセラミックス燃料及び合金燃料の高温における機械的性質に関する研究を実施するため、高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機並びに高温音速弾性率測定装置格納用グローブボックス(711-DGB)を製作した。セラミックス試料の加工を前提とした円筒形試料成型機は、大洗研究所 燃料研究棟 101 号室既設のグローブボックス(142-D)内に設置した。高温音速弾性率測定装置は、超音波センサ、加熱装置、循環式冷却装置、空冷用エアーコンプレッサ、真空排気系及びガス供給系並びに制御用コンピュータから構成され、超音波のパルサ/レシーバー及びアンプは、制御用コンピューターに内蔵されている。グローブボックス内に敷設するため市販品を改造し、超ウラン元素化合物の使用を前提として、試料の小型化を検討するとともに安全機構を付加した。高温音速弾性率測定装置の最高使用温度は、1500°Cである。装置本体及びグローブボックスは、それぞれ装置の性能及び安全性試験を実施した。

**Design and Installation of High-temperature Ultrasonic Measuring System  
and Grinder for Nuclear Fuel Containing Trans-uranium Elements**

Hiroyuki SERIZAWA, Hironobu KIKUCHI, Takashi IWAI, Yasuo ARAI  
Makoto KUROSAWA<sup>+</sup>, Hideaki MIMURA<sup>+</sup> and Jiro ABE<sup>+</sup>

Department of Nuclear Energy System  
(Oarai Site)  
Tokai Research Establishment  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-Ken

(Received May 27, 2005)

A high-temperature ultrasonic measuring system had been designed and installed in a glovebox (711-DGB) to study a mechanical property of nuclear fuel containing trans-uranium (TRU) elements. A figuration apparatus for the cylinder-type sample preparation had also been modified and installed in an established glovebox (142-D). The system consists of an ultrasonic probe, a heating furnace, cooling water-circulating system, a cooling air compressor, vacuum system, gas supplying system and control system. An A/D converter board and an pulsar/receiver board for the measurement of wave velocity were installed in a personal computer. The apparatus was modified to install into the glovebox. Some safety functions were supplied to the control system. The shape and size of the sample was revised to minimize the amount of TRU elements for the use of the measurement. The maximum sample temperature is 1500 °C. The performance of the installed apparatuses and the glovebox were confirmed through a series of tests.

**Keywords:** High-temperature, Ultrasonic, Glovebox, Plutonium, Ceramics,  
Elastic Modulus, Wave Velocity

---

<sup>+</sup>Department of Administrative Services, Oarai Research Establishment

## 目次

1.	まえがき	1
2.	基本設計	2
3.	グローブボックス	4
3.1	グローブボックス本体設備	4
3.2	給排気系統	5
3.3	安全系統	5
4.	高温音速弾性率測定装置	7
4.1	装置概要	7
4.2	測定試料	8
4.3	試料と導波体の取り合い	8
4.4	冷却系統	8
4.5	真空排気系統及びガス供給系統	9
4.6	安全系統	9
5.	円筒形試料成型機	10
5.1	装置概要	10
5.2	研削装置本体	10
5.3	制御盤	11
6.	性能試験	12
6.1	グローブボックスの性能試験	12
6.2	高温音速弾性率測定装置の性能試験	12
6.2.1	小型試料を用いた音速測定試験	13
6.2.2	真空系統の確認試験及び昇温試験	13
6.2.3	インターロック試験	14
6.3	円筒形試料成型機の性能試験	14
7.	おわりに	15
	謝辞	15
	参考文献	15

## Contents

1. Introduction.....	1
2. Basic Design.....	2
3. Glovebox.....	4
3.1 Glovebox.....	4
3.2 Ventilation System.....	5
3.3 Safety System.....	5
4. High-temperature Ultrasonic Measuring System.....	7
4.1 Outline of the Apparatus.....	7
4.2 Sample.....	8
4.3 Installation of the Sample on the Wave Guide.....	8
4.4 Cooling System.....	8
4.5 Vacuum System and Gas Supplying System.....	9
4.6 Safety System.....	9
5. Figuration Apparatus for Cylinder Sample.....	10
5.1 Outline of the Apparatus.....	10
5.2 Grinder.....	10
5.3 Control Box.....	11
6. Performance Tests.....	12
6.1 Tests for Glovebox.....	12
6.2 Tests for High-temperature Ultrasonic Measuring System.....	12
6.2.1 Measurement with Small Shaped Sample.....	13
6.2.2 Tests for Vacuum System and High Temperature Test.....	13
6.2.3 Tests for Interlock Functions.....	14
6.3 Tests for Figuration Apparatus for Cylinder Sample.....	14
7. Postscript.....	15
Acknowledgement.....	15
References.....	15

## 1. まえがき

燃料の超高燃焼度化が求められる現在、燃料ペレットの機械的性質は燃料・被覆管機械的相互作用に影響する重要な因子であり、燃料設計のパラメータの一つとして重要な位置を占めている。しかしながら、測定上の困難さからこれまで室温のデータが評価されているにすぎなかった。高温時におけるデータ取得のためにには、特殊な形状の大きな試料の準備が必要であり、特にセラミックス試料の場合には製作加工上の問題がある。この為に酸化物・窒化物系燃料の場合には、高温における弾性率データはほとんど報告例が無い。そこで、高温における各種燃料の弾性率データの取得を目的として、高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機を整備した。整備にあたっては、グローブボックス内での使用を前提に、汎用型の装置を大幅に改造した上で、高温音速測定試料の小型化を検討した。高温音速測定装置は、金属又はセラミックス試料内部の音速を最高 1500°Cまで連続的に測定できる。その結果を用いて、一連の弾性率及びデバイ温度の温度依存性を評価することが可能である。円筒形試料成型機は、音速測定用試料を加工する装置であり、ペレット形状のセラミックス又は金属から音速測定に使用する試料を高精度で削り出す装置である。本報告書では、今回整備した装置の設計及び製作並びに性能確認試験について述べる。

## 2. 基本設計

高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機の機種選定及び市販装置の改造設計は、研究目的遂行に必要と考えられる装置性能として、以下に示す項目を考慮した。

### 高温音速弾性率測定装置

- ・ 測定対象が超ウラン元素化合物であるため、試料形状を小さくすること。
- ・ できるだけ高温までの測定が可能であること。
- ・ 金属及び窒化物系セラミックス試料の高温測定も想定していることから、試料室が不活性ガスを用いて真空置換できる構造であること。また、不活性ガス気流中での測定も行えること。

### 円筒形試料成型機

- ・ セラミックス試料の加工が可能であること。
- ・ コンパクトな卓上タイプでありながら、高精度の加工ができるここと。
- ・ 活性な試料の加工を行う場合も想定されるので、オイル循環式の湿式研削装置であること。
- ・ 本装置は、既存のグローブボックス（142-DGB）に設置するため、グローブボックスの窓面から搬入できるサイズであること。

また、いずれの装置も日本原子力研究所大洗研究所燃料研究棟の第一種管理区域のグローブボックス内に設置されることを前提として、以下の点を考慮した。

- ・ 装置本体と制御装置が分離しており、制御装置をグローブボックス外に設置できる構造であること。
- ・ グローブボックス内に設置するため、安全性及び保守性に優れていること。
- ・ グローブボックス内で部品の交換及び修理ができる必要があることから、交換部品が、搬入搬出ポートから出し入れできること。
- ・ 安全機構を有しており、測定操作ができるだけ自動化されていること。

以上の点を考慮した結果、高温音速弾性率測定装置については、㈱東芝タンガロイ（現㈱タンガロイ）製の市販品の中から、最高温度 1500°Cまで測定可能な TUNGSONIC UMS-H を選択し、グローブボックス内に設置するために改造を施した。円筒形試料成型機については、㈱マルト一製の市販品の中から卓

上ロックレース MG-400 を選択し、やはり改造した。改造設計にあたっては、装置製作メーカー及び原研で協議し、グローブボックス製作メーカーとも情報を共有するとともに、設置に関しては、できるだけ柔軟に対応した。

### 3. グローブボックス

高温音速弾性率測定装置格納用グローブボックスは、給排気系統及び安全系統を備えたプルトニウム仕様のグローブボックスである。以下にグローブボックスの概要を示す。

#### 3. 1 グローブボックス本体設備

当該グローブボックス（略称 711-DGB）は、両面操作パネルタイプの空気雰囲気ボックスである。設置場所（大洗研究所燃料研究棟 107 号室）の広さ及び内包する高温音速弾性率測定装置加熱部の大きさと作業性を考慮して、グローブボックスの寸法は、幅 0.9m × 奥行 2.0m × 高さ 1.1m（内容積約 2.0m<sup>3</sup>）とした。使用されている構造材は、肉厚 5mm の SUS304 鋼板であり、TIG 溶接により組み立てられ、表面は鏡面研磨仕上げされている。内径 300mm  $\phi$  の搬入搬出ポート 1 器の他、核燃料使用開始後の拡張性を確保するために、当初使用予定の無い予備ポート 2 器及び予備ノズル 2 本を備えている。密閉性の確保のため、燃料研究棟に既存のグローブボックスと同じ漏えい率（0.1vol%/h）を設計仕様として設定した。

操作パネルは、厚み 10mm × 横 879mm × 縦 870mm の透明アクリル板であり、グローブボックス両面あわせて 4 枚を、ネオプレン製パッキングをはさんでグローブボックス本体窓面に設置されている。グローブポートは、動燃Ⅱ型（8 インチグローブ用ベークライト製）であり、各窓面 2 双が上下にとりつけられている。操作パネルの外側には、鉛当量 0.5mm 厚の含鉛アクリル（厚さ約 12mm）を外部被ばく防止のため取り付け、最大取扱量（ウラン 235 及びプルトニウムの合計量として 220g）をグローブボックス内に搬入したと想定しても、人が常時立ち入る場所（含鉛アクリルから 10cm の位置）における線量当量率は、外部被ばくは  $25 \mu \text{Sv}/\text{h}$  以下であり、1 週間当たりの立入り時間を 40 時間として、1 週間につき 1 mSv 以下となるように設計した。

711-DGB は、Fig.1 に示すように高さ 900mm の SS400 製架台にボルトで固定されており、架台は床面にケミカルアンカーボルトで固定されている。それぞれのボルトは、耐震強度上問題の無いことを確認している。架台部分の横張のうち 1 本はボルトで固定されていて取り外し可能であり、高温音速弾性率測定装置の制御装置をグローブボックス下部に設置できるようにした。グローブボックス本体側面に設置されている搬入搬出ポートの内側には、カウンターバランス方式の内蓋を取り付け、O リングを介してグローブボックス本体の機密性が確保できる構造とした。ポート外側には、ビニールバックの保護を目的とした外蓋を設けた。

### 3. 2 給排気系統

燃料研究棟に設置される空気雰囲気のグローブボックスは、通常約 290Pa の負圧制御が求められている。711-DGB には、グローブボックス本体の負圧を維持するための給排気系統及び高温音速弹性率測定装置加熱部のガス供給系統が設けられている。711-DGB に付随する給排気系統を Fig. 2 に示す。給排気系統の主要配管は、呼び径 50A の SUS304 管と必要な開閉バルブによって構成されている。711-DGB は、空気雰囲気グローブボックスであるため、通常の使用時には室内の空気を供給する構造になっているが、給気ラインに設けられた自動三方弁を介して、既設の高純度アルゴン供給ラインと接続されている。従って、空気中で活性であるような試料を取り扱う場合には、ワンススルー方式によるアルゴンガス雰囲気への置換が可能である。アルゴンガス供給系統は、呼び径 20A の SUS304 管、バルブ及び減圧弁から構成されている。

グローブボックスの給排気口には、 $0.3\mu$  粒子に対する捕集効率が 99.97% 以上のセルフコンテインドタイプの H E P A フィルターが設けられており、クローズド方式のフィルター交換作業が可能な構造になっている。また、高温音速弹性率測定装置のガス供給系の出入り口及び真空排気系の排気口についても、H E P A フィルターが取り付けられており、放射能がグローブボックス外に飛散する事の無いよう設計されている。

グローブボックスの排気系統には、背圧ダンパーが取り付けられており、外乱によるグローブボックス内負圧の急激な変動にも対処できる構造になっている。アルゴンガス供給系統には、電磁開閉バルブが設置されており、ガス導入時に内圧が大きく変化した場合にも、グローブボックスの負圧設定値を超えないように圧力制御を行っている。

### 3. 3 安全系統

グローブボックスの安全性を確保するため、711-DGB には、負圧異常とグローブボックス内部の温度上昇に係る警報が設置されており、常時燃料研究棟の集中監視盤で監視することができる。

負圧異常とは、グローブボックス内の負圧が設定値を下回る事象（負圧破壊）及び設定値を上回る事象（負圧超過）をさす。負圧異常が生じた場合、現場盤及び燃料研究棟の集中監視盤で警報が発信する。グローブボックス内圧は、ダイアフラム式の上下接点付微圧計によって測定される。

温度上昇とは、グローブボックス内で火災等何らかの異常が発生した場合を想定した警報システムである。711-DGB の天井付近に取り付けられた検出器（測温抵抗体）によってグローブボックス内温度を測定している。グローブボックス内温度は、現場盤に取り付けられたデジタル温調計に常時表示され、

60°Cを超えた場合には現場盤及び集中監視盤で警報が発信するとともに、自動三方弁が作動し、グローブボックス内に不活性ガスであるアルゴンガスが供給される。

#### 4. 高温音速弹性率測定装置

高温音速弹性率測定装置は、試料加熱部、制御系統、冷却系統、真空排氣系統及びガス供給系統並びに安全系統から構成されている。試料加熱部以外は、グローブボックス外に設置されている。以下に、装置概略、測定試料及び関連項目について述べる。

##### 4. 1 装置概要

燃料研究棟 107 号室に設置した高温音速弹性率測定のシステム概略図を Fig.3 に示す。測定試料は、4 台のポイントフォーカスタイプの赤外線電気炉により加熱される。尚、試料加熱部分はロータリーポンプを用いて真空にした後、不活性ガスに置換することができる構造になっている。試料温度は、試料側面に取り付けられた R タイプ（白金・白金ロジウム）の熱電対により測定され、PID 方式のプログラム温度コントローラによって制御される。プログラム温度コントローラは、RS-232C ケーブルによってコンピュータに接続されており、試料温度はコンピュータによって監視・制御することができる。コンピュータには、A/D 変換ボード及びパルサー・レシーバーボードが内蔵されており、試料下部に取り付けられた音波センサからの信号をリアルタイムに観測することができる。音波の周波数は試料によって選択する必要があるが、現在は、広帯域タイプの 5MHz 及び 2MHz の 2 種類を準備しており、必要な場合は交換して使用する。振動子の出力はコンピュータのソフト上で適当な値に変更することができる。

本装置は縦波・横波モード変換方式のパルスエコータイプであり、試料温度を室温から 1500°C の温度範囲で変化させながら、試料内の縦波音速及び横波音速を同時に測定することができる。従ってデータ解析時に問題となる、パルス発生時間の誤差を考慮する必要がないという利点がある。縦波音速及び横波音速は、温度又は時間の関数としてコンピュータディスプレーにリアルタイムに表示され、各種弹性率データに変換表示することも可能である。本装置を使用することにより、7 種類の弹性率データ（ヤング率、剛性率、体積弹性率、圧縮率、ポアソン比、ラーメパラメータ及び音速異方性）及びデバイ温度をそれぞれ温度の関数として求めることができる。また、熱膨張率のデータを別途取得できれば、デバイ温度の温度依存性から、グリューナイゼン定数を温度の関数として求めることも可能である。測定雰囲気は、真空置換した不活性ガス又は不活性ガス気流中のいずれかを選択できる。

#### 4. 2 測定試料

本装置は、元来金属試料の弾性率測定を目的に開発されたものであるが、セラミックス試料についても使用可能である。測定試料の形状寸法を Fig. 4 に示す。Fig.4(A) 及び(B)は、市販の装置で推奨されている試料である。(A)は、試料と導波体（4. 3 参照）が一体となった一体型試料である。(B)は、導波体を使用する場合の試料で、分離型試料と呼ばれる。測定試料としては、一体型試料が最も理想的であるが、超ウラン元素化合物を用いた測定を前提とした場合、一体型の形状の焼結体を成形加工することは技術的にも量的にも困難である。そこで、基本的に分離型の試料の使用を想定してテストを繰り返し、Fig.4(C)の寸法形状までならば測定可能であるという結論に達した。(C)の試料サイズは、(B)の試料サイズと比較して、体積比で 50%以下である。試料底面及び上面は、研削盤を用いた加工が必要である。

#### 4. 3 試料と導波体の取り合い

試料部分の概略図を Fig. 5 に示す。試料は石英管の中に設置されており、通常、加熱雰囲気は、真空置換された不活性ガスである。試料は、アルミ箔を挟んでステンレス製の導波体 (SUS304) にモリブデン製の袋ナットを用いて固定される。アルミ箔は、試料と導波体の密着性を保つとともに、音波媒体としても作用する。音波センサは、導波体下部に接着されている。音波センサで発信した音波は、導波体を介して試料底面から導入され、試料先端部で反射して再び導波体を通り、音波センサに到達する。問題となるのは、試料底面と導波体上下面の加工精度である。バッファーとしてアルミ箔を使用してはいるが、できるだけ鏡面に近い加工が必要である。

#### 4. 4 冷却系統

グローブボックス内に設置した高温音速弾性率測定装置の赤外線加熱炉及び加熱炉近傍の装置表面並びに導波体を冷却するために、循環式冷却水送水装置（オリオン機械株式会社製：RKS-1500VW-D-SP：冷却能力 4.53kW：冷却水循環量 23L/min）及びエアコンプレッサ（東芝製：KLA85-22TAD：静音タイプ、ドライヤ付き）を設置した。

冷却水送水装置（幅 648mm × 奥行 572mm × 高さ 1182mm）本体は水冷式であり、5°C～25°C の温度範囲で二次系冷却水（装置冷却用）の水温を制御することができる。一次系冷却水（本体冷却用）として燃料研究棟の循環冷却水を使用している。本装置の二次系冷却水は、グローブボックス内を通過することになるため、装置本体の配管は基本的にステンレス製のフレキシブルチューブとし、送水ポンプ及びドレインとの取り合いはねじ込み式にした。また、冷却

水の外部への漏れを防止するため、冷却水タンクのオーバーフロー配管を取り外し、タンクの蓋もパッキンを挟んでネジ止めとした。タンクの蓋には、通気パイプを設置し、ガスラインフィルターを介して、大気開放されている。

エアコンプレッサは、加熱炉部分の石英管に圧縮空気噴射して冷却し、ガラスの劣化を防ぐために使用する。高温音速弹性率測定装置運転中は、常時 40 から 50cc/min の圧縮空気を石英管の外側表面に吹き付けて石英管自体の温度上昇を抑制する。圧縮空気配管のグローブボックス入り口には、ガスラインフィルターを設けて、放射能の飛散を防止している。圧縮空気はグローブボックス内で開放され、排気口から排気ダクトに放出される。

#### 4. 5 真空排気系統及びガス供給系統

高温音速測定は基本的に不活性雰囲気中で実施するため、装置には真空排気系統及びガス供給系統が設けられている。試料室の真空度は、ピラニーゲージで測定する。到達真空度は、約 2Pa である。置換用の不活性ガスは、室内に設置したガスボンベから、流量計を介して供給される。前記のように、各系統のグローブボックス出入り口には、ガスラインフィルタが設置されており、放射能の飛散を防護している。

#### 4. 6 安全系統

711-DGB の安全を確保するため、高温音速弹性率測定装置には、冷却系統に関する断水・断エアー警報及び制御系故障による異常昇温防止用の過加熱警報が設置されている。

冷却水及び圧縮空気の流量は、グローブボックス架台側面に取り付けられた流量計で常時監視されており、冷却水送水装置又はエアコンプレッサに異常が生じて流量が減少した場合には、赤外線加熱炉への電力供給が停止される。また、赤外線炉の温度コントローラに異常が発生し、試料温度が別途取り付けられた温度リミッターの設定値（通常 1550°C）を超えた場合、やはり赤外線加熱炉への電力供給が停止される。これらの警報の内、冷却水断水警報及び過加熱警報については、107 号室に既設の警報端子盤を介して、燃料研究棟の集中監視盤に接続されており、現場での警報発信とともに、集中監視盤でも警報が吹鳴する。

## 5. 円筒形試料成型機

円筒形試料成型機は、円筒形のセラミックス、ガラス及び金属を研削加工するための装置である。高温音速弾性率測定装置の測定試料は、Fig.4(C)に示すような段付き円筒形試料であり、ペレット形状試料から研削して作製する必要があるため導入した。本装置は、燃料研究棟 101 号室に設置されているグローブボックス 142-D(略称 142-DGB)内に設置した。142-DGB は、これまで核燃料物質及び放射性物質の使用履歴がないが、万全を期すためにスマア法及び直接法による汚染検査を実施し、安全を確認した上で操作パネルを取り外し、研削装置を格納した。装置格納後は、気密試験を実施し、グローブボックス本体の気密が保たれていることを確認した。

### 5. 1 装置概要

円筒形試料成型機は、研削装置本体及び制御盤から構成されており、研削装置本体は、グローブボックス内に設置されている。円筒研削は、全自動方式を採用しており、装置作動中は、グローブボックス操作をする必要がないよう設計されている。

### 5. 2 研削装置本体

研削装置本体は、研削装置（幅 1230mm × 奥行 810mm × 高さ 800mm）と付属の試料冷却用液送タンク（幅 460mm × 奥行 440mm × 高さ 380mm）から構成されている。本装置で研削加工できる試料は、直径 60mm 未満の丸棒材である。主電動機は三相 200V 仕様であるが、コンバーターを介して単相 100V の外部電源から電力を供給している。研削装置の主軸、砥石軸とも無段階変速である。砥石軸の送り及び切り込みは、ステッピングモーターにより制御されており、送り量及び切り込み量の最小値は、 $1 \mu\text{m}$  である。研削部冷却用の切削油剤は、クーラントポンプによる循環式であり、切削油剤として水分含有量の少ないユシロ化学工業製 ユシロン-CG を使用している。切削油剤は、常時シャワーノズルから試料及び砥石に供給されているので、窒化物等の空気中で活性な試料の加工も可能である。砥石を変更することによって、セラミックスをはじめ、金属、ガラスも加工でき、更に、切断ホイールを取り付けることによって、ぱり（かえり）のないペレットの切り出しも可能となる。

切削油剤には研削された切削粉末が混入するため、これがクーラントポンプ及び配管の目詰まりの原因となる。これを防ぐために、試料冷却後の切削油剤は液層タンクの蓋に取り付けられた沈殿槽を介して液送タンクに戻される。沈殿槽で取りきれなかった切削粉末は、タンク内に沈殿するか、又はクーラントポンプの

入り口に取り付けられたフィルターによって濾過される。

### 5. 3 制御盤

研削装置本体の一連の運転操作は、142-DGB の外部に設置された制御盤によって行なわれる。研削盤の動作には、以下に示す基本的な 3 つの動作モードが準備されており、制御盤で選択する。

- ・ 単動：砥石側の左右軸及び前後軸の移動をパルスモーターで行う。
- ・ 端面加工：円筒形試料の端面部を設定された条件で自動研削加工する。
- ・ 円筒加工：円筒形試料の外周面を設定された条件で自動研削加工する。

砥石の前後・左右移動動作（切り込み量・切り込み速度及び加工終了後にげ量）は、試料サイズに応じて任意にプログラムできる。砥石軸及び主軸の回転速度、加工終了後のフラッシング回数についても必要に応じて任意に設定することができる。また、研削盤の安全性を確保するため、非常停止ボタンが設けられている。

## 6. 性能試験

本章では、グローブボックス、高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成形装置の基本性能を確認するために実施した試験について述べる。

### 6. 1 グローブボックスの性能試験

711-DGB 本体及び接続配管の溶接部の浸透探傷検査及び耐圧検査は、グローブボックス製造メーカーにおいて立会検査を実施した。また、107号室にグローブボックスを搬入した後、寸法検査、員数検査、材料検査、気密検査、負圧検査、警報についての機能試験（負圧異常・温度上昇）等を実施して、性能を確認した。

溶接部分について行った浸透探傷検査検査の結果、溶接部分の欠陥は認められなかった。711-DGB 本体及び架台の寸法及び員数については、設計承認図面どおりであることを確認した。操作パネルに取り付ける含鉛アクリル板については、公的機関が発行した検査成績書により、鉛当量が 0.5mm 以上であることを確認した。その他の使用部材については、製作メーカーから提出された材料証明書により確認した。グローブボックスを床面に固定するケミカルアンカーボルトの全長及び穿孔深さについても、実測して施工指針どおりであることを確認した。

711-DGB の気密性は、大気圧比較法（JIS Z4820-2002「グローブボックス気密試験方法」）により確認した。グローブボックスの負圧を 290Pa 以上に保持して給気及び排気バルブを閉じきり、1 時間経過後の負圧を測定し、測定値に対して大気圧及びグローブボックス内温度の変化による補正を加えて漏えい率を算出した。その結果、漏えい率は 0.071vol.%/h 未満であり、施設検査の合格判定基準（0.1vol.%/h 以下）を満足していることを確認した。尚、操作パネルを外して円筒形試料成型機を格納した 142-DGB についても同様の試験を実施した結果、漏えい率が 0.062vol.%/h であり、施設検査の合格判定基準（0.1vol.%/h 以下）を満足していることを確認した。

711-DGB の負圧検査では、グローブボックスを使用時の負圧に保持して運転して通常のグローブ操作を行い、負圧が 90～490Pa に保たれることを確認した。

711-DGB の警報についての機能試験では、グローブボックスの給気口及び排気口を閉じきった状態でグローブ操作を行い、意図的に負圧破壊及び負圧超過の事象を発生させ、現場盤及び集中監視盤において警報が発信することを確認した。

### 6. 2 高温音速弾性率測定装置の性能試験

高温音速弾性率測定装置は、グローブボックス内設置前に小型試料を用いた測定試験を実施し、設置後に再び真空系統の確認試験及び昇温試験並びに安全系統

に係る一連のインターロックを実施した。グローブボックス内設置後の昇温試験でも、小型試料を用いて昇温を行った。

### 6. 2. 1 小型試料を用いた音速測定試験

高温音速弾性率測定装置の標準試料のサイズは、Fig.4(A)及び(B)に示すとおりかなり大きく、超ウラン元素化合物の測定には向いていない。また、試料形状も複雑で、加工にも時間がかかる。そこで、試行錯誤を繰り返して(C)の形状のマグネシア試料を作製し、測定試験を実施した。

試料を導波体に取り付けた後、一旦 850°Cまで昇温し、アルミ箔を溶解させて試料と導波体を密着させた。300°Cまで降温後、再び 1500°Cまで 15°C/min で昇温して 5 分保持した後、室温まで冷却した。導波体を用いて測定を行う場合、試料と導波体の密着性を確保するために、測定前の加熱が必要である。この際、急激な温度変化は接合部剥離の原因となる。この為、測定前の加熱は慎重に行う必要があり、降温下限温度も、測定開始温度下限として許される限り高めに設定することが望ましい。測定結果を Fig.6 に示す<sup>1</sup>。音速データは、約 300°C近辺から取得できた。図中の V<sub>1</sub> 及び V<sub>s</sub> は、それぞれ縦波音速及び横波音速を示す。縦波及び横波音速は、いずれも温度の上昇と共に、減少する傾向があることがわかる。これは、通常セラミックスに共通して認められる現象である。850°C (1123K) 近傍に音速の温度変化に対する乱れが若干認められるが、これはアルミ箔（融点 933K）の融解によるものと思われる。試料接合部と試料測定部では、この程度の温度差があると考えられる。

弾性率の解析結果の一例として、音速データから計算したヤング率の温度依存性を Fig.7 に示す<sup>1</sup>。測定方法が異なるものの、本試験で得られた測定結果は、Wachtman 等<sup>4</sup>による測定結果と比較的良く一致した。1600K 以上の高温におけるマグネシアの弾性率としては、今回の測定結果が唯一のデータである。セラミックスの高温測定は、試料と押さえのモリブデン製袋ナットとの熱膨張率の差により応力が発生して、試料又は袋ナットが破損する可能性があり、注意を要する。現在、グラファイトパッキング等を挟み込むことにより、試料部破損を回避する方法を検討中である。

### 6. 2. 2 真空系統の確認試験及び昇温試験

高温音速弾性率測定装置をグローブボックス内に設置した後、ロータリーポンプにより試料室内を真空引きして、設置作業による反応管固定 O リング等の歪みやずれが無いことを確認した。設置後の到達真空度は、装置付属のピラニーメーターによる測定の結果、2Pa であった。この値は、装置設置工事以前の値と変わらず、仕様どおりの真空度が維持されていることがわかった。

グローブボックスを閉じきった状態で小型試料を用いた昇温試験を実施し、仕様どおり 1500°Cまでの昇温が可能であることを確認した。この時グローブボックス内温度を、天井部の取り付けられた測温抵抗体によってモニターし、装置運転中にグローブボックス内温度が 60°Cよりも低いことを確認した。また、1500°C到達時の装置表面温度を表面温度計を用いて測定し、60°C以下であることを確認した。

### 6. 2. 3 インターロック試験

前述のように、高温音速弾性率測定装置には過昇温、冷却水断水及びエアーフロー量低下に対応するインターロックが取り付けられている(4. 5 参照)。グローブボックス設置工事完了後、それぞれの安全系統についての試験を実施し、インターロックが正常に作動するかどうかを確かめた。

試料部分の過加熱警報装置の温度上限を 160°Cに設定して昇温試験を行ったところ、試料温度が設定値に到達した瞬間に電気炉への電力供給が停止され、現場盤及び集中監視盤において、警報が発信することを確認した。

昇温途中で冷却水断水及びエアーフロー量低下の異常事象を発生させて、電気炉への電力供給が停止することを確認した。エアーフロー量低下の場合には、現場盤において、また冷却水断水の場合には、現場盤及び集中監視盤において警報が発信することを確認した。

### 6. 3 円筒形試料成型機の性能試験

円筒形試料成型機の性能を確認するため、直径 16mm のアルミナペレットを使用して加工試験を実施した。真鍮の台座にアルミナペレットを樹脂で固定してチヤッキングして端面加工を施した後、 $5 \mu\text{m}$ 刻みで自動円筒加工(側面加工)を実施した。一連の加工操作により、Fig.4(c)の形状及びサイズの試料を成形できることを確認した。

## 7. おわりに

本報告書では、高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機の基本設計、格納用グローブボックス及び装置の製作並びに性能試験結果等について記述した。高温音速弾性率測定装置については、超ウラン元素化合物を測定対象とするため、市販品に対してグローブボックスへの格納と安全対策の付加等の改造を加えた。円筒形試料成型装置についても、グローブボックスへの格納及び操作性を考慮した改造を施した。いずれの装置も期待された性能を有しており、これから実施する予定の、超ウラン元素化合物を用いた機械物性及び基礎物性の研究に威力を発揮するものと期待される。

高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機は、平成14年度から基本となる機種の選定及び試験等に着手し、平成15年度に改造に係る設計及び製作を進めて燃料研究棟に仮設置した。グローブボックスの新設工事及び装置の格納工事は、平成16年度に実施した。本件については、平成17年3月末に文部科学省科学技術・学術政策局 原子力安全課 原子力規制室による施設検査を受検して合格した。今後は、性能試験を兼ねた試験運転を経て、超ウラン元素化合物を使用した試験に進む予定である。本装置を用いて、これまで評価されていない、高温における燃料の機械的性質に関する弾性率データ及びデバイ温度などの物性値を取得していきたいと考えている。

## 謝辞

本装置を整備するにあたり、エネルギーシステム研究部 岩村公道部長、長谷川明次長には、貴重なご助言をいただきました。また、㈱タンガロイをはじめとするメーカーの方々には、装置の設計製作に至るまでお世話になりました。厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

1. H. Serizawa et.al, to be submitted.
2. Dae-Hyun CHUNG, Philos. Mag., 8(1963)833.
3. N. Soga and O. Anderson, J. Am. Ceram. Soc., 49(1966)355.
4. J. B. Wachtman, Jr. And D.G. Lam, Jr., J. Am. Cera. Soc., 42(5)(1959)254,

## Figures

- Fig.1 The external appearance of the glovebox 711-DGB
- Fig.2 Flow sheet of the ventilation system of 711-DGB
- Fig.3 Schema of High Temperature Ultrasonic Measuring System
- Fig.4 Shape and size of the sample for Ultrasonic Measuring System: (A) and (B) are standard samples.(C) is a modified small sample
- Fig.5 Arrangement of the sample in furnaces
- Fig.6 Temperature dependences of the acoustic velocities in Magnesium oxide
- Fig.7 Temperature dependences of Young's modulus for Magnesium oxide

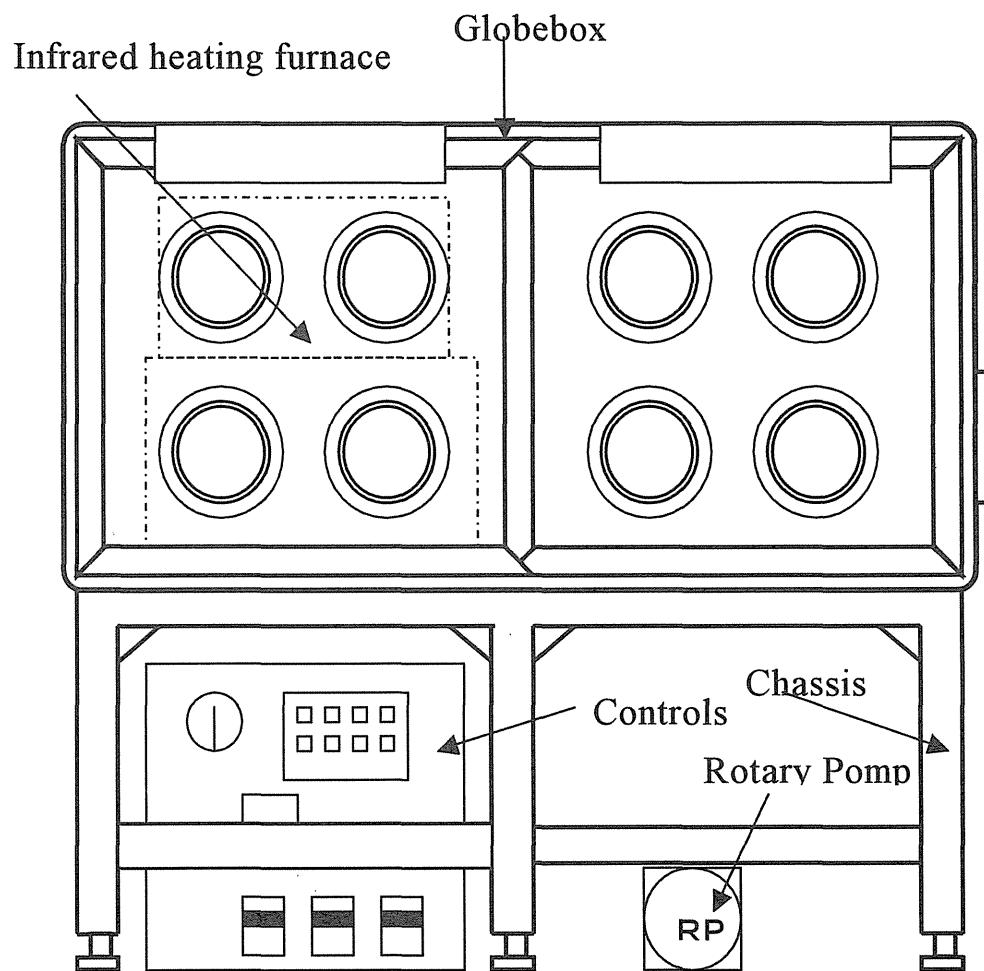


Fig.1 The external appearance of the glovebox 711-DGB

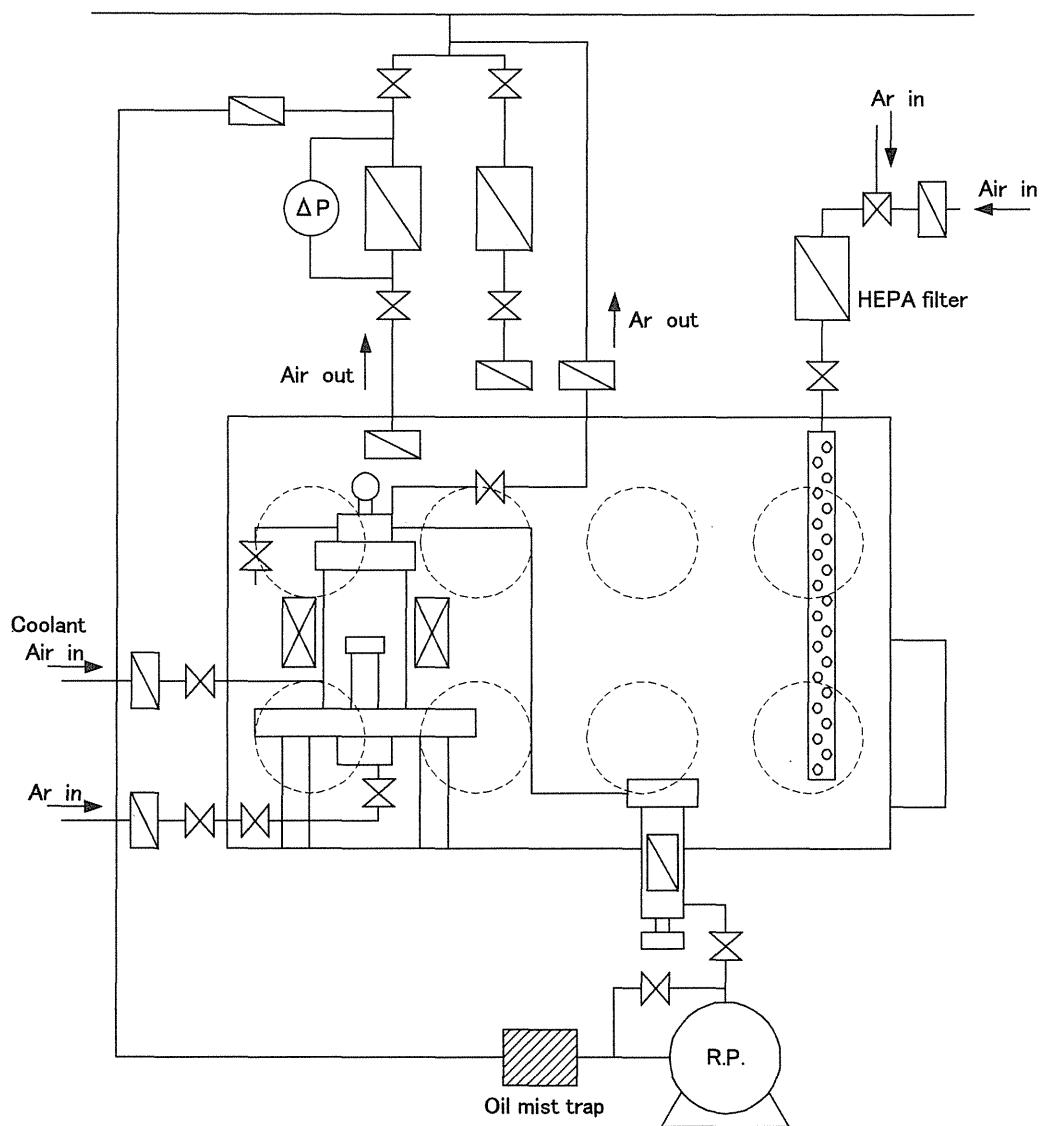


Fig.2 Flow sheet of the ventilation system of 711-DGB

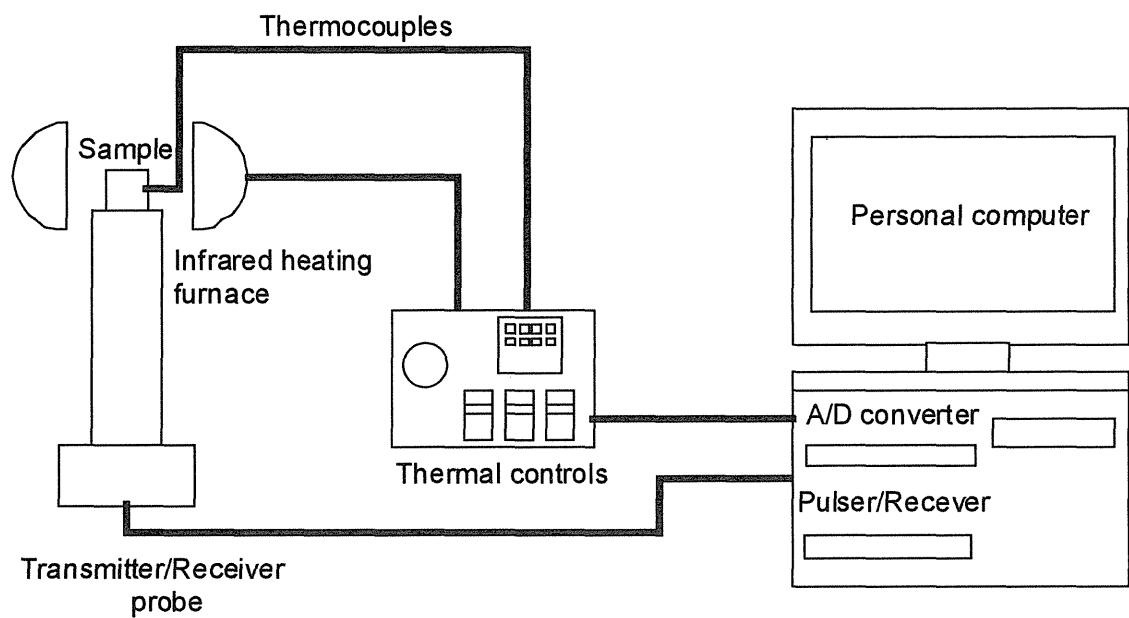


Fig.3 Schema of High Temperature Ultrasonic Measuring System

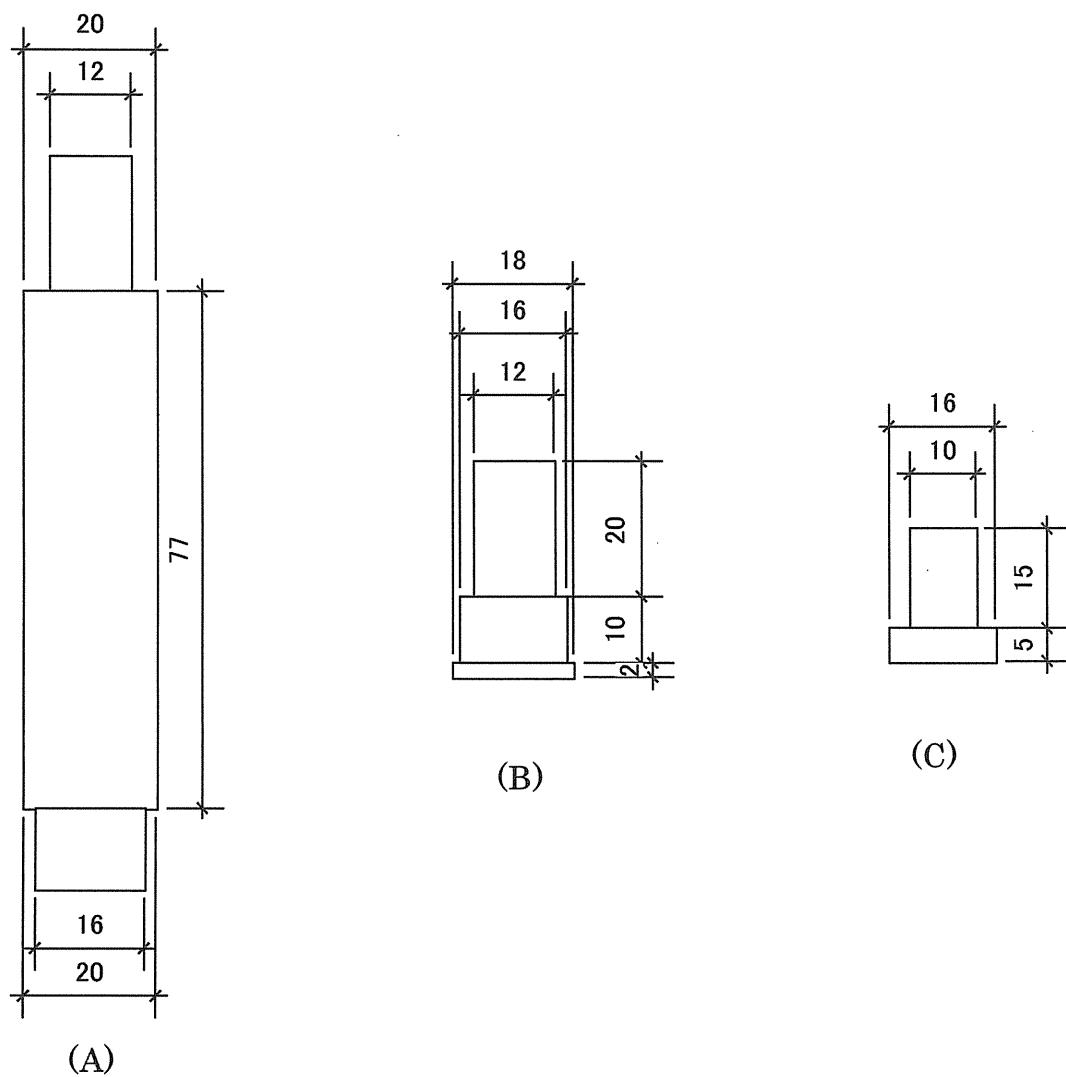


Fig.4 Shape and size of the sample for Ultrasonic Measuring System: (A) and (B) are standard samples.(C) is a modified small sample

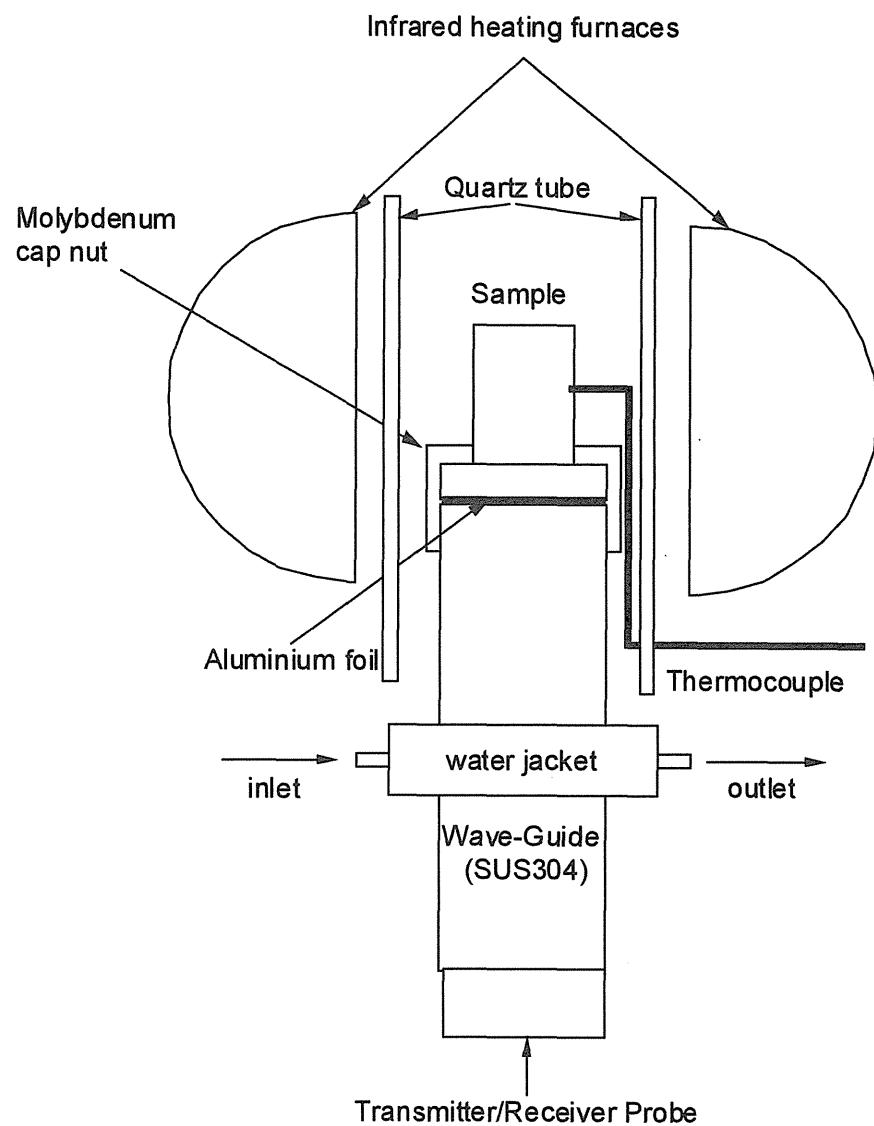


Fig.5 Arrangement of the sample in furnaces

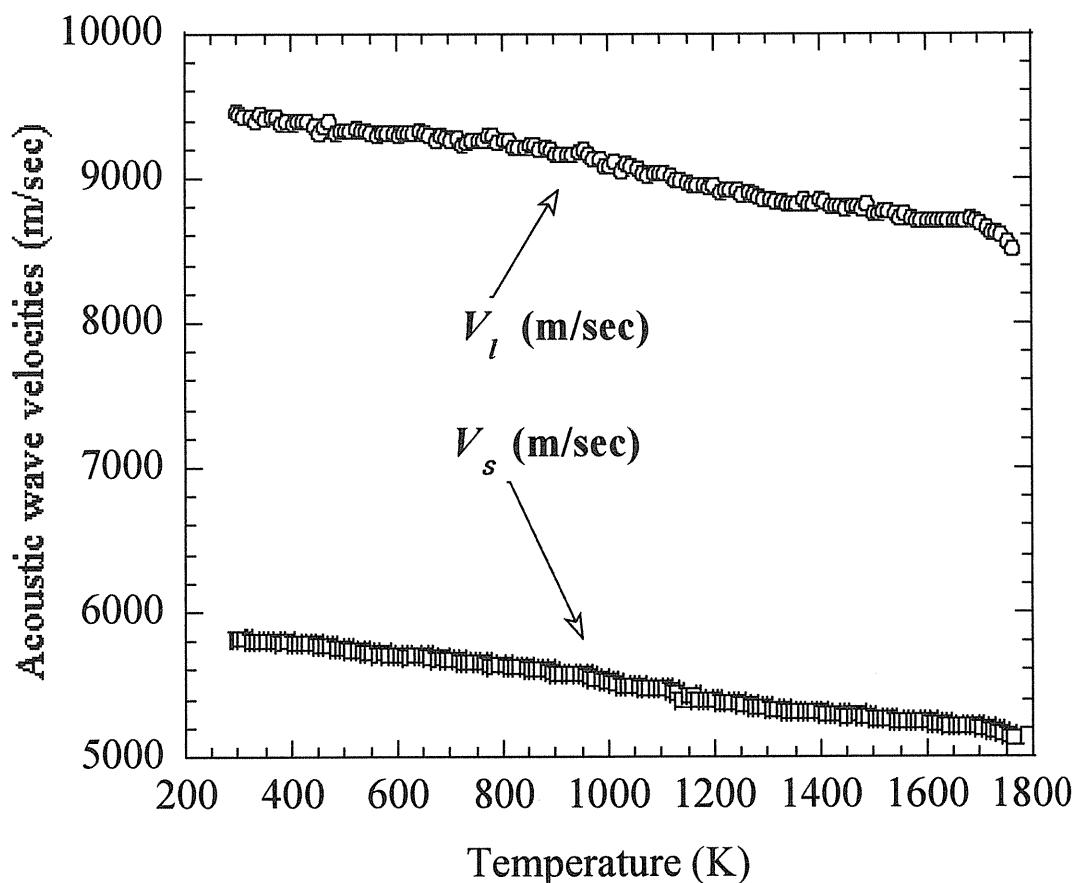


Fig.6 Temperature dependences of the acoustic velocities in Magnesium oxide

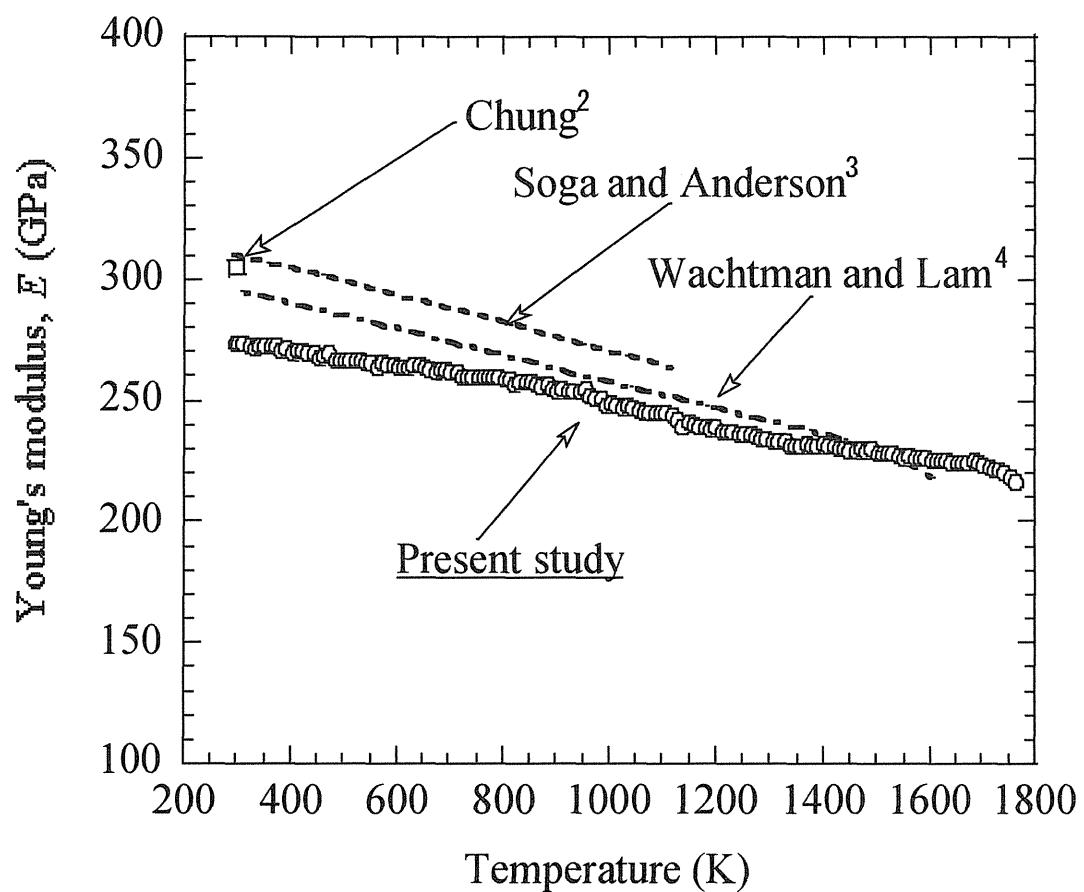


Fig.7 Temperature dependences of Young's modulus for Magnesium oxide

This is a blank page.

# 国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

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

表2 SIと併用される単位

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

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

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

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

名称	記号
オングストローム	Å
バーソル	b
バール	bar
ガル	Gal
キュリ	Ci
レンントゲン	R
ラド	rad
レム	rem

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

表5 SI接頭語

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

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表す場合に限り表2のカテゴリに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリに入れている。

## 換算表

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

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa}\cdot\text{s} (\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P(ボアズ)} (\text{g}/(\text{cm}\cdot\text{s}))$$

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

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

エネルギー・仕事・熱量	J( $=10^7$ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J (計量法)	
	1	0.101972	$2.77778 \times 10^{-7}$	0.238889	$9.47813 \times 10^{-4}$	0.737562	$6.24150 \times 10^{18}$	$= 4.184 \text{ J (熱化学)}$	
	9.80665	1	$2.72407 \times 10^{-6}$	2.34270	$9.29487 \times 10^{-3}$	7.23301	$6.12082 \times 10^{19}$	$= 4.1855 \text{ J (15 }^\circ\text{C)}$	
	$3.6 \times 10^6$	$3.67098 \times 10^5$	1	$8.59999 \times 10^4$	3412.13	$2.65522 \times 10^6$	$2.24694 \times 10^{25}$	$= 4.1868 \text{ J (国際蒸気表)}$	
	4.18605	0.426858	$1.16279 \times 10^{-6}$	1	$3.96759 \times 10^{-3}$	3.08747	$2.61272 \times 10^{19}$	仕事率 1 PS (仏馬力)	
	1055.06	107.586	$2.93072 \times 10^{-4}$	252.042	1	778.172	$6.58515 \times 10^{21}$	$= 75 \text{ kgf}\cdot\text{m/s}$	
	1.35582	0.138255	$3.76616 \times 10^{-7}$	0.323890	$1.28506 \times 10^{-3}$	1	$8.46233 \times 10^{18}$	$= 735.499 \text{ W}$	
	$1.60218 \times 10^{-19}$	$1.63377 \times 10^{-20}$	$4.45050 \times 10^{-26}$	$3.82743 \times 10^{-20}$	$1.51857 \times 10^{-22}$	$1.18171 \times 10^{-19}$	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量	Gy	rad
	1	$2.70270 \times 10^{-11}$		1	100
	$3.7 \times 10^{10}$	1	0.01	1	

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	$2.58 \times 10^{-4}$	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

(86年12月26日現在)

超ウラン元素仕様高温音速弾性率測定装置及び円筒形試料成型機の製作及び性能試験



古紙配合率100%  
白色度70%再生紙を使用しています