

JAERI-Tech
2001-059



JP0150775



超音波式肉厚自動測定装置の製作

2001年9月

大場 敏弘・柳原 隆夫・加藤 千明・濱田 省三

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。

入手の問い合わせは、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、お申し越してください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

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

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2001

編集兼発行 日本原子力研究所

超音波式肉厚自動測定装置の製作

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
大場 敏弘⁺・柳原 隆夫・加藤 千明・濱田 省三

(2001 年 7 月 23 日受理)

原研では文部科学省からの受託研究として「再処理施設新材料耐食安全性実証試験」を実施してきた。この試験においては六ヶ所再処理施設の主要機器の一つである酸回収蒸発缶の小型モックアップ試験体を用いた実証試験を進めてきた。この試験体の一部である伝熱管および短い管材を用いた実験室規模の伝熱面腐食試験片に対してそれらの内表面の腐食減肉を知るために、伝熱管の肉厚を非破壊・高精度で測定できる超音波肉厚測定装置を製作した。

この装置は、超音波式水浸法にパソコン制御方式を併用することにより自動的に肉厚を測定・記録できるものである。製作した装置で得られた肉厚は光学顕微鏡で測定した肉厚と非常によい一致を示し、この装置の測定精度のよいことが確認された。

本報告書は、この装置の仕様および性能などについてまとめたものである。

本報告書は、電源開発促進対策特別会計法に基づく文部科学省からの委託研究として日本原子力研究所が実施した「平成 12 年度再処理施設新材料耐食安全性実証試験」で得られた成果の一部としてまとめたものである。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2-4

+ 技術部工作技術課

Manufacture of Ultrasonic Thickness Measurement Apparatus

Toshihiro OHBA⁺, Takao YANAGIHARA, Chiaki KATOH and Shozo HAMADA

Department of Nuclear Energy System
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received July 23, 2001)

The demonstration test for evaluating reliability of the acid recovery evaporator at Rokkasho Reprocessing Plant has been carried out at JAERI.

For the nondestructive measurement of the thickness of heat transfer tubes in the acid recovery evaporator and short tubes used in corrosion test, we have developed ultra sonic thickness measuring apparatus using immersion method with high resolution.

This apparatus can measure and record tube thickness automatically with a personal computer.

The results obtained by this apparatus are coincident with the results obtained by a destructive method using an optical microscope.

Keywords : Ultrasonic Thickness Measurement, Acid Recovery Evaporator, Reprocessing Plant, Immersion Method, Heat Transfer Tube, Mock-up Test Facility, Demonstration Test

This research is sponsored by the Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology Under contract of the "Demonstration Tests for Evaluating Reliability of New Materials Used in Nuclear Fuel Reprocessing Plant."

+ Mechanical Engineering and Electronics Division

目 次

1. 概要	1
2. 機器の構成	1
2. 1 超音波肉厚計測部	1
2. 2 データ収録・制御部	1
2. 3 駆動測定機構部	1
3. 製作仕様及び測定方式	2
3. 1 製作仕様	2
3. 2 測定方式	2
4. 試験片形状	3
4. 1 試験片	3
4. 2 厚さ校正用試験片	3
5. 操作方法	3
5. 1 超音波厚さ測定機の校正方法	3
5. 2 超音波肉厚測定システムの操作法	4
6. 肉厚測定結果	4
6. 1 厚さ校正用試験片による測定結果	4
6. 2 小型の管材伝熱面腐食試験片の厚さ測定結果	4
7. まとめ	5
謝辞	5
参考文献	5
付録1 試験片取付手順	17
付録2 超音波肉厚測定システム取扱説明	23

Contents

1. Introduction -----	1
2. Components of Equipment -----	1
2.1 Monitor Part -----	1
2.2 Data Record and Control Part -----	1
2.3 Driving Measurement Part -----	1
3. Specification and Measurement System -----	2
3.1 Specification -----	2
3.2 Measurement System -----	2
4. Test Piece -----	3
4.1 Test Piece of Corrosion Test -----	3
4.2 Calibration Test Piece -----	3
5. Procedure for Measurement -----	3
5.1 Calibration of the Apparatus -----	3
5.2 Procedure of Ultrasonic Thickness Measurement System -----	4
6. Results of Thickness Measurement -----	4
6.1 Results of the Calibration Test Piece -----	4
6.2 Results of the Heat Transfer Tubes -----	4
7. Summary -----	5
Acknowledgement -----	5
References -----	5
Appendix 1 Procedure to Set Test Piece -----	17
Appendix 2 Manual of Ultrasonic Thickness Measurement System -----	23

表 1 校正用試験片による厚さ測定結果 (その 1)

表 2 校正用試験片による厚さ測定結果 (その 2)

表 3 校正用試験片による厚さ測定結果 (その 3)

図 1 構成ブロック図

図 2 駆動部の構造図

図 3 超音波肉厚計測部

図 4 データ収録・制御部

図 5 駆動測定測定部

図 6 試験片の形状

図 7 校正用試験片の形状

図 8 肉厚測定結果

Captions :

Table 1 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 1)

Table 2 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 2)

Table 3 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 3)

Fig. 1 Component block diagram

Fig. 2 Diagram of driving measurement part

Fig. 3 Monitor part

Fig. 4 Data record and control part

Fig. 5 Driving measurement part

Fig. 6 Dimension of test piece

Fig. 7 Dimension of calibration test piece

Fig. 8 Results of thickness measurement

1 . 概 要

本装置は、小型の管材伝熱面腐食試験片の肉厚を測定することを目的として、超音波水浸法を利用して製作した肉厚自動測定収録機能を有する装置である。

超音波による肉厚測定の方法は、水槽内に設けられた計測駆動装置に試験片をチャックして水中に浸し、試験片の軸方向の垂直上面から、超音波を入射させ管材中を伝搬する超音波の伝搬時間を肉厚に変換する、超音波水浸法を利用した肉厚測定法である。

装置の特徴は試験片の周方向、軸方向のいずれの測定も、測定点をパソコンにより指定し、入力した測定点を指定したステップで制御し、自動計測できることであり、円周方向の測定は、試験片を駆動装置によって回転させて行い、軸方向の測定は、駆動装置に取付けられた超音波プローブを移動させて測定する構造となっている。

さらに、本装置の最大の特徴は、肉厚を1/100mm 以下の精度で検出する性能を有する他、周方向移動分解能 0.1°、軸方向移動分解能 0.1mmの高密度な制御が可能なことである。また、1計測に対する最大測定ポイント数が、3,600,000 ポイントと計測容量の多いことを特徴とした装置である。

2 . 機器の構成

装置は超音波肉厚計測部、データ収録・制御部及び駆動測定機構の3部分から構成されている Fig. 1 に構成ブロック図を示した。また以下には各構成機器を示した。Fig. 2 には駆動測定機構部の詳細な構造図を示すとともに、計測システム各部を Figs. 3～5 に示した。

2.1 超音波肉厚計測部

- | | |
|--------------|--------------------------------|
| (1) 超音波厚み測定機 | Panametrics 5215型 |
| (2) 超音波プローブ | Panametrics M312-SUOS-1" 10MHz |
| (3) オシロスコープ | Tektronix Model 465 相当品 |
| (4) 連結ケーブル | BNC/BNC ケーブル |

2.2 データ収録・制御部

- | | |
|-----------------|--------------------|
| (1) パソコン | DELL Dimention XPS |
| (2) A/D 変換器 | |
| (3) モータコントローラ | |
| (4) モータドライバボックス | |
| (5) ノイズカットトランス | |

2.3 駆動測定機構部

- | | |
|---------------|---------------------------------|
| (1) アクリル樹脂製水槽 | |
| (2) 軸方向移動機構 | ステッピングモータ駆動ボールネジ電動スライダ、プローブ固定機構 |

- (3) 周方向回転機構 ギヤードステッピングモータ駆動回転機構、防水軸受け、試験片チャック機構
- (4) 機構組付けフレーム

3. 製作仕様及び測定方式

3.1 製作仕様

装置の製作に関する基本的な設計仕様は、酸回収蒸発缶実証試験体における加熱部伝熱管の肉厚測定のために、既に住友化学工業（株）愛媛工場に設置されている長尺用の伝熱管肉厚測定装置¹⁾を参考とした。本装置と住友化学工業（株）のそれとの大きな違いは、後者が長尺用の大型装置であり、さらに、プローブを管の内部に入れて、内表面から超音波を入射する方式であるのに対し、前者は小型装置であって、超音波を外表面から入射する方式になっている点である。

以下に製作設計^{1) 2)}及び測定方式^{1) 2)}に関する基本条件を示す。

- | | |
|---------------------|--|
| (1) 周方向測定範囲 | 360° |
| (2) 軸方向測定範囲 | 100mm |
| (3) 周方向移動分解能 | 0.1° |
| (4) 軸方向移動分解能 | 0.1mm |
| (5) 厚さ測定範囲 | 1.000～9.999mm |
| (6) 測定ポイント数 | 1計測に対して最大3,600,000point |
| (7) 測定データファイル | 1計測を1FILEとしてパソコンハードディスクに保存 |
| (8) 周方向測定開始位置及び設定範囲 | 原点を 0° として 0～359.9° |
| (9) 軸方向測定開始位置及び設定範囲 | 原点を 0mmとして 0～100.0mm |
| (10)周方向測定間隔設定範囲 | 0.0～359.9° まで0.1° ステップ |
| (11)軸方向測定間隔設定範囲 | 0.0～100.0mm まで0.1mm ステップ |
| (12)超音波フォーカススポット | 超音波フォーカススポット径の調整を行なうために、プローブ
取付け位置を上下に±5mm 調整可能 |

3.2 測定方式

パソコンによる厚さデータの測定は以下の方式によって行なわれる。

- (1) 厚さデータの取り込み方法
超音波厚さ測定機の測定データ信号の電圧出力をA/D変換器を通してパソコンに取込む。
- (2) 自動計測するための原点設定の方法
試験片に加工した原点スリットを自動検索（原点移動操作で周方向・軸方向の移動をしながら

厚さを測定し、急激に厚さが減少する位置を検索し、原点を確定する。

(3) 測定データファイル

測定開始ポイントから測定終了ポイントまで(または測定中止キー入力まで)を1計測としてこの1計測を1ファイルとしてパソコンハードディスクに保存する。

測定データをパソコンに保存する FILE NAME と保存 DIRECTORY は測定開始前に測定者がキー入力する。

測定データは1ポイント計測する都度にパソコンハードディスクに保存される。

4. 試験片形状

4.1 試験片

基本的には、エネルギーシステム研究部の材料試験室に設置されている管材伝熱面腐食試験装置で試験に使用された試験片について、当装置を用いて肉厚を測定する。試験片外表面の肉厚測定部の一方の端面には、肉厚測定システムの計測原点となる幅2mm、長さ6mm、深さ0.3mmの平底溝が軸方向に加工されている。その試験片の形状をFig.6に示した。

4.2 厚さ校正用試験片

超音波厚さ計の肉厚校正のために肉厚校正用試験片を製作した。Fig.7にその形状を示した。この試験片は図に示したように、旋盤によって内径加工を行い、階段状に肉厚を変えてある。

各々の肉厚は、1/10000mmの精度を持ったゲージブロックを用いて校正を行なったマイクロメータを使用して、1/1000mm精度で基準点の厚みを測定した。

これらの肉厚の測定値は、周方向原点の0°位置から軸方向に14.88mmの位置が肉厚3.496mnt、34.83mmの位置が3.731mnt、54.84mmの位置が3.999mnt、74.70mmの位置が4.220mnt、94.70mmの位置が4.499mntの5段階となっている。

5. 操作方法

5.1 超音波厚さ測定機の校正方法

超音波厚さ測定機の校正は、Panametrics-5215型超音波厚み測定機取扱い説明書に解説されている肉厚校正手順を参考として、Fig.7に示す厚さ校正用試験片を用いて行なう。(厚さ校正用試験片は測定すべき最大の厚さ及び最少の厚さに近い2点の厚さが既知のものを準備する必要がある)以下に、厚さ計の校正手順を示した。

- (1) 最初に校正用試験片をFig.2に示した駆動測定機構部の試験片取り付け治具にセットする。

校正用試験片のセットの方法は、Appendix1に記載した試験片の取付手順説明に従ってセットする。実際の腐食試験片の取付方法もこのAppendix1の取付手順と同様に行なう。

- (2) 超音波プローブと試験片表面との距離を隙間ゲージを用いて25mmに調整した後、プローブをプローブ保持具に固定する。

- (3) 超音波厚さ計(Model-5215)のツマミを以下に示したレンジに設定する。

- a CHANNEL : 1
- b パルスエネルギー : Hi
- c ECHO POLARITY INT : +
- d ECHO POLARITY BACK : -
- e 測定モード : モード2

(4) 超音波厚さ測定機の校正

校正の方法は、超音波厚さ測定機の前面表示部とオシロスコープのCRTを観察しながら、以下の手順に従って行なう。

- a. まず、校正用試験片の厚肉部 4.499mm 部にプローブをセットし、VELOCITY ツマミを調整して前面表示部に正しい厚さが表示されるようにする。
- b. 次に、校正用試験片の薄肉部 3.496mm 部にプローブをセットし、ZERO ADJ ツマミを調整して前面表示部に正しい厚さが表示されるようにする。
- c. 上述の a と b の操作を繰り返し行い、両方の読みが正しくなるように調整する。

5.2 超音波肉厚測定システムの操作法

パソコンによるシステムの操作方法は、Appendix 2 の超音波肉厚測定システム取扱説明に記載された手順に従って、テンキーを操作して必要とする測定箇所を入力し、自動計測モードあるいは手動計測モードを選択してデータ収録を行なう方法である。

詳細なシステム起動の方法は、上述のAppendix 2 を参照されたい。

6. 肉厚測定結果

6.1 厚さ校正用試験片による測定結果

本測定装置の仕様性能を確認するため、厚さ校正用試験片を使用した厚さ測定を行なった。

厚さ測定は、本装置の測定精度を調べるために、測定環境をほぼ一定にして、1日ごとに3日にわたり、厚さ校正用試験片の5ヵ所の基準点の厚さ測定を行なった。また、各々の測定では厚さの基準点をそれぞれ3回測定して、厚みのバラツキを求めた。その測定結果を Table 1～3 にまとめた。

その結果、肉厚測定の標準偏差は最大で0.003mm、測定値の誤差は±0.005mm 以内の精度で測定が可能であった。

以上の測定結果から、本測定装置は、0.01mm以下の測定精度を有することが確認され、所期の製作仕様を十分満足していると判断された。

6.2 小型の管材伝熱面腐食試験片の厚さ測定結果

肉厚の測定は、実証試験で、約20000 時間の試験に供した伝熱管の一部に対して本測定装置による肉厚測定を行い、住友化学工業（株）での実証試験体のISI（供用期間中検査）で実施した超音波による肉厚測定結果と比較した。

肉厚測定用試験片は、先に I S I で肉厚測定を行なった伝熱管を実証試験体から引抜き、これを切断加工して製作した。

肉厚の比較は、伝熱管の上端面から、ほぼ同距離における周方向についてである。

また、参考のために、本測定装置で測定した位置で伝熱管を輪切りにし、その断面を光学系の読み取り顕微鏡を用いて、その肉厚測定も行なった。

これらの3つの異なる測定法による肉厚測定結果をFig. 8 に示した。

図から判るように本装置による測定結果は、一部で測定値が大きく上下に変動している所が認められるが、これは、伝熱管の抜管の際に形成された溝状の傷による影響から、超音波が乱反射したためと考えられる。

全体的には、I S I 及び本測定装置による肉厚測定値は非常によく一致し、光学系の読み取り顕微鏡による測定値に対してもよく一致することが確認された。

7. ま と め

内面が硝酸溶液により腐食浸食された伝熱管の肉厚を非破壊で測定するために、小型の超音波肉厚測定装置を製作した。そして、測定結果を他の方法により求めたものと比較し、以下のよう

にまとめられた。

- (1) 本装置は内面が腐食浸食された伝熱管の肉厚測定に十分使用できる。
- (2) 伝熱管の肉厚測定に超音波法を用いる場合、超音波の入射方向は内面からでも外面からでも同程度の精度で肉厚測定が可能である。
- (3) 超音波により測定した肉厚は、表面の状態により部分的に過大な値を示すこともあるが、全体的に非常に精度がよい。

謝 辞

本報告書の作成にあたり、落合政昭エネルギーシステム研究部長ならびに松崎誼技術部長よりご協力と励ましを頂いた。また、肉厚計測システムの製作に当たっては、耐食材料研究グループ木内清リーダーならびに武山友憲工作技術課長をはじめとして、関係各位に多くのご協力を賜った。ここに謹んで謝意を表します。

参 考 文 献

- (1) 平成9年度再処理施設新材料耐食安全性実証試験に関する成果報告
- (2) (社)日本非破壊検査協会、新非破壊検査便覧 (1992)

Table 1 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 1)

No. *	周方向位軸方向位 公称厚み mm	第1回 水温20.5℃ 晴			第2回 水温20.5℃ 晴			第3回 水温20.5℃ 晴			解析結果			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	標準偏差	最大値	最小値
1.1	0	3.496	3.500	3.497	3.501	3.501	3.502	3.499	3.497	3.500	3.499	0.002	3.502	3.495
1.2	3.496	3.495	3.497	3.497	3.498	3.501	3.497	3.497	3.502	3.499	0.002	0.002	3.499	3.499
1.3		3.497	3.500	3.498	3.502	3.502	3.499	3.499	3.500	3.500	3.497	3.497	3.499	3.499
2.1	0	3.727	3.728	3.725	3.732	3.731	3.728	3.730	3.731	3.727	3.729	0.002	3.735	3.725
2.2	3.731	3.726	3.728	3.726	3.732	3.730	3.730	3.735	3.732	3.728	0.002	0.002	3.725	3.725
2.3		3.725	3.730	3.727	3.729	3.730	3.730	3.731	3.732	3.727	3.730	3.730	3.730	3.730
3.1	0	3.994	3.993	3.992	3.995	3.994	3.997	3.992	3.991	3.995	3.993	0.002	3.997	3.990
3.2	3.999	3.991	3.991	3.992	3.994	3.993	3.996	3.993	3.993	3.993	0.002	0.002	3.990	3.990
3.3		3.994	3.991	3.992	3.995	3.996	3.994	3.990	3.990	3.996	3.994	3.994	3.993	3.993
4.1	0	4.220	4.214	4.216	4.221	4.221	4.221	4.220	4.220	4.219	4.219	0.002	4.222	4.214
4.2	4.220	4.219	4.216	4.218	4.220	4.220	4.222	4.219	4.219	4.217	0.002	0.002	4.214	4.214
4.3		4.219	4.215	4.214	4.218	4.219	4.222	4.221	4.220	4.221	4.220	4.220	4.219	4.219
5.1	0	4.500	4.497	4.497	4.505	4.500	4.502	4.502	4.502	4.501	4.500	0.003	4.505	4.495
5.2	4.499	4.499	4.498	4.495	4.499	4.502	4.503	4.502	4.500	4.502	4.502	4.502	4.501	4.501
5.3		4.498	4.496	4.496	4.502	4.503	4.502	4.505	4.496	4.502	4.502	4.502	4.501	4.501

*: 1 回のスキャンにおけるセンサーの移動は、原点→1.1→1.2・・・→5.3→原点 で終了する。

表中の1?9の列は、計測プログラムを繰り返して計測したことを示す。

0調整時の記録

各回の計測開始時間

調整時期	調整箇所	目盛り	狙い値*	読み値*
開始時	M2	4.90	3.496	3.496
	VEL.	5.15	4.499	4.499
	M2	4.89	3.496	3.498
終了時	VEL.	5.14	4.499	4.501

*: 狙い値と読み値は、装置に接続した電圧計の表示による

Table 2 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 2)

No.*	周方向位軸方向位 公称厚みmm	第1回			水温20.5℃			第2回			水温20.7℃			第3回			水温20.7℃			解析結果			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	平均	標準偏差	最大値	3.497	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725
1.1	0	3.495	3.497	3.501	3.499	3.495	3.496	3.499	3.497	3.497	3.497	3.497	3.501	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497
1.2	3.496	3.493	3.498	3.496	3.495	3.498	3.498	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497
1.3	3.496	3.496	3.497	3.499	3.497	3.499	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497	0.002	中央値	3.497
2.1	0	3.726	3.724	3.727	3.727	3.725	3.725	3.727	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725
2.2	3.731	3.726	3.725	3.727	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725
2.3	3.723	3.723	3.725	3.729	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725	0.002	中央値	3.725
3.1	0	3.990	3.988	3.990	3.987	3.988	3.990	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	0.002	中央値	3.987	0.002	中央値	3.987	0.002	中央値	3.987
3.2	3.999	3.992	3.991	3.992	3.992	3.987	3.990	3.992	3.992	3.992	3.992	3.992	3.992	3.992	0.002	中央値	3.992	0.002	中央値	3.992	0.002	中央値	3.992
3.3	3.992	3.992	3.990	3.989	3.987	3.987	3.990	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	3.987	0.002	中央値	3.987	0.002	中央値	3.987	0.002	中央値	3.987
4.1	0	4.217	4.216	4.217	4.220	4.219	4.219	4.220	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217
4.2	4.220	4.218	4.216	4.218	4.217	4.218	4.218	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217
4.3	4.218	4.218	4.216	4.218	4.217	4.218	4.218	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217	0.002	中央値	4.217
5.1	0	4.496	4.500	4.500	4.503	4.501	4.500	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	0.002	中央値	4.503	0.002	中央値	4.503	0.002	中央値	4.503
5.2	4.499	4.498	4.502	4.503	4.500	4.501	4.499	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	4.503	0.002	中央値	4.503	0.002	中央値	4.503	0.002	中央値	4.503
5.3	4.495	4.495	4.497	4.502	4.500	4.503	4.503	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	4.500	0.002	中央値	4.500	0.002	中央値	4.500	0.002	中央値	4.500

* : 1 回のスキランにおけるセンサーの移動は、原点→1.1→1.2・・・→5.3→原点 で終了する。

表中の1?9の列は、計測プログラムの繰返しで計測したことを示す。

0調整時の記録				各回の計測開始時間			
調整時期	調整箇所	目盛り	狙い値*読み値*	開始時0調整	1回目測定	2回目測定	3回目測定
開始時	M2	4.89	3.496	10:00	10:30	13:00	16:00
	VEL.	5.15	4.499				
終了時	M2	4.89	3.496				
	VEL.	5.14	4.499				

* : 狙い値と読み値は、装置に接続した電圧計の表示による

Table 3 Results of thickness measurement by calibration test piece (part 3)

No. *	周方向位 軸方向mm	水温18.0℃			水温19.5℃			水温19.5℃			解析結果			
		第1回	第2回	第3回	第4回	第5回	第6回	第7回	第8回	第9回	平均	標準偏差	最大値	最小値
1.1	0	3.496	3.497	3.498	3.499	3.503	3.502	3.496	3.499	3.499	3.499	0.002	3.503	3.495
1.2	3.496	3.495	3.499	3.495	3.501	3.503	3.498	3.500	3.498	3.500	3.499	0.002	3.499	3.499
1.3		3.495	3.497	3.498	3.498	3.499	3.497	3.500	3.499	3.500	3.499	0.002	3.499	3.499
2.1	0	3.724	3.725	3.725	3.729	3.729	3.727	3.727	3.730	3.726	3.727	0.002	3.730	3.722
2.2	3.731	3.724	3.724	3.726	3.729	3.729	3.727	3.729	3.727	3.726	3.727	0.002	3.722	3.722
2.3		3.722	3.727	3.726	3.726	3.729	3.726	3.728	3.728	3.728	3.729	0.002	3.727	3.727
3.1	0	3.992	3.989	3.989	3.993	3.994	3.994	3.992	3.989	3.992	3.992	0.003	3.996	3.986
3.2	3.999	3.994	3.986	3.994	3.993	3.993	3.995	3.995	3.993	3.989	3.992	0.003	3.993	3.993
3.3		3.991	3.986	3.991	3.995	3.993	3.996	3.996	3.992	3.992	3.992	0.002	3.992	3.992
4.1	0	4.219	4.214	4.215	4.218	4.215	4.220	4.217	4.220	4.220	4.218	0.002	4.223	4.214
4.2	4.220	4.218	4.215	4.216	4.220	4.218	4.222	4.216	4.219	4.220	4.218	0.002	4.218	4.218
4.3		4.218	4.217	4.215	4.223	4.218	4.220	4.218	4.219	4.219	4.218	0.002	4.218	4.218
5.1	0	4.498	4.501	4.499	4.503	4.500	4.502	4.502	4.503	4.502	4.501	0.002	4.504	4.496
5.2	4.499	4.496	4.500	4.498	4.501	4.501	4.501	4.502	4.499	4.502	4.501	0.002	4.501	4.501
5.3		4.501	4.499	4.503	4.504	4.503	4.500	4.498	4.501	4.503	4.501	0.002	4.501	4.501

*: 1 回のスキャンにおけるセンサーの移動は、原点→1.1→1.2・・・→5.3→原点 で終了する。
 表中の1?9の列は、計測プログラムを繰り返して計測したことを示す。

0調整時の記録

各回の計測開始時間

調整時期	調整箇所	目盛り	狙い値*	読み値*
開始時	M2	4.91	3.496	3.493
	VEL.	5.14	4.499	4.495
	M2	4.89	3.496	3.498
終了時	VEL.	5.14	4.499	4.503

開始時0調整	10:00
1回目測定	10:30
2回目測定	13:00
3回目測定	16:00

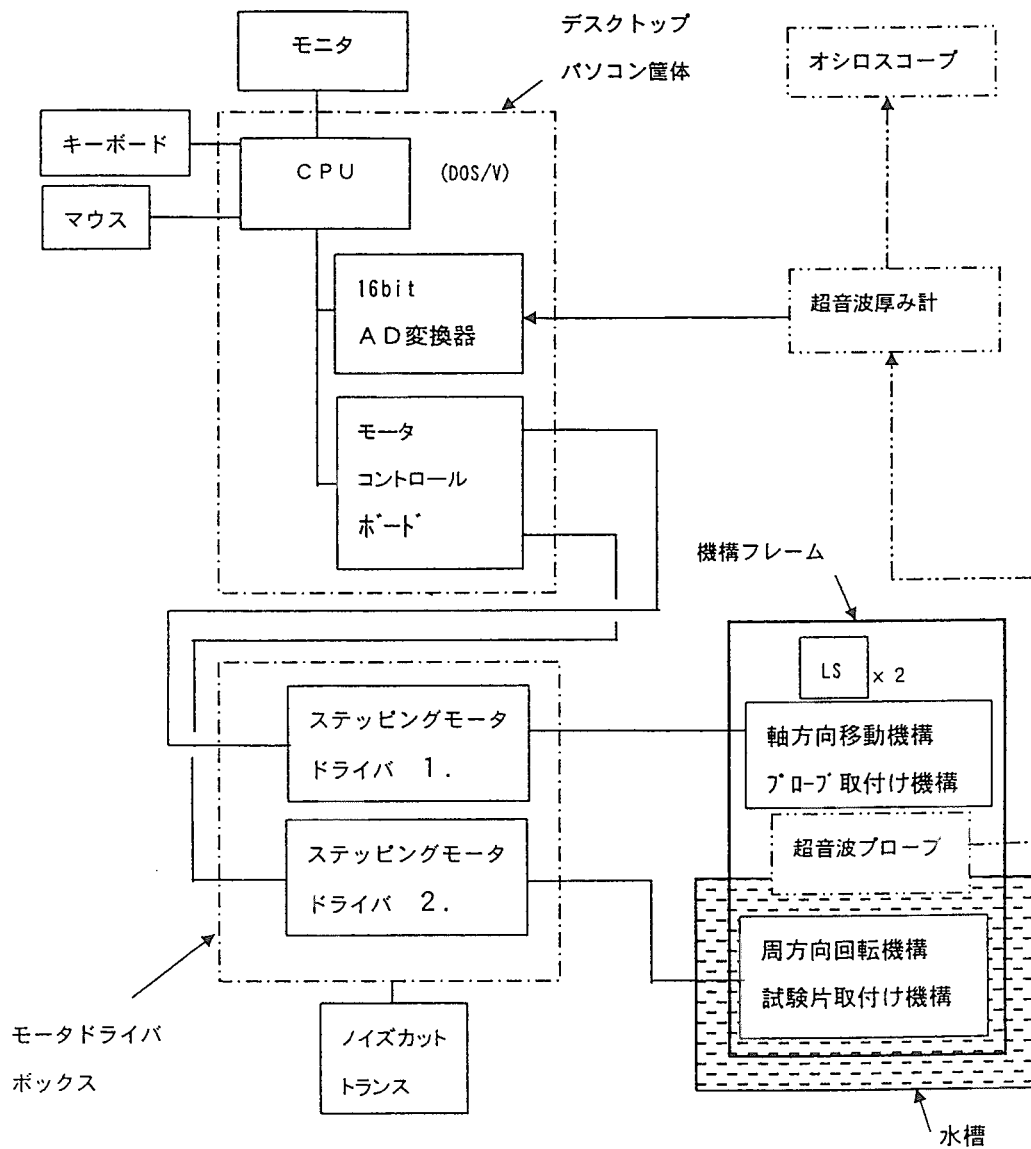


Fig. 1 Component block diagram

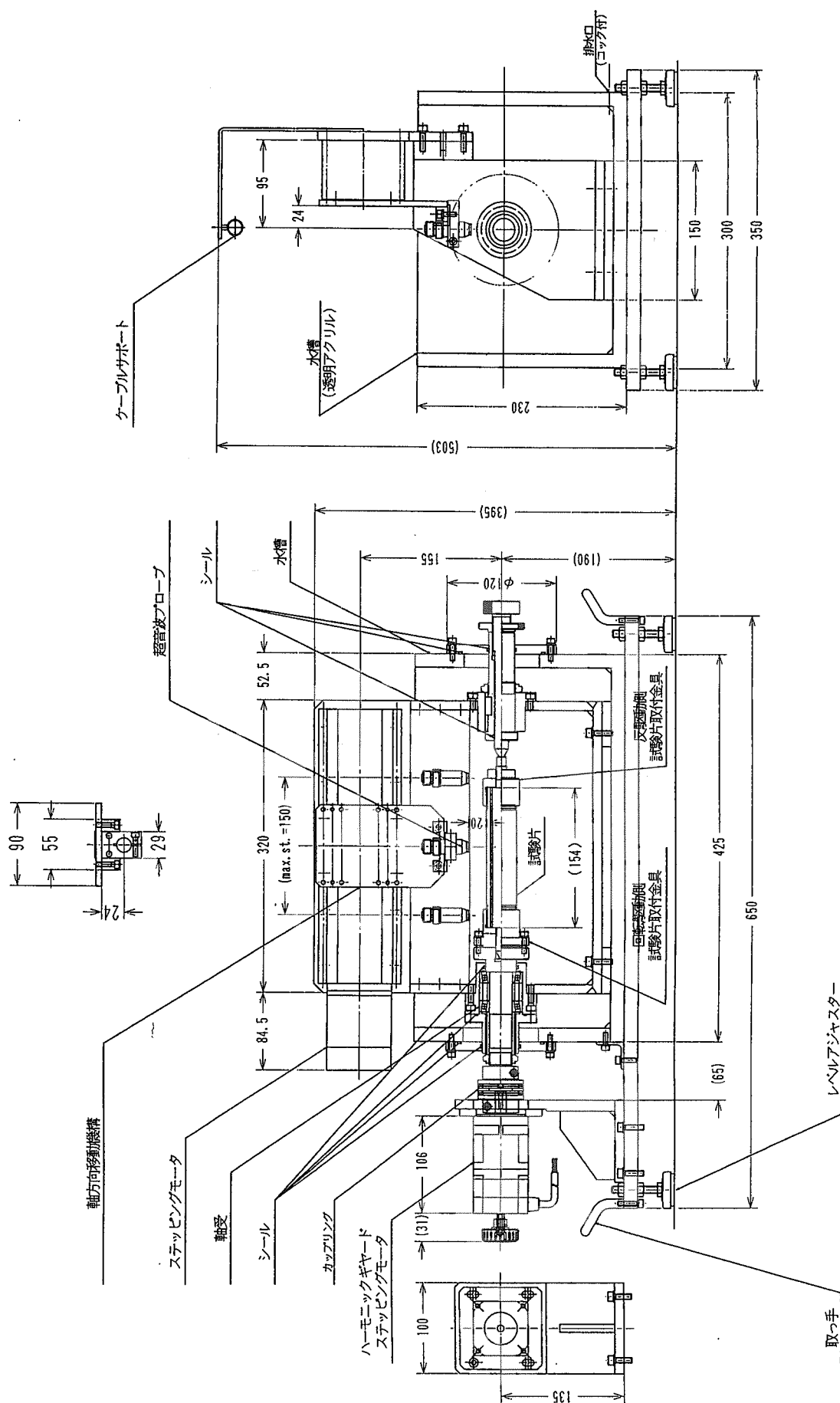


Fig. 2 Diagram of driving measurement part

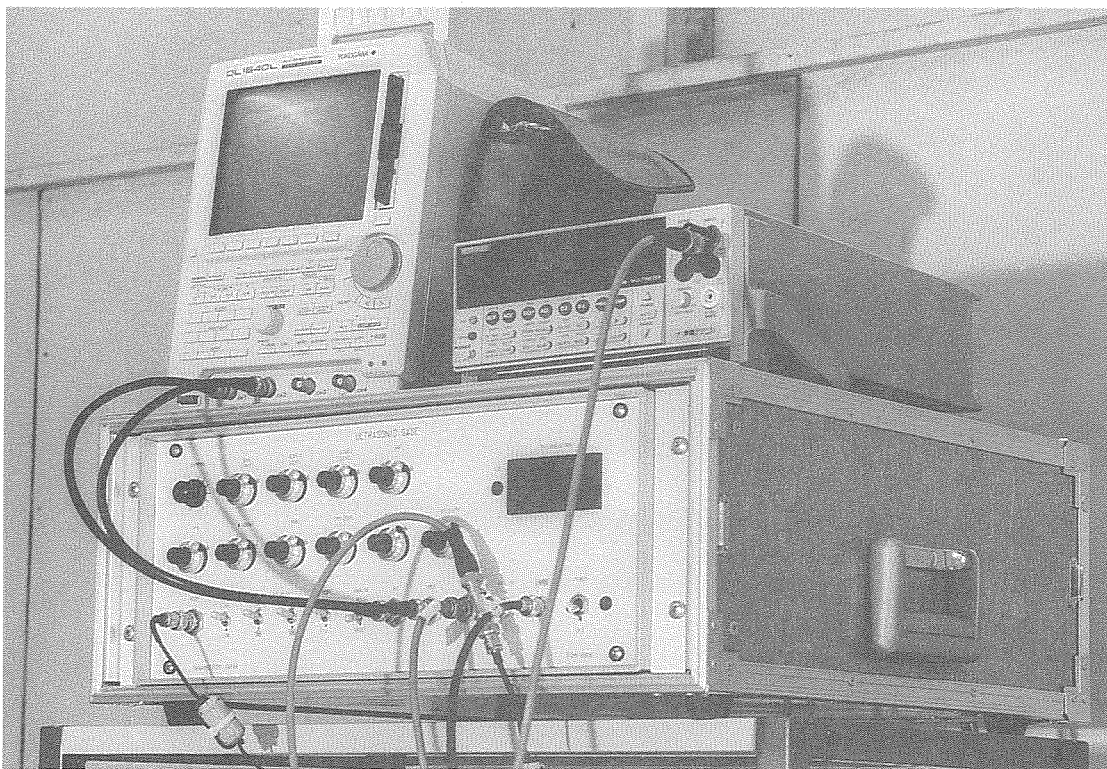


Fig. 3 Monitor part

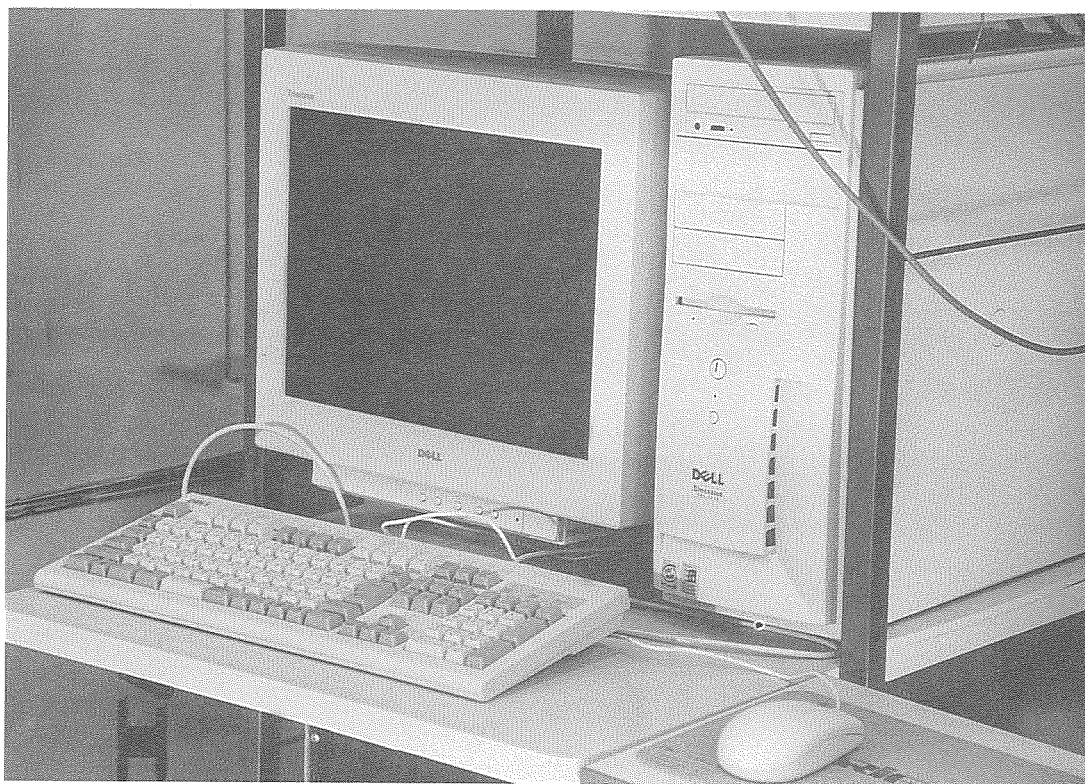


Fig. 4 Data record and control part

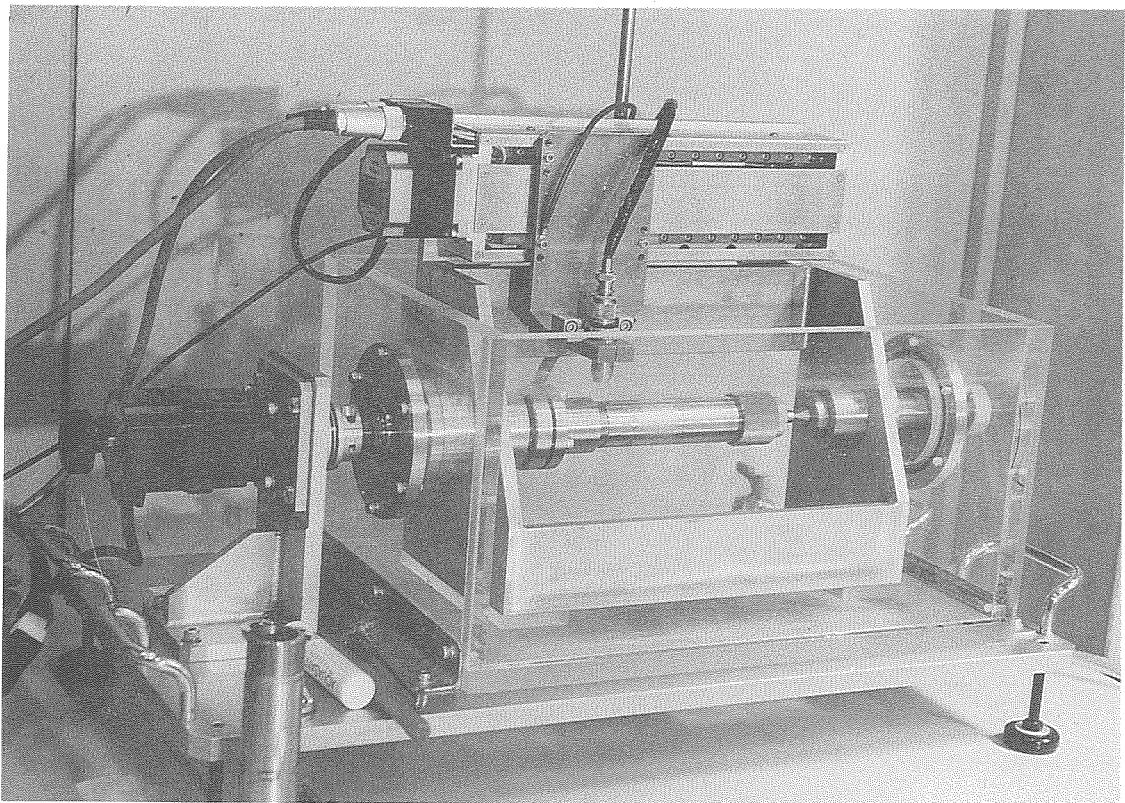


Fig. 5 Driving measurement part

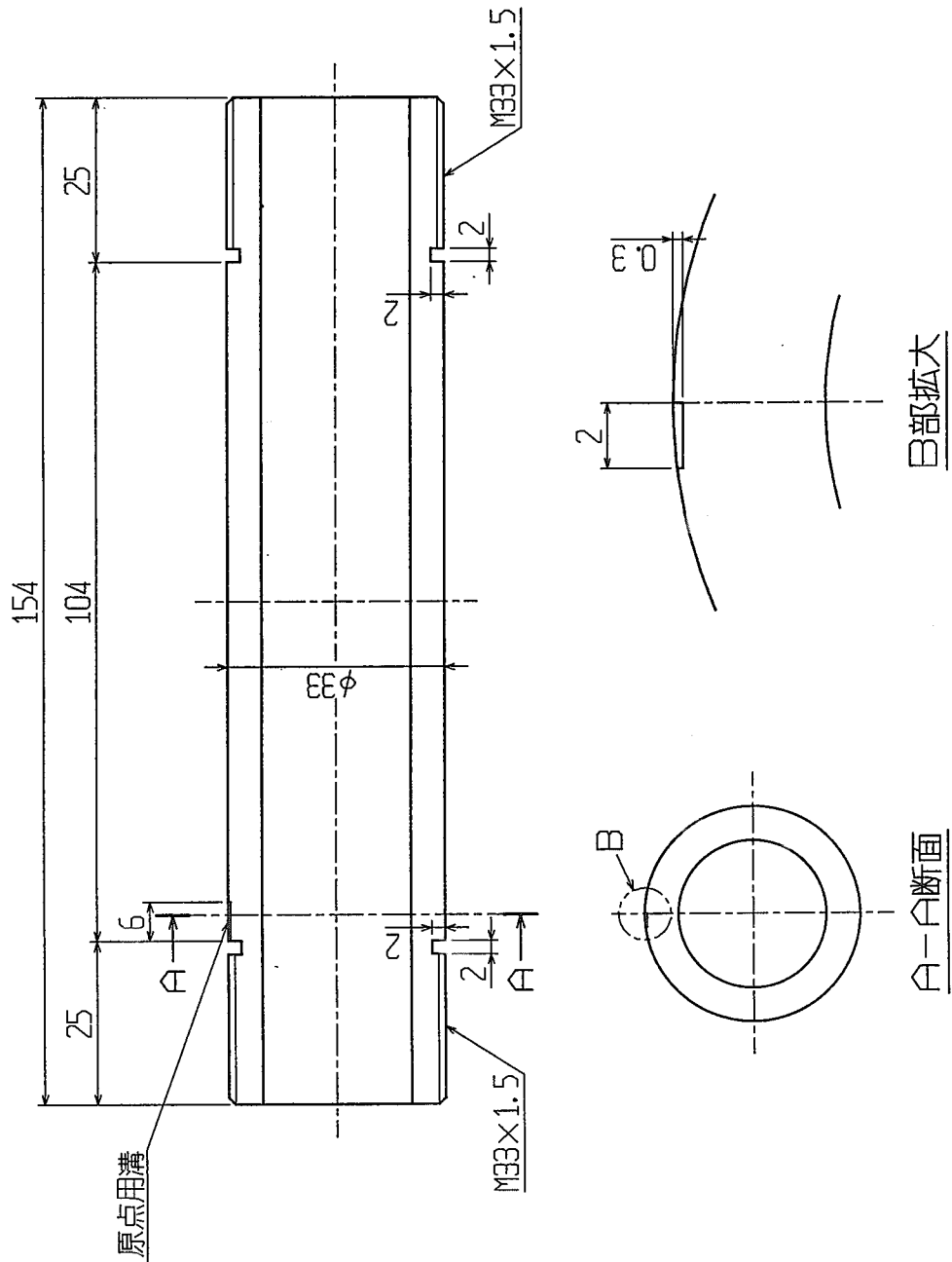


Fig.6 Dimension of test piece

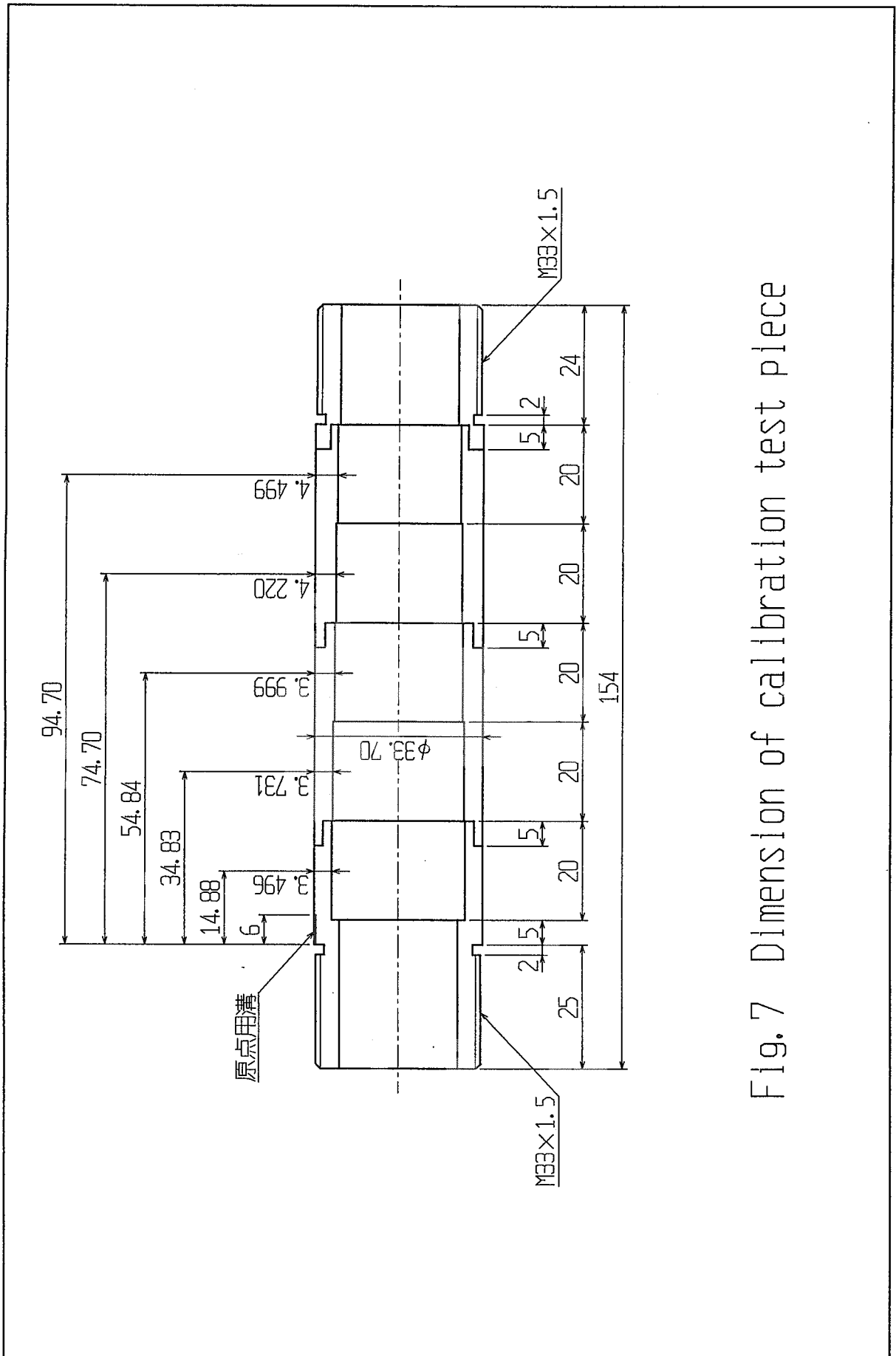


Fig. 7 Dimension of calibration test piece

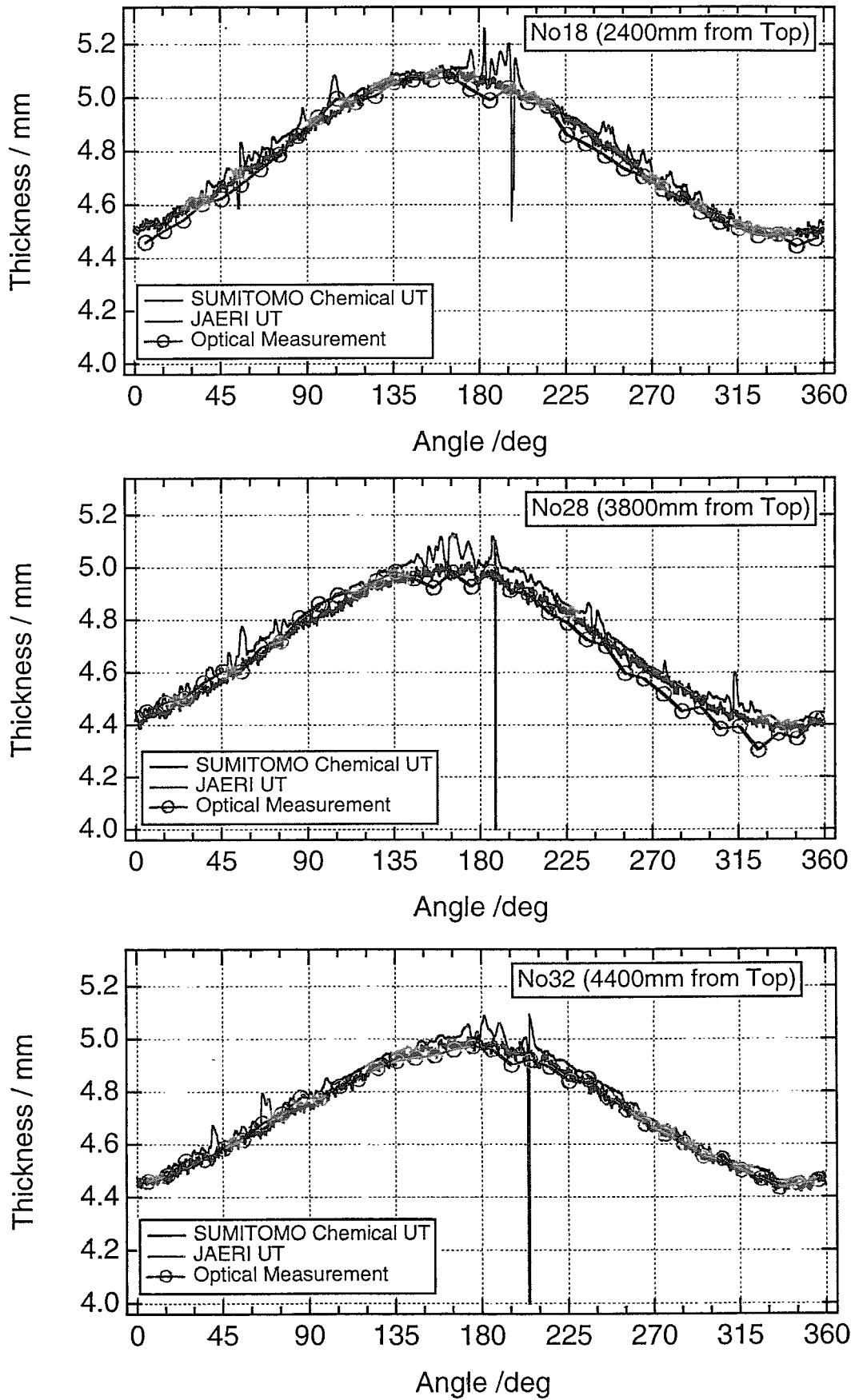


Fig.8 Results of thickness measurement.

This is a blank page.

付 録

付録 1 試験片取付手順

付録 2 超音波肉厚測定システム取扱説明

This is a blank page.

Appendix 1 Procedure to set test piece

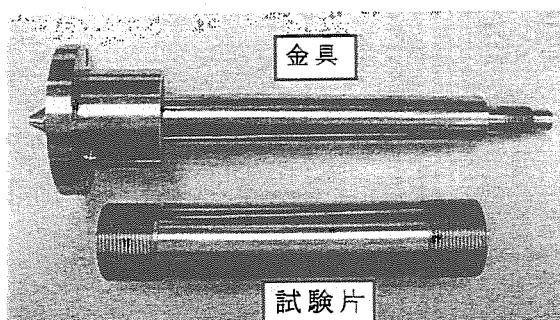
1. 取付部の構成

- (1) 回転駆動側試験片取付金具
- (2) 六角ねじ 4本
- (3) 反駆動側試験片取付金具
- (4) ロックねじ
- (5) 摺り合わせねじ
- (6) 摺り合わせねじロック

2. 取付手順

- (1) プローブ位置をねじ止め位置から離しておきます。
- (2) 試験片を回転駆動側試験片取付金具に取り付けます。

取付前

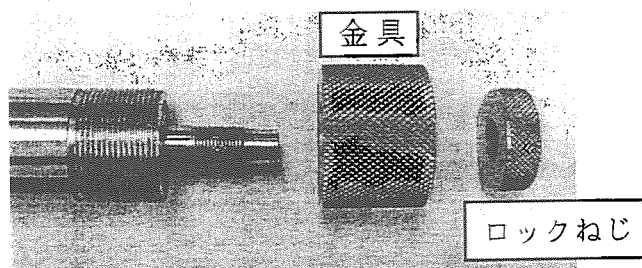


取付後

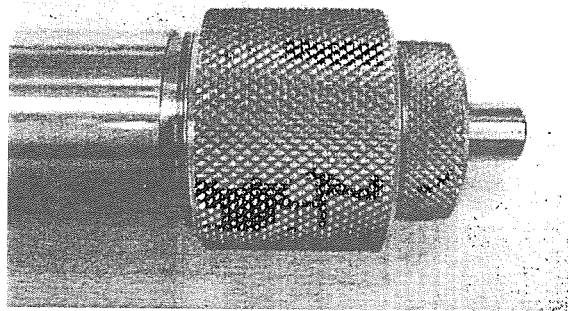


- (3) 反駆動側試験片取付金具をねじ込み、ロックねじを取り付けます

取付前

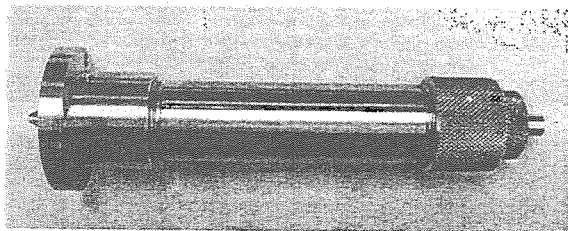


取付後



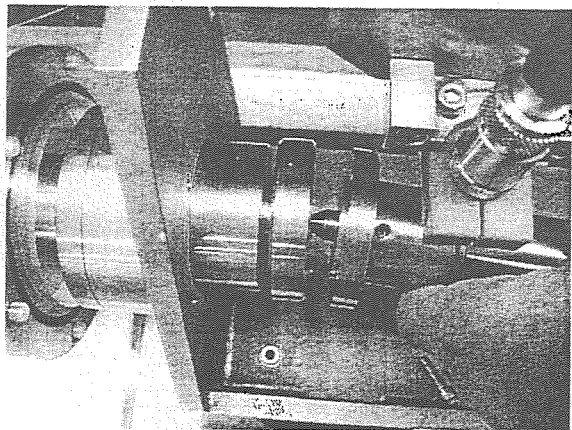
(4) 回転駆動側金具を駆動部本体にねじ止めします。

取付前

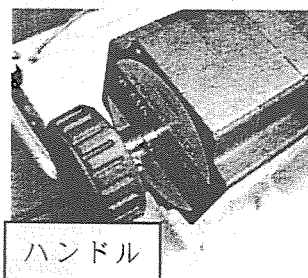


金具を具を本体
に合わせます。

注：この際、反駆動側
摺り合わせ部が引き
込まれていることを
確認し、金具とねじ
先端が当たり、先端
が損傷しないように
します。



駆動モータのハンドルを
回し、六角ねじを留める
のが容易な位置にねじ穴
持ってきます。

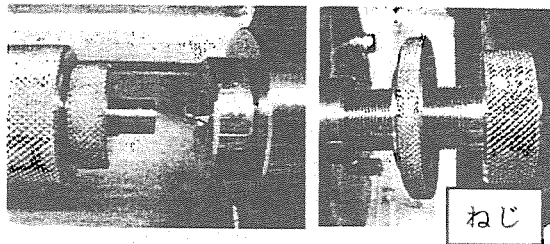


六角ねじを4本止めます。

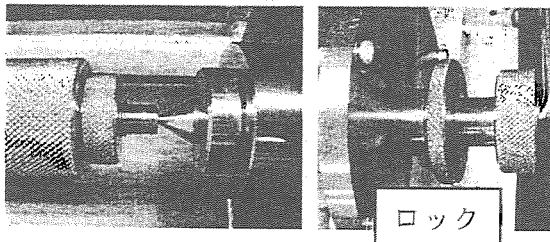


- (5) 反駆動側摺り合わせねじを押し込み、止めます。

反駆動側摺り合わせねじ
押し込み前

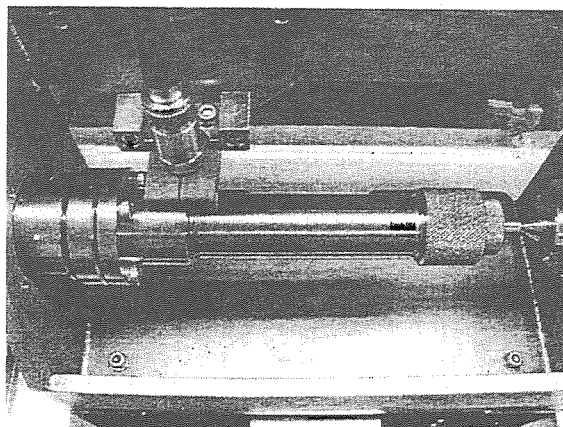


反駆動側摺り合わせねじを
押し込み留めます。ねじが
金具に当たるまで押し込み
当たったら少し戻します。
さらに、ねじをロックしま
す。



- (6) モータのハンドルを回し、モータに負荷がないか確認します。

完了



3. 取り外し手順

取付手順の逆の流れで実施します。

This is a blank page.

Appendix 2 Manual of ultrasonic thickness measurement system

超音波肉厚測定システム取扱説明書

This is a blank page.

1. 起動

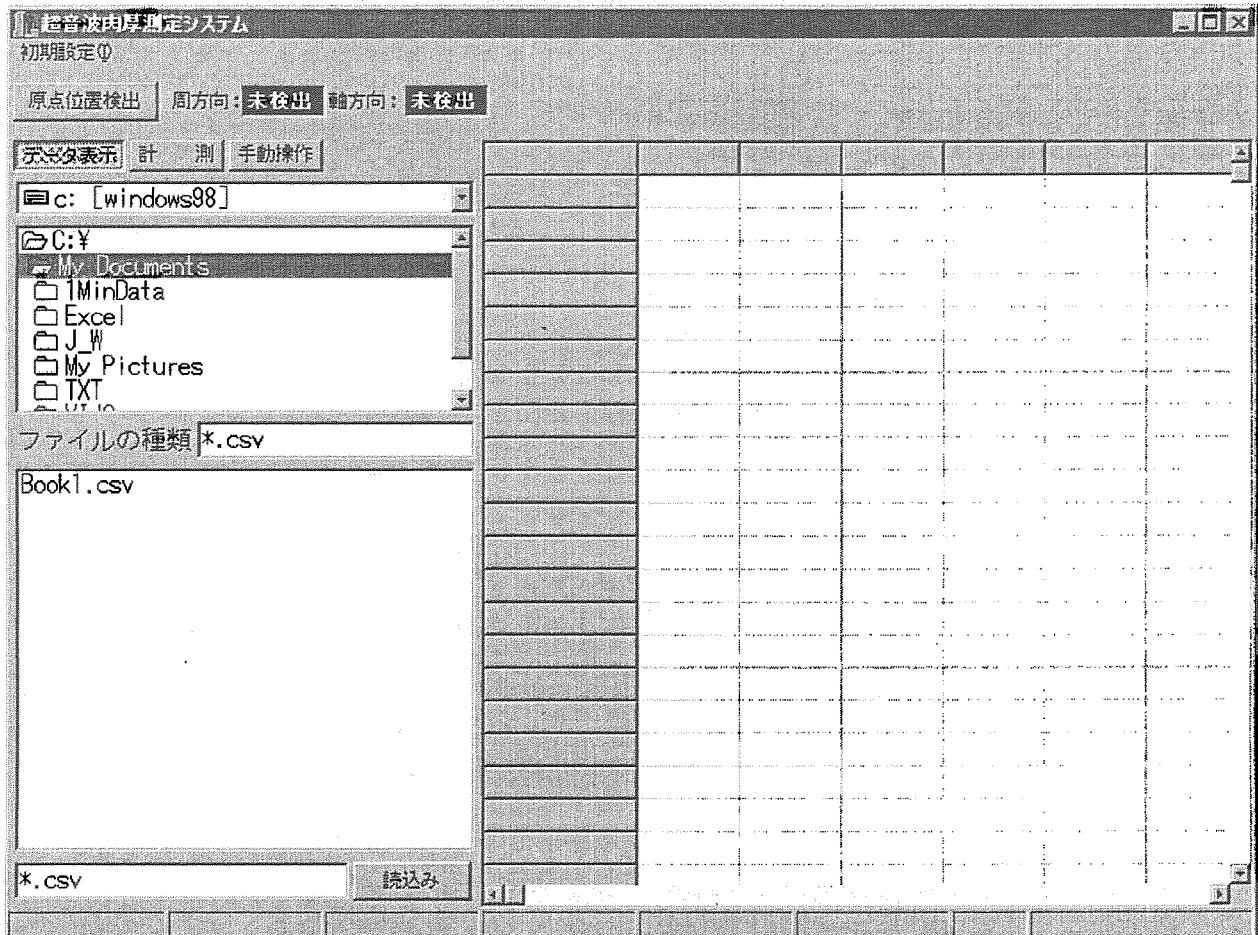
超音波肉厚測定システムを起動するには、デスクトップ上の「超音波肉厚測定システム」と書かれたアイコンをダブルクリックして下さい。

起動すると以下の画面が表示されます。

この状態で操作できるのは、原点位置検出とデータ表示のみです。

計測と手動操作については、原点位置の検出が正しく行われた場合にのみ操作可能になります。

ですから、計測と手動操作は画面に表示はありますが、選択は出来ません。



2. データ表示

過去に計測した結果を読み出す機能がデータ表示機能です。

読み出すデータのあるドライブ、ディレクトリを選択してください。

読み込み可能なファイルの一覧が表示されます

読み込み可能なファイルの拡張子はファイルの種類を変更することとで変更可能です。

この時必ず「*.拡張子」という形式で入力してください。

一覧の中から1つ選択すると一番下に選択されたファイルが表示されます。

この状態で「読み込み」ボタンを押すと右側に表形式で表示されます。

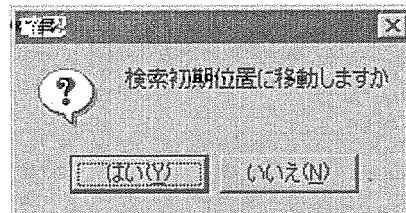
3. 原点位置検出

計測するワークに施された原点位置スリットを探索し、ワークの原点を決定するのが原点位置検出機能です。

ワークの原点位置を検出しないと、計測も手動操作も行えません。

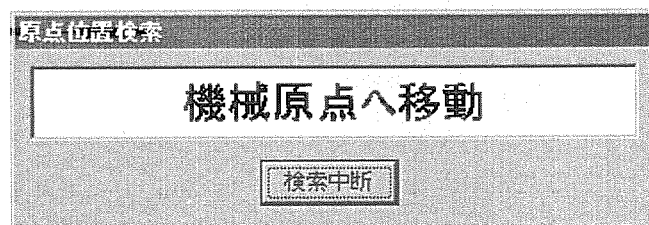
原点位置検出を行うには「原点位置検出」ボタンを押してください。

以下の確認ダイアログが表示されます。



「はい」のボタンを押してください。

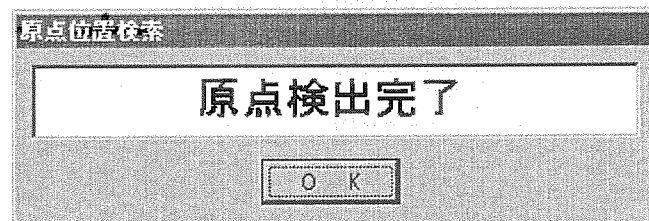
以下のダイアログが表示されて機械原点(-LMT)位置へプローブが移動します。



機械原点へ移動後、軸方向、周方向の順に原点位置の検出を行います。

「検索中断」ボタンを押すと押された瞬間に検索を中断して、動作を停止します。

原点位置の検索が終了すると、検出した原点位置まで戻り、ダイアログの表示が以下のように変わります。



「OK」ボタンを押してください。

原点位置検出が終了します。

これ以降、計測と手動操作が有効になります。

4. 計測

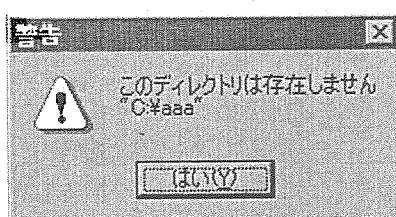
開始位置と終了位置、計測ピッチを指定するか、直接 1 点 1 点計測位置を指定してその位置の計測を行うのが計測機能です。

計測機能には、開始位置と終了位置の間を指定された計測ピッチで計測を行う自動計測モードと、1 点 1 点計測ポイントを指定するポイント指定計測モードがあります。

計測モードを選択する前に、計測したデータを保存するファイル名を指定します。
ファイル名を指定するまでは、計測モードを選択できません。

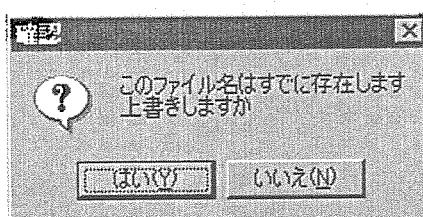
ファイル名は、ドライブまで含めたフルパスで入力して「Enter」キーを押すか、「…」ボタンを押してファイル保存ダイアログを表示して指定してください。

フルパスで入力した場合に、ディレクトリが存在しない場合は、以下のダイアログが表示されます。



「…」ボタンを押してファイル保存ダイアログを表示して、ディレクトリが存在するかを確認して指定してください。

指定したファイル名のファイルがすでに存在する場合は、以下のダイアログが表示されます。



上書きしてもいい場合は「はい」を別のファイル名にする場合は「いいえ」を押してください。
ファイル名の指定が終了すると計測モードの選択が可能になります。

4. 1. 自動計測モード

自動計測モードは、開始位置(周方向、軸方向)、計測ピッチ(周方向、軸方向)、終了位置(軸方向)を指定し、計測を行うモードです。

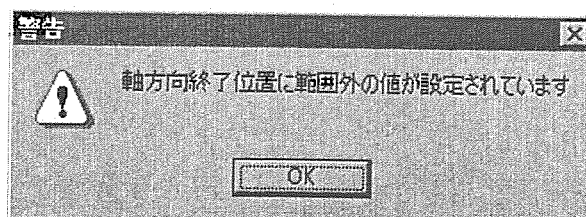
自動計測モードの画面は以下の通りです

開始位置、計測ピッチ、終了位置の各設定値の設定範囲は以下の通りです。

- 周方向開始位置 : $0 \leq X < 360$
- 軸方向開始位置 : $0 \leq X < \text{軸方向最大値}$
- 周方向計測ピッチ : $0.1 \leq X < (360 - \text{周方向開始位置})$
- 軸方向計測ピッチ : $0.1 \leq X < (\text{軸方向最大値} - \text{軸方向開始位置})$
- 軸方向終了位置 : $\text{軸方向開始位置} \leq X < \text{軸方向最大値}$

なお、軸方向最大値は初期設定ファイル(SST.INI)で設定します。
初期設定ファイルについては後で説明します。

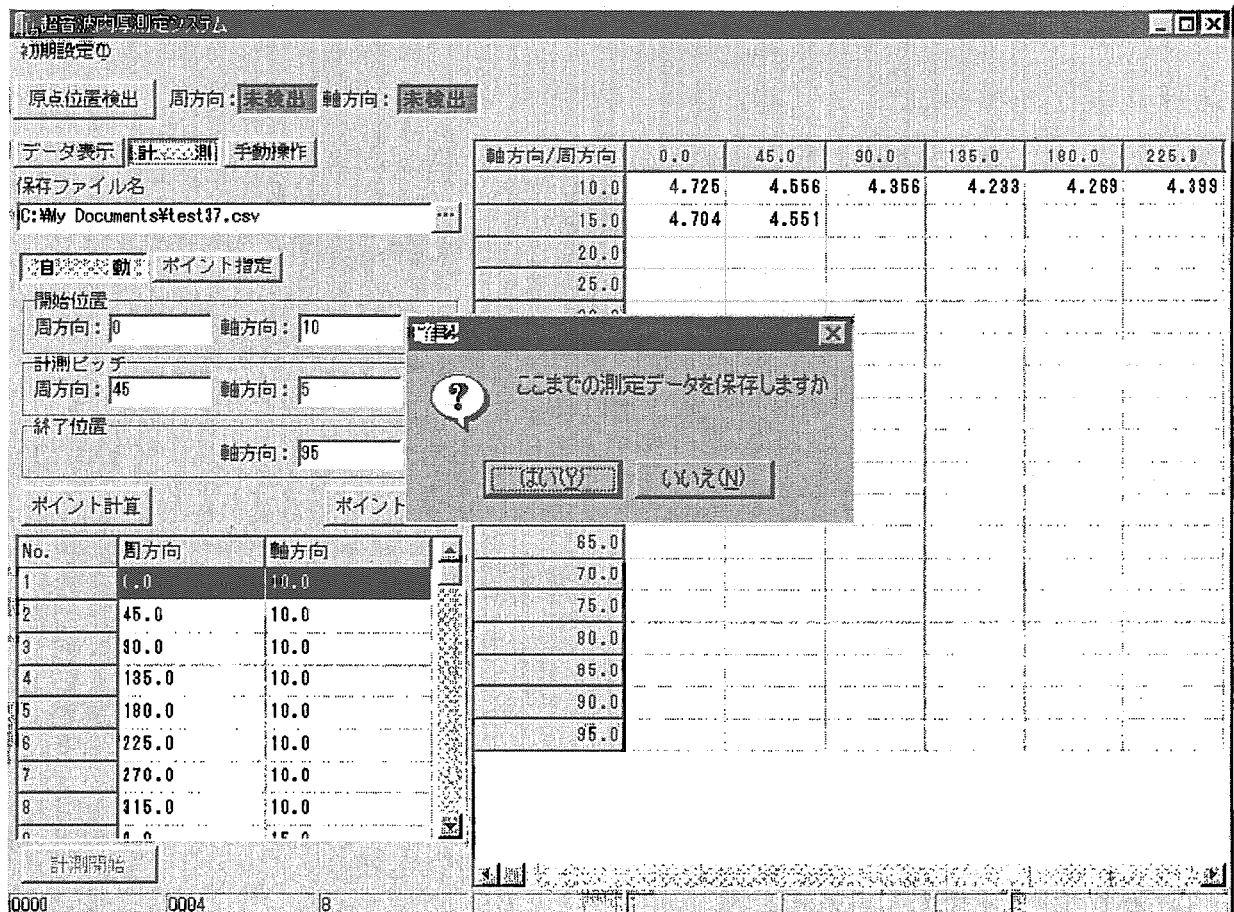
各設定値を入力し終えたら「ポイント計算」ボタンを押してください。
正しい値が設定されている場合は、計測するポイントの一覧が表示されます。
入力範囲から外れた値が入力されていた場合、以下のダイアログが表示されます。



「OK」ボタンを押すとダイアログが消えて、誤った値の入力された欄にカーソルが移動します。
 先ほどの設定範囲を参照して正しい値を入力してください。
 計測ポイントの一覧が表示され、表示された計測ポイントで間違いが無いのを確認したら、「ポイント確定」ボタンを押してください。
 右側の大きな表に、横軸に周方向、縦軸に軸方向の計測ポイントが表示され、「計測開始」ボタンが有効になります。
 「計測開始」ボタンを押して計測を開始してください。
 計測を開始すると、以下のダイアログが表示され、計測状況も表示します。



計測中に「計測中断」ボタンを押すと計測を中止して動作を停止します。(モータも停止します。)
 計測を中断すると原点位置検出も未検出となり、再度計測するときは原点位置検出から始めます。
 また、以下のダイアログが表示され、「はい」を押すと中断をするまでに計測したデータを保存します。



計測が終了すると原点位置に戻り、ダイアログの表示が以下のように変化します。



「OK」ボタンを押してください。
自動計測を終了します。

4. 2. ポイント指定計測モード

ポイント指定計測モードは計測するポイントを1点1点指定して計測を行うモードです。
ポイント指定計測モードの画面は以下の通りです。

ポイント指定計測モードでは、周方向と、軸方向の計測ポイントを1点1点指定して計測を行います。
各設定値の設定範囲は以下の通りです。

周方向： $0 \leq X < 360$

軸方向： $0 \leq X < \text{軸方向最大値}$

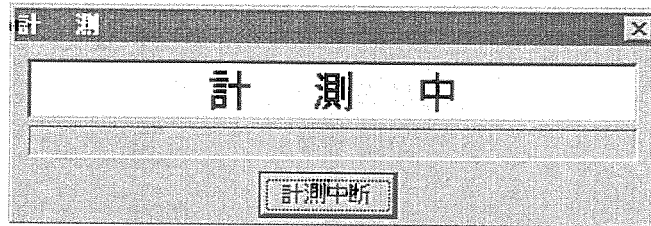
なお、軸方向最大値は初期設定ファイル(SST.INI)で設定します。
初期設定ファイルについては後で説明します。

周方向と軸方向を入力して「追加」ボタンを押すと、ポイントリストの最後に追加されます。
「削除」ボタンを押すと現在のカーソル位置のデータが削除されます。

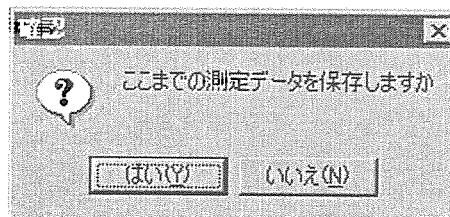
すべてのポイントを削除して入力しなす場合は、「ポイント取消」ボタンを押してください。

計測ポイントを指定し終わったら「ポイント確定」ボタンを押してください。
右側の表に計測ポイントがコピーされて、「計測開始」ボタンが有効になります。
「計測開始」ボタンを押して計測を開始してください。

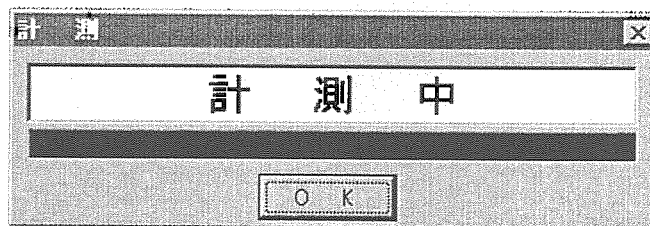
計測を開始すると、以下のダイアログが表示され、計測状況も表示します。



計測中に「計測中断」ボタンを押すと計測を中止して動作を停止します。(モータも停止します。) 計測を中断すると原点位置検出も未検出となり、再度計測するときは原点位置検出から始めます。また、以下のダイアログが表示され、「はい」を押すと中断をするまでに計測したデータを保存します。



計測が終了すると原点位置に戻り、ダイアログの表示が以下のように変化します。



「OK」ボタンを押してください。
ポイント指定計測を終了します。

5. 手動操作

計測を中断した場合や、ワークを交換する場合などでプローブを任意の位置に移動するために使用するのが手動操作機能です。

手動操作機能には、移動位置を指定する移動位置指定モードと、現在位置からの相対位置を指定する移動量指定モードがあります。

5. 1. 移動位置指定モード

移動位置指定モードは、その名の通り次に移動する位置を指定して、指定された位置まで動くモードです。検出した原点位置からの絶対位置で動作します。

移動位置指定モードの画面は以下の通りです。

No.	周方向	軸方向	計測値
1	10	10	
2	20	10	
3	30	10	
4	40	10	
5	40	20	
6	40	40	
7	40	50	

現在位置は検出した原点位置からの絶対位置を表します。

指定する位置も、検出した原点位置からの絶対位置を指定します。

各設定値の設定範囲は以下の通りです。

周方向: $0 \leq X < 360$

軸方向: $0 \leq X < \text{軸方向最大値}$

設定値を入力し終わったら「移動開始」ボタンを押してください。

プローブが移動を開始します。

移動中に「移動中断」ボタンを押すと、停止します。

現在位置と指定した位置が同じ場合は移動しません。

5. 1. 移動量指定モード

移動量指定モードは、現在位置からの相対移動量を指定して動くモードです。

現在位置からの相対的な移動量分動作します。

移動量指定モードの画面は以下の通りです。

No.	周方向	軸方向	計測値
1	10	10	
2	20	10	
3	30	10	
4	40	10	
5	40	20	
6	40	40	
7	40	50	

現在位置は検出した原点位置からの絶対位置を表します。

指定する位置は、現在位置からの相対的な移動量を指定します。

各設定値の設定範囲は以下の通りです。

周方向: $-360 < X < 360$

軸方向: $-(\text{現在位置}) < X < (\text{軸方向最大値} - \text{現在位置})$

周方向は+なら時計回りに、-なら半時計回りに回転します。

軸方向は+なら向かって右側に、-なら向かって左側に移動します。

設定値を入力し終わったら「移動開始」ボタンを押してください。

プローブが移動を開始します。

移動中に「移動中断」ボタンを押すと、停止します。

現在位置と指定した位置が同じ場合は移動しません。

6. 初期設定

超音波肉厚測定システムでは、各種初期値を管理するために初期設定ファイルを使用しています。

原点検出時や計測時の速度、AD変換のレベル等を変更出来ます。

初期値の変更は、メニューの「初期設定」→「初期設定変更」を選択することで表示される初期設定変更ダイアログで行えます。

初期設定		
原点検出開始位置		
軸開始: 30.0	周開始: 5.0	ギャップ: 0.2
モーター速度		
原点検出	手動操作	計測
周方向: 2000	周方向: 2000	周方向: 2000
軸方向: 1500	軸方向: 1500	軸方向: 1500
アナログ入力		
最小電圧: 0.0	最大電圧: 10.0	ゲイン: 1.0
軸方向最大値		
100.0		
		OK キャンセル

「原点位置検出開始位置」

原点位置検出開始位置の軸開始は、軸方向の原点位置スリットを探索するために、機械原点（リミットスイッチ）から軸方向に移動する量で設定します。上の画面では30.0となっています。これは軸方向のリミットスイッチから、30mm進行方向に移動した位置です。探索はこの位置からリミットスイッチ側に戻って、ギャップを検出した位置を原点とします。

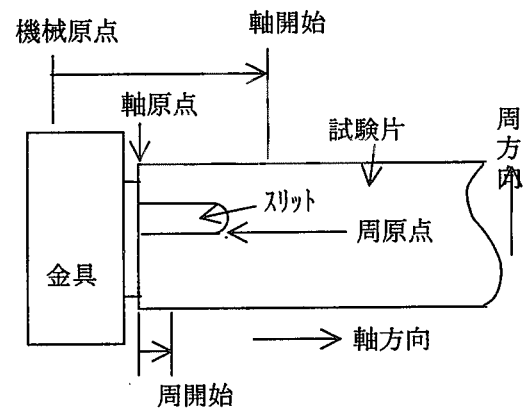
周開始は、周方向の原点位置スリットの探索を開始する軸方向の位置で、軸原点から軸方向に移動する量で設定します。この位置で周方向に回転し、スリット端部を検出し、周原点とします。

ギャップは、検出するスリットの深さを入力します。

この設定値以上のギャップを検出したポイントを原点位置とします。

各設定値の単位は[mm]です。

ただし、スリットは0.5mm以上の深さに加工してください。



「モーター速度」

モーター速度の各項目はそれぞれの動作の動作速度を設定します。

各動作で周方向、軸方向別々に設定できます。

必ず整数値を入力してください。また、周方向の速度を上げ過ぎると正しく計測が行われなくなります。

各設定値の単位は[パルス/秒]です。

「アナログ入力」

超音波板厚計から入力されるアナログ入力のレンジを設定できます。

それぞれの設定値の単位は[V]です。

また、ゲインは入力された電圧をゲインに設定された値を倍率として大きくすることが出来ます。

「軸方向最大値」

軸方向最大値は、計測や手動操作で軸方向に移動できる最大値です。
設定値の単位は[mm]です。

このダイアログで変更された初期値は「OK」ボタンを押すとすぐに反映されます。

「キャンセル」ボタンを押すと変更された初期値を破棄します。

7. 終了

超音波肉厚測定システムを終了する場合は、メニューの初期設定値をクリックして表示される「終了」をクリックしてください。

超音波肉厚測定システムが終了します。

国際単位系 (SI) と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名 称	記 号
長 さ	メ ー ト ル	m
質 量	キ ロ グ ラ ム	kg
時 間	秒	s
電 流	ア ン ペ ア	A
熱力学温度	ケ ル ビ ン	K
物 質 量	モ ル	mol
光 度	カ ン デ ラ	cd
平 面 角	ラ ジ ア ン	rad
立 体 角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつ SI組立単位

量	名 称	記号	他の SI 単位 による表現
周 波 数	ヘ ル ツ	Hz	s ⁻¹
力	ニ ュ ー ト ン	N	m·kg/s ²
圧 力 , 応 力	パ ス カ ル	Pa	N/m ²
エネルギー, 仕事, 熱量	ジ ュ ー ル	J	N·m
工 率 , 放 射 束	ワ ッ ト	W	J/s
電 気 量 , 電 荷	ク ー ロ ン	C	A·s
電位, 電圧, 起電力	ボ ル ト	V	W/A
静 電 容 量	フ ェ ラ ド	F	C/V
電 気 抵 抗	オ ー ム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンズ	S	A/V
磁 束	ウ ェ ー バ	Wb	V·s
磁 束 密 度	テ ス ラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘ ン リ ー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光 束 度	ル ー メ ン	lm	cd·sr
照 度	ル ク ス	lx	lm/m ²
放 射 能	ベ ク レ ル	Bq	s ⁻¹
吸 収 線 量	グ レ イ	Gy	J/kg
線 量 当 量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名 称	記 号
分, 時, 日	min, h, d
度, 分, 秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

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

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

表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 ン	b
バ ー ル	bar
ガ ル	Gal
キ ュ リ ー	Ci
レ 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	マイクロー	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、度量衡局 1985年刊行による。ただしおよび1uの値はCODATAの1986値によった。
- 表4には海里, ノット, アール, ールも含まれているが日常の単位なこでは省略した。
- bar は, JISでは流体の圧力を表合に限り表2のカテゴリーに分類さる。
- EC閣僚理事会指令ではbar, barび「血圧の単位」mmHgを表2のカーに入れている。

換 算 表

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

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

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

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

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

$$1 \text{ cal} = 4.18605 \text{ J (計量)}$$

$$= 4.184 \text{ J (熱化)}$$

$$= 4.1855 \text{ J (15 °C)}$$

$$= 4.1868 \text{ J (国際単位系)}$$

$$\text{仕事率 } 1 \text{ PS (1馬力)}$$

$$= 75 \text{ kgf} \cdot \text{m/s}$$

$$= 735.499 \text{ W}$$

放射能	Bq	Ci
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹
	3.7 × 10 ¹⁰	1

吸収線量	Gy	rad
	1	100
	0.01	1

照射線量	C/kg	R
	1	3876
	2.58 × 10 ⁻⁴	1

線量当量	Sv	rem
	1	100
	0.01	1

R-100

※紙配合率100%
白色紙70%再生紙を使用している