

JAERI - M
85-146

超電導コイルの巻線剛性評価試験〔I〕

1985年9月

服部泰秀*・吉田 清・中嶋秀夫
大金康夫・押切雅幸・島本 進

JAERI-M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。
入手の間合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11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。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1985

編集兼発行 日本原子力研究所
印刷 藤高野高速印刷

超電導コイルの巻線剛性評価試験〔I〕

日本原子力研究所那珂研究所核融合研究部
服部 泰秀*・吉田 清・中嶋 秀夫
大金 康夫・押切 雅幸・島本 進

(1985年8月26日受理)

超電導コイル巻線部の平均ヤング率値(巻線剛性値)を求めるため、コイル状の巻線サンプルを用いた剛性評価試験を行った。測定したサンプルは、モノリス導体より成るコイルと、平角撚り導体より成るコイルの2種である。モノリス導体コイルについては、室温と極低温(液体窒素中)で試験を行い、極低温では理論計算で予想される以上の剛性劣化を生じていることが明らかになった。また、平角撚り導体コイルは、モノリス導体コイルに比べ、室温においてすでに著しい剛性劣化を生じていることが分った。

* 外来研究員：三菱電機(株)

EVALUATION TESTS OF WINDING RIGIDITY FOR
SUPERCONDUCTING COILS [1]

Yasuhide HATTORI*, Kiyoshi YOSHIDA, Hideo NAKAJIMA,
Yasuo OHGANE, Masayuki OSHIKIRI and Susumu SHIMAMOTO

Department of Thermonuclear Fusion Research
Naka Fusion Research Establishment, JAERI

(Received August 26, 1985)

This paper describes experimental studies on the mechanical behavior of a winding in superconducting coils. The significance of Young's modulus or rigidity of a winding increases in a fusion reactor because of its large size and its high electro-magnetic force. In order to study the rigidity of a winding, three kinds of winding samples were prepared and evaluated at 300 K and 77 K. The measured rigidities of monolithic conductors at 77 K are lower than the calculated rigidities from a stress equation of anisotropic thick-wall cylinder model. Because the internal stress distribution of a winding is different between 300 K and 77 K; there is a thermal contraction difference between a conductor and an insulator. The measured rigidities of stranded flat cables are lower than that of monolithic conductor at room temperature.

Keywords: Superconducting Coil, Cryogenic, Mechanical Properties,
Young's Modulus, Winding, Temperature Dependence

* On leave from Mitsubishi Electric Corporation.

目 次

1. はじめに	1
2. 試験装置の概要	2
3. モノリス導体コイル	4
3.1 試験サンプル	4
3.2 測定法	4
3.3 剛性評価式	5
3.4 歪み測定による剛性評価プログラム	8
3.5 剛性評価測定結果と考察	9
4. 平角撚り導体コイル	21
4.1 試験サンプル	21
4.2 測定法	21
4.3 変位測定による剛性評価プログラム	22
4.4 測定結果と均一内圧モデルによる解析	22
4.5 有限要素法による解析	23
4.6 考察	23
5. あとがき	30
謝 辞	30
付 録 I	31
付 録 II	41

Contents

1. Introduction	1
2. Equipment	2
3. Monolithic Conductor Coils	4
3.1 Test Samples	4
3.2 Measurement Method	4
3.3 Analysis of Winding Rigidity	5
3.4 Evaluation Computer Code by Strain Measurement	8
3.5 Results and Discussion	9
4. Flat Stranded Conductor Coil	21
4.1 Test Samples	21
4.2 Measurement Method	21
4.3 Evaluation Computer Code by Displacement Measurement	22
4.4 Test Results and Analysis Results	22
4.5 Analysis by the Finite Element Method	23
4.6 Discussion	23
5. Conclusion	30
Acknowledgements	30
Appendix I	31
Appendix II	41

1. はじめに

超電導コイルの大型化・高磁界化・パルス化に伴う主要技術課題の一つに応力問題がある。コイル巻線部平均のヤング率値（以下、この値を巻線剛性値という）は、コイルの応力特性を左右するキー・パラメータであるにもかかわらず、従来から、巻線部を構成する個々の物性値をもとに、等価剛性評価法による計算によって求められるのみであった。しかし、原研における各種大型超電導コイル開発プロジェクトを通じ、コイル巻線部の予想以上の剛性劣化現象が明らかになった。巻線部の剛性が低いと、巻線ターン間で十分な応力伝達が出来ず、高磁界印加部のピーク応力値が高くなると共に、繰返し運転による疲労劣化を受けやすくなる。

この劣化現象の様子を探求するために原研ではリング状サンプルコイルによる巻線剛性試験を進めている。本報告では、試験装置の概要と共に、今までに行った試験コイルの測定結果とその解析結果について報告する。

試験したコイルは、モノリス導体から成るコイルと、平角撚り導体から成るコイルの2種である。前者は導体に直接貼られた歪ゲージによる発生歪特性をもとに剛性評価を行ったのに対し、後者は発生変位特性から剛性を評価した。後者で、歪ゲージによる剛性評価を行わなかった理由は、導体が複雑な撚線構造をしているため、超電導素線への歪ゲージ取付が困難なばかりでなく、その最小構成要素である超電導素線部の発生歪みが、果して導体全体の歪み特性を示しているか否か確信が持てないと判断したためである。

歪測定と変位測定の違いにより、使用した計測器、並びに剛性評価法もかなり異なる。試験結果と共に、これらの詳細について報告する。

2. 試験装置の概要

Fig. 2.1 に試験装置の概略図を示す。力の発生源は、計6個の油圧ラムであり、下方向の拡張力がくさび状の治具を押すことにより、リング状のサンプルコイルに内圧を発生させる。この荷重印加法の特徴は、室温のみならず、低温雰囲気（例えば、液体窒素中）にあるサンプルにも内圧を加えることが出来ることで、Fig. 2.1 に示す様な低温断熱容器を備えている。

使用している油圧ラムの詳細構造を Fig. 2.2 に示す。この油圧ラムによる発生力 P [kg] と、実際サンプルコイルに内圧として加わる力 F [kg] の関係を次の仮定のもとで検討する。

i) くさび状治具を押す、上方向力と下方向力とは同一

ii) 上・下方向力が平行方向力に変化する点で、力のロスが発生しない (=摩擦は生じない)

この時の装置全体の力の釣り合いを Fig. 2.3 に示す。Fig. 2.2 に示した油圧ラム1個当りの受圧面積は 33.18 cm^2 で、6個では 199.1 cm^2 になるので、油圧ラム圧力ゲージの読みを G [kg/cm²] とすると、全発生拡張力 P [kg] は、

$$P = 199.1 \times G \quad [\text{kg}] \quad (1)$$

となる。

上方向力 f_1 [kg] と下方向力 f_1 [kg] は同一としたので、

$$f_1 = \frac{P}{2} \quad [\text{kg}] \quad (2)$$

である。Fig. 2.3 より、

$$f_1 = F' \sin 20^\circ \quad (3)$$

$$F = 2F' \cos 20^\circ \quad (4)$$

となる。式(4)に式(1), (2), (3)を代入すると、

$$F = 547.0 G \quad [\text{kg}] \quad (5)$$

になる。

例えば、油圧ラム圧力ゲージの読みが 50 kg/cm^2 であるとする、リング状サンプルに加わる全内圧力は、 $27,350 \text{ kg}$ になる。

周方向の内圧印加点は、全周12箇所、 30° 等ピッチで加圧する様にしたので、油圧ラム圧力ゲージの読みが 50 kg/cm^2 の場合、荷重点一箇所当りの平均荷重力は、 $27,350 \text{ kg}$ を12で割った $2,280 \text{ kg}$ 程度の値となる。

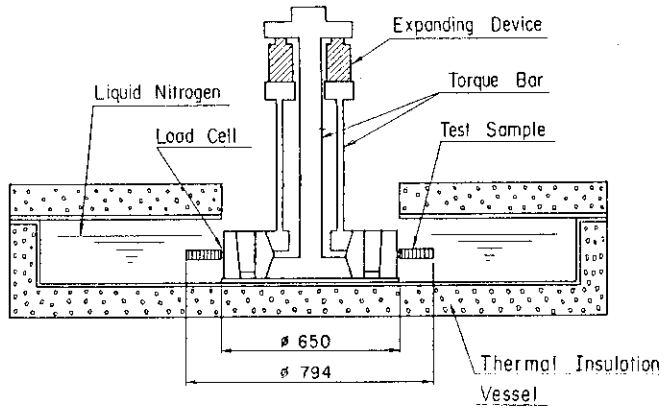


Fig. 2.1 Winding Rigidity Testing Machine

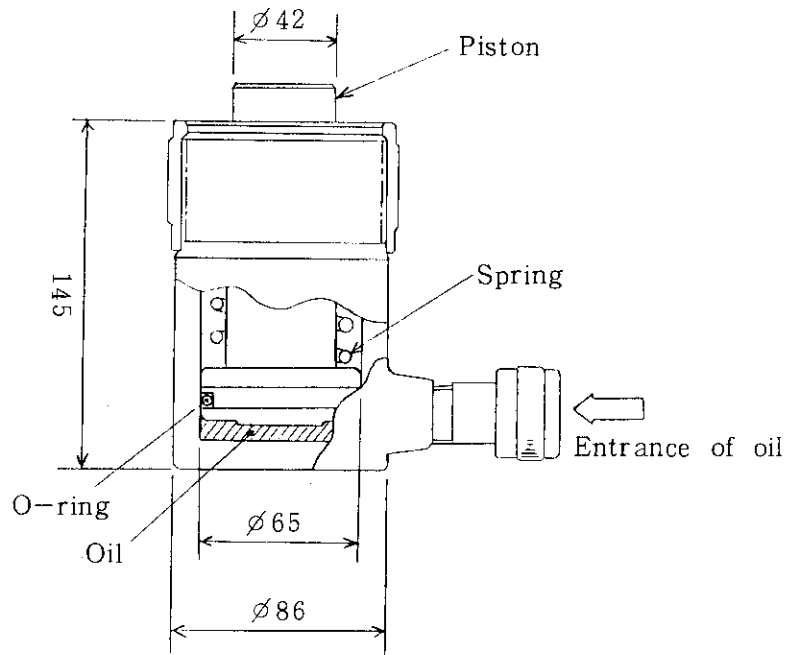


Fig. 2.2 Detailed view of expanding device

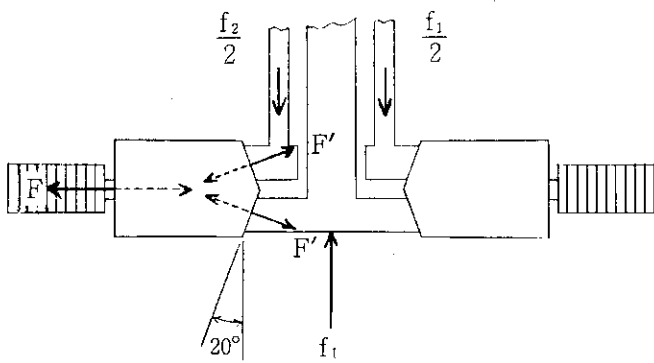


Fig. 2.3 Equilibrium of force for the entire structure

3. モノリス導体コイル

3.1 試験サンプル

モノリス導体を用いて巻線したサンプルコイルの諸元を Table 3.1 に示す。Table 3.1 中のステンレス鋼リングサンプルは、巻線サンプルの試験に先立って、試験装置本体及びその計測システムが正常に作動するかをチェックするためのもので、素性が良く分かってる SUS 304 ステンレス鋼製の中空円板を用意した。この中空円板のサイズは巻線サンプルとほぼ同じ寸法である。

3つの巻線サンプル (Coil -A, B, C) は、それぞれ次の様な特徴を持っている。

- i) ターン間に、絶縁物も接着材もない、いわゆる、巻きっ放しコイル (Coil -A)
- ii) ターン間に、0.2 mm厚の熱硬化エポキシ・ガラス絶縁処理したコイル (Coil -B)
- iii) Coil -Bと同様、ターン間に、0.2 mm厚の熱硬化エポキシ・ガラス絶縁処理されたコイルの両面に、厚さ 4 mm ずつのエポキシ樹脂層を有したコイル (Coil -C)

これらの様子を示したのが Fig. 3.1 である。尚、Coil -A, B, C とも、 3 kg/mm^2 の巻テンションで巻線した。

SUS 304 ステンレス鋼サンプル、巻線サンプルとも、周方向歪測定用として 37 個、径方向歪測定用として 37 個の計 74 個の歪ゲージが取り付けられている。歪ゲージは Coil -A, B, C 共、モノリス導体に直接貼りつけた。

Coil -B の絶縁は、通常の浸漬冷却超電導コイルによく用いられるターン間絶縁法である。Coil -A は通常のコイルとしては考えられないが、極端なケースとして、その発生歪み特性をみるため用意した。Coil -C は、エポキシ含浸超電導コイルを想定し、エポキシ層が発生歪み特性に及ぼす影響をみるための試験サンプルである。

3.2 測定法

本章のモノリス導体コイルの測定に採用した試験サンプルの荷重点と歪測定点との位置関係を Fig. 3.2 に示す。矢印 (→) が荷重点で、丸印 (白丸：表面、黒丸：裏面) が歪ゲージ位置である。本図で示す様に、荷重点歪測定と荷重間歪測定を交互に配するようにした。尚、奇数番号の歪ゲージは、径方向歪測定用で、偶数番号は周方向歪測定用である。

Fig. 3.2 の上部に、荷重点の詳細拡大の様子を示す。この拡大図に示す様に、コイルを押す点は、SUS 304 材より成る当り治具にカプトンシートを設けて加圧する構成にした。カプトンシートを設けたのは、試験サンプルと当り治具との間の金属間焼きつけを防ぐためである。図に示した当り治具の当り面形状は、数種の当り面形状の治具を製作し、発生歪み特性の比較検討をした後、その採用を決めたものである。

第 2 章で検討した、油圧ラム圧力ゲージの読み $G [\text{kg/cm}^2]$ と、実際サンプルコイルに内圧として加わる力 $F [\text{kg}]$ の関係を知るため、12 個の当り治具全てに、1 個当り 2 枚の歪みゲージを貼り付け、内圧印加力を測定してみた。

油圧ラム圧力ゲージの読みが 2.5 kg/cm^2 のときの歪測定結果と、これを力に換算した結果を Table 3.2 に示す。この表で、EE(85)、EE(86)……、EE(108)が当り治具部に発生した歪み(単位: ppm)で、“Strain=”の値は治具1個当りの平均値、“Force=”の値は発生歪み ϵ をもとに、

$$f = \frac{AE\epsilon}{10^6} \quad [\text{kg}]$$

ここに、A [mm^2]: 当り治具の断面積

E [kg/mm^2]: 当り治具のヤング率

の関係より、治具1個当りの印加荷重値を計算したものである。ここで $A = 15 \times 43 \text{ mm}^2$ 、 $E = 20000 \text{ kg/mm}^2$ とした。また、“Total force=”の値は、全12個の治具に発生した力を加え合わせたものである。

この測定結果から明らかな様に、個々の当り治具間にはかなりのバラツキがあるが、これを total した値 13.771 kg は、式(5)を用いて計算される値 13.675 kg に非常に近い値になっており、試験サンプルに内圧として加わる力 F [kg] は、第2章で検討した値とほぼ同一であることがわかった。

本コイルの剛性評価システムのフロー・ダイアグラムを Fig. 3.3 に示す。具体的な測定手順の詳細に関しては、第3.4項で述べるが、その概略フローは以下の様である。

- i) 油圧ラムにより、試験サンプルに内圧印加
- ii) 油圧ラム圧力ゲージの読みを測定することにより、内圧印加値把握
- iii) 試験サンプルの発生歪測定
- iv) コンピュータによる、発生歪測定値の取り込みと、その平均化処理。その値を、CRTディスプレイ上に、二重丸(◎)及び一重丸(○)の形で表示
- v) 二重丸及び一重丸が表示されたCRTディスプレイ上に、解析による計算結果を折れ線表示
- vi) 測定値と解析値との比較による巻線剛性値の評価

ここで、二重丸(◎)は、周方向全10箇所平均値であるのに対し、一重丸(○)は周方向1箇所のみについての値である。このため、剛性評価においては、二重丸の点を重視する様にした。尚、上記 i) ~ vi) のプロセスは、“その場”にて処理される。

3.3 剛性評価式

Fig. 3.2 に示した様な不均一荷重状態での発生歪み特性を解析的に解くのは非常に難しい。ここでは、まず、Fig. 3.2 の不均一荷重にもかかわらず、被試験体には均一内圧が生じていると仮定して解析式を求め、次のステップとして、測定結果との対応により、不均一荷重印加の効果を検討することにする。尚、コイルは均質直交異方性体より成る厚肉円筒とする。

3.3.1 均一内圧モデル

均質直交異方性厚肉円筒の内半径を a 、外半径を b 、半径方向を r 、円周方向を θ 、半径方向の変位を u 、半径方向発生応力を σ_r 、円周方向発生応力を σ_θ 、ポアソン比を μ 、半径方向のヤング

率を E_r ，円周方向のヤング率を E_θ ， $E_\theta/E_r = n$ とすると，次の関係が成り立つ。

$$r \frac{d\sigma_r}{dr} = \sigma_\theta - \sigma_r \quad (6)$$

$$\sigma_r = \frac{E_\theta}{n - \mu^2} \left(\frac{du}{dr} + \mu \frac{u}{r} \right) \quad (7)$$

$$\sigma_\theta = \frac{E_\theta}{n - \mu^2} \left(n \frac{u}{r} + \mu \frac{du}{dr} \right) \quad (8)$$

式(6)に，式(7)，(8)を代入すると，

$$\frac{d^2 u}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{du}{dr} - n \frac{u}{r^2} = 0 \quad (9)$$

の関係を得る。式(9)の一般解は

$$u = C_1 r^{\sqrt{n}} + C_2 r^{-\sqrt{n}} \quad (10)$$

である。式(10)を式(7)，(8)に代入すると，

$$\sigma_r = \frac{E_\theta}{n - \mu^2} \left\{ C_1 r^{\sqrt{n}-1} (\sqrt{n} + \mu) - C_2 r^{-\sqrt{n}-1} (\sqrt{n} - \mu) \right\} \quad (11)$$

$$\sigma_\theta = \frac{\sqrt{n} E_\theta}{n - \mu^2} \left\{ C_1 r^{\sqrt{n}-1} (\sqrt{n} + \mu) + C_2 r^{-\sqrt{n}-1} (\sqrt{n} - \mu) \right\} \quad (12)$$

を得る。

均一内圧モデルでは，円筒内面での均一内圧を P_i とすると，

$$\text{内面において： } (\sigma_r)_{r=a} = -P_i \quad (13)$$

$$\text{外面において： } (\sigma_r)_{r=b} = 0 \quad (14)$$

となる。式(13)，(14)の条件を式(11)に適用すると，

$$C_1 = \frac{(\sqrt{n} - \mu) \cdot b^{-2\sqrt{n}}}{a^{\sqrt{n}-1} (a^{-2\sqrt{n}} - b^{-2\sqrt{n}})} \cdot \frac{P_i}{E_\theta} \quad (15)$$

$$C_2 = \frac{\sqrt{n} + \mu}{a^{\sqrt{n}-1} (a^{-2\sqrt{n}} - b^{-2\sqrt{n}})} \cdot \frac{P_i}{E_\theta} \quad (16)$$

を得る。

半径方向の発生歪を ϵ_r 、円周方向の発生歪を ϵ_θ とすると、 $\epsilon_r = \frac{du}{dr}$ 、 $\epsilon_\theta = \frac{u}{r}$ より、式(10)を用いると、

$$\epsilon_r = \sqrt{n} (C_1 r^{\sqrt{n}-1} - C_2 r^{-\sqrt{n}-1}) \quad (17)$$

$$\epsilon_\theta = C_1 r^{\sqrt{n}-1} + C_2 r^{-\sqrt{n}-1} \quad (18)$$

となる。

式(13)の P_i [kg/mm²] の値は、式(5)を用いると、

$$P_i = \frac{547.0G}{2\pi aW} \quad (19)$$

ここで、

a [mm] : コイルの内半径

W [mm] : コイル高さ

と表わせる。

3.3.2 平均化処理による擬似均一内圧モデル

試験サンプル最内ターン部、全10箇所の発生歪測定の結果、Fig. 3.2の荷重点測定部及び荷重間測定部とで発生歪に明らかな差が生じ、式(13)には従わないことが判明した。しかし、最内ターン部、発生歪測定データを種々検討・解析した結果、荷重点発生歪と荷重間発生歪とを加算平均化処理した値は、式(13)にかわって、

$$\overline{(\sigma_r)}_{r=a} = -P_i / \sqrt{n} \quad (20)$$

で近似出来ることが分かった。ここで、 n は前に述べた様に、周方向ヤング率 E_θ と径方向ヤング率 E_r との比 E_θ / E_r で、式(20)は、内面での発生応力の平均値は、 E_θ のみでなく、 E_θ と E_r の幾可平均に比例することを示している。

式(20)、(14)を用いると、式(11)の積分定数 C_1 、 C_2 は次の様になる。

$$C_1 = \frac{(\sqrt{n}-\mu) \cdot b^{-2\sqrt{n}}}{a^{\sqrt{n}-1} (a^{-2\sqrt{n}} - b^{-2\sqrt{n}})} \cdot \frac{P_i}{\sqrt{n} E_\theta} \quad (21)$$

$$C_2 = \frac{\sqrt{n} + \mu}{a^{\sqrt{n}-1} (a^{-2\sqrt{n}} - b^{-2\sqrt{n}})} \cdot \frac{P_i}{\sqrt{n} E_\theta} \quad (22)$$

3.3.3 等価複合則

コイルは均質直交異方性より成るとしたので、上で述べた E_{θ} 、 E_r は、それぞれ、次の複合則より求められるものとする。

$$E_{\theta} = \sum_i \frac{E_{\theta i} A_i}{A} \quad (23)$$

$$E_r = \frac{L}{\sum_i \frac{L_i}{E_{r i}}} \quad (24)$$

$$\text{但し、} A = \sum_i A_i$$

$$L = \sum_i L_i$$

ここで、 $E_{\theta i}$ 、 $E_{r i}$ は、それぞれ、 i 番目のコイル構成材の周方向ヤング率、及び径方向ヤング率である。また、 A_i 、 L_i は、それぞれ、 i 番目のコイル構成材の占積面積、及び径方向長さである。

3.4 歪測定による剛性評価プログラム

Fig. 3.3 に示した剛性評価フロー・ダイアグラムをもとにプログラミングした。そのフローは以下の通りである。

- i) 油圧ラム圧力ゲージ値と、歪ゲージ全74点での発生値読み。及び歪ゲージ不具合素子のチェック（歪ゲージに断線等がある場合、その値を強制的にゼロに置き、平均化する時の母集団数をその分だけ少なくする。）
- ii) Fig. 3.2 に示した、全周8等分（ $=45^\circ$ ）ごとの各最内ターン、中間ターン、最外ターンの歪データ値（ r 、 θ 方向共の計6.0点）をグラフィック表示し、発生歪の分布状態をみる。この測定例を Fig. 3.4 に示す。この図で、“A、ア、F、カ”は最内ターン、“B、イ、E、オ”は中間ターン、“C、ウ、D、エ”は最外ターンの歪測定値を示す。また、A、B……Fは表面での値、ア、イ、……カは裏面での値である。

この発生歪分布のバラツキの程度があまりに大きすぎる場合は、試験サンプルの試験装置本体へのセッティングをやり直す必要がある。

- iii) r 方向、 θ 方向の最内ターン、中間ターン、最外ターンの各平均値を求める。これをもとに 0° の位置の測定データの平均化処理を行う。
- iv) 平均化処理された 0° の位置のデータ（ r 方向10点、 θ 方向10点の計20点）をグラフィック表示する。全周10箇所分を平均した最内ターン、中間ターン、最外ターンは二重丸（◎）、そのあいだの点は一重丸（○）で表示される。
- v) 下記の①～④、
 - ① 使用導体のヤング率
 - ② ターン間絶縁材の r 方向ヤング率

③ ターン間絶縁材の θ 方向ヤング率

④ ポアソン比

をフィッティングパラメータとして入力し、第 3.3.2 節で述べた平均化処理による擬似均一内圧モデルによる剛性評価式を用いた計算結果を、上記グラフィック表示画面に折れ線表示する。

VI) フィッティングがうまくいかない時は、各特性値の入力をくり返し行い、最も良くフィッティングする物性値を捜し出す。

このプログラムのフローチャートを Fig. 3.5 に、プログラムリストを付録 I に示す。

3.5 剛性評価測定結果と考察

以上述べてきた測定法を表 1 の 4 つの試験サンプルに適用した結果について報告する。

3.5.1 ステンレス鋼リングサンプル

室温及び液体窒素中でのステンレス鋼リングサンプルの測定結果を、それぞれ、Fig. 3.6-(a)及び Fig. 3.6-(b)に示す。図中の“a”、“b”、“L”は、それぞれ、試験サンプルの内半径、外半径、1 ターン分の径方向長さを表わす。また、“Oil press”は、油圧ラムの圧力ゲージの読みを示す。二重及び一重の丸印は測定結果を示しており、曲線は図の右側に示した“Analytical Conditions”を用いた解析結果である。図の上方の解析結果は、式(18)、(21)及び(22)による周方向歪の計算値、下方の解析結果は、式(17)、(21)及び(22)による径方向歪の計算値で、これらの図に示した“Poisson Ratio”及び“ E_{SUS} ”の値の場合が、測定結果と最も良く一致する。

これらの結果より、このステンレス鋼リングサンプルの室温及び液体窒素中でのヤング率は、それぞれ、 19700 kg/mm^2 、 20800 kg/mm^2 、ポアソン比は 0.3、0.28 であることが分かる。これらの値は、SUS 304 ステンレス鋼の物性値として一般に良く知られている値と良く一致することから、室温及び液体窒素中とも、本装置が良好に作動することが判明した。

3.5.2 巻線サンプル

Coil-A, B, C の 3 種の巻線サンプルについての測定結果を、それぞれ、Fig. 3.7, Fig. 3.8 及び Fig. 3.9 に示す。これらの図で、“Lcond”は導体の厚さ、“Lins”はターン間絶縁物の厚さ、“Econd”は導体のヤング率、“Erins”はターン間絶縁物の径方向ヤング率、“ $E_{\theta ins}$ ”はターン間絶縁物の周方向ヤング率である。本モノリス導体の径方向ヤング率と周方向ヤング率とは同じであるとした。この導体のヤング率を求めるために、本剛性評価試験に先立って、室温及び液体窒素中で引張り試験を行った。その引張特性を Fig. 3.10 に示す。液体窒素温度と室温との値を比べると、液体窒素温度での引張り強度は室温時より大きくなっているが、ヤング率の値そのものはほとんど同じで、 11100 kg/mm^2 であった。

また、Fig. 3.8 及び Fig. 3.9 中の“ $E_{\theta ave}$ ”、“ $E_r ave$ ”は、それぞれ式(23)、(24)の複合則を用いて求めた値である。Fig. 3.7 の“ $E_{\theta eff}$ ”、“ $E_r eff$ ”は、導体ターン間に仮想物質が詰まっているとした時の値で、ターン間接触の効果をみるためである。 $E_{\theta eff}$ の値はゼロとした。

Coil-A は、Fig. 3.7 に見られる様に、各ターンの発生歪が不規則で、コイル全体をある一定のヤング率で評価することは不可能であることが分かった。この不規則発生歪の原因は、導体の

みによる巻線のため、各ターン間のなじみが悪く、ターン間相互の応力伝達の良い部分(=E_{reff}の大きい値に近い部分)と、悪い部分(=E_{reff}の小さい値に近い部分)とが交互に存在する様な結果になっている。Coil-Aに関しては室温の結果のみしか示してないが、液体窒素温度での結果も同じ傾向であった。

Coil-Bの室温での測定結果を、Fig. 3.8-(a)に、液体窒素温度での測定結果をFig. 3.8-(b)に示している。この2つの図から明らかな様に、室温においては600 kg/mm²であったターン間絶縁物の径方向ヤング率が、液体窒素温度では250 kg/mm²にまで低下している。この劣化現象は、液体窒素温度での内圧印加試験に先だてて行われる。試験コイルの液体窒素冷却に因るもので、導体とターン間絶縁物の熱収縮差に起因して発生する絶縁物と導体間の微少なすきまやすべり等の非線型効果により、ターン間絶縁物の径方向ヤング率値そのものが等価的に劣化したものと考えられる。冷却を受けた後、内圧が印加する時の発生歪み特性に関し、導体とターン間絶縁物の熱収縮差を考慮した線型解析を行った。その解析結果をFig. 3.11に示す。同図で、丸印は液体窒素温度での測定値である。解析においては、E_{resins} = 600 kg/mm²とし、導体の熱収縮率は $1.4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ 、ターン間絶縁物の熱収縮率は $4.4 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$ とした。この解析結果から分かる様に、ただ単に熱収縮差の効果を考慮したのみではターン間絶縁物の径方向剛性の劣化現象は説明出来ず、前述した様な、すべりやすきま等の非線型効果とその主要原因と考えられる。尚、室温でのターン間絶縁物の径方向ヤング率測定値600 kg/mm²は、フィラー無しのエポキシ単体での値が200 kg/mm²であることを考えると、エポキシガラス絶縁材の径方向ヤング率として妥当な値である。

Coil-Cの室温での測定結果はFig. 3.9-(a)、液体窒素温度での結果はFig. 3.9-(b)である。室温では、コイル両面に施したエポキシ層の強化効果のため、ターン間絶縁物のヤング率値は、等価的に、導体のヤング率値と同じ11100 kg/mm²にまで高められている。しかし、液体窒素温度では、Coil-Bと同様の劣化現象が起こり、500 kg/mm²にまで低下している。

以上述べたCoil-A, B, Cの各巻線サンプルと、ステンレス鋼リングサンプルについて得られた構成素材の剛性評価値をTable 3.3にまとめる。Table 3.4はTable 3.3をもとに、式(23)、式(24)の等価複合則を用いて計算した各コイルの平均ヤング率(=巻線剛性値)である。

Table 3.1 Test Sample

<u>Stainless Steel Solid Ring Sample</u>	
Material	: S.S. 304
Size	: ^{ID} 650 x ^{OD} 850- ^t 10
Strain Measuring	: 74 points
<u>Winding Ring Sample</u>	
Conductor	
Material	: NbTi - Monolithic
Size	: 7x7 mm ²
Young's Modulus	: 11,100 kg/mm ²
(Results of tension test at both room temperature and 77K)	
Types of Winding Sample	: 3 kinds (Coil - A, B and C)
Shape of Winding Sample	
Size	: ^{ID} 650 x ^{OD} 794- ^t 7
Num. of Turn	: 10 turns
Strain Measuring	: 74 points

Table 3.2 Strain measurement and the calculated load for 12 load cells

Num. of load cell	Gauge Num.		Average value of strain	Calculated load
	No 1 Gauge	No 2 Gauge		
1	EE(85) = -63	EE(86) = -65	Strain = -64	Force = -826kg
2	EE(87) = -74	EE(88) = -74	Strain = -74	Force = -955kg
3	EE(89) = -95	EE(90) = -83	Strain = -89	Force = -1148kg
4	EE(91) = -112	EE(92) = -100	Strain = -106	Force = -1367kg
5	EE(93) = -68	EE(94) = -65	Strain = -67	Force = -858kg
6	EE(95) = -85	EE(96) = -77	Strain = -81	Force = -1045kg
7	EE(97) = -99	EE(98) = -90	Strain = -95	Force = -1219kg
8	EE(99) = -112	EE(100) = -107	Strain = -110	Force = -1413kg
9	EE(101) = -103	EE(102) = -121	Strain = -112	Force = -1445kg
10	EE(103) = -103	EE(104) = -107	Strain = -105	Force = -1354kg
11	EE(105) = -83	EE(106) = -82	Strain = -83	Force = -1064kg
12	EE(107) = -85	EE(108) = -82	Strain = -84	Force = -1077kg

Total Force = 13771kg

Table 3.3 Rigidity of Elements on Test Sample

(unit : kg/mm²)

		S. S. Solid Ring Sample	Winding Sample					
			Coil - A		Coil - B		Coil - C	
			cond.	inter-turn	cond.	ins.	cond.	ins.
Room Temperature	θ -dire.	19,700	11,100	No fixed	11,100	2,000	11,100	11,100
	r-dire.	19,700	11,100		11,100	600	11,100	11,100
77 K	θ -dire.	20,800	11,100	No fixed	11,100	2,000	11,100	2,000
	r-dire.	20,800	11,100		11,100	250	11,100	500

Table 3.4 Average Rigidity of Test Sample

(unit : kg/mm²)

		S. S. Solid Ring Sample	Winding Sample		
			Coil - A	Coil - B	Coil - C
Room Temperature	θ -dire.	19,700	*	10,800	11,100
	r-dire.	19,700		7,500	11,100
77 K	θ -dire.	20,800		10,800	10,800
	r-dire.	20,800		5,000	7,000

* It is impossible to evaluate a Winding Rigidity due to irregularity of strain in every turn.

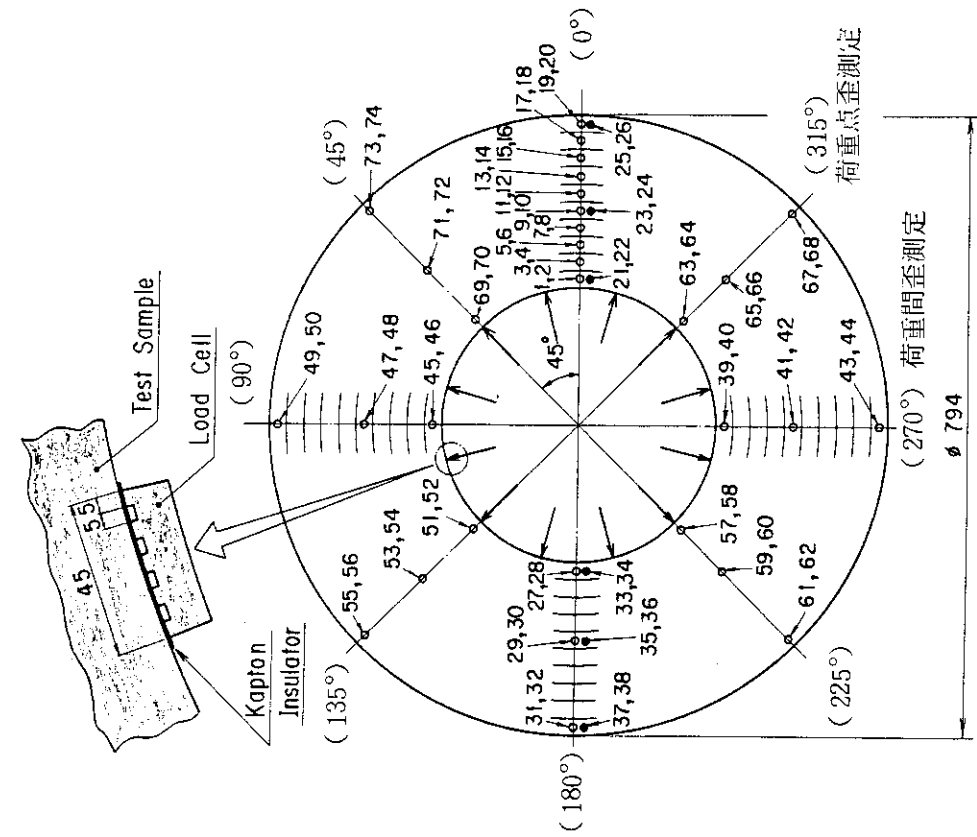


Fig. 3.2 Strain Gauge Position and Loading Point of Test Sample

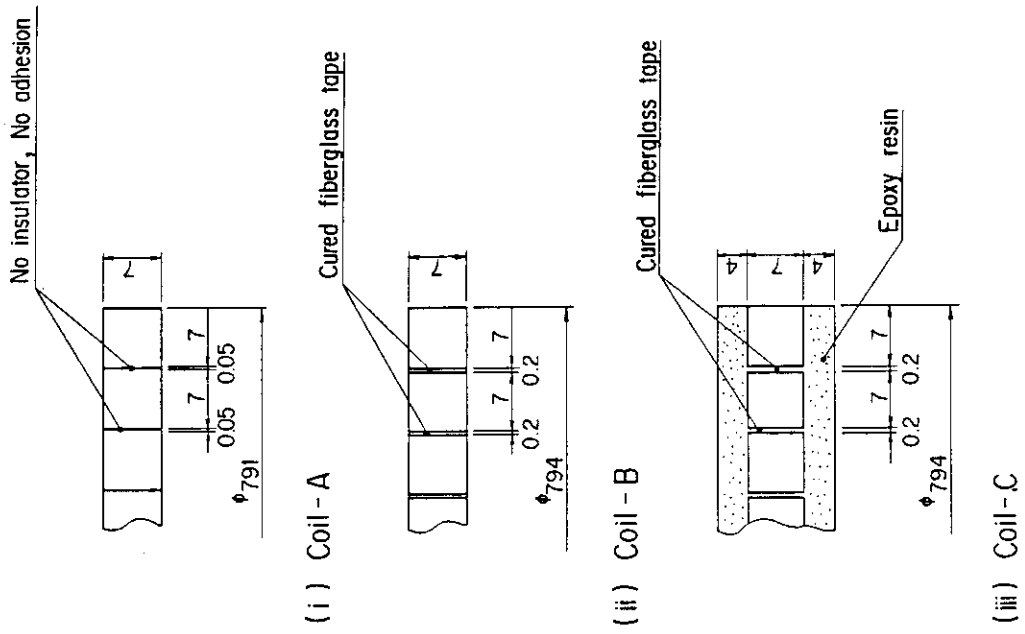


Fig. 3.1 Three Kinds of Winding Sample

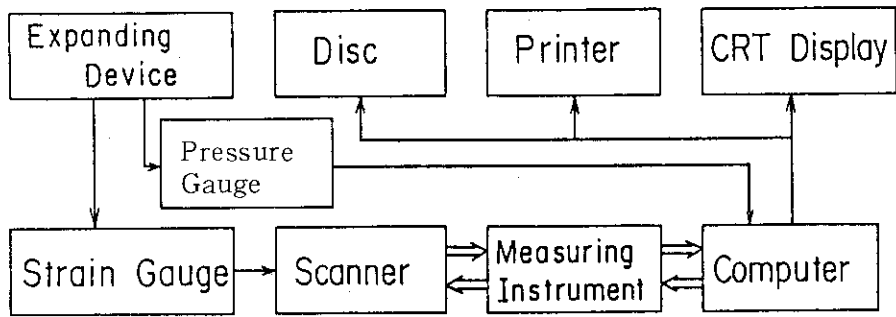


Fig. 3.3 Measuring Flow Diagram

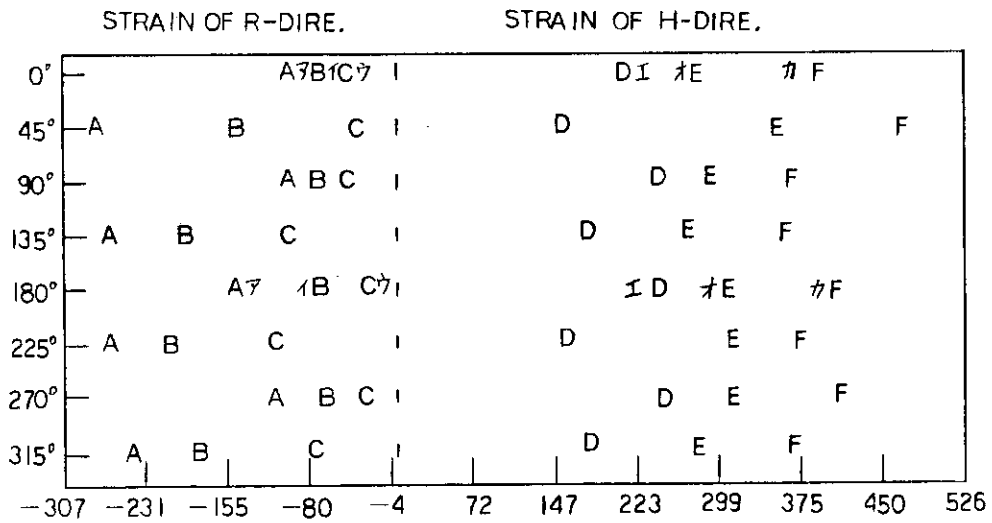


Fig. 3.4 Distribution of strain for R-direction and H-direction

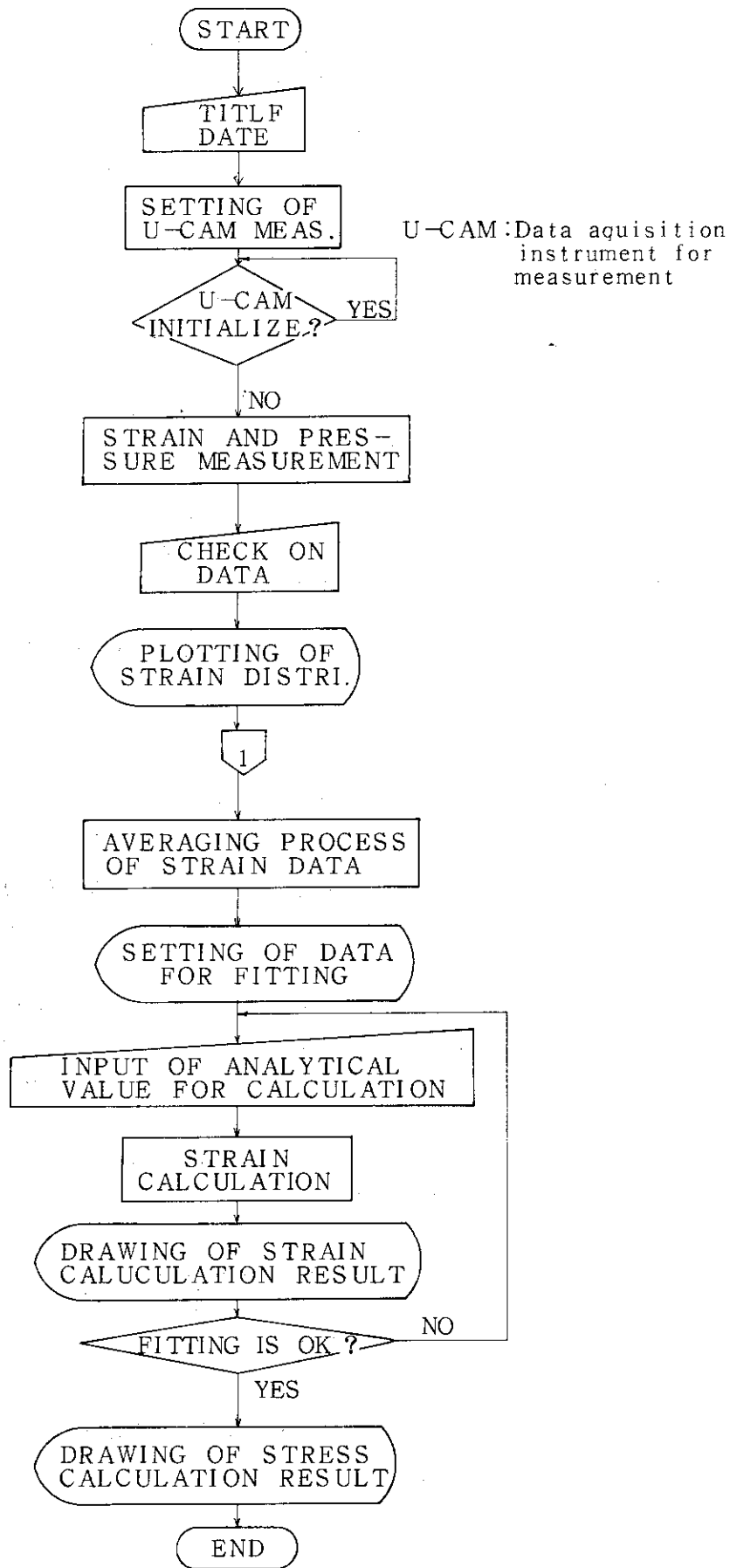


Fig. 3.5 Flow chart of measurement program

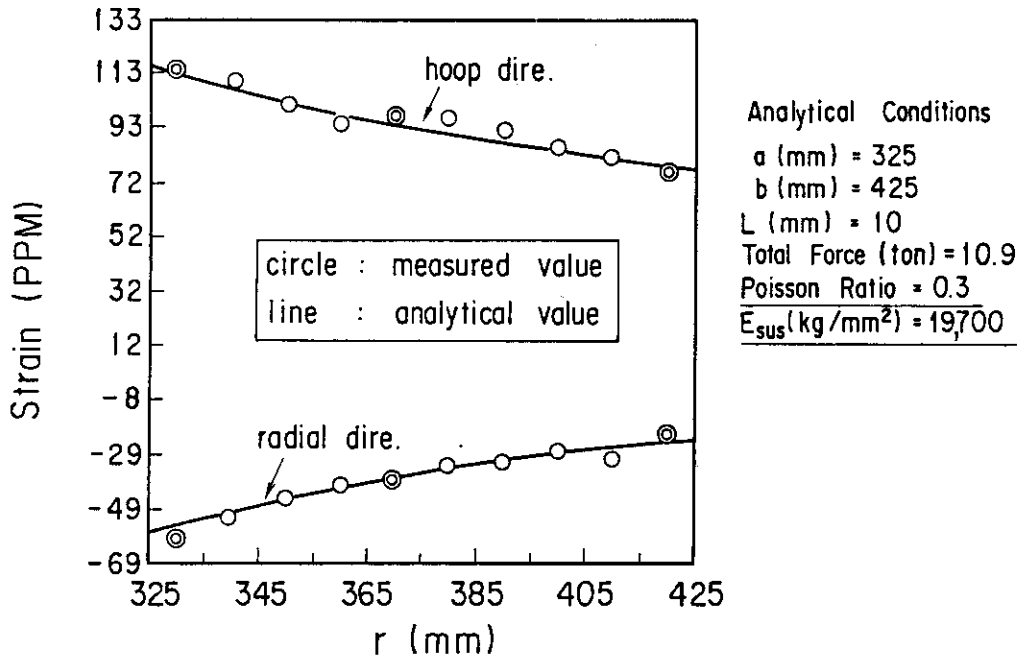


Fig. 3.6 -(a) Evaluation of S.S. Solid Sample at Room Temperature

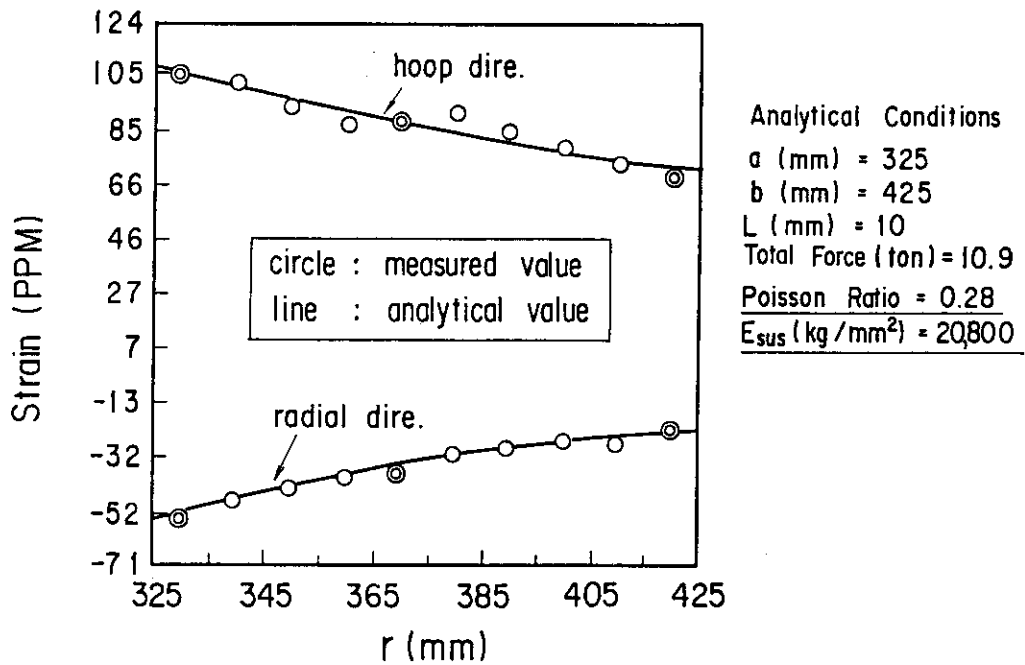


Fig. 3.6 -(b) Evaluation of S.S Solid Sample in Liquid Nitrogen

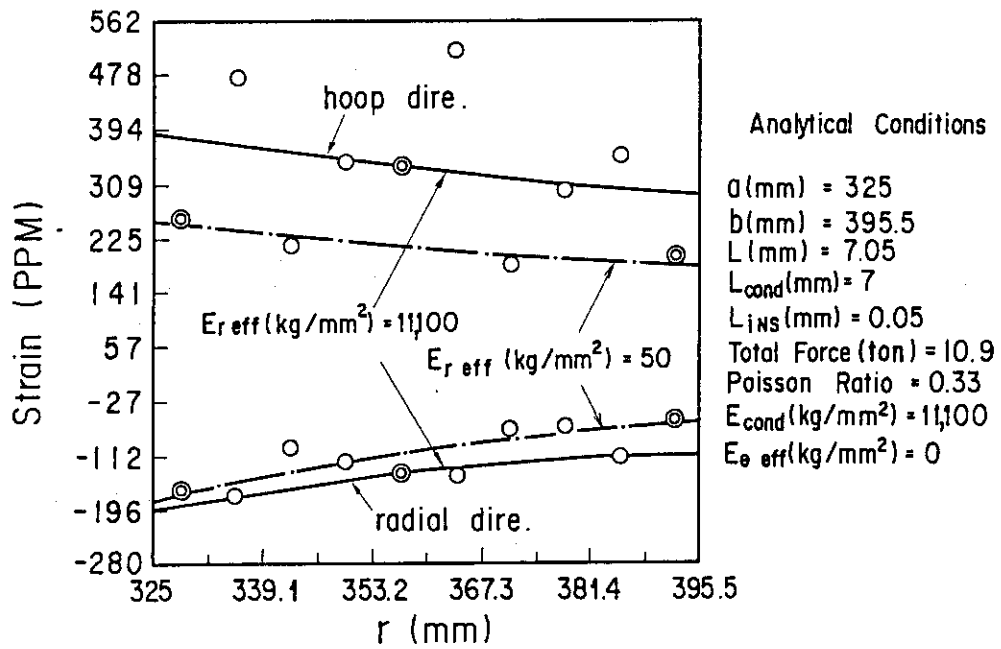


Fig. 3.7 Evaluation of Coil-A Winding Sample at Room Temperature

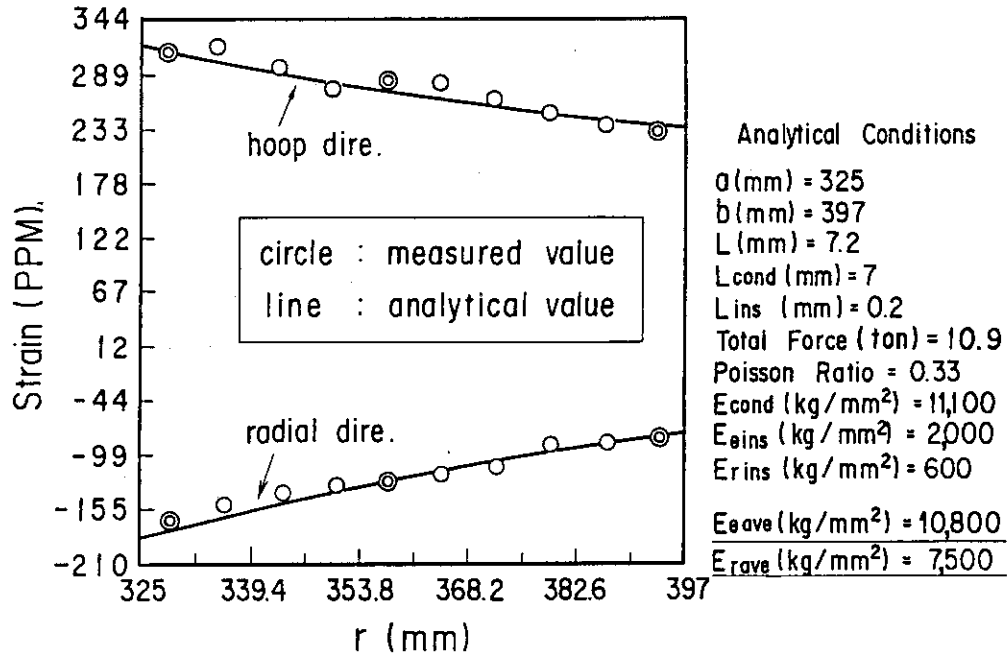


Fig. 3.8 -(a) Evaluation of Coil-B Winding Sample at Room Temperature

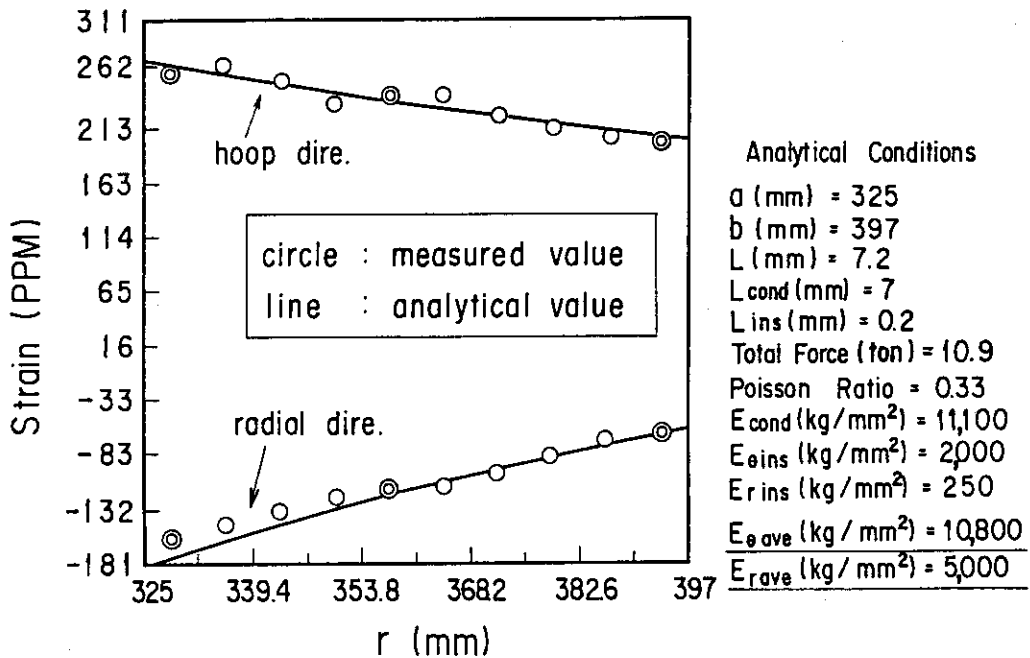


Fig. 3.8 -(b) Evaluation of Coil-B Winding Sample in Liquid Nitrogen

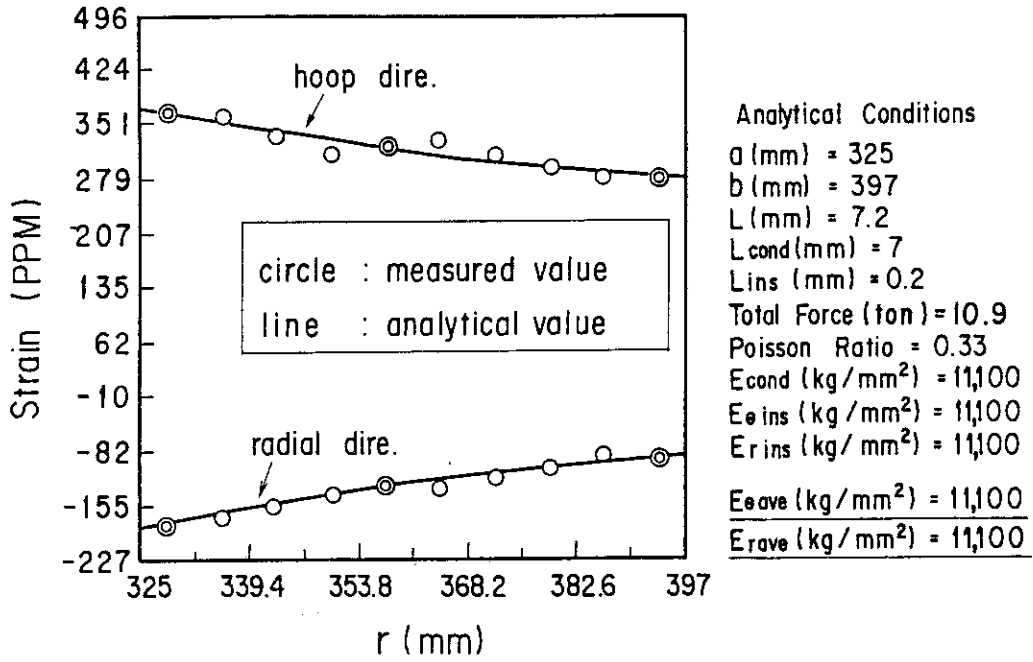


Fig. 3.9 -(a) Evaluation of Coil-C Winding Sample at Room Temperature

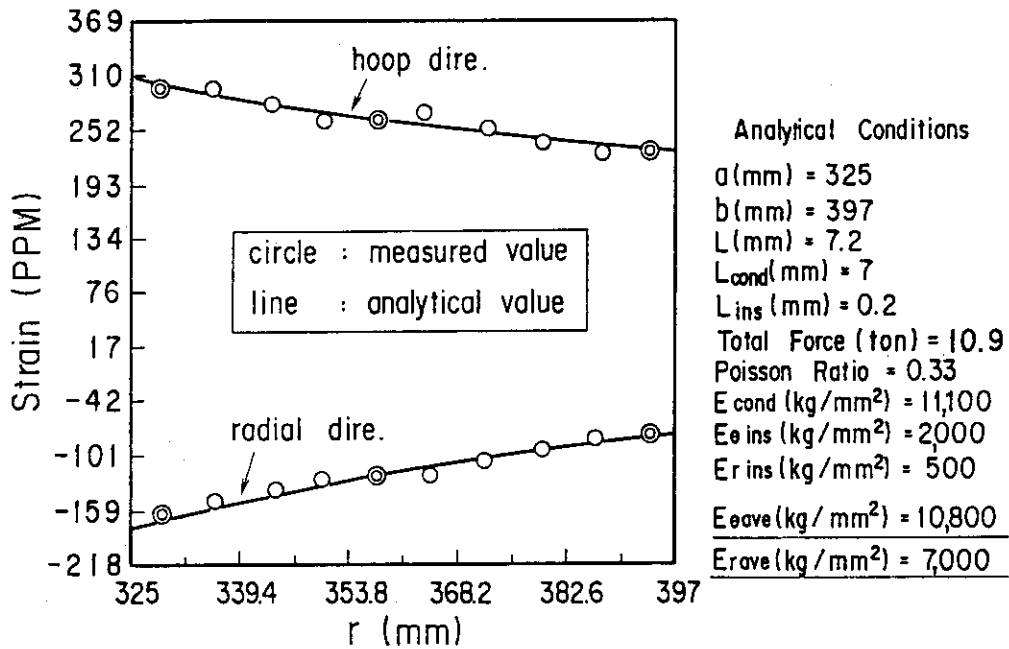


Fig. 3.9 -(b) Evaluation of Coil -C Winding Sample in Liquid Nitrogen

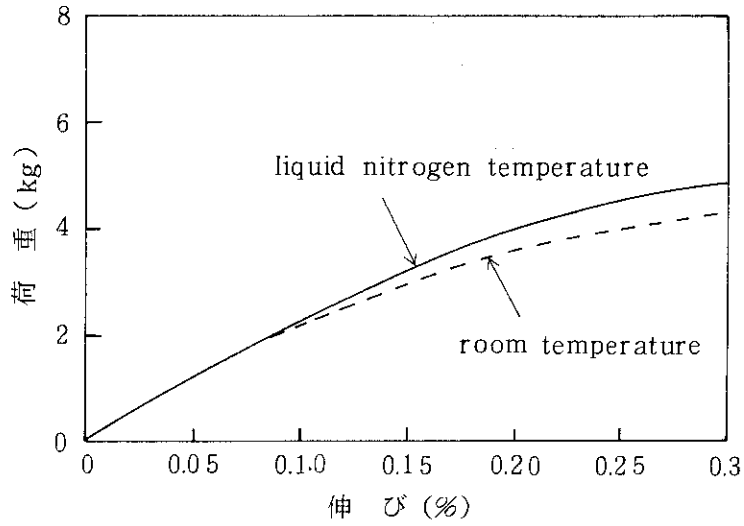


Fig. 3.10 Tension test results of conductor
(conductor size : $7 \times 7 \text{mm}^2$)

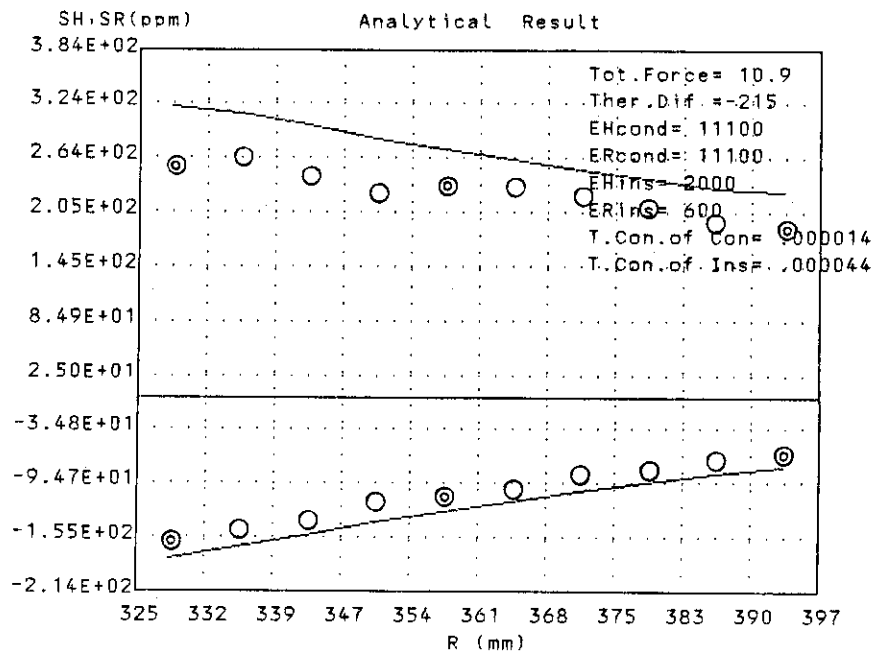


Fig. 3.11 Comparison of the experimental results at 77K (circles) with the calculated results (lines), which is including the terms of difference of contraction conductor and turn-turn insulator.

4. 平角撚り導体コイル

4.1 試験サンプル

平角撚り導体の諸元と本導体を用いて巻線した試験コイルの諸元を Table 4.1 に示す。本導体の定格電流値は 30 KA である。Fig. 4.1 に、この導体の寸法・形状を、Fig. 4.2 に本試験コイルの巻線構造の詳細を示す。Fig. 4.2 から分かる様に、ターン間絶縁物は、2 mm 厚のガラス強化エポキシガラス板 (FRP) に一定の溝を設けたものを用いる。溝は導体面の冷却のためで、35 mm ピッチ毎に 25 mm の溝が設けられている。本コイルを巻く時に与えたテンションは、350 kg (導体平均当りに換算すると、0.23 kg/mm² の巻テンション密度) である。

4.2 測定法

本試験コイルに用いた剛性評価システムのフロー・ダイアグラムを Fig. 4.3 に示す。

Fig. 3.3 に示した第3章のモノリス導体コイルの剛性評価システムとの大きな違いは次の2点である。

- ① 歪ゲージ計測に替わって、変位計測法を用いた。
- ② 内圧力印加値を求めるのに、油圧ラム圧力ゲージの読みから間接的に求めるのではなく、荷重変換器を用いて印加値を直接測定した。

変位計測法を用いたのは、本導体が Fig. 4.2 に示した様な2重撚り構造の複雑な形状をしているため、その最小構成要素である超電導素線部の発生歪が、果たして導体全体の歪特性を示しているかどうか疑わしく、またより現実的な問題点として、 ϕ 2.6 mm の超電導素線に、歪ゲージ (8 × 1.5 mm² : 共和 SKF-2089) を、精度よく多数点 (計 74 点) 取付けることがむずかしいと判断したためである。

試験コイルの重量が重くなると、Fig. 2.1 に示した試験装置の上・下方向力が平行方向力に変化する点で摩擦が生じ、力のロスが発生し易くなる。第3章で述べたモノリス導体コイル1個当りの重量がわずかに 9 kg であったのに対し、本平角撚り導体コイルの重量は 230 kg にもなる。従って、モノリス導体コイル印加時の摩擦力はほとんど無視出来たが、今回の平角撚り導体コイル印加時にはかなりの摩擦力が発生することが予想されるため、荷重変換器を取り付け、印加値を直接測定出来る様にした。

内周面への径方向内圧力印加は Fig. 3.2 と同様、全 12 箇所であるが、変位量測定箇所は全 8 箇所、しかもすべて、荷重点部での径方向巻線巾の変位量 (= 減少量) を測定する様にした。この変位量測定時の様子を Fig. 4.4 に示す。

導体に接触している当り治具の寸法は 42.0 × 88.6 mm² で、その当り面形状は、第3章で述べた当り治具の凹凸形状とは違い、ただのフラット面である。これは、平角撚り導体自身が一種の凹凸形状をしており、当り治具そのものの凹凸構造は不要となるためである。

具体的な測定手順の詳細に関しては次項で述べるが、その概略フローは以下の様である。

- i) 油圧ラムにより、試験サンプルに内圧印加
- ii) ロードセルによる内圧印加量測定
- iii) 内圧印加部の巻線巾減少量測定
- iv) コンピュータによる、内圧印加量及び巻線巾減少量の取り込みと、その平均化処理。内圧印加量の合計値と、巻線巾の平均変位量を CRT ディスプレイ上に表示。
- v) 巻線巾の変位量についての計算結果の表示
- vi) 測定値と解析値の比較による巻線剛性値の評価

4.3 変位測定による剛性評価プログラム

Fig. 4.3 に示した剛性評価フロー・ダイアグラムをもとにプログラミングした。そのチャートは以下の通りである。

- i) 全 12 箇所の荷重測定値と、全 8 箇所の変位量測定値の読み込み。
- ii) 各部所に対応した荷重測定値と、変位量測定値を CRT グラフィック画面上に表示。印加荷重と発生変位の分布状態をみる。

この荷重値と発生変位のバラツキの程度があまりに大きすぎる場合は、試験サンプルコイルの試験装置本体へのセッティングをやり直す必要がある。

- iii) 全 12 箇所の合計荷重値と、巻線巾減少に関する平均変位量を求め、CRT グラフィック画面上に表示。

iv) 下記の①～④

- ① 使用導体の θ 方向ヤング率
- ② ターン間絶縁材の θ 方向ヤング率
- ③ 使用導体とターン間絶縁物より成る巻線構造全体としての r 方向ヤング率
- ④ ポアソン比

をフィッティングパラメータとして入力し、第 3.3.1 節で述べた均一内圧モデルによる剛性評価式を用い、巻線巾減少量の計算結果を表示する。この時の内圧値 (kg/mm^2) は、当り治具 ($42 \times 88.6 \text{ mm}^2$) の発生圧力値を用いる。

- v) 巻線巾減少量の測定結果と上記計算値との差が大きい場合は、各物性値の入力をくり返し行い、最も良くフィッティングする物性値を捜し出す。

このプログラムのフローチャートを Fig. 4.5 に、プログラムリストを付録 II に示す。

4.4 測定結果と均一内圧モデルによる解析

荷重印加部の変位量 (mm) と、全荷重量 (ton) との関係調べた結果を Fig. 4.6 に示す。右側の縦軸は、この時の内圧値 (kg/mm^2) を示している。

この図から分かる様に、内圧値が大きくなると、径方向ヤング率は高くなる傾向にある。これは、高内圧値になると巻線部がしまってくるためと考えられる。

この測定結果をもとに、“Tot. Force” が、それぞれ約 21 トン、31 トン及び 41 トンの時、均一内圧モデルの式(10), (15), (16)を用いた剛性評価の様子を、Fig. 4.7, Fig. 4.8 及び Fig. 4.9 に

示している。これらの図で、小さな○印をつけた場所に変位計をセットしており、巻線巾の減少量を測定している。また、“Initial condition”のところに示されている“ E_{con} (kg/mm²)”の値は、平角撚り導体の周方向ヤング率の値で、本剛性評価試験に先立って行った引張り試験の結果得られた値5470 kg/mm²を用いている。

ここで示した測定結果を、より厳密に解析するには不均一荷重印加の影響を考慮した有限要素法による解析が必要である。次項では、ここで述べた均一内圧モデルの解を厳密解と比較するためSAP-V2を用いた有限要素法による解析を行なった。計算は、Fig. 4.7に示した荷重条件に近い20トンの場合について行なった。

4.5 有限要素法による解析

巻線の1/4周(90°分)を、周方向に24等分、径方向に5等分したモデルで、発生変位の計算を行なった。使用した解析コードはSAP-V2である。この計算結果の様子をFig. 4.10に示す。荷重は、内周面上の0°、30°、60°、90°の節点に集中荷重として与えている。0°及び90°の点での荷重の大きさは、30°及び60°の点の半分を与える。

全荷重量が20トンの時(30°、60°には1670 kg、0°、90°には835 kg)の巻線巾の変位量と径方向ヤング率の関係をFig. 4.11に示す。周方向ヤング率は5470 kg/mm²とした。

この解析結果と実測値を対応すると、径方向ヤング率は65 kg/mm²程度になっていることがわかる。均一内圧モデルでの結果である110 kg/mm²と比べると、約60%程小さくなっている。

4.6 考 察

以上述べた径方向ヤング率(E_R)は、Fig. 4.2に示した巻線構造物としての値である。式(24)に示した複合則を適用すると、本巻線構造物の場合次の様になる。

$$E_R = \frac{L_{con} + L_{ins}}{\frac{L_{con}}{E_{rcon}} + \frac{L_{ins}}{E_{rins} \times P_f}} \quad (25)$$

ここで、 L_{con} [mm]及び L_{ins} [mm]は、それぞれ、1ターン当りの導体部及びターン間絶縁部の径方向長さで、 E_{rcon} [kg/mm²]及び E_{rins} [kg/mm²]は、導体部及びターン間絶縁部の径方向ヤング率である。また、 P_f はターン間絶縁物の占積率である。

$E_R = 65$ kg/mm²、 $L_{con} = 17.5$ mm、 $L_{ins} = 2$ mm、 $E_{rins} = 200$ kg/mm²、 $P_f = 0.29$ として E_{rcon} を求めてみると、 $E_{rins} = 66$ kg/mm²と非常に低い値になる。

使用したロードセルの極低温(77K)での信頼性に不安があるため、現時点ではまだ、液体窒素中での試験は行っていないが、モノリス導体コイルの試験結果から類推すると、極低温では、この室温での値65 kg/mm²から、さらにかんりの劣化が予想される。

Table 4.1 Major parameters of tested coil

INNER DIA	655mm
OUTER DIA	1045mm
NUM. OF TURN	10 turns
SIZE OF CONDUCTOR	88.6 × 17.5mm
SIZE OF S.S PLATE	74 × 2.5mm
NUM. OF SUB-CABLE	21

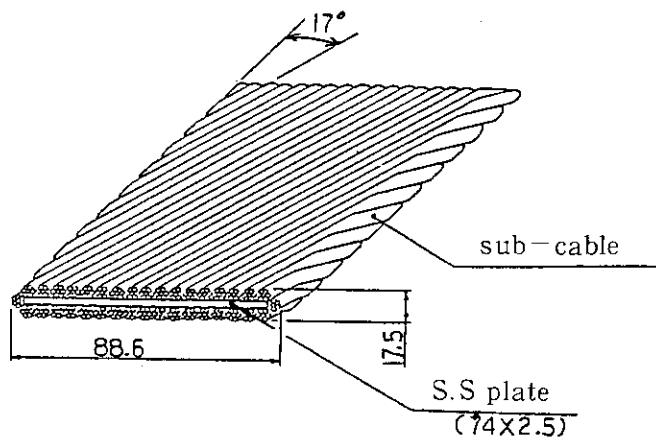


Fig. 4.1 Size and shape of conductor

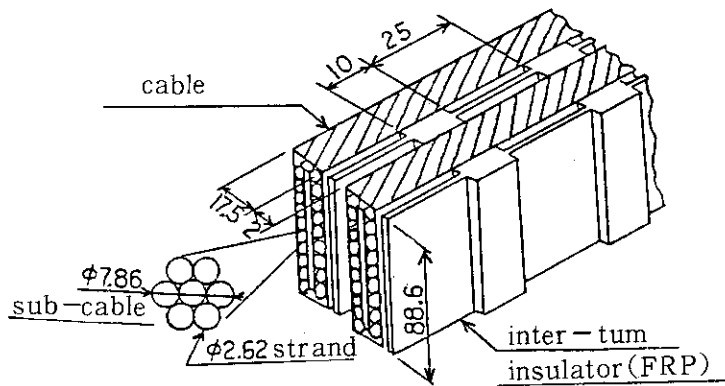


Fig. 4.2 Winding structure of tested coil

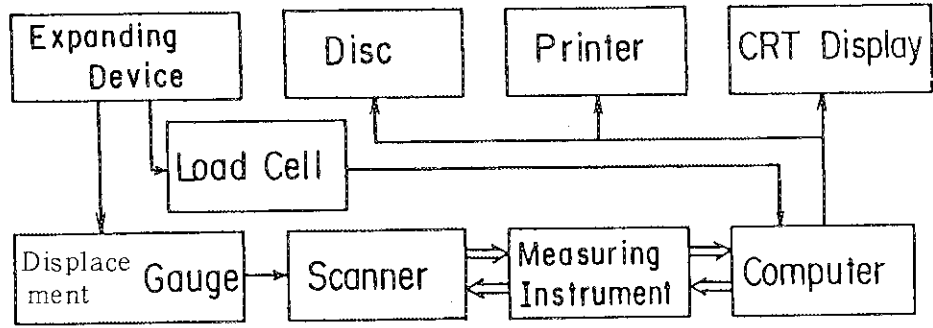


Fig. 4.3 Measuring Flow Diagram

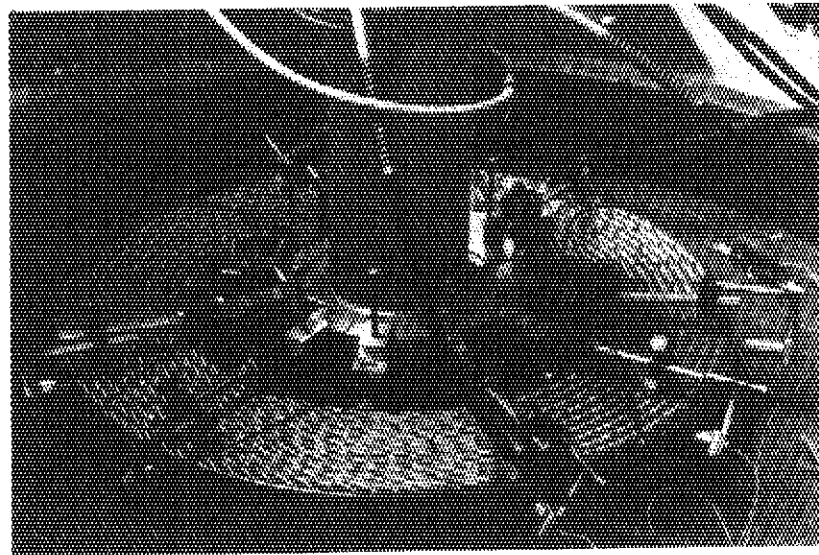


Fig. 4.4 Photograph of setting for measurement of displacement

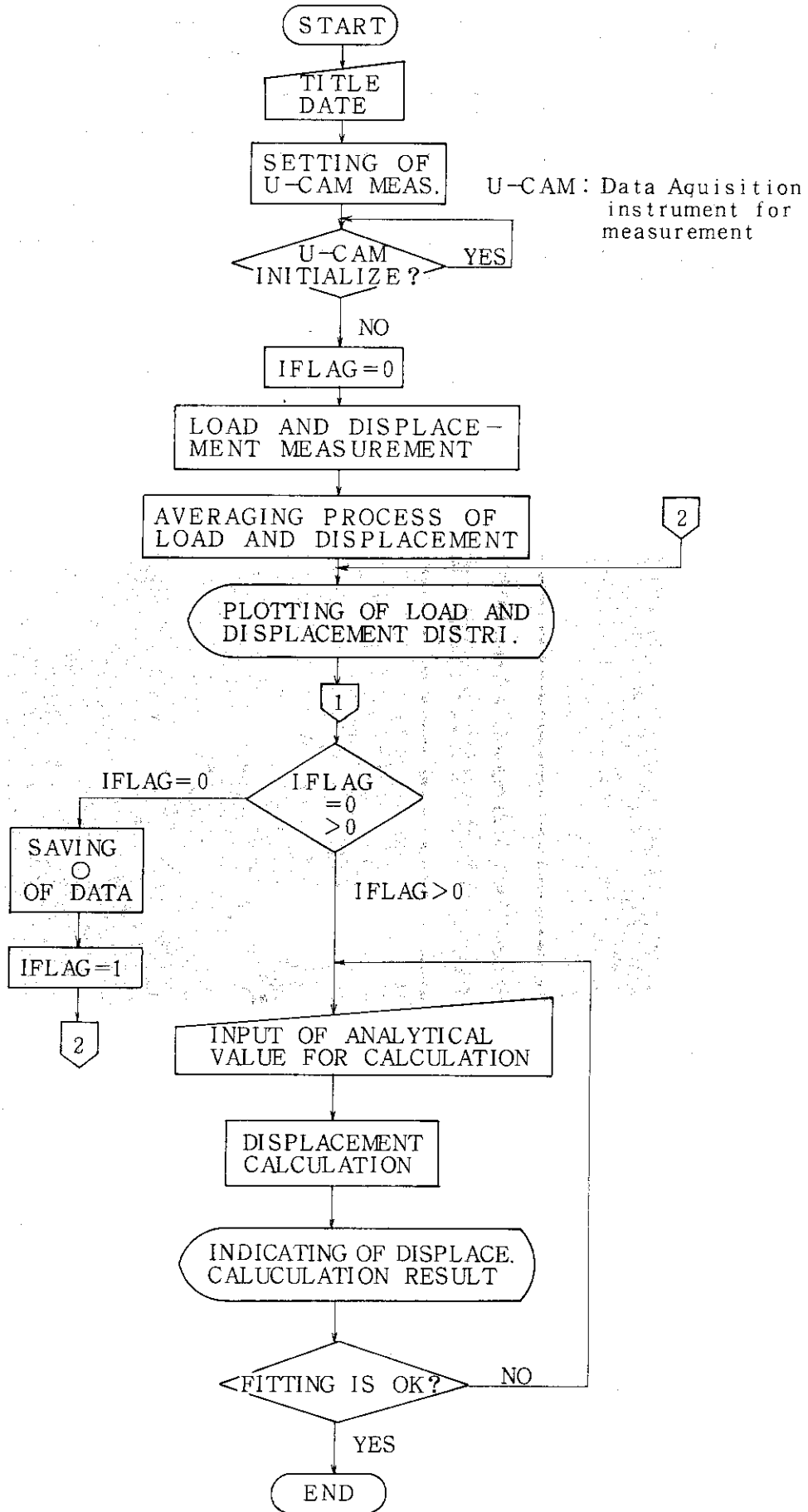


Fig. 4.5 Flow chart of measurement program

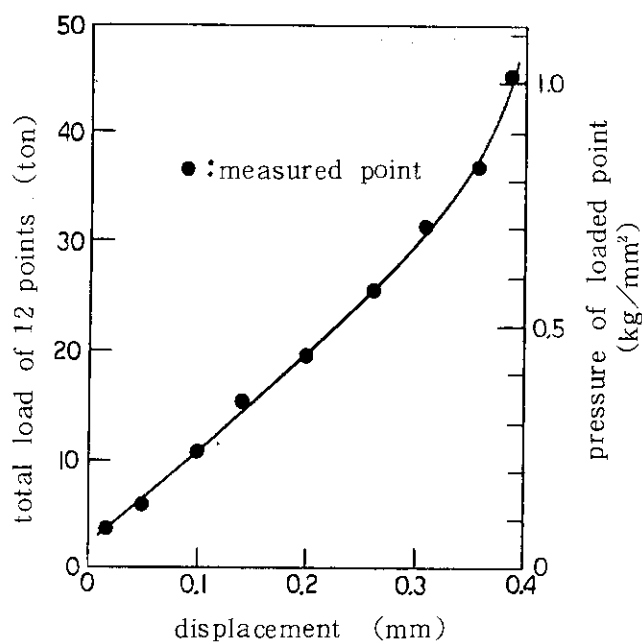


Fig. 4.6 Displacement of loaded point

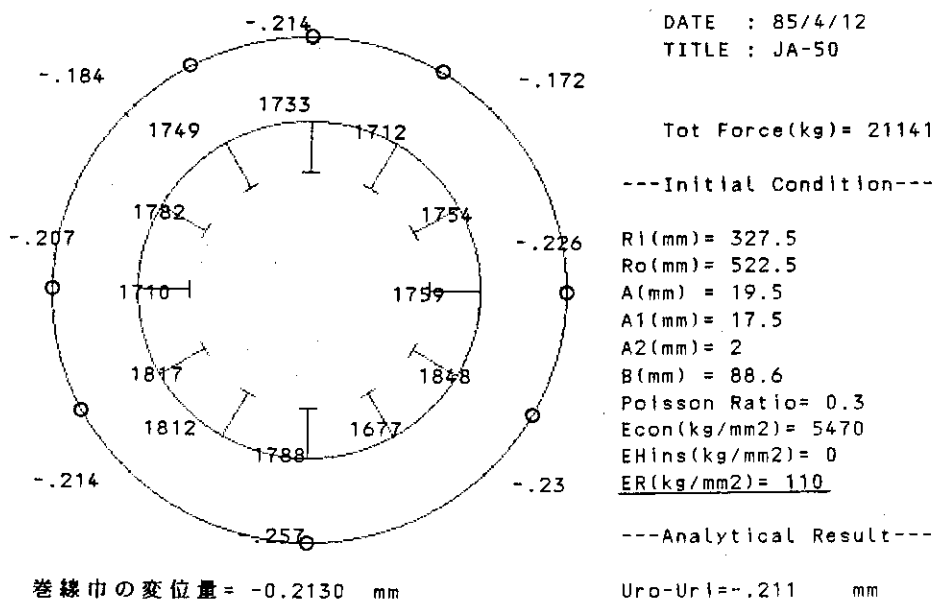


Fig. 4.7 Winding rigidity evaluation at around 21 ton

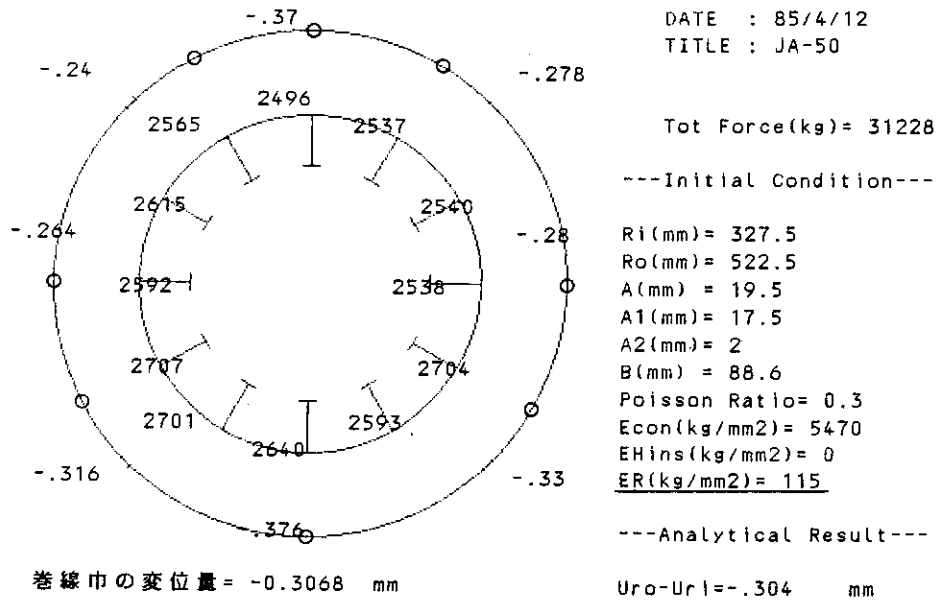


Fig. 4.8 Winding rigidity evaluation at around 31 ton

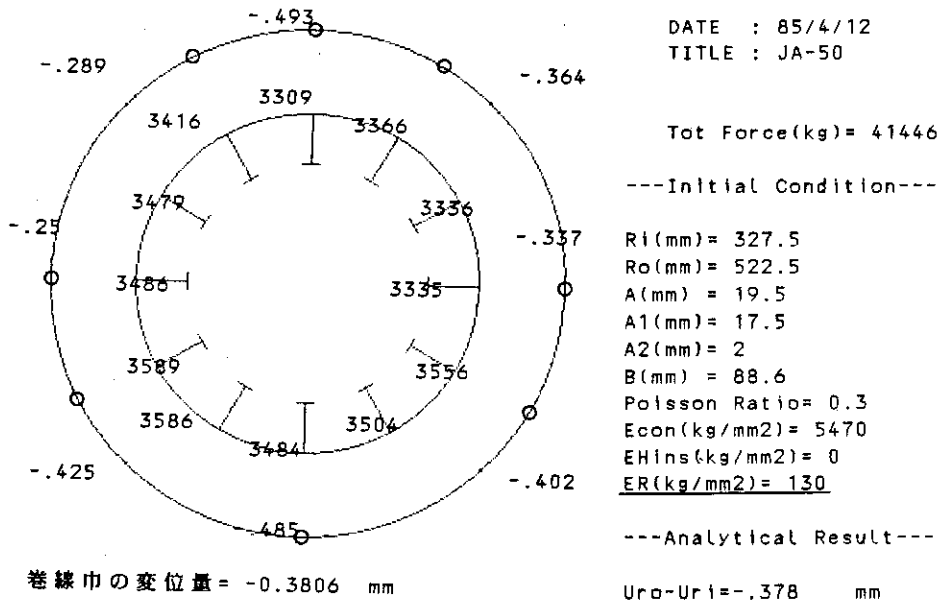


Fig. 4.9 Winding rigidity evaluation at around 41 ton

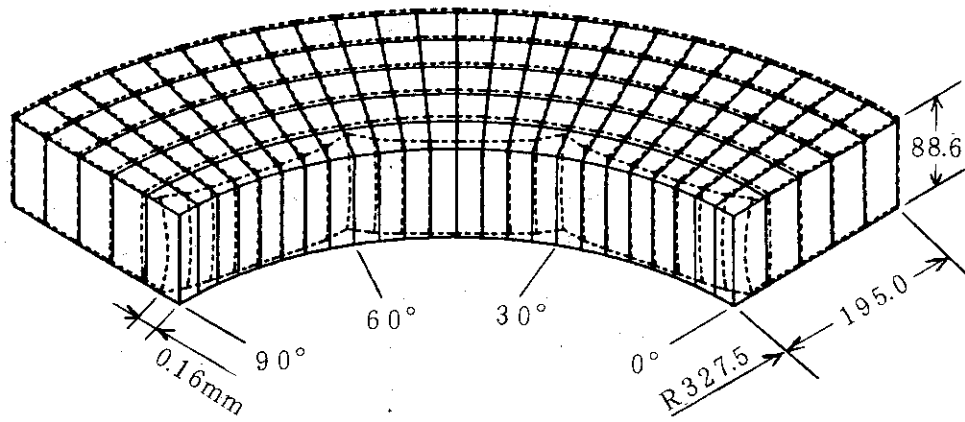


Fig. 4.1 0 Analytical model and deflection result of FEM: $E R = 100 \text{ kg/mm}^2$

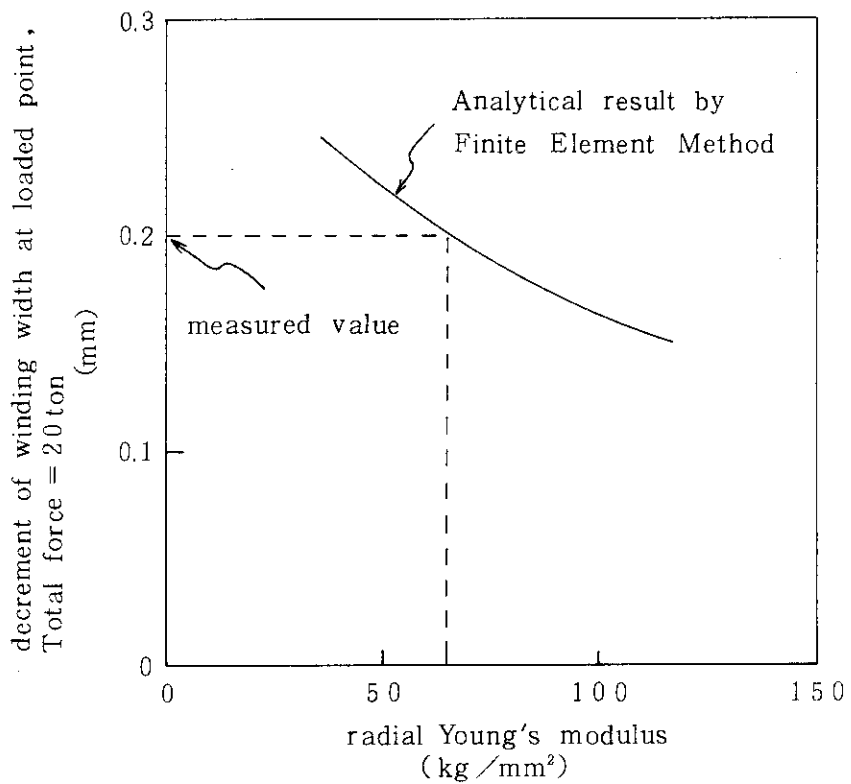


Fig. 4.1 1 Decrement of winding width versus radial Young's modulus

5. あ と が き

巻線剛性評価作業の第一歩として、2つの違ったタイプの導体、即ち、モノリス導体及び平角撚り導体から成る2種のコイルについて試験を実施した。モノリス導体コイルについては、室温及び液体窒素中で実験を行ない、その剛性特性を比較した結果、液体窒素中での径方向剛性は、室温時の値の約2/3程にまで劣化することが分かった。平角撚り導体コイルに関しては室温のみでの実験を行ない、モノリス導体コイルに比べ著しく剛性が低下していることを明らかにした。今後、さらに、これら剛性特性に係る基礎データを蓄積していくと共に、巻線剛性の評価法を確立していく。

謝 辞

本研究の機会を与えていただいた、苫米地所長、田中部長に感謝致します。又、有意義な御討論及び御助言をいただいた、超電導磁石研究室、安藤俊就、辻博史、多田栄介の各研究員に感謝致します。日立製作所からの外来研究員であった高橋龍吉氏には、プログラム作成上有益な御助言をいただき感謝致します。さらに、試験サンプルコイルの製作において御協力をいただいた東芝(株)、及び、試験装置本体の製作において御協力をいただいた日立製作所(株)に感謝致します。

5. あ と が き

巻線剛性評価作業の第一歩として、2つの違ったタイプの導体、即ち、モノリス導体及び平角撚り導体から成る2種のコイルについて試験を実施した。モノリス導体コイルについては、室温及び液体窒素中で実験を行ない、その剛性特性を比較した結果、液体窒素中での径方向剛性は、室温時の値の約2/3程にまで劣化することが分かった。平角撚り導体コイルに関しては室温のみでの実験を行ない、モノリス導体コイルに比べ著しく剛性が低下していることを明らかにした。今後、さらに、これら剛性特性に係る基礎データを蓄積していくと共に、巻線剛性の評価法を確立していく。

謝 辞

本研究の機会を与えていただいた、苫米地所長、田中部長に感謝致します。又、有意義な御討論及び御助言をいただいた、超電導磁石研究室、安藤俊就、辻博史、多田栄介の各研究員に感謝致します。日立製作所からの外来研究員であった高橋龍吉氏には、プログラム作成上有益な御助言をいただき感謝致します。さらに、試験サンプルコイルの製作において御協力をいただいた東芝(株)、及び、試験装置本体の製作において御協力をいただいた日立製作所(株)に感謝致します。

付 録 I

歪測定による剛性評価プログラムリストを以下に示す。

```

10 DIM EE(108),DO$(8),MA(12),E1(10),E7(10),E8(10),RR(11),SH(11),MB(12)
20 DIM SR(11),KH(11),KR(11),U(11),K1(10),K2(10)
30 DATA "0°", "45°", "90°", "135°", "180°", "225°", "270°", "315°"
40 FOR I=1 TO 8:READ DO$(I):NEXT I
50 CLS 3:WIDTH 80,25
60 LOCATE 5,5:PRINT *****
70 LOCATE 5,6:PRINT "*"
80 LOCATE 5,7:PRINT "*" Winding Strain Data Acquisition
90 LOCATE 5,8:PRINT "*"
100 LOCATE 5,9:PRINT "*" &Evaluation of Winding Rigidity
110 LOCATE 5,10:PRINT "*"
120 LOCATE 5,11:PRINT *****
130 REM ***** Date Setting *****
140 LOCATE 5,16:INPUT "Please Input DATE(example--84/05/18)!!":DA$
150 LOCATE 5,18:INPUT "Please Input Name(example---SampleA)!!":NA$
160 CLS 3
170 REM ***** Contact with U-CAM *****
180 K3$="INT,CHR00022401X,SET103XD008X08X,CON,POF,IOF,STA"
190 K4$="MES,CHR00022401X,SET103XD008X08X,CON,POF,IOF,STA"
200 OPEN "COM:E8INN"FOR OUTPUT AS#1
210 IF PORT(1)=0 THEN 240
220 X$=INPUT$(1,%1)
230 GOTO 210
240 BEEP:CLS 3
250 LOCATE 0,4:PRINT"***** UCAM MEASUREMENT MENU SELECTION *****"
260 LOCATE 0,5:PRINT"*****"
270 LOCATE 0,6:PRINT"*****"
280 LOCATE 0,8:INPUT "please input i or m ...(Initial---i,Measure---m)":I$
290 IF I$<>"i" AND I$<>"m" THEN BEEP:GOTO 280 ELSE 300
300 PRINT:PRINT:PRINT"*** NOW MEASURING >>> please wait a minute !!":IF I$="i" THEN A$=K3$ ELSE A$=K4$
310 FOR I=1 TO 200:NEXT I:PRINT#1,A$:FOR I=1 TO 200:NEXT I
320 CLOSE #1:OPEN "COM1:E8INN" FOR INPUT AS #1:OUT &H32,&H17
330 LINE INPUT#1,D$:HI=HI+1
340 PRINT D$
350 D2$=MID$(D$,8,8):EE(HI)=VAL(D2$)
360 E$=MID$(D$,20,1)
370 IF E$<>"1" THEN 340
380 CLOSE#1
390
400 IF I$="i" THEN GOTO 170
410 EP=(EE(10)+EE(85))/2
420 GOSUB 2780:CLS 3:GOSUB 2630
430 EP=(EE(10)+EE(85))/2
440 LOCATE 60,20:PRINT USING "Press=#.#kg/cm2";EP

```

```

450 REM ----- Max. Value of Data -----
460 AMAX=EE(1):IMAX=11
470 FOR I=12 TO 84
480   IF AMAX<EE(I) THEN AMAX=EE(I):IMAX=I ELSE 490
490 NEXT I
500 MAX=EE(IMAX)
510 REM ----- Min. Value of Data -----
520 BMIN=EE(1):IMIN=11
530 FOR I=12 TO 84
540   IF BMIN>EE(I) THEN BMIN=EE(I):IMIN=I ELSE 550
550 NEXT I
560 MIN=EE(IMIN)
570 REM ***** X-Axis Numbering *****
580 T1=MIN*1.1:T2=MAX*1.1
590 FOR K=0 TO 12:VX=3+K*6:SN=T1+(T2-T1)*K/12:LOCATE VX,19:PRINT USING"####":SN:NEXT K
600 REM ***** Results Plotting *****
610 A$="A":B$="B":C$="C":D$="D":E$="E":F$="F":G$="G":H$="H":I$="I":J$="J"
620 K$="才":L$="力":M$="リ"
630 SO=5+INT(-T1*72/(T2-T1)+.5)
640 REM ***** Averaging Process *****
650 JV(1)=12:JV(2)=80:JV(3)=56:JV(4)=62:JV(5)=38:JV(6)=68:JV(7)=50:JV(8)=74:JV(9)=32:JV(10)=44:GOSUB 3040:GOSUB 2970:F1=V1/EE(12)
660 Z1=EE(32)/EE(12):Z2=EE(44)/EE(38):W1=(Z1+Z2)/2
670 GOSUB 3170
680
690 JV(1)=20:JV(2)=82:JV(3)=58:JV(4)=64:JV(5)=40:JV(6)=70:JV(7)=52:JV(8)=76:JV(9)=34:JV(10)=46:GOSUB 3040 :GOSUB 2970:F2=V1/EE(20)
700 Z3=EE(34)/EE(20):Z4=EE(46)/EE(40):W2=(Z3+Z4)/2:WA=(W1+W2)/2
710 O1$=E$:O2$=K$:GOSUB 3060
720
730 JV(1)=30:JV(2)=84:JV(3)=60:JV(4)=66:JV(5)=42:JV(6)=72:JV(7)=54:JV(8)=78:JV(9)=36:JV(10)=48:GOSUB 3040:GOSUB 2970:F3=V1/EE(30)
740 Z5=EE(36)/EE(30):Z6=EE(48)/EE(42):W3=(Z5+Z6)/2:WB=(W2+W3)/2
750 O1$=D$:O2$=J$:GOSUB 3060
760
770 JV(1)=29:JV(2)=83:JV(3)=59:JV(4)=65:JV(5)=41:JV(6)=71:JV(7)=53:JV(8)=77:JV(9)=35:JV(10)=47:GOSUB 3040:GOSUB 2970:F4=V1/EE(29)
780 X1=EE(35)/EE(29):X2=EE(47)/EE(41):Y1=(X1+X2)/2
790 O1$=C$:O2$=I$:GOSUB 3060
800
810 JV(1)=19:JV(2)=81:JV(3)=57:JV(4)=63:JV(5)=39:JV(6)=69:JV(7)=51:JV(8)=75:JV(9)=33:JV(10)=45:GOSUB 3040:GOSUB 2970:F5=V1/EE(19)
820 X3=EE(33)/EE(19):X4=EE(45)/EE(39):Y2=(X3+X4)/2:YA=(Y1+Y2)/2
830 O1$=B$:O2$=H$:GOSUB 3060
840
850 JV(1)=11:JV(2)=79:JV(3)=55:JV(4)=61:JV(5)=37:JV(6)=67:JV(7)=49:JV(8)=73:JV(9)=31:JV(10)=43:GOSUB 3040:GOSUB 2970:F6=V1/EE(11)
860 X5=EE(31)/EE(11):X6=EE(43)/EE(37):Y3=(X5+X6)/2:YB=(Y2+Y3)/2
870 O1$=A$:O2$=G$:GOSUB 3060

```



```

880 LOCATE 43,22:INPUT "Data OK (y/n)          ??";YNS:IF YNS<>"y" AND YNS<>"n" THEN BEEP:GOTO 890 ELSE 900
890 IF YNS="n" THEN CLS:GOTO 170 ELSE 910
900 LOCATE 43,22:INPUT "copy or go ahead (c/g)  ??":CG$
910 IF CG$="c" THEN COPY 3
920 CLS 3
930 REM ***** Out Line of Graphic on Strain (for Fitting) *****
940 G1=(F1+F2)/2;G2=(F2+F3)/2;G3=(F4+F5)/2;G4=(F5+F6)/2
950 VIEW (0,0)-(639,199)
960 LINE (80,12)-(400,172), ,B
970 VIEW (80,12)-(400,172)
980 FOR I=1 TO 9:PY=I*16:FOR J=1 TO 4:PX=J*5: PSET (PX,PY):NEXT J,I
990 PSET (0,0)
1000 FOR K=1 TO 9:KX=K*32:FOR L=76 TO 80:KY=L*2: PSET (KX,KY):NEXT L,K
1010 PSET (0,0)
1020 REM ----- Initial Data Input-(1) -----
1030 LOCATE 61,0:PRINT:DA$:LOCATE 61,1:PRINT:NA$
1040 LOCATE 61,2:PRINT USING "Press##.#kg/cm2":EP
1050 LOCATE 54,5:PRINT "----Initial Condition----"
1060 RI=325:RO=398
1070 LOCATE 54,7:PRINT "RI(mm)=";RI
1080 LOCATE 54,8:PRINT "RO(mm)=";RO
1090 REM ----- X-Axis Numbering -----
1100 FOR I=0 TO 5:RX=8+I*8:RN=RI+(RO-RI)*I/5
1110 LOCATE RX,22:PRINT USING "##.#";RN:NEXT I:LOCATE 0,0
1120 REM ----- Y-Axis Numbering -----
1130 YS=(1+YB)/2:YR=(1+YA)/2:WR=(1+WA)/2:WS=(1+WB)/2
1140
1150
1160
1170
1180
1190
1200
1210
1220
1230
1240
1250
1260
1270
1280
1290
1300
E7(1)=F6*(EE(11)+EE(31))/2:E7(2)=G4*EE(13)*YS:E7(3)=G4*EE(15)*YS:E7(4)=G4*EE(17)*YS:E7(5)=F5*(EE(19)+EE(33))/2:E7(6)=G3*EE(21)*Y
R:E7(7)=G3*EE(23)*YR:E7(8)=G3*EE(25)*YR:E7(9)=G3*EE(27)*YR:E7(10)=F4*(EE(29)+EE(35))/2
E8(1)=F1*(EE(12)+EE(32))/2:E8(2)=G1*EE(14)*WR:E8(3)=G1*EE(16)*WR:E8(4)=G1*EE(18)*WR:E8(5)=F2*(EE(20)+EE(34))/2:E8(6)=G2*EE(22)*W
S:E8(7)=G2*EE(24)*WS:E8(8)=G2*EE(26)*WS:E8(9)=G2*EE(28)*WS:E8(10)=F3*(EE(30)+EE(36))/2
E7(11)=F6*EE(11):E7(12)=G4*EE(13):E7(13)=G4*EE(15):E7(14)=G4*EE(17):E7(15)=F5*EE(19):E7(16)=G3*EE(21):E7(17)=G3*EE(23):E7(18)=G3*EE(25):
E7(19)=G3*EE(27):E7(20)=F4*EE(29)
E8(11)=F1*EE(12):E8(12)=G1*EE(14):E8(13)=G1*EE(16):E8(14)=G1*EE(18):E8(15)=F2*EE(20):E8(16)=G2*EE(22):E8(17)=G2*EE(24):E8(18)=G2*EE(26):
E8(19)=G2*EE(28):E8(20)=F3*EE(30)
BMIN=E7(1):IMIN=1:FOR I=2 TO 10:IF BMIN>E7(I) THEN BMIN=E7(I):IMIN=I ELSE 1230
NEXT I:MIN=E7(IMIN)
AMAX=E8(1):JMAX=1:FOR J=2 TO 10:IF AMAX<E8(J) THEN AMAX=E8(J):JMAX=J ELSE 1250
NEXT J:MAX=E8(JMAX)
T1=MIN*1.1
T2=MAX*1.1
FOR K=0 TO 10:VY=1+K*2:VN=T2-(T2-T1)*K/10
LOCATE 0,VY:PRINT USING "##.#^####";VN
NEXT K
LOCATE 10,0:PRINT "Strain Property *** SH(PPM),SR(PPM) vs R(mm) ***"

```

```

1310 REM ----- Setting of Data -----
1320 FOR I=1 TO 10
1330 D7(I)=160*(1-(E7(I)-T1)/(T2-T1))
1340 XJ=16+(I-1)*32: CIRCLE (XJ,D7(I)),3:NEXT I
1350 DA(1)=D7(1):DA(2)=D7(5):DA(3)=D7(10)
1360 XJ(1)=16:XJ(2)=144:XJ(3)=304
1370 FOR I=1 TO 3: CIRCLE (XJ(I),DA(I)),6,2:NEXT I
1380 FOR I=1 TO 10
1390 D8(I)=160*(1-(E8(I)-T1)/(T2-T1))
1400 XK=16+(I-1)*32:CIRCLE (XK,D8(I)),3,1:NEXT I
1410 DB(1)=D8(1):DB(2)=D8(5):DB(3)=D8(10)
1420 FOR I=1 TO 3: CIRCLE (XJ(I),DB(I)),6:NEXT I
1430 REM ----- Initial Data Input-(2) -----
1440 AA=7.2:A1=7:A2=.2:BB=7:NR=10:ECU=11100
1450 LOCATE 54,9 : PRINT "A(mm) =";AA
1460 LOCATE 54,10: PRINT "A1(mm)=";A1
1470 LOCATE 54,11: PRINT "A2(mm)=";A2
1480 LOCATE 54,12:PRINT "B(mm) =";BB
1490 LOCATE 54,13:PRINT "NO. of R-div.=";NR
1500 LOCATE 54,14:PRINT USING "press(kg/cm2)=###.#";EP
1510 LOCATE 54,15:INPUT "Poisson Ratio";MX
1520 LOCATE 54,16:PRINT "Ecu(kg/mm2)";ECU
1530 LOCATE 54,17:INPUT "EHins(kg/mm2)=";E1IN
1540 LOCATE 54,18:INPUT "ERins(kg/mm2)=";E2IN
1550 LOCATE 54,20:INPUT "input is OK?? (Y/N)!!";B$
1560 IF B$="Y" THEN 1580 ELSE 1570
1570 CLS 3:GOTO 940
1580 REM ***** Constant Value Caluculation *****
1590 ACU=A1*BB
1600 AIN=A2*BB
1610 AT=AA*BB
1620 EH=(ECU*ACU+E1IN*AIN)/AT
1630 ER=AA/(A1/ECU+A2/E2IN)
1640 N=EH/ER
1650 P1=EP*547
1660 P2=P1/(2*3.14*RI*BB)
1670 CN=SQR(N)
1680 CA=-2*CN
1690 CB=RI^CA-R0^CA
1700 C1=(CN-MXY)*R0^CA*P2/RI^(CN-1)/CB/CN/EH
1710 C2=(CN+MX)*P2/RI^(CN-1)/CB/CN/EH
1720 FOR J=0 TO NR
1730 RR(J)=RI+(R0-RI)*J/NR

```

```

1740 SH(J)=C1*RR(J)^(CN-1)+C2*RR(J)^(-CN-1)
1750 SH(J)=SH(J)*10^6
1760 SR(J)=CN*(C1*RR(J)^(CN-1)-C2*RR(J)^(-CN-1))
1770 SR(J)=SR(J)*10^6
1780 KH(J)=CN*EH*(C1*RR(J)^(CN-1)*(CN+MX)+C2*RR(J)^(-CN-1)*(CN-MX))/(N-MX*^2)
1790 KH(J)=ECU*AA*BB*KH(J)/(ANT*ENT+ACU*ECU*AIN*EIN)
1800 KR(J)=EH*(C1*RR(J)^(CN-1)*(CN+MX)-C2*RR(J)^(-CN-1)*(CN-MX))/(N-MX*^2)
1810 U(J)=C1*RR(J)^(CN-1)+C2*RR(J)^(-CN-1)
1820 NEXT J
1830 BEEP
1840 REM ----- Strain Results Drawing -----
1850 FOR I=0 TO NR
1860 RR(I)=320*(RR(I)-R1)/(R0-R1)
1870 SH(I)=160*(1-(SH(I)-T1)/(T2-T1))
1880 SR(I)=160*(1-(SR(I)-T1)/(T2-T1))
1890 NEXT I
1900 VIEW (80,12)-(400,172)
1910 FOR J=0 TO NR-1
1920 LINE (RR(J),SH(J))-(RR(J+1),SH(J+1)),4:NEXT J
1930 FOR K=0 TO NR-1
1940 LINE (RR(K),SR(K))-(RR(K+1),SR(K+1)),6:NEXT K
1950 LOCATE 54,20:INPUT "Fitting is OK??(y/n)!!";YA$
1960 IF YA$="y" THEN 1970 ELSE 2020
1970 LOCATE 54,21:INPUT "copy or go ??(c/g)!!";CG$
1980 IF CG$="c" THEN 1990 ELSE 2000
1990 COPY 3:GOTO 2000
2000 LOCATE 54,22:INPUT "fitting or go(f/g)?";FG$
2010 IF FG$="f" THEN 2020 ELSE 2030
2020 CLS 3:GOTO 940
2030 CLS 3
2040 REM ***** Out Line of Graphics on Stress *****
2050 VIEW (0,0)-(639,199)
2060 LINE (80,12)-(480,172), ,B
2070 VIEW (80,12)-(480,172)
2080 FOR I=1 TO 9:PY=I*16:FOR J=1 TO 4:PX=J*5:PSET (PX,PY)
2090 NEXT J,I: PSET (0,0)
2100 FOR K=1 TO 9:KX=K*40:FOR L=76 TO 80:KY=L*2: PSET (KX,KY)
2110 NEXT L,K: PSET (0,0)
2120 LOCATE 10,0:PRINT "Stress Property ***KH(kg/mm2),KR(kg/mm2) vs R(mm)***"
2130 LOCATE 63,2:PRINT;DA$:LOCATE 65,0:PRINT;NA$
2140 LOCATE 63,3:PRINT USING "Press=##.#kg/cm2";EP
2150 LOCATE 63,5:PRINT "Ecu=";ECU
2160 LOCATE 63,6:PRINT "EHins=";EIN

```

```

2170 LOCATE 63,7:PRINT "ERins=";E2IN
2180 LOCATE 63,9:PRINT "Ehtot=";EH
2190 LOCATE 63,10:PRINT "ERTot=";ER
2200 LOCATE 63,11:PRINT "Poisson=";MX
2210 REM ----- X-Axis Numbering -----
2220 FOR I=0 TO 5:RX=8+I*10:RN=RI+(RO-RI)*I/5
2230 LOCATE RX,22:PRINT USING "##.#";RN:NEXT I:LOCATE0,0
2240 REM ----- Y-Axis Numbering & Data Setting -----
2250 FOR I=1 TO 10
2260 K1(I)=EH*(N*E8(I)*.000001+MXY*E7(I)*.000001)/(N-MXY^2)
2270 K1(I)=ECU*AA*BB*K1(I)/(ANT*ENT+ACU*ECU+A1N*E1N)
2280 K2(I)=EH*(E7(I)*.000001+MXY*E8(I)*.000001)/(N-MXY^2)
2290 NEXT I
2300 CMIN=K2(1):JMIN=1
2310 FOR J=2 TO 10
2320 IF CMIN>K2(J) THEN CMIN=MA(J):JMIN=J ELSE 2330
2330 NEXT J:MIN=K2(JMIN)
2340 DMAX=K1(1):IMAX=1
2350 FOR I=2 TO 10
2360 IF DMAX<K1(I) THEN DMAX=K1(I):IMAX=I ELSE 2370
2370 NEXT I:MAX=K1(IMAX)
2380 T3=MIN*1.3 :T4=MAX*1.3
2390 FOR K=0 TO 10:VY=1+K*2:SN=T4-(T4-T3)*K/10
2400 LOCATE 0,VY:PRINT USING "##.##^";SN:NEXT K
2410 FOR I=1 TO 10
2420 K1(I)=160*(1-(K1(I)-T3)/(T4-T3))
2430 K2(I)=160*(1-(K2(I)-T3)/(T4-T3))
2440 ZA=20+(I-1)*40: CIRCLE (ZA,K1(I)),3,4:CIRCLE (ZA,K2(I)),3,4
2450 NEXT I
2460 REM ----- Stress Calculation Drawing -----
2470 FOR I=0 TO NR
2480 RR(I)=1.25*RR(I)
2490 KH(I)=160*(1-(KH(I)-T3)/(T4-T3))
2500 KR(I)=160*(1-(KR(I)-T3)/(T4-T3))
2510 NEXT I
2520 FOR J=0 TO NR-1
2530 CMD LINE (RR(J),KH(J))-(RR(J+1),KH(J+1)):NEXT J
2540 FOR K=0 TO NR-1
2550 LINE (RR(K),KR(K))-(RR(K+1),KR(K+1),7):NEXT K
2560 LOCATE 62,19:INPUT "copy or end(c/e)";CB$
2570 IF CB$="c" THEN CMD COPY 3
2580 REM ***** Floppy Writing *****
2590 PRINT#1,DA$, " ", "EE(1)

```

```

2600 FOR I=1 TO 84:PRINT#1,NN(1);",":DE(1);",":EE(1):NEXT I
2610 CLOSE#1
2620 CMD CLS 3:GOTO 170
2630 CLS 3
2640 subroutine graph
2650 REM ***** Out Line of Data Chek Plotting *****
2660 VIEW (0,0)-(630,199)
2670 LINE (40,20)-(616,148),,B
2680 VIEW (40,12)-(616,148)
2690 FOR I=1 TO 8:PY=I*16:FOR J=1 TO 4:PX=J*5: PSET (PX,PY):NEXT J,I
2700 PSET (0,0)
2710 FOR K=1 TO 11:KX=K*48:FOR L=63 TO 67:KY=L*2: PSET (KX,KY):NEXT L,K
2720 PSET (0,0)
2730 LOCATE 8,0:PRINT "Strain of R-Dire."
2740 LOCATE 44,0:PRINT "Strain of H-Dire."
2750 FOR I=1 TO 8:PY=I*2+1:LOCATE I,PY:PRINT ;DO$(I):NEXT I
2760 LOCATE 70,0:PRINT ;DA$
2770 RETURN
2780 subroutine raw data display
2790 BEEP: CLS 3:PRINT "***** Raw measured data *****"
2800 LOCATE 45,0:PRINT USING "Press=###. #kg/cm2";EP
2810 PRINT:GOSUB 3290
2820 LOCATE 43,22:INPUT"DATA OK (y/n)?:";YN$:IF YN$<>"y" AND YN$<>"n" THEN BEEP:GOTO 2820 ELSE 2830
2830 IF YN$="n" THEN CLS 3:GOTO 170 ELSE 2840
2840 LOCATE 0,17:INPUT"DATA MODIFY (y/n)?:";YN$:IF YN$<>"y" AND YN$<>"n" THEN BEEP:GOTO 2840 ELSE 2850
2850 IF YN$="n" THEN GOTO 2860 ELSE 2890
2860 LOCATE 45,22:INPUT "Copy or Go ahead ? (C/G)!!";CG$
2870 IF CG$="C" THEN COPY
2880 RETURN
2890 INPUT "data su =":ND:FOR I=1 TO ND:INPUT"data no. =":JH:JZ(I)=IH: EE(JZ(I))=0!:NEXT I
2900 INPUT "DATA modify OK (Y/N)";YN$:IF YN$<>"y" AND YN$<>"n" THEN BEEP:GOTO 2900 ELSE 2910
2910 IF YN$="n" THEN 2790
2920 FOR I=1 TO ND:EE(JZ(I))=EE(JZ(I)):NEXT I
2930 CLS 3:PRINT"***** Modified data *****"
2940 LOCATE 45,0:PRINT USING "Press=###. #kg/cm2";EP
2950 PRINT: GOSUB 3290:PRINT:PRINT "Copy or Go ahead (C/G)";CG$:IF CG$="C" THEN COPY
2960 RETURN
2970
2980 IY=10:FV=0:FOR J=1 TO 10:FV=FV+E1(J):NEXT J
2990 FOR I=1 TO ND:FOR J=1 TO 10:IF JZ(I)=JV(J) THEN IY=IY-1
3000 NEXT J,I
3010 V1=FV/IY
3020 RETURN

```

```

3030
3040   FOR I=1 TO 10:E1(I)=EE(JV(I)):NEXT I
3050   RETURN
3060
3070   FOR I=1 TO 10:IF I>=9 THEN GOTO 3120
3080   E1(I)=5+INT((E1(I)-T1)*72/(T2-T1)+.5)
3090   Y=1+2*I
3100   LOCATE E1(I),Y:PRINT;O1$
3110   GOTO 3150
3120   E1(I)=5+INT((E1(I)-T1)*72/(T2-T1)+.5)
3130   Y=1*8-69
3140   LOCATE E1(I),Y:PRINT;O2$
3150   NEXT I
3160   RETURN
3170
3180   FOR I=1 TO 10:IF I>=9 THEN GOTO 3230
3190   E1(I)=5+INT((E1(I)-T1)*72/(T2-T1)+.5)
3200   Y=1+2*I
3210   LOCATE S0,Y:PRINT;M$:LOCATE E1(I),Y:PRINT :F$
3220   GOTO 3260
3230   E1(I)=5+INT((E1(I)-T1)*72/(T2-T1)+.5)
3240   Y=1*8-69
3250   LOCATE E1(I),Y:PRINT:L$
3260   NEXT I
3270   RETURN
3280
3290   IH=10
3300   FOR I1=1 TO 15
3310     FOR J=1 TO 5:IH=IH+1
3320     IF IH=85 THEN 3370
3330     PRINT USING "EE(##)=##### I "; IH,EE(IH);
3340     NEXT J
3350     PRINT
3360   NEXT I1
3370   RETURN

```

付 録 Ⅱ

変位測定による剛性評価プログラムリストを以下に示す。

```

10 SCREEN 3.0:CONSOLE 0,25.1,1
20 DIM X(12),Y(12),EE(22)
30 KEY 3,"CLS 3"
40 CLS 3:WIDTH 80,25
50 LOCATE 5.5:PRINT "*"
60 LOCATE 5.6:PRINT "*"
70 LOCATE 5.7:PRINT "** Winding Deflection Data Acquisition **"
80 LOCATE 5.8:PRINT "*"
90 LOCATE 5.9:PRINT "** & Evaluation of Winding Rigidity **"
100 LOCATE 5.10:PRINT "*"
110 LOCATE 5.11:PRINT "*****"
120 REM ***** Date Setting *****
130 LOCATE 5.16:INPUT "Please Input DATE(example---85/04/01)!!";DA$
140 LOCATE 5.18:INPUT "Please Input Name(example---SampleA)!!";NA$
150 CLS 3
160 CLOSE #1:FOR I=1 TO 3:BEEP:LOCATE 20,1:PRINT "Buffer Port Occupied !"
170 LOCATE 20.4:PRINT "Now Clearing !!":NEXT I:FOR I=1 TO 10000:NEXT I
180 REM ***** Contact with U-CAM *****
190 K3$="INT.CHR00111201X,SET108X07XD009X,CON,POF,I0F,STA"
200 K4$="MES.CHR00111201X,SET108X07XD009X,CON,POF,I0F,STA"
210 BEEP:CLS 3
220 LOCATE 0.4:PRINT"***** UCAM MEASUREMENT MENU SELECTION *****"
230 LOCATE 0.5:PRINT"****"
240 LOCATE 0.6:PRINT"*****"
250 OPEN "COM1:E81NN" FOR OUTPUT AS #1
260 LOCATE 0.8:INPUT "please input I or M...(Initial---I,Measure---M)";I$
270 IF I$<"I" AND I$<"M" THEN BEEP:GOTO 260 ELSE 280
280 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT"*** NOW MEASURING >>> please wait a minute !!":IF I$="I" THEN A$=K3$ ELSE A$=K4$
290 CLS 3
300 PRINT#1,A$:FOR I=1 TO 100:NEXT I
310 CLOSE #1:OPEN "COM1:E81NN" FOR INPUT AS #1
320 *PORTCLEAR
330 LOCATE 1,3:PRINT "RS232C=":LOC(#1)
340 IF LOC(#1)=0 GOTO *PORTOUT
350 X$=INPUT$(1,#1):GOTO *PORTCLEAR
360 *PORTOUT
370 OUT &H32,&H17
380 FOR I=1 TO 3000:NEXT I
390 BEEP:LOCATE 1,4:PRINT "RS232C=":LOC(#1)
400 IF LOC(#1)=0 THEN 160
410 LINE INPUT #1,H$
420 FOR I=1 TO 22
430 LINE INPUT #1,D$
440 PRINT D$

```



```

450 EE(I)=VAL(MID$(D$,8,8))
460 NEXT I
470 CLOSE#1
480 IF I$="I" THEN GOTO 180
490 CLS 3
500 PI=(EE(1)+EE(22))/2
510 TF=0
520 FOR I=10 TO 21
530   TF=TF+EE(I)
540 NEXT I
550 THENI=0
560 FOR I= 2 TO 9
570   THENI=THENI+EE(I)
580 NEXT I
590 HENI=THENI/8
600 IFLAG=0
610 CIRCLE (200,160),100,6
620 CIRCLE (200,160),150,6
630 X(1)= 70:Y(1)= 5
640 X(2)= 70:Y(2)= -5
650 X(3)= 70:Y(3)= 0
660 X(4)=100:Y(4)= 0
670 X(5)=100:Y(5)= 5
680 X(6)=100:Y(6)= -5
690 FOR I=0 TO 360 STEP 30
700   P=I/180*3.14159
710   FOR J=7 TO 12
720     X(J)=200+X(J-6)*COS(P)+Y(J-6)*SIN(P)
730     Y(J)=160-(X(J-6)*SIN(P)-Y(J-6)*COS(P))
740   NEXT J
750   FOR K=7 TO 11 STEP 2
760     LINE (X(K),Y(K))-(X(K+1),Y(K+1)),2
770   NEXT K
780 NEXT I
790 FOR I=0 TO 360 STEP 45
800   P=I/180*3.14159
810   X=200+150*COS(P)
820   Y=160-150*SIN(P)
830   CIRCLE (X,Y),4,.7
840 NEXT I
850 COLOR 4
860 LOCATE 20,0:PRINT ;EE(6)
870 LOCATE 20,19:PRINT ;EE(2)

```

```

880 LOCATE 5, 2:PRINT ;EE(5)
890 LOCATE 5,17:PRINT ;EE(3)
900 LOCATE 40, 2:PRINT ;EE(7)
910 LOCATE 40,17:PRINT ;EE(9)
920 LOCATE 3, 8:PRINT ;EE(4)
930 LOCATE 40, 8:PRINT ;EE(8)
940 COLOR 5
950 LOCATE 20,3:PRINT ;EE(16)
960 LOCATE 20,16:PRINT ;EE(10)
970 LOCATE 12,4:PRINT ;EE(15)
980 LOCATE 12,15:PRINT ;EE(11)
990 LOCATE 27, 4:PRINT ;EE(17)
1000 LOCATE 27,15:PRINT ;EE(21)
1010 LOCATE 10,10:PRINT ;EE(13)
1020 LOCATE 30,10:PRINT ;EE(19)
1030 LOCATE 11, 7:PRINT ;EE(14)
1040 LOCATE 32, 7:PRINT ;EE(18)
1050 LOCATE 11,13:PRINT ;EE(12)
1060 LOCATE 32,13:PRINT ;EE(20)
1070 COLOR 4
1080 LOCATE 2,21:PRINT USING "巻線巾の変位量=#.###";HENI
1090 LOCATE 28,21:PRINT "mm"
1100 COLOR 7
1110 IF IFLAG>0 THEN 1180 ELSE 1120
1120 LOCATE 5,23:INPUT "DATA IS OK ? (Y/N)??";YN$
1130 IF YN$ <> "Y" AND YN$ <> "N" THEN BEEP:GOTO 1120 ELSE 1140
1140 IF YN$="N" THEN CLS 3:GOTO 180 ELSE 1150
1150 GOSUB 1580
1160 CLS 1
1170 GOTO 610
1180 REM ----- Initial Data Input-(1) -----
1190 LOCATE 57,0:PRINT;DA$:LOCATE 57,1:PRINT;NA$
1200 LOCATE 57,2:PRINT ;NB$
1210 LOCATE 57,3:PRINT USING "Press=###.# kg/cm2";P1
1220 LOCATE 54,6:PRINT "----Initial Condition----"
1230 RI=327.5;RO=522.5
1240 LOCATE 54,8:PRINT "RI(mm)=";RI
1250 LOCATE 54,9:PRINT "RO(mm)=";RO
1260 REM ----- Initial Data Input-(2) -----
1270 COLOR 5
1280 LOCATE 57,4:PRINT USING "Tot Force=###.## kg";TF
1290 COLOR 7
1300 LOCATE 54,10: INPUT "A(mm) =" ;AA

```

```

1310 LOCATE 54,11: INPUT "A1(mm)=";A1
1320 LOCATE 54,12: INPUT "A2(mm)=";A2
1330 LOCATE 54,13: INPUT "B(mm) =";BB
1340 LOCATE 54,14: INPUT "Poisson Ratio";MXY
1350 LOCATE 54,15: INPUT "Econ(kg/mm2)";ECON
1360 LOCATE 54,16: INPUT "EHins(kg/mm2)=";E1IN
1370 LOCATE 54,17: INPUT "ER(kg/mm2)=";ER
1380 LOCATE 54,19: PRINT "----Analytical Result----"
1390 REM ***** Constant Value Calculation *****
1400 ACON=A1*BB
1410 AIN=A2*BB
1420 AT=AA*BB
1430 EH=(ECON*ACON+E1IN*AIN)/AT
1440 N=EH/ER
1450 P2=TF/(12*42*BB)
1460 CN=SQR(N)
1470 CA=-2*CN
1480 CB=RI^CA-RO^CA
1490 C1=(CN-MXY)*RO^CA*P2/RI^(CN-1)/CB/EH
1500 C2=(CN+MXY)*P2/RI^(CN-1)/CB/EH
1510 UO=C1*RO^CN+C2*RO^(-CN)
1520 UI=C1*RI^CN+C2*RI^(-CN)
1530 U=UO-UI
1540 LOCATE 54,21: PRINT USING "Uro-Uri=#.###";U
1550 LOCATE 71,21: PRINT "mm"
1560 LOCATE 25,22: INPUT "Fitting is OK ?? (Y/N)? ";YN$
1570 IF YN$="Y" THEN 180 ELSE 1260
1580
1590 IFLAG=IFLAG+1
1600 CLS 3:LOCATE 5,0:PRINT "*****"
1610 LOCATE 5,1:PRINT "*"
1620 LOCATE 5,2:PRINT "*" Floppy Disk Setting
1630 LOCATE 5,3:PRINT "*"
1640 LOCATE 5,4:PRINT "*****"
1650 LOCATE 5,6:PRINT "***** floppy /JY -----";DSKF(2)
1660 LOCATE 5,8:PRINT "***** present files are as followed !";PRINT
1670 FILES 2
1680 PRINT :INPUT "Please input FILE NAME";NB$:OP$="2:"+NB$
1690 OPEN OP$ FOR OUTPUT AS #2
1700 WRITE #2,DA$
1710 FOR I=1 TO 22
1720 WRITE #2,EE(I)
1730 NEXT I
1740 CLOSE #2
1750 RETURN

```