

JAERI - M  
91-045

大型放射光施設設計報告書-18

大型放射光施設シンクロトロン  
電磁石の設計と製作

1991年3月

橋本 宏<sup>\*</sup>・島田 太平・梶沢 光昭<sup>\*\*</sup>・原見 太幹  
米原 博人・永井 高久・荻野 晃久・宮原 義一

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

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。入手の問合せは、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, Tckaimura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1991

編集兼発行 日本原子力研究所  
印 刷 いばらき印刷株

大型放射光施設シンクロトロン電磁石の設計と製作

日本原子力研究所大型放射光施設設計画推進室

橋本 宏<sup>\*</sup>・島田 太平・桃沢 光昭<sup>\*\*</sup>・原見 太幹  
米原 博人・永井 高久・荻野 晃久・宮原 義一

(1991年2月18日受理)

本報告書は、大型放射光施設（SPring-8）シンクロトロンに用いる各種電磁石についてその設計・製作・試験を記述したものである。

電磁石は偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石、セプタム電磁石である。

これら電磁石は、実機のプロトタイプとして試作したもので、電源との組合せ試験、磁場測定を予定している。

Design and Fabrication of the Magnets for the Synchrotron  
in the Large Synchrotron Radiation Facility

Hiroshi HASHIMOTO\*, Taihei SHIMADA, Mitsuaki KABASAWA\*\*  
Taikan HARAMI, Hiroto YONEHARA, Takahisa NAGAI, Teruhisa OGINO  
and Yoshikazu MIYAHARA

Office of Synchrotron Radiation Facility Project  
Japan Atomic Energy Research Institute  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 18, 1991)

This paper describes the design, fabrication and test of the magnets which will be used in the synchrotron of the large synchrotron radiation facility (SPring-8). The magnets are dipole, quadrupole, sextupole and septum ones. These magnets have been fabricated as prototypes of magnets installed in the synchrotron. We plan to make an integral test connected with an electric power supply and to measure magnetic field in each magnet.

Keywords: Synchrotron Radiation Facility, Synchrotron, Magnet

---

\* Hitachi, Ltd.

\*\* Sumitomo Heavy Industries, Ltd.

## 目 次

1.はじめに .....	1
2.シンクロトロンの概要 .....	1
3.偏向電磁石 .....	17
4.四極電磁石 .....	30
5.六極電磁石 .....	42
6.セプタム電磁石 .....	52
7.各電磁石のテスト結果 .....	61
8.おわりに .....	61
謝 詞 .....	62
参考文献 .....	62
付録 テストデータ一覧 .....	63

## Contents

1. Introduction .....	1
2. Summary of Synchrotron .....	1
3. Dipole Magnet .....	17
4. Quadrupole Magnet .....	30
5. Sextupole Magnet .....	42
6. Septum Magnet .....	52
7. Result of Test for Each Magnets .....	61
8. Conclusion .....	61
Acknowledgement .....	62
References .....	62
Appendix Test Data .....	63

## 1. はじめに

現在、大型放射光施設計画推進室では、8 GeV 大型放射光施設（SPring-8）入射系の設計を進めている。本報告は、入射系シンクロトロン用各種電磁石の設計・製作に関するものである。

シンクロトロン用各種電磁石は、加速器としての性能を満足するため厳しい仕様が要求される。特に、同一性能の電磁石が大量に使用されるので、個々の特性はもちろん各電磁石の特性のばらつきをいかに小さくするかが最大の課題である。そのため量産化を前提に、実機と同一仕様の偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石、セプタム電磁石の4種類について試作開発を実施した。開発の過程で設計的な問題、製作上の問題、品質管理上の問題など技術的困難に直面しながらも、一つ一つ解決しながら開発を進め予定通り製作を完了し、所期の目的を達成することができた。これまで得た貴重な技術、データと経験を実機の設計製作に反映する予定である。

尚、完成後の磁場性能を確認するための詳細な磁場測定は、測定器の整備が不十分なため現時点では未着手の状態であるが、整い次第引続いて磁場測定を続行し、結果を次の報告書で述べることにする。

## 2. シンクロトロンの概要

計画中のシンクロトロンは、リニアックから入射された1 GeV の電子または陽電子を8 GeVまで加速するもので、主要のパラメータを表2.1に示す。

シンクロトロンは、セル数40のFODO型ラティスとし、入射及び出射用にそれぞれ偏振電磁石を6個づつ抜いた直線部2箇所設けた、2回対称のレーストラック型とした。尚、加速高周波空洞もこの直線部に設置する。加速RFの周波数は、蓄積リングと同じ508.58 MHz とし加速空洞は多連セル型のものを採用する。また、ハーモニック数を672、周長を396.12m、繰り返し周波数を1 Hz と定めている。

シンクロトロンを構成する各機器の配置を以下の図に示す。

図2.1 シンクロトロン全体の機器配置

図2.2 ノーマルセル部機器配置

図2.3 入射部機器配置

図2.4 出射部機器配置

図2.5 加速空洞部機器配置

図2.6 ディスペーションサプレッサー部（A）機器配置

図2.7 ディスペーションサプレッサー部（B）機器配置

## 1. はじめに

現在、大型放射光施設計画推進室では、8 GeV 大型放射光施設（SPring-8）入射系の設計を進めている。本報告は、入射系シンクロトロン用各種電磁石の設計・製作に関するものである。

シンクロトロン用各種電磁石は、加速器としての性能を満足するため厳しい仕様が要求される。特に、同一性能の電磁石が大量に使用されるので、個々の特性はもちろん各電磁石の特性のばらつきをいかに小さくするかが最大の課題である。そのため量産化を前提に、実機と同一仕様の偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石、セプタム電磁石の4種類について試作開発を実施した。開発の過程で設計的な問題、製作上の問題、品質管理上の問題など技術的困難に直面しながらも、一つ一つ解決しながら開発を進め予定通り製作を完了し、所期の目的を達成することができた。これまで得た貴重な技術、データと経験を実機の設計製作に反映する予定である。

尚、完成後の磁場性能を確認するための詳細な磁場測定は、測定器の整備が不十分なため現時点では未着手の状態であるが、整い次第引続いて磁場測定を続行し、結果を次の報告書で述べることにする。

## 2. シンクロトロンの概要

計画中のシンクロトロンは、リニアックから入射された1 GeV の電子または陽電子を8 GeVまで加速するもので、主要のパラメータを表2.1に示す。

シンクロトロンは、セル数40のFODO型ラティスとし、入射及び出射用にそれぞれ偏振電磁石を6個づつ抜いた直線部2箇所設けた、2回対称のレーストラック型とした。尚、加速高周波空洞もこの直線部に設置する。加速RFの周波数は、蓄積リングと同じ508.58 MHz とし加速空洞は多連セル型のものを採用する。また、ハーモニック数を672、周長を396.12m、繰り返し周波数を1 Hzと定めている。

シンクロトロンを構成する各機器の配置を以下の図に示す。

図2.1 シンクロトロン全体の機器配置

図2.2 ノーマルセル部機器配置

図2.3 入射部機器配置

図2.4 出射部機器配置

図2.5 加速空洞部機器配置

図2.6 ディスペーションサプレッサー部（A）機器配置

図2.7 ディスペーションサプレッサー部（B）機器配置

表2.1 主要パラメータ

Major parameters of Synchrotron	
Injection energy	1.0 GeV
Maximum energy	8.0 GeV
Circumference	3961 m
Repetition rate	1 Hz
Natural emittance [8GeV]	192 nmrad <sup>2</sup>
Momentum spread [8GeV]	0.122 %
Number of cells / Periodicity	40 / 2
Nominal turn (kx, ky)	11.73 / 8.78
Natural chromaticity (kx, ky)	-15.3 / 12.7

Parameters for Synchrotron magnets	
Dipole magnet number	2900 mm
effective length	2900 mm
pole gap	46 mm
Yoke type	C type
edge strength (8GeV)	rectangular 0.8502 T/m
tolerance limit of field	0.05 %
Quadrupole magnet number	80
effective length	500 mm
bore radius	40 mm
strength F/D [8GeV]	14.598/-12.382 T/m <sup>2</sup>
tolerance limit of field	0.1 %
Sextupole magnet number	64
effective length	150 mm
bore radius	50 mm
strength F/D [8GeV]	112.5/-162.8 T/m <sup>2</sup>
tolerance limit of field	1 %
RF Parameters of synchrotron	
Revolution frequency	756.9 kHz
Radio frequency	30.2 MHz
Synchrotron Frequency	672.2 kHz
Harmonic number	9.5
Momentum compaction factor	11.55 MeV/burn
Energy loss [8GeV]	17
Maximum RF voltage	1.97 mV
Damping time transverse	0.91 msec
Damping time longitudinal	> 10 sec
Quantum life time	1 hr
Number of klystron	2

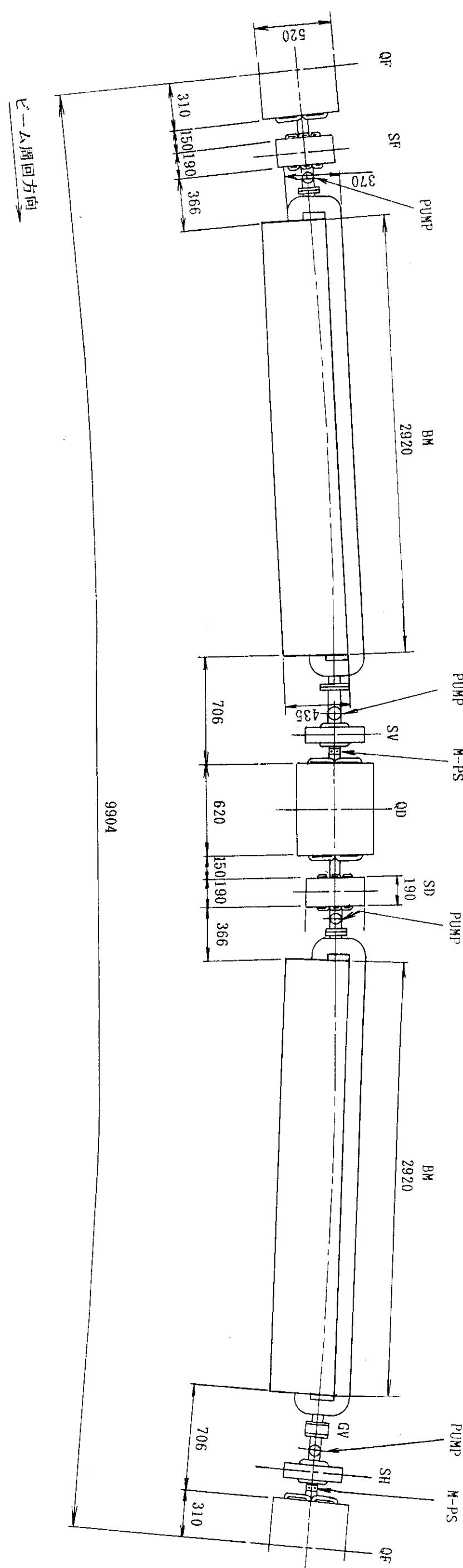


図2.2 ノーマルセル部機器配置

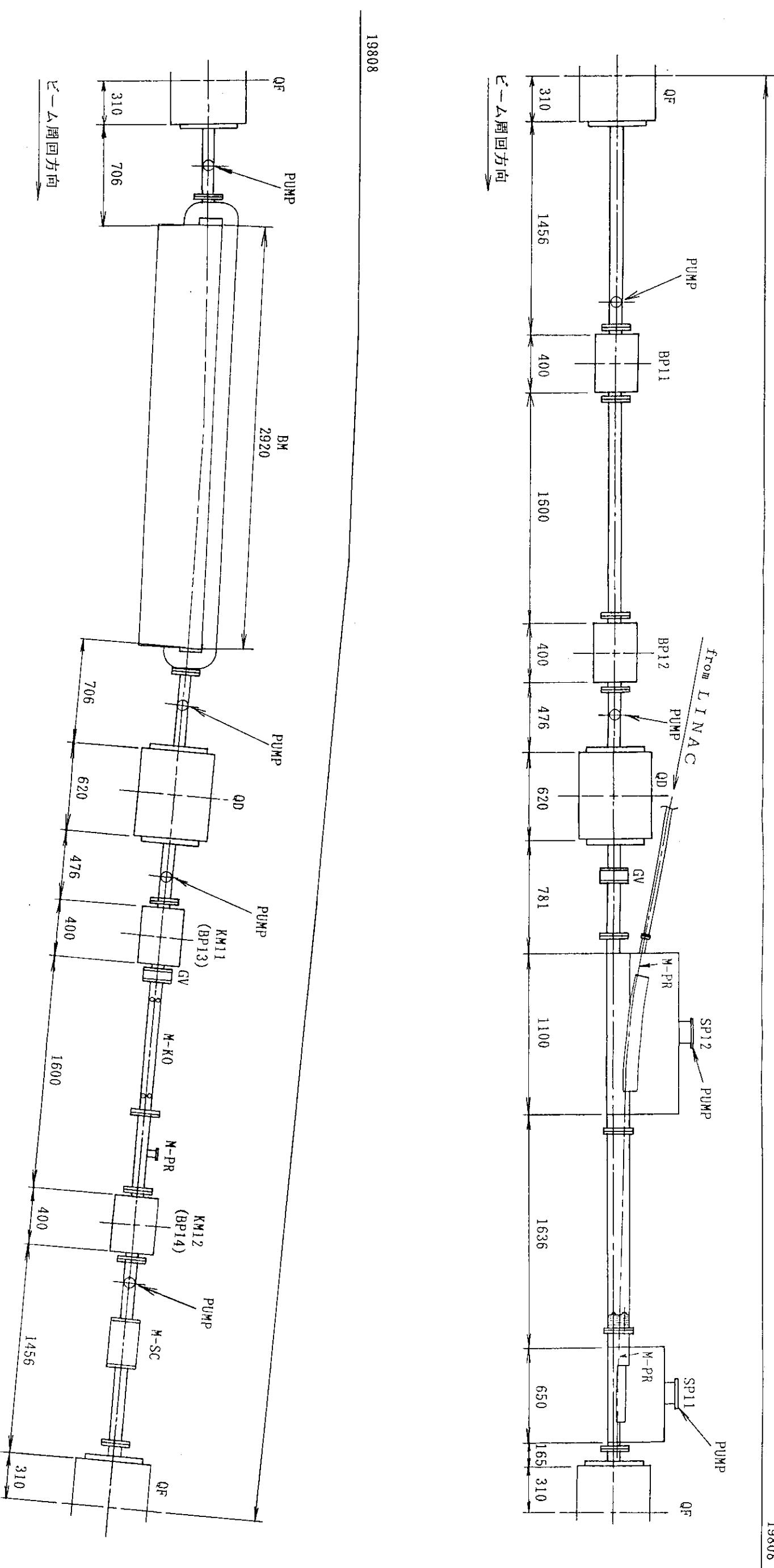


図2.3 入射部機器配置

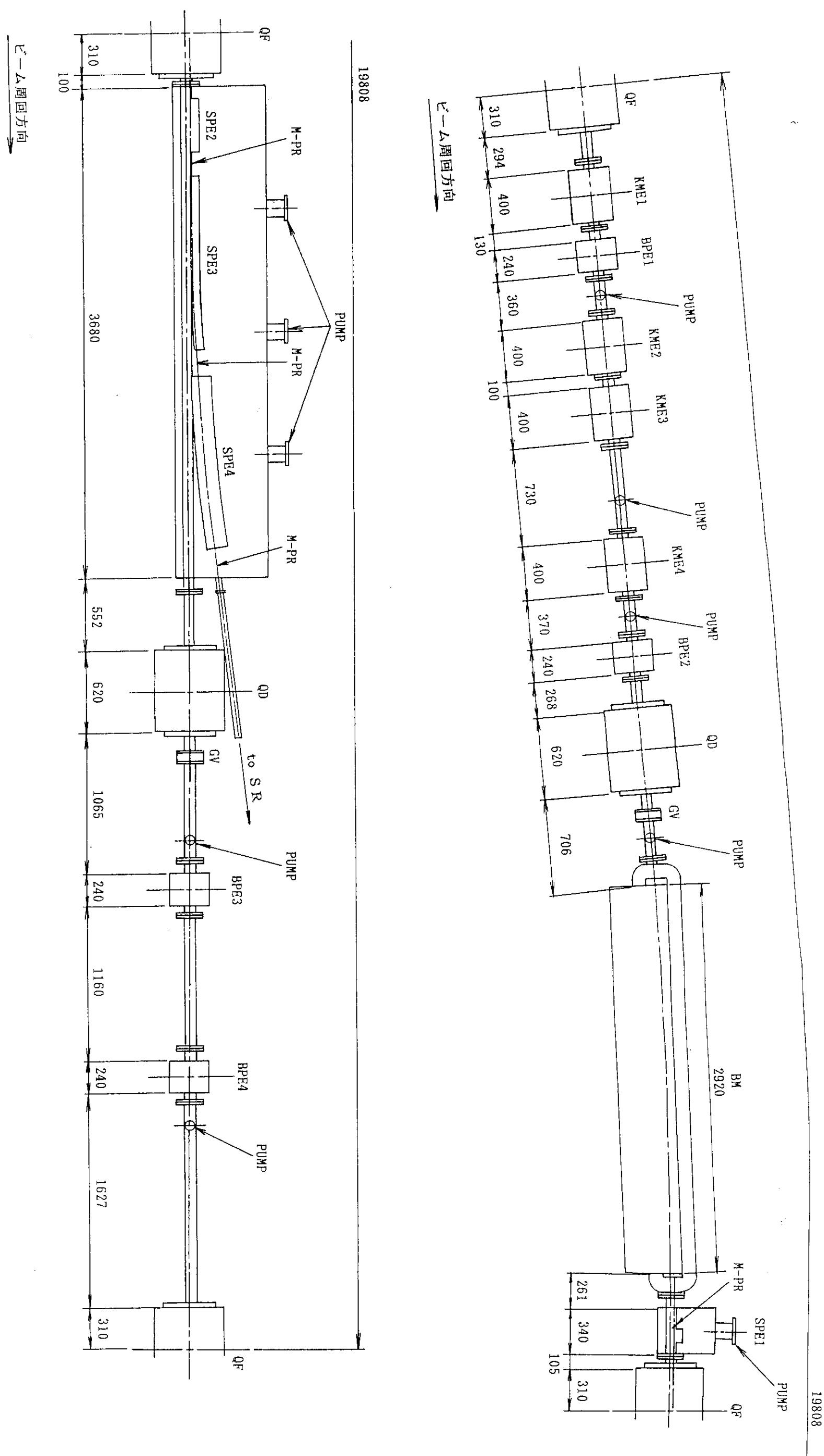


図2.4 出射部機器配置

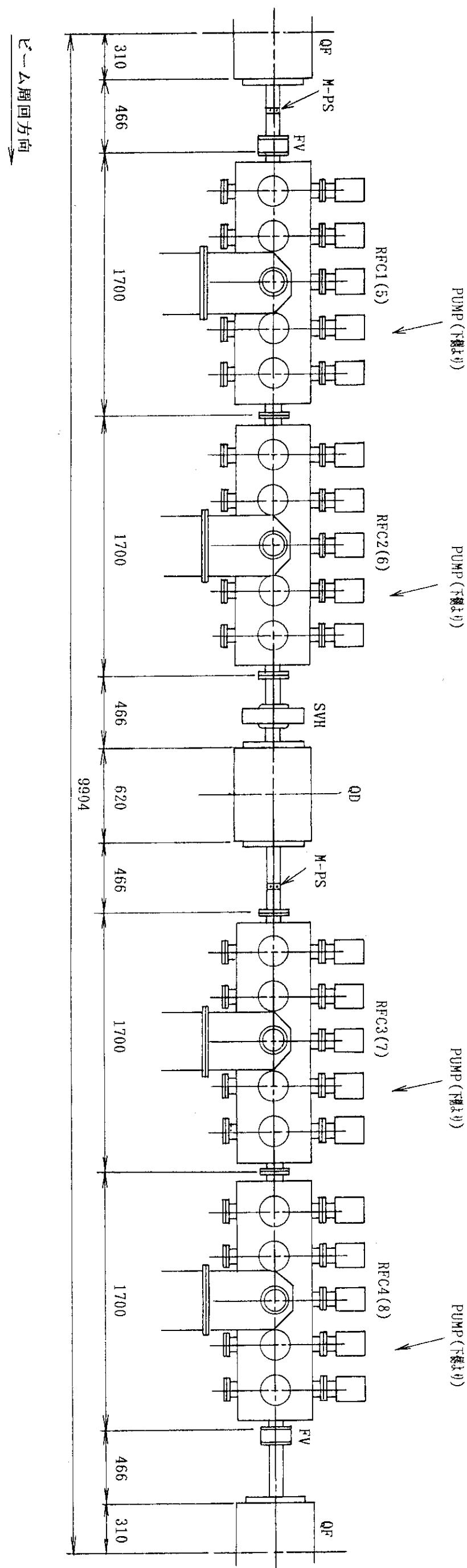


図2.5 加速空洞部機器配置

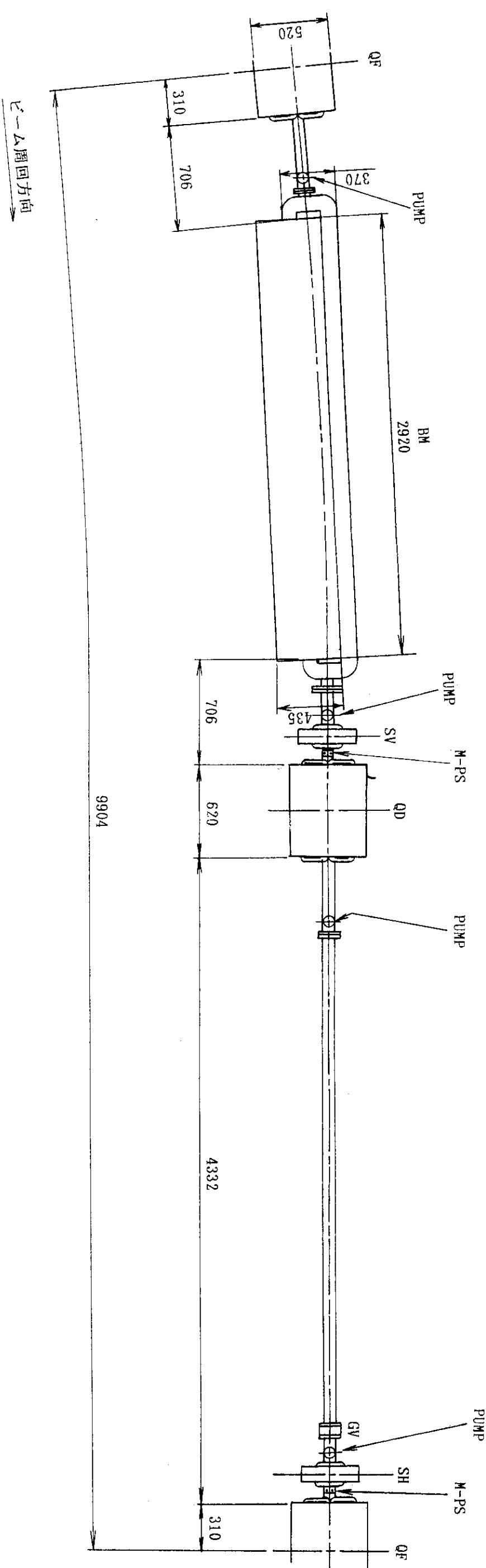


図2.6 デイスク式水素発生装置 (A) 機器配置

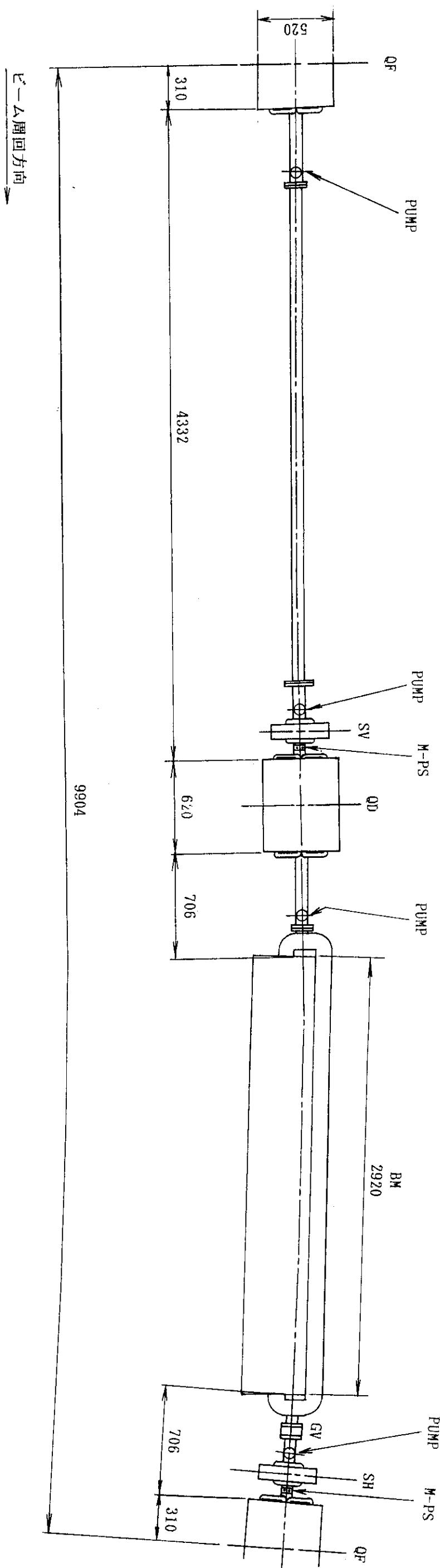


図2.7 ティスパー・シラサプ・レッサ一部(B) 機器配置

### 3. 偏向電磁石

偏向電磁石の代表的な型としてC型とH型がある。計画中のシンクロトロン用偏向電磁石として、C型とH型について長短の比較検討を実施した。結果を表3.1に示す。本計画では、真空ダクト挿入の容易、磁場測定が容易、磁場の再現性に有利などの理由でC型を採用した。特に表には記載していないが、コスト的にもC型が有利であることが大きな選定要因の一つである。

偏向電磁石の電極間ギャップは、真空ダクトの挿入スペースから46 mmと定められた。巾方向(X方向)の有効磁場領域は、サジッタ33 mmを含め90 mmとし、磁極の巾は仮に150 mmと決め2次元プログラム LINDA を用いて磁場計算を実施した。偏向電磁石の鉄心及びコイルの基本寸法を図3.1とし、高さ1 mm、巾10 mmのシムを設けることにより、入射時の低磁場(約0.1 T)から出射時の高磁場(約0.85 T)に至る広い磁場範囲で、目標とする磁場の一様性(0.05%)を得ることができた。0.85 Tに於ける磁場の一様性の計算結果を図3.2に示す。この結果から、磁極巾150 mmと決定した。

鉄心の材質は高磁場での磁化力が小さいものが好ましいが、同時に鉄損が小さいこと、磁気特性のばらつきが小さいこと、及び経済性を考慮して無方向性電磁鋼帯(JISC 2552) 50 A 600を採用することにした。磁場計算はこの磁気特性をもとに行なったものである。最大磁場を発生するための起磁力 $3.11 \times 10^4$  ATに対応し、巻数20ターン、電流1556 Aとした。コイルの導体としては、外形15mm×19mmで中空 $\phi$ 8.5 mmの無酸素銅導体を用い水冷却をしている。コイルはダブルパンケーキコイル2ヶから構成し、冷却水の圧力損失の問題から並列に2系流水を流すものとした。冷却水の最大温度上昇巾は流量14l/minとして、くり返し周波数1 Hz運転の場合で11.1 degである。試作開発での詳細な磁場測定の際には、最大電流で連続して直流励磁することもあり得るが、この場合の冷却水最大温度上昇巾は30 degである。偏向電磁石の設計パラメータを表3.2に示す。

次に偏向電磁石全体構造について概略説明する。図3.3に全体構造を示す。鉄心の打抜き鉄板は図3.4に示すように打抜き精度は、磁極間ギャップ±0.02 mm 磁極面、基準面は±0.015 mmとした。また、4隅には溶接時の変形防止用の切込みを設けた。打抜き鉄板を積層しその両端には非磁性材の端板(図3.5)を当て、別に設けられた加圧器により積層方向に加圧(20kg/cm<sup>2</sup>)し拘束状態のまま側板を当て溶接で一体化した。端板には図3.5に示すように磁場のBI積補正のため、シム取付用のネジ穴を設けてある。鉄心上部には、偏向電磁石をシンクロトロン棟の予定設置位置に精密にアライメントするための測量用基準面を3ヵ所設け、その加工精度を±0.1 mmとした。

コイルは図3.6に示すように、ダブルパンケーキ型とし、絶縁は耐放射線に強いエポキシ系の絶縁テープを採用し、実機を想定して高電圧(約3500 V)に十分耐えられる絶縁システムとした。本ダブルパンケーキコイル2個は鉄心に組込後、コイルサポートで鉄心に固定される。コイルには通電時の発熱を除去するための冷却水配管、及び電流供給端子がそれぞれ接続され、いずれも鉄心の背面側に配置した。また、コイル保護インターロックとして、温度スイッチ、流量ス

イッチを設けた。偏向電磁石の中心高さは、実機に合せて1200 mmとしその高さに合せるために架台を設けた。架台にはシンクロトロン棟に据付後精密にアライメントできるよう、3次元方向に調整できる微調機構を持たせた。

本偏向電磁石の製作手順を示した製作フローチャートを図3.7に示す。また、完成した偏向電磁石の外観写真を図3.8に示す。

表3.1 偏向電磁石の型による比較

	H 型	C 型
長 所	① 対称性がよい（四極、八極成分がでにくい） ② シムを付ける場合に、C型に比べギャップを小さくできる（2 mm 4 mm）	① 真空ダクトの挿入が容易 ② 鉄板の打ち抜き枚数が半分 ③ 光モニターの取り付けが容易（ビームライン取り付け）
短 所	① 上下鉄心の分解、再組立による磁場の再現性に不安 ② 磁場測定がやりにくい ③ コイル支持が困難	① フラットトップ、フラットボトルでの四極、八極成分を考慮して設計製作しなければならない ② 鉄心重量が大

表3.2 偏向電磁石の設計パラメータ

最大磁場強度	0.85 T
有効磁場長	2900 mm
磁極間ギャップ	46 mm
最大起磁力	$3.112 \times 10^4$ AT
コイル巻数	20 ターン
コンダクター寸法	15 mm × 19 mm - $\Phi 8.5$ mm
抵抗値	12.2 mΩ
インダクタンス	5.6 mH
電流 最大電流	1556 A
最小電流	194.5 A
実効電流 1Hz 繰り返し運転時	949.1 A
100% 連続励磁運転時	1556.0 A
電圧 最大電圧	49.5 V
フラットトップ電圧	19.0 V
電力 最大電力	77.0 kW
実効電力 1Hz 繰り返し運転時	10.99 kW
100% 連続励磁運転時	29.6 kW
冷却水 流量	14.0 l/min
水路数	2 個
圧力損失	4.0 kg/cm <sup>2</sup>
水温上昇 1Hz 繰り返し運転時	11.1 °C
100% 連続励磁運転時	30.0 °C
鉄心重量 (薄板鋼板のみ)	3490 kg
コイル重量 (コイル導体のみ)	257 kg
中心高さ	1200 mm

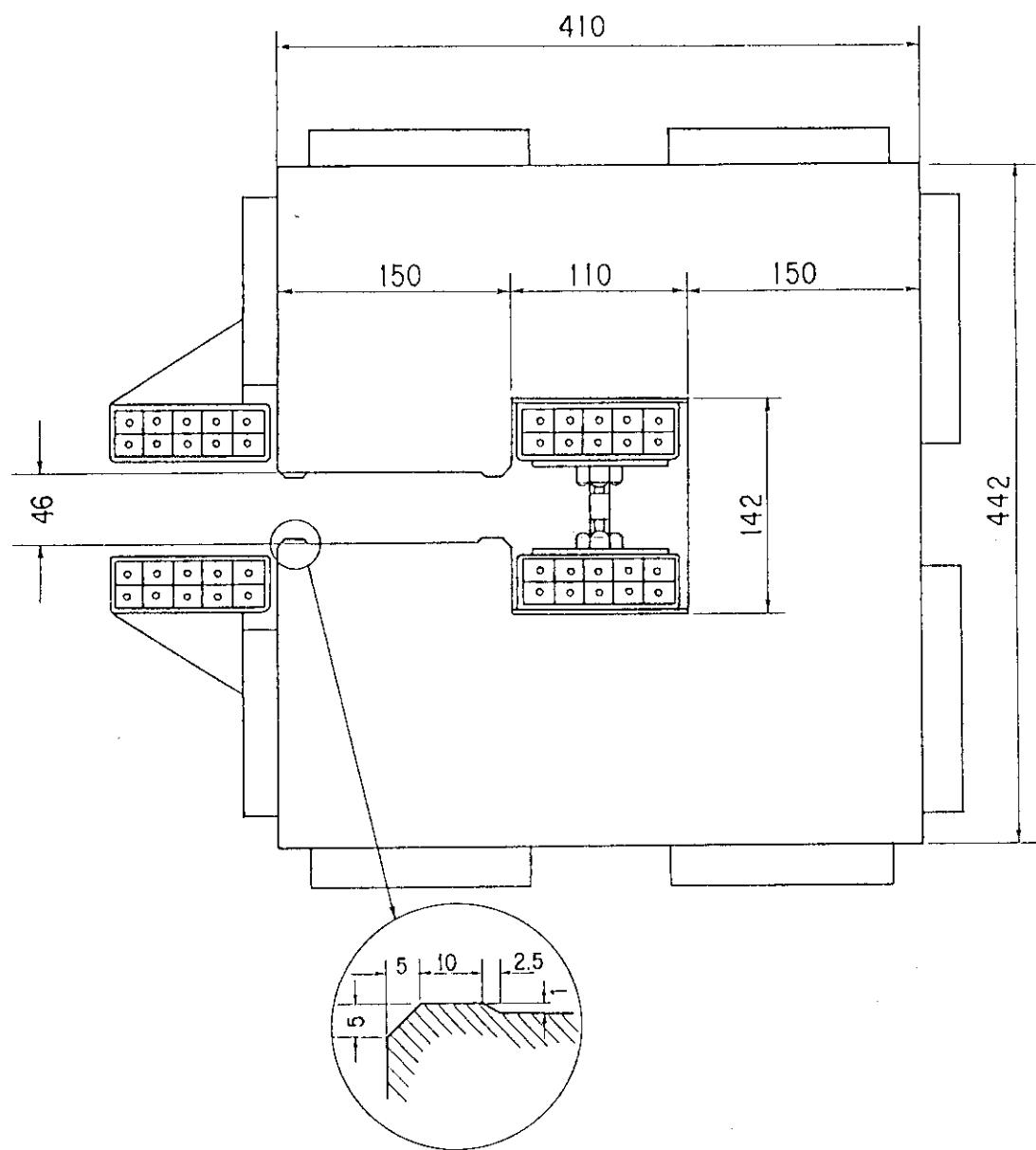


図3.1 偏向電磁石の基本寸法

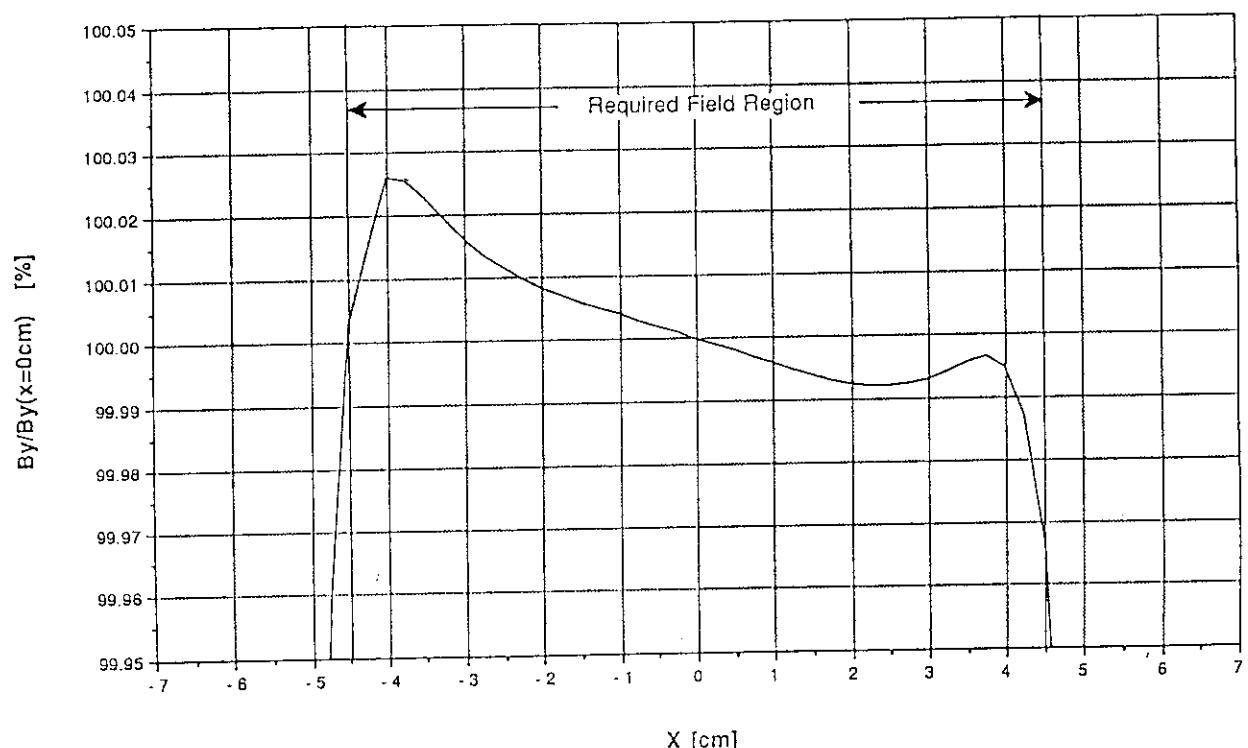


図3.2 偏向電磁石の磁場の一様性

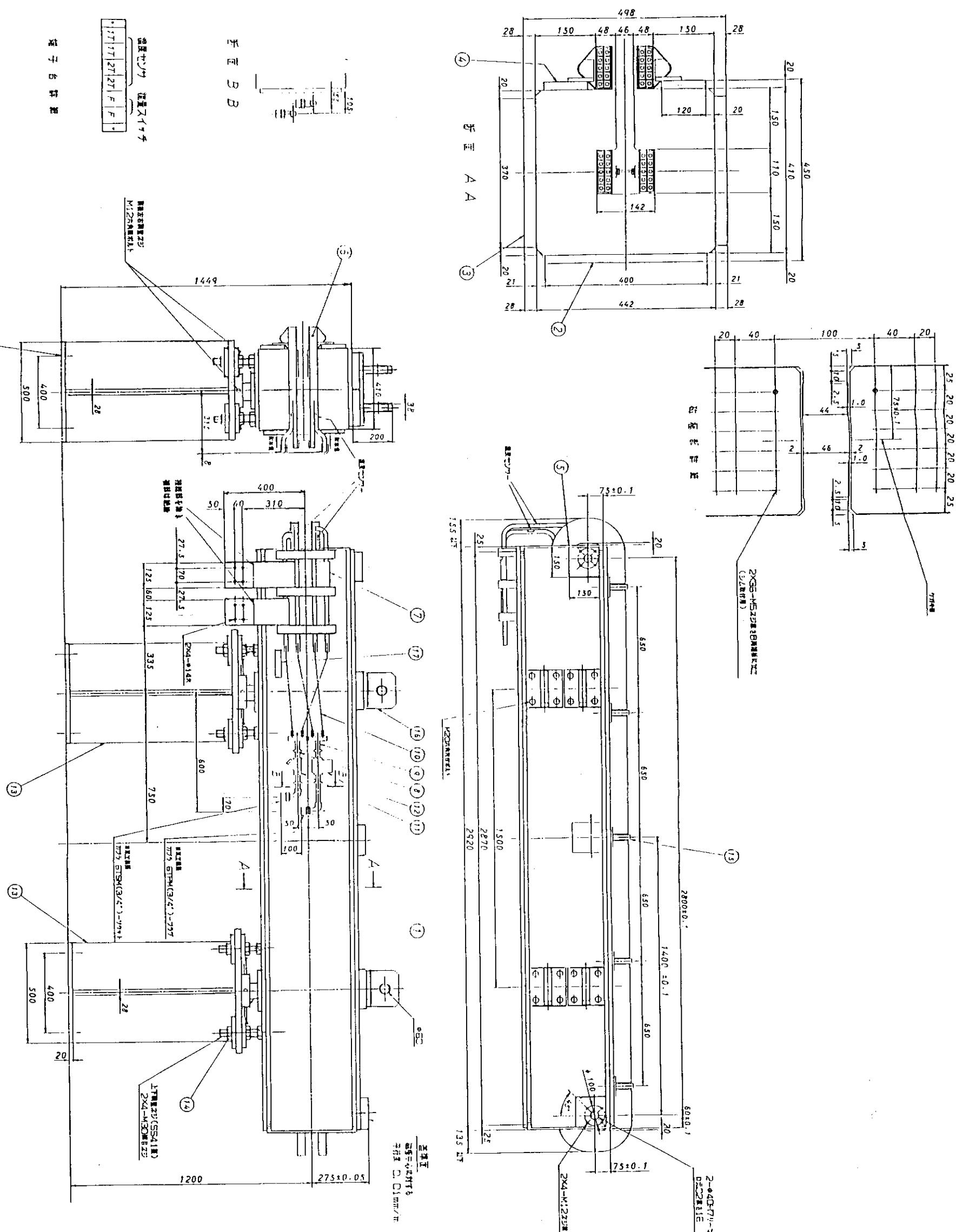


図3.3 偏向電磁石全体構造図

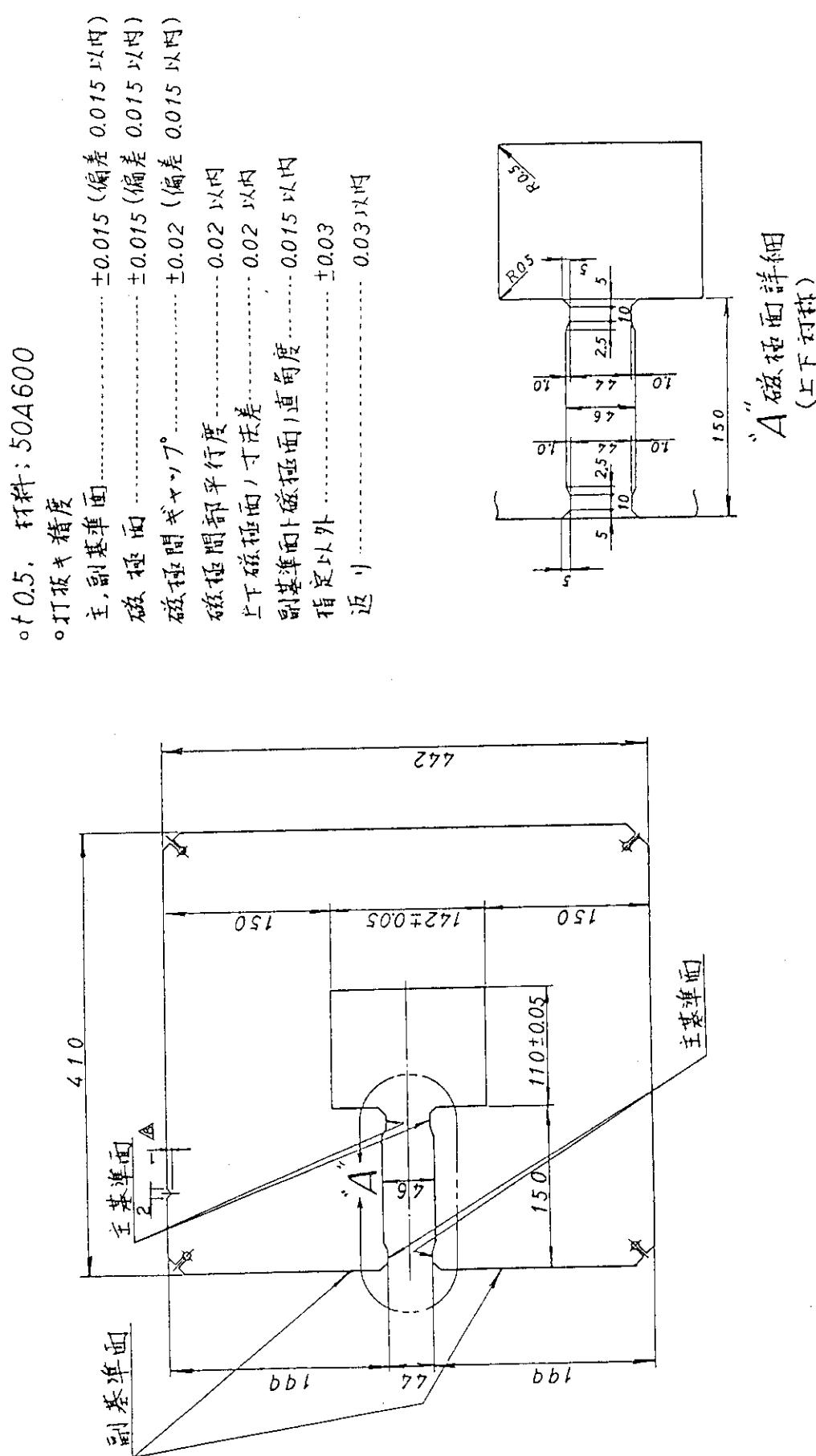


図3.4 偏向電磁石鉄板打抜寸法図

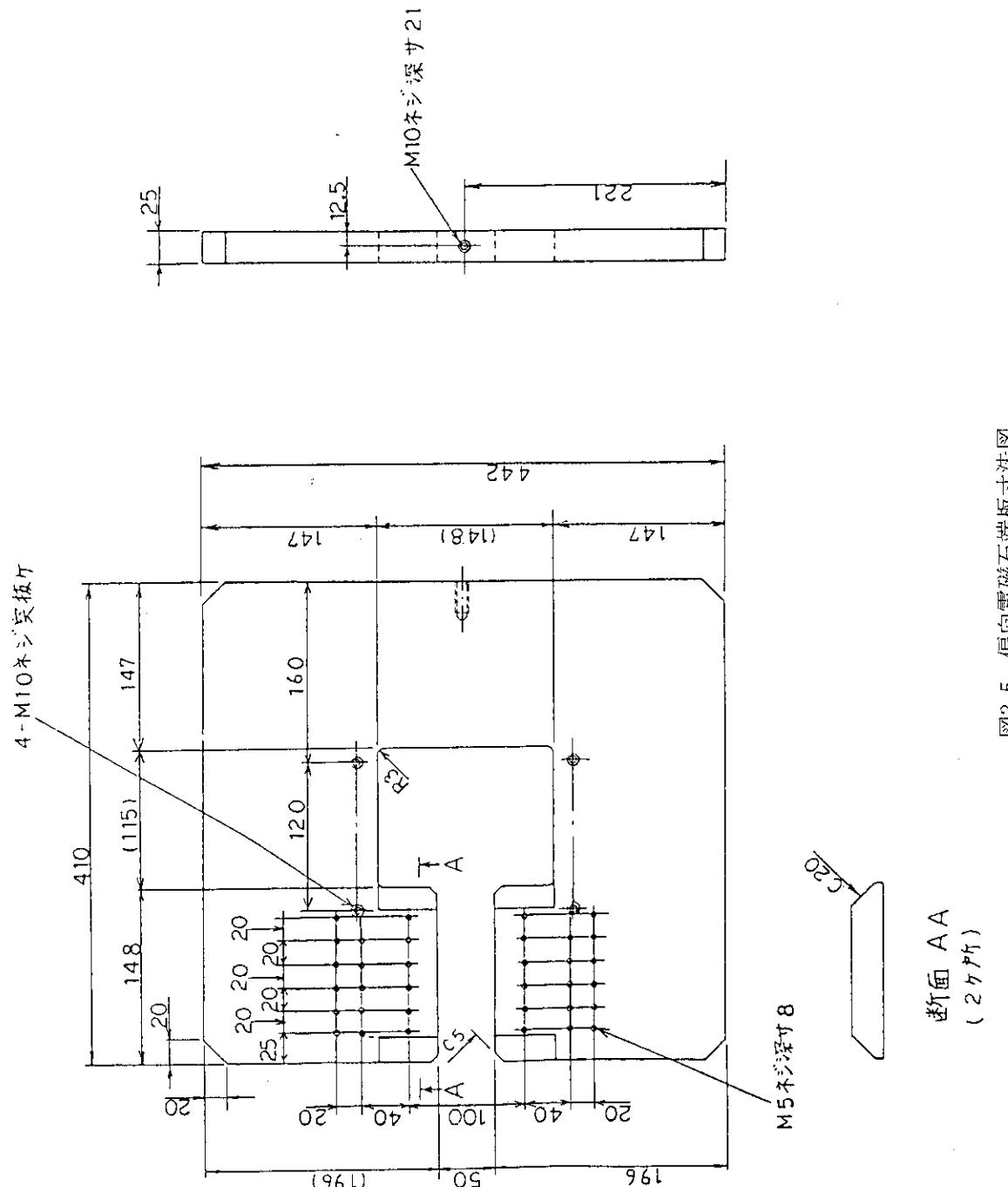


図3.5 偏向電磁石端板寸法図

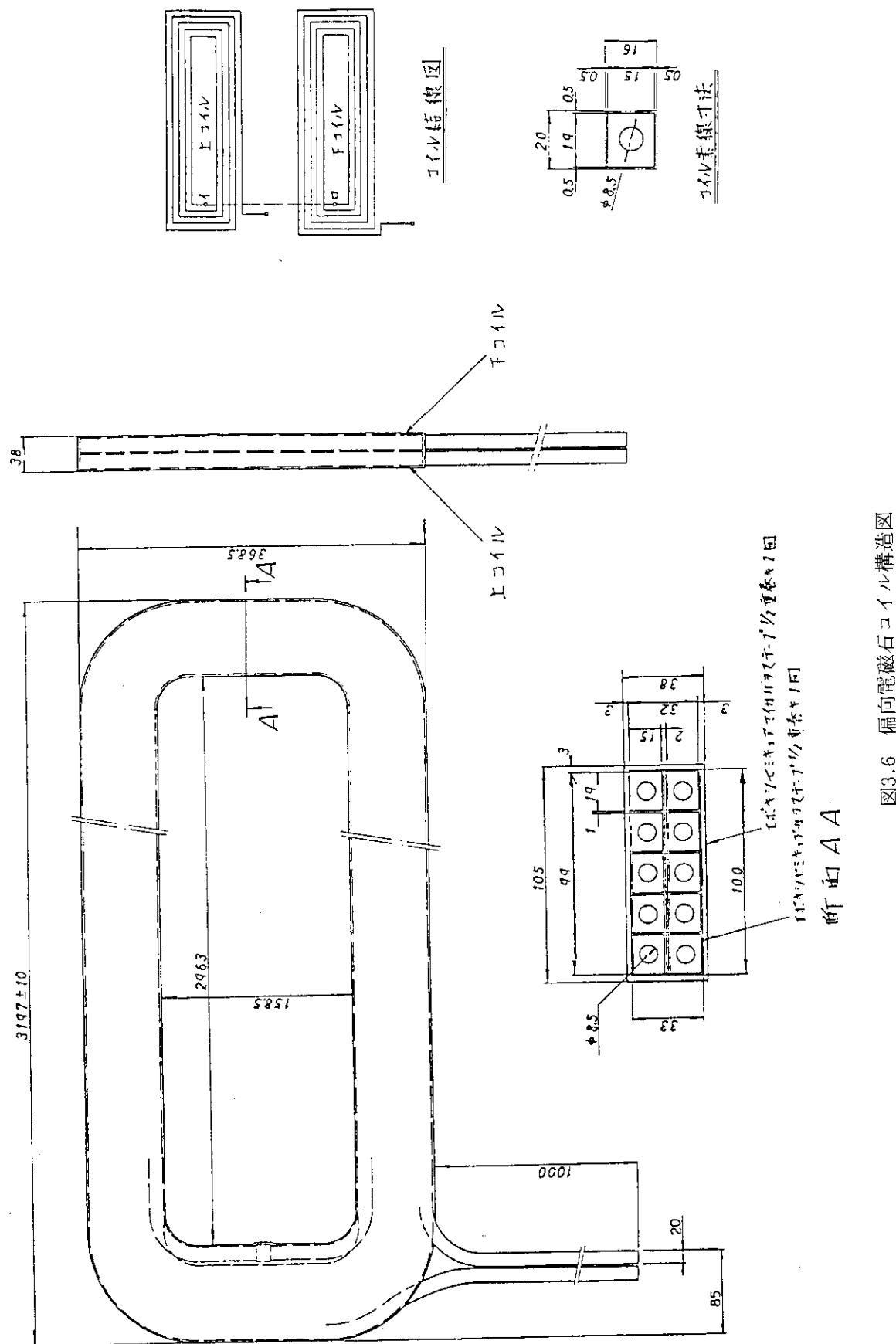


図3.6 偏向電磁石コイル構造図

凡例 印一作業工程名称  
 印一品質検査工程

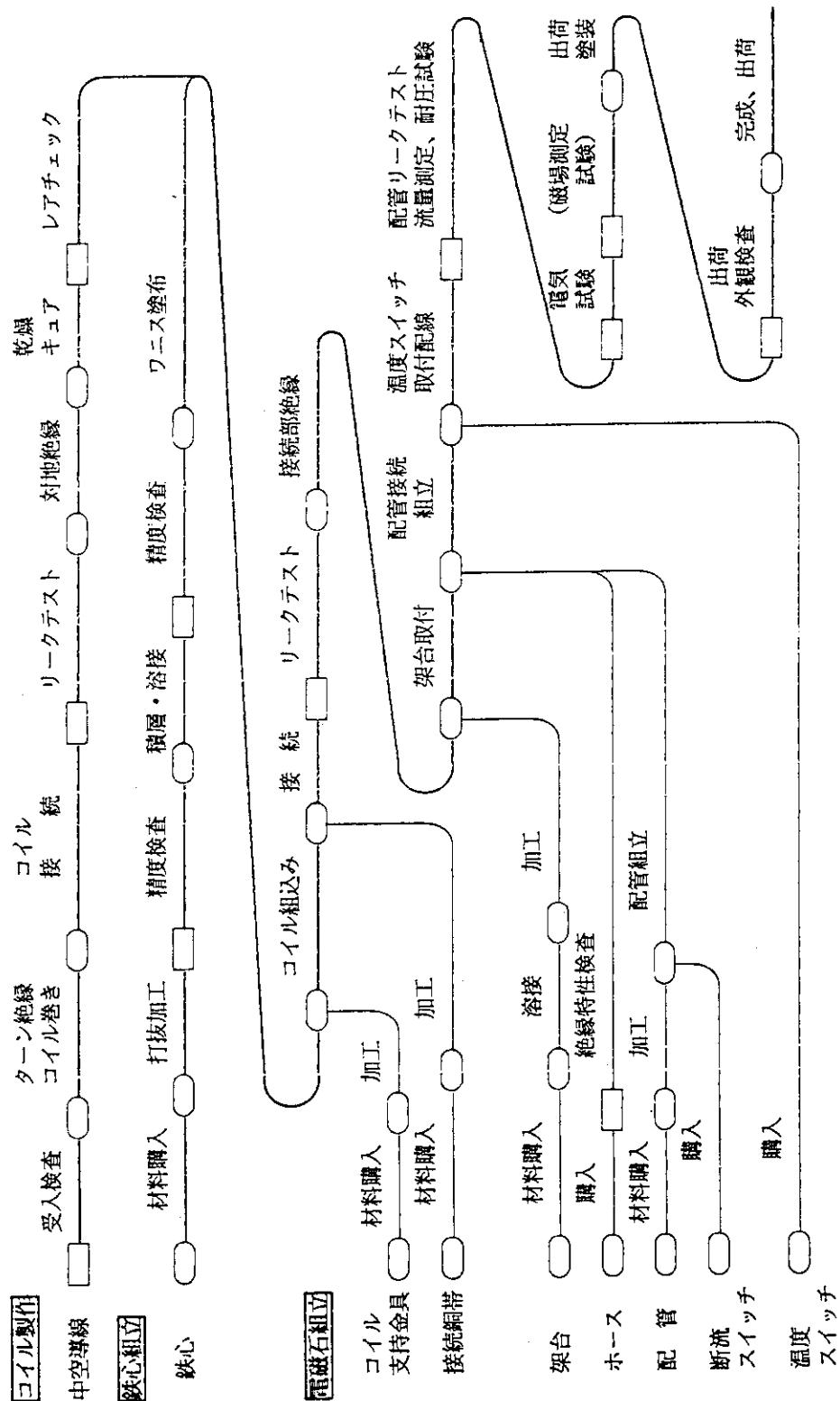


図3.7 偏向電磁石製作フローチャート

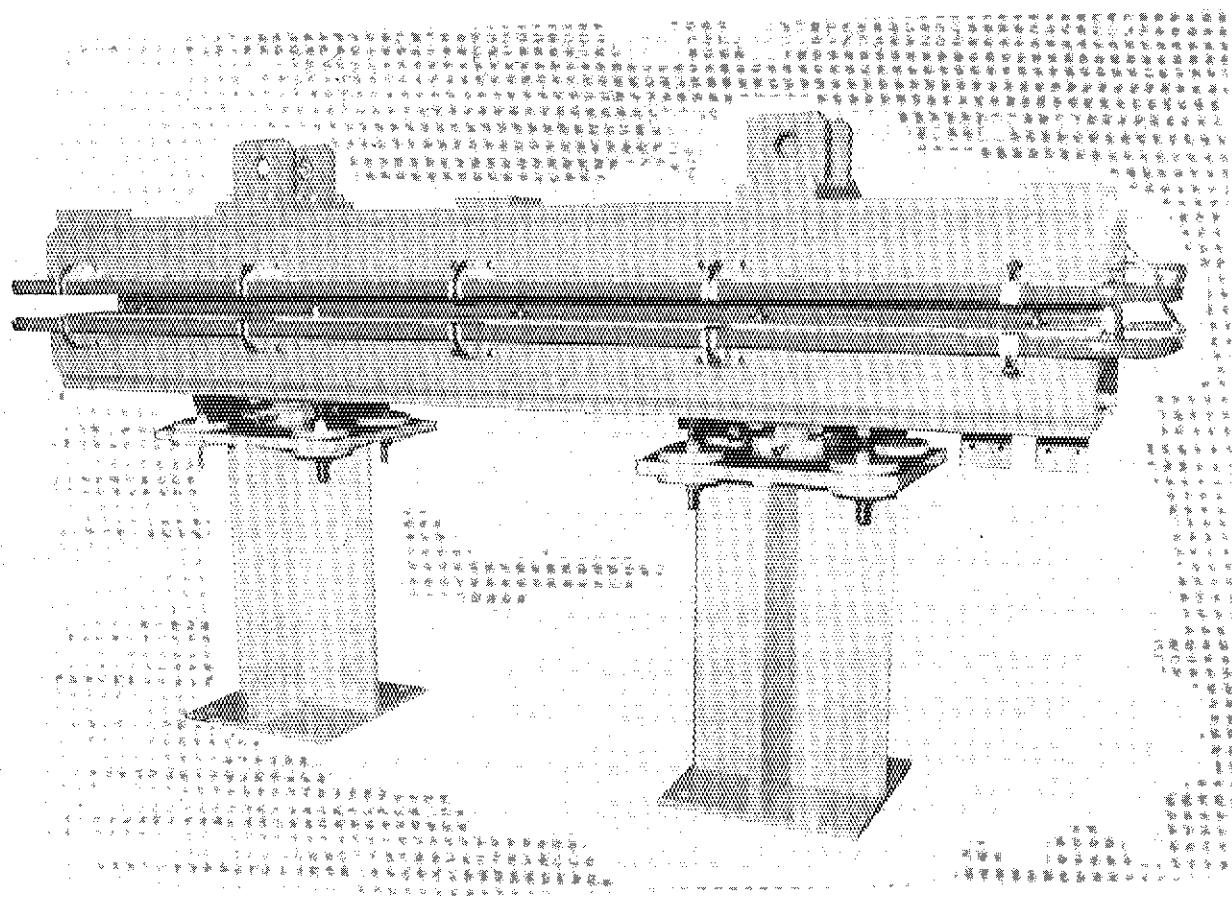


図3.8 偏向電磁石外観写真

## 4. 四極電磁石

四極電磁石の計画するに当って、鉄心上下2分割方式と、上下左右の4分割方式の2種類について検討した。いずれの方式も技術的には問題がなく、また、製作、運転実績もあることから、主に

- (1) 分解、再組立時の精度再現性に有利
- (2) 経済的である

の理由で上下2分割方式を採用した。

本四極電磁石のボア直径は真空ダクトの外形寸法に多少の余裕を見込んで、 $\phi 80\text{ mm}$ に決めた。水平方向の有効磁場領域はビーム軌道解析から要求された $\pm 30\text{ mm}$ とした。この有効磁場領域を達成するため、磁極片の形状は XY = 800 の双曲線として2次元プログラム LINDA を用いて磁場計算を実施した。磁極片のシム形状の最適化を実施し、最終的に鉄心及びコイルを図4.1に示す基本寸法とすることにより、入射時(1 GeV)から出射時(8 GeV)までの高磁場に至る広い磁場範囲で、目標とする磁場の一様性(0.1%)を得ることができた。最大磁場に於ける一様性の計画結果を図4.2に示す。

鉄心の材質は偏向電磁石と同様に無方向性電磁綱帯(JISC 2552)の50A600を採用することにした。磁場計算は、本材質の磁場特性をもとに行なったものである。最大磁場勾配 15T/m を発生するための磁極当たりの起磁力 10,505 AT に対応し、巻数 10 ターン、電流 955 A とした。コイルの導体としては外形  $13.9\text{ mm} \times 8.9\text{ mm}$  で、中空  $\phi 4.65\text{ mm}$  の無酸素銅導体を用い水冷却をしている。コイルの冷却回路は 2 系統とし、冷却水の最大温度上昇は流量  $4.0\text{ l/min}$  (電磁石 1 台当たり) として、くり返し周波数  $1\text{ Hz}$  運転の場合で  $17.6\text{ deg}$  である。詳細な磁場測定の際には最大電流で、連続で直流励磁することもあり得るが、この場合の冷却水温度上昇は  $40\text{ deg}$  と少し高いが、磁場測定時のみであり許容範囲とした。四極電磁石の設計パラメータを表4.1に示す。

次に四極電磁石の全体構造について概略説明する。図4.3に全体構造を示す。打抜き鉄板の形状は図4.4に示すように、磁極には積層後磁極部を規定の寸法に締付けるための締付ボルト用の穴を設け、また、鉄板側面には側板を固定するための溝を設けた。上下鉄心分割合せ面には、分解再組立基準合せ用としてキー溝を設けた。打抜き鉄板を積層し、その両端部には非磁性材の端板(厚み  $25\text{ mm}$ )を設け、別に設置された加圧器により積層方向に加圧( $20\text{ kg/cm}^2$ )し、拘束状態のまま側板を当て溶接で一体化した。鉄心上部には精密アライメント用の測量基準面を 2カ所設け、その加工精度は  $\pm 0.01\text{ mm}$  とした。

コイルは 2 段重ねのソレノイド巻きとし、その構造図を図4.5に示す。コイル絶縁は耐放射線を考慮し、且つ実機運転時の高電圧印加に十分耐えられるよう、エポキシ系とした。本コイルは構造的に単純に磁極に組込むことは困難であり、回転しながら挿入する必要がある。挿入可否のシミュレーションの検討は、CAD の作図の軌跡を用いて確認し、コイル断面寸法を決定した。(図4.6) コイルは鉄心組込後、コイルサポートにより鉄心に固定される。コイルには通電時の発熱を除去するための冷却水配管及び電流供給端子がそれぞれ接続され、いずれも鉄心側面に配置

した。また、コイル保護インターロック用として温度スイッチ、流量スイッチを設けた。上下鉄心は鉄心側面に設けられた合計 22 本の締付ボルトによって固定され一体化される。四極電磁石の中心高さは偏倚電磁石と同様 1200 mm とし、架台には精密アライメント用として微調機構を設けた。

本四極電磁石の製作手順を示す製作フローチャートを図 4.7 に示す。また、完成した四極電磁石の外観写真を図 4.8 に示す。

表4.1 四極電磁石の設計パラメータ

最大磁場勾配	15.0 T/mm
有効磁場長	600 mm
ボア径	Φ 80 mm
最大起磁力 (磁極当り)	10,505 AT
コイル巻数 (磁極当り)	11 ターン
コンダクター寸法	13.9 mm × 8.9 mm - Φ 4.65 mm
抵抗値	12.5 mΩ
インダクタンス	4.0 mH
電流 最大電流	955 A
最小電流	98 A
実効電流 1Hz 繰り返し運転時	627 A
100% 連続励磁運転時	955 A
電圧 最大電圧	23.0 V
フラットトップ 電圧	11.9 V
電力 最大電力	21.9 kW
実効電力 1Hz 繰り返し運転時	4.9 kW
100% 連続励磁運転時	11.9 kW
冷却水 流量	4.0 ℓ/min/magnet
圧力損失	4.0 kg/cm <sup>2</sup>
水温上昇 1Hz 繰り返し運転時	17.6 °C
100% 連続励磁運転時	41.2 °C
水路数	2 個
鉄心重量 (薄板鋼板のみ)	750 kg
コイル重量 (コイル導体のみ)	70 kg
中心高さ	1200 mm

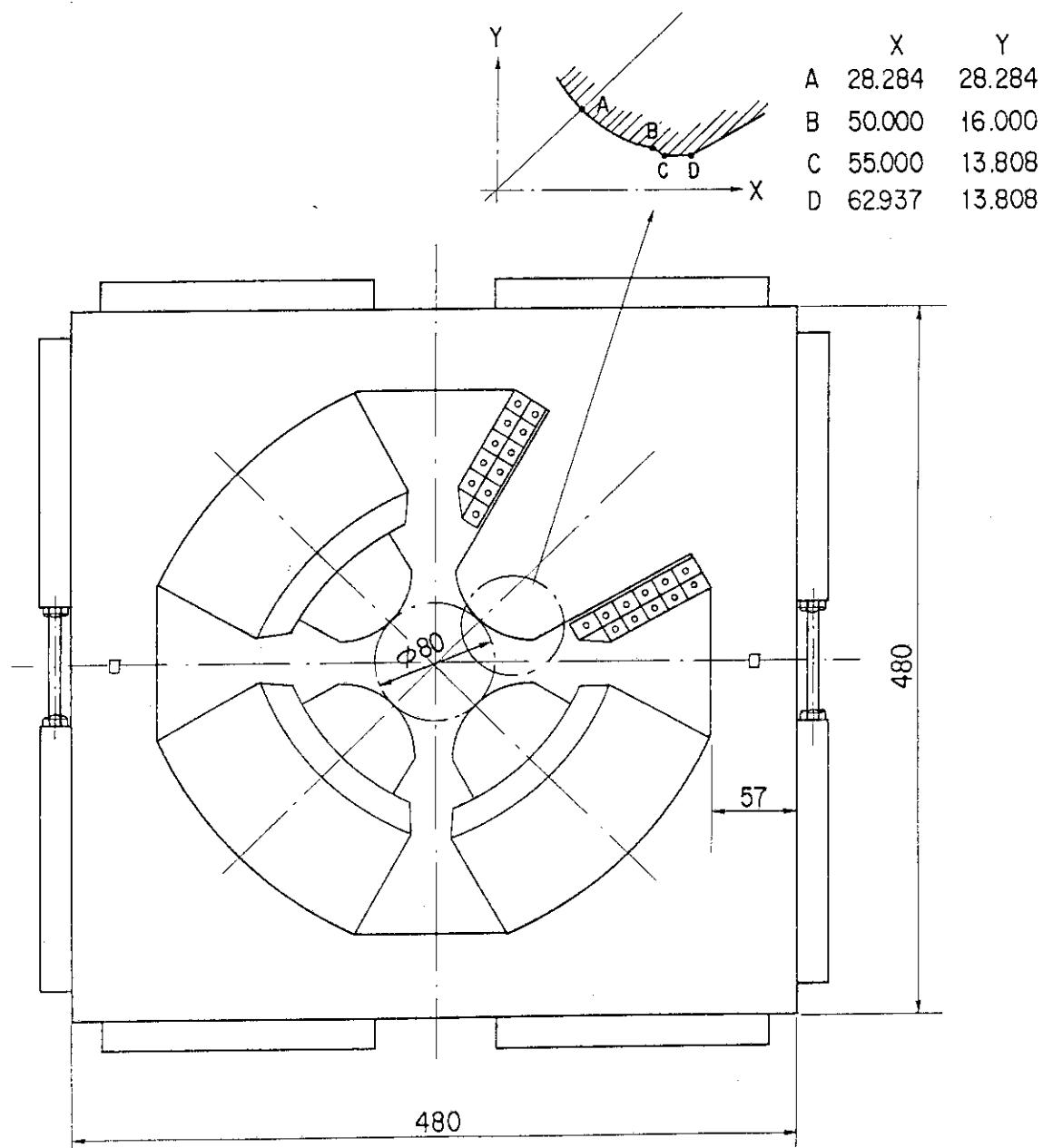


図4.1 四極電磁石基本寸法図

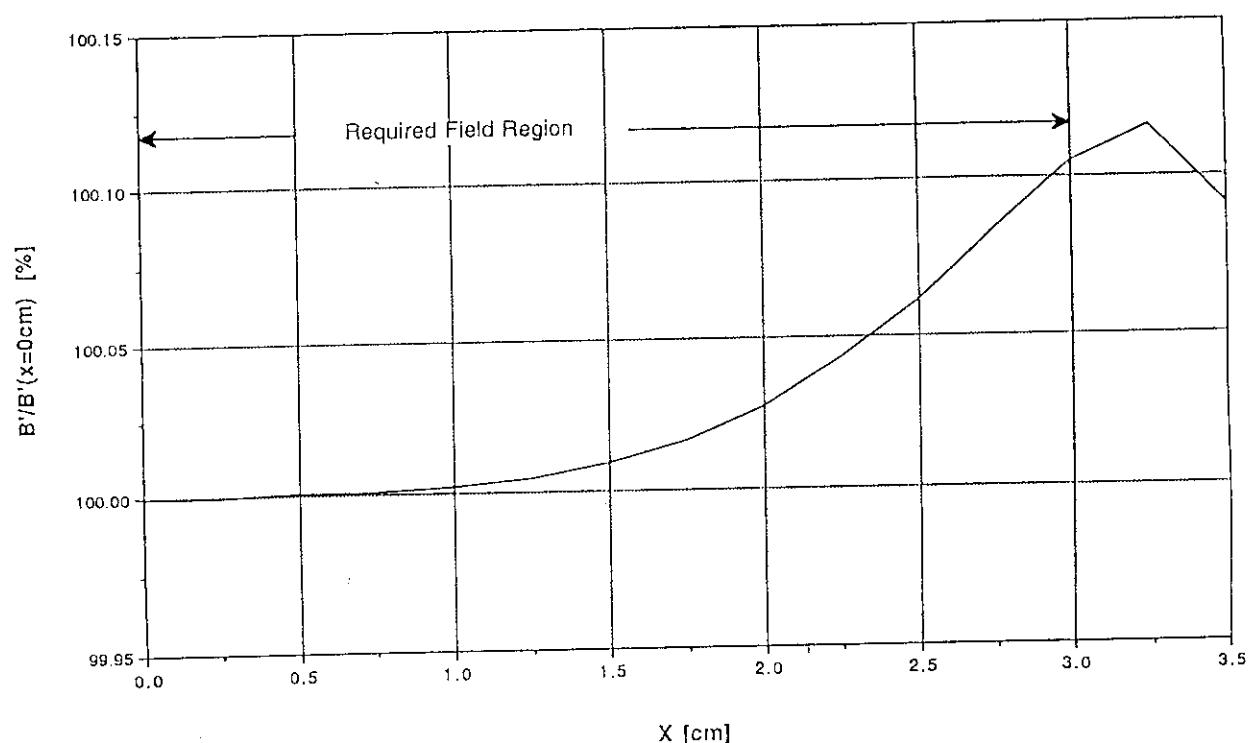
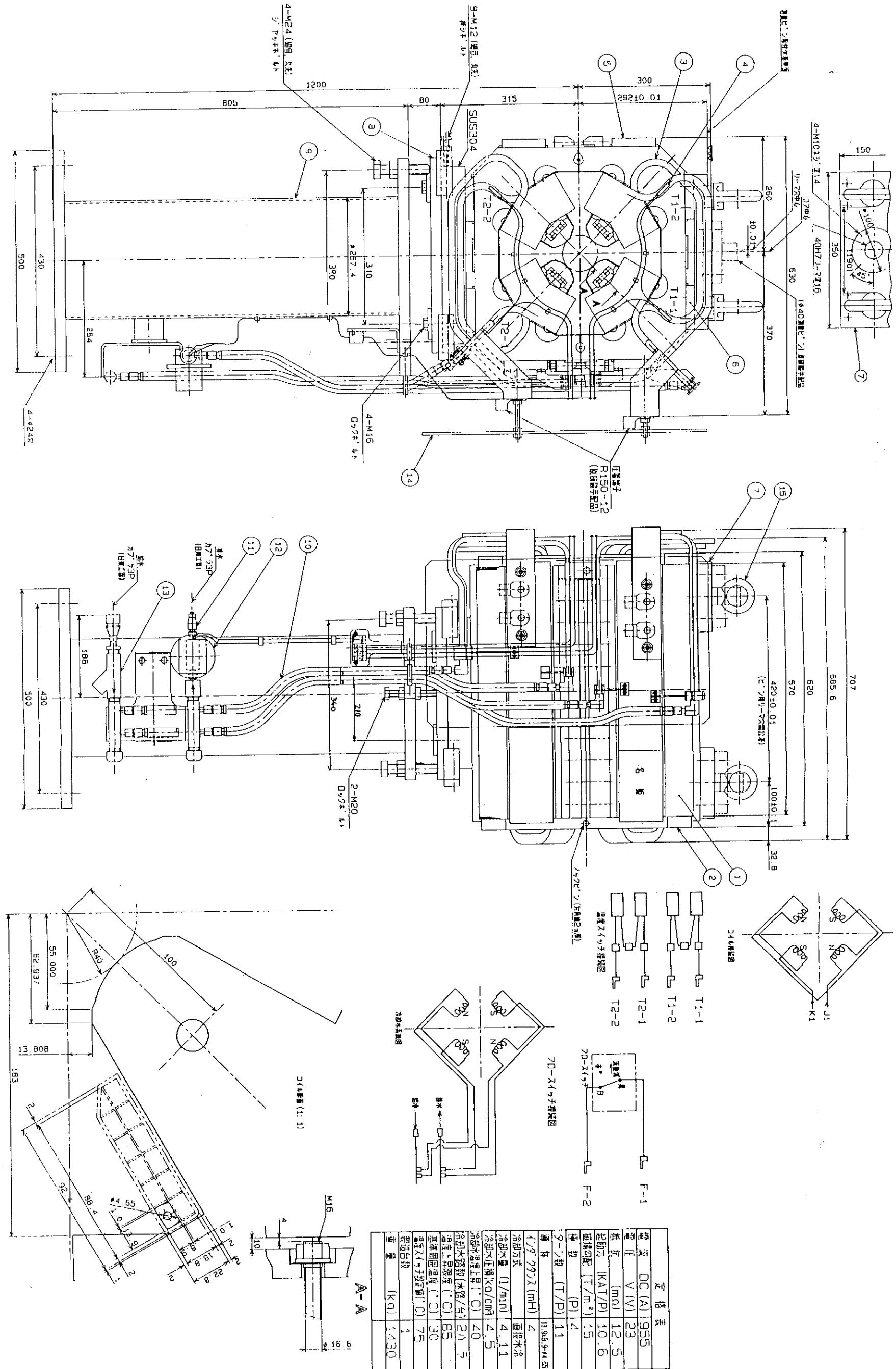
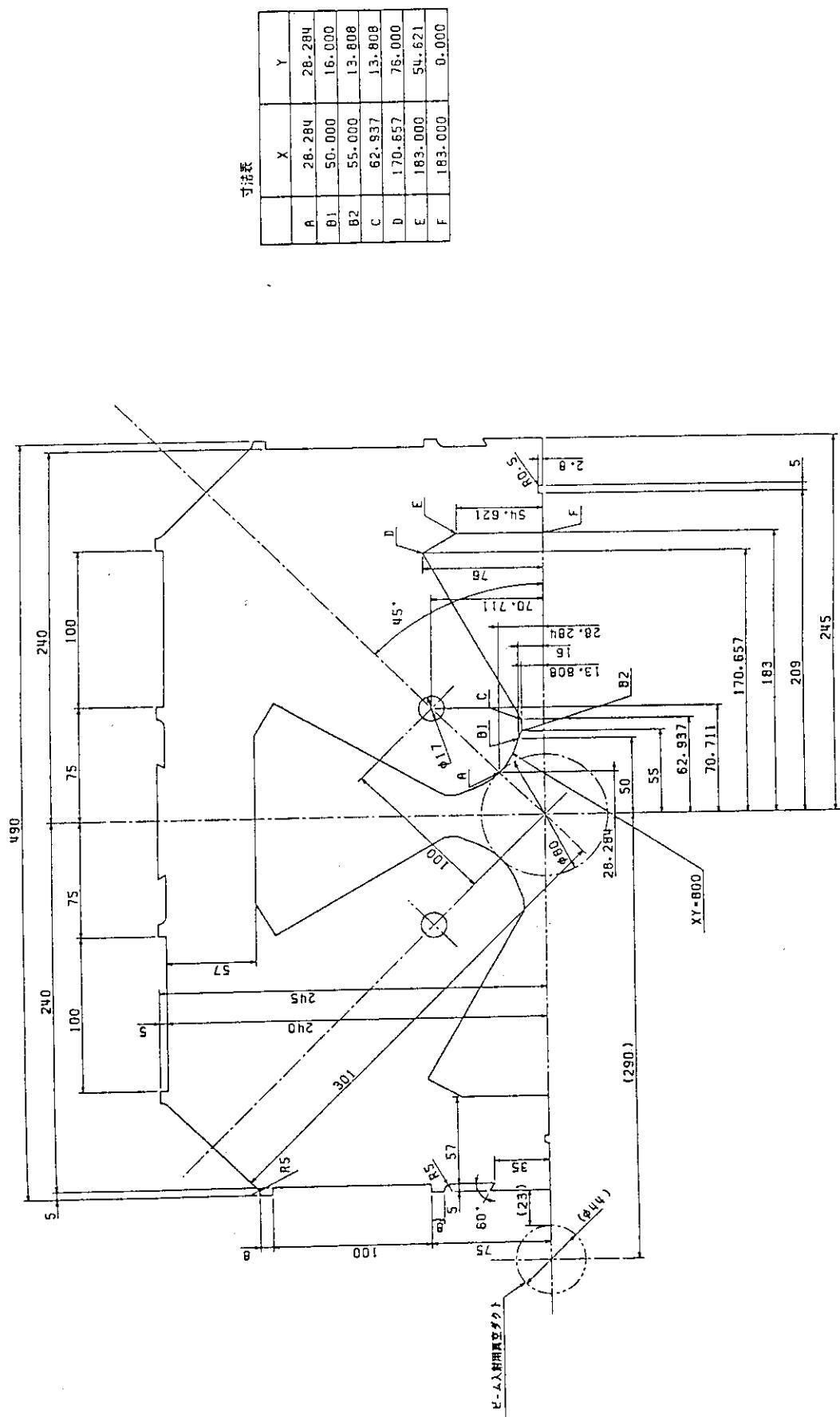


図4.2 四極電磁石の磁場の一様性





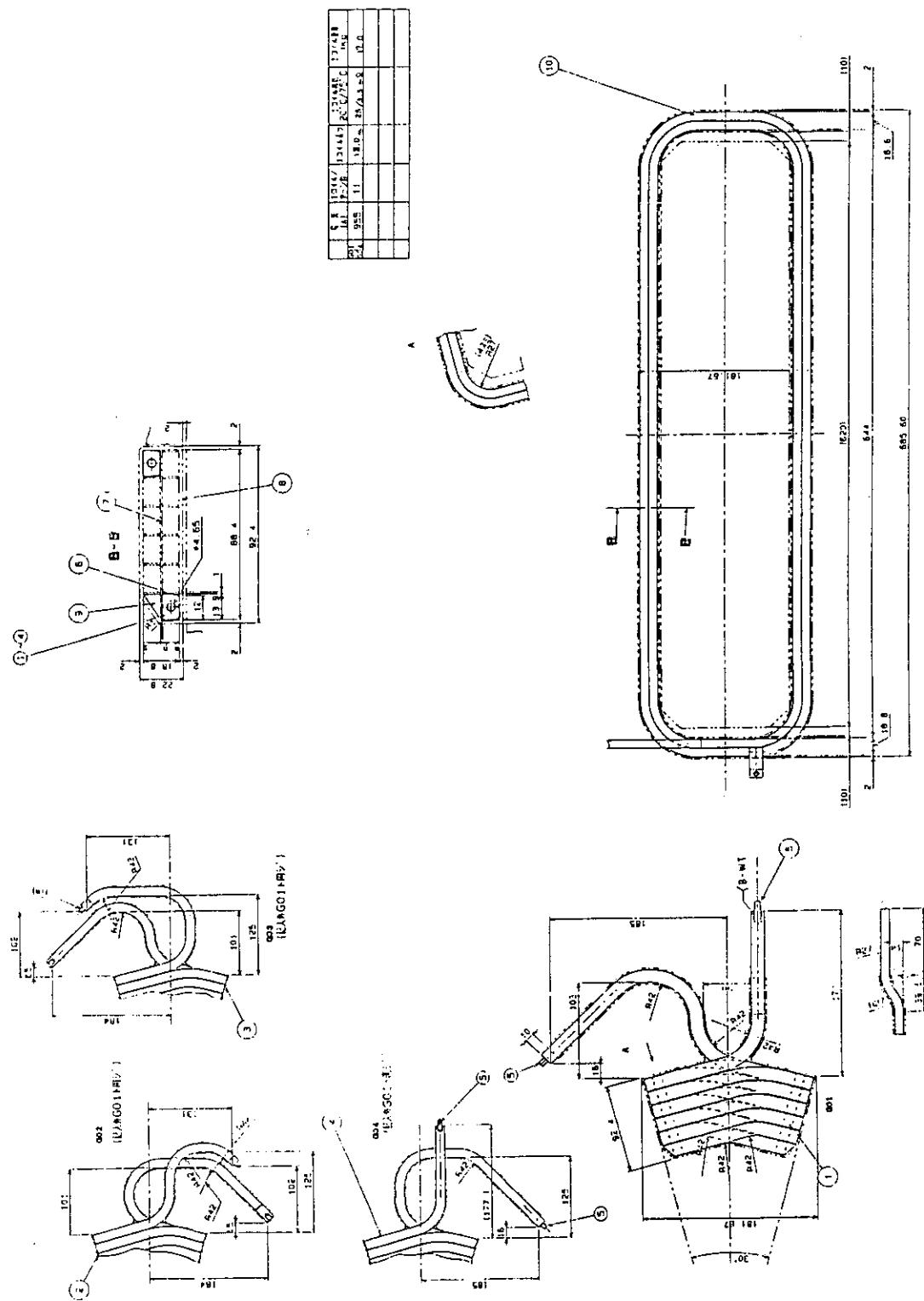


図4.5 四極電磁石コイル構造図

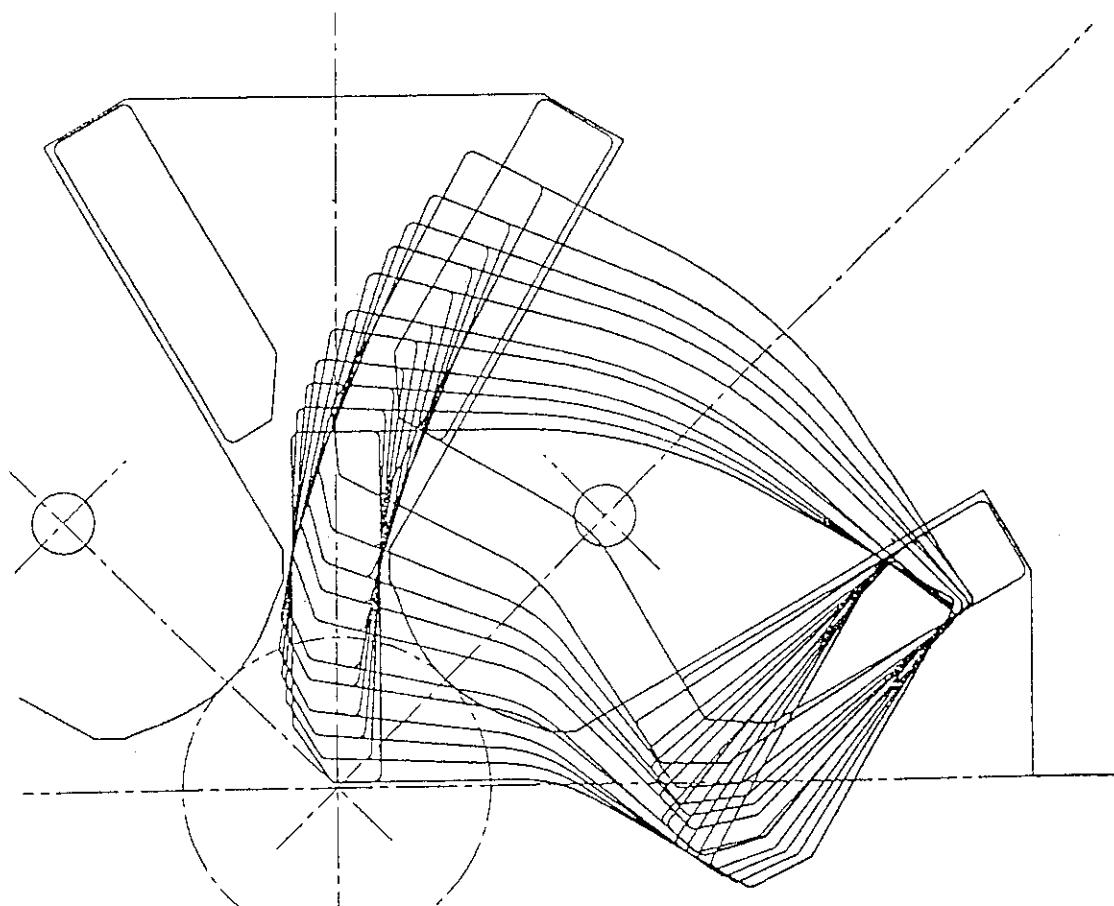


図4.6 四極電磁石コイル挿入シミュレーション

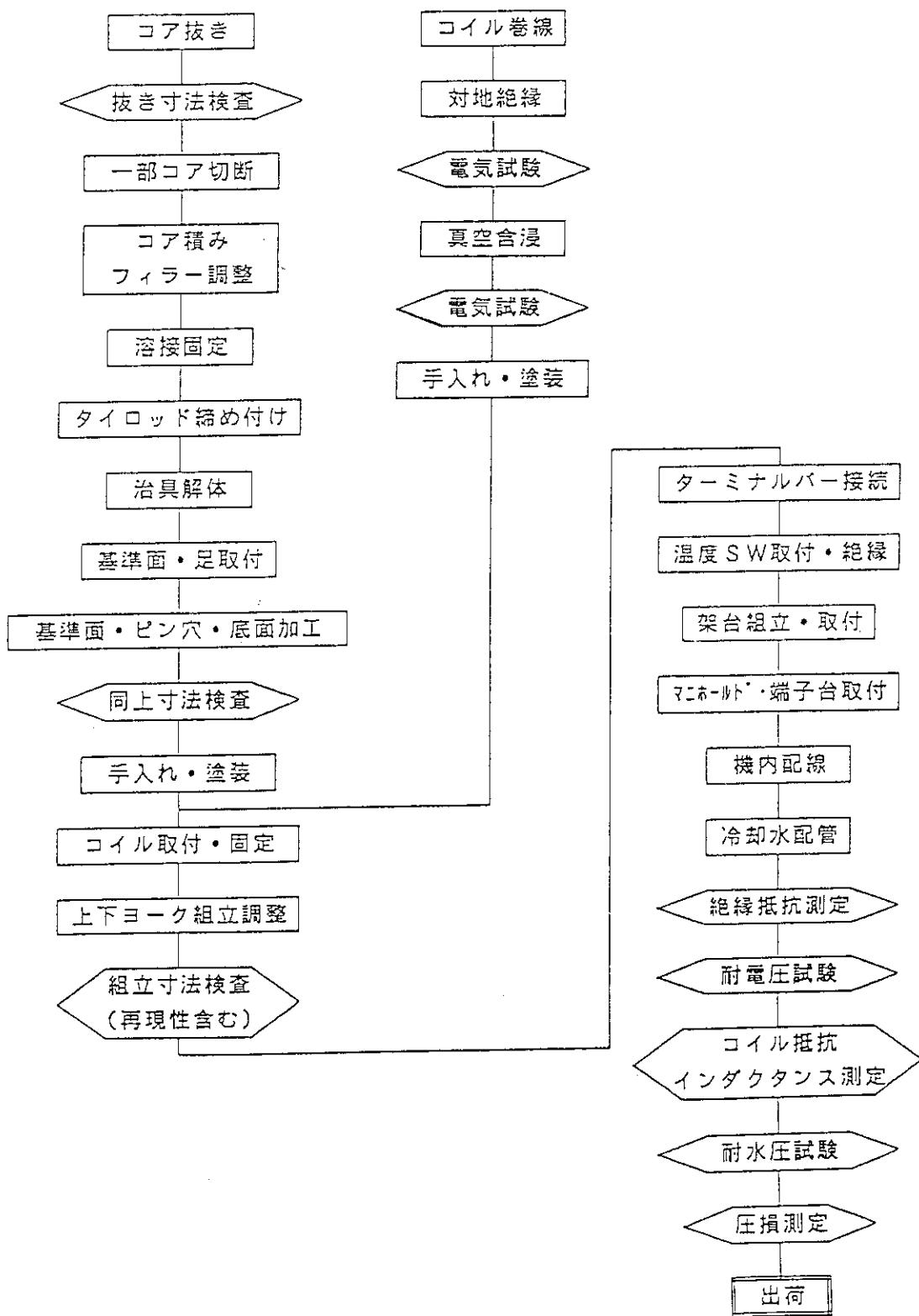


図4.7 四極電磁石製作フローチャート

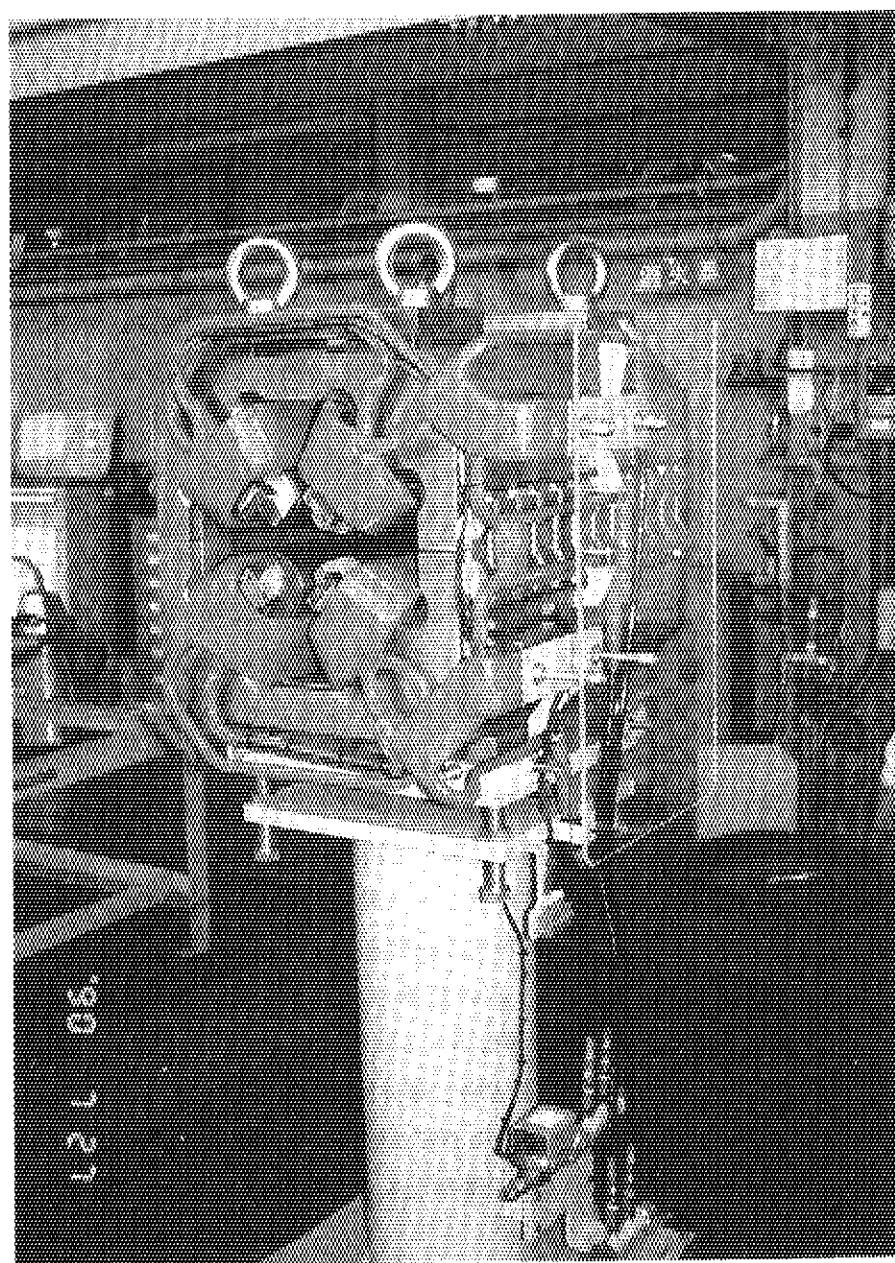


図4.8 四極電磁石の外観写真

## 5. 六極電磁石

六極電磁石は四極電磁石と同様に、上下2分割方式を基本とした。ボア直径は真空ダクトの外形寸法に多少の余裕を見込んで $\phi$  100 mmに定めた。有効磁場領域は、ビーム軌道解析から要求された±28 mmとした。この有効磁場領域を達成するため、磁極片の形状は六重極ポテソシヤルの等磁位面に一致させるいわゆる六重極ポテソシヤル型 ( $r^3 \cos 3\theta = r_0^3$ ,  $r_0=50$  mm) として、2次元プログラム LINDA を用いて磁場計算を実施した。鉄心及びコイルを図5.1に示す基本寸法とすることにより、入射時 (1 GeV) の低磁場から出射磁 (8 GeV) の高磁場に至る広い磁場範囲で、目標とする磁場の一様性 (1%)を得ることができた。最大磁場に於ける磁場分布及び一様性の計算結果を図5.2、図5.3に示す。

鉄心の材質は偏向、四極各電磁石と同様に無方向性電磁鋼帯 (JIS C2552) の 50 A 600 を採用了。最大磁場勾配 225 T/m<sup>2</sup>を発生するための磁極当りの起磁力 3730 AT に対応し、巻数 10 ターン、電流 373 A とした。コイルの導体としては外形 5.8 mm × 8 mm で、中空  $\phi$  3.3 mm の無酸素銅導体を用い水冷構造とした。コイルの冷却回路は 2 系統とし冷却水の最大温度上昇は、流量 1.3 l/min (電磁石 1 台当り) として、くり返し周波数 1 Hz 運転の場合で 11.1 deg である。詳細な磁場測定時の最大電流連続直流励磁における冷却水温度上昇は 30 deg である。六極電磁石の設計パラメータを表5.1に示す。

次に六極電磁石の全体構造について概略説明する。図5.4に全体構造図を示す。打抜き鉄板の形状は図5.5に示すように、磁極には積層後磁極部を規定の寸法に縮付けるための縮付ボルトの穴が設けてあり、また側面には側板を固定するための溝と上下鉄心を締結するための張り出し部を設けてある。上下鉄心分割合せ面には、再現性基準合せ用としてキー溝を設けた。打抜き鉄板を積層し、その両端部には端板を設け、別に設置された加圧器により積層方向に加圧 (20 kg/cm<sup>2</sup>) し、拘束状態のまま側板を当て縮付ボルトによって縮付一体化した。四極電磁石と構造的な最大の相違は、鉄板と側板の溶接を省略し縮付構造にした点にある。ただし、1 Hz のくり返し運転によるボルトのゆるみなどに多少の不安が残ることから、側板と端板は溶接を実施した。鉄心上部には精密アライメント用の測量基準面を 1 カ所設け、その加工精度は ± 0.01 mm とした。

コイルは 2 段重ねのソレノイド巻きとし、その構造図を図5.6に示す。コイル絶縁は実機運転にも十分耐えられるよう、耐放射線性に強く且つ実機高電圧を考慮してエポキシ系絶縁システムとした。コイルは鉄心組込後コイルサポートにより鉄心に固定される。コイルには、通電時の発熱を除去するための冷却水配管、及び電流供給端子がそれぞれ接続され、いずれも鉄心側面に配置した。上下鉄心は、鉄心側面に設けられた縮付ボルトによって縮付け一体化される。電磁石の中心高さは、偏向、四極各電磁石と同様 1200 mm とし、架台には精密アライメントのための微調機構を設けた。

本六極電磁石の完成した外観写真を図5.7に示す。

表5.1 六極電磁石の設計パラメータ

最大磁場勾配	225 T / m <sup>2</sup>		
磁極長	150 mm		
ボア径	Φ 100 mm		
最大起磁力 (磁極当り)	3730 AT		
コイル巻数 (磁極当り)	10 ターン		
コンダクター寸法	5.8 mm × 8 mm - Φ 3.3 mm		
抵抗値	19.4 mΩ		
インダクタンス	0.76 mH		
電流	最大電流 最小電流 実効電流	373 A 42.8 A 1Hz 繰り返し運転時 100%連続励磁運転時	227.5 A 373 A
電圧	最大電圧 フラットトップ電圧	8.2 V 7.2 V	
電力	最大電力 実効電力	3.1 kW 1.0 kW 1Hz 繰り返し運転時 100%連続励磁運転時	2.7 kW
冷却水	流量 水路数 圧力損失	1.3 l/s / min 2 個 2.5 kg / cm <sup>2</sup>	
	水温上昇	11.1 °C 100%連続励磁運転時	30 °C
鉄心重量	(薄板鋼板)	62 kg	
コイル重量	(コイル導体のみ)	11.3 kg	
中心高さ		1200 mm	

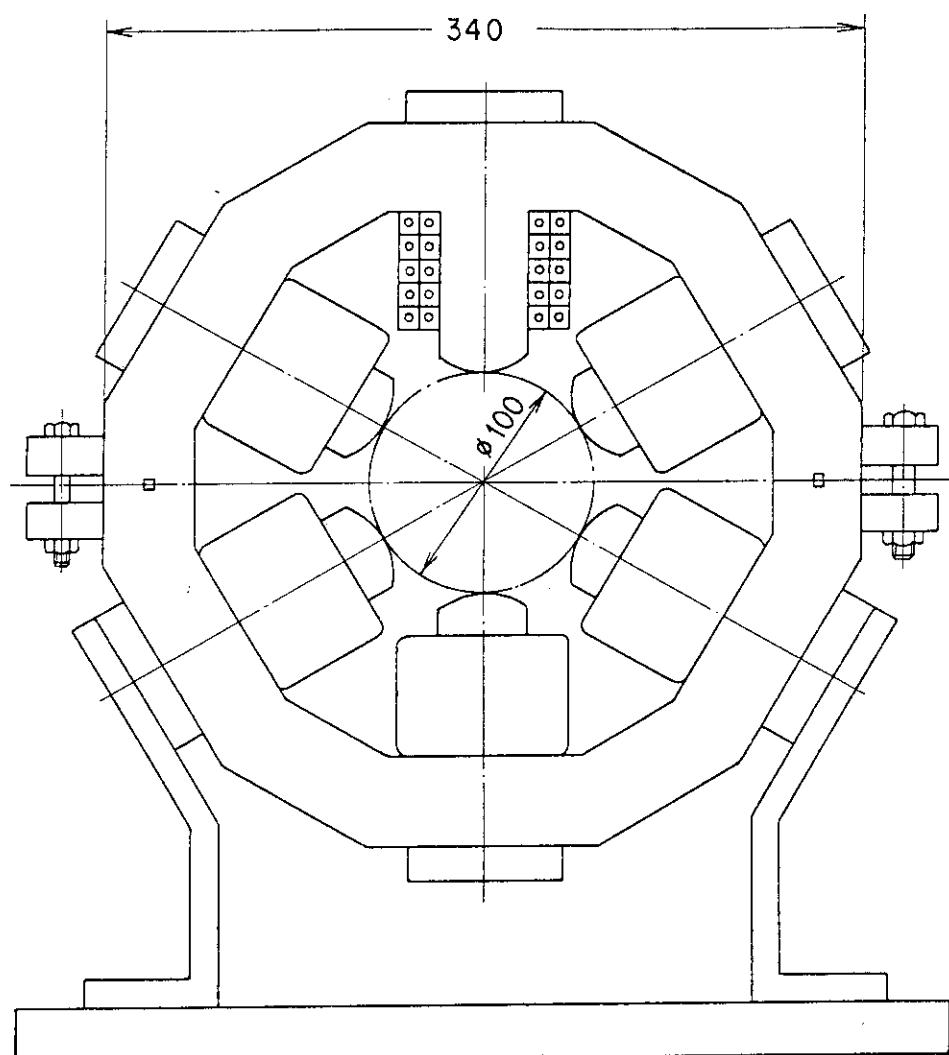


図5.1 六極電磁石基本寸法図

### Field of Sextupole magnet

**Calculated B [T]**

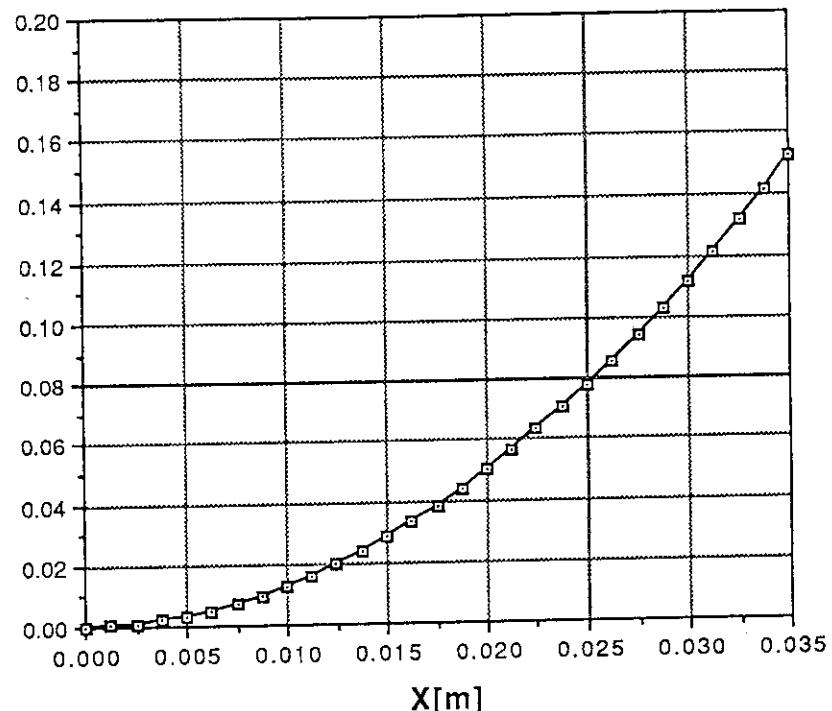


図5.2 六極電磁石の磁場分布

**ErrorB / B(X=0.02)**

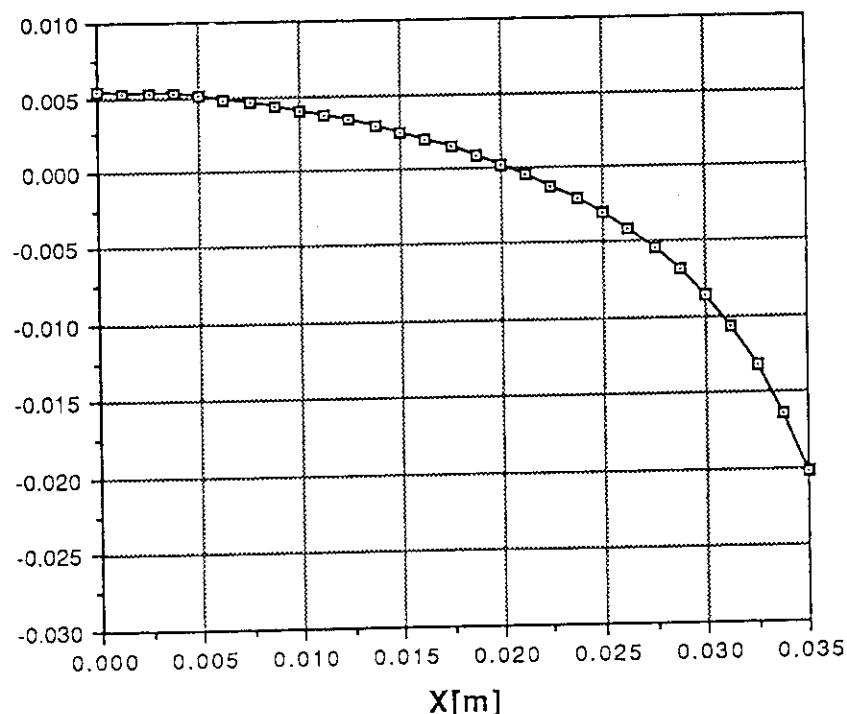


図5.3 六極電磁石の磁場勾配の一様性



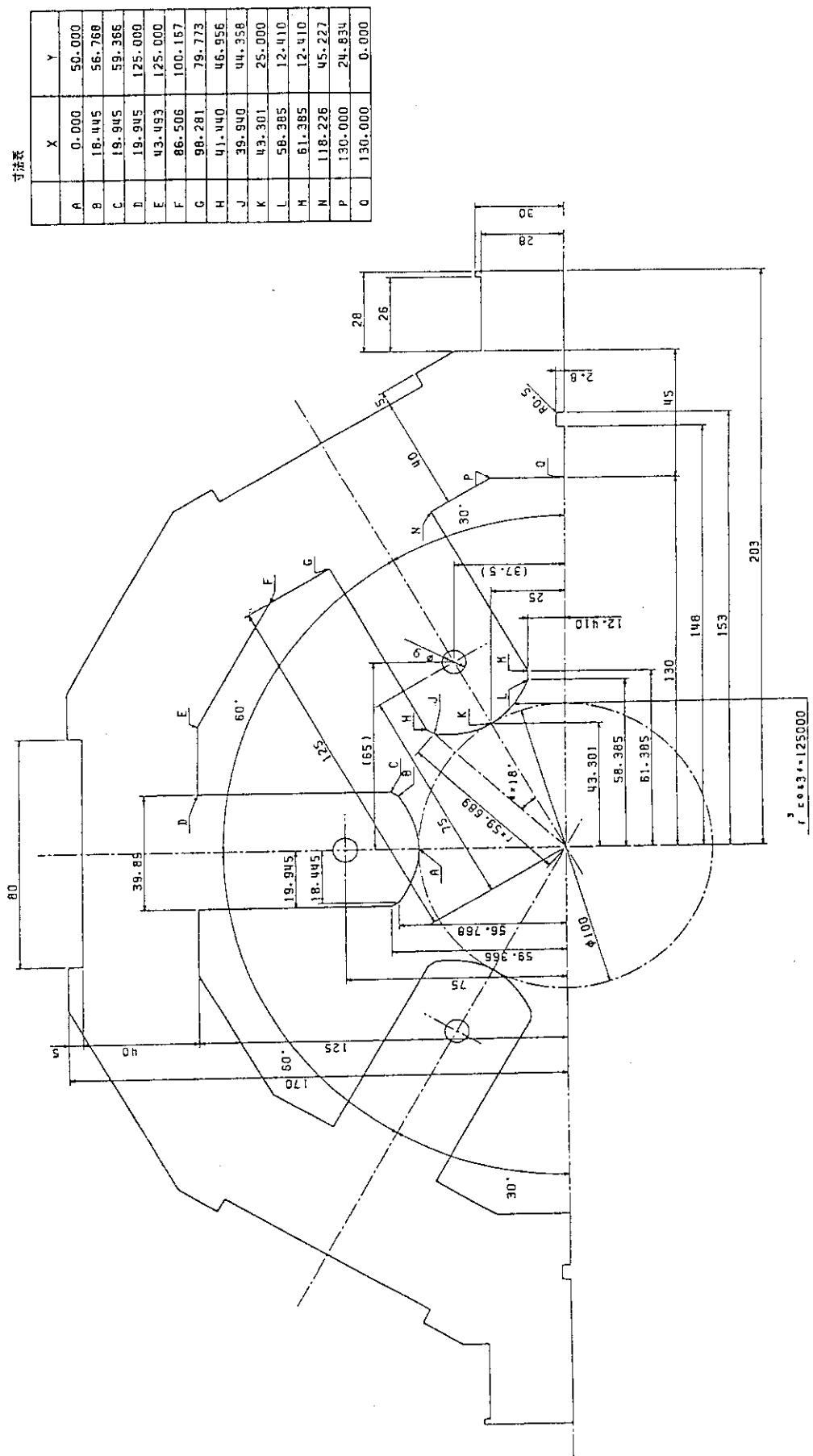


図5.5 六極電磁石鐵板打抜寸法図

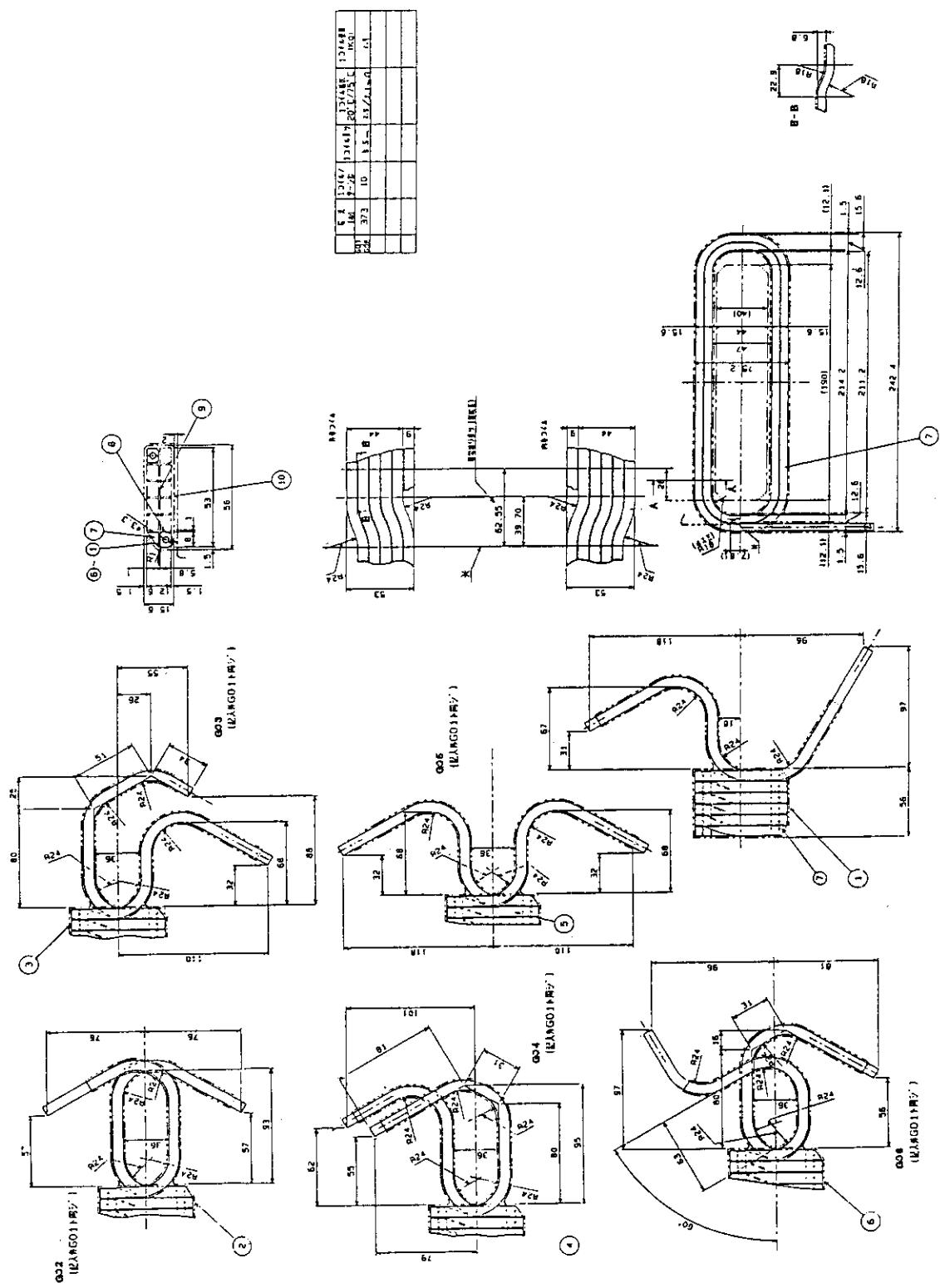


図5.6 六極電磁石コイル構造図

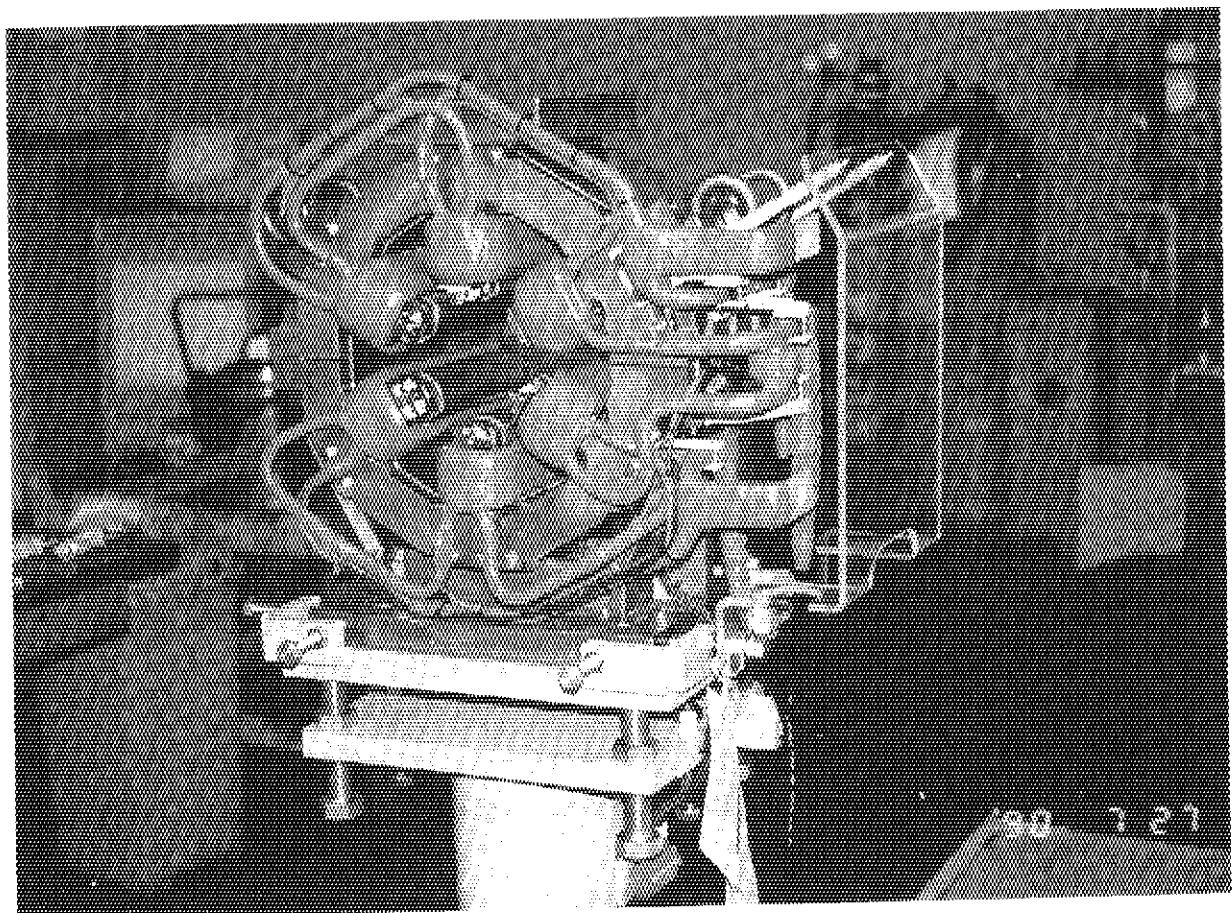


図5.7 六極電磁石外観写真

## 6. セプタム電磁石

シンクロトロンには入射用に2種類（メインセプタム、ポストセプタム各1台）、出射用に4種類（1st, 2nd, 3rd, 4th, 各セプタム1台）のセプタム電磁石が配置されている。この中で最も性能の厳しいセプタムは出射用の2ndセプタム電磁石であり、その要求される性能は、磁場波形1kHz半波、磁場0.554T、長さ0.4m、セプタム厚み2.0mmである。我々は本性能のセプタム電磁石の試作開発に着手し完成させた。

セプタム電磁石の基本形状はC型とし、バンプ軌道にきわめて近い位置に設置されるためのセプタムの許容厚みは2mmとし、この2mmの許容範囲の中に磁場を発生するためのセプタム導体を配置せざる得ない。更に、バンプ軌道のもれ磁場を軽減するため磁気シールド（けい素鋼板）をセプタム導体の背面に平行に配置するが、これも2mmの許容範囲の中に含まれる。このためセプタム導体の厚みは実質的に1mm程度に抑えられ、結果として自然放熱による冷却は期待できず、冷却水によって除熱する構造とした。ただし戻り導体は特にスペース的に問題がないことから十分余裕のある断面寸法とした。

セプタム電磁石の断面形状と基本寸法を図6.1に示す。入出射の軌道解析から出射用2ndセプタム電磁石の必要なアーチャは8mmH×14mmWであるが、余裕を見込んで磁極間ギャップ10mmとした。2次元プログラムTRIMを用いて各寸法の最適化を実施した。

### (1) 磁気シールド厚みの最適化

磁気シールドの厚みは0.5mmでバンプ軌道でのもれ磁場は2.5ガウス程度である。また磁気シールド内の磁場は5キロガウス程度であり飽和の心配もないことから0.5mmと決定した。

### (2) 磁極端部切欠き寸法の最適化

セプタムを押えるに磁極端部を切欠く必要が生じるが、予備計算の結果ほんの少し切欠いても磁場の一様性を乱すことが判明した。切欠けがなければ、Window-Frame型の電磁石の性質から一様な磁場を得られるが、切欠き高さが1mm以下であれば、次のセプタム高さの最適化と組合せて磁場の乱れを許容範囲以内にできることが判明した。従って、切欠き高さを1mmに定めた。

### (3) セプタム高さの最適化

磁極端部の切欠きを1mmに固定し、セプタム高さ8mm～10mmの範囲で磁場が最も均一になる寸法を搜した結果、9.5mmを得た。

以上の最適化を実施し最終的な寸法（図6.1参照）で、2次元プログラムTRIMを用いて最終磁場計算を実施した結果、目標とする磁場一様性を（±0.1%）を得ることができた。最大磁場に於ける一様性の計算結果を図6.2に示す。また、バンプ軌道におけるもれ磁場の計算結果を図6.3に示す。本図からもれ磁場は2.5ガウスより小さいことが判る。

鉄心の材質は無方向性電磁鋼帯（JISC2552）の50A600とし、厚みは0.35mmとした。最大磁場0.554Tを発生するための起磁力は4850ATとなり、巻数1ターンから電流4850Aとなる。セプタム導体は外形1mm×9.5mmの無酸素銅とし、水冷却パイプにより間接的に伝導で冷却

するものとした。60 Hz くり返しで 1 秒間に 8 パルス運転として、冷却水流量 0.4 l/min のときのセプタム導体の温度上昇は約 10 deg である。本セプタム電磁石の設計パラメータを表 6.1 に示す。

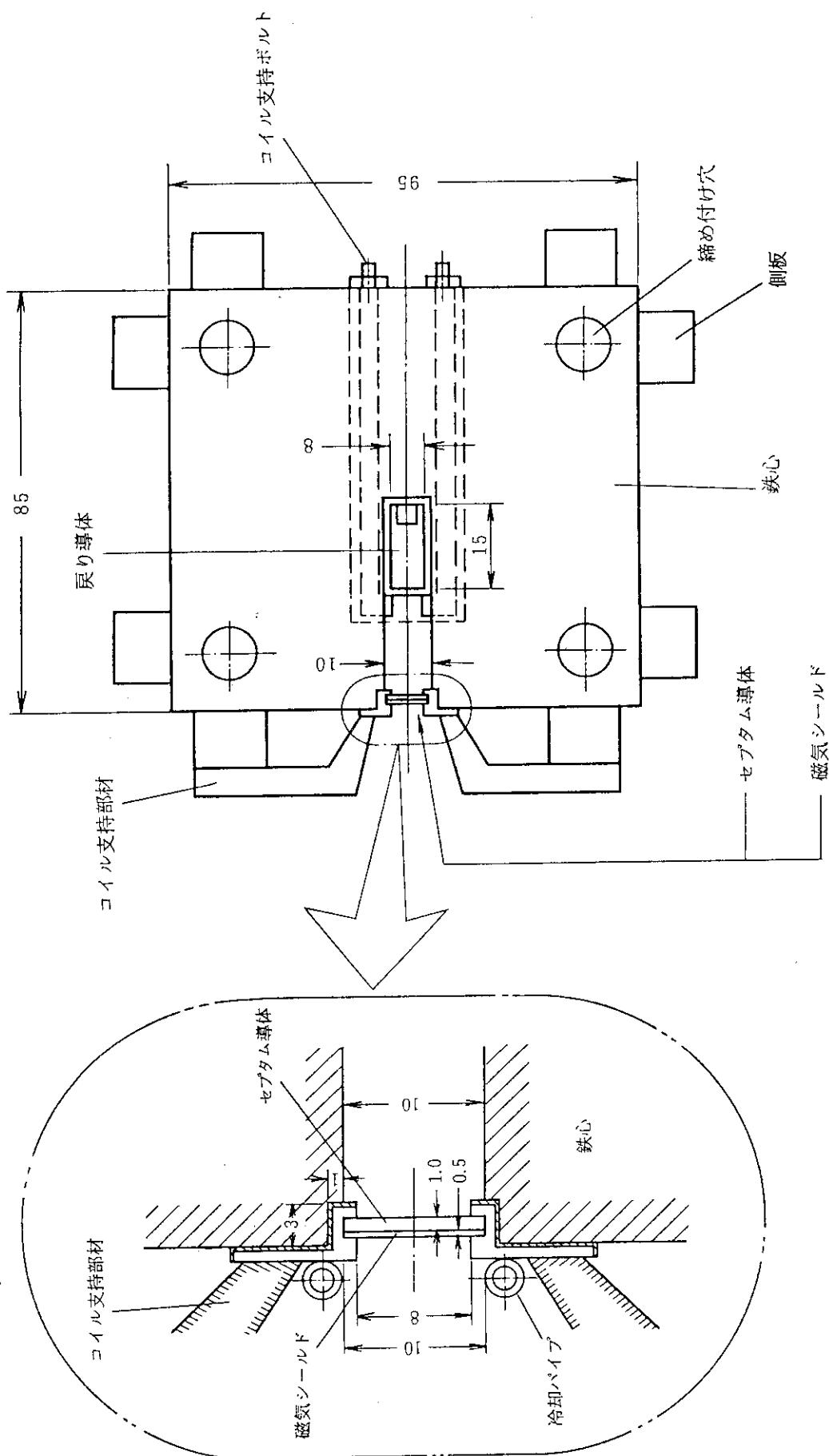
次にセプタム電磁石の全体構造について概略説明する。図 6.4 に全体構造を示す。打抜き鉄板は図 6.5 に示すように、4 隅には積層後の締付け用の穴が 4 カ所、積層後の側板固定用の溝が 4 カ所、その他溶接のためのリップなどが切り込まれている。打抜いた鉄板の積層後の両端には非磁性（ステンレス板）の端板を当て、4 隅をボルトで締付け後更に側板を当て溶接で一体化した。鉄心上部には精密アライメントの為の基準面（精度 0.02 m/m）を 1 カ所設けた。セプタム導体及び戻り導体の絶縁は、耐放射線性に強いセラミックコーティングとし、その厚みは 0.3 mm を標準とした。セラミック導体は、磁気シールドと一緒にコイル支持部材によって鉄心に固定される。戻り導体は、鉄心の背面からコイル支持ボルトによって同様に鉄心に固定される。

本セプタム電磁石は、実機では真空容器の中に収容されて運転されるが、今回は予算の関係で真空容器は試作開発から省いた。そのため配線、配管などは実機とは相当異なることから、実機製作時には構造上の再検討が必要である。

セプタム電磁石の完成した外観写真を図 6.6 に示す。

表6.1 セプタム電磁石の設計パラメータ

曲げ角度	8.304 mrad
最大磁場	0.554 T
曲率半径	48.1681 m
磁場のパルス波形	2500 Hz (正弦波半波)
磁場の繰り返し周波数	60 Hz (16.67 msec 運転周期)
セプタムの厚み	2 mm 以下
磁場有効空間	8 mm H × 14 mm W
磁極長	400 mm
鉄心材料	0.35 mm 以下
最大起磁力	4850 AT
巻 数	1 ターン
最大電流	4850 A
実効電流	376 A
コイル導体寸法	
セプタム導体	1.0 mm × 10.0 mm
戻り導体	8.0 mm × 15.0 mm
抵抗値	
直流抵抗	1.0 mΩ
交流抵抗(2500 Hz パルス波形)	1.9 mΩ
インダクタンス	1.7 μH
消費電力(実効値)	267.0 W
冷却方式	水冷却方式
冷却水	
流量	0.4 l/min
圧力損失	1.0 kg/cm
水温上昇	約 10 °C
中心高さ	1200 mm



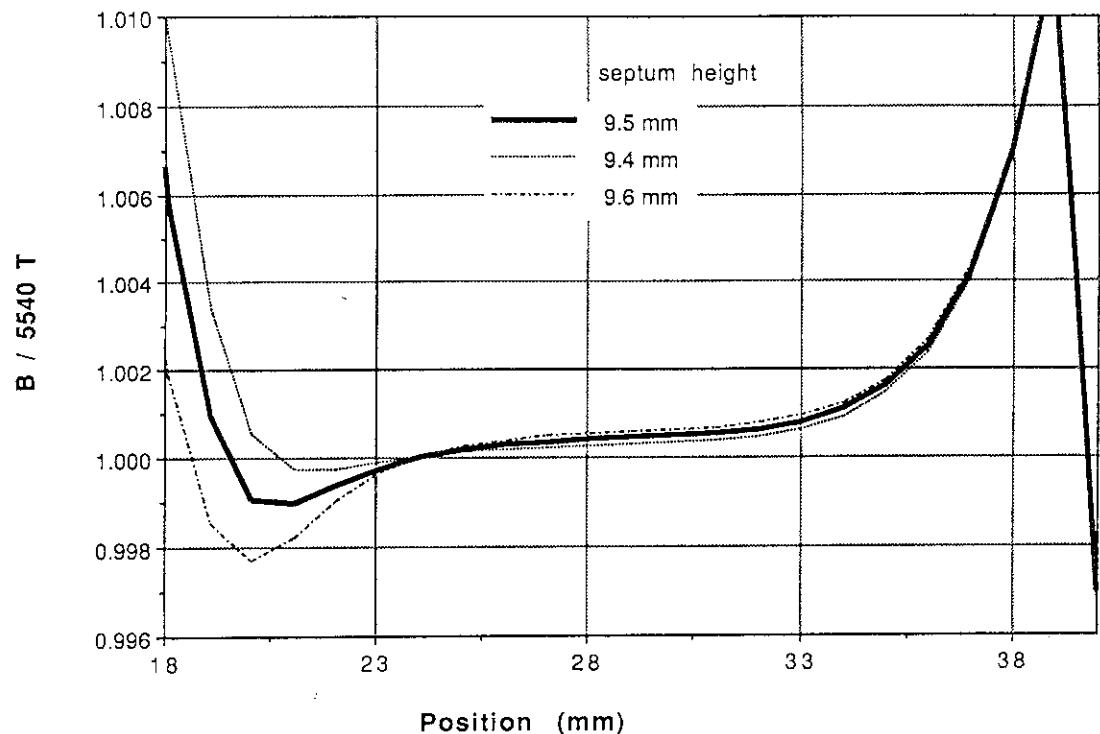
**Good Field Region of the Septum Magnet**

図6.2 セプタム電磁石の磁場の一様性

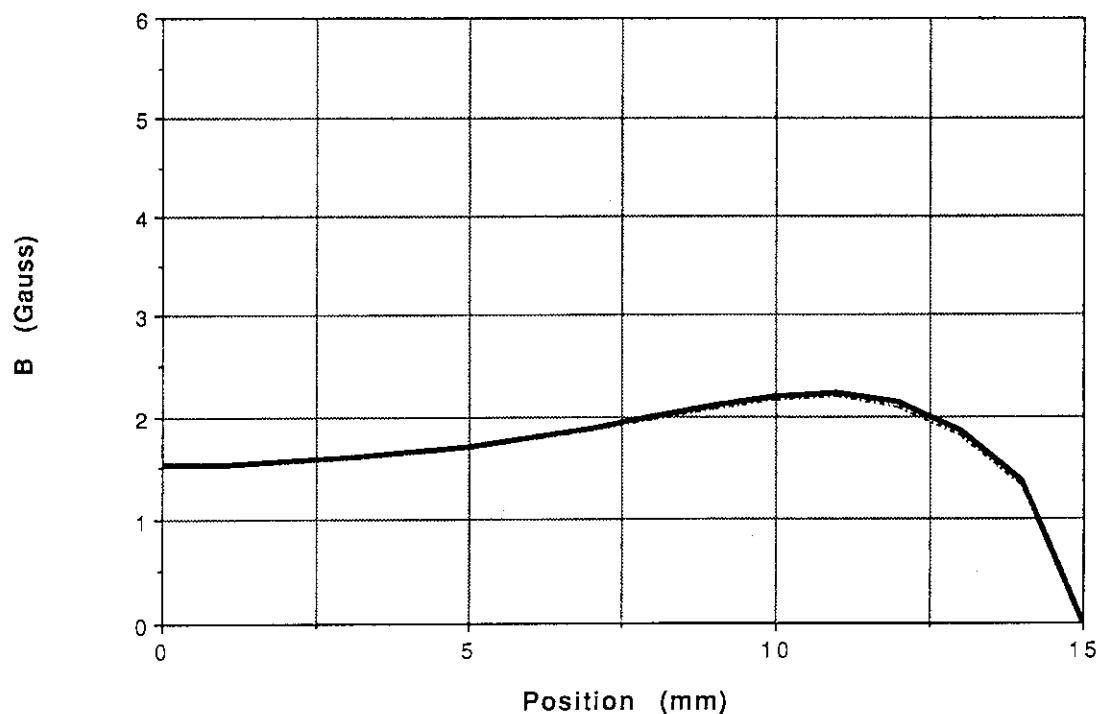
**Leakage Field**

図6.3 セプタム電磁石のもれ磁場

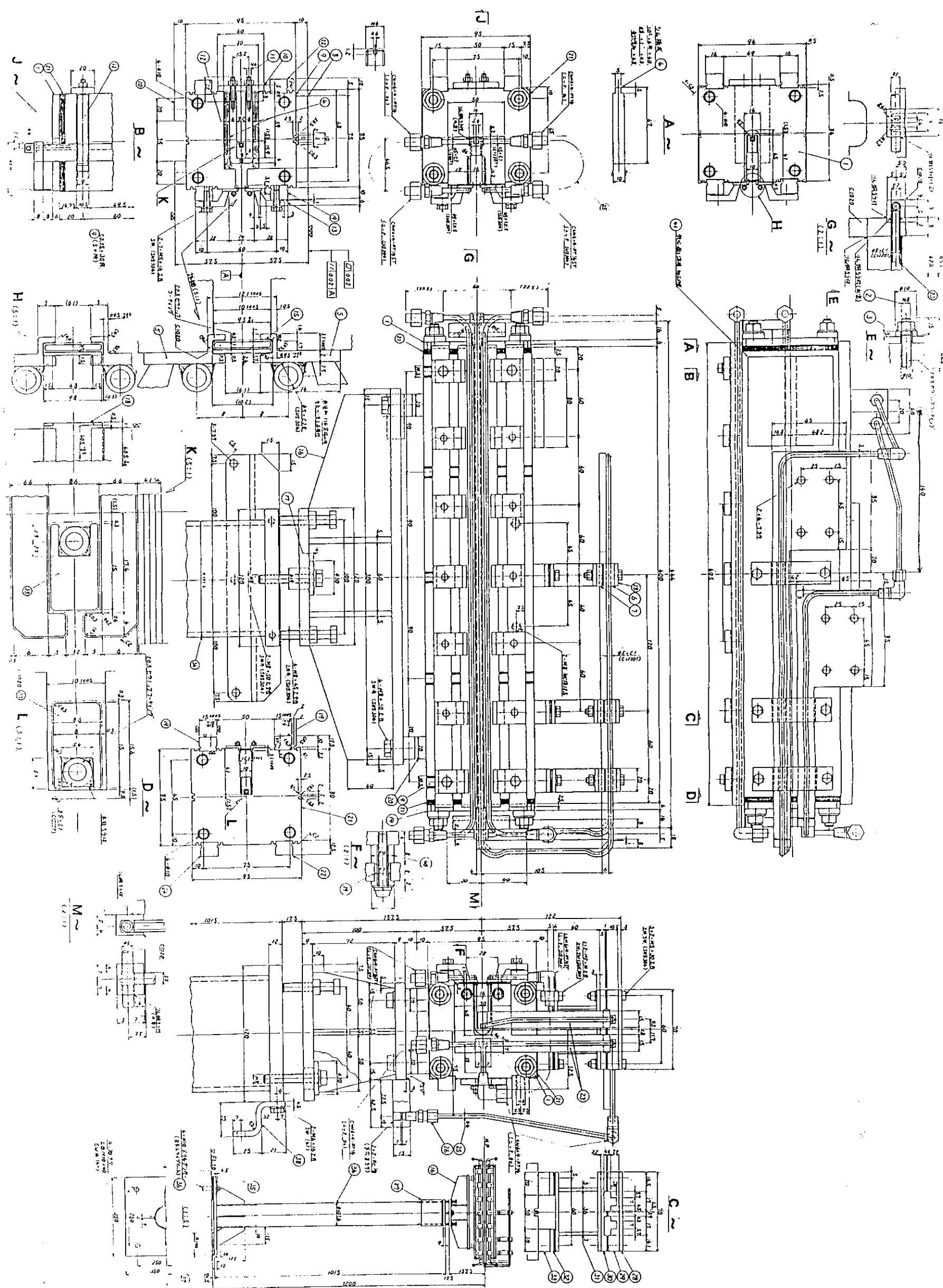
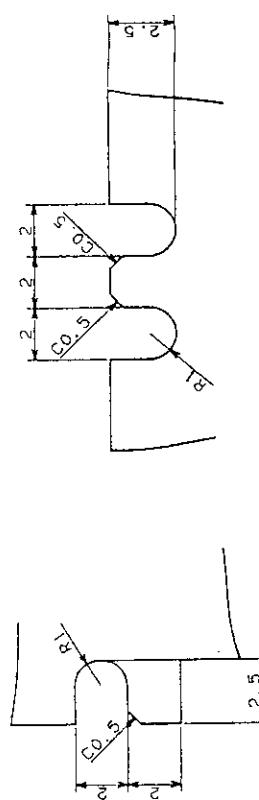


図6.4 セブタム電磁石全体構造図



B部詳細 (5 : 1)

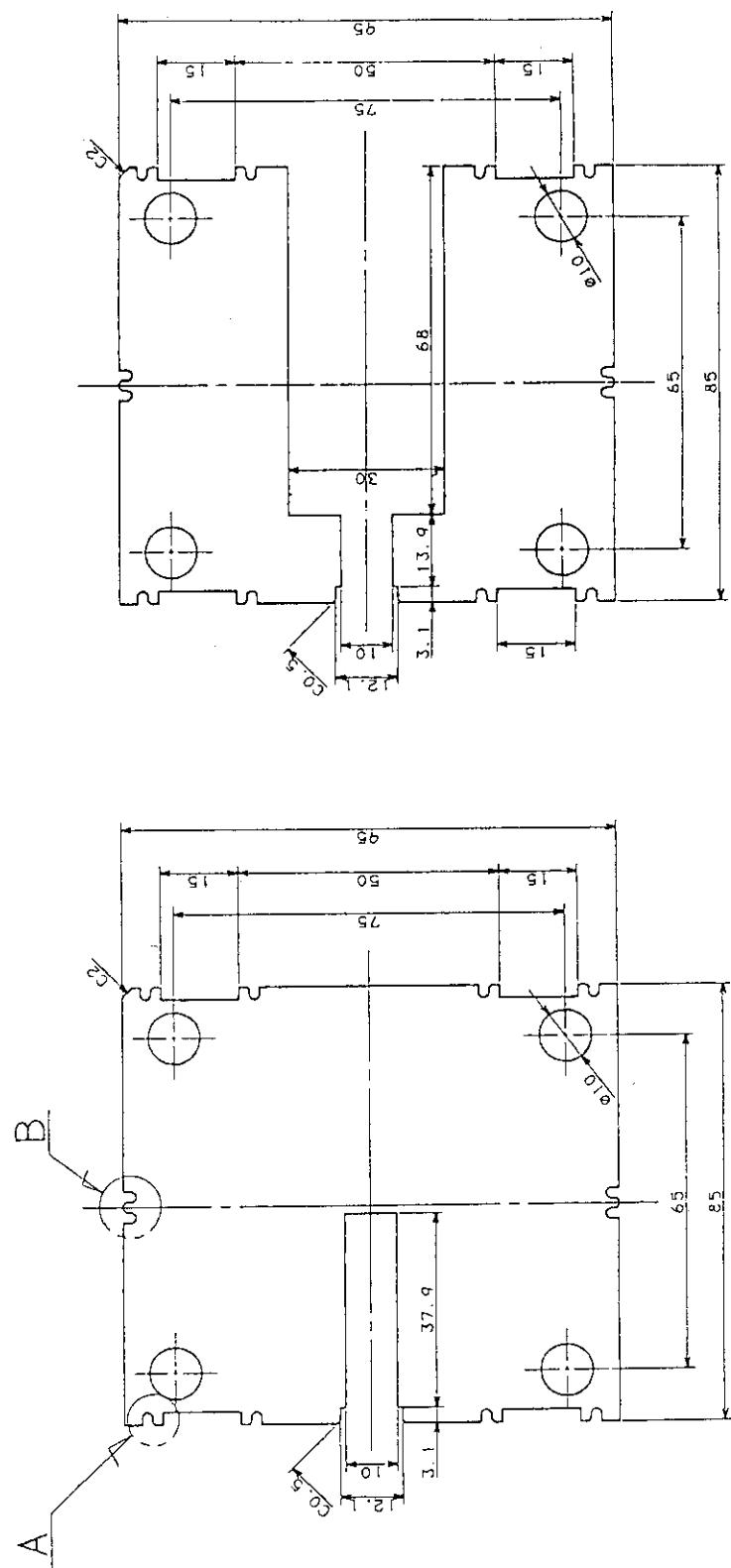


図6.5 セータム電磁石鉄板打抜寸法図

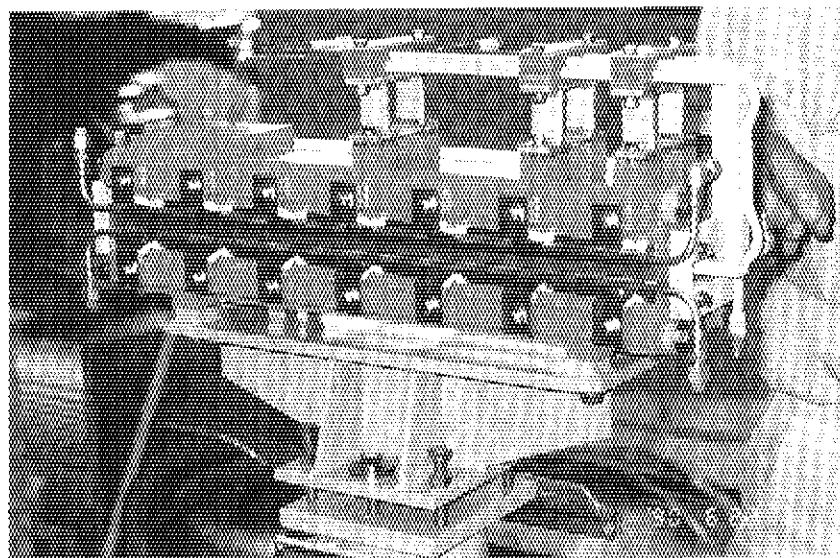


図6.6 セプタム電磁石外観写真

## 7. 各電磁石のテスト結果

各電磁石とも完成後各種性能テストを実施した。そのテスト結果を付録テストデータ一覧にまとめた。

### (1) 偏向電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ1.1~1.5
- ・コイルに関するテスト テストデータ1.6~1.8
- ・磁場分布に関するテスト テストデータ1.12~1.20

### (2) 四極電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ2.1~2.4
- ・コイルに関するテスト テストデータ2.5~2.7
- ・磁場特性に関するテスト テストデータ2.8~2.10

### (3) 六極電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ3.1~3.3
- ・コイルに関するテスト テストデータ3.4~3.7
- ・磁場特性に関するテスト テストデータ3.8~3.9

### (4) セプタム電磁石

- ・セラミックコーティングに関するテスト テストデータ4.1
- ・鉄心に関するテスト テストデータ4.2~4.3
- ・コイル及び性能テスト テストデータ4.4~4.6

## 8. おわりに

SPring-8 シンクロトロン用の偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石、セプタム電磁石の設計から完成テストまでの一連の試作発表の経験から、実機での以下の問題点を把握することができた。

- (1) 偏向電磁石の溶接による磁極の変形防止対策。
- (2) 四極電磁石、六極電磁石の鉄心を溶接構造とするか或いは締付構造とするかの見直し。溶接変形と、くり返し運転による経年変化の両面から再検討が必要。
- (3) セプタム電磁石は実機では真空チャンバーの中に収容されるが、真空チャンバーとの取合い特に配線配管などの信頼性ある構造の見直し。

また、本試作品の今後の課題として、各電磁石共詳細な磁場分布の測定を実施し、実機設計製作に反映することである。

## 7. 各電磁石のテスト結果

各電磁石とも完成後各種性能テストを実施した。そのテスト結果を付録テストデータ一覧にまとめた。

### (1) 偏向電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ1.1~1.5
- ・コイルに関するテスト テストデータ1.6~1.8
- ・磁場分布に関するテスト テストデータ1.12~1.20

### (2) 四極電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ2.1~2.4
- ・コイルに関するテスト テストデータ2.5~2.7
- ・磁場特性に関するテスト テストデータ2.8~2.10

### (3) 六極電磁石

- ・鉄心に関するテスト テストデータ3.1~3.3
- ・コイルに関するテスト テストデータ3.4~3.7
- ・磁場特性に関するテスト テストデータ3.8~3.9

### (4) セプタム電磁石

- ・セラミックコーティングに関するテスト テストデータ4.1
- ・鉄心に関するテスト テストデータ4.2~4.3
- ・コイル及び性能テスト テストデータ4.4~4.6

## 8. おわりに

SPring-8 シンクロトロン用の偏向電磁石、四極電磁石、六極電磁石、セプタム電磁石の設計から完成テストまでの一連の試作発表の経験から、実機での以下の問題点を把握することができた。

- (1) 偏向電磁石の溶接による磁極の変形防止対策。
- (2) 四極電磁石、六極電磁石の鉄心を溶接構造とするか或いは締付構造とするかの見直し。溶接変形と、くり返し運転による経年変化の両面から再検討が必要。
- (3) セプタム電磁石は実機では真空チャンバーの中に収容されるが、真空チャンバーとの取合い特に配線配管などの信頼性ある構造の見直し。

また、本試作品の今後の課題として、各電磁石共詳細な磁場分布の測定を実施し、実機設計製作に反映することである。

## 謝 辞

各電磁石の製作に協力して頂いた株式会社東芝、三菱電機株式会社、住友重機械工業株式会社  
に御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

1. 熊谷教考 「OHO'84」 III 高エネルギー加速器用電磁石 (1984)

## 謝 辞

各電磁石の製作に協力して頂いた株式会社東芝、三菱電機株式会社、住友重機械工業株式会社  
に御礼申し上げます。

## 参 考 文 献

1. 熊谷教考 「OHO'84」 III 高エネルギー加速器用電磁石 (1984)

## 付録 テストデータ一覧

テストデータ一覧を以下にまとめて示す。

## 目 次

- テストデータ 1.1 偏向電磁石打抜鉄板寸法精度測定
- テストデータ 1.2 偏向電磁石打抜鉄板磁極部寸法精度測定
- テストデータ 1.3 側面電磁石磁極間寸法測定位置
- テストデータ 1.4 側面電磁石磁極間寸法測定
- テストデータ 1.5 側面電磁石鉄心寸法精度測定
- テストデータ 1.6 側面電磁石コイル寸法測定
- テストデータ 1.7 側面電磁石コイル冷却水圧損測定他
- テストデータ 1.8 側面電磁石コイル性能テスト
- テストデータ 1.9 側面電磁石重量検査
- テストデータ 1.10 側面電磁石使用鉄板ミルシート
- テストデータ 1.11 側面電磁石使用鉄板磁気特性データ
- テストデータ 1.12 側面電磁石磁場測定要領
- テストデータ 1.13 側面電磁石磁場分布測定データ(1)
- テストデータ 1.14 側面電磁石磁場分布測定データ(2)
- テストデータ 1.15 側面電磁石磁場分布測定データ(3)
- テストデータ 1.16 側面電磁石磁場分布測定データ(4)
- テストデータ 1.17 側面電磁石磁場分布測定データ(5)
- テストデータ 1.18 側面電磁石磁場分布測定データ(6)
- テストデータ 1.19 側面電磁石磁場分布測定データ(7)
- テストデータ 1.20 側面電磁石磁場分布測定データ(8)
  
- テストデータ 2.1 四極電磁石磁極寸法精度測定(1)
- テストデータ 2.2 四極電磁石磁極寸法精度測定(2)
- テストデータ 2.3 四極電磁石測量基準面寸法精度測定
- テストデータ 2.4 四極電磁石外形寸法記録測
- テストデータ 2.5 四極電磁石性能テスト一覧表
- テストデータ 2.6 四極電磁石コイル性能テスト(1)
- テストデータ 2.7 四極電磁石コイル性能テスト(2)
- テストデータ 2.8 四極電磁石磁場測定(B-I特性)回路と測定場所
- テストデータ 2.9 四極電磁石B-I特性データ(1)
- テストデータ 2.10 四極電磁石B-I特性データ(2)
- テストデータ 2.11 ホール素子校正記録
- テストデータ 2.12 四極電磁石使用鉄板特性データ

- |             |                              |
|-------------|------------------------------|
| テストデータ 3.1  | 六極電磁石磁極寸法精度測定                |
| テストデータ 3.2  | 六極電磁石測量基準面寸法精度測定             |
| テストデータ 3.3  | 六極電磁石外形寸法記録                  |
| テストデータ 3.4  | 六極電磁石性能テスト一覧                 |
| テストデータ 3.5  | 六極電磁石コイル性能テスト(1)             |
| テストデータ 3.6  | 六極電磁石コイル性能テスト(2)             |
| テストデータ 3.7  | 六極電磁石冷却水回路圧損調査記録             |
| テストデータ 3.8  | 六極電磁石磁場測定 (B-I特性) 回路と測定場所    |
| テストデータ 3.9  | 六極電磁石B-I特性データ                |
| テストデータ 3.10 | ホール素子校正記録                    |
| テストデータ 3.11 | 六極電磁石使用鉄板特性データ               |
|             |                              |
| テストデータ 4.1  | セプタム電磁石コイルセラミック絶縁コーティング特性データ |
| テストデータ 4.2  | セプタム電磁石打抜鉄板寸法精度測定            |
| テストデータ 4.3  | セプタム電磁石鉄心寸法精度測定              |
| テストデータ 4.4  | セプタム電磁石性能テスト(1)              |
| テストデータ 4.5  | セプタム電磁石性能テスト(2)              |
| テストデータ 4.6  | セプタム電磁石性能テスト(3)              |
| テストデータ 4.7  | セプタム電磁石使用鉄板ミルシート             |
| テストデータ 4.8  | セプタム電磁石使用鉄板磁気特性データ           |

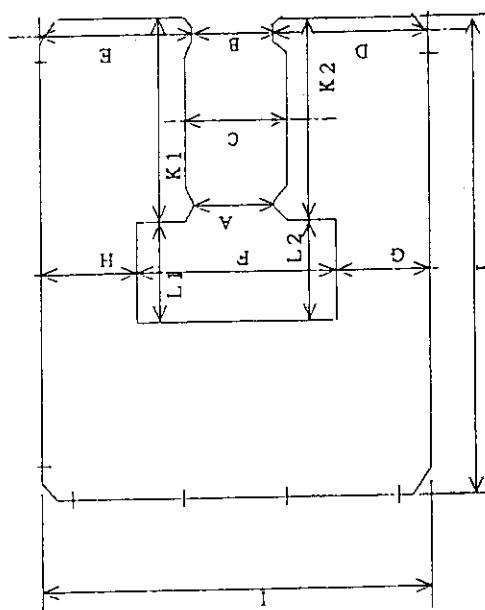
## テストデータ 1.1 偏向電磁石打抜寸法精度測定

### 1. 各部寸法

単位: mm						
測定箇所	A	B	C	D	E	F
基準寸法	44±0.02	44±0.02	46±0.02	199±0.03	199±0.03	142±0.05
No. 1	43.995	43.995	45.980	199.010	199.010	142.010
実測値	43.995	43.995	45.985	199.010	199.010	142.010
No. 3	43.995	44.000	45.985	199.005	199.005	142.005
No. 4	43.995	44.000	45.990	199.005	199.010	142.010

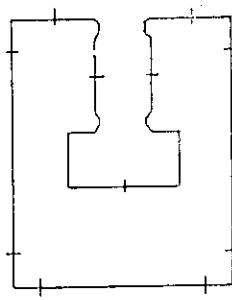
A, B, C, D, E, F, G, H, K, L, Iは、測定面の中心を測定しました。(矢印の位置)

I, Jは3点、J, Kは4点を測定しました。



測定箇所	H	I 1	I 2	I 3	I 4	J 1	J 2
基準寸法	150±0.03			442±0.03			410±0.03
実測値	150.005	442.015	442.010	442.020	442.015	410.010	410.010
No. 2	150.005	442.015	442.010	442.015	442.020	410.015	410.015
No. 3	150.005	442.015	442.015	442.015	442.015	410.015	410.015
No. 4	150.005	442.005	442.005	442.005	442.025	410.010	410.010

2. かえりの確認  
下図の位置に示す1箇所を、測定しました。実測値は、最大値を示します。



基準値: 0.03以下 単位: mm				
	NO. 1	NO. 2	NO. 3	NO. 4
実測値	0.01	0.01	0.01	0.01

テストデータ 1.2 偏向電磁石打抜板磁極部寸法精度測定

三次元測定

単位: mm

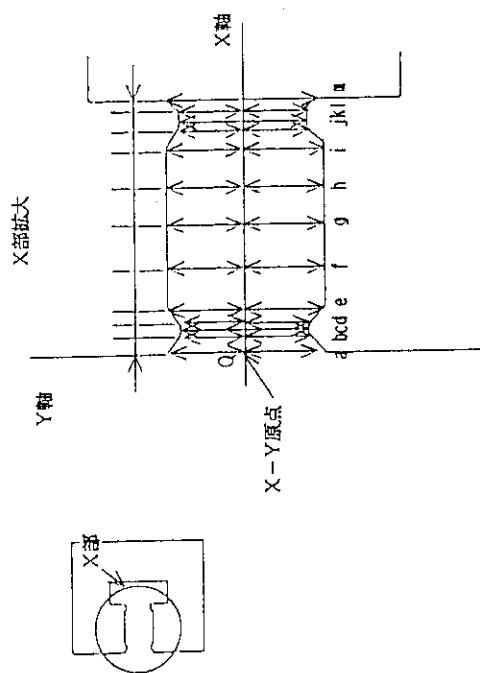
測定箇所	a		b		c		d		e	
	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表
基準寸法	0.000	27.000	5.000	22.000	10.000	22.000	15.000	22.000	17.500	23.000
上 領	0.000	27.000	5.003	21.995	10.000	21.995	14.985	21.995	17.510	23.000
下 領	0.000	26.990	4.990	22.000	10.000	21.995	14.985	21.995	17.510	22.995

測定箇所	f		g		h		i		j	
	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表
基準寸法	46.250	23.000	75.000	23.000	103.750	23.000	132.500	23.000	135.000	22.000
上 領	46.250	23.000	75.000	23.005	103.750	23.000	132.490	23.000	135.010	22.000
下 領	46.250	22.995	75.000	22.995	103.750	22.995	132.490	23.000	135.010	21.995

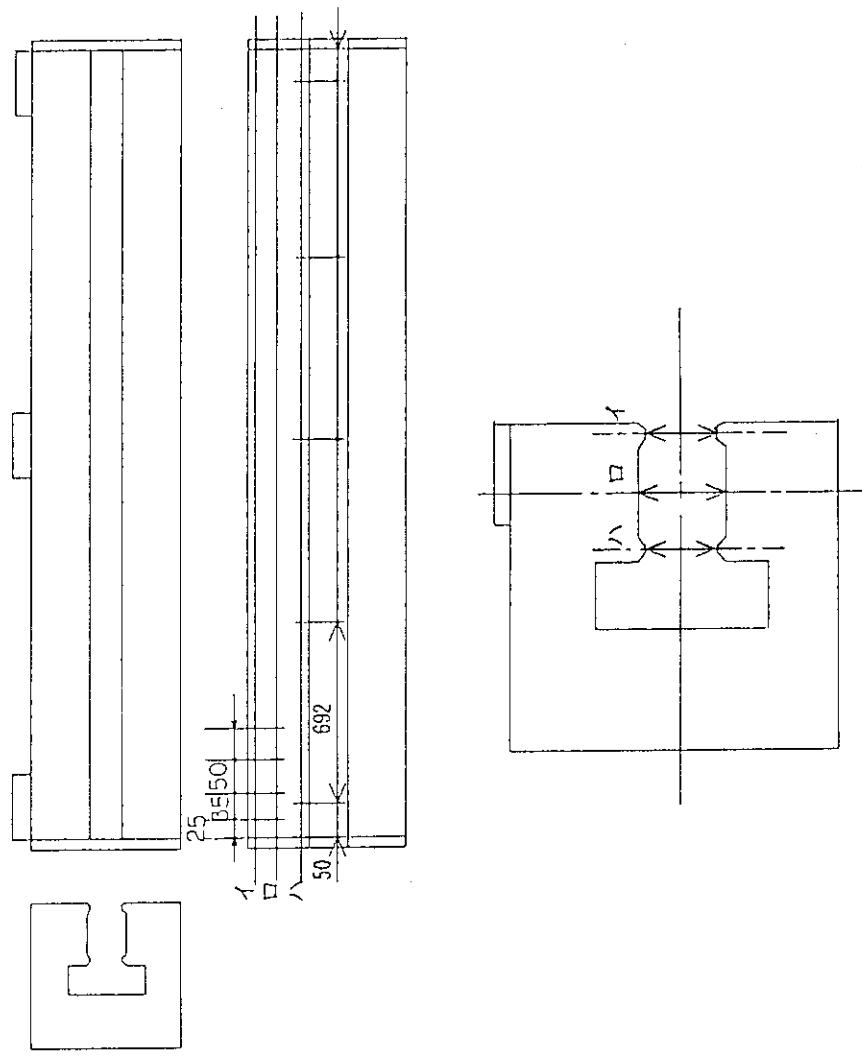
  

測定箇所	k		l		m	
	X座表	Y座表	X座表	Y座表	X座表	Y座表
基準寸法	140.000	22.000	145.000	22.000	150.000	27.000
上 領	140.000	22.000	145.005	21.995	150.010	27.000
下 領	140.000	22.000	145.000	22.000	150.010	27.005



元ストーダ 1.3 偏向電磁石磁極間寸法測定位置

1. 磁極寸法



## テスラーダ 1.4 偏向電磁石磁極間寸法測定

単位: mm

単位: mm

基準寸法:  $4.4 \pm 0.05$  (マイ)

測定箇所 5-7 箇所

測定箇所	1	2	3	4	5	6	7	8
測定箇所	44.120	44.140	44.120	44.110	44.150	44.150	44.150	44.160
実測値	44.150	44.140	44.130	44.120	44.100	44.120	44.140	

測定箇所	9	10	11	12	13	14	15	16
測定箇所	44.120	44.140	44.130	44.120	44.130	44.100	44.100	44.160
実測値	44.150	44.140	44.130	44.120	44.130	44.105	44.110	44.160

測定箇所	17	18	19	20	21	22	23	24
測定箇所	44.120	44.120	44.110	44.100	44.090	44.105	44.110	44.160
実測値	44.150	44.120	44.110	44.100	44.090	44.090	44.100	44.160

測定箇所	25	26	27	28	29	30	31	32
測定箇所	44.150	44.140	44.110	44.090	44.080	44.080	44.090	44.150
実測値	44.150	44.140	44.110	44.090	44.080	44.080	44.090	44.150

測定箇所	33	34	35	36	37	38	39	40
測定箇所	44.140	44.130	44.110	44.090	44.060	44.050	44.060	44.120
実測値	44.140	44.130	44.110	44.090	44.060	44.050	44.060	44.120

測定箇所	41	42	43	44	45	46	47	48
測定箇所	44.110	44.110	44.105	44.070	44.060	44.070	44.080	44.150
実測値	44.110	44.110	44.105	44.070	44.060	44.070	44.080	44.150

測定箇所	49	50	51	52	53	54	55	56
測定箇所	44.160	44.160	44.150	44.135	44.140	44.135	44.150	44.150
実測値	44.160	44.160	44.150	44.135	44.140	44.135	44.150	44.150

測定箇所	57
実測値	44.120

測定箇所	49	50	51	52	53	54	55	56
測定箇所	46.100	46.080	46.080	46.065	46.050	46.030	46.030	46.100
実測値	46.100	46.080	46.080	46.065	46.050	46.030	46.030	46.100

磁極間平行度 (最大磁極間寸法 - 最小磁極間寸法)

0.11

磁極間平行度 (最大磁極間寸法 - 最小磁極間寸法)

0.08

磁極間平行度 (最大磁極間寸法 - 最小磁極間寸法)

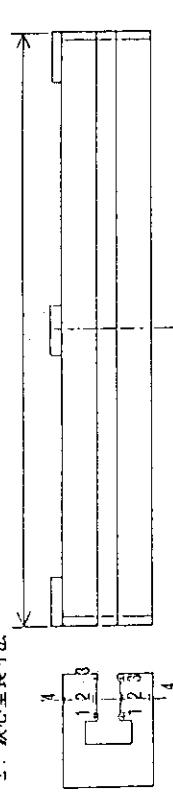
0.05

磁極間平行度 (最大磁極間寸法 - 最小磁極間寸法)

0.03

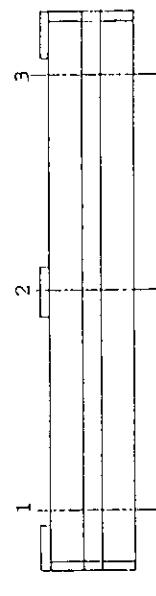
## テストデータ 1.5 偏向電磁石鉄心寸法精度測定

2. 鉄心全長寸法



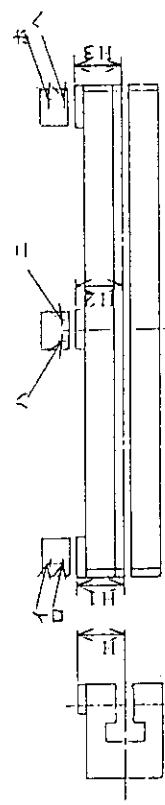
基準寸法 : $2920 \pm 0.5$ 単位 : mm			
	1	2	3
上表面	2919.90	2919.86	2919.65
下表面	2919.85	2919.78	2919.75

3. 磁極のずれ  
上下磁極  
のズレ



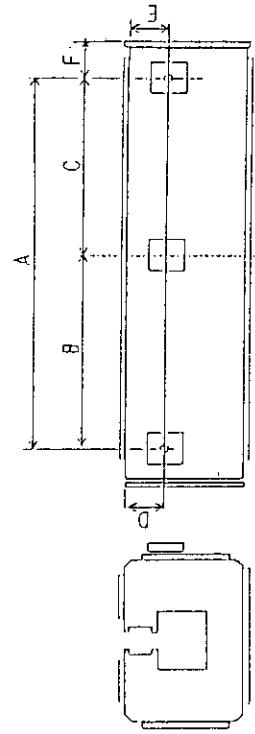
基準値 : 0.05 以下 単位 : mm		
	1	2
実測値	0	0.05
	0.02	

4. 磁心表面寸法



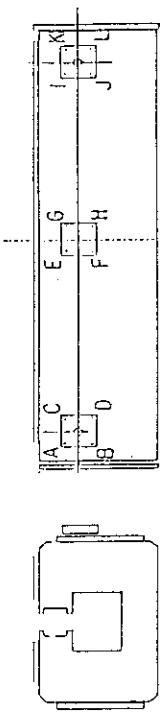
基準寸法 : $27.5 \pm 0.5$ 単位 : mm			
	H 1	H 2	H 3
実測値	275.050	275.040	275.020
	274.980	274.925	275.045

5. 基準穴位置寸法



基準寸法 : $2918.80$ 単位 : mm			
	A	B	C
測定箇所			
基準寸法	$2800 \pm 0.1$	$1400 \pm 0.1$	$1400 \pm 0.1$
実測値	2800.0	1400.0	1400.0

6. 基準面平面度



基準寸法 : $60.0$ 単位 : mm					
	A	B	C	D	E
測定箇所					
基準寸法	$+0.009$	$+0.001$	$+0.014$	$+0.004$	$+0.009$
実測値	-0.010	+0.005	0.030	+0.002	+0.009

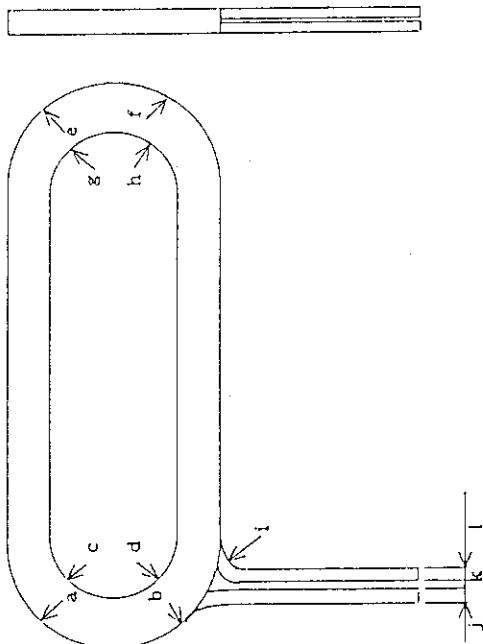
## テストデータ 1.6 偏向電磁石コイル寸法測定

JAERI-M 91-045

上コイル						
測定箇所	a	b	c	d	e	f
実測値	R165	R165	R45	R45	R145	R145
実測値	R45	R65	23	5	21	21

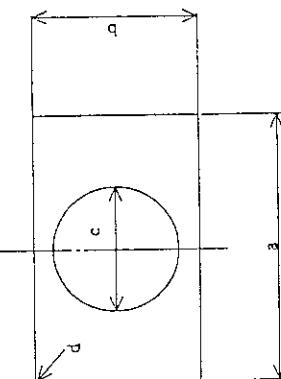
下コイル						
測定箇所	a	b	c	d	e	f
測定箇所	R165	R165	R45	R45	R145	R145
実測値	R45	R60	22	3	22	22

### 1. コイル寸法



### 2. ホロコン 断面寸法及び断面図

ホロコン						
測定箇所	a	b	c	d	e	f
測定箇所	R165	R160	R45	R45	R145	R145
実測値	R45	R60	22	3	22	22



ホロコン						
測定箇所	a	b	c	d	e	f
1	18.8	14.8	8.5	R2		
2	18.8	14.8	8.4	R2		
3	18.8	14.8	8.5	R2		
4	18.8	14.8	8.2	R2		

断面積 : 2. 1.8 cm<sup>2</sup>

## テストデータ 1.7 偏向電磁石コイル冷却水圧損測定他

## 1. 耐水圧試験 (コイル単体)

試験圧力: 1.5 kg/cm<sup>2</sup>

保持時間: 4時間

結果: 突形、漏れは認められませんでした。

## 2. リーク試験 (配管接続段)

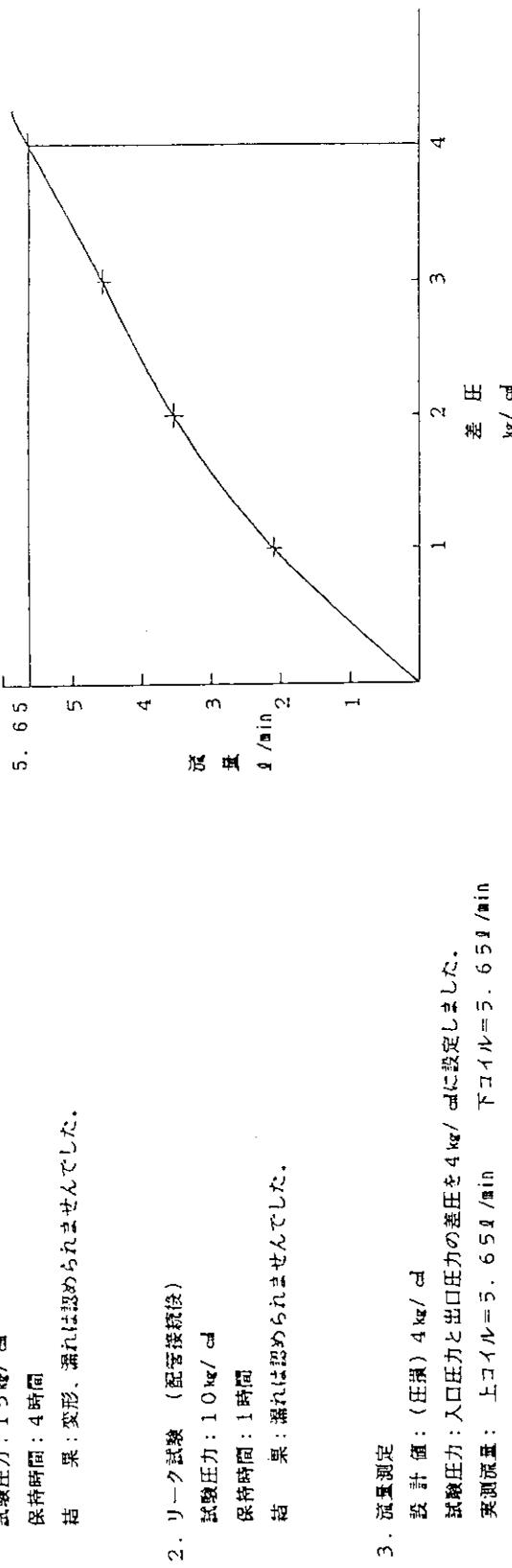
試験圧力: 1.0 kg/cm<sup>2</sup>

保持時間: 1時間

結果: 漏れは認められませんでした。

## 4. 圧力-流量特性曲線

1回路



## 3. 流量測定

設計値: (圧損) 4 kg/cm<sup>2</sup>試験圧力: 入口圧力と出口圧力の差圧を 4 kg/cm<sup>2</sup> に設定しました。

実測流量: 上コイル=5.65 l/min 下コイル=5.65 l/min

## テストデータ 1.8 偏向電磁石コイル性能テスト

## テストデータ 1.9 偏向電磁石重量検査

型 試 験 番 号	重 量 ( 29 ℃) [ Ω ]	インダクタンス ( A.C. kHz) [ μH ]	絶縁抵抗 [ MΩ ]	耐電圧試験 ( A.C. 500V) [ mA ]
9013004	0.01007	5.939	1000	1 分間 - 良

## 1. 磁心

設計値: 4380 kg

実測値: 4354 kg

## 2. コイル(上コイル、下コイル両方)

設計値: 280 kg

実測値: 282 kg

## 3. 架台

設計値: 550 kg

実測値: 548 kg

## 4. 磁石本体

設計値: 4850 kg

実測値: 4804 kg

## テストデータ 1.10 偏向電磁石使用鉄板ミルシート

検査証明書  
INSPECTION CERTIFICATE契約番号  
CONTRACT No.: 2155-17319発送会社  
SHIPPER: KAWASAKI CORPORATION販賣先  
BUYER: TOSHIBA CORPORATION,  
KEIHIN PRODUCT OPERATI品名規格  
NAME OF ARTICLE: NON-ORIENTED MAGNETIC STEEL請求書番号  
INVOICE No.: F2-4267年月日  
DATE: APRIL 27, 1990 030 432 1

川崎製鉄株式会社 水島製鐵所

KAWASAKI STEEL CORPORATION MIZUSHIMA WORKS

〒712 愛知県水島市川崎町1丁目

1, MIZUSHIMA KAWASAKI DORI, KURASHIKI, JAPAN

品名規格  
GRADE: #M23\*0請求書宛先番号  
ORDER No.: K2800H100寸法  
DIMENSIONS: 0.50 X 420 X001等級  
CLASS: 1  
密度  
DENSITY: 7.75 (KG/DM<sup>3</sup>) PAGE: 1 (No. OF ATTACHED SHEET: 1 - 11)

梱包 PACKAGE No.	検査番号 INSPECTION No.	重量 EACH CONTENTS	重量 NET WEIGHT KG	CORE LOSS W10/50 W/KG	CORE LOSS W15/50 W/KG	INDUC -TION 825	INDUC -TION 850
01-01	H04Q1142	1	2152	1.90	4.04	1.66	1.74
01-02	H04Q1143	1	2152	1.90	4.04	1.66	1.74
TOTAL		2	4304	G.TOTAL 4304 KG ( 2 PACKAGES)			

上記検査結果は規定の検査を行ないこれに合格したことを証明します。

即ち検定は JIS C 2550 によって行なわれました。

WE HEREBY CERTIFY THAT THE MATERIAL DESCRIBED  
HEREIN HAS BEEN SATISFACTORILY TESTED IN ACCORDA-  
NCE WITH THE SPECIFICATION.NOTE1. MEASUREMENTS HAVE BEEN MADE IN ACCORDANCE  
WITH THE METHOD JIS C 2550.NOTE2. EXAMPLE.. W15/50 INDICATES THE CORE LOSS AT  
1.5T AND 50HZ. 850 INDICATES THE INDUCTION  
AT THE MAGNETIZING FORCE OF 5000A/M*A. Tomaru*  
MANAGER OF INSPECTION SECTION

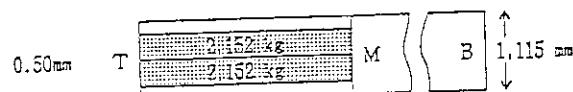
## テストデータ 1.11 偏向電磁石使用鉄板磁気特性データ

試験結果の磁気特性データ、分析データ

## 1. 対象約定 (接番、寸法、重量)

約定	接番	寸法 (mm)	重量 (kg)
2155-17319	H0401142	0.50×420	2,152
	H0401143	"	"

&lt;元コイルの位置&gt;



## 2. 磁気特性

板厚 (mm)	接 番	密度 (kg/dm <sup>3</sup> )	鉄損 (W/kg)		磁束密度 (T)		保持力Hc15 (A/m)		
			W10/50	W15/50	B25	B50	L	C	L+C
0.50	T	7.75	1.90	4.04	1.66	1.74	60.0	71.0	66.0
	M	"	1.90	4.02	1.66	1.74	62.5	72.0	66.0
	B	"	1.90	4.02	1.66	1.74	—	—	—

## 3. 古銹率 (%)

板厚 (mm)	位 置	
	T	M
0.50	99.5	99.5

## テストデータ 1.12 偏向電磁石磁場測定要領

### シンクロトロン用 R & D 偏向電磁石磁場測定要領

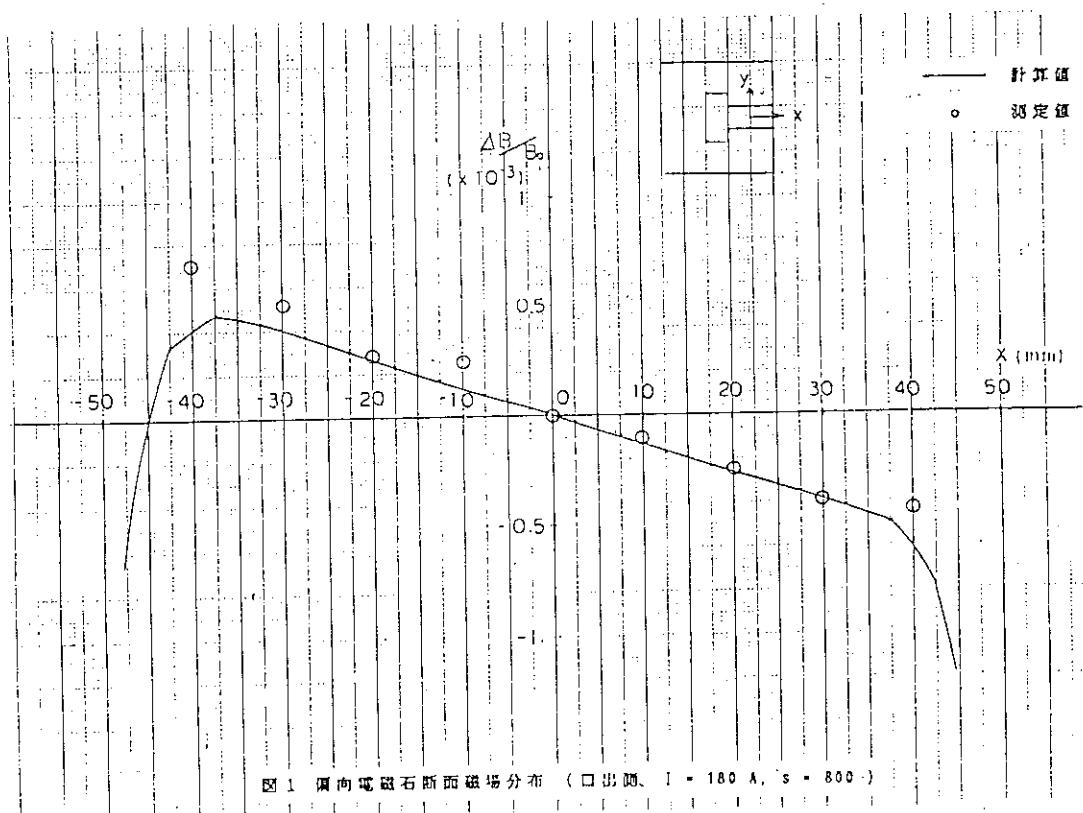
1. 目的
  - ( 1 ) 断面磁場及びビーム軸に沿った磁場の均一度の測定。  
ただし、1556 A まで測定できる高精度電源を所有していないため、フル  
励磁での試験は実施致しておりません。
  - ( 2 ) 三次元磁場測定装置を使用。
  - ( 3 ) ホール素子にて測定。（マッピング）  
ホール素子：東芝高感度ガリウムひ素ホールセンサ
  - ( 4 ) 磁場の絶対値は NMR にて測定。
2. 測定装置
  - ( 1 ) ホール素子にて測定。（マッピング）  
ホール素子：東芝高感度ガリウムひ素ホールセンサ
  - ( 2 ) 磁場の絶対値は NMR にて測定。
  - ( 3 ) 温度コントロール： 土 0.1 ℃
  - ( 4 ) 電源
    - 磁場測定用電源定格： 600 A - 30 V
    - 電源の安定度 土 0.01 % at 600 A
3. 電磁石初期化
 

0 - 600 A の上げ下げを 3 回行い初期化。

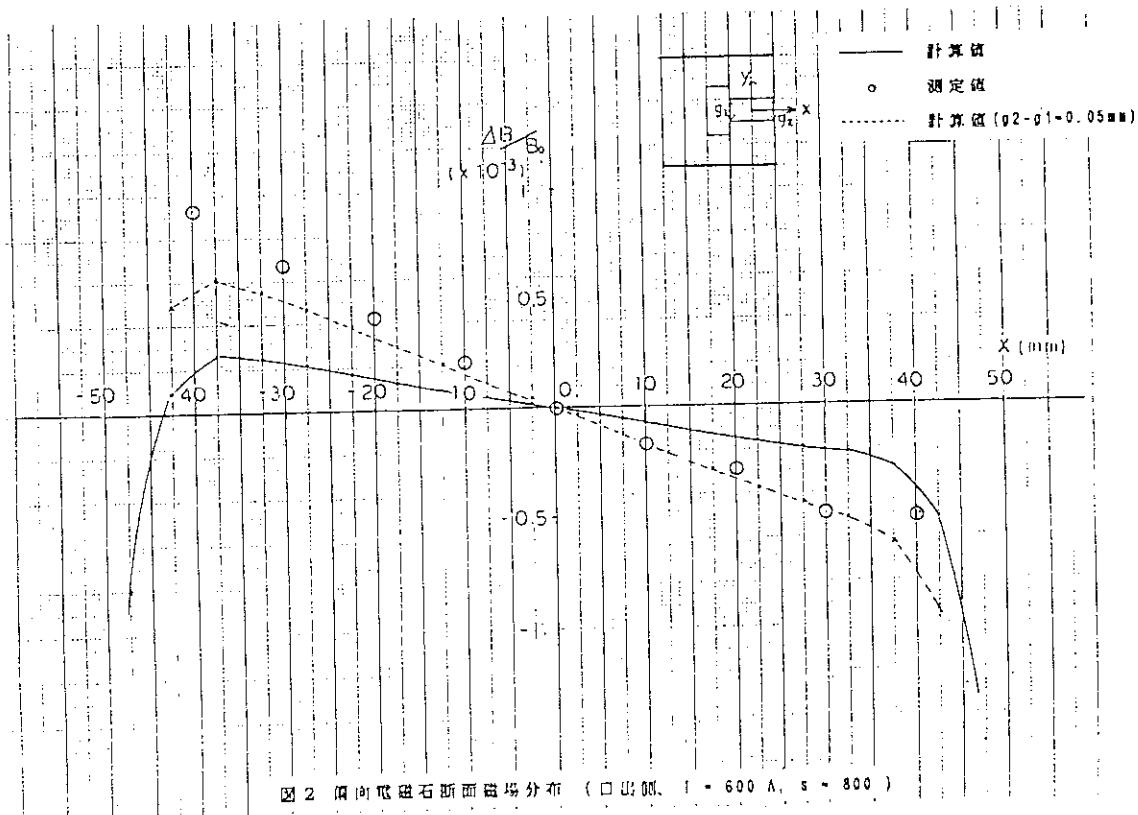
初期化                    测定
4. 測定内容
  - ( 1 ) 座標系
  - ( 2 ) 3 次元ステージ
5. 測定精度
  - ( 1 ) 磁場測定（マッピング）
 

$I = 600 \text{ A} (\approx 0.325 \text{ T})$  で  
 $a_{\text{few}} \times 10^{-4}$  程度
  - ( 2 ) ホール素子の電磁石に対する位置精度（ $\approx 0.5 \text{ mm}$  程度）

テストデータ 1.13 偏向電磁石磁場分布測定データ(1)



テストデータ 1.14 偏向電磁石磁場分布測定データ(2)



## テストデータ 1.15 偏向電磁石磁場分布測定データ(3)

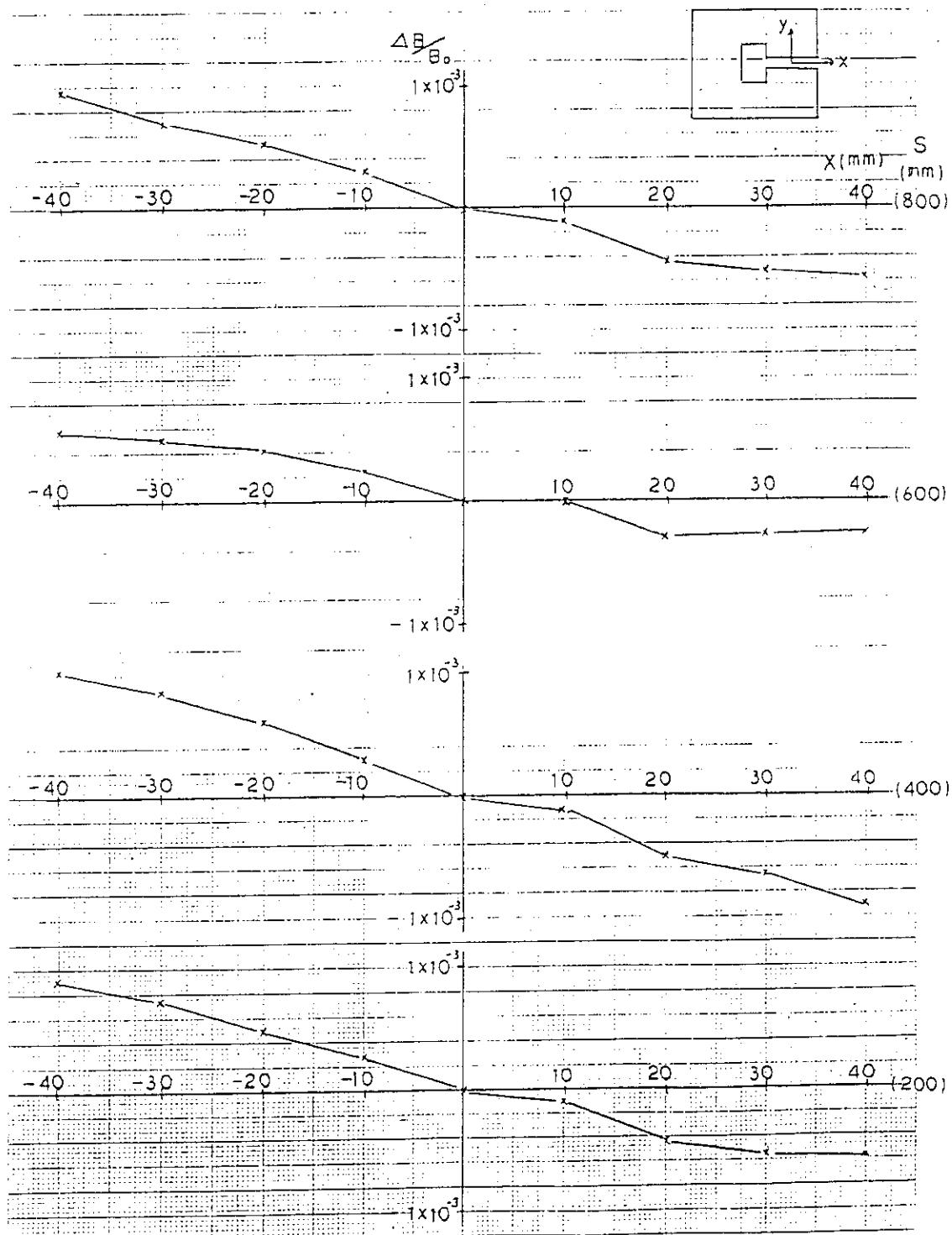
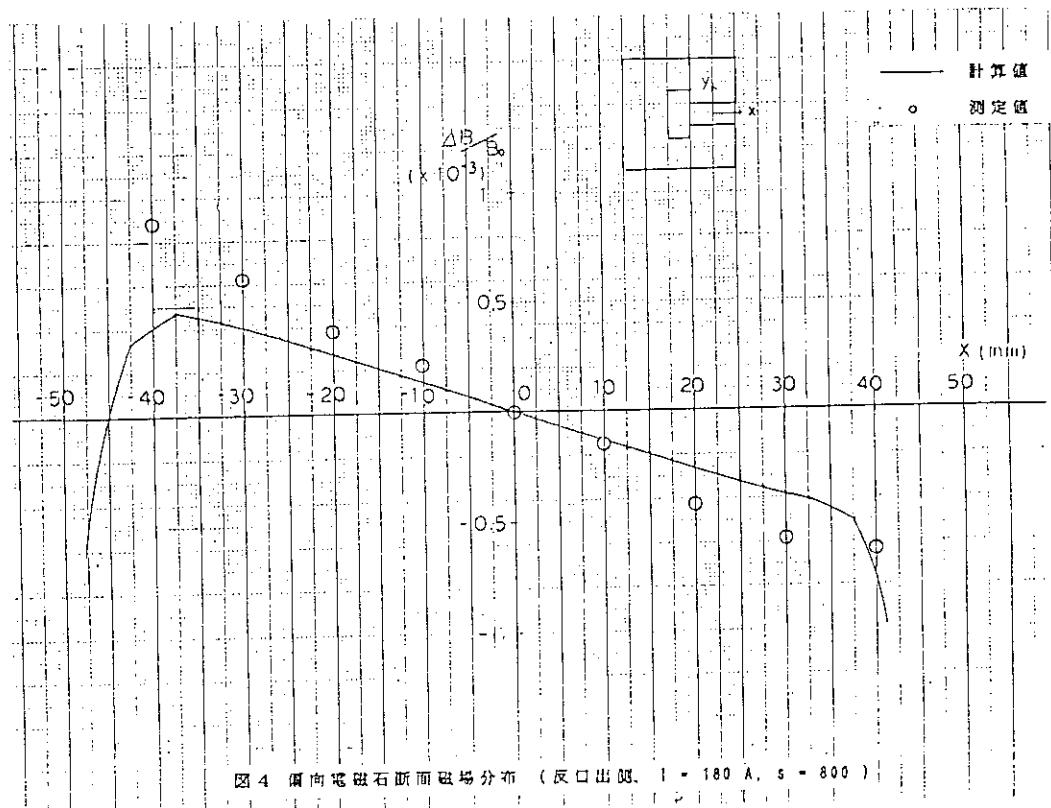
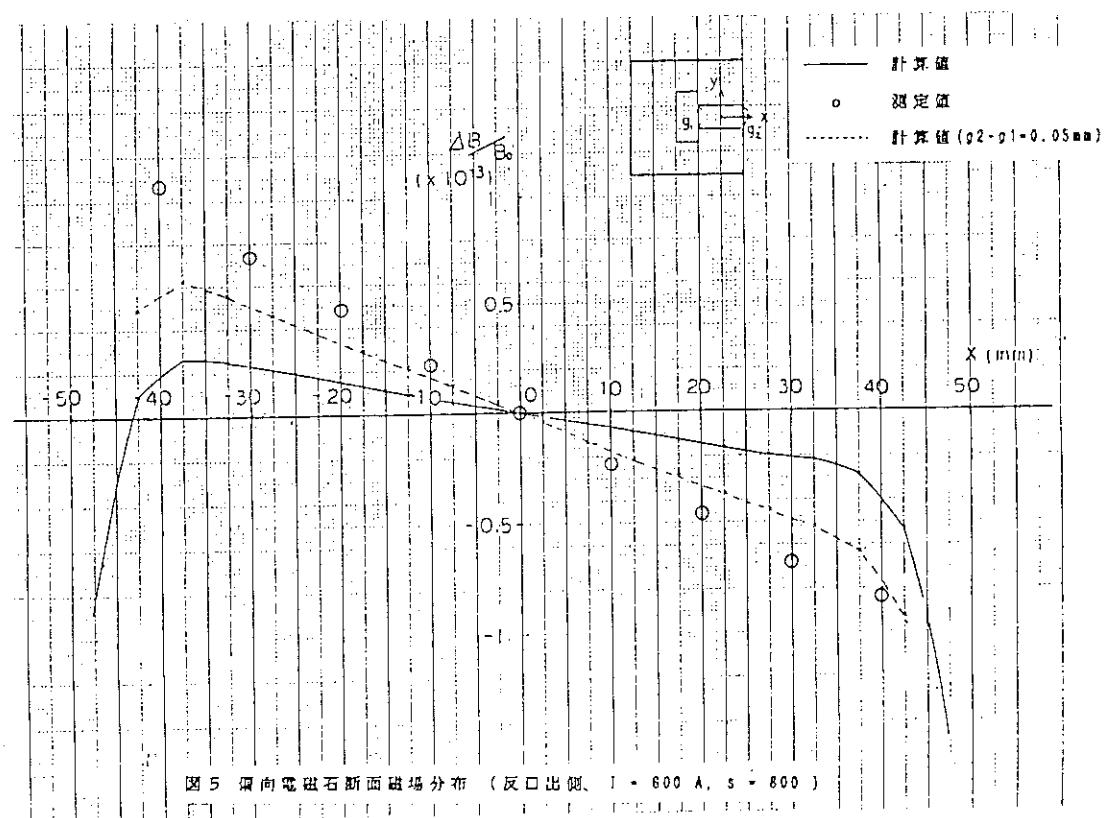


図3 偏向電磁石断面磁場分布 (口出側、I = 600 A, s = 200ピッチ) -7-

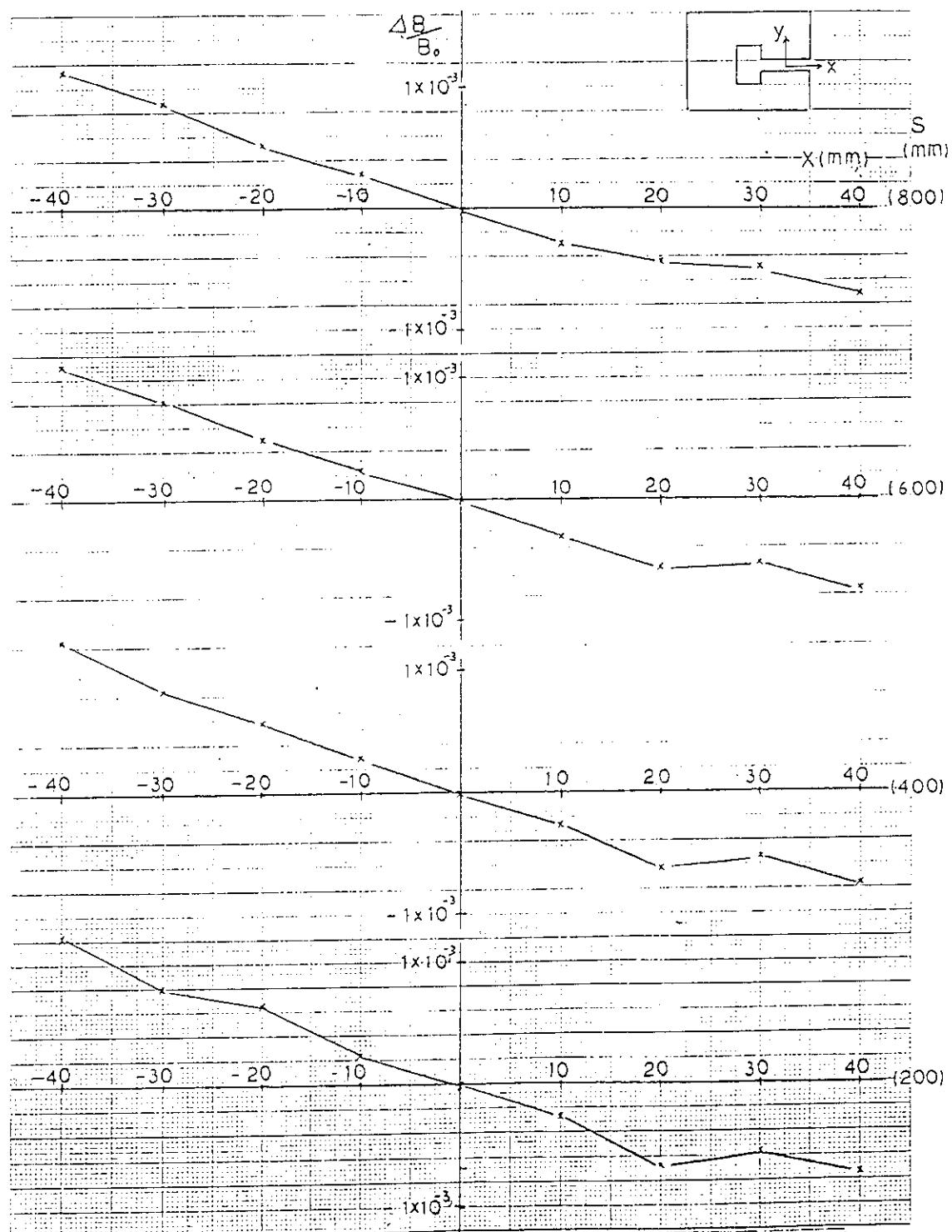
テストデータ 1.16 偏向電磁石磁場分布測定データ(4)



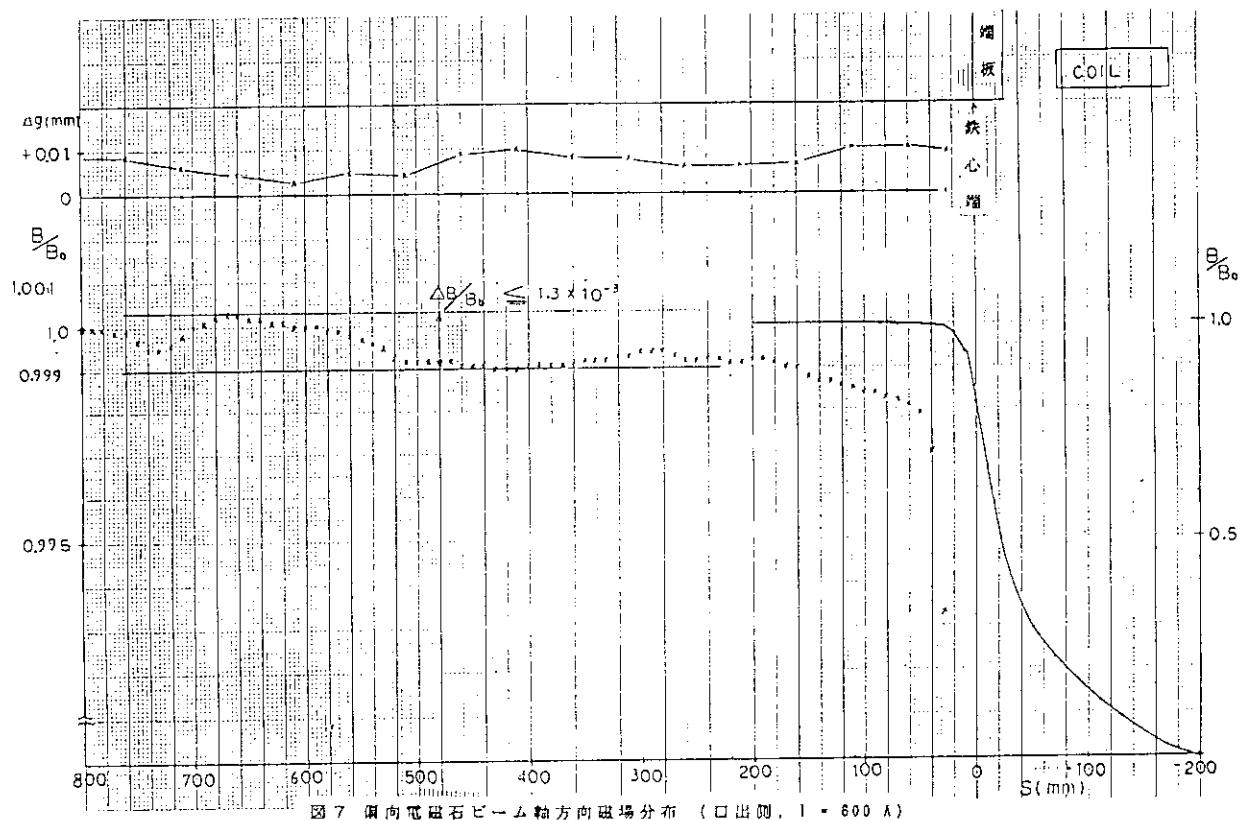
テストデータ 1.17 偏向電磁石磁場分布測定データ(5)



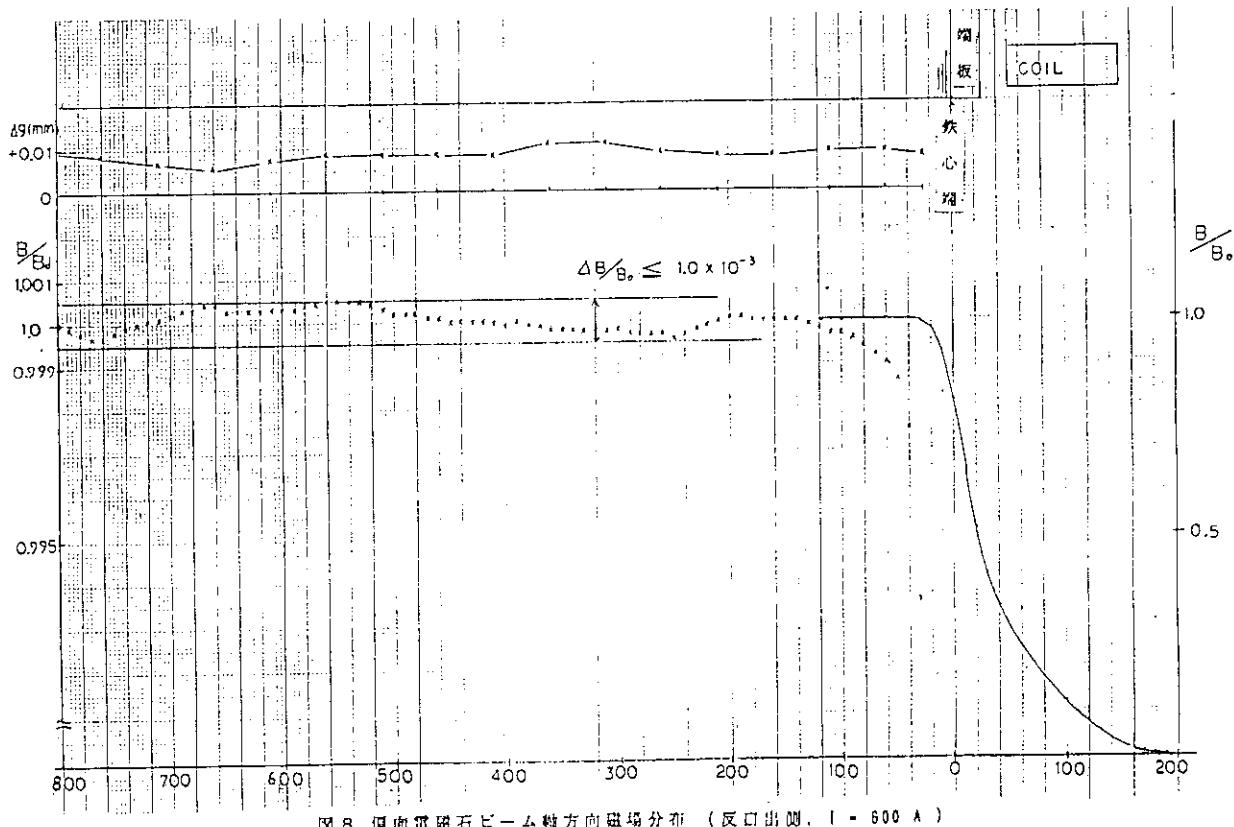
## テストデータ 1.18 偏向電磁石磁場分布測定データ(6)

図 6 偏向電磁石断面磁場分布 (反口出側、 $I = 600$  A,  $s = 200$  ピッチ) | -10 -

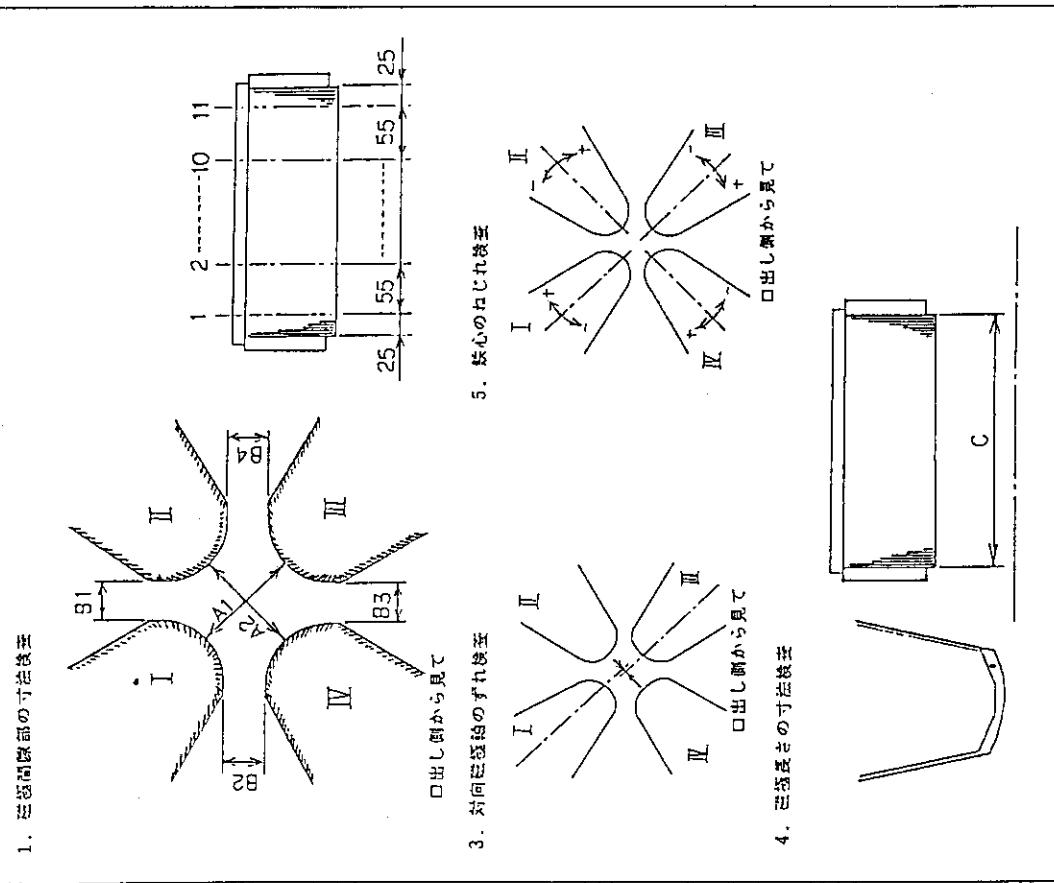
テストデータ 1.19 偏向電磁石磁場分布測定データ(7)



テストデータ 1.20 偏向電磁石磁場分布測定データ(8)



テストデータ 2.1 四極電磁石磁極寸法精度測定(1)



1. 磁極間隙部の寸法検査 (分割直現性を含む)

(1) 直立後

符号	A1	A2	B1	B2	B3	B4
設計値	$\phi 80$					
公差	$\pm 0.05$					
1	-0.02	0	+0.02	-0.02	-0.02	-0.03
2	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.02	-0.02
3	0	+0.02	+0.02	-0.02	+0.02	-0.01
4	0	-0.02	0	-0.01	-0.03	+0.02
5	-0.02	-0.03	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
6	+0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
7	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	-0.03	-0.01
8	-0.02	-0.03	0	-0.01	-0.02	0
9	+0.03	+0.02	+0.02	+0.01	+0.01	+0.01
10	+0.01	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	+0.02
11	0	-0.01	+0.01	-0.03	-0.02	-0.02

単位 : mm

(2) 分割直現後

符号	A1	A2	B1	B2	B3	B4
設計値	$\phi 80$					
公差	$\pm 0.05$					
1	-0.02	+0.01	+0.01	-0.02	-0.03	-0.03
2	-0.03	-0.01	-0.01	-0.02	-0.03	-0.02
3	0	+0.02	+0.01	-0.02	+0.02	-0.01
4	0	-0.02	-0.01	-0.02	-0.03	+0.02
5	-0.02	-0.03	-0.03	-0.02	-0.03	-0.01
6	+0.02	-0.02	-0.01	-0.01	-0.02	-0.01
7	-0.02	-0.02	-0.01	0	-0.02	-0.01
8	-0.02	-0.02	+0.01	+0.01	-0.02	0
9	+0.02	-0.01	+0.01	+0.01	0	0
10	0	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02	-0.02
11	+0.01	-0.02	+0.01	-0.02	-0.02	-0.02

単位 : mm

テストデータ 2.2 四極電磁石磁極寸法精度測定(2)

2. 磁極間隙部の平行度検査

行号	A1	A2	B1	B2	B3	B4
設計値	0.05以内					
実測値	0.05	0.05	0.04	0.03	0.05	0.05

3. 外寸向磁極軸の直され検査

行号	I - III	II - IV
設計値	0.03以内	
1	0.01	0
2	0.01	0.02
3	0.02	0.01
4	0.03	0.02
5	0	0.03
6	0.01	0.01
7	0.02	0
8	0.01	0.01
9	0	0
10	0	0.01
11	0	0

4. 磁極長さの寸法検査(C)

行号	I	II	III	IV
設計値		570		
公差		± 0.50		
実測値	- 0.12	- 0.24	- 0.25	- 0.23

5. 緒心のねじれ検査

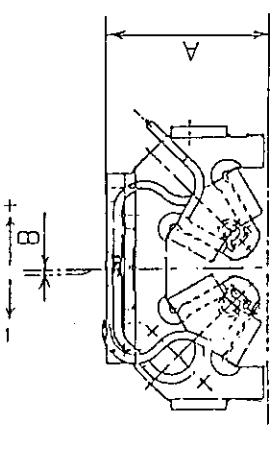
単位 :  $1 \times 10^{-3}$ , rad

行号	I	II	III	IV
設計値	1			
1	0	0	0	0
2	0	-0.18	-0.27	-0.27
3	-0.18	0	-0.36	-0.36
4	-0.73	-0.36	-0.27	-0.55
5	-0.27	-0.18	-0.18	-0.73
6	-0.27	-0.09	-0.09	-0.36
7	-0.36	-0.18	0	-0.18
8	-0.18	-0.27	0	-0.09
9	-0.09	-0.18	0	-0.09
10	+0.13	0	-0.13	-0.18
11	+0.13	+0.13	-0.99	-0.13

## テストデータ 2.3 四極電磁石測量基準面寸法精度測定

## テストデータ 2.4 四極電磁石外形寸法記録

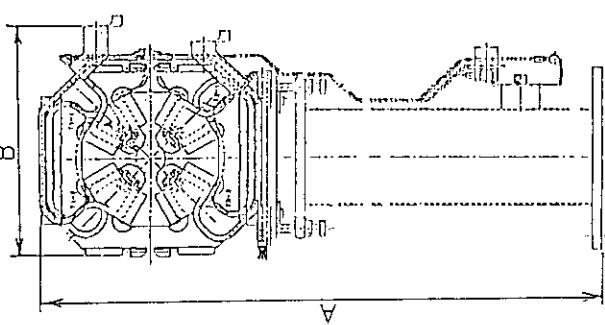
6. 基準面及び一辺定位寸法検査



単位 : mm

行 号	A	B	C	D
設計値	292	0	420	100
公 差	± 0.01	± 0.01	± 0.01	± 0.10
1	+0.006	-0.010	+0.006	+0.021
2	+0.006	-0.010	—	—

7. 外形寸法検査



単位 : mm

行 号	A	B	C
設計値	1500	630	685.5
公 差	± 10.0	± 10.0	± 1.0
実 測	- 5.0	± 4.0	- 0.5
ミ デル	+ 8.0	± 5.0	- 5.0

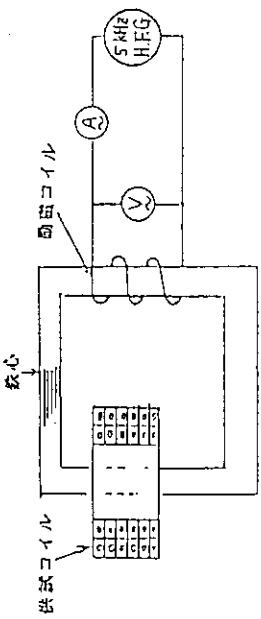
テストデータ 2.5 四極電磁石性能テスト一覧表

(1) ターン間隔計測	5000Vの高周波電源を用いてコイル1ターン当たり20Vの電圧をもつ間隔を測定する。他の形状の有無を確認する。	判定基準 ターン間隔が 既定電圧に達し、 すること。 結果 良 (添付記録-1参照)	(7) 冷却水回路の 流量計測	冷却水回路に設計定格流量の±5%を設し、 その時の圧力損失を測定する。 又、参考記録として、1.2.3.4 t/minの 圧力損失も測定する。	測定値 +20%以下である こと。 設計値: 4.5 kg/cm <sup>2</sup> aL 4.11 t/min (at 50 °C)  結果 良 (添付記録-4参照) (即立会時:結果 良)	設計値に対して+10% +20%以下である こと。
(2) 电压計測	500Vメガーを用いて、次の3点の电压計測を 測定する。 ①主コイルとヨーク間 ②温度スイッチとヨーク間 ③主コイルと温度スイッチ間 測定は既定電圧の前後で水洗した 状態で実施する。	1.0 MΩ以上  温度計測とヨーク間: 1000MΩ以上 主コイルと温度スイッチ間: 1000MΩ以上  結果 良  (即立会時:全て 1000MΩ以上)	図 B-1 (付仕様書)	冷却水回路(8mm)に示すWの位置にホース 端子をセットし、垂直方向出湯角度(θ)の 風阻を測定する。  ホール素子は、初期したものと交換して 修正しておく。  測定は既め冷却石を初期化した後(0A)から 冷却石の最大電流の約105%(1000A)まで 行い、点刻129点とする。	参考値  (添付記録-5参照)	
(3) 電圧計測	主コイルとヨーク間に、AC1.9kVを60秒間 印加して対地絶縁の異常の有無を確認する。	試験電圧に耐え ること。 結果 良 (即立会時:結果 良)				
(4) コイル抵抗計測	主コイルが常温の状態の時に、電圧・電流 計法により主コイルの抵抗を測定する。 測定した抵抗値を75°Cに換算する。	試験電圧との 差が±10%以内 であること。 測定値 13.75Ω (at 75°C)  結果 良	14.5 mΩ(at 75°C)			
(5) インダクタンス計測	オシレータを用いて主コイルのインダクタンス を測定する。 測定回数は、10, 20, 30, 40, 50, 60, 100 回 で行う。	参考値  (添付記録-3参照)				
(6) 壓力計測	冷却水回路を10kg/cm <sup>2</sup> の水圧で、10分間 で行う。 冷却水回路を10kg/cm <sup>2</sup> の水圧で、10分間 加圧して冷却水回路に異常がないこと。	水漏れ、冷却水 ホースの異常変 形がないこと。 結果 良				

テストデータ 2.6 四極電磁石コイル性能テスト (1)

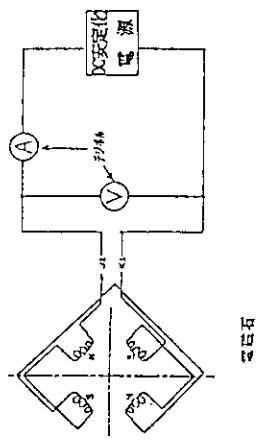
ターン-開关闭路試験装置

(1) 試式回路図



コイル抵抗試験

(1) 試式回路図



(2) 試式回路図

印加電圧 20V/タップ	印加時間 5秒	結果 長
-----------------	------------	---------

(2) 試式回路図

端子記号	計算値 (Ω) (75°C)	電圧 (mV) (75°C)	電流 (A) (75°C)	抵抗値 (Ω) (32°C)	結果 (75°C)	備考
J 1, K 1	0.01375	12.5	1.0	0.0125	0.0145	良

測定器名——DC安定化電源

電圧計——デジタルボルトメータ

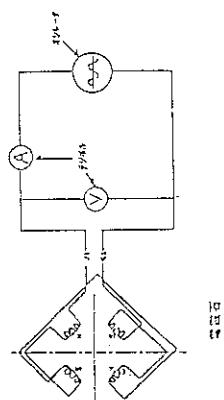
電流計——デジタルボルトメータ

## テストデータ 2.7 四極電磁石コイル性能テスト (2)

## 結果記録一覧

## インダクタンス計測

(1) 互いに直角回路図



(2) 試験の実施手順

コイル区分	周波数 (Hz)	電圧 (V)	電流 (mA)	インピーダンス (Ω)	抵抗値 (Ω)	インダクタンス (H)
三コイル	10	12.52	5.24	2.3446	0.0125	37.3
n	20	12.64	4.79	2.6388	n	21.0
n	30	12.32	4.67	2.7452	n	14.6
n	40	13.10	4.62	2.8355	n	11.3
n	50	13.52	4.59	2.9455	n	9.4
n	60	13.30	4.58	3.0131	n	8.0
n	100	16.13	4.57	3.5295	n	5.6

測定番号——周波数発振器(オシレータ)

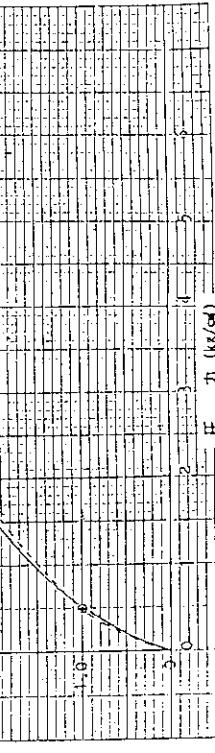
電圧——デジタルボルトメータ

電流——デジタルボルトメータ



x: 鋼立金時の圧

(4.1 kg/cm²)時の圧



x: 鋼立金時の圧

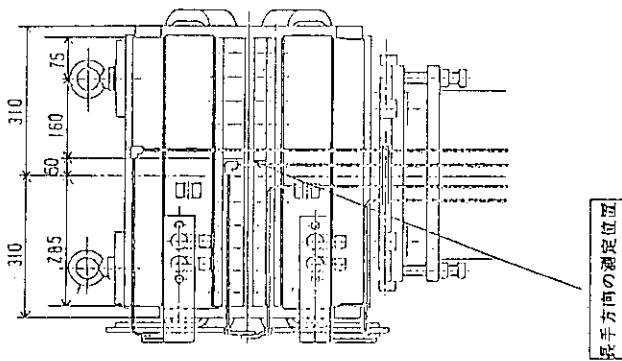
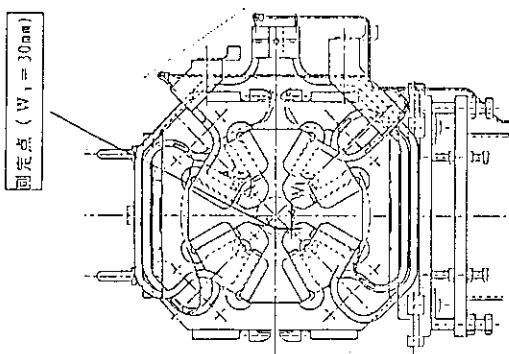
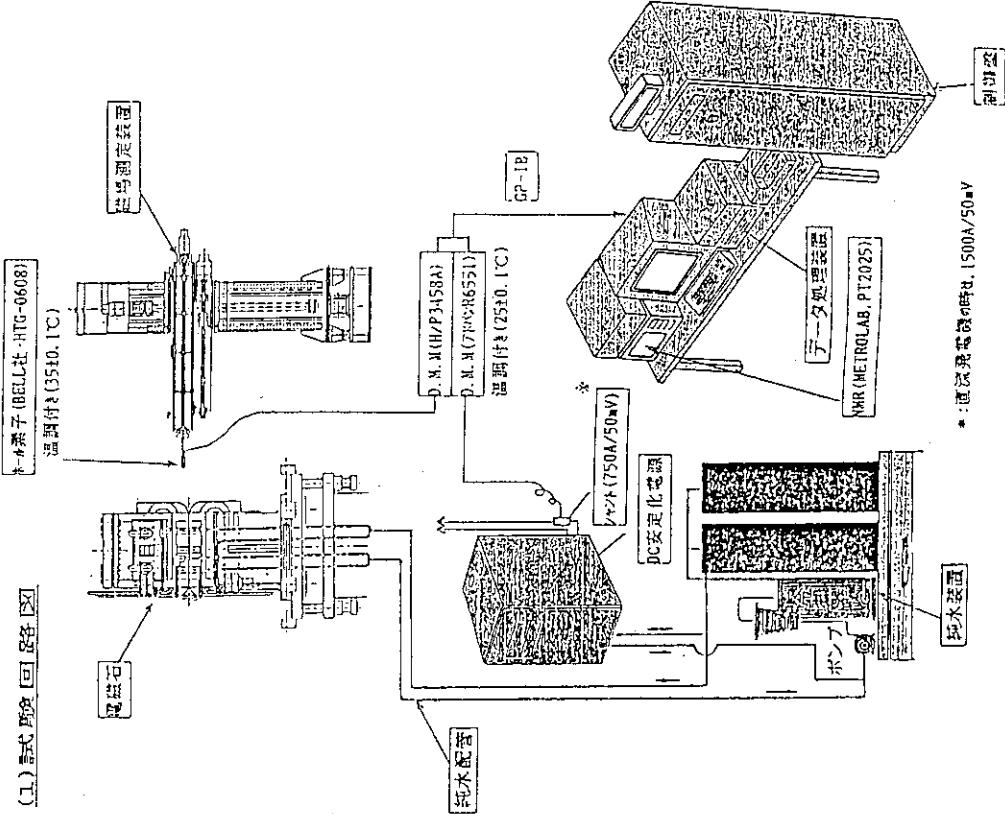
(4.1 kg/cm²)時の圧

試験結果	試験項目	合計		回路 A		回路 B		回路 C		回路 D	
		水	油	水	油	水	油	水	油	水	油
電圧	電圧 (V)	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09	10.09
電流	電流 (mA)	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55
電力	電力 (W)	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64	1.64
電流記録	電流記録 (mA)	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56	0.56
電流電圧	電流電圧 (V·A)	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92	5.92
水温	水温 (°C)	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28

テストデータ 2.8 四極電磁石磁場測定(B-I特性)回路と測定場所

B—I特性試験

B—I特性試験



## テストデータ 2.9 四極電磁石 B-I 特性データ(1)

使用電源：600 A 直流安定化電源

===== B-I CHARACTERISTIC TEST =====  
FILE NAME : 072406 DATE : 25 Jul 1990

NUMBER	CURRENT:(A)	-- MAG.FIELD INTENSITY --	
		HALL PROBE:(T)	NMR:(T)
1	.0	.000711	*****
2	75.195	.039020	*****
3	150.463	.077731	*****
4	225.719	.116584	*****
5	300.975	.155495	*****
6	376.244	.194384	*****
7	451.518	.233223	*****
8	526.798	.271994	*****
9	602.130	.310767	*****
10	526.827	.272767	*****
11	451.547	.234181	*****
12	376.261	.195383	*****
13	300.991	.156494	*****
14	225.725	.117555	*****
15	150.457	.078596	*****
16	-75.192	.039632	*****
17	.0	.000721	*****

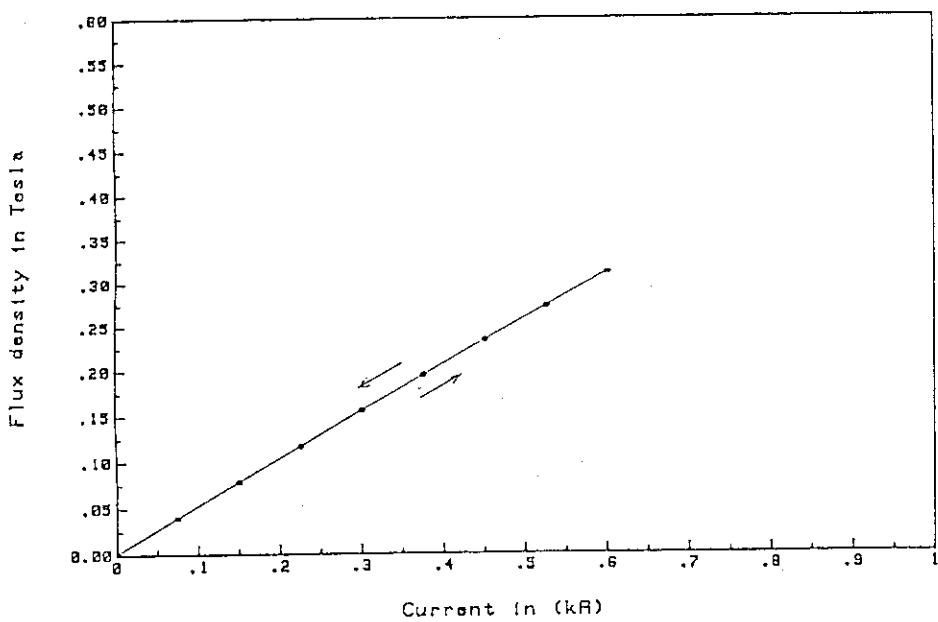
## B-I Characteristic

HAG.Nom 1

FILE NAME : 072406

DATE : 25 Jul 1990

使用電源：600 A 直流安定化電源



## テストデータ 2.10 四極電磁石 B-I特性データ(2)

使用電源：直流発電機

===== B-I CHARACTERISTIC TEST =====  
FILE NAME : 072407 DATE : 25 Jul 1990

NUMBER	CURRENT:(A)	-- MAG.FIELD INTENSITY --	
		HALL PROBE:(T)	NMR:(T)
1	.0	.000842	*****
2	79.914	.042100	*****
3	153.387	.080338	*****
4	234.375	.122903	*****
5	307.431	.161014	*****
6	379.827	.199181	*****
7	449.829	.235800	*****
8	534.816	.280372	*****
9	601.959	.315565	*****
10	684.927	.352839	*****
11	744.714	.389976	*****
12	819.006	.428317	*****
13	896.214	.468287	*****
14	958.023	.498544	*****
15	997.614	.517615	*****
16	947.490	.494425	*****
17	899.496	.470997	*****
18	830.901	.435903	*****
19	746.433	.392158	*****
20	674.307	.354402	*****
21	595.545	.313359	*****
22	523.920	.275596	*****
23	448.242	.236029	*****
24	375.882	.197951	*****
25	303.222	.159626	*****
26	229.476	.121231	*****
27	153.357	.081343	*****
28	72.780	.039111	*****
29	.0	.000851	*****

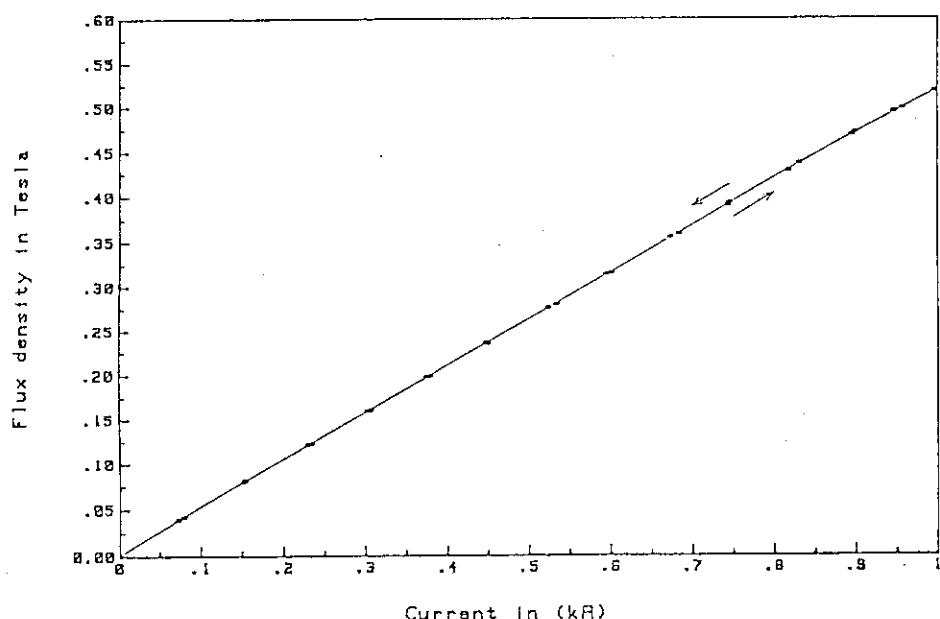
B-I Characteristic

MAG.No= 1

FILE NAME : 072407

DATE : 25 Jul 1990

使用電源：直流発電機



## テストデータ 2.11 ホール素子校正記録

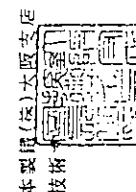
```

===== CALIBRATION DATA CHECK =====
FILE=CAL004 シスウ= 11
      NMR      HALL PROBE    CALIB. DATA    コサ
  0.0000000  .0000517  -.0000532  .0000532
  .7023833  .5404399  .7023834  -.0000001
  .6769436  .5205772  .6769402  .0000034
  .6513857  .5006557  .6513945  -.0000088
  .6257921  .4806933  .6257797  .0000124
  .6006119  .4611071  .6006335  -.0000216
  .5742798  .4405842  .5742685  .0000113
  .5488206  .4207730  .5487991  .0000216
  .5247218  .4020590  .5247205  .0000013
  .4991633  .3822285  .4991815  -.0000182
  .4758626  .3641533  .4758795  -.0000169
  .4497907  .3439417  .4497946  -.0000039
  .4249167  .3246841  .4249107  .0000060
  .3993561  .3049181  .3993369  .0000192
  .3763539  .2871712  .3763457  .0000082
  .3501120  .2669513  .3501139  -.0000019
  .3251097  .2477126  .3251166  -.0000069
  .3003826  .2287162  .3003953  -.0000127
  .2752711  .2094367  .2752648  .0000063
  .2501465  .1901969  .2501433  .0000032
  .2256808  .1714906  .2256774  .0000034
  .2256787  .1714936  .2256813  -.0000026
  .1992849  .1513439  .1992823  .0000026
  .1768177  .1342284  .1768228  -.0000050
  .1504040  .1141311  .1504110  -.0000071
  .1243991  .0943635  .1243947  .0000044
  .1015663  .0770385  .1015664  -0.0000000
  .0749865  .0568863  .0749870  -.0000005
  .0591113  .0448662  .0591234  -.0000121
  .0419039  .0318282  .0419101  -.0000063
  -.0427228  -.0322631  -.0427127  -.0000101
  -.0586234  -.0443176  -.0586147  -.0000087
  -.0748897  -.0566552  -.0748805  -.0000092
  -.1013674  -.0767565  -.1013562  -.0000112
  -.1494798  -.1133667  -.1494737  -.0000061
  -.1753042  -.1338295  -.1753006  -.0000036
  -.2008050  -.1525649  -.2008156  .0000105
  -.2256153  -.1715610  -.2256240  .0000087
  -.2520386  -.1918277  -.2520379  -.0000006
  -.2774963  -.2114112  -.2775090  .0000126
  -.2991977  -.2281122  -.2991911  -.0000067
  -.3273314  -.2498258  -.3273283  -.0000031
  -.3533309  -.2699235  -.3533213  -.0000096
  -.3985259  -.3049661  -.3985361  .0000102
  -.4247902  -.3253508  -.4247809  -.0000093
  -.4510991  -.3458270  -.4511050  .0000059
  -.4763601  -.3655015  -.4763646  .0000045
  -.4983269  -.3826180  -.4983154  -.0000115
  -.5245456  -.4030820  -.5245314  -.0000141
  -.5507439  -.4235843  -.5507697  .0000258
  -.5769150  -.4440388  -.5769235  .0000085
  -.6017790  -.4634870  -.6017725  -.0000064
  -.6256273  -.4821540  -.6256088  -.0000185
  -.6517366  -.5026313  -.6517407  .0000041
  -.6759111  -.5215945  -.6759212  .0000100
  -.7009860  -.5412733  -.7009819  -.0000041

```

テストデータ 2.12 四極電磁石使用鉄板特性データ

- 平成2年2月15日



50 H 600 (FR)			4号方程式式遮断方式試験		
---------------	--	--	--------------	--	--

(1)試料採取位置

熱延~退火焼純 単位コイル (約2.5t)		
43-0768-00		
-112	-113	-114

B		
A		

(2)測定項目

- ①誘導 (Hc/50)、磁束密度(B50)、保磁力(Hc-15) / L, C, L+C ..... A, B, C
- ②直流磁化曲線および測定値 / L, C, L+C ..... A, C
- ③直流ヒステリシス曲線 / L, C, L+C ..... A, C

(3)基本特性一覧

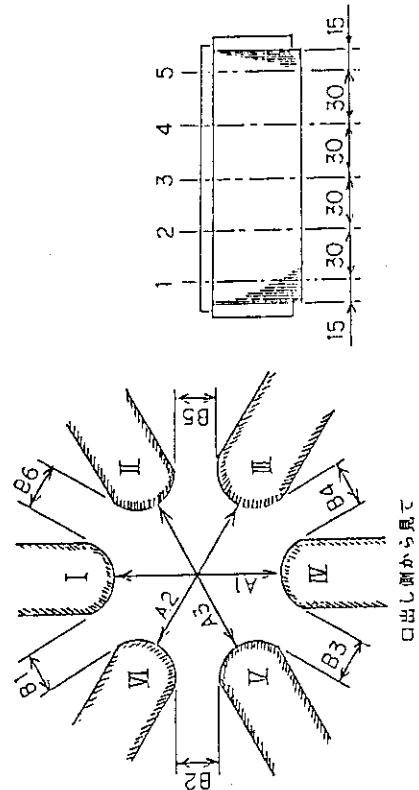
コイルNo	W15/50 (W/kg)	磁気特性						Hc-15 (Oe)
		L	C	L+C	L	C	L+C	
A	3.88	4.47	4.17	1.71	1.65	1.68	0.66	0.90
B	3.92	4.56	4.23	1.71	1.65	1.68	0.68	0.94
C	3.97	4.57	4.27	1.71	1.65	1.68	0.69	0.98

ロットNo.	43-0768-00			A			43-0768-00			C		
	H (A/m)	L	C	L+C	L	C	L+C	L	C	L+C	L	C
5	100	60	70	100	110	100	70	70	70	80	70	90
7	120	60	90	120	160	110	70	70	70	110	70	110
10	170	70	1200	170	310	130	1200	180	180	2600	1200	2600
13	280	120	280	460	460	460	490	490	490	720	430	1260
20	480	170	320	4090	4090	4090	4930	4930	4930	3290	1430	2990
30	970	320	490	10040	10040	10040	1320	1320	1320	1190	720	6950
50	4630	760	102240	102240	102240	102240	112660	112660	112660	112520	112520	112520
70	10350	1630	13780	13780	13780	13780	112660	112660	112660	112560	112560	112560
100	12290	12290	1014380	1014380	1014380	1014380	112660	112660	112660	13920	13920	14470
150	13350	13350	1014380	1014380	1014380	1014380	112660	112660	112660	14840	14840	14840
200	12870	12870	1014380	1014380	1014380	1014380	112660	112660	112660	14830	14830	14830
300	14380	14380	1014380	1014380	1014380	1014380	112660	112660	112660	15340	15340	15340
500	14900	14900	13990	13990	13990	13990	112660	112660	112660	15220	15220	15220
700	15210	15210	14450	14450	14450	14450	112660	112660	112660	14420	14420	14420
1000	15510	15510	14830	14830	14830	14830	112660	112660	112660	14830	14830	14830
1500	15940	15940	15520	15520	15520	15520	112660	112660	112660	15340	15340	15340
2500	16350	16350	15750	15750	15750	15750	112660	112660	112660	15790	15790	15790
5000	17200	17200	16630	16630	16630	16630	112660	112660	112660	16660	16660	16660
8000	17900	17900	17430	17430	17430	17430	112660	112660	112660	17460	17460	17460
10000	18400	18400	17890	17890	17890	17890	112660	112660	112660	17920	17920	18180
20000	19960	19960	19580	19580	19580	19580	112660	112660	112660	19520	19520	19620
30000	20640	20640	20450	20450	20450	20450	112660	112660	112660	20450	20450	20450
40000	21030	21030	20970	20970	20970	20970	112660	112660	112660	21240	21240	21240
50000	21240	21240	21240	21240	21240	21240	112660	112660	112660	21240	21240	21240
80000	21640	21640	21640	21640	21640	21640	112660	112660	112660	21640	21640	21640

テストデータ 3.1 六極電磁石磁極寸法精度測定

1. 磁極間隙部の寸法検査

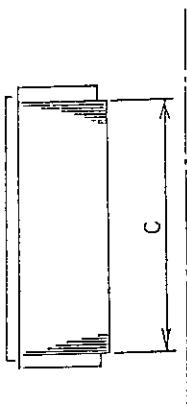
1. 磁極間隙部の寸法検査



口出し側から見て

2. 磁極長さの寸法検査

2. 磁極長さの寸法検査 (C)



符 号	寸 法 検 査						単位 : mm
	A1	A2	A3	B1	B2	B3	
合計値	$\phi 100$						24.820
公 差	$\pm 0.05$						$\pm 0.05$
1	- 0.04	+ 0.02	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.03
2	0	+ 0.01	+ 0.01	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.01	+ 0.02
3	+ 0.01	+ 0.03	+ 0.04	+ 0.01	+ 0.03	+ 0.04	+ 0.02
4	- 0.02	0	+ 0.02	+ 0.01	+ 0.01	+ 0.02	+ 0.01
5	- 0.02	+ 0.02	+ 0.02	+ 0.03	- 0.02	+ 0.03	+ 0.02

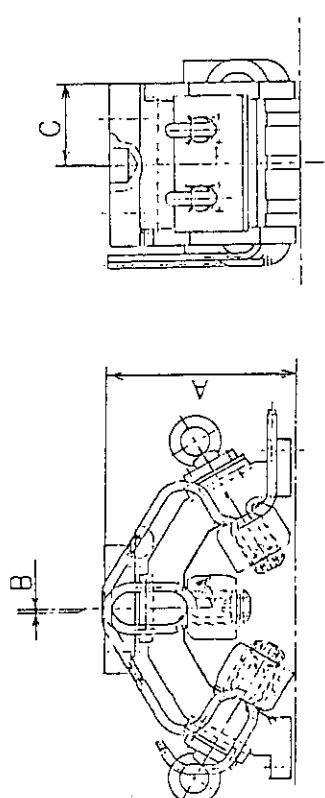
符 号	寸 法 検 査						単位 : mm
	I	II	III	IV	V	VI	
合計値	150						150
公 差	$\pm 1.00$						$\pm 1.00$
実測値	- 0.36	- 0.38	- 0.25	- 0.29	- 0.38	- 0.41	- 0.41

テストデータ 3.2 六極電磁石測量基準面寸法精度測定

テストデータ 3.3 六極電磁石外形寸法記録

JAERI-M 91-045

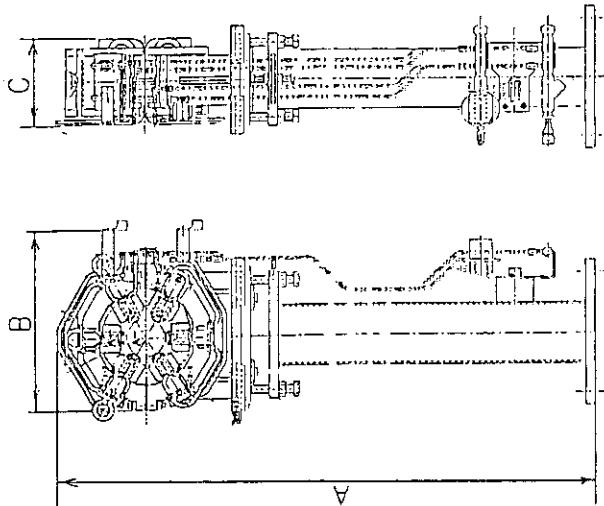
3. 基準面及び一寸六位寸法検査



単位 : mm

符号	A	B	C
設計値	220	0	95
公 差	± 0.01	± 0.01	± 0.10
実測値	+0.005	-0.006	+0.030

4. 外形寸法検査



単位 : mm

符号	A	B	C
設計値	140	195	242.4
公 差	± 10.0	± 10.0	± 1.0
実 標	- 2.0	+ 4.0	- 0.6
モ デル	+ 5.0	+ 5.0	- 6.0

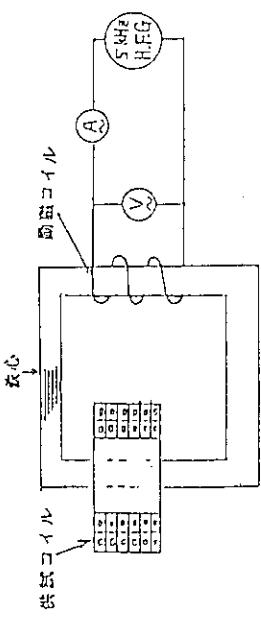
テストデータ 3.4 六極電磁石性能テスト一覧表

比較検定項目	要 領	判定基準	試験結果	設計値に対する割合
(1) ターン間短絡抵抗	500Vdcの高周波電源を用いてコイル1ターン当たり20Vの電圧をちらせ電圧を測定する。絶体の異状の有無を確認する。	ターン間短絡が試験電圧に耐えること。 試験電圧とヨーク間	結果 良 (添付記録-1参照)	設計値に対して +48% +20%以下であること。
(2) 地極抵抗試験	500Vdcを用いて、次の順の地極抵抗を測定する。 ①主コイルとヨーク間 ②温度スイッチヒートとヨーク間 ③主コイルと温度スイッチ間 測定は電圧試験の前後で放水した実験で実施する。	1.0MΩ以上 1000MΩ以上 1000MΩ以上 1000MΩ以上 結果 良	(7) 冷却水回路の漏出試験 冷却水回路に設計定格流量の冷却水を流し、その時の圧力損失を測定する。 又、参考記録として、0.6.0.万L/min の圧力損失も測定する。	設計値に対して +48% +20%以下であること。 設計値： 2.3kg/cm <sup>2</sup> at.1.3 L/min (at 45°C)
(3) 断電圧試験	主コイルとヨーク間に、AC1.5kVを50時間印加して対地絶縁の異状の有無を確認する。	試験電圧に耐えること。 結果 良	(8) B-I 特性試験 電磁石の承心長手方向(ビーム取込方向)中心に、ホール素子をセットし、垂直方向磁場強度(例)の電磁石にたいする依存性を測定する。(参考記録の8頁参照) ホール素子は、温調したものを使ふので校正しておく。 測定は下の初期化した電磁石を0(A)から電磁石の最大電流の約5% (30A)までまで行い点数は2点とする。	設計値 (添付記録-5参照)
(4) コイル抵抗試験	主コイルが冷温の状態の時に、電圧、電流計法により主コイルの抵抗を測定する。 測定した抵抗値を70°Cに換算する。	設置位置との差が±10%以内であること。 設置位置19.8Ω(at.75°C) 結果 良 (at. 75°C)(添付記録-2参照)		
(5) インダクタンス試験	オシレータを用いて主コイルのインダクタンスを測定する。	参考値 (添付記録-3参照)		
(6) 断電圧力試験	測定周波数は、10,20,30,40,50,60,100 Hzで行う。 冷却水回路を10kg/cm <sup>2</sup> の水圧で、10分間加圧して冷却水回路に異状がないこと。	水漏れ、冷却水ボースの異常変形がないこと。 結果 良		

## テストデータ 3.5 六極電磁石コイル性能テスト (1)

(1)印加電圧測定回路図

(1)電流計測回路図

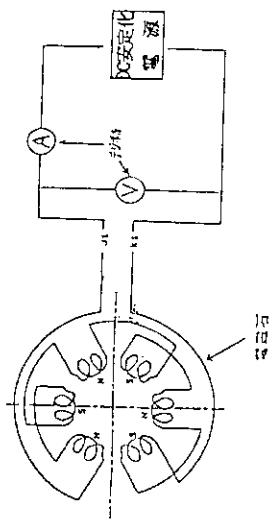


(2)電流計測回路図

印加電圧	印加時間	結果
20V/3~	5秒	良

(1)電圧計測回路図

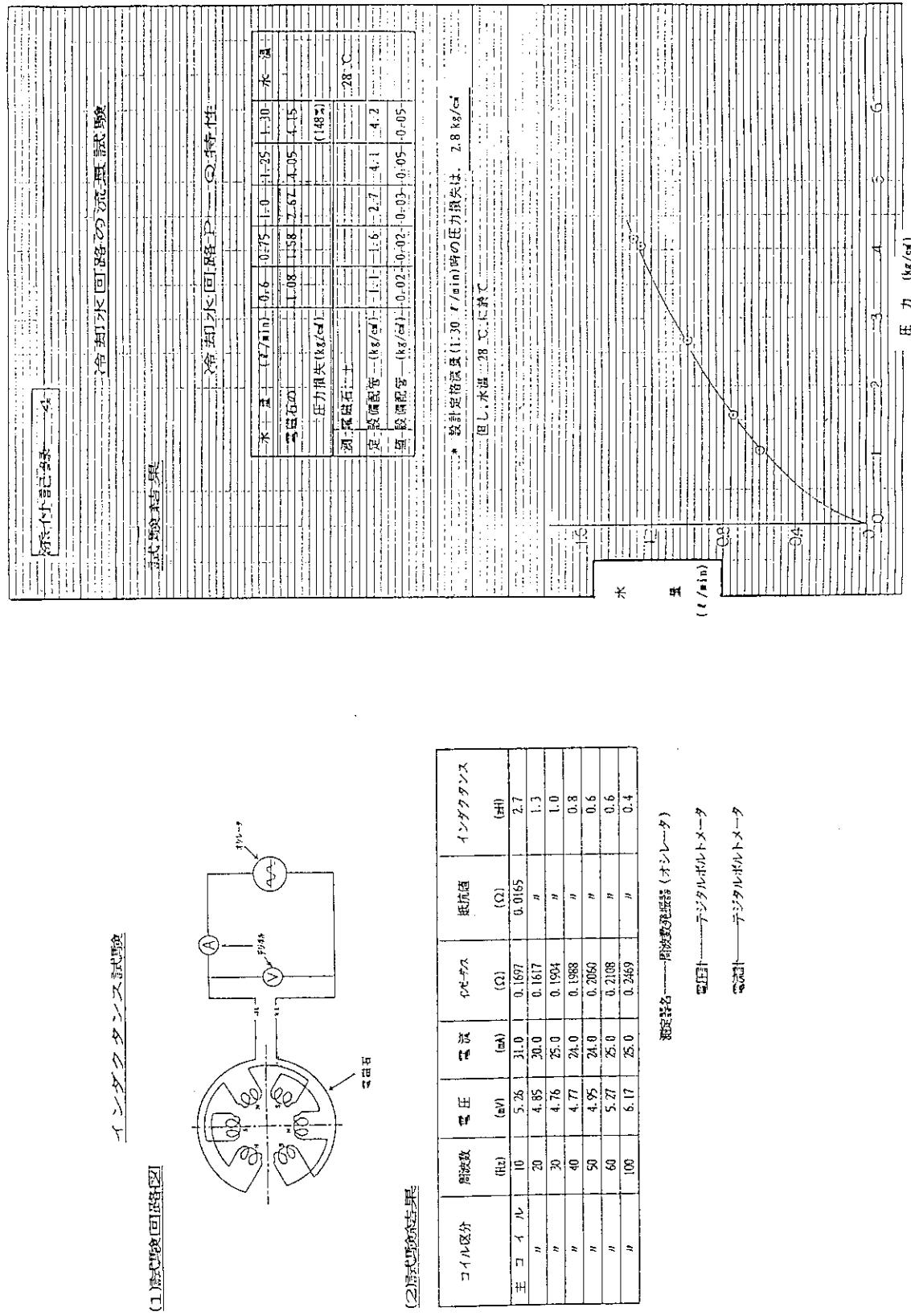
(1)電流計測回路図



端子記号	計算値 (Ω)	電圧 (75°C)	電流 (A)	抵抗値 (20°C) (Ω)	抵抗値 (75°C) (Ω)	結果	備考
J 1, K 1	0.02148	16.5	1.0	0.0165	0.0193	良	—

測定期間：DC安定化電源  
電流計：デジタルボルトメータ  
電圧計：デジタルボルトメータ

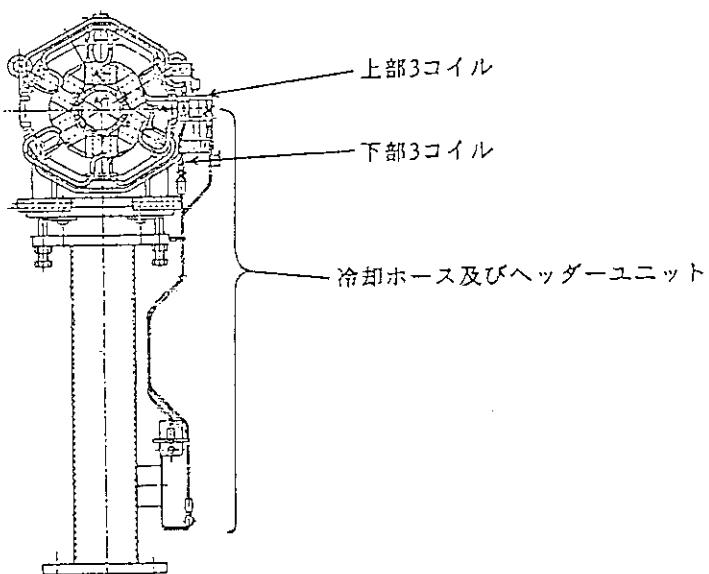
### テストデータ 3.6 六極電磁石コイル性能テスト(2)



## テストデータ 3.7 六極電磁石冷却水回路圧損調査記録

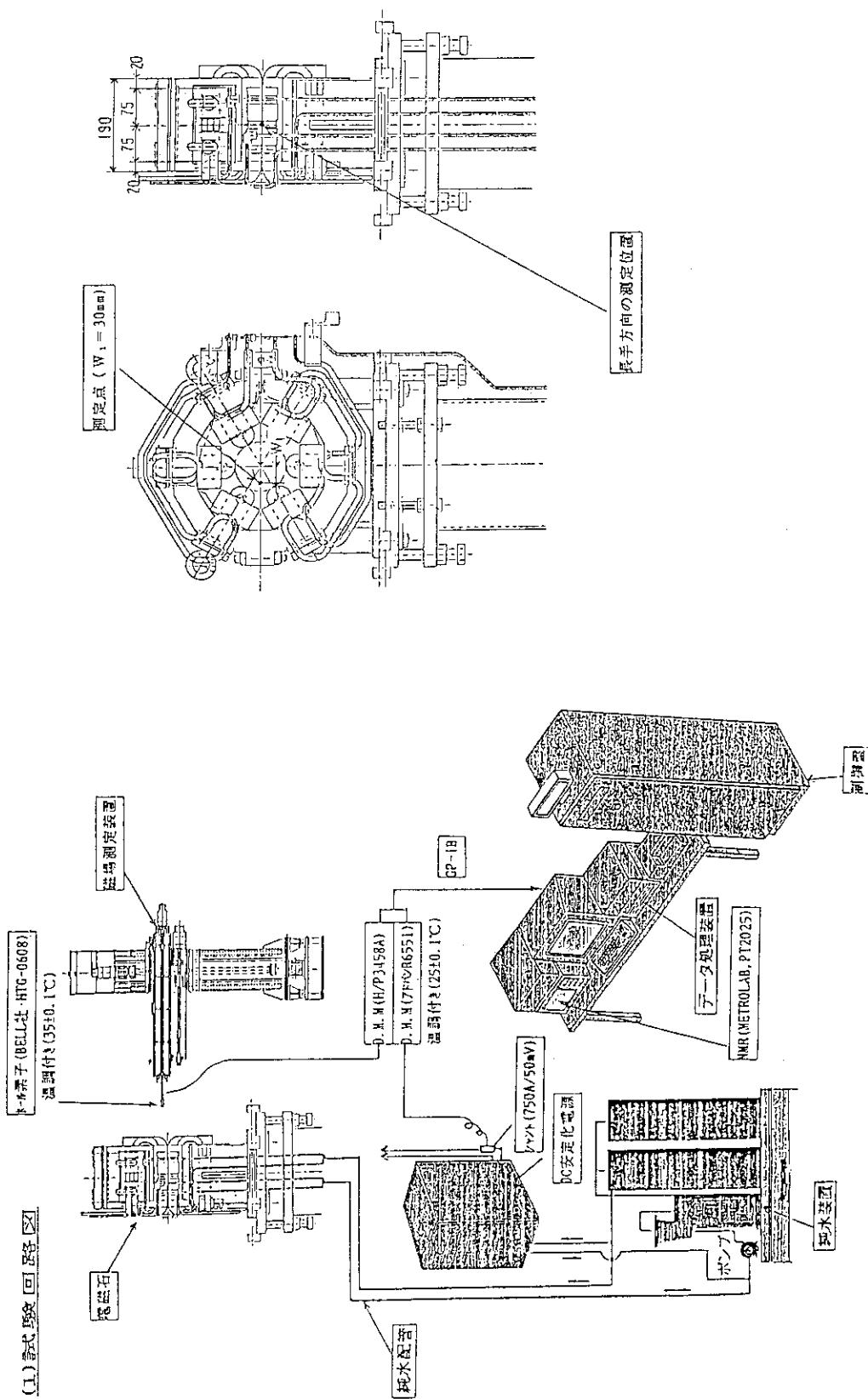
冷却水回路の圧力損失調査

測定部位	圧力損失 (kg/cm <sup>2</sup> )			備考
	0.6	0.7	0.8	
① 上部3コイルとその冷却ホース 及びヘッダーユニット	3.63	4.68	6.18	
② 下部3コイルとその冷却ホース 及びヘッダーユニット	3.63	4.68	6.18	
③ 上部3コイル用冷却ホース 及びヘッダーユニット単独 (上部3コイルを除く)	0.04	0.05	0.06	
④ 下部3コイルとその冷却ホース 及びヘッダーユニット (下部3コイルを除く)	0.04	0.05	0.06	



## テストデータ 3.8 六極電磁石磁場測定(B-I特性)回路と測定場所

## B — I 特性試験の測定位置



## テストデータ 3.9 六極電磁石 B-I 特性データ

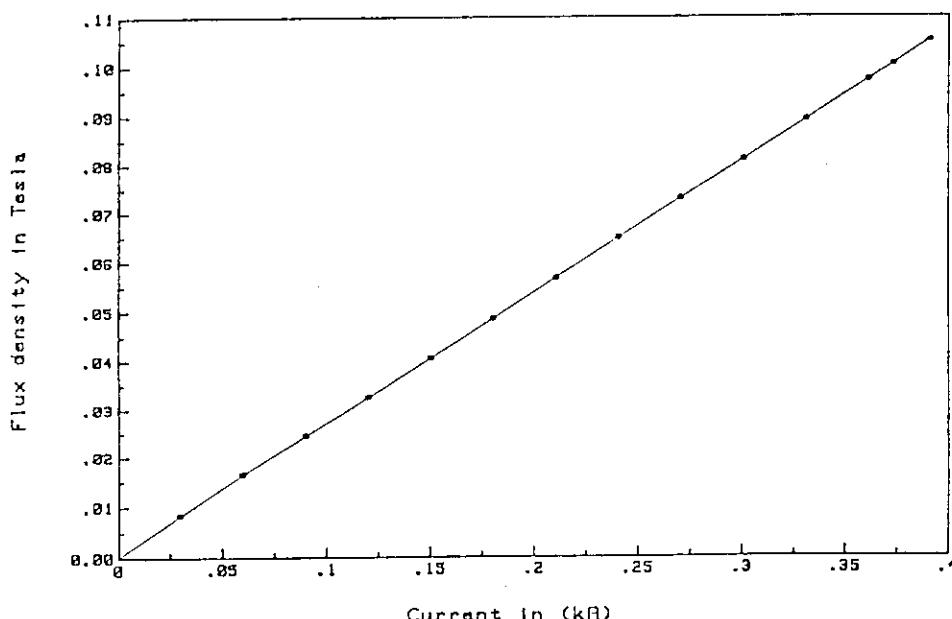
使用電源：600 A 直流安定化電源

===== B-I CHARACTERISTIC TEST =====  
FILE NAME : 072511 DATE : 25 Jul 1990

NUMBER	CURRENT:(A)	-- MAG. FIELD INTENSITY --	
		HALL PROBE:(T)	NMR:(T)
1	.0	.000261	*****
2	30.045	.008207	*****
3	60.148	.016238	*****
4	90.246	.024292	*****
5	120.354	.032364	*****
6	150.462	.040447	*****
7	180.555	.048531	*****
8	210.660	.056617	*****
9	240.750	.064699	*****
10	270.855	.072787	*****
11	300.974	.080872	*****
12	331.065	.088956	*****
13	361.173	.097034	*****
14	373.215	.100263	*****
15	391.290	.105115	*****
16	373.227	.100416	*****
17	361.185	.097237	*****
18	331.080	.089219	*****
19	300.980	.081174	*****
20	270.870	.073109	*****
21	240.762	.065031	*****
22	210.660	.056949	*****
23	180.555	.048854	*****
24	150.462	.040758	*****
25	120.353	.032660	*****
26	90.242	.024559	*****
27	60.142	.016454	*****
28	30.045	.008348	*****
29	.0	.000264	*****

## B-I Characteristic

MAG. No. 2 FILE NAME : 072511 DATE : 25 Jul 1990 使用電源：600 A 直流安定化電源



## テストデータ 3.10 ホール素子校正記録

```
===== CALIBRATION DATA CHECK =====
FILE=CAL004 シスウ= 11
      NMR      HALL PROBE    CALIB. DATA    ゴサ
  0.0000000   .0000517   -.0000532   .0000532
  .7023833   .5404399   .7023834   -.0000001
  .6769436   .5205772   .6769402   .0000034
  .6513857   .5006557   .6513945   -.0000088
  .6257921   .4806933   .6257797   .0000124
  .6006119   .4611071   .6006335   -.0000216
  .5742798   .4405842   .5742685   .0000113
  .5488206   .4207730   .5487991   .0000216
  .5247218   .4020590   .5247205   .0000013
  .4991633   .3822285   .4991815   -.0000182
  .4758626   .3641533   .4758795   -.0000169
  .4497907   .3439417   .4497946   -.0000039
  .4249167   .3246841   .4249107   .0000060
  .3993561   .3049181   .3993369   .0000192
  .3763539   .2871712   .3763457   .0000082
  .3501120   .2669513   .3501139   -.0000019
  .3251097   .2477126   .3251166   -.0000069
  .3003826   .2287162   .3003953   -.0000127
  .2752711   .2094367   .2752648   .0000063
  .2501465   .1901969   .2501433   .0000032
  .2256808   .1714906   .2256774   .0000034
  .2255787   .1714936   .2256813   -.0000026
  .1992849   .1513439   .1992823   .0000026
  .1768177   .1342284   .1768228   -.0000050
  .1504040   .1141311   .1504110   -.0000071
  .1243991   .0943635   .1243947   .0000044
  .1015663   .0770385   .1015664   -0.0000000
  .0749865   .0568863   .0749870   -.0000005
  .0591113   .0448662   .0591234   -.0000121
  .0419039   .0318282   .0419101   -.0000063
  -.0427228  -.0322631  -.0427127  -.0000101
  -.0586234  -.0443176  -.0586147  -.0000087
  -.0748897  -.0566552  -.0748805  -.0000092
  -.1013674  -.0767565  -.1013562  -.0000112
  -.1494798  -.1133667  -.1494737  -.0000061
  -.1763042  -.1338296  -.1763006  -.0000036
  -.2008050  -.1525649  -.2008156  .0000105
  -.2256153  -.1715610  -.2256240  .0000087
  -.2520386  -.1918277  -.2520379  -.0000006
  -.2774963  -.2114112  -.2775090  .0000126
  -.2991977  -.2281122  -.2991911  -.0000067
  -.3273314  -.2498258  -.3273283  -.0000031
  -.3533309  -.2699235  -.3533213  -.0000096
  -.3985259  -.3049661  -.3985361  .0000102
  -.4247902  -.3253508  -.4247809  -.0000093
  -.4510991  -.3458270  -.4511050  .0000059
  -.4763601  -.3655015  -.4763646  .0000045
  -.4983269  -.3826180  -.4983154  -.0000115
  -.5245456  -.4030820  -.5245314  -.0000141
  -.5507439  -.4235843  -.5507697  .0000258
  -.5769150  -.4440388  -.5769235  .0000085
  -.6017790  -.4634870  -.6017725  -.0000064
  -.6256273  -.4821540  -.6256088  -.0000185
  -.6517366  -.5026313  -.6517407  .0000041
  -.6759111  -.5215945  -.6759212  .0000100
  -.7009860  -.5412733  -.7009819  -.0000041
```

テストデータ 3.11 六極電磁石使用鉄板特性データ

50 HI 600 (FR) 中等形半導体電磁石	
(1)試料採取位置	
熱延～退火焼成 単位コイル (約25t)	
43-0768-00	
A	B
-112	-113
-114	-121
-122	-123

(4)直流B-H 測定値

ロットNo.	43-0768-00			A			43-0768-00			C		
	H (A/m)	L	C	L+C	L	C	L	C	L+C	L	C	L+C
5	100	60	70	100	110	70	100	70	80	90	70	90
7	120	60	90	120	110	70	110	70	100	110	70	100
10	170	70	120	200	130	100	180	100	200	200	100	200
15	280	120	170	280	460	930	130	100	130	130	100	130
20	480	170	280	490	4090	10040	12240	10040	1430	1430	12240	1430
30	970	170	280	1320	3180	7260	113310	3290	1430	1430	7260	1430
50	4630	1630	1630	1630	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
70	10350	1760	1760	1760	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
100	12290	1630	1630	1630	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
150	13350	1780	1780	1780	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
200	1230	17980	17980	17980	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
300	14380	12870	12870	12870	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
500	14900	13990	13990	13990	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
700	15210	14450	14450	14450	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
1000	15510	14830	14830	14830	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
1500	15940	15520	15520	15520	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
2000	16350	15750	15750	15750	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
2500	16700	16630	16630	16630	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
5000	17200	16910	16910	16910	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
8000	17900	17430	17430	17430	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
10000	18400	17890	17890	17890	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
20000	19960	19580	19580	19580	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
30000	20640	20450	20450	20450	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
40000	21030	20970	20970	20970	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
50000	21240	21240	21240	21240	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430
80000	21640	21630	21630	21630	10040	10040	10040	10040	1430	1430	10040	1430

新日本製鐵(株)大阪支社  
技術部

(3)基本特性一覧

コイルNo.	位	磁気特性			Hc-15 (Oe)					
		W15/50 (kg)	B50 (T)	B50 (T)	L	C	L+C	L	C	L+C
43-0768-00	A	3.88	4.47	4.17	1.71	1.65	1.68	0.66	0.90	0.80
	B	3.92	4.56	4.23	1.71	1.65	1.68	0.68	0.94	0.81
	C	3.97	4.57	4.27	1.71	1.65	1.68	0.69	0.98	0.81

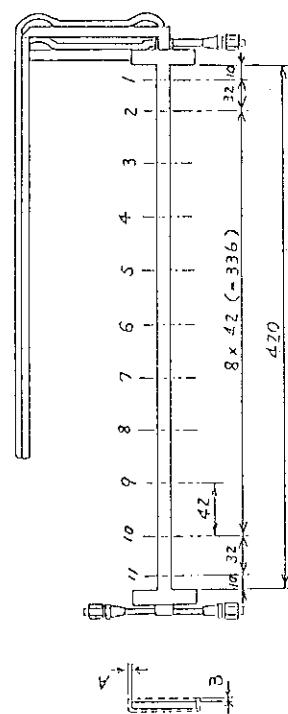
#### テストデータ 4.1 セバタム電磁石コイルセラミック絶縁コーティング特性データ

測定文主	日本原子力研究所	年月日	1990.6.20
品名	高遠タイプ偏心電磁石	製作番号	WWFL9629
部品名	国西番号	国西番号	

#### 2. セラミックコーティング

##### 2-1 膜厚測定

セバタム導体部の膜厚測定



単位: mm

設計値 ±0.05	単位: mm									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A	0.23	0.22	0.22	0.22	0.20	0.22	0.20	0.20	0.21	0.22
B	0.24	0.21	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.21	0.22	0.20

測定文主	日本原子力研究所	年月日	1990.6.20
品名	高遠タイプ偏心電磁石	製作番号	WWFL9629
部品名	国西番号	国西番号	

2-2 付着力試験			
(1) 試験方法			
JIS H 8666 (付着力試験方法)にもヒツキ試験にて。			
(2) 試験片			
① 3個製作			
② 製品と同一条件で溶射(ホット、溶射仕様)			
③ 試験片の径 $\phi 25$ mm			
(3) 試験結果			
基準値 = 70 kgf/cm <sup>2</sup> 以上			
試験片 No.	破断荷重(kgf)	付着力(kgf/cm <sup>2</sup> )	破断位置
1	4.70	95.7	皮膜内部
2	4.15	84.5	皮膜内部
3	4.70	95.7	皮膜内部
平均	4.52	92.0	

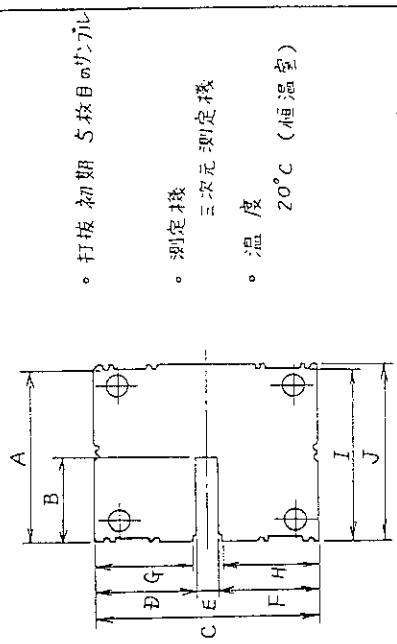
住友重機械工業株式会社	監査	点検	検査室
(印)	(印)	(印)	日本コ-ラング

## テストデータ 4.2 セブタム電磁石打抜鉄板寸法精度測定

測定文主	日本原子力研究所 殿	年月日	1990.4.2
品名	高速タイプ偏角電磁石	製作器号	WWFL 9629
部品名	金具心	図面番号	

## 3. 打抜

## 3-1 打抜コアの形状精度測定



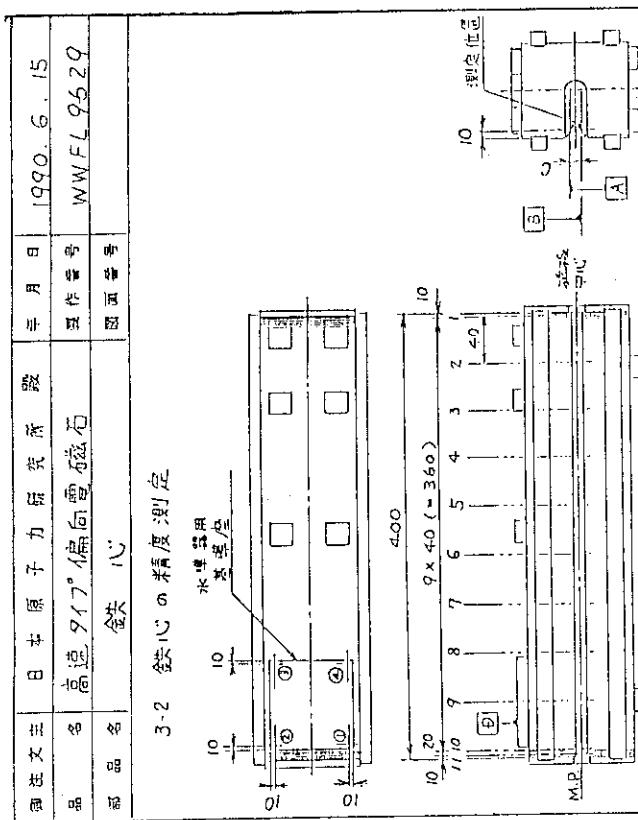
単位:mm

測定位置	図面寸法	公差	測定値	誤差	備考
A	82.5	±0.02	82.51	+0.01	
B	4.1	±0.05	4.099	-0.01	
C	95	±0.05	94.99	-0.01	
D	42.5	±0.01	42.50	±0	
E	10	±0.01	10.00	±0	
F	42.5	±0.01	42.50	±0	
G	41.45	±0.01	41.44	-0.01	
H	41.45	±0.01	41.45	±0	
I	82.5	±0.02	82.51	+0.01	
J	85	±0.05	85.01	+0.01	

住友重機械工業株式会社

測定機  
三次元測定機温度  
20°C (恒温室)

## テストデータ 4.3 セプタム電磁石鉄心寸法精度測定



測定位置	検査項目	測定器
A, B 面	磁極面の平面度 試験心端面から 10mm 入れ直す	Inspection Machine (三次元測定機)
C 寸法	磁極間隙部寸法	プローフゲージ
D 面	水準器用基準面の 磁極中心に対する 平行度、平面度	Inspection Machine (三次元測定機)

測定結果													
測定文書									年月日 1990.6.15				
品名 高速タイプ偏心電磁石									製作番号 WINFL 9629				
部品名 金具ハサ									測定番号				
設計値	測定値	差	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.05	A ±0 -0.008	+0.005	±0	-0.009	+0.020	+0.032	+0.035	+0.033	+0.018	+0.001			
±0.05	B ±0 -0.003	±0	-0.008	-0.010	+0.016	+0.030	+0.030	+0.028	+0.025	+0.015	-0.003		
10	C ±0 +0.01	±0	+0.01	±0	-0.01	±0	-0.02	-0.02	-0.02	-0.01	±0		
単位:mm													
設計値	測定値	差	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	
0.04	5 ±0 -0.016	-0.015	±0	-0.016	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015		
±0.04	5 ±0 -0.016	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015	-0.015		

1. 測定値で「+」符号は面凸、一符號は面凹を示す。

#### テストデータ 4.4 セパタム電磁石性能テスト(1)

測定文主	日本原子力研究所	測定日	1990.6.23																												
品名	高遠タイア偏向電磁石	製作番号	WWFL 9629																												
部品名		図面番号																													
3-3 合体組立後の寸法測定																															
4. 絶縁抵抗																															
<table border="1"> <thead> <tr> <th>測定位置</th> <th>設計値</th> <th>測定値</th> <th>測定器</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>50.35</td> <td>399.90</td> <td>ノンミク</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>28.5</td> <td>20.0</td> <td>全幅尺</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>42</td> <td>44.0</td> <td>全幅尺</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>482.5</td> <td>485.5</td> <td>全幅尺</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>1200</td> <td>1200 以上</td> <td>金剛尺</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>10</td> <td>10 以上</td> <td>全幅尺</td> </tr> </tbody> </table>				測定位置	設計値	測定値	測定器	A	50.35	399.90	ノンミク	B	28.5	20.0	全幅尺	C	42	44.0	全幅尺	D	482.5	485.5	全幅尺	E	1200	1200 以上	金剛尺	F	10	10 以上	全幅尺
測定位置	設計値	測定値	測定器																												
A	50.35	399.90	ノンミク																												
B	28.5	20.0	全幅尺																												
C	42	44.0	全幅尺																												
D	482.5	485.5	全幅尺																												
E	1200	1200 以上	金剛尺																												
F	10	10 以上	全幅尺																												
<p>測定時の 気温 : 20°C 湿度 : 68%</p> <p>DC 1000 V × 10<sup>-4</sup> で測定 値位: MΩ</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>測定位置</th> <th>標準値</th> <th>標準値</th> <th>測定値</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>コイル導体 - コイルガルト</td> <td>100±5</td> <td>∞</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>コイル導体 - 錐心</td> <td>10±5</td> <td>∞</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td>長尺ボルト - 錐心</td> <td>100 以上</td> <td>∞</td> <td>∞</td> </tr> <tr> <td></td> <td>A</td> <td>B</td> <td>C</td> </tr> <tr> <td></td> <td>D</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>				測定位置	標準値	標準値	測定値	コイル導体 - コイルガルト	100±5	∞	∞	コイル導体 - 錐心	10±5	∞	∞	長尺ボルト - 錐心	100 以上	∞	∞		A	B	C		D						
測定位置	標準値	標準値	測定値																												
コイル導体 - コイルガルト	100±5	∞	∞																												
コイル導体 - 錐心	10±5	∞	∞																												
長尺ボルト - 錐心	100 以上	∞	∞																												
	A	B	C																												
	D																														
<table border="1"> <thead> <tr> <th>会社</th> <th>点検</th> <th>検査</th> <th>試験</th> <th>内訳</th> <th>記入</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>住友重機械工業株式会社</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>内訳</td> </tr> </tbody> </table>				会社	点検	検査	試験	内訳	記入	住友重機械工業株式会社	○	○	○	○	内訳																
会社	点検	検査	試験	内訳	記入																										
住友重機械工業株式会社	○	○	○	○	内訳																										

## テストデータ 4.5 セパタム電磁石性能テスト(2)

JAERI-M 91-045

製造文主	日本原子力研究所	年月日	1990.6.23
品名	高遠タイプ偏向電磁石	製作番号	WWFL 9629
品名		図面番号	

### 5. 絶縁耐電圧

#### (1) 試験方法

組立完了後、コイル導体と鉄心間に  
AC 1000 V (60 Hz) を 1 分間  
電圧を印加した。

#### (2) 試験結果

試験時の気温 : 20°C  
湿度 : 68%

結果	良	好
----	---	---

### 6. 直流抵抗

#### (1) 測定方法

DC 10A の電流にて電圧を測定し、抵抗計算する。

#### (2) 測定結果

$$R_{20} = \frac{254.5}{234.5 + T} \times R_T$$

$$= \frac{254.5}{234.5 + 31.5} \times 1.006$$

$$= 0.96 (\Omega)$$

[参考値 = 1.7 μH]

$R_{20}$  : 20°Cにおける抵抗値 (Ω)  
 $T$  : 測定時の大気温度 = 31.5°C  
 $R_T$  :  $T^{\circ}\text{C}$ における直流通路抵抗  
= 1.006 Ω

[参考値 = 1.0 mΩ (20°C 対応)]

製造文主	日本原子力研究所	年月日	1990.6.23
品名	高遠タイプ偏向電磁石	製作番号	WWFL 9629
品名		図面番号	

### 7. インダクタンス

#### (1) 測定方法

周波数 60 Hz にて交流電圧をかけ電流を測定し  
インダクタンスを計算する。

#### (2) 測定結果

$$L = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{(E)^2 - R^2}$$

[ $L$ : インダクタンス (H)  
 $f$ : 周波数 = 60 Hz  
 $E$ : 加えた電圧 = 12.6 mV  
 $I$ : 電流 = 7 A  
 $R$ : 誤差 = 1.006 mΩ]

$$= \frac{1}{2\pi \times 60} \sqrt{\left(\frac{12.6}{7}\right)^2 - 0.001006^2}$$

$$= 3.96 \times 10^{-6} (\text{H})$$

$$= 3.96 (\mu\text{H})$$

住友重機械工業株式会社	監査	実験	監査	同上
-------------	----	----	----	----

測定者	監査	実験	監査	同上
-----	----	----	----	----

## テストデータ 4.6 セパタム電磁石性能テスト(3)

製造文書	日本原子力研究所試験段	年月日	1990.6.8.
品名	高速タイプ偏向電磁石	製作番号	WWFL 9629
部品名		前面番号	

## 8. 耐圧力

## (1) 試験方法

配管内部に  $15 \text{ kg/cm}^2$  の窒素ガスを封入し、ローブ部及び接続部に石けん水を塗布し、目視にて確認した。

## (2) 試験結果

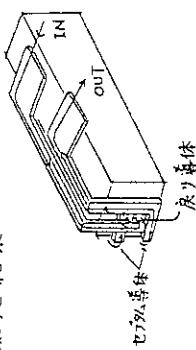
洩れなし 良好

## 9. 流量

## (1) 測定方法

テスト用配管の IN, OUT に圧力計及び流量計を取り付け  
圧力損失  $1 \text{ kg/cm}^2$  における流量を測定した。

## (2) 測定結果



テスト用配管の接続は上図の如く、戻り管体からセラミック体へ流れるように行った。

$$\text{圧力損失: } 1 \text{ kg/cm}^2 \quad \text{流量: } 1.2 \text{ l/min}$$

[参考値:  $0.4 \text{ l/min}$  以上]

住友重機工業株式会社	審査	点検	検査	箇 内
	OK	OK	OK	OK

## 4.7 セブタム電磁石使用鉄板ミルシートテストデータ

住友金剛工業株式会社	和歌山営業所
SUMITOMO METAL INDUSTRIES, LTD.	WAKAYAMA STEEL WORKS
1850 Minato, Wakayama, Japan	


**WAKAYAMA STEEL WORKS**  
 檢査証明書  
 INSPECTION CERTIFICATE

B Date: Oct. 1939  
Order No.: 12345678

S h i p p e r , C. E. — 333

テストデータ 4.8 セブタム電磁石使用鉄板磁気特性データ

JAERI-M 91-045

平成2年2月14日  
住友金属工業株式会社  
和歌山製鐵所  
電磁鋼板特別チーム

無方向性電磁鋼板 SX 23 H - M1 (板厚 0.35mm) の特性について

(2) 基コイルの磁気特性

位 置	方 向	W <sub>1,000*</sub> (A/mm <sup>2</sup> )	H <sub>C1</sub> (A/m)	B <sub>11</sub> (T)	B <sub>12</sub> (T)
母コイル トップ	0°	2.60	44.7	1.69	1.77
	45°	3.24	50.9	1.58	1.67
	90°	3.27	59.4	1.62	1.71
母コイル ボトム	0°+90°	2.91	48.5	1.65	1.74
	0°	3.17	62.1	1.69	1.77
	-45°	3.91	78.0	1.58	1.67
母コイル ボトム	90°	3.87	86.8	1.62	1.71
	0°+90°	3.51	71.7	1.66	1.74

(3) 母コイルの懸浮特性

記  
(1) 母コイルヒスリットコイルの対応 (母コイル幅: 1100mm)

Y . P . (kg/mm <sup>2</sup> )	T . S . (kg/mm <sup>2</sup> )	E I . (G)	H v (S/kg)
23.1	41.6	35.7	125

記 号	コイル No.	説 明
A	S818312	410