

JAERI - M
93-071

プラズマ・ディスラプション模擬コイルの設計・製作

1993年3月

岩本 收市*・安藤 俊就

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）で複写による実費領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, 1993

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷機

プラズマ・ディスラプション模擬コイルの設計・製作

日本原子力研究所那珂研究所核融合工学部

岩本 収市*・安藤 俊就

(1993年2月26日受理)

ITERのEDAが開始され各種の実験、R&D等が実施されている。核融合炉用超電導導体は熱あるいは機械的に非常に厳しい条件で運転されるが、磁界の影響も当然受ける。磁界にはコイル(TFコイル, PFコイル)自身が作る磁界の他に、プラズマ電流が何等かの原因で消滅する時に発生する磁界がある。これは、電磁誘導によりプラズマ電流を誘起するのと逆の現象である。すなわち、プラズマ電流の急変に伴い、その近辺にある機器に重大な影響を及ぼす。当然のことながらコイルもこの影響を受けることとなるが、場所により磁界の強さ、方向および時間変化が一定せず影響の評価が非常に困難であった。

従って、実験でこの影響評価を行うため、バックグラウンド磁界に対して平行および直角に磁界が変化するディスラプションを模擬するコイルを製作した。平行に設置した場合の実験の結果、バックグラウンド磁界1.1 T中で約2 Tの磁界を発生し、時定数20msecでの遮断が可能であり、今後各種のサンプル実験が可能であることを確認した。

JAERI-M 93-071

Design & Fabrication of Disruption Simulation Coil

Shuichi IWAMOTO^{*} and Toshinari ANDO

Department of Fusion Engineering Research
Naka Fusion Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Naka-machi, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 26, 1993)

Engineering Design Activities (EDA) of the ITER started, and some R&Ds are on going. Superconductors for the Tokamak fusion magnets are operated under severe thermal and mechanical conditions in the magnetic fields. The magnetic fields are excited by not only TF and PF coils but also transient current due to plasma disruption. This transient current exerts serious influences upon the circumferences. Of course, these coils are exposed to this magnetic fields, but the estimation of influences to coils is very difficult because of variety of magnetic fields strength and direction and time transient. The test apparatus can simulate the magnetic field due to disruption of plasma current. The ability of this apparatus indicated that could generate magnetic field of 2T and shutdown the magnetic field of time constant 20 msec under the condition of background magnetic field at 11T.

Keywords: Plasma Disruption, Pulse Field, Superconducting Magnet

* On leave from Mitsubishi Heavy Industry Co., Ltd.

目 次

1. はじめに	1
2. 設 計	2
2.1 設計条件	2
2.2 導体仕様	2
2.3 設計手順	3
2.4 コイル仕様	3
2.5 磁界分布	4
2.6 HF 24 への入力エネルギー	4
2.7 相互インダクタンス	5
2.8 電磁応力計算	5
2.9 ホットスポットモデルによる温度上昇	6
2.10 サンプル仕様	7
2.11 全体構成	8
3. 試 験	8
3.1 DSコイル単体試験	8
4. まとめ	9
謝 辞	9
参 考 文 献	10

Contents

1. Introduction	1
2. Design	2
2.1 Design Condition	2
2.2 Conductor Specification	2
2.3 Design Method	3
2.4 Coil Specification	3
2.5 Magnetic Field Distribution	4
2.6 Energy Input to HF24	4
2.7 Mutual Inductance	5
2.8 Electro-magnetic Stress	5
2.9 Temperature Rise by Hot Spot Model	6
2.10 Sample Specification	7
2.11 Accessory	8
3. Test	8
3.1 DS Coil Test	8
4. Conclusion	9
Acknowledgements	9
References	10

1. はじめに

トカマク型核融合炉の超電導導体は種々の発生原因による磁界の変化を受ける。それらの磁界の中で特にプラズマ電流のディスラプションによる磁界の影響については全く明らかにされていない。従って、ここではバックグラウンド磁界中においてプラズマ・ディスラプションにより発生する磁界変化を模擬して各種導体への影響を調査するためのディスラプション・シミュレーション・コイル（以下DSコイルと言う）を製作したので、その設計と、簡単な試験結果についてまとめた。

2. 設計

プラズマ・ディスラプションが生じた時、コイルへの磁界変化としてITERのCDAにおける解析結果の代表例をFig. 1に示す。解析結果によると各コイルにおいて、あらゆる方向成分の磁界変化の影響を受けている。それらの中で一番変化が大きいのがFig. 1の①のケースであり、時定数は約20 msecで、約1.8 Tの変化幅である。従って、装置の機能条件は”バックグラウンド磁界11 Tにおいて約2 Tの磁界を発生し、20 msecの時定数で遮断が可能であること”である。

バックグラウンド磁界発生コイルには、既設の「13 T—240 mmポア・コイル」(以下HF24と言う)を用いる。

DSコイル設計で最も重要となったのは、DSコイルで2 Tを発生する時バックグラウンド・コイルがクエンチ又は遮断モードにならないようにすることである。そのため、DSコイルの基本的な構造は三層構造とし、中間層コイルで2 Tを発生し、内側と外側のコイルで漏洩磁界を可能な限りキャンセルするものとする。サンプルは内側と中間層コイルの間に設置する。またDSコイルは、HF24内に水平及び垂直設置が可能なものであるものとする。

2.1 設計条件

DSコイルに対する設計条件は以下の如くである。

- 1) サンプル位置において、11 Tのバックグラウンド磁界中で2 Tの磁界が発生可能なこと。
- 2) DSコイルがつくる磁界は20 msec以下の時定数で遮断が可能なこと。
- 3) DSコイルをHF24内に垂直に設置した場合には、DSコイルの電流遮断時にHF24の電源保護(制限値は10 V)のために相互誘導による電圧が発生しない様に相互インダクタンスを可能な限り小さくする。(数V以下とする)
- 4) 特に水平設置の場合、HF24へのDSコイルの漏洩磁界を0.1 T程度におさえること。
- 5) HF24のボア径240 mmの中に水平および垂直設置が可能なこと。
- 6) 耐電圧はコイル間、大地間ともDC1000 Vとする。

2.2 導体仕様

DSコイルの導体仕様は以下の通りである。

- (1) 型式 極細多芯Nb3Sn線で、銅安定化材をシース材とし、その内側にNb拡散バリアとさらにその内側にTi添加ブロンズマトリクスとNbフィラメントから配して熱処理され製造し絶縁された平角複合

線。

- (2) 寸法 1. $7 \times 4.1 \text{ mm}$ 、 0.3 mm R
- (3) フィラメント ① 平均等価直径 $4.5 \pm 0.5 \mu\text{m}$
 ② ツイストピッチ $50 \pm 5 \text{ mm}$
- (4) 銅比 0.6 ± 0.1
- (5) 絶縁 ① 型式 Eガラス繊維を用いた編組
 ② 厚さ $0.2 \pm 0.04 \text{ mm}$
- (6) 臨界電流 1.3 T、4.2 Kにおいて1,500 A以上。但し、磁界は幅広面に平行。
- (7) 残留抵抗比 200以上
- (8) 定格電流 1000 A

2. 3 設計手順

DSコイルの設計手順は、上記設計条件と導体仕様からコイルの適当な径、軸長およびターン数を仮定し、外形、発生磁界、漏洩磁界、相互インダクタンスおよびHF24での発生電圧等を計算し、各条件を満足するまで仮定を変更して計算をくり返し実施する。

2. 4 コイル仕様

上記手順により設計したDSコイルの基本構造をFig. 2に示す。

各コイルのターン数の詳細は、各層の両端の処理あるいは口出し部位置の関係等から以下のようにになっている。

水平用	NO. 1	$12 \text{ 層} \times 35 \text{ ターン} - 3.5 = 416.5$
	2	$14 \times 19 \text{ ターン} - 4.2 = 261.8$
	3	$4 \times 19 \text{ ターン} - 0.6 = 75.4$
垂直用	NO. 1	$12 \text{ 層} \times 75 \text{ ターン} - 4.5 = 895.5$
	2	$14 \times 19 \text{ ターン} - 4.2 = 261.8$
	3	$4 \times 19 \text{ ターン} - 3.6 = 72.4$

NO. 2のコイルがサンプル位置に対して約2 Tの磁界を発生しその磁界が外部に漏洩するのをNO. 1と3が打ち消す構造となっている。実際にはこれに絶縁材、ボビン、コイル口出し部、接続部等が組み込まれHF24のボア径240 mm内に納まる限界寸法である。

また、垂直用NO. 3のコイルはHF24との相互インダクタンスを最少にするために水平用に比べて3ターン分少なくしている。(後述)

2. 5 磁界分布

上記仕様に従ってDSコイルの磁界分布計算を行なった。結果をFig. 3および4に示す。Fig. 3は水平及び垂直設置用のDSコイルの軸中心からの磁界分布を示し、Fig. 4は水平設置の場合のHF24での内面における磁界分布である。水平、垂直用ともサンプルエリアでは約2 Tを発生している。

また漏洩磁界については、垂直設置の場合、HF24の内面で約0.09 T、水平設置の場合軸中心から50度程度離れた点で約0.12 Tとなっている。

2. 6 HF24への入力エネルギー

DSコイルの電流遮断時におけるHF24への入力エネルギーを計算する。

1) 計算式

導体の単位容積当たりの熱容量は下記^{文献1)}の式で示される。(但し、10K以下)

$$C = \frac{10^{-3}}{f+1} [(6.75f+50.55)T^3 + (97.43f+69.81B)T] \quad (\text{mJ/cm}^3 \cdot \text{K})$$

Bは磁界、Tは温度を示す。

計算の簡略化のためコイルは全て銅とする。従ってf(銅/非銅比)は非常に大きくなり以下の近似式が利用できる。

$$C = (6.75T^3 + 97.43T) \cdot 10^{-3} \quad (\text{mJ/cm}^3 \cdot \text{K})$$

磁界によるHF24への入力エネルギーは最大の場合以下の式で計算できる。

$$Q = \frac{B^2}{2\mu_0} \quad (\text{J/m}^3) \quad (\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m})$$

熱容量と入力エネルギーの関係は次式で示される。

$$Q = \int_{4.2}^T C \cdot dt$$

以上の式の間係を図示するとFig. 5のようになる。図から分かるように、仮にHF24に0.15 Tの磁界変動が与えられたとしても温度上昇は高々8 K程度である。

2. 7 相互インダクタンス

DSコイル垂直設置時において、電流を遮断した場合においてHF24に発生する誘導電圧を理想的には零にするために最外層のコイルのターン数を調整する必要がある。実際にはコイルボビン、コイル押さえバンド、その他の構造物の影響を受けて計算通りにはならないが、インダクタンスの計算プログラムである"OIOI89"により、DSコイルを4分割、HF24を4分割にして計算した。

Fig. 6に両コイルの詳細構成を示す。図のなかで1~4がDSコイル、5~8がHF24である。3と4は一つのコイルであり本来の巻数は19ターンであるが、相互インダクタンスを調整するために4のターン数をパラメータとして計算した。

その結果、1000Aを20msecでダウンさせた場合の発生電圧は、16ターンで3.6V、17ターンで-10.5Vであった。従って設計は16ターンで実施することとした。

ちなみに、16ターンの場合の相互および自己インダクタンスをTable. 1に示す。

2. 8 電磁応力計算^{文献2)}

1) 計算式

コイルを圧力容器とみなし、発生する電磁力が全て内圧として加わるとした場合の引張り応力を求める。(安全側の値となる。)

$$\sigma_t = \frac{\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)^2 + 1}{\left(\frac{r_{out}}{r_{in}}\right)^2 - 1} \cdot P_0 \quad [\text{kg/mm}^2]$$

但し、

$$P_0 = \frac{k I_{op}}{1.96 \times 10^4 r_{in} \cdot b_{con}} \cdot \left\{ B_{out} \cdot (r_{in} + r_{out}) + \frac{B_{in}}{3} \cdot (2r_{in} + r_{out}) \right\}$$

ここで	r_{in}	: コイル内半径	mm
	r_{out}	: コイル外半径	mm
	I_{op}	: 通電電流	A
	k	: コイル層数	
	B_{in}	: コイル内径部磁束密度	T
	B_{out}	: コイル外形部磁束密度	T
	b_{con}	: 導体幅	mm

2) 計算

最大応力が発生するのはNO. 2コイルの内側である。

$$r_{in} = 57.2 \text{ mm}$$

$$r_{out} = 86.6 \text{ mm}$$

$$I_{op} = 1000 \text{ A}$$

$$k = 14$$

$$B_{in} = 12 \text{ T}$$

$$B_{out} = 8.6 \text{ T}$$

$$b_{con} = 4.1 \text{ mm}$$

とすると

$$\sigma_t = 15.9 \text{ kg/cm}^2$$

ヤング率 $E = 15000 \text{ kg/cm}^2$ とすると歪 ϵ は

$$\epsilon = 15.9 / 15000$$

$$= 0.0011$$

従って、0.11%となる。

ちなみに、参考文献1)のプログラム "H-STRESS" の計算によると、応力は最大で 11.2 kg/cm^2 となり歪みは 0.075% となる。

両方とも十分に小さい値である。

2.9 ホットスポットモデルによる温度上昇

1) 計算式

以下の式によりクエンチ時のDSコイルの温度上昇の概略計算を行なった。

$$\int_{4.2}^T C_p \cdot dt = \frac{1}{S} \left[\int_0^1 \rho \frac{1}{S_{cu}} \cdot I^2 + \int_1^\infty \rho \frac{1}{S_{cu}} \cdot I^2 \cdot \exp\left(-\frac{1}{t_s}\right) \cdot 2t \right] \cdot dt$$

C_p : コイル比熱 (Nb3Snに対してはチタンの物性を流用) J/cc · K (密度7g/cc)

S : 導体全断面積 cm^2

S_{cu} : 銅部断面積 cm^2

ρ : 銅抵抗率 $\Omega \cdot \text{cm}$

I : コイル電流 1000 A

t_s : 電流遮断時定数 20 msec

2) 計算条件

①導体寸法は 4.1 × 1.7 mm とする。

②クエンチ検出時間は1秒とする。

③導体は完全断熱とする。

④銅/非銅比は0.82と0.6の場合とする。

⑤電流遮断時コストダウン電流による影響は小さいので(約1%)上記の式の右辺第2項は無視する。

3) 計算

上の式を変形すると以下のようになる、

$$\int_{4.2}^T Cp/\rho = \frac{I^2}{S} \cdot Scu \int_0^1 dt$$

上記右辺の値は銅比	0.82の場合	4.57×10^8
	0.6の場合	5.49×10^8

温度Tに対して比熱/抵抗率(Cp/ρ)をプロットするとFig. 7の様になり、

銅比	0.82の場合	約72 K
	0.6の場合	約84 K

となり、十分低い値である。

2. 10 サンプル仕様

1) サンプル仕様は以下のとおりである。

a) 素線

素線径	0.9 mm
銅比(銅部/比胴部断面積)	2
非胴部電流密度 Jc	500 A/mm ² 以上 at 12 T
線材	Nb3Sn

b) 導体

型式	Cable-in-conduit型導体
素線数	12
撚線構成	3 × 4
コンジット内/外径	3.8 / 4.6 mm
コンジット材	CuNi
ポイド率	33%
サンプル時定数	1 & 20 msec

2) 上記導体をDSコイルのサンプル空間部に設置出来るように中間で折り返す無誘導巻

きで単層、10ターンのコイル形状とし、GFRP筒内に入れエポキシ樹脂で含浸する。構造図をFig. 8に示す。

2. 1.1 全体構成

その他本装置の全体を構成する主なものとして以下のものがある。

- 1) HF24との取り合い用フランジ
- 2) DSコイル釣り下げ用治具
- 3) 信号取り出し用フィードスルー
- 4) 電流リード
 - a) DSコイル用 1000A 一組
 - b) サンプル用 3000A 一組
- 5) 冷媒ガス出入口管 一組

Fig. 9に垂直設置用DSコイルとサンプル、Fig. 10にバックグラウンド磁界発生用のHF24の外観を示す。

3. 試験

3. 1 DSコイル単体試験

コイルの製作が終了したので、検収条件の一つとして垂直設置用DSコイルの通電試験を実施した。

1) 判定条件

HF24によるバックグラウンド磁界11T中でDSコイルがサンプル設置位置で1.8T以上発生することである。

2) 実験

実験はHF24の中心にDSコイルを設置し、磁界を測定するためサンプルを取り外した状態で行った。

ホール素子はFig. 11に示すように、サンプル位置(1)とDSコイル最外周(2)に取り付けた。また、DSコイルの保護抵抗は0.2Ω(40msec)と0.4Ω(20msec)の場合において遮断試験を実施した。

きで単層、10ターンのコイル形状とし、GFRP筒内に入れエポキシ樹脂で含浸する。構造図をFig. 8に示す。

2. 1.1 全体構成

その他本装置の全体を構成する主なものとして以下のものがある。

- 1) HF 24との取り合い用フランジ
- 2) DSコイル釣り下げ用治具
- 3) 信号取り出し用フィードスルー
- 4) 電流リード
 - a) DSコイル用 1000 A 一組
 - b) サンプル用 3000 A 一組
- 5) 冷媒ガス出入口管 一組

Fig. 9に垂直設置用DSコイルとサンプル、Fig. 10にバックグラウンド磁界発生用のHF 24の外観を示す。

3. 試験

3. 1 DSコイル単体試験

コイルの製作が終了したので、検収条件の一つとして垂直設置用DSコイルの通電試験を実施した。

1) 判定条件

HF 24によるバックグラウンド磁界11 T中でDSコイルがサンプル設置位置で1.8 T以上発生することである。

2) 実験

実験はHF 24の中心にDSコイルを設置し、磁界を測定するためサンプルを取り外した状態で行った。

ホール素子はFig. 11に示すように、サンプル位置(1)とDSコイル最外周(2)に取り付けた。また、DSコイルの保護抵抗は0.2 Ω (40 msec)と0.4 Ω (20 msec)の場合において遮断試験を実施した。

3) 結果

最初はHF 24、DSコイルとも徐々に電流を上げ、DSコイル電流を遮断し異常の無いことを確認しながら、最終的には以下の値を得た。

位置	HF 24 単独	DSコイル通電	差分
ホール素子1	11.31 T	13.36 T	2.05 T
ホール素子2	11.66 T	11.49 T	-0.17 T

DSコイル単独励磁（バックグラウンド磁界無し）ではホール素子1で1.9 T、2で-0.2 Tの値を得た。

また、DSコイルの定格電流からの遮断試験においては、0.2および0.4 Ωともに異常がないことを確認した。

Fig. 12およびFig. 13にDSコイル電流遮断時の代表的な波形を示す。

Fig. 12は素子1と2の位置の磁界の変化を示したものである。電源ノイズが重畳して見づらいが素子1の変化の具合が読み取れる。Fig. 13はDSコイルの全電圧の波形であり、時定数が約20 msecであるのが判る。

4. まとめ

- (1) 垂直設置用コイルにおいて、バックグラウンド磁界11 Tで約2 Tの磁界を発生することが出来た。
- (2) 時定数20 msecでの電流遮断が可能であった。
- (3) また、DSコイル遮断時においてもHF 24はクエンチ又は遮断モードには至らなかった。

謝辞

本研究に終始ご指導いただきました、核融合工学部 島本 進部長、超電導磁石研究室 辻 博史室長、西 正孝、保川幸雄の各研究員および室員の皆様に感謝申し上げます。

3) 結果

最初はHF24、DSコイルとも徐々に電流を上げ、DSコイル電流を遮断し異常の無いことを確認しながら、最終的には以下の値を得た。

位置	HF24単独	DSコイル通電	差分
ホール素子1	11.31 T	13.36 T	2.05 T
ホール素子2	11.66 T	11.49 T	-0.17 T

DSコイル単独励磁（バックグラウンド磁界無し）ではホール素子1で1.9 T、2で-0.2 Tの値を得た。

また、DSコイルの定格電流からの遮断試験においては、0.2および0.4 Ωともに異常がないことを確認した。

Fig. 12およびFig. 13にDSコイル電流遮断時の代表的な波形を示す。

Fig. 12は素子1と2の位置の磁界の変化を示したものである。電源ノイズが重畳して見づらいが素子1の変化の具合が読み取れる。Fig. 13はDSコイルの全電圧の波形であり、時定数が約20 msecであるのが判る。

4. まとめ

- (1) 垂直設置用コイルにおいて、バックグラウンド磁界11 Tで約2 Tの磁界を発生することが出来た。
- (2) 時定数20 msecでの電流遮断が可能であった。
- (3) また、DSコイル遮断時においてもHF24はクエンチ又は遮断モードには至らなかった。

謝辞

本研究に終始ご指導いただきました、核融合工学部 島本 進部長、超電導磁石研究室 辻 博史室長、西 正孝、保川幸雄の各研究員および室員の皆様に感謝申し上げます。

3) 結果

最初はHF24、DSコイルとも徐々に電流を上げ、DSコイル電流を遮断し異常の無いことを確認しながら、最終的には以下の値を得た。

位置	HF24単独	DSコイル通電	差分
ホール素子1	11.31 T	13.36 T	2.05 T
ホール素子2	11.66 T	11.49 T	-0.17 T

DSコイル単独励磁（バックグラウンド磁界無し）ではホール素子1で1.9 T、2で-0.2 Tの値を得た。

また、DSコイルの定格電流からの遮断試験においては、0.2および0.4 Ωともに異常がないことを確認した。

Fig. 12およびFig. 13にDSコイル電流遮断時の代表的な波形を示す。

Fig. 12は素子1と2の位置の磁界の変化を示したものである。電源ノイズが重畳して見づらいが素子1の変化の具合が読み取れる。Fig. 13はDSコイルの全電圧の波形であり、時定数が約20 msecであるのが判る。

4. まとめ

- (1) 垂直設置用コイルにおいて、バックグラウンド磁界11 Tで約2 Tの磁界を発生することが出来た。
- (2) 時定数20 msecでの電流遮断が可能であった。
- (3) また、DSコイル遮断時においてもHF24はクェンチ又は遮断モードには至らなかった。

謝辞

本研究に終始ご指導いただきました、核融合工学部 島本 進部長、超電導磁石研究室 辻 博史室長、西 正孝、保川幸雄の各研究員および室員の皆様に感謝申し上げます。

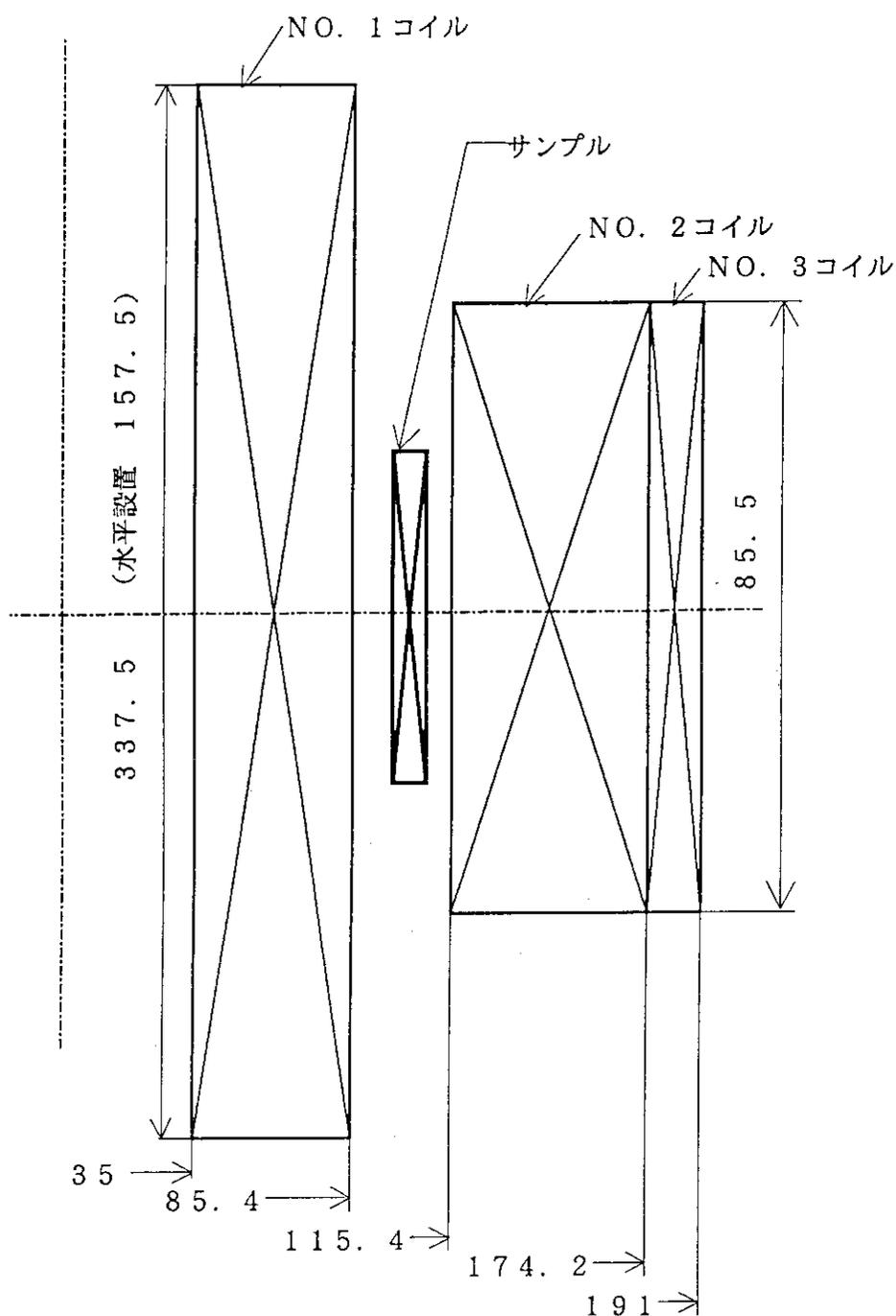
参考文献

- 1) M.S. Lubell: "EMPIRICAL SCALING FORMULAS FOR CRITICAL CURRENT AND CRITICAL FIELD FOR COMMERCIAL NbTi", IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. MAG-19, NO.3, MAY 1983
- 2) Y. HATTORI, S. SHIMAMOTO: "MECHANICAL STUDY OF 20 MJ SUPERCONDUCTING PULSE COIL", JAERI-M 85-147, 1985.

Table 1 コイルの自己および相互インダクタンス

(単位 mH)

No	1	2	3	4	5	6	7	8
1	7.09							
2	2.41	7.65						
3	0.503	1.72	0.614					
4	0.14	0.476	0.173	0.061				
5	10.2	17.8	5.96	1.83	2230			
6	4.47	7.82	2.62	0.808	666	289		
7	4.54	8.38	2.82	0.87	307	135	136	
8	4.83	8.96	3.01	0.929	197	86	90.8	90



コイル	コイル諸元		
	NO. 1	NO. 2	NO. 3
定格電流 (A)	1000	←	←
電流密度 (A/mm ²)	105.8	←	←
総ターン数 (水平)	416	262	75
(垂直)	895	262	72

Fig. 2 DSコイルの基本構造

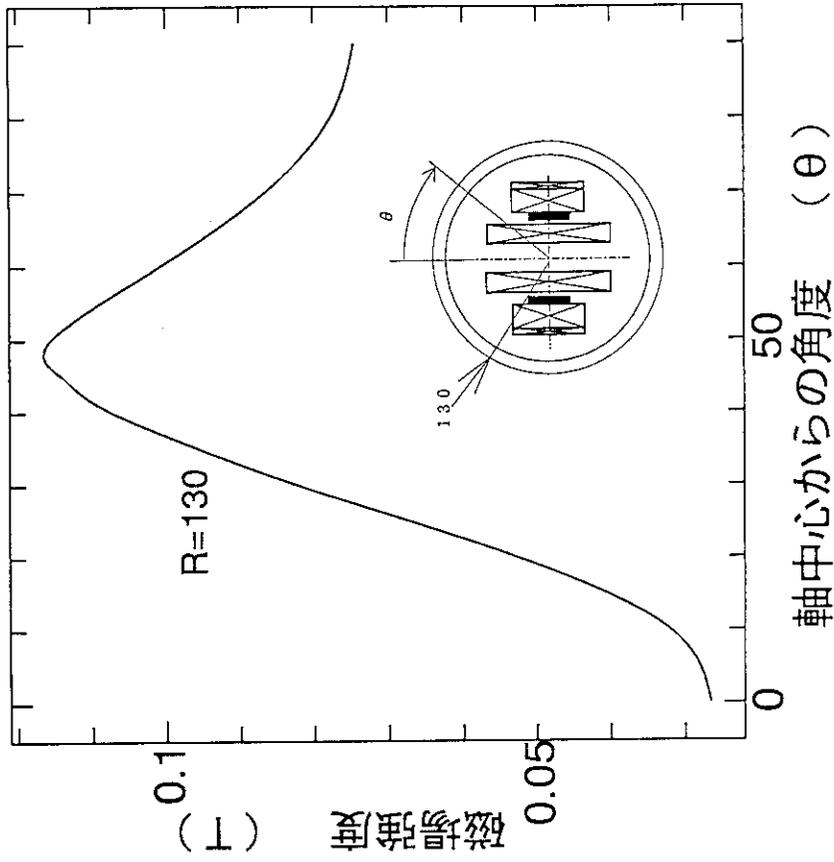


Fig. 3 DSコイルの磁場分布

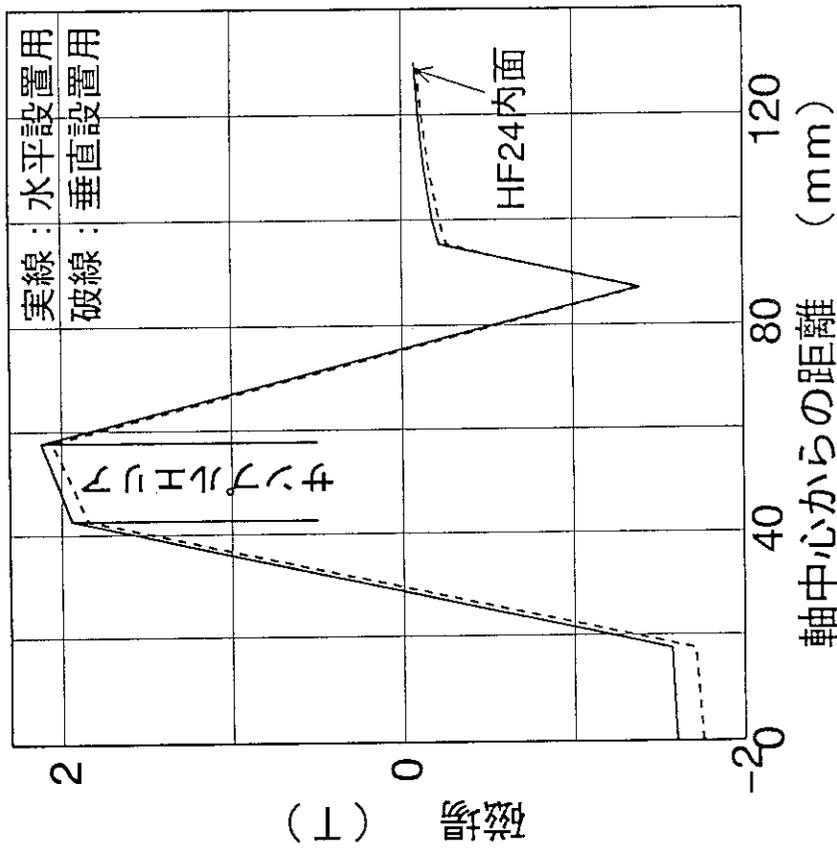


Fig. 4 HF24における磁界

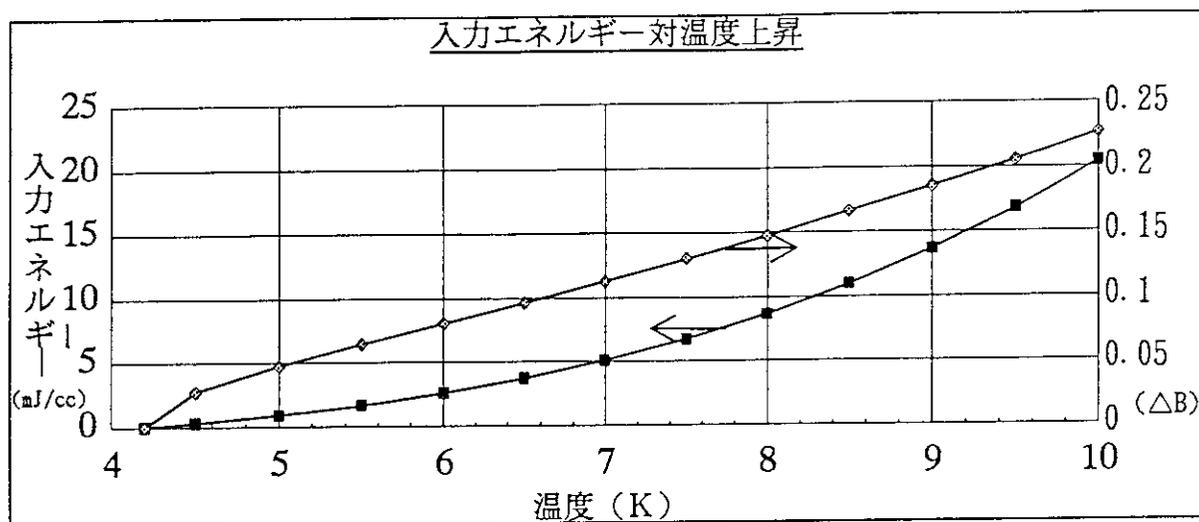


Fig. 5 HF 2 4 への入力エネルギー

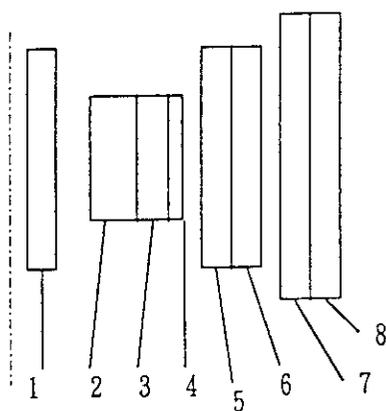


Fig. 6 DSコイルおよびHF 2 4 のコイル配置

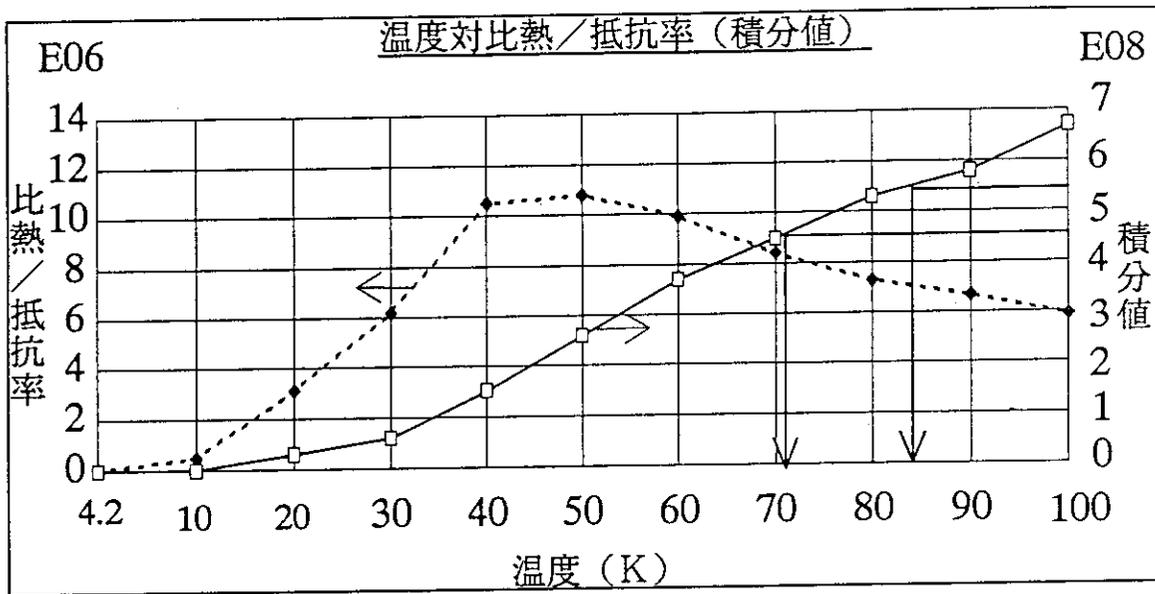


Fig. 7 DSコイルの温度上昇

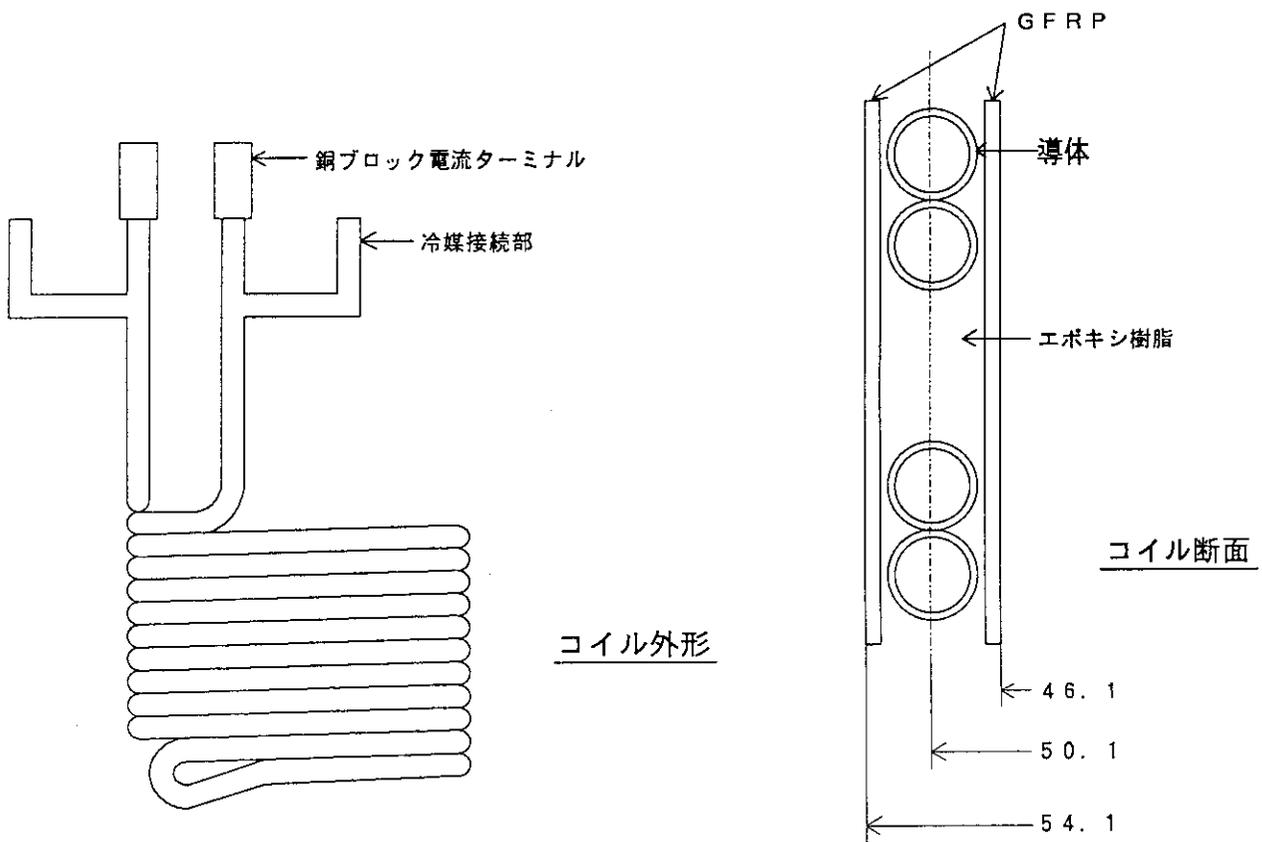


Fig. 8 サンプル構造図

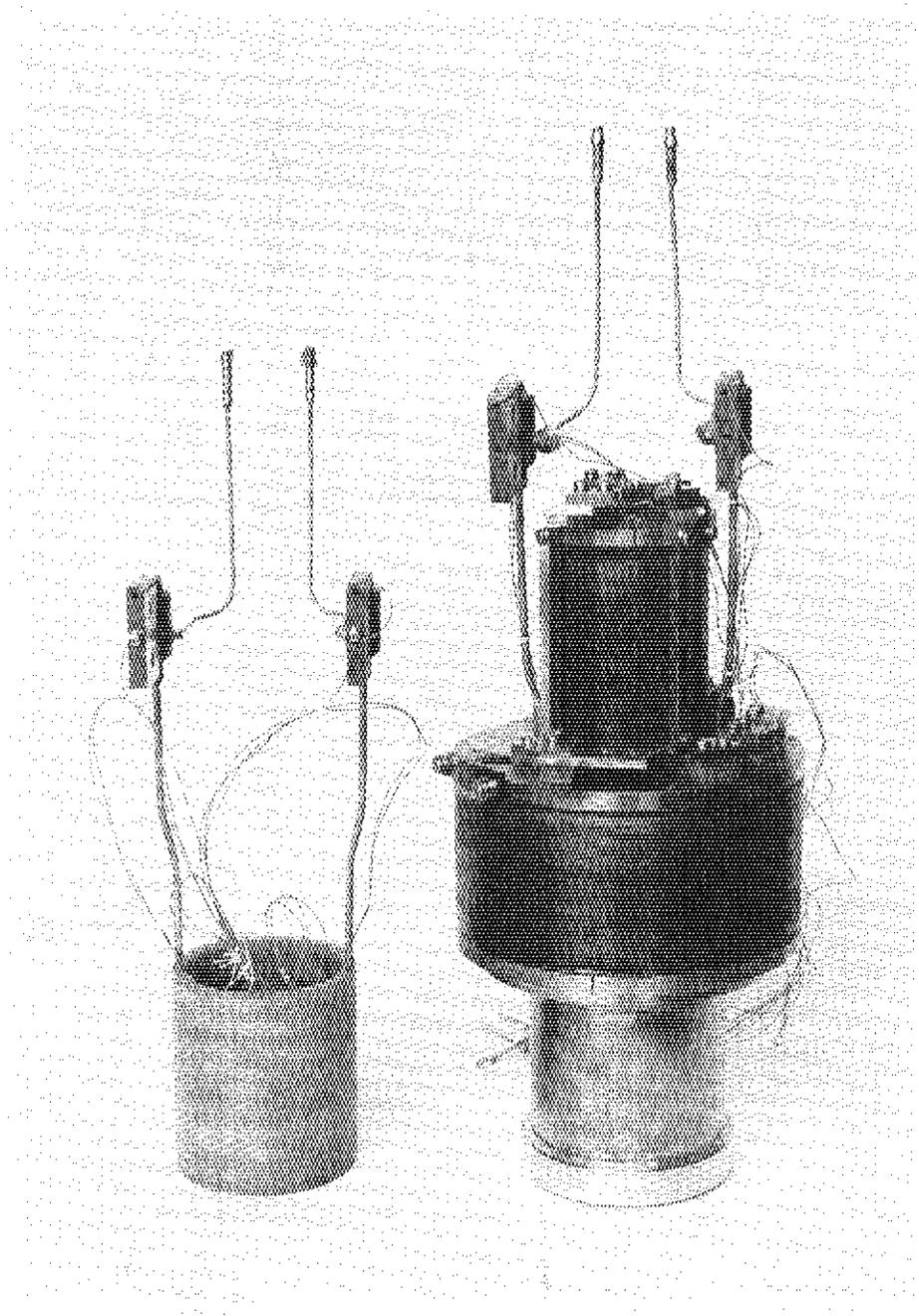


Fig. 9 垂直設置用DSコイルとサンプル

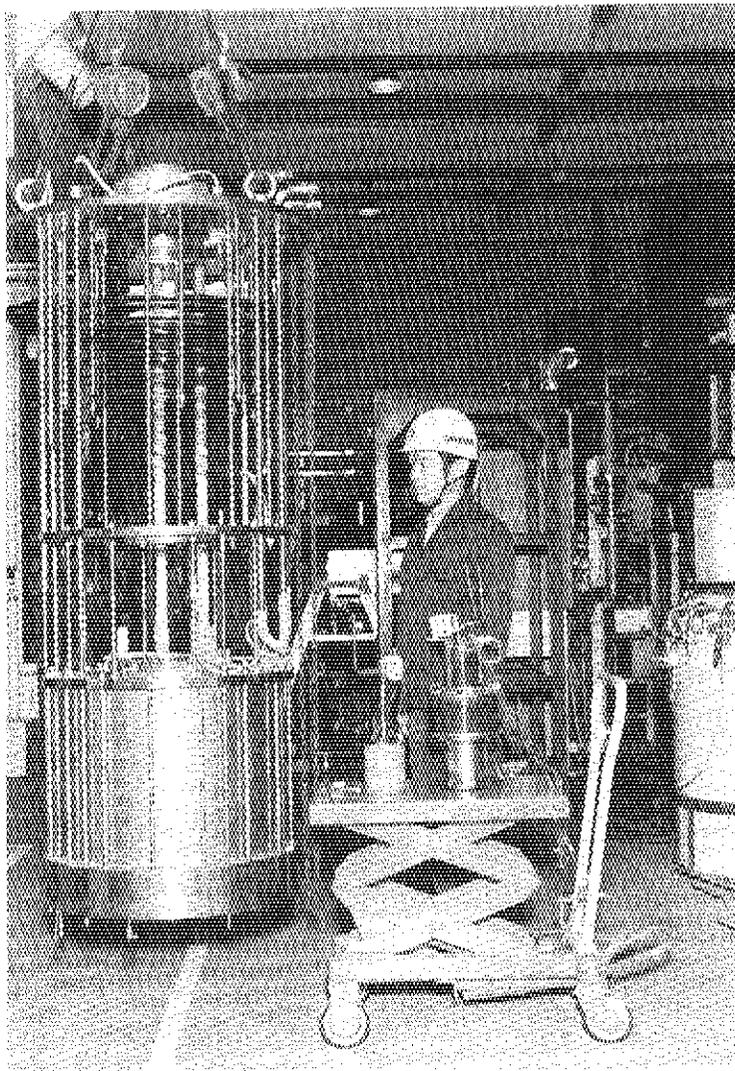


Fig.10 HF24とDSコイル

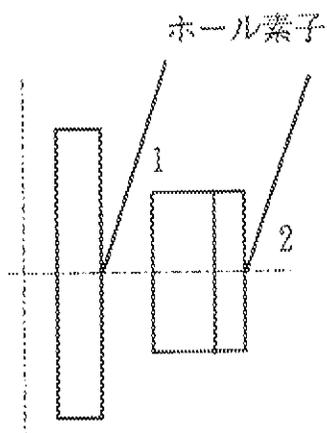


Fig.11 ホール素子取付位置

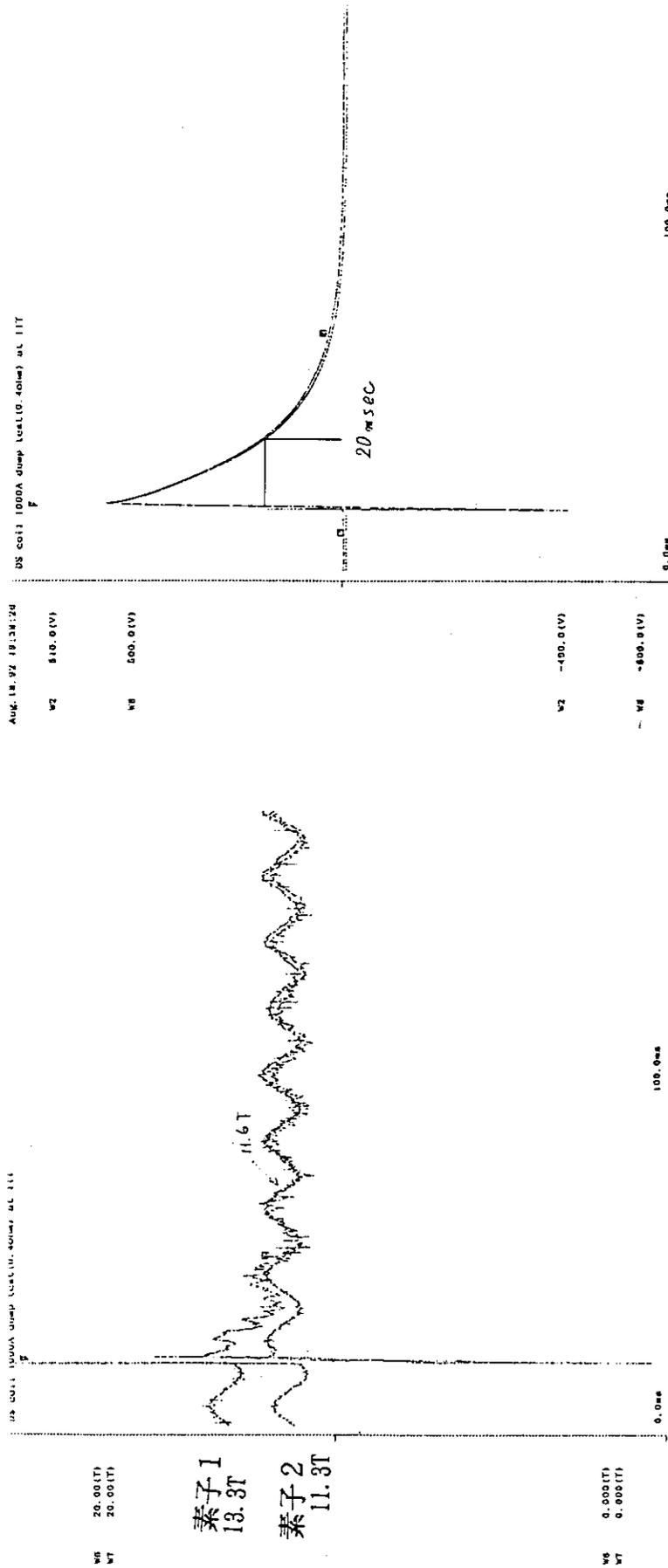


Fig.13 DSコイル電圧応答曲線

Fig.12 磁界応答曲線