

飛翔体磁気クリーニングのための一次元 Ring-core residual magnetometer*

瀬戸正弘***・斎藤尚生**
早坂孝***・赤間芳雄***

Ring-core residual magnetometer for magnetic cleaning of spacecrafts
By

Masahiro SETO, Takao SAITO, Takashi HAYASAKA and Yoshio AKAMA

Abstract; Our research group has developed high-sensitive ring-core magnetometers to be installed on spacecrafts. The magnetometers are so high-sensitive that bodies of spacecrafts have to be cleaned magnetically. The cleaning must be based on a measurement of weak residual magnetism of many parts of the spacecrafts. In order to measure the magnetism, a new device called the *ring-core residual magnetometer* is designed and constructed.

Two ring cores A and B are fixed with a mutual distance of 50 cm so that their sensing axes are antiparallel to each other. Summerized signals of the outputs from the two cores are recorded with a pen recorder. Specimen to be measured is layed on a rotator at a distance of 20 cm from the core A and is rotated with the rotator around the three orthogonal axes of the specimen. Three-dimensional dipole moment of the specimen is obtained by executing a Fourier analysis of a set of the three sinusoidal curves on the magnetogram. The moments of seven different standard parts of spacecrafts are actually measured by our ring-core residual magnetometer. A possibility to construct a newer device called the three-dimensional ricrestometer is briefly discussed.

1. 緒 言

東北大・東北工業大・東海大の磁場計測グループは磁場計測用機器として高い性能を持つ

-
- * 宇宙研特別事業費による研究論文
 - ** 東北大学理学部
 - *** 東北工業大学

Ring-core 磁力計を計画に従って順次開発し、目的通りの成果を収めてきた〔斎藤他, 1980a〕。

地上用としては東北大学女川地磁気観測所における定常観測等により、Ring-core 磁力計の優秀性が確認されてきた〔斎藤他, 1979a〕。

飛翔体搭載用としては、1979年9月、大気球による磁場計測がされ初期の目的を十分に達成した〔加藤他, 1980〕。引き続いて1980年8月、出力方法等を改良したRing-core 磁力計を搭載しての大気球実験が行われた。経過は順調で良好なデータが得られ現在解析中である。

以上の様な経験を基に、1981年1月にロケット (K-9M-72) による磁場計測、1984年にはMS-T5による我が国最初の惑星間空間における磁場計測が予定されている〔斎藤他, 1979b〕。その他、今後ロケット、人工衛星にRing-core 磁力計を搭載しての磁場計測が数多く計画されている。この様にRing-core 磁力計の性能は急速に改善されており、いままでのfluxgate 磁力計では実現できなかった高精度での磁場計測が飛翔体に搭載されてなされようとしている。例えば、それぞれの目的のためにK-9M-7号機では1nT、MS-T5では0.1nTの精度で計測することが計画されている。これら飛翔体による高精度の磁場計測において大きな問題となってきたのは飛翔体本体の持つ残留磁気である〔斎藤他, 1980b〕。この問題を解決する方法はいろいろ考えられるが、最終的に飛翔体本体の磁気クリーニングが必要となると思われる。我々はこのクリーニングの問題を解決するための第一歩として、飛翔体に使用される部品の持つ残留磁気を知る必要があると考えた。そのため、Ring-core 磁力計を応用して残留磁気を測定する装置 (Ring-core residual magnetometer) を試作し実験した。我々は以後、この装置をその頭文字を取って「RICRESTOMETER」と呼ぶことにする。

第2節に資料を三方向で回転し測定するOne-dimensional (1-D) RICRESTOMETERについて記述し、第3節に資料を一方向で回転するだけで測定できるThree-dimensional (3-D) RICRESTOMETERの概要を記述する。

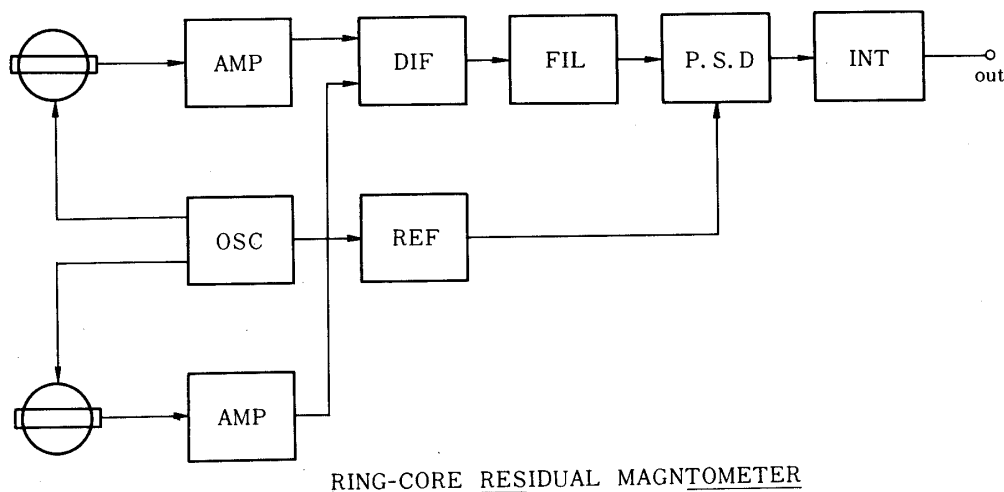
2. One-dimensional (1-D) RICRESTOMETER

飛翔体に使用される部品の持つ残留磁気を種々の磁気雑音のある実験室内で測定するには、それら不要の磁場 (ノイズ) の影響を取り除く必要がある。

一つの方法としてヘルムホルツコイルを用い、零磁場の空間を作り資料を置いて測定する方法があるが、更に手軽な方法としてastatic magnetometerが考えられる。しかしながら、従来の磁石式のastatic magnetometerは固有周期が長いので測定時間が長くなり、耐震性、携帯性、感度の安定性等悪く、全体として取扱いには非常な熟練を必要とする。

これらの問題点はRing-core 磁力計を応用したRICRESTOMETERにより解決でき、どこでも、いつでも誰もが手軽に部品等の残留磁気を測定できることになる。

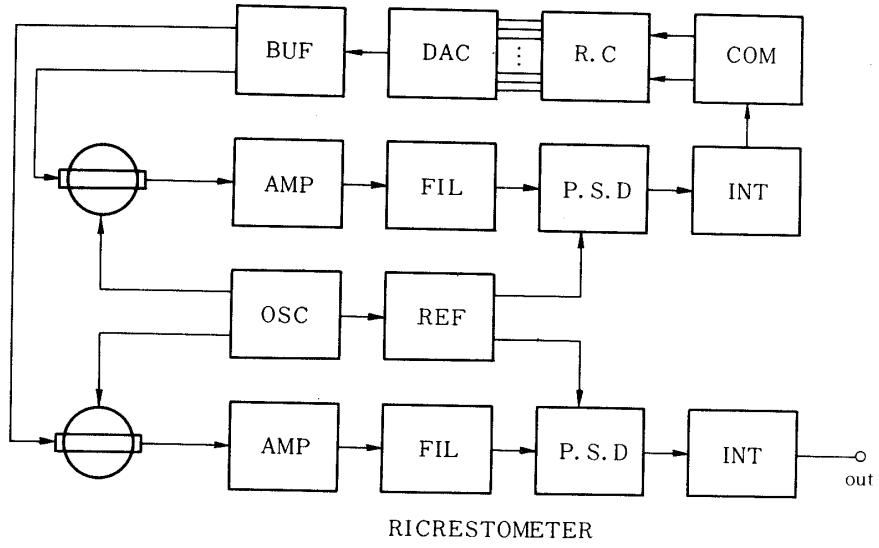
我々は先ず第一に一成分を測定する1-D RICRESTOMETERを試作し実験した。第1図はそのブロックダイヤグラムである。特性の良くそろった2つのRing-coreを選び、それぞれに同数の励振コイルを巻く。それらを同じく同数の検出コイルが巻かれた箱の中に収



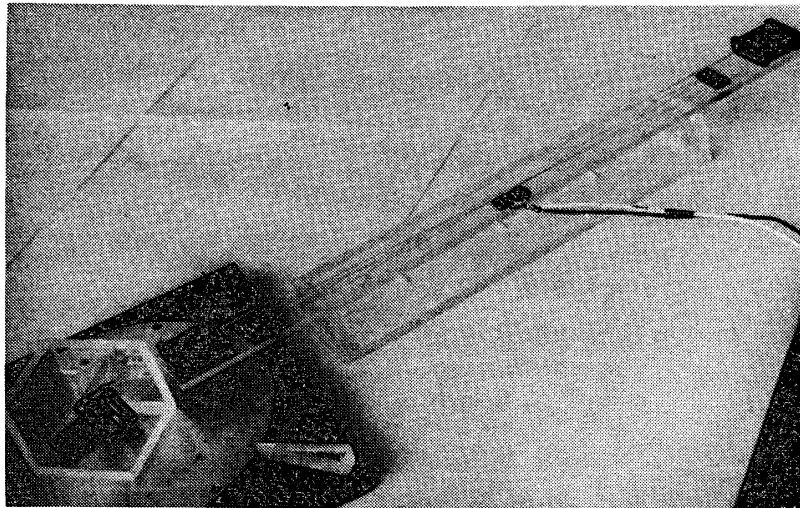
第1図 1-D RICRESTOMETERのブロックダイヤグラム

め、適当な間隔（今の場合 50 cm）に離し同方向に置いてセンサーとする。そして適当な励振周波数（今の場合 3.5 KHz）、励振電圧（6 V）を選んで励振すると、雑音も含む外部磁場が共通に両センサーに入力されている限り等しい倍周波出力がそれぞれ検出される。これらの出力を差動増幅器に入力して差引きすると出力は零となる。しかし、片方のセンサーにのみ資料を近づけるとバランスがくずれ、その資料の持つ残留磁気の大きさ、方向により振幅が異なり、位相が 180 度異なる倍周波出力が出る。従って後は通常の Ring-core 磁力計と同様にして残留磁気の大きさと方向が測定される。この方式で 1 つだけ注意を要する点は、両センサーを地磁気南北方向に置くと出力が大きく飽和してしまい、資料の残留磁気が弱い場合検出できなくなる可能性がある事である。従って、高感度の測定をするには、ほぼ東西方向にセンサーを設置して、出力が飽和しない範囲内で測定する必要がある。ところで、この点を解決するための方式として、第 2 図に示す様に片方の Ring-core センサーの出力が常に零になる様に打消電流を流し、同じ打消電流を他のセンサーにも流し、そこに資料を近づけるという方式がある。この方式は今回実験した方式に比較し、回路的にやや複雑となるが、装置は完成しており今後実験する予定でいる。

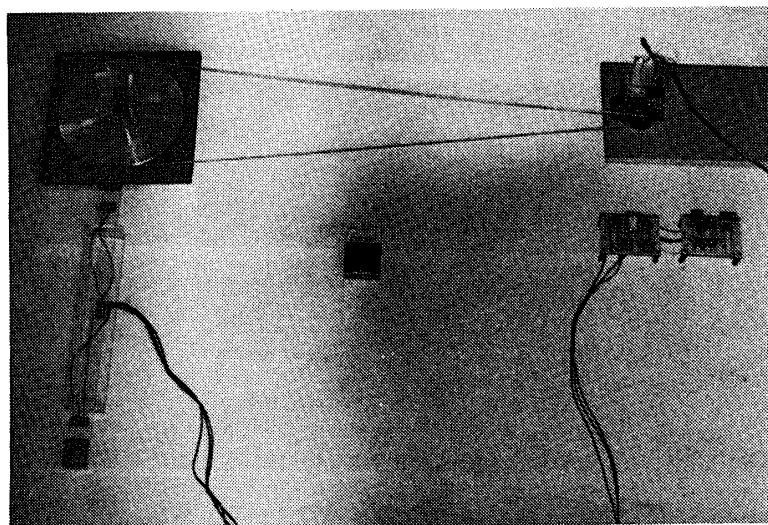
以上の様な Ring-core residual magnetometer により、残留磁気の大きさを測定できるが、次にそのモーメントの大きさ、方向を見るため第 3 図の様な資料の回転台を製作した。アクリル板の上にアルミ製の円板を置き、これを離して置かれたシンクロンモーターで一定に回転させた。第 3 図に示される様に回転板には目盛がついており、出力と角度の関係がわかる様にした。また、磁気モーメントの方向を見るため、資料を三方向で測定できる様に、同図に見られる様な資料固定枠を作った。この枠に資料をはりつけて三方向に設置し、それぞれの方向で一定に回転させた。第 4 図は全体図で K-9M-72 号機で使用される予定の残留磁気が大きいのと思われる部品を各機関から送って戴き、センサーとの距離をいろいろ変え



第 2 図 自動打消方式の 1 - D RICRESTOMETER



第 3 図 資料回転台



第4図 試作した1-D RICRESTOMETERの全体図

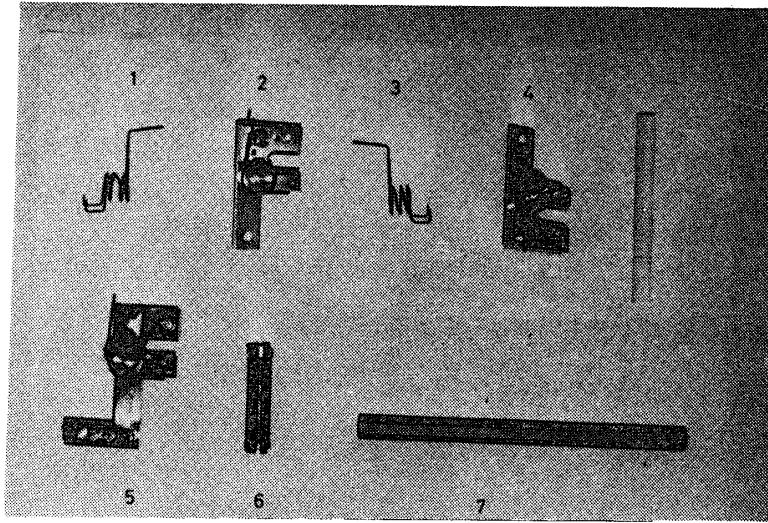
て三方向で回転し測定を行った。第5図に示す様なK-9M-72号機で使用される部品7点について、センサーとの距離を20 cm, 30 cm, 40 cm, 50 cmとして三方向に置き、それぞれ一定回転させ測定記録を得た。回転の速度は1 spin/13 secとしたが、これは記録計の応答速度のため遅くしたもので、適当な記録処理方法を使うことにより瞬時の測定が可能である。

感度は記録計のレンズを切替えることにより0.25 nT/mmから0.025 nT/mmの範囲で行い、ダイナミックレンジは固定して±30 nT/mmで測定を行った。

第6図は第5図の部品のうち2の番号をつけたガラスカッターの測定例で、センサーとの距離を20 cmとしX, Y, Z三方向に固定し回転させた時の出力を表わしている。出力波形の下の矩形波は部品の回転を表わす。図からわかる様に、この場合1回転でピークが2つ出ており4重極子の特性を示している。次に、同じ部品を40 cm離して測定した例を第7図に示す。前述の4重極子が消えて双極子モーメントによる記録となる事がわかる。そして、これらの測定は実験室内で行ったものであるが、外部磁気雑音の影響は記録上全く見られない。

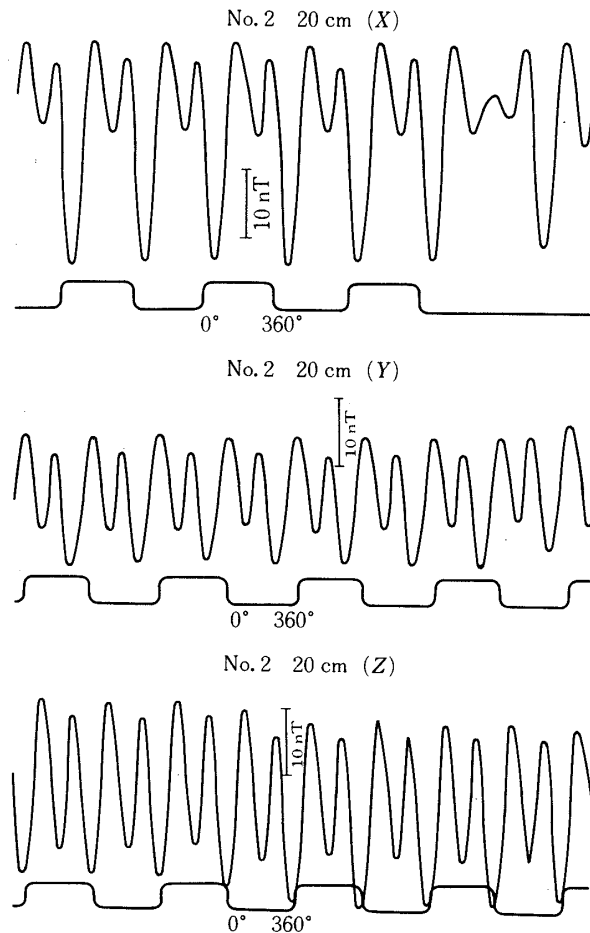
以上の様な測定を7個の部品総てについて、それぞれ距離を変え行い測定値を得た。次に、測定値をフーリエ級数に展開してみた。第8図は2の部品の例で、実線は測定値、点線はフーリエ級数による値を表わし、20 cmの距離では2次の項が大きいことがわかる。第9図は同じ部品の40 cmの距離の場合で、1次のフーリエ級数で表わすことができる。それぞれの図の下の部品（ガラスカッター）の図はX方向の時の図である、矢印方向が180度である。

以上の測定結果から部品の残留磁気モーメントが計算できる。例えば、2と5の部品のそれは、それぞれ 2.7×10^{-9} weber·m, 5.3×10^{-9} weber·mとなる。ところで、1~7の部品の中で最大の磁気モーメントを持つものは1と3のバネで、 1.2×10^{-8} weber·m

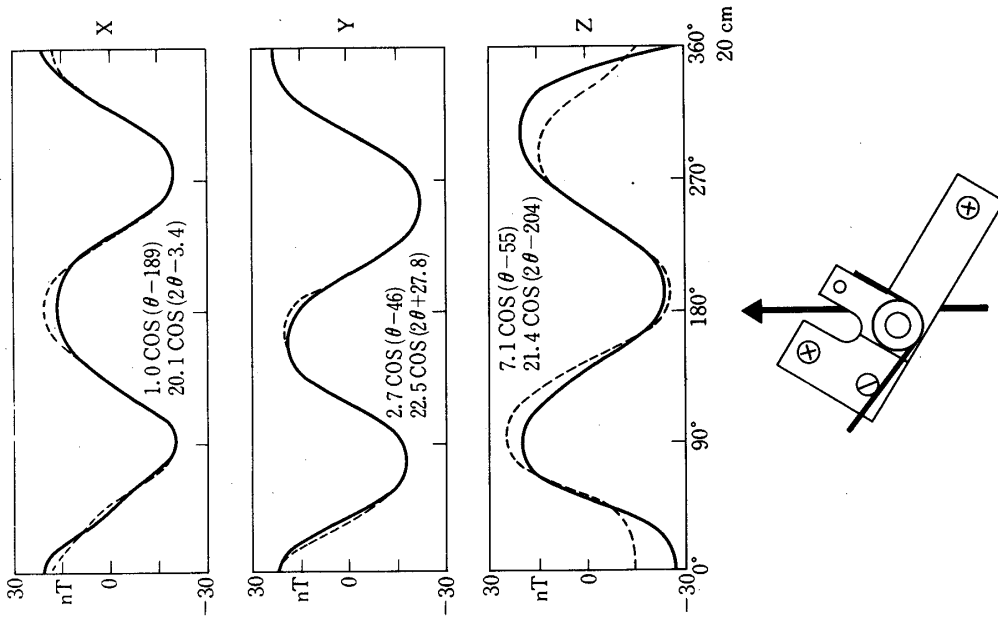
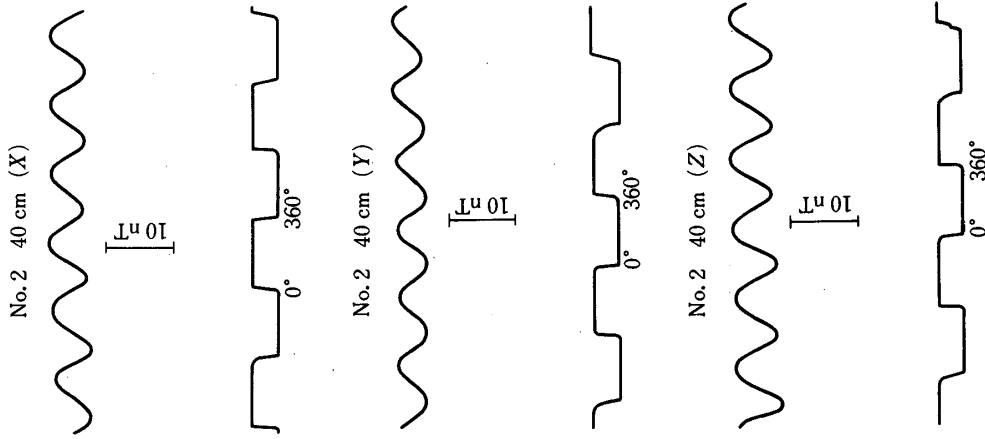


第5図 測定したロケットに使用される部品

であり、これは7のフェライト棒 (6.6×10^{-9} weber \cdot m) より大きいという予想外の結果となった。最後に実験室にあったTO-5型のIC, LM311 についても同様な測定をした所、 2.7×10^{-10} weber \cdot mであった。

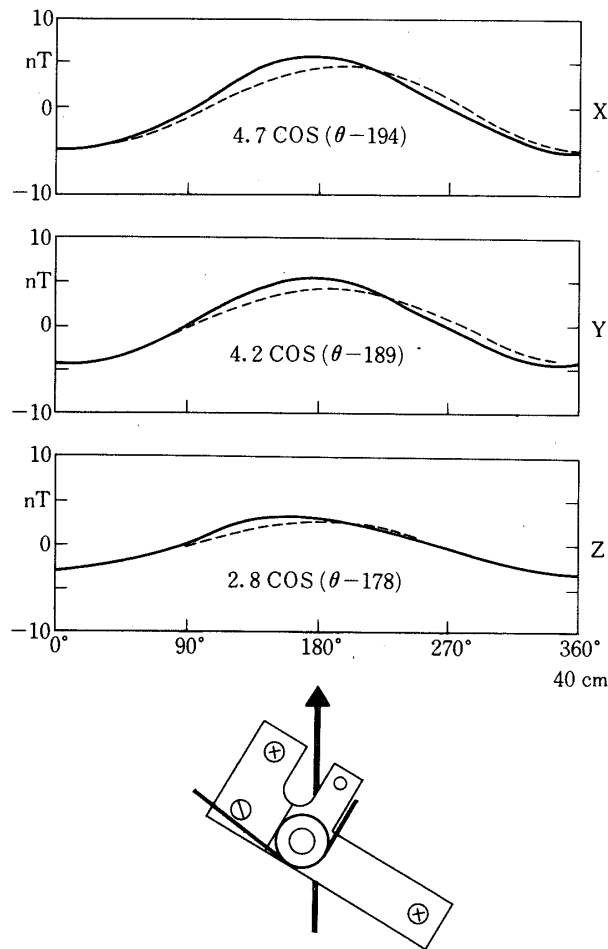


第6図 1-D RICRESTOMETER による測定例(20 cm)



第7図 1-D RICRESTOMETER による測定例(40 cm)

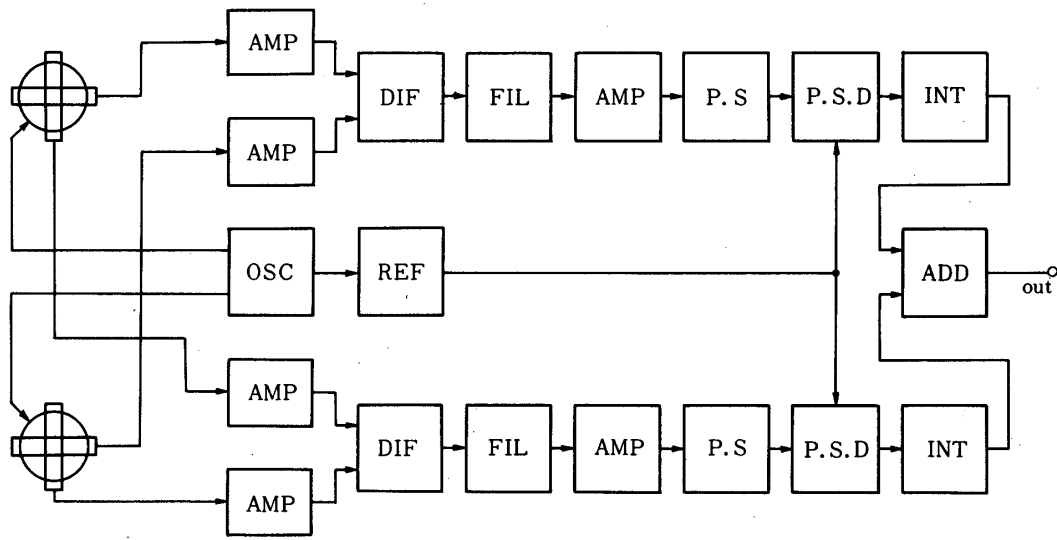
第8図 測定値をフーリエ展開した例(20 cm)



第 9 図 測定値をフーリエ展開した例(40 cm)

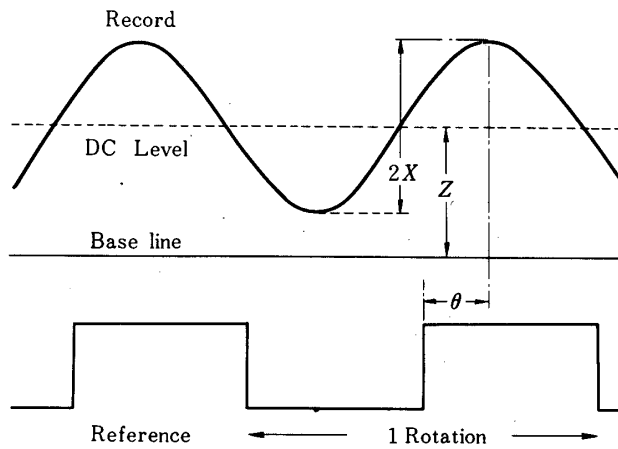
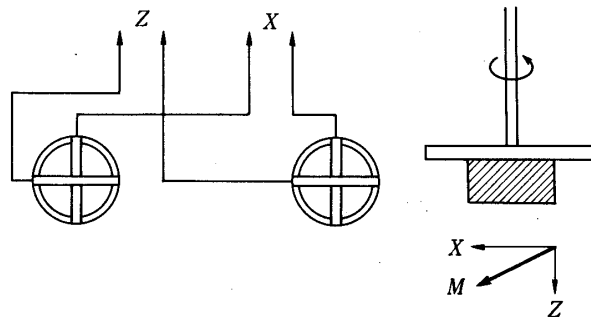
3. Three-dimensional (3-D) RICRESTOMETER

Ring-core 磁力計は ring-core に直交する 2 つの検出コイルを巻くことにより, core 1 つで直交する 2 成分を同時に測定できるという大きな特徴を持っている. この特徴を利用して, 資料を一方向に回転するだけで残留磁気を測定できる, 3-D RICRESTOMETER を試作した. そのブロックダイアグラムを第 10 図に示す. 第 11 図の上を示す様に資料の持つ dipole moment の Z 成分は近くに置かれたセンサーの所では回転によらず一定となる. X 成分は回転により正負の最大値を取り正弦波的になる. これら 2 成分を足し合わせるとその出力は第 11 図下の様になり振幅が X 成分の 2 倍を, DC レベルが Z 成分を表わしていることになる. また, 回転の情報から資料の基準面の位置が求まり, その位置と出力振幅の最大値との位相差から dipole の方向を求めることができる. 第 12 図上は試作したセンサーを示し, 下は打消し方式のセンサーを示す. 第 13 図は全体図を示している. 第 14 図は資料を回転するための装置である.

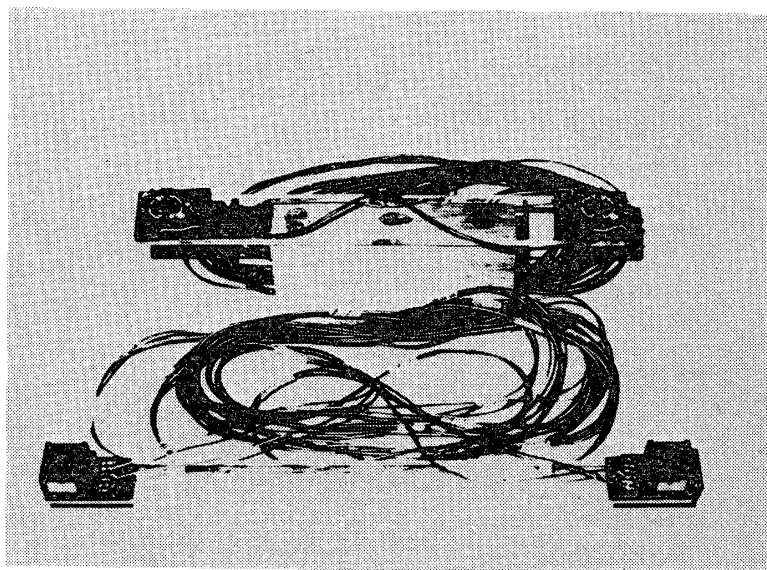


THREE-DIMENSIONAL RICRESTOMETER

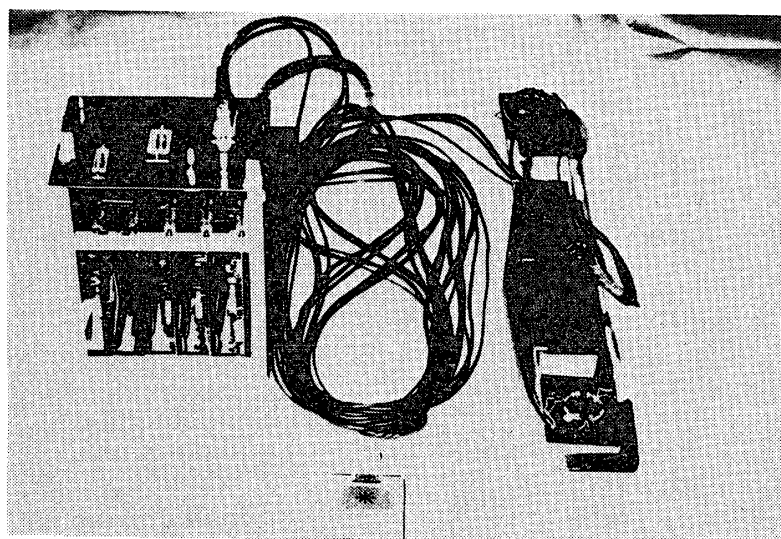
第10図 3-D RICRESTOMETERのブロックダイアグラム



第11図 3-D RICRESTOMETERの原理

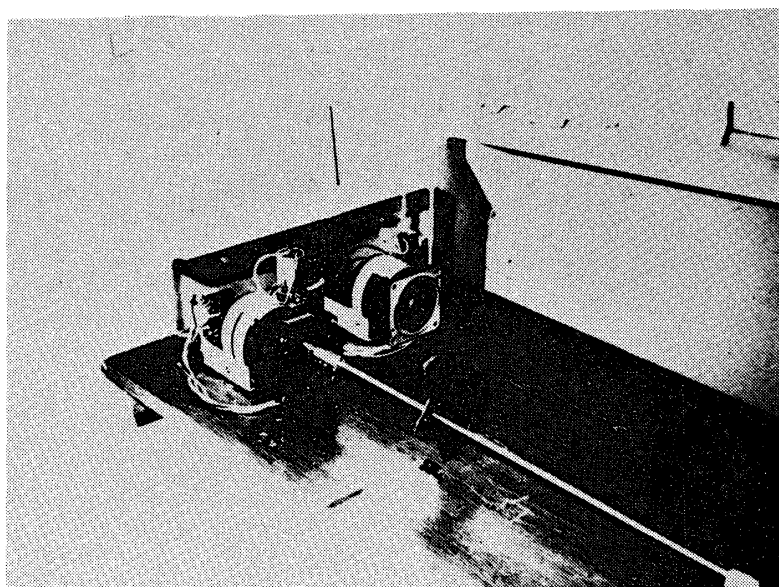


第12図 3-D RICRESTOMETERのセンサー

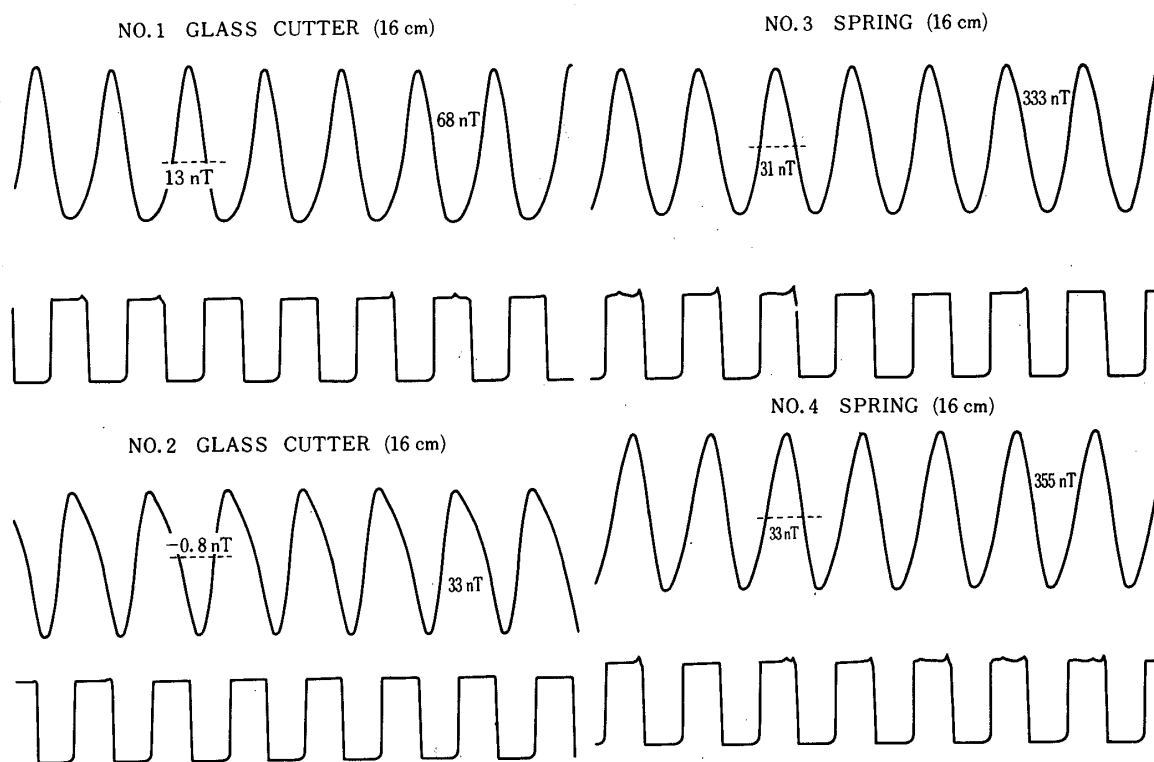


第13図 3-D RICRESTOMETERの全体図

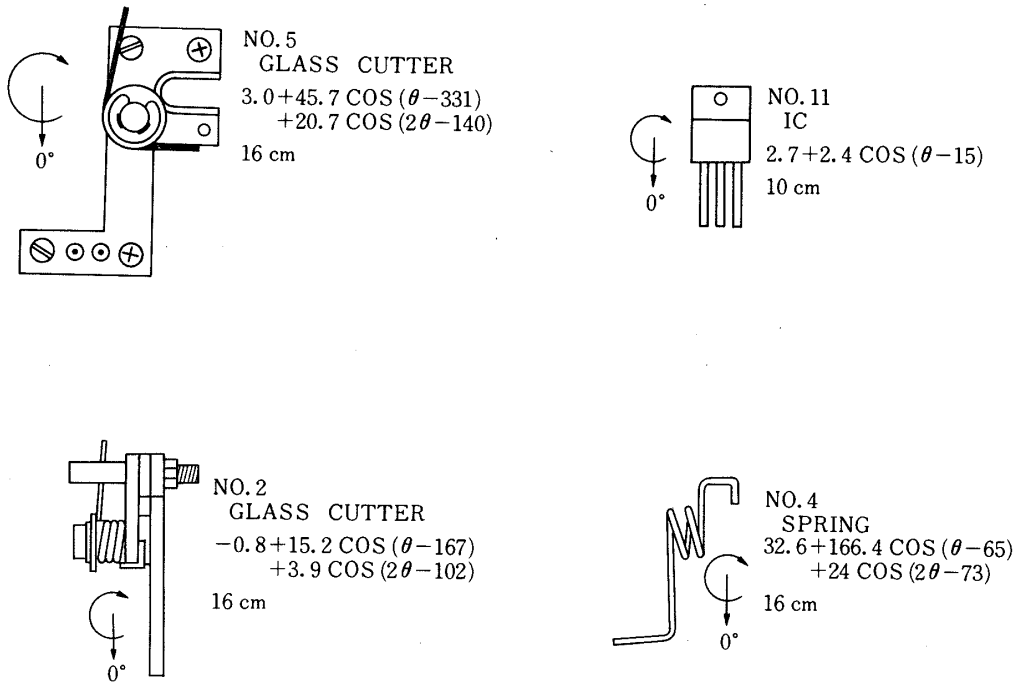
先ず、資料を $1 \text{ spin}/10 \text{ sec}$ で回転した時の出力波形の一例を第15図に示す。回転を示す矩形波は資料の基準面を表わしており、出力波形はあるDCレベルを持った正弦波となっていることがわかる。これらの出力波形から残留磁気モーメントを計算することができる。第16図は出力をフーリエ級数に展開した結果を示している。ところで、このRICRESTOMETERは約 10 msec という早い応答速度を持っており、出力を高速処理しなければ能力を十分引き出す事ができない。また、早い応答速度を利用すると「足し合わせの原理」を使ってノイズ



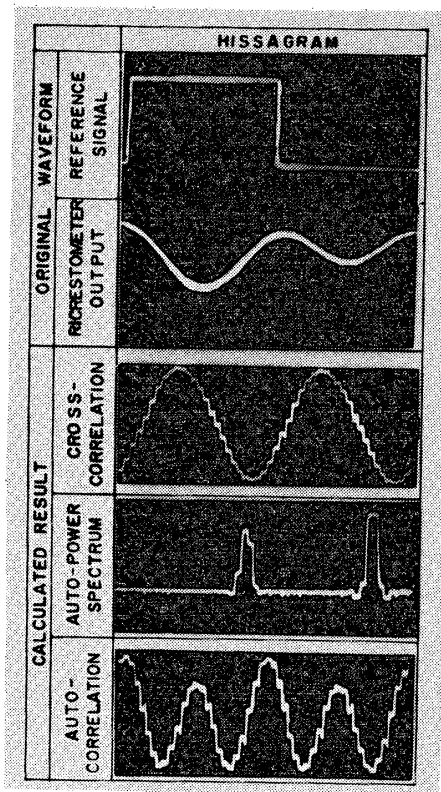
第14図 資料を回転するための台とモーター



第15図 3-D RICRESTOMETER の出力波形



第 16 図 測定結果



第 17 図 HISSA波形

の大きい実験室でも残留磁気を測定できることになる。従って、出力を高速処理するため HISSA (High-Speed Spectrum Analyzer) を利用した。HISSA による処理波形の一例を第 17 図に示す。これらの波形は振幅、位相差の情報を表わしており、測定を高速化する目途がついたため現在更に実験を進めている段階である。

4. 結 語

以上、Ring-core 磁力計を応用して、外部磁気雑音に影響されず実験室内で、部品の残留磁気を高感度で測定できる Ring-core residual magnetometer, RICRESTOMETER が製作できることを記述した。この磁力計がどの程度まで外部磁気雑音の影響を受けていないか、あるいは感度はどこまでいくか等の数量的特性は、今後の実験によって求めなければならない。この装置は飛翔体磁気クリーニングの問題を解決するための重要な装置の 1 つとなると思われる。

最後に、測定方法も含め飛翔体磁気クリーニング全般について、種々の御教示して戴いている宇宙航空研究所・平尾教授に深く感謝すると共に、部品をお送り戴いた宇宙航空研究所・小山孝一郎助手、明星電気、松栄電子に御礼申し上げます。

1980年10月1日

参 考 文 献

- [1] 斎藤尚生, 湯元清文, 永徳昭人, 瀬戸正弘, 青山巖 (1980a); 宇宙観測シンポジウム, 昭和 55 年度, 印刷中.
- [2] 斎藤尚生, 湯元清文, 瀬戸正弘, 早坂孝 (1979a); 宇宙観測シンポジウム, 昭和 54 年度, 62 - 73.
- [3] 加藤愛雄, 瀬戸正弘, 早坂孝, 斎藤尚生, 湯元清文 (1980); 宇宙航空研究所報告, 印刷中.
- [4] 斎藤尚生, 国分征, 青山巖, 瀬戸正弘, 福西浩, 西田篤弘 (1979b); 科学衛星シンポジウム, 昭和 54 年度, 80 - 89.
- [5] 斎藤尚生, 国分征, 青山巖, 瀬戸正弘, 福西浩, 西田篤弘, 湯元清文 (1980b); 科学衛星シンポジウム, 昭和 55 年度, 160 - 175.