

飛翔体弱残留磁気測定装置 (RICRESTOMETER) の開発

平尾 邦雄・小島 正美*・瀬戸 正弘*・斎藤 尚生**

(1981年12月26日受理)

Ricrestometer, a ring-core residual magnetometer
to measure weak magnetism of spacecraft parts

By

Kunio HIRAO, Masami KOJIMA, Masahiro SETO and Takao SAITO

abstract: In order to make a magnetic cleaning of various spacecraft bodies, it became necessary to measure very weak residual magnetisms of a lot of various parts of the bodies like resistors, condensers, screws, etc. So we constructed a high-sensitive Ring-Core RESidual magneTOMETER (RICRESTOMETER), which could be readily applied also for rock magnetism and paleomagnetism. A specimen was put at a distance of 10~20 cm for one of a pair of ring cores and is rotated by a speed of 2.3 rps. Difference of the signals from the two cores were stacked to sort out weak signals from various artificial noises. Frequency analysis was directly made to the stacked 2.3 Hz sinusoidal wave with our high-speed spectrum analyzer (HISSA). Thus, it became possible to measure weak residual magnetism of specimen ($\geq 10^{-6}$ emu/cc) by our ricrestometer within 120 seconds even in the terrible artificial magnetic disturbances during daytime. The further design for the stacking and the frequency analysis is described.

1. 緒 言

1985年打上げ予定の日本最初の人工惑星 MS-T5 にはリングコア磁力計が搭載され、地球主磁場の約1万分の1という大変弱い惑星間空間磁場の計測がなされる。一方、MS-

* 東北工業大学

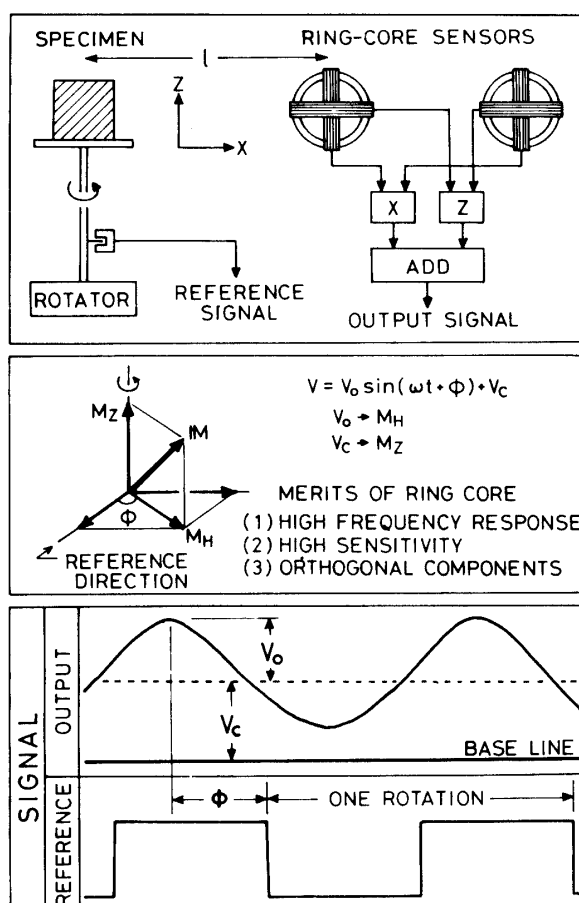
** 宇宙科学研究所 太陽系プラズマ研究系客員部門 助教授

T5に限らず今後の日本の人工惑星，人工衛星，ロケット等の飛翔体による磁場計測に際し，本体の磁気クリーニングが必要欠くべからざる事であることは常識となってきた（平尾 1980 a, b; 斎藤 1980）.

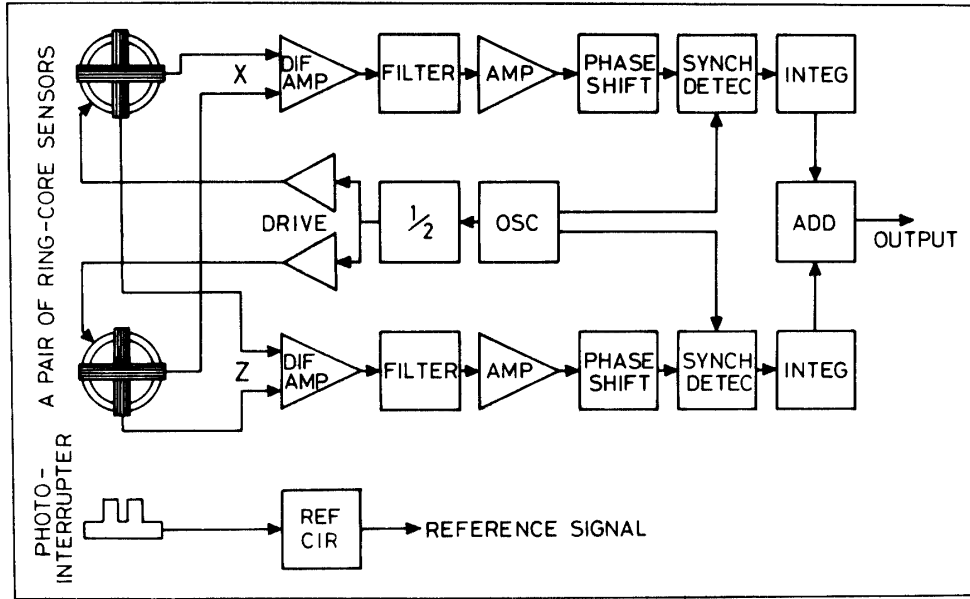
磁気クリーニングのためには先ず，本体を構成する数多くの部品の残留磁気を測定し，部品の選択，配置を考えねばならない．そこで，我々はリングコア磁力計の多くの長所を利用して，外部磁気雑音の多い場所でも簡単に高速で部品の残留磁気を測定できる装置を開発し RIng-Core RESidual magneTOMETER を省略して RICRESTOMETER 即ちリクレストメータと名付けた．そして，この装置により資料を一軸まわりに高速回転するだけで簡単に残留磁気が測定でき，岩石磁気の測定にも応用できる事を報告してきた（瀬戸他 1980 a, b, c）.

ここでは，現在開発を進めているリクレストメータ専用のマイクロコンピュータ出力処理装置について，その第一段階としての Stacking による磁気雑音の除去に主眼を置いて以下に記述する．

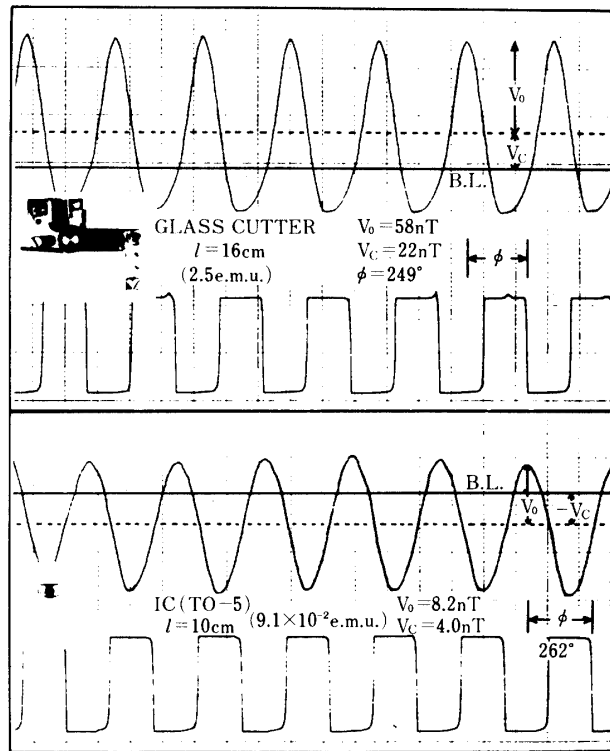
2. 基本的なリクレストメータ



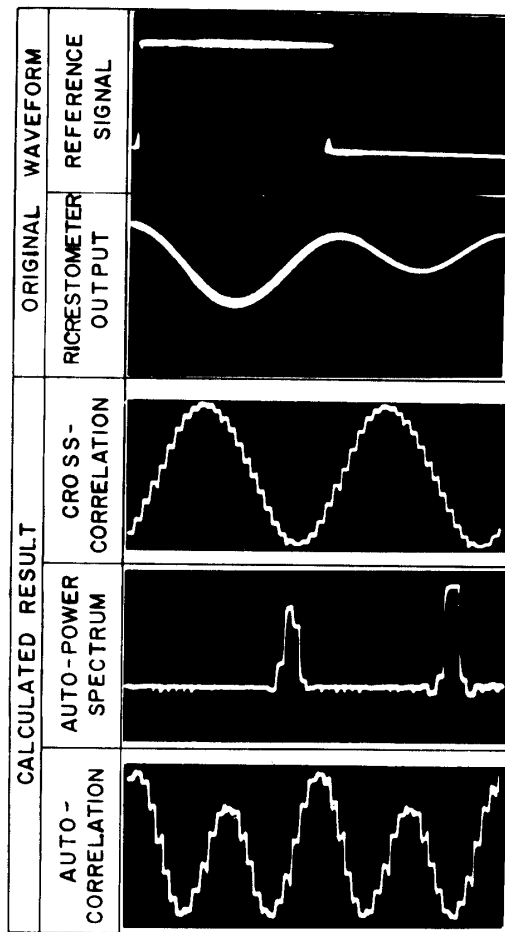
第1図 リクレストメータの原理図



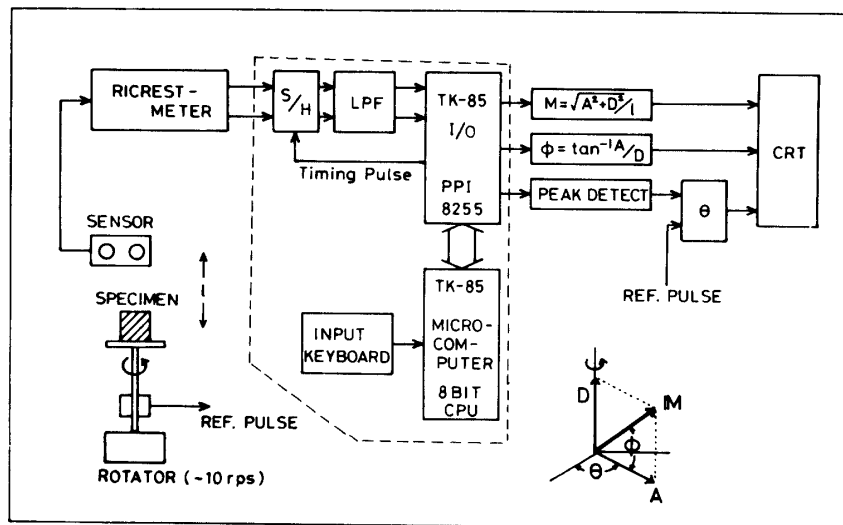
第2図 リクレストメータのブロックダイアグラム



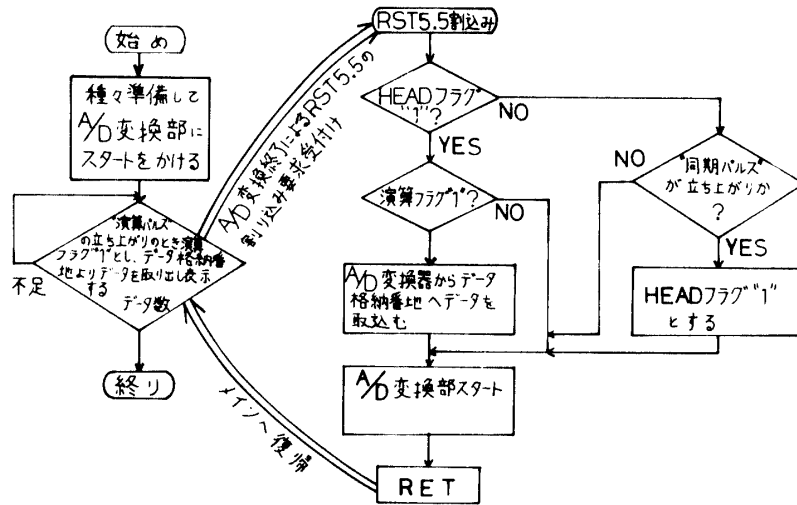
第3図 リクレストメータによるペン書き記録例



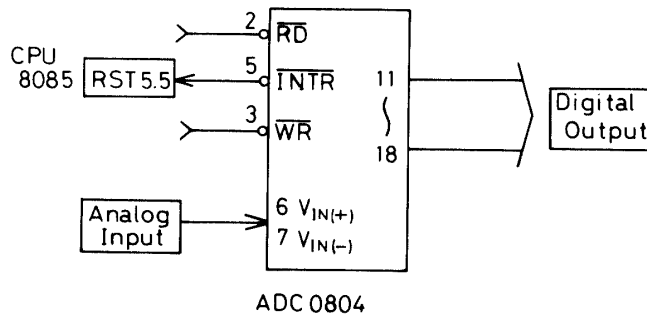
第4図 ヒッサグラム



第5図 リクレストメータを用いて残留磁気測定を行うための最終的な完成ブロック図

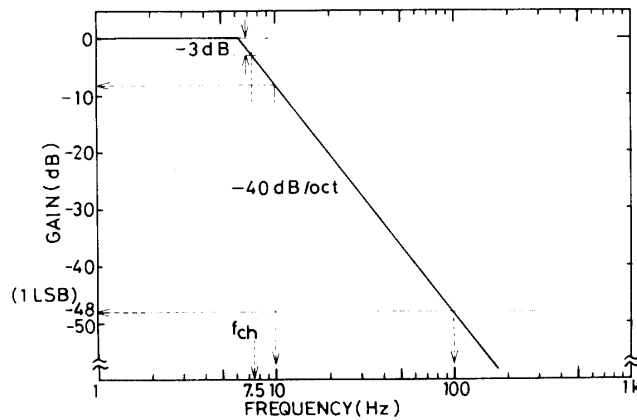


第6図 マイクロコンピュータ処理装置の動作概要を示すフローチャート



第7図 A/Dコンバータのブロック図

リングコアセンサーには、1つのコアに互いに直交する2つの検出コイルを巻くことによって、1つのセンサーで同時に直交二成分を測定できるという大きな特徴がある。この特徴を生かして、資料を一軸まわりに回転するだけで直ちに残留磁気モーメントの大きさと方向を測定できる。その原理を第1図に示す。すなわち、1つのコアに互いに直交する2つの検出コイルを巻いたリングコア2個を平行に置き、それぞれの成分毎に差動結線する。片方のセンサーの近くに資料を置いて図に示す様にz軸まわりに回転すると、残留磁気モーメント M の M_H 成分による磁場はX成分コイルにより検出され、資料の回転に伴ない正弦波出力として測定される。z成分は資料が回転しても不変であり、z成分コイルで検出される出力は一定となる。そこで、両出力の和をとると、出力として第1図に示すような出力波形が得られる。一方、回転の基準面を定める光源読取装置からの出力波形は、同図下のようなになる。従って、正弦波出力の振幅は M_x 成分を表わし、そのDCレベルは M_z 成分を表わすことになる。基準面と振幅最大との位相差は残留磁気モーメントの方向を直ちに示していることになる。



第8図 LPFの周波数特性

以上の原理を用いたリクレストメータのブロック図を第2図に示す。実験ではセンサーの間隔を35 cmとした。また、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うので、出力が飽和しないように地球磁場と45°方向に両センサーを設置して実際の測定を行なった。このようにして得られた記録例を第3図に示す。同図はK-9M-72号機に使用される部品について測定したものである。記録計のペンを応答させるために資料を10秒間に1回という遅い速度で回転している。

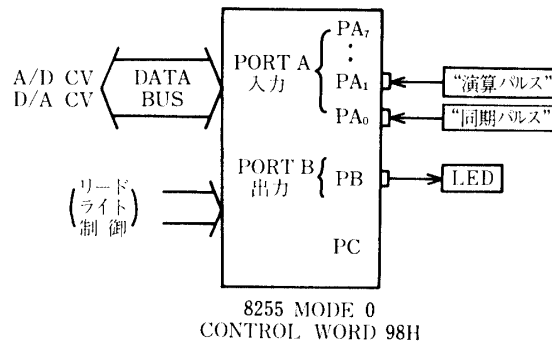
ところで、飛翔体部品や岩石などの持つ残留磁気モーメントを地球磁場および種々の磁気雑音のある実験室内で測定するには、それらの不要な磁場の影響を取り除く必要がある。リクレストメータにおいては2つのコアの出力を差動接続する事により共通に入る磁気雑音を打消しているが、磁気雑音の源が近くにある場合などには、出力に雑音の入ることが避けられない。しかしながら、リクレストメータ自身の応答速度は非常に速いので資料を速く回転し、出力をスタッキングすることにより雑音に影響されない測定が行なえる。

そこで我々は先ず、汎用の高速波動解析機である High-Speed Spectrum Analyzer いわゆる HISSA を用いて出力を処理してみた。第4図がその結果で、資料を2.3 rpsで回転して2°個の出力波形をスタッキングした結果がヒッサグラムとして図示されている。これらから、残留磁気モーメントを求めるため必要な情報が直ちに得られる。なお、この実験の最中にセンサーのすぐ側で棒磁石を振り人工的に磁気雑音を入れたが波形は非常に安定していた。この様にして、リクレストメータは適当な出力処理装置と組み合わせる事により、外部磁気雑音に影響されずに簡単かつ高速で弱い残留磁気も測定できることがわかった。

3. リクレストメータの出力装置の開発

我々が現在考えているリクレストメータを用いて残留磁気測定を行うための最終的な完成ブロック図を第5図に示す。今回は、特に磁気雑音対策としてスタッキングを行なうため図中の破線で囲まれた部分の簡単な出力装置の開発をし実験を行った。

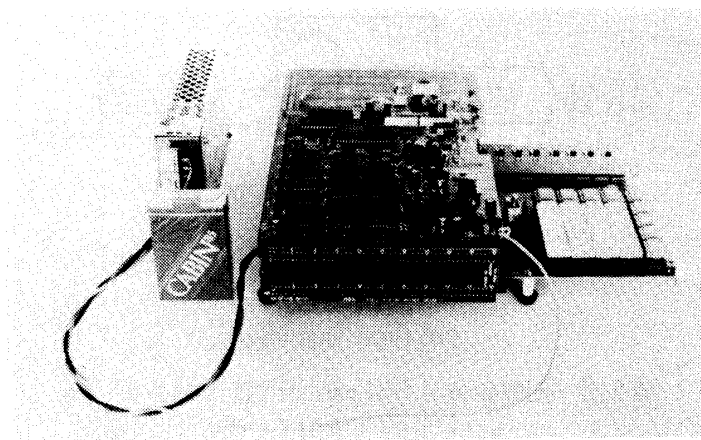
先ずリクレストメータ専用のスタッキングのためのマイクロコンピュータ処理装置の動



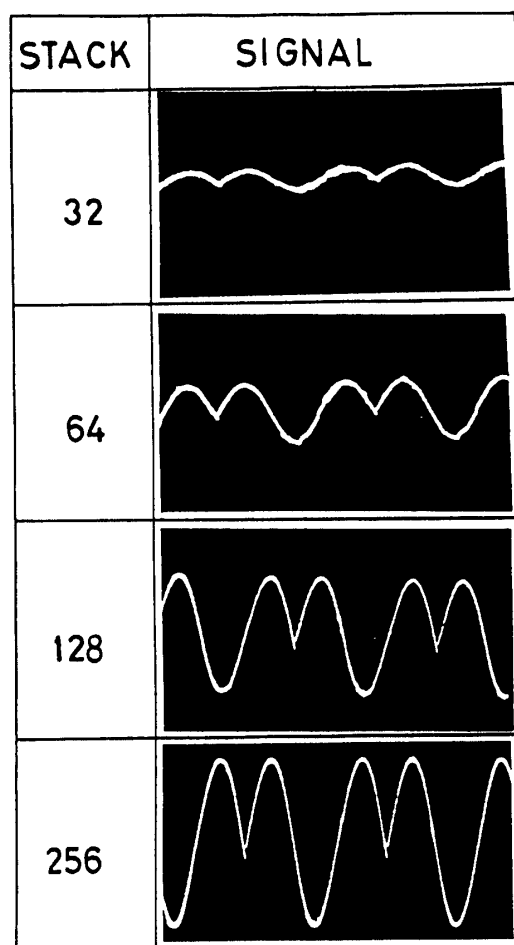
第9図 汎用Parallel I/O port (PPI) 8255をモード0, コントロールワード98Hとして使用した場合

作概要を示すフローチャートを第6図に示す。第7図にはA/Dコンバータブロック図を示す。マイクロコンピュータとしては、一枚基板のマイクロコンピュータTK-85を用いた。電源(+5V, ±12V)をオンして、\$1000番地にアドレスをセットして、ランさせると変換部にWR信号にて変換スタートがかかり、変換時間後、変換終了の $\overline{\text{INTR}}$ 信号がA/Dコンバータ(ADC 0804)の5番端子から出力される。この5番端子は、CPU 8085のRST 5.5端子に接続されている。RST 5.5のジャンプテーブル\$83C0番地に同期加算平均を行うプログラム\$1047番地へジャンプするJMP命令を予め入れておく。\$1047番地からプログラムは“同期パルス”が立ち上がりするとき、すなわち資料の基準方向出力(リファレンスシグナルの立ち上がり)のときHEADフラグを“1”とし、スタート地点を決定する。“演算パルス”が立ち上がりするとき、すなわちスタッキングシグナルの立ち上がりするときSTACKフラグを“1”とし、A/D変換器からデータ格納番地へデータを取込む。第6図のサブルーチンの部分が割り込みモードで、RET命令によりメインルーチンに戻る。メインルーチンではデータのくり返し表示を行う。このように我々が作成した同期加算平均を行うプログラムをアドレスの\$1000番地から\$10E9番地のROMに予め入れておくので、電源をオンしてアドレスを\$1000番地にセットしてランさせるだけの簡単な操作により同期加算平均操作が実行できる。第5図に示す様に、リクレストメータからの出力はS/H(サンプルとホールド)回路へ入れる。このとき、S/HのタイミングパルスはA/D変換終了パルスを利用する。

つぎに、LPF(低域通過フィルタ)回路の設計を簡単に述べる。第8図に示すように、データが8ビットのときの1LSB(最下位ビット)が約-48dBとなる。資料の回転速度が2.3Hzであるから、 f_{ch} (高域しゃ断周波数)を7.5Hzとし100Hz以上の周波数による影響を無くするためには、-40dB/octの高域しゃ断特性のLPFを設計すればよい。我々はアナログとデジタル間の変換処理を行うための制御用素子として、汎用parallel I/O port(PPI) 8255を使用した。PPI 8255をモード0、コントロールワードを98Hとして使用することにより、第9図に示すようにPA(Port A)を入力、PB(Port B)を出力として使用することになる。“同期パルス”、“演算パルス”等の制御パルスはそれぞれPAのPA₀お



第10図 リクレストメータ専用マイクロコンピュータ処理装置



第11図 リクレストメータによるスタッキングの結果例

よび PA₁端子を利用した。PA₂~PA₇端子の6端子が現在未使用の端子となっている。これらの端子は、今後開発が進み最終的に完成されたりクレストメータ出力専用処理装置としていく上で必要になると考えられる。PBはA/Dコンバータのスケール調整およびオフセット調整、D/Aコンバータの入力データ確認用として使用している。今回開発し実験したリクレストメータ専用のマイクロコンピュータ処理装置を第10図に示す。8ビットCPUで2バイト演算を行うことにより256回の同期加算平均を行っているため記憶容量として0.5KバイトのRAM(2114)が1個で済む。また、第6図に示したフローチャートのプログラムは、アドレス\$1000番地から\$10E9番地のROMに書きこめるので、2KバイトのROM(2716)1個で足りる点も特徴である。完成された専用処理装置を開発していく上でも、2KバイトのROMで十分と思われるが、本装置は更に4Kバイトの拡張用のROMスペースが確保されている。実際に、リクレストメータの出力を256回同期加算平均を行った結果を第11図に示す。同図に示すように、実験室での雑音の多いところでの測定にもかかわらず、雑音に影響されない波形が得られた。スタック数が32, 64, 128の時の波形はスタッキング操作の途中の経過を示し、実際に同期加算平均を行った後の結果の波形はスタック数256のときのものである。

4. 結 語

今回の実験では資料の回転速度を2.3 Hzとして256回の同期加算平均を行ったため、所要測定時間が約3分程かかる。しかしリクレストメータは更に速い応答速度を持っており、また本装置に使用しているマイクロコンピュータTK-85はクロック周波数4.9152 MHzで動作しているので、資料の回転速度を10 Hz以上にすることによって、より高速の測定が可能である。また、周囲の磁気雑音の状態によってスタック数は必ずしも256回の必要はなく、128回あるいは64回でも十分測定できるので、スタック数を任意の値に設定できるものにし、最終的には、第5図のブロック図に示すように、残留磁気モーメントの大きさと方向を数10秒以内で測定し直読できるものに今後改良を進めていく予定である。

参 考 文 献

- [1] 平尾邦雄; 衛星の磁気, 科学衛星シンポジウム, 176-178 (1980 a).
- [2] 平尾邦雄; 飛翔体による磁場測定における問題点, 磁場精密測定, 121-129 (1980 b).
- [3] 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; 人工惑星による磁場計測計画, 科学衛星シンポジウム, 160-175 (1980).
- [4] 瀬戸正弘, 早坂 孝, 赤間芳雄, 斎藤尚生; 飛翔体磁気クリーニングのための Ring-core residual magnetometer の製作, 宇宙観測シンポジウム, 49-62 (1980 a).
- [5] 瀬戸正弘, 赤間芳雄, 斎藤尚生; 飛翔体部品磁気高速測定用磁力計, 磁場精密測定, 84-89 (1980 b).
- [6] 瀬戸正弘, 斎藤尚生, 早坂 孝, 赤間芳雄; 飛翔体磁気クリーニングのための一次元 Ring-core residual magnetometer, 宇宙航空研究所報告 16, NO 4 (B), 1405-1417, (1980 c).