

ロケット搭載用二成分磁場測定器*

遠山文雄**・青山 巖**・加藤愛雄**

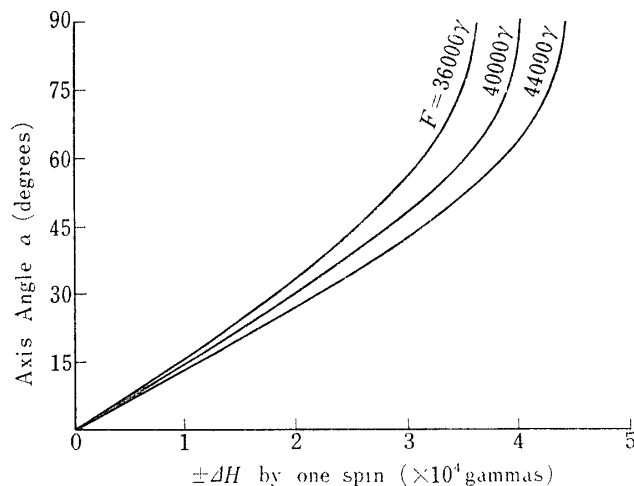
1. ま え が き

倍周波型磁力計は従来ロケットに搭載され、ロケットの地磁気に対する姿勢や電離層内の磁場測定などに利用されてきた。その測定精度を上げるため磁力計の digital 化を計り、今回その digital 方式に analog 測定を加えた hybrid 方式を開発した。本論文では S-210-4 号機および K-9M-34 号機搭載用として製作した磁力計について述べる。

倍周波型磁力計による磁場の成分測定では、磁力計センサをロケット軸方向（Z成分）およびこれと直角方向（H成分）に取付け、H成分はロケットのスピンの利用して測定する方法がある。H成分はスピンによって磁場の変化量が大きいためいろいろな検出方式が行なわれてきたが、この hybrid 方式の磁力計は成分がスピンによって大きな磁場変化を伴っても H成分の最大値を検出すればよいという考えから、最大値を中心にその前後だけを制御用センサを使って測定をする。そしてその間の磁場変化を digital および analog 信号で検出し、高精度測定をしようとするものである。

2. 測 定 方 法

Z成分センサおよびH成分センサをそれぞれロケット軸方向およびそれと直角方向に搭載



第1図 スピンによって変化する全磁力による α と H成分変化量 ΔH

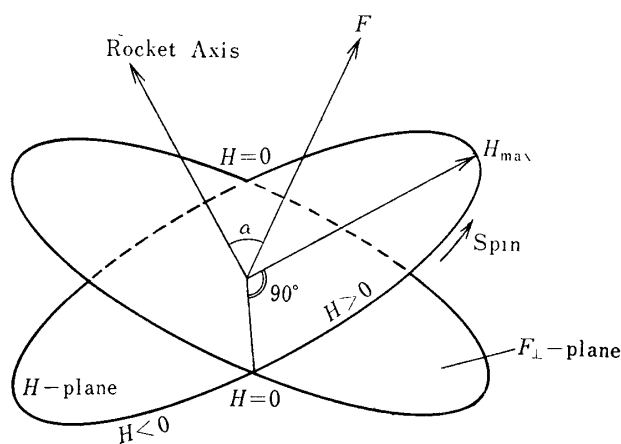
* 宇宙研特別事業費による研究論文

** 東海大学工学部

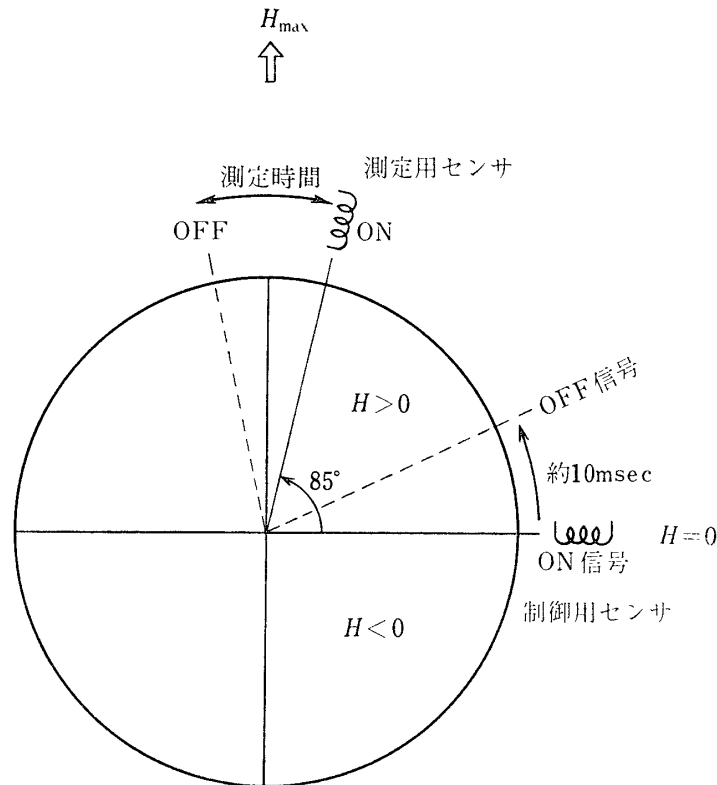
する。ロケット軸方向と磁場の方向のなす角が α のとき、磁場の強さを F とすれば H 成分は1スピンの大きさ $F \sin \alpha$ という大きな磁場変化をする。第1図はスピンによって変化する全磁力 F による α と変化量 $\pm \Delta H$ の関係図で、たとえば $F=44000\gamma$, $\alpha=37^\circ$ (KSC 上空約 100km 付近の値) とすれば H 成分は1スピン当たり約 26400γ から -26400γ まで変化し、スピン周波数が 3Hz なら約 $16 \times 10^4 \gamma / \text{sec}$ の変化量がある。したがってこれらの全変化量を測定することは磁力計の追従速度等から考えても合理的ではない。

第2図は H 成分センサと磁力線との関係図で、 α が 0° , 90° および 180° でなければ H 成分が0という値をよぎる点は1スピンに2点あり、1点は H 成分が負から正へ、もう1点は正から負へ変る点である。そしてこの $H=0$ の方向からスピン方向に 90° ずれた方向が H 成分の正負の最大方向である。したがって H 成分が負から正へ変る点で測定用センサを ON にしてやり、そのときのセンサ方向が H の最大方向の直前であればセンサ出力は H の最大値へと増加し、最大値をすぎて減少し始め、適当な点で OFF にしてその値を保持してやればスピンによる H 成分の全変化量をすべて検出せず最大値付近のみの検出が可能になる。第3図はロケット軸に直角の断面を見た図で、スピン方向を左回りとし図の上方が H 成分の最大値 H_{\max} の方向とする。測定用センサは制御用センサからスピン方向へ約 85° 先行させて取付けておき、制御用センサが H 成分の負から正へ変る点で測定用センサに ON 信号を与えれば H_{\max} の直前約 5° から測定が開始される。そして ON になってから一定時間がすぎれば OFF となるようなタイマーによって一定時間の測定が行なわれ、 H_{\max} を含むその前後のみの H 成分測定が可能となる。測定時間が終了するとすぐその値の読出しを行ない、測定量は次のスピンの ON 信号がくるまで保持させておけばよい。この ON から OFF までの測定時間はロケットのスピン周波数があらかじめ設定または予測できるのでそれに応じた回路にすればよい。第4図は H_{\max} を中心に $\pm 5^\circ$ の測定範囲をカバーするためのスピン周波数に対する必要時間である。

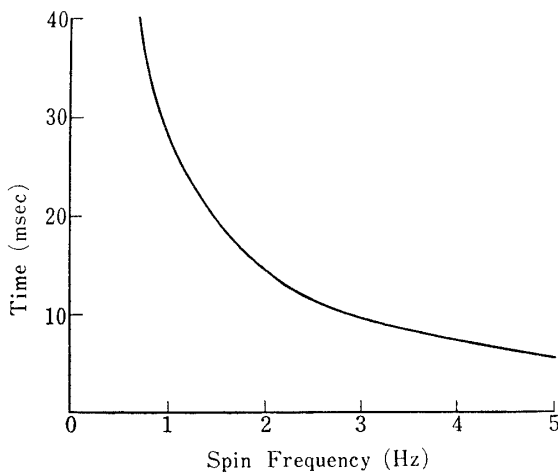
また、第5図はこの $\pm 5^\circ$ の測定時間内に变化する H 成分の全磁力に対する磁場変化量を示す。したがって、スピンの周波数が 2Hz なら $\pm 5^\circ$ を測定するのに要する時間は約 14msec でその間の磁場変化量は全磁力を 44000γ , $\alpha=37^\circ$ のとき約 $\pm 100\gamma$ となる。この $\pm 100\gamma$ という変



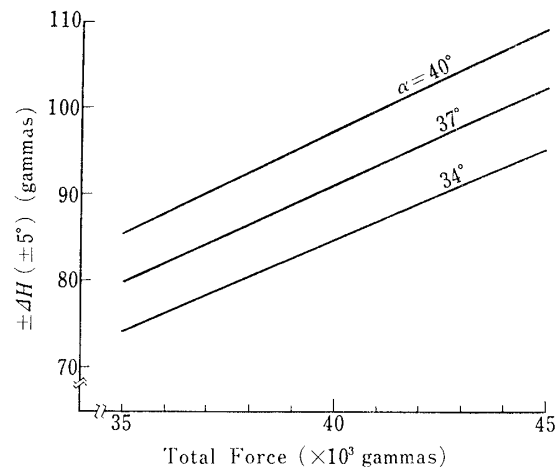
第2図 H 成分と磁力線との関係図



第3図 H成分平面におけるH成分測定方法



第4図 測定領域 $\pm 5^\circ$ をカバーするのに必要な時間



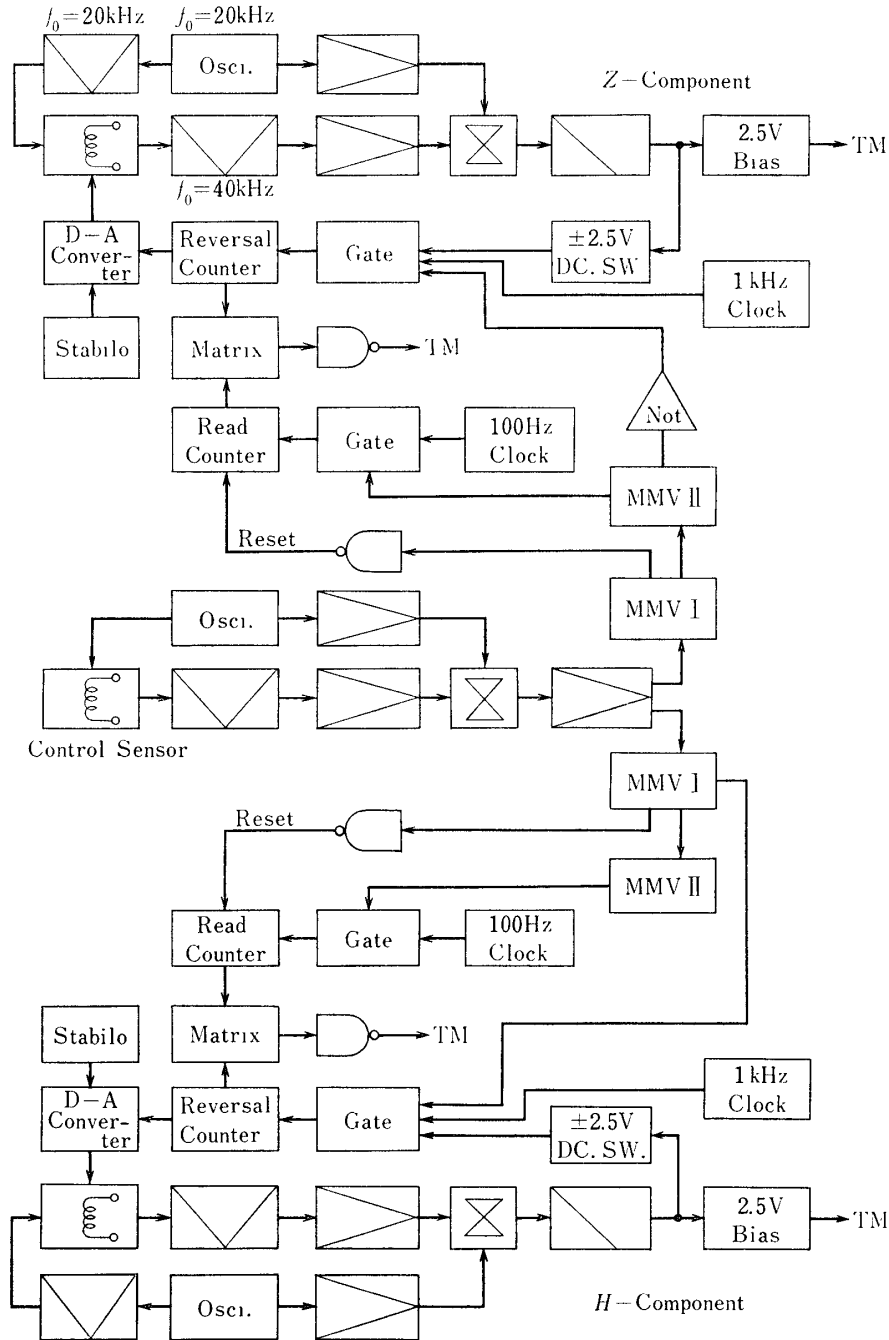
第5図 $\pm 5^\circ$ の測定領域で変化するH成分の全磁力に対する磁気量 ΔH

化は 14msec の間の変化量であるが、今回の磁力計の応答速度は 50000 γ /sec なので十分に応答し得る。また、クロック周波数は 1kHz, 読出しクロック周波数は 100Hz, 読出し時間は 100msec である。

出力形式は digital 出力が 2進法 10 bits で最小 bit の $\pm 50\gamma$ を analog 出力とする。したがって $\pm 2\%$ の精度で検出できれば $\pm 2\gamma$ の測定が可能である。

3. 磁力計構成

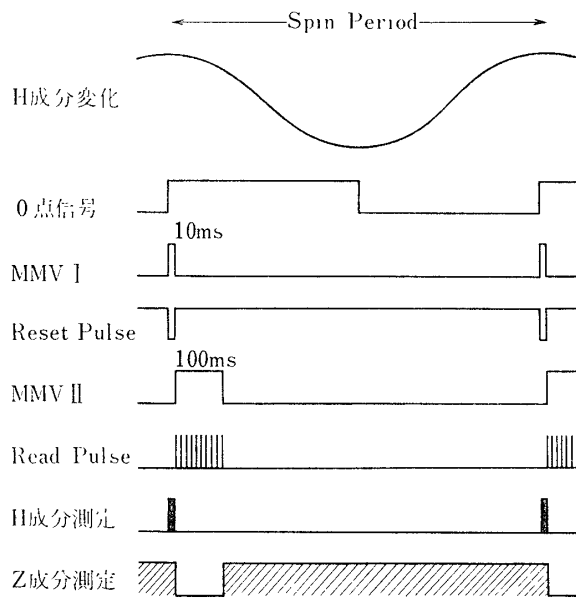
磁力計はロケット搭載用として信頼性の高い倍周波型磁力計で、二つのセンサ軸方向の成分測定である。第6図にその磁力計構成図を示す。センサのコイルには20kHzの励振をかけ、その二次高調波を40kHzフィルタを通して増幅する。増幅度は約80dbでその信号は同期整流されてanalog出力(±2.5V/50γ)となりテレメータへ送られる。一方、同期整



第6図 磁力計ブロック図

流した analog 信号を DC. switch (誤差増幅器) に入れ可逆カウンタの増減を制御する. この DC. switch は $+2.5V$ 以上になれば ON となってパルスゲートが開き, $1kHz$ のクロックパルスによって可逆カウンタの内容が増加し, $-2.5V$ 以下になれば減少する. 可逆カウンタの digital 出力は D-A コンバータによって analog 電流に変換され, センサに巻いてある打消コイルに流れて常に量子化レベルである $\pm 50\gamma$ 以内になる様に制御している. 可逆カウンタの digital 信号は読出しカウンタからのパルスとマトリックス回路を通過して digital 出力となりテレメータに送られる.

前述した様に H 成分は H_{max} 前後だけを測定するため, H センサと 85° ずらして制御用センサ (C センサと呼ぶ) が取付けてある. この C センサからの信号も同様に増幅, 同期整流され, さらに直流増幅器を通過してモノマルチ I に送られる. 信号が負から正へ変化する立上りでモノマルチを動作させて $10msec$ のパルスを作り, これを H 成分の $1kHz$ クロックパルスのゲートの開閉, すなわち H 成分の測定時間とし, さらに次のモノマルチ II を動作させて $100msec$ のパルスを作って, H, Z 両成分の読出し時間とする. 読出しクロック



第7図 磁力計タイムチャート

は $100Hz$ であるからこの $100msec$ の間に $10bits$ の digital 出力が得られる. この様なタイムシーケンスを示したのが第7図である. Z 成分はこの読出しが完了すれば再び測定を開始するが H 成分は $10msec$ の測定時間が終了してゲートが閉じると可逆カウンタの動作は停止して次の C センサからの 0 点信号がくるまで digital 出力はそのまま保持される. したがって A-D コンバータによって変換された analog 電流もそのまま保持されており, 一定の打消し磁場のまま次の ON 信号まで analog 出力が得られる. この $10msec$ の測定時間を定めることにより, 磁力計 H 成分は最大 500γ の応答ができることになる.

Z 成分はロケットが軸中心のスピンを行なってもスピンによる磁場変化はほとんどなく, プレセッション等の運動による変化だけであるから, C センサは不要である.

今, ロケットが周期 60 秒, 半角 30 度のプレセッションを行なっているとすれば, 全磁力 $F=44000\gamma$, $\alpha=37^\circ$ のときの Z 成分変化量は約 $880\gamma/sec$ であり, ロケットの飛しょう姿勢によるが磁力計応答速度約 $50000\gamma/sec$ なのでその追従には十分である. この点は, 約 $700\gamma/sec$ という追従速度を持つ K-9M-25 号機でも Z 成分が十分追従できたことが確かめられている.

なお, 周囲からの磁気的影響を少なくするためにセンサは開頭後約 $50cm$ 軸方向へ飛出す様になっている. また S-210-4 号機用の磁力計寸法は $142\phi \times 100H$ で重量は約 $2.1kg$ である.

4. 問題点

H 成分検出にくふうをこらしたこの方式は、ロケットの飛しょう姿勢によって若干問題が残る。すなわちロケットのスピンの周波数があらかじめ予定した値よりも大幅に変化して少なくなった場合は測定用センサが H_{\max} になるまえに OFF になる心配である。しかし設定スピン数が大幅に少なく飛しょうした例はほとんどないのでスピンをかけるロケットに対しては今回採用した設定時間方式で十分であると考ええる。また、ロケットのスピンの数やスピン方向がはっきりしない場合などは C センサを 2 個つけて、一つを ON 信号用、もう一つを OFF 信号用とすればスピン数によるタイマも不要になろう。この場合は、センサ部分の重量が重くなるので飛出し機構などの点を考慮しなければならない。

問題点の第二は Z 成分も磁場検出範囲が 0γ 以上であるということである。ロケットの姿勢によっては Z 成分が負になる場合も考えられる。KSC において方位角 145° 仰角 80° の方向は磁力線と約 37° をなしているのも、もしこの方向を中心にプレセッションをすれば半角約 53° 以内であれば Z 成分は負とならない。なお H 成分は Z 成分が完全に負であっても検出は可能である。また、ロケット軸方向が完全に磁力線と一致するかまたは $\alpha = 90^\circ, 180^\circ$ の特別な場合は、 C センサが正常に動作しないので検出不可能となる。

第三の問題点はこの方式の地上でのシミュレーションテストのむずかしさである。スピンおよびプレセッションを仮定した地上試験は、ヘルムホルツコイルなどによる周囲磁場を変化させて行なう方法や安定した磁場内でセンサ自身を動かしてシミュレーションを行なう方法がある。これらの問題点のほか、磁氣的雑音や周囲の磁氣的影響の対策、電気回路の改良、データ処理での問題点、ロケットの飛しょう姿勢の情報など、今後検討、改良しなければならない点があり、特に磁場の成分測定においてはロケットの姿勢を正確に決定する必要がある。現在は太陽センサを用いてロケットと太陽方向とのなす角度検出を行なっているがこの太陽センサの精度向上も課題の一つである。

5. むすび

ロケットのスピンを積極的に利用したこの hybrid 方式二成分磁力計は磁場成分を高精度で安定に測定することが可能でロケット搭載計器としては比較的小型軽量である。また、この磁力計は S-210-4 号機および K-9M-34 号機に搭載して電離層 Sq 電流系による磁場観測を予定しているものであるが将来の科学衛星搭載用磁力計の試験も兼ねており、残された問題点の改良もあわせて実施していく方針である。

最後にこの磁力計の製作に際しては株式会社測機舎技術部の協力を得たことをここに感謝します。

1971 年 1 月 22 日

参考文献

- [1] 加藤愛雄, 青山巖, 遠山文雄: ロケットによる三成分磁場測定とその問題点
宇宙観測シンポジウム, 昭和 43 年度 140 (1968 年 12 月)
- [2] 加藤愛雄, 青山巖, 遠山文雄: デジタル化された倍周波磁力計によるロケット観測の方式
宇宙航空研究所報告 6, No. 1(B) 142, (1970 年 3 月)