

# 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\*

加藤 愛雄\*\*・青山 巖\*\*・遠山 文雄\*\*

## 1. ま え が き

ロケットに倍周波型磁力計を搭載して主として電離層 Sq 電流系による磁場測定を行ってきたが、さらに進んだ議論をするためには精度を上げ、かつ磁場の成分を直接測定する必要がある。そのためにわれわれは数年前から倍周波型磁力計の digital 化に関する開発研究を行ってきた。

本論文では現在まで行ってきた倍周波型磁力計によるロケット観測の方法について、そのおもなる結果をあげつつ述べる。すなわち、K-9M-18 号機では電離層内の Sq 電流系による磁場が全磁力にして約  $20\gamma$  程度であることを確かめることができた。また K-8-15 号機では薄暮での飛しょうのため、 $10\gamma$  を越える磁場の変化は測定されなかった。一方、K-9M-25 号機には、新しく開発した digital 化された磁力計を搭載してロケット軸成分のみで実験を行ない、初期の目的を達した。この磁力計は REXS 衛星で計画しているものとはほぼ同じもので、さらには本格的な磁場の成分測定を目的とする S-210-4 号機搭載用の予備実験を兼ねたものでもあった。これら一連の開発研究および実験の結果に基づき、磁力計の精度を上げるためには digital 化を計り微少変動をとらえるために一部 analog 方式を取り入れた hybrid 方式による磁力計が S-210-4 号機に搭載される予定であり、その原理などについても述べる。

## 2. 倍周波型磁力計による測定方式とその結果

ここ二、三年間における倍周波型磁力計によるロケット観測結果および現在計画されているものについて述べてみるが、中でも大きな特長は磁力計に AD-DA 変換技術を取り入れて digital 化した点にある。従来の倍周波型磁力計を digital 化することは、磁力計自身の精度を雑音レベル程度にまで高め得るばかりでなく、伝送特性が改善されることによって大幅な高精度化が期待される。さらに、科学衛星に搭載される場合にも信頼度の高いデータを得るという点でも analog 方式の場合に比べてすぐれている。

われわれは種々の digital 方式を検討してきたが、その試作第 1 号として 1969 年 1 月に K-9M-25 号機のロケット軸方向に搭載して実験を行ない、ほぼ満足な動作結果を得た。S-210-4 号機ではさらに改良をほどこし、digital と analog 方式を併用した、いわゆる hybrid

---

\* 宇宙研特別事業費による研究論文

\*\* 東海大学工学部

方式で磁場の成分測定を行なう計画である。

2.1 分割アナログ方式

従来利用されてきたロケット搭載用 analog 方式で磁界の測定範囲を 10 分割し、自動的にそのレンジを選択することによって感度を上げて測定する方法である [1]. 図 1 (a) (b)

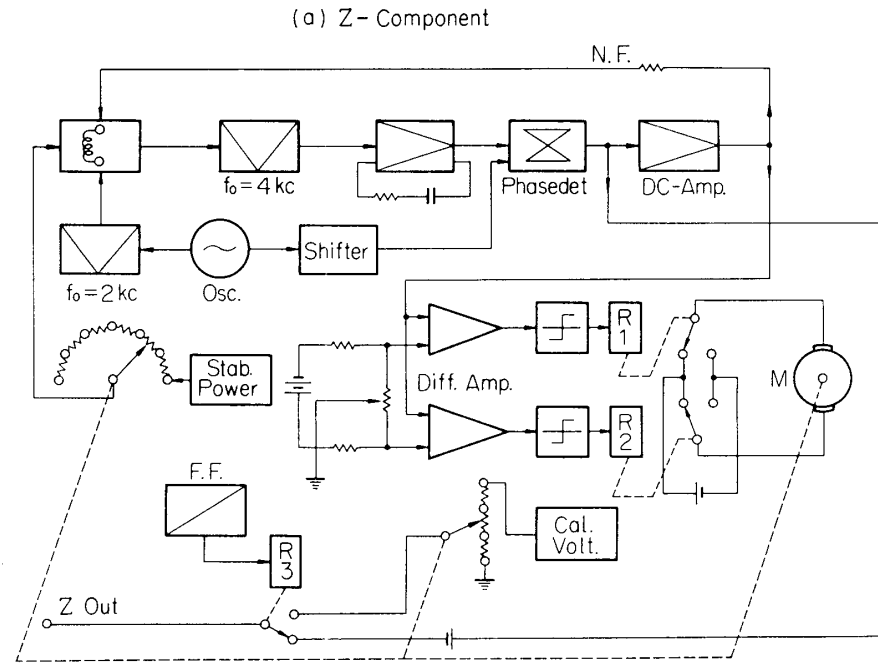


図 1 (a)

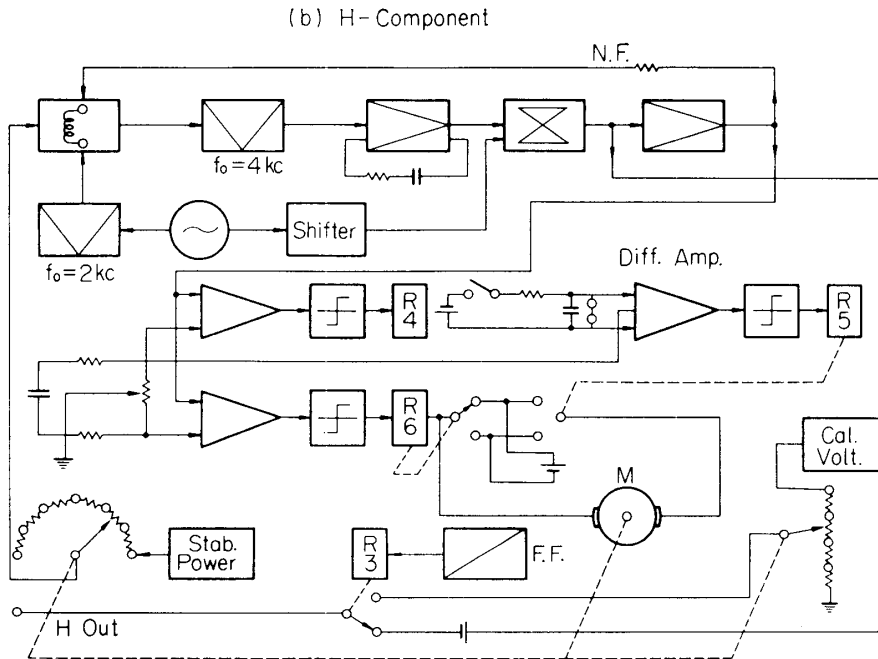


図 1 (b)

表 1

	K-9M-7 ascent	K-9M-18 ascent	K-9M-18 descent
OBSERVED $\Delta$ Hobs AT GROUND	$21 \pm 1.5 \gamma$	$26 \pm 2 \gamma$	$26 \pm 2 \gamma$
PREDICTED $\Delta$ F FROM GROUND OBSERVATIONS $\Delta$ Hext/ $\Delta$ Hobs=0.6	$18 \pm 1.2 \gamma$	$23 \pm 1.8 \gamma$	$23 \pm 1.8 \gamma$
OBSERVED $\Delta$ F IN FLIGHT	$19 \pm 5 \gamma$	$18 \pm 7 \gamma$	$14 \pm 7 \gamma$
ALTITUDE OF LOWER EDGE OF CURRENT SHEET	$105 \pm 1$ KM	$101 \pm 1$ KM	$102 \pm 1$ KM
ALTITUDE OF UPPER EDGE OF CURRENT SHEET	$118 \pm 1$ KM	$120 \pm 1$ KM	$121 \pm 1$ KM
TOTAL HORIZONTAL CURRENT	$21 \pm 6$ AMP/KM	$20 \pm 8$ AMP/KM	$15 \pm 8$ AMP/KM
PREDICTED CURRENT DENSITY	$\sim 7 \times 10^{-11}$ AMP/CM <sup>2</sup>	$\sim 6.6 \times 10^{-11}$ AMP/CM <sup>2</sup>	$\sim 5 \times 10^{-11}$ AMP/CM <sup>2</sup>

はその磁力計の構成図である。この方式による磁力計は K-9M-7 号機、K-9M-18 号機および K-8-15 号機に搭載され、電離層内の Sq 電流系による磁場測定を行なった。この結果の中でそのおもなるものとして K-9M-18 号機によるものを図 2 に示す。図からも明らかのように高度約 102 km からロケットの上昇時および下降時において約 20 $\gamma$  程度の電離層内 Sq 電流系によると考えられる磁場変化を測定することができた。また、表 1 はこのときにおける結果と K-9M-7 号機による結果および地上観測値から比較した各量を表わしたものである。

## 2.2 デジタル方式

採用する方式は、従来の analog 出力と DA 変換器からの出力とを比較しその大小によって加減算パルスゲートを開き、可逆計数器に加算または減算パルスを送って DA 変換器出力を増減させることにより常にその差が 1 量子化レベルで一致する様に制御する方式である。図 3 は digital 形倍周波磁力計の構成図である。その概要は比較回路部とコード化部から構成され、比較回路部は磁界検出器、帯域濾波器、増幅器および位相検波器から成り、これらは従来の倍周波型磁気増幅器と同じである。コード化部は加減信号発生器、可逆計数器、DA 変換器および出力読出回路などから構成され、また、ゲートはシュミットトリガ回路で構成されている。

この方式による磁力計は初めて K-9M-25 号機においてロケット軸方向の一成分が搭載された。磁界の測定範囲は 0~40950 $\gamma$  で磁力計の感度は 10 $\gamma$  で、ほぼ満足な動作結果を得た。同時に搭載された地磁気姿勢計 (GA) による K-9M-25 号機の姿勢は図 4 に示すご

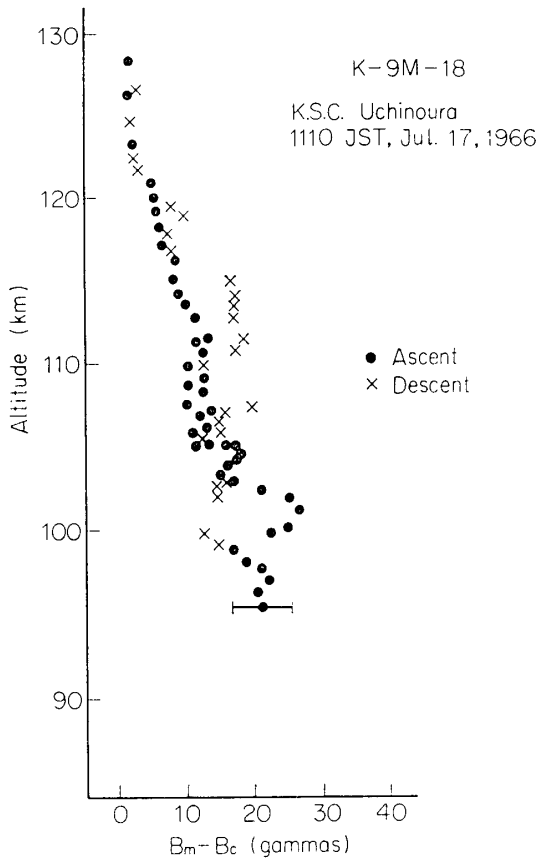


図 2

とく、開頭後スピンは約 1.2 Hz, プレセッション角は約 19 度, プレセッション周期は約 103 秒で飛しょうしていることがわかる. 図 5 は全飛しょう中に検出されたロケット軸方向成分の磁界の強さで上図は GA によるロケットのプレセッションを示している. 図 6 および図 7 は全飛しょう中でデータのバラツキが最大および最小の部分の拡大図で, これらのバラツキはスピン軸とセンサ軸の不一致によるものであり, スピンによって周期的に変化している. データは約 0.6 秒に 1 点得られ, バラツキの大きさは図 6 で 200~300  $\gamma$ , 図 7 で 50~100  $\gamma$  であった. これらの値から計算されるスピン軸とセンサ軸とのずれ角は 15~20 分であると考えられる. なお, この K-9M-25 号機の磁気センサは, 開頭後約 60 cm ロケット軸方向へ展伸する飛び出し装置によりロケット機体および搭載機器からの磁気的影響を減じている.

図 6 でわかるように約 2000~3000  $\gamma$  の値の大幅なずれが全飛しょう中二度あっ

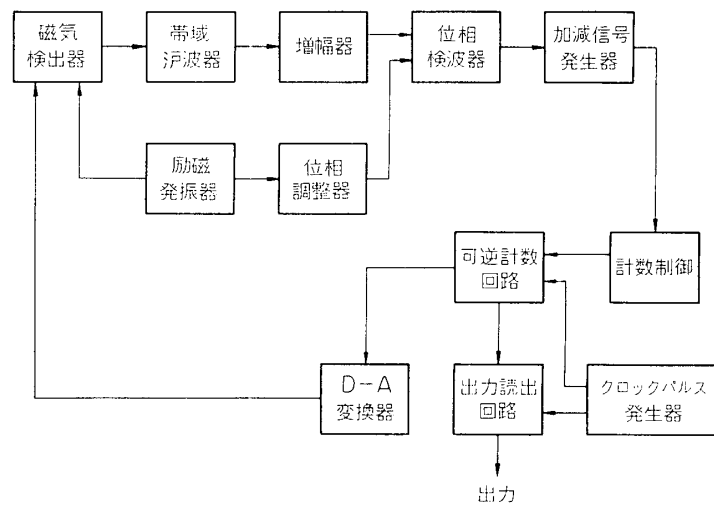


図 3

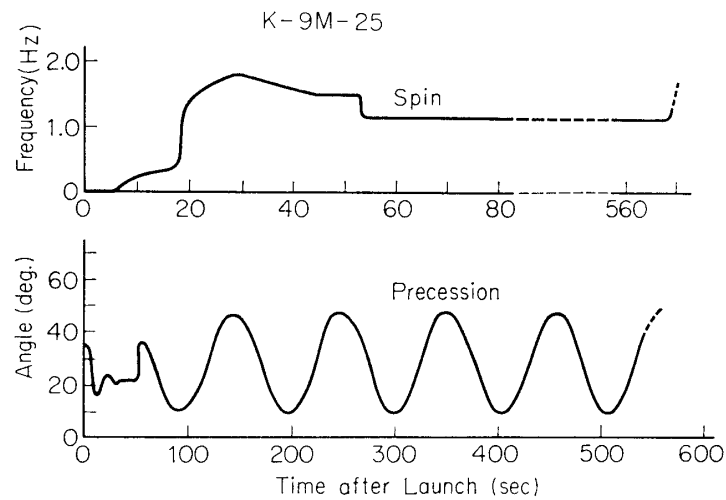


図 4

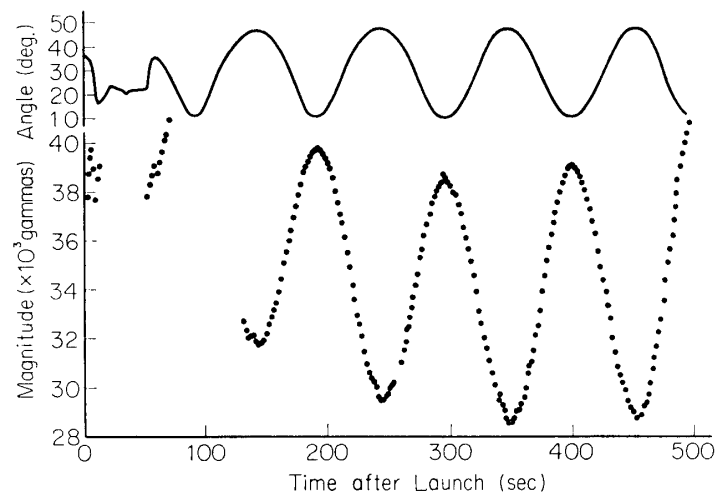


図 5

た. 原因は不明だが, この digital 形磁力計の追従速度約  $700 \gamma/\text{sec}$  で約 3 秒かかって復帰した. このように可逆計数器の動作は 1 ステップで, その内容の増減は 1 だけであるこの方式は, 大きな, かつ急激な磁界の変動があった場合に真の値に復帰するまでの時間を要するという欠点を持っている. この欠点を補うためには, 可逆計数器のステップの増減を重みの大きい方から順に動作させる方法や励振周波数を上げると同時にクロックパルスの周波数を上げ, パーマロイの形状を改良して応答を高める方法をとらねばならない. これらの点を改良したものが次で述べる方式である.

### 2.3 ハイブリット方式

すでに述べたような digital 形磁力計の問題点 [2] を改良し, さらにロケット軸と直角成分 ( $H$  成分) でも測定が可能となるように回路上でくふうしたものが hybrid 方式の digital 磁力計で, 目標とする精度は  $\pm 1\gamma$  である.

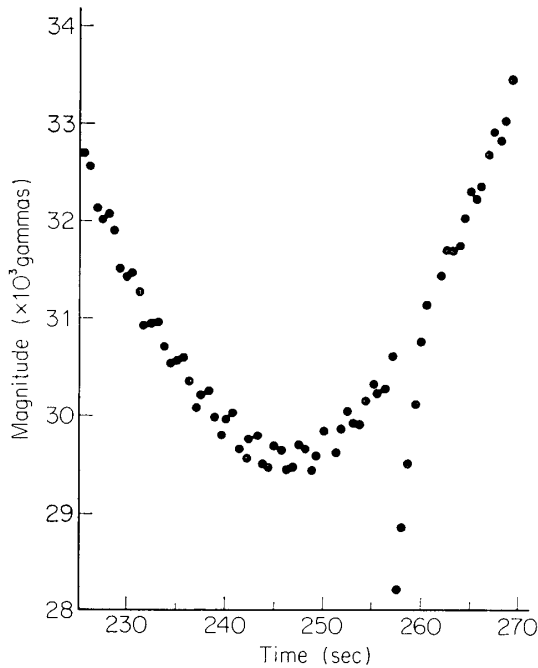


図 6

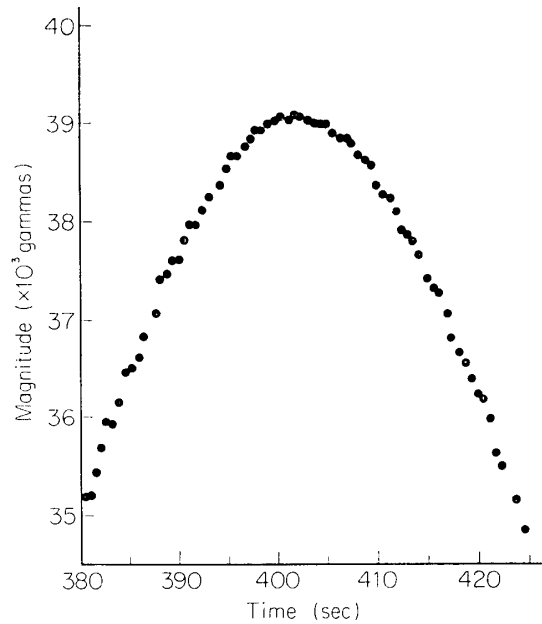


図 7

この磁力計では主として二つの要素から成り立っている。すなわち、測定磁界範囲を  $50\gamma$  ステップで分割し、その情報を digital 信号として取り出す。この場合、10 ビットの binary code で  $0\sim$ 約  $50000\gamma$  を表わすことができる。そしてこの自動追従方式が平衡となっている時の誤差増幅器(磁力計)の出力を analog 信号として  $\pm 2\%$  の精度で検出することによ

って  $50\gamma$  フルスケールの場合には、 $\pm 1\gamma$  の精度で磁界の変化分を測定することが可能となる。しかしこの磁力計を実際にロケットに搭載して磁場の成分測定を行なうには若干のくふうが必要である。ロケット軸方向の成分 ( $Z$  成分) ではほとんど問題はないが、これと直角な  $H$  成分ではスピンの伴い、磁界の変化が最大の場合(すなわちロケット軸が磁力線と直交してスピンを行なった場合)には、 $-45000\gamma$  から  $+45000\gamma$  という量が  $0.2\sim 0.3$  秒間に变化することになる。これらの測定範囲を全領域にわたって取ることは磁力計の追従速度およびテレメータの応答速度から考えても合理的ではない。

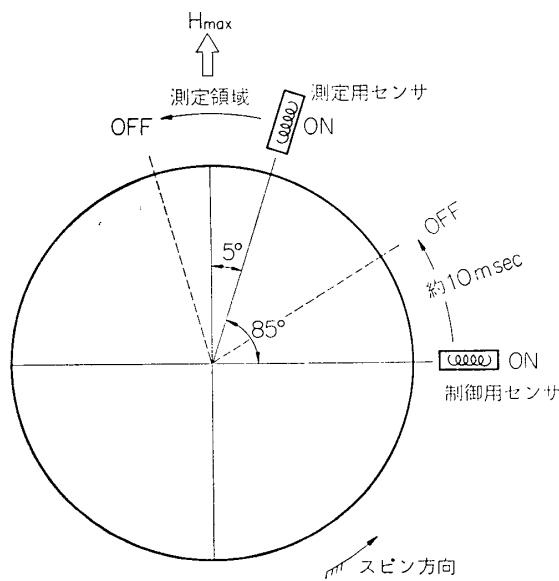


図 8

この対策として  $H$  成分の値がスピンのによって最大となる前後のみを、測定用センサとは別な制御用センサを用いて測定可能にする方式をとる。

20 kHz の励振方式による磁力計でクロックパルスを 1000 bits/sec. (1 bit = 50  $\gamma$ ) にすれば、10 m sec では 500  $\gamma$  の変化に追従することができ、もし  $H_{\max} = 2 \times 10^4 \gamma$ , スピン 3 Hz とし、制御用センサを用いて  $H_{\max}$  前後  $\pm 5^\circ$  の範囲のみで測定を行なうようにすればスピンによって変化する量は約 10 m sec で約 75  $\gamma$  の磁界の変化しか予想されない。この量は十分測定し得る値である。なお、現在 50  $\gamma$  ステップで 1000 bits を送り出し AD 変換する部分も十分動作することが確かめられていることをここに付け加えておく。図 8 はこの方式の原理を表わしたものである。すなわちロケット軸と直交する面内で制御用センサで検出される磁界が負から正になるとき測定用センサが ON となり約 10 m sec 間測定して OFF となる。制御用センサと測定用センサは約  $85^\circ$  の角度で取り付けられているので、 $H$  成分の磁界が測定される。

### 3. む す び

このような hybrid 方式による磁力計でかなりの高精度磁界測定が期待され、磁場成分測定も可能と考えられる。また同時にロケットの飛しょう姿勢に関する正確な情報や搭載に際しての周囲の磁気的環境およびハードウェアを含めたデータ処理等は、このような高精度測定を行なう場合に無視できない重要な条件になる。

最後に倍周波型磁力計の digital 化にご協力をいただいた株式会社測機舎の高橋時雄氏に厚く感謝します。

1969 年 12 月 20 日

### 参 考 文 献

- [1] 加藤, 青山: ロケットによる電離層 Sq-current の測定 宇宙航空研究所報告 2, No. 3 (B) 1166 (昭. 40—9)
- [2] 加藤, 青山, 遠山: 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)