

# カッパ 8 型 11 号機によるロケットの姿勢測定

加藤 愛雄・青山 巖・清水 義雄・飯塚 正

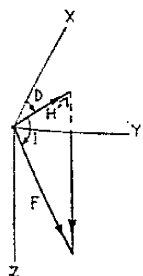
## 1. はしがき

ロケットによって超高層における各種の観測が行なわれているが、これら観測において、ロケットの飛しょう中の姿勢を知ることは、得られたデータの解析や、またロケット工学上においても重要である。この方法としてはいろいろ考えられるが、いずれの場合でも、飛しょう体内に地球に固定した座標系を検知するものが必要である。われわれは地球磁場を利用する方法を用いた地磁気姿勢計を試作し、K-8-11 号機によってわが国では初めて飛しょう中のロケットの姿勢を明らかにすることができた。さらに将来は使用する磁力計を高性能化し、あわせてロケット材料の吟味をして、上層大気ならびに宇宙空間における磁場測定に利用する予定である。

## 2. 測定原理

地球磁場を地球に固定した座標系に利用することは古くから行なわれている。すなわち船舶や航空機におけるコンパス等がそれである。このほとんど不変の地球磁場を基準とすれば、飛しょう中のロケットの姿勢を知る一方法として有効であることがわかる。これには磁場を検出するという操作があるわけで、しかもベクトル量を知らねばならない。倍周波型磁力計はこの目的のために使用された。この磁力計は磁場の方向と強さを検出することができる。すなわちベクトル量を測定するのに適している。また、出力はテレメータに容易にかみ合わせる点ですぐれている。検出部は強磁性体の筒状のものをチューブにまるめ、これに適当な巻線がほどこされているものから成り立っていて、これをコアと称するが、このコアを互いに直角な三軸に固定して、その固定された直角座標系上での磁場のベクトル量を検出する。ロケットにこの三成分の検出部を固定することによって、地球磁場と飛しょう体となす角度、いいかえれば姿勢を知ることが可能である。

ただ、この方法は、地球磁場をロケットの飛しょう経路にしたがって仮定するため、おのずからその精度に限界がある。すなわち地表上での大きな磁気異常が影響を与える範囲とか、ロケットの到達高度が増す場合とかでは誤差をまねくおそれがある。さて第 1 図において、 $X, Y, Z$  がおのおの検出コアの位置で互いに直角となっている。 $D$  は  $X-Y$  面に投影した成分  $H'$  と  $X$  軸となす角で、 $Z$  軸をロケ



第 1 図

ット軸とし、磁場  $F$  となす角を  $\theta$  とすれば、補償磁場  $X_0, Y_0, Z_0$  をおのおののコアにかけたとき、出力  $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$  との間にはつぎの関係がある。

$$X_0 - \Delta X = F \sin \theta \cdot \cos D \quad \dots \dots \dots (1)$$

$$Y_0 - \Delta Y = F \sin \theta \cdot \sin D \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$Z_0 - \Delta Z = F \cos \theta \quad \dots \dots \dots (3)$$

(1), (2), (3) から  $\theta$  は求まって

$$\cos 2\theta = 2\{(X_0 - \Delta X)^2 + (Y_0 - \Delta Y)^2\} / F^2 - 1 \quad (4)$$

ここに

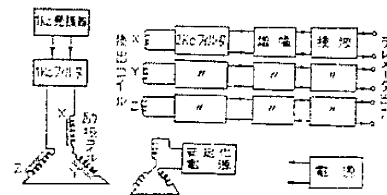
$$F^2 = (X_0 - \Delta X)^2 + (Y_0 - \Delta Y)^2 + (Z_0 - \Delta Z)^2 \quad (5)$$

$$H'^2 = (X_0 - \Delta X)^2 + (Y_0 - \Delta Y)^2 \quad \dots \dots \dots (6)$$

補償磁場  $X_0, Y_0, Z_0$  はスペースの関係上位相検波回路をもうけることができないため、磁場の方向の正負が判別できない、それでこの難点をおぎなう意味で用いられた。また、これは感度調整や、飛しょう中におけるドリフト検出に利用される。

## 3. 姿勢測定装置

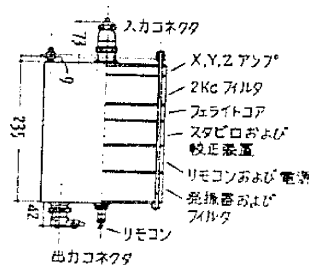
(1) 磁力計 前述のように姿勢測定装置はいいかえれば磁力計である。倍周波型磁力計がこのために使用された。これは、磁気変調器をその原理としている。変調器が一般に環状磁心を用いるのに対して、磁力計では寸法比の大きい強磁性体を利用される。すなわち、パーマロイ箔のチューブ状のものをシリカチューブ内に入れ熱処理をほどこし、これに励振巻線、出力巻線、補償磁場用巻線が巻かれている。第 2 図は回路のブロックダイアグラムである。



第 2 図 磁力計ブロックダイアグラム

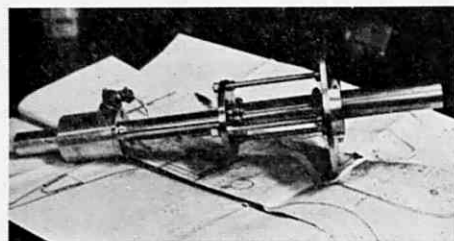
発振器からの 1 kc 出力を帯域フィルタを通して磁心を励振せしめる。点対称の非線型素子である磁心に外部から直流磁場が重畳されると、出力巻線には励振周波の高調波が表われる。その

高調波の中での倍周波のみをフィルタによって増幅・検波する。普通には位相検波によって磁場の正負を判別する。この方式は  $1\gamma(10^{-6}$  エルステッド) 程度の磁場は十分な  $S/N$  を



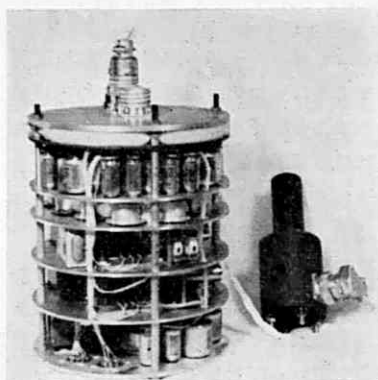
第 3 図 増幅器概観

もって検出できる。しかし、姿勢測定にあたっては 100  $\gamma$  のオーダで磁場を検出すれば、十分に 1° 以下の精度を得ることができる。第3図はこの磁力計の概観図で、第4図が飛出し装置、第5図に概観写真を示す。飛出し



第4図

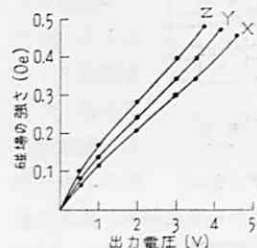
装置はロケットがある高度に達したとき開頭するが、さらに他の搭載機器やロケットの材料による磁気のみだれをさける意味で、開頭後前方に 15 cm ほど伸びる。今回は RN のアンテナがいちばん近接している。ロケット本体からでは 50 cm 離れると 500  $\gamma$  以下になることから検



第5図

この値をほぼ満足する。これら装置は将来における微小磁界の測定においても、同様な理由で飛出し装置を二、三段にする場合の予備テストの意味もある。

(2) 諸特性 使用される磁力計の出力特性を第6図



第6図 磁力計出力特性

に示す。電源電圧変動、温度変化等によるドリフトが考えられるが、前者は水銀電池を適当なエージングをさせて使用し、一時間程度の連続測定には十分無視できる。温度変化に対しては検出ヘッドに布入りペークライトの内部をくりぬいて、この中にコアを入れたものを用いて、急激な温度変化に耐えるようにした。また表面にははず箔をはり放射熱をさける手段をとった。真空加熱炉にて、真空中 (10<sup>-2</sup> mmHg) では周囲が 200°C 程度でも内部は 50°C 以下であることが確かめられた。コア自体は 70°C 程度でも感度が変化することはない。ただ、温度変化にともなうコア取付け上における変形がコアにストレスを与え、これがドリフトの原因となることが多い。増幅器な

らびに発振器にフィードバックと温度補償がなされ、10° ~ 50°C にて出力ドリフトは  $\pm 2.5\%$  以内である。磁場に換算すると出力電圧 3.5 V 以下では  $\pm 500 \gamma$  に相当する。全磁力が 45,000  $\gamma$ 、(6) 式における  $H'$  の変化の最大点近傍での  $\theta$  に表われる誤差は  $|\Delta\theta| = |\Delta H|/|F|$  において、 $|\Delta H|_{\max} = 500\sqrt{2} \approx 700 \gamma$  をもちいて  $\Delta\theta \approx 50'$  すなわち、 $\pm 500 \gamma$  の精度に対しては  $\pm 1'$  の誤差をもつ。

誤差は他に取付け上の機械的精度によるものと、また、周囲の磁気材料によるものがあり、後者はノーズコーンをつけたときには、全磁力が 7,000  $\gamma$  の減少をみることから角度に対して 8° におよぶ誤差があり得る。したがって開頭前のデータは信頼度が小さい。ただ、磁場がインダクションのものであれば影響が小さいかもしれない。発射後まだ十分ロケットが初めの姿勢をたもっているときとみなされるところで、すなわち打上げ角が 79°、方向が磁気上での東から 55° 南方では、得られたデータからでは 28° であるが、計算上では、35° となりここに約 8° の誤差がある。したがって、この補正の必要がある。

#### 4. 地上試験

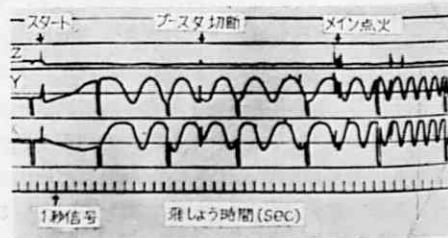
K-8-11 号機搭載用のものは東京大学生産技術研究所で温度・気密・衝撃・加速度・振動について規定の環境試験が行なわれた。振動試験においては共振点が 200 c/s と 1200 c/s にあったが動作に異常はなかった。

温度試験については測機舎 K K 内においても行なわれ、これは検出部・増幅部にわけ真空加熱炉で実験されたが問題点はなかった。一方磁気テスト、すなわち実際にロケットに取り付けた場合周囲の影響を調べる実験が開頭前後にわたって行なわれた。結果は開頭後における全磁力の強さはその前にくらべ 7100  $\gamma$  の増加をみた。

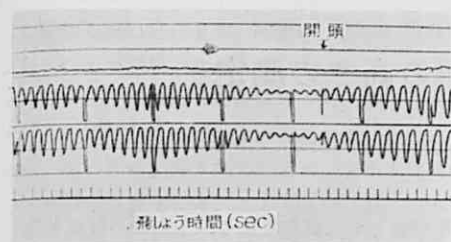
ただ、Z 成分の値には変化がなかった。このときの Z 成分の値は、ちょうど頭胴部を垂直に立てて実施されたので、その場での地磁気の垂直成分に相当するのが 32,000  $\gamma$  であった。また、絶対測定はされなかったが推定による垂直成分もまた 32,000  $\gamma$  となっている。

#### 5. 飛ばし結果

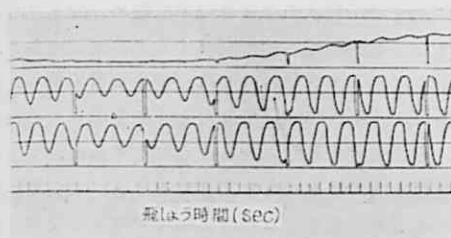
K-8-11 号機によって得られたデータの一部を第7、8、9、10 図に示す。これらから第1にはスピンの変化



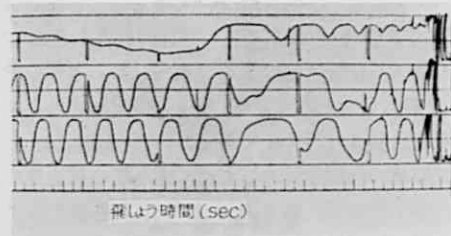
第7図



第 8 図

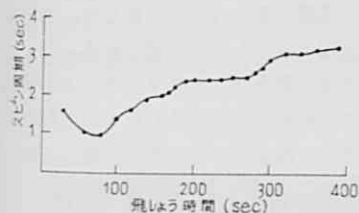


第 9 図



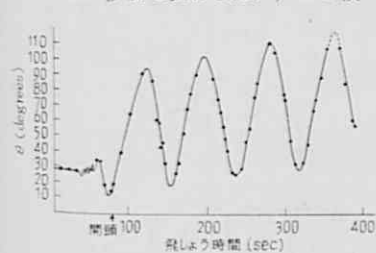
第 10 図

の割合がよくわかる。これを第 11 図にまとめる。第 2 にはブースト切断時、メイン点火、開頭のときに生ずる雑音がある。他に二三の雑音があるがこれはチューニング上におきたものと考えられる。記録は 422 秒にわた



第 11 図 スピン変化

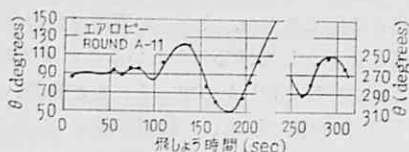
って得られた。得られたデータの解析にあたってはテレメータの出力校正をはじめとして、第 6 図によって磁



第 12 図 地球磁場とロケット軸となす角  
点火までは、一定の姿勢を保ち 30 秒後から小さい振

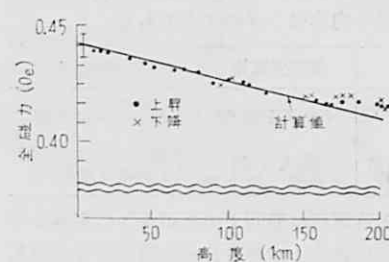
幅でのスパイラル状の運動が始まり、それが開頭前後から急激に大きくなり、しかものはほぼ定振幅で約 80 秒の周期をもったプレセッションを起こしている。

全体が右上がりとなっているのはロケットが発射方向からずれていることに起因すると考えられる。参考のためにアメリカのエアロビーで得られた  $\theta$  の変化を第 13 図に示す。これは振幅がしだいに大きくなっていく特長



第 13 図 エアロビロケットによる姿勢例  
(J. Geophys. Res., 56, 270, 1951 による)

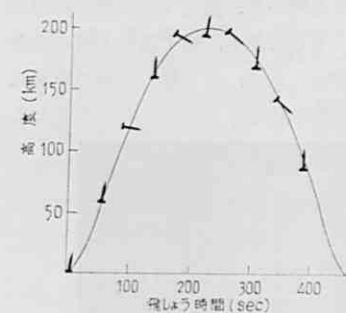
をもっている。K-8-11 号機がこのようないじむるしい特性となったのは、開頭時のショックによるものと思われるが、この点はまだ十分検討しなければならない。最後に測定値から全磁力の高度変化をプロットしたものが



第 14 図 地球磁場の高度変化

第 14 図である。

測定精度が  $\pm 500 \gamma$  であることを考慮すれば、これをもって上層大気中の磁気異常を論ずることは困難である。



第 15 図 K-8-11 号機の姿勢変化

論は下せない。

## 6. 結 論

ロケット姿勢測定のためはこれまで述べたように達せられた。これら結果からもわかるように予想していたより大きな姿勢の変化がプレセッションという形であられ、この事実は今後、さらに高性能な物理学上の測定にあたって、影響を及ぼすおそれがある。ここに姿勢測定の重要性がある。今後はこの種の測定器のより小型、軽量化をはかり、一方では解析手段に電子計算機を用いて迅速かつ正確を期する方針である。

(1963 年 4 月 3 日受理)