

DOVAP について

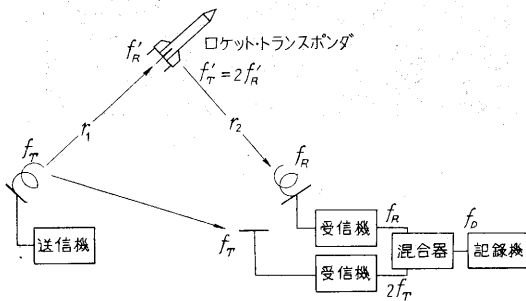
牧野 健一・山中 恒夫・水野 英

1. 概 説

DOVAP は電波の Doppler 効果を利用して、ロケットの瞬時相対速度を測定し、その積分値として飛しょう径路を測定する装置で、筆者等は K-7 型以来 8D・6H および 8 型 5・6・7 号機の実験に参加して所期の成果を得たので、ここにその装置の概要を報告する。

2. 原 理

この装置は第 1 図に示すとおりいわゆる 2 way 方式



第 1 図 ドバップの構成

である。地上に送信機を置きロケットにはトランスポンダを搭載する。トランスポンダは地上からの電波を増幅し周波数を通倍して再び地上に送信する。地上の受信機はトランスポンダよりの返信波と地上送信機よりの直接波を同時に受信し、地上波の倍周された信号と返信波の信号との間の唸周波数すなわち Doppler 周波数を検出記録するものである。

ロケットが電波の伝播の様な媒質内にある場合すなわち電離層等の中になくとも近似的に次式が成立する。

$$\text{ロケットの受信周波数 } f'_R = f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_1}{dt} \right)$$

$$\text{ロケットの返信周波数 } f'_T = 2f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_1}{dt} \right)$$

地上受信機の受信周波数

$$f_R = 2f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_1}{dt} \right) \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_2}{dt} \right) \\ \approx 2f_T \left\{ 1 - \frac{1}{c} \frac{d}{dt} (r_1 + r_2) \right\}$$

したがって唸周波数 $f_D = 2f_T \sim f_R$

$$= \frac{2f_T}{c} \frac{d}{dt} (r_1 + r_2)$$

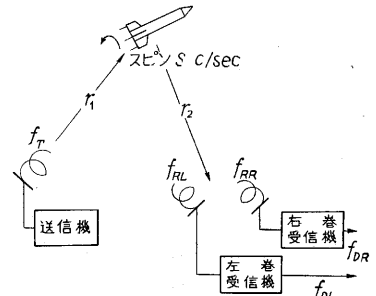
$$= \frac{2}{\lambda} \frac{d}{dt} (r_1 + r_2)$$

すなわち唸周波数 f_D は地上送信機・ロケット・地上受信機を結ぶ距離の時間的变化に比例しその積分値

$$r_1 + r_2 = \frac{\lambda}{2} \int f_D \cdot dt$$

は刻々の経路長をあらわす。この送信点、受信点に対して経路長一定の軌跡はそれぞれを焦点とする回転楕円面であるから、3点以上の受信点を適当な位置に置けばロケットの位置は回転楕円面の交点として求めることができる。この方式では測定値が周波数という単なる数であるから測定精度が

高い上におおのこの装置、ことにトランスポンダが比較的簡単であるという利点がある反面、データの処理に手間がかかる欠点がある。



第 2 図 スピンの影響

またこの装置

ではロケットのスピンのよって受信不能に陥らないように、地上送受信機とも円偏波アンテナを使用しているがそのためスピンに伴って Doppler 周波数に誤差を与える。これを避けるために回転方向反対の円偏波アンテナの組によって受信する。その関係は次のとおりである。送信アンテナを左巻きとしたのでこの方向を正にとると

$$f'_R = f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_1}{dt} \right) - S$$

$$f'_T = 2f_T \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_1}{dt} \right) - 2S$$

$$f_{RL} = 2f_T' \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_2}{dt} \right) + S$$

$$\approx 2f_T \left\{ 1 - \frac{1}{c} \frac{d}{dt} (r_1 + r_2) \right\} - S$$

$$f_{RR} = 2f_T' \left(1 - \frac{1}{c} \frac{dr_2}{dt} \right) - S$$

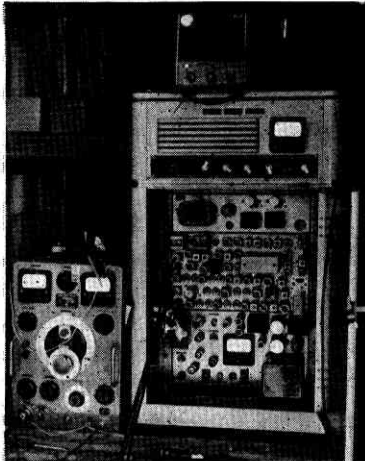
$$\approx 2f_T \left\{ 1 - \frac{1}{c} \frac{d}{dt} (r_1 + r_2) \right\} - 3S$$

$$\therefore f_{DL} = f_{RL} \sim 2f_T = f_D + S$$

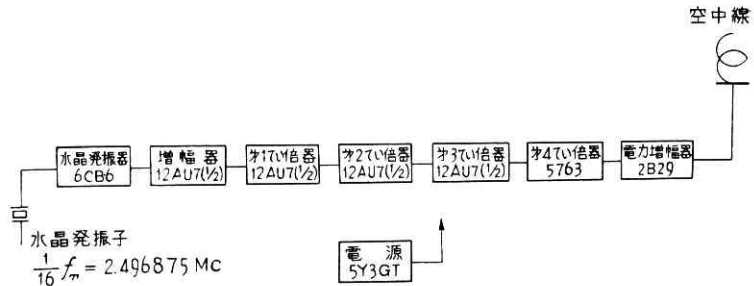
$$f_{DR} = f_{RR} \sim 2f_T = f_D + 3S$$

$$\therefore S = \frac{1}{2} (f_{DR} - f_{DL})$$

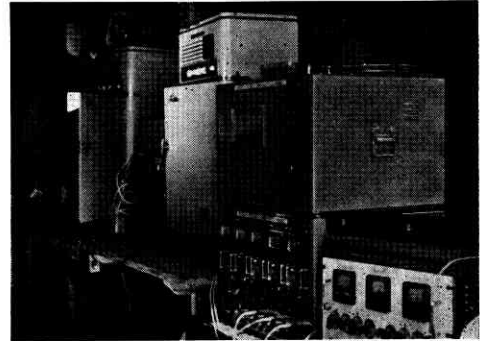
逆に左巻アンテナによる Doppler 周波数と右巻アンテナによるそれとを測定すればスピンの方向と大きさを測定



第3図 地上送信機外観



第4図 地上送信機系統図



第6図 地上受信機外観

できる。

3. 地上送信機 (SS-1473 A)

地上送信機の主要性能は次のとおりである。

送信周波数	39.95 Mc
出力	50W
方式	水晶制御電力増幅方式
水晶片周波数	送信周波数の 1/16
周波数安定度	周囲温度 $-20^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$ 電源変動 $\pm 10\%$ において 周波数偏差 $\pm 1 \times 10^{-5}$ 以下

この送信機は第2高調波が地上受信機の返信波チャンネルに障害を与えないよう2倍波を除去するフィルタを入れてこれを -74db 以下に抑えている。実際に送受信機を約 450m 離して設置して特に障害は認められなかった。

ランチャー上におけるトランスポンダよりの返信波、ロケット飛しょう中の返信波とともに受信機で確認できた。



第5図 送信空中線

送信アンテナはヘリックス直径 2480φ, 75Ω, 半値幅約 60° で第5図に示すとおり組立式の木柱で支持した。この空中線を K-7 型1号および8Dでは垂直に設置したが6H型以降は約 45° 傾けて設置しロケットの着水

までを完全にカバーできるようにした。

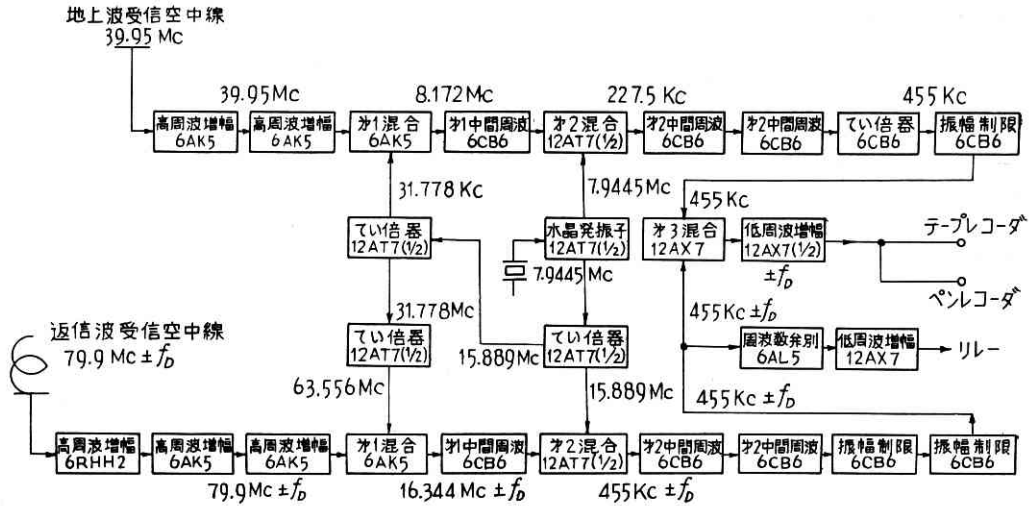
4. 地上受信機 (ZS-1431 A)

地上受信機は直接波 (39.95 Mc) の受信部と返信波 (79.9 Mc) の受信部と、この2信号を混合検波して Doppler 信号を増幅する部分よりなっている。この受信機の特徴は局部発振器の周波数変動が Doppler 周波数の誤差にならないように、局部発振器を共用する2重スーパーヘテロダイン方式をとっている点である。各部の周波数は第7図系統図に示した。

40 Mc 側は高周波増幅 6AK5, 2段第1中間周波増幅 6CB6, 1段第2中間周波増幅は通倍段を含み 6CB6, 3段振幅制限器1段である。

80 Mc 側は高周波増幅 6AK5, 2段第1中間周波増幅 6CB6, 1段第2中間周波増幅 6CB6, 2段振幅制限器2段とした、K-8Dの実験の結果トランスポンダ入力側の感度が足りないことが判ったので入力側増幅段を増加してその代わり出力を 2W から 0.2W に変更してその分を地上受信機で補うこととして受信機の帯域幅をメカニカルフィルタを使用して 3kc に改め、高周波部に 6R-HH2 によるカスコード増幅器を増設した。この結果 N.F. は約 3db に改善され、6H-1 号機では約 86 km 約 240 秒にわたる全飛しょう時間についての受信に成功した。

ロケットの相対速度を 6 Mach とすると Doppler 周波数は約 1.1kc である。送受信機の周波数安定度はそれぞれ 1×10^{-5} 以下であるからこれによる最大周波数変



第 7 図 地上受信機系統図

動は 400 c/s および 800 c/s 以下である。従って受信機の所要帯域幅はいちおう 3 kc あれば十分である。

また混合検波は最初 6AS6 を使用して返信波地上波をそれぞれ第 1, 第 3 格子に加えたが第 3 格子の制御作用によって出力の波形が歪むので双 3 極管 12AX7 に改めて波形を改善した。また Doppler 周波数はさきにも述べたとおり現在の段階では約 1 kc から低い方は 0 サイクルにわたる。したがって検波以後の周波数特性は重要である。この装置では検波の後 12AX7 による 1 段増幅の後テープレコーダに録音しているが、ランチング直後および頂点付近の Doppler 周波数 0 付近も確実に記録することができた。なお受信する位置によって Doppler 周波数は正または負の値となる。これを区別するため返信波側に周波数弁別器をおいて弁別器出力の極性を記録するようにしたが実際にはロケットの航跡から大体の見当がつけられるのであまり問題にはならなかった。

地上波受信アンテナは $\lambda/2$ のダイポールを使用し返信波用アンテナはヘリックス直径 1198φ 75Ω 半値幅約 60° のヘリカルアンテナである。K-8 型 5 号機までは観測室に 2 組の受信機を設置して右巻, 左巻アンテナによるロケットのスピンの測定を行なった。8 型 7 号機では 1 組の受信装置を下浜観測所に設け 2 点による観測に成功した。

5. 記録装置

Doppler 周波数の記録には、出力波形をそのままテープレコーダに録音する方法と、Doppler 信号をサイラトロンを利用して一定幅の矩形波に直し周波数変化を直流に変換してペンレコーダに記録する方法を併用した。

DOVAP はロケットの速度を周波数という単なる数で求める点に大なる価値があるから Doppler 信号の記録には高い精度が要求される。テープ速度の変動による測定



第 8 図 返信波受信用アンテナ

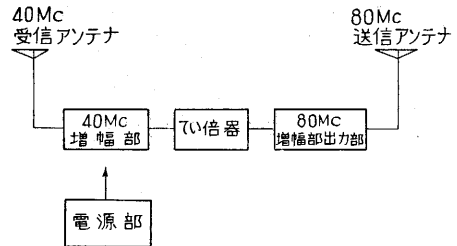
誤差を避けるために、水晶発振器によるたとえば 8 kc のキャリアを作りこれを Doppler 信号で変調して録音しさらにこの基準周波数でテープを駆動するようにすれば精度の高い録音ができる。またロケットのスピンを問題にする場合には左巻, 右巻アンテナよりの信号を同一テープに録音しなければならない。またテープ記録の場合、極めて低い周波数領域の特性、時間軸の精度のほか再生の方法を考えなければならない。実験の記録は Variable Reluctance 型の録音器によったが、これは 2.25 吋/秒で録音して約 1 c/s から 1800 c/s くらいまで録音でき速度変化も 1:10³ にわたって可能であるから再生信号はペン書きオシロで記録できる。なお時間信号を Doppler 信号に重畳した。

将来ロケットをコントロールすることになれば Doppler 信号を直接計算機に入れる必要が生ずる。このために Doppler 信号をパルスに直し周波数変化をアナログ記録とする方法は重要である。今までの実験ではこの周波数変化をペン書きオシロに記録したので精度、確度ともに直接録音方式に比して劣るが、Doppler 周波数が直視できるのでモニターとして便利であった。

6. トランスポンダ

ロケットに搭載するトランスポンダは別項において報告するので省略するが系統図に示すとおり 40 Mc 側増幅部、通倍器、80 Mc 側送信部よりなる。使用真空管は 5702 WA、通倍器はゲルマニウムダイオード 1N31 で電源は HR 型銀電池、高圧電源は DC-DC コンバータを使用した、K-8 型に使用したトランスポンダは入力約 $30 \mu\text{V}$ で出力約 0.1 W である。

2 way 方式ではトランスポンダの内部で地上波の周波数を倍周するが非線形特性を利用するダブラーではそのために必要な最低入力以下では出力を得られない。地上送信機の出力、地上受信機の感度、標定距離の種々の条件におけるトランスポンダの感度、出力は結局ダブラーの特性を中心とする入出力側増幅部の利得でありその限界はおおのの発振を起こす限度、入出側回り込みを防ぐ選択度特性によって決められる。ロケットに周波数安定度の高い発振器を搭載してその周波数変化を測定する one way 方式が速度の速い超遠距離の標定用として注目されるのもこの点に一つの理由があると考えられる。



第9図 トランスポンダ系統図

7. あとがき

まだ問題は残っているが以上簡単に DOVAP の概要を述べた。装置の設計製造および実験についてご親切なご指導をいただいた高木教授・斎藤教授・野村助教授・高中・長谷部両氏その他関係各位に深謝する。

(1961年8月14日受理)

引用文献

1. 斎藤・野村: カップロケットの DOVAP 実験について, 航空電子機器研究専門委員会資料, 1961. 2. 27
2. 黒川・野村: カップロケットのエレクトロニクスについて, 同上, 1959. 4. 27

東京大学生産技術研究所報告刊行

第11巻 第2号「球形殻と円筒殻の逆対称曲げ状態の理論と応用」(英文)

坪井善勝・秋野金次

本論文の前半では球形殻と円筒殻の曲げ理論が述べられているが、主として球形殻の非対称曲げ理論に重点をおいている。力の釣合方程式と変形の適合条件式から若干の近似化を行なった独自の方法により、非対称曲げ問題に関する球形殻の一般化された微分方程式を導き、これを初めて解析的に解いて、解が Gegenbauer Function Legendre Function の和で表わされることを示した。Gegenbauer Function については数値解析の方法を述べ、また球形殻が扁平の場合には、上記の解が Bessel-Function で与えられることを付記し、一般化された方程式の解のうち、膜応力や剛体変位を表わす解と従来の膜応力状態の解との対応を明らかにした。円筒殻の曲げ理論について触れるとともに、応用編で使用する必要な膜応力状態の解も冒頭に述べてある。

論文の後半では、天然ウランガス冷却型動力用原子炉の压力容器および支持円筒殻の、複合された殻構造物について、地震応力、変形を対象とした逆対称曲げ問題を例題に採り上げ、複雑に組み合わされた殻構造物の解析の方法を示すと同時に、その数値計算の結果を述べている。

(1961年9月刊行)