

## DOVAP 受信記録系

野村 民也

## 1. DOVAP 装置の記録系の構成

DOVAP はロケットの飛翔経路の決定手段としては、現在もっとも高精度のもの期待されるが、その性能を十分発揮しうするためには、受信、記録を通じてそれに適う手段を講ずる必要がある。

別稿に述べたように、DOVAP で位置の標定を行うためには、Doppler Frequency の積分が必要である。単に位置のみが必要であれば、受信中に Doppler Frequency の積分量を記録しうれば十分であるが、速度あるいは加速度のデータをも求めようとするならば、瞬時における Doppler Frequency の記録も欠くことはできない。

別稿に述べたように、Doppler Frequency の積分量の 1 サイクルは地上送信波長の半分の距離に相当し、DOVAP 装置はこの程度までの Instrumental Precision をもっている。地上送信周波数を 50M c/s とすれば、この距離は 3m である。今ロケットが仮に直距離にして 150km 程度まで飛翔するとすれば、Doppler Frequency の積分量は  $10^5$  サイクルとなる。

積分の結果を仮りにグラフとして描出するとしよう。普通の記録装置では読取りの精度は最大値の  $\pm 0.5\%$  程度であるから、このような装置ではたかだか  $\pm 1.5\text{km}$  程度の精度しかえられないことになる。積分の特性、記録装置やその増幅器の特性も考慮するならば、精度はこの値よりもさらに低下することを覚悟せねばならない。

一方、瞬時々の Doppler Frequency をそれに比例する電圧に変換してグラフに描出する場合を考えてみる。最大相対速度を 5mach とし、これが記録器に一杯の振幅で記録されたとすると、各瞬時における速度の精度は  $\pm 8.5\text{m/s}$  である。最高点が発射後 150 秒程度の付近であるとすれば、このグラフから積分によって求めた距離の精度は、たかだか  $\pm 1.3\text{km}$  程度である。記録器その他の特性によっては、精度はさらに低下するであろうことは、前の場合と同様である。

以上に見るように、DOVAP の受信記録は analogue な量によったのでは、きわめて低い精度のものになってしまうし、これでは国際地球観測年で要請されている高度標定の精度にも不十分である。DOVAP 装置のもつ Instrumental Precision を最高度に発揮するためには、どうしても受信記録を digital な量で残し、結果の処理も digital な手段で行う必要がある。

DOVAP の受信系は一種の周波数変調波受信装置と等価であるから、原理的に振幅変調的雑音成分はその影響を軽減することが可能である。ただしロケットの飛翔にスピンの伴えば、ベビー T の例に見るように、受信レベルが限界値以下に落ちることが予期される。受信レベル

が限界値以下に落ちている期間中は、正当な受信信号が失われ、大きな誤差を伴った信号がこれに代ってあるものと考えねばならない。受信中にその影響を排除しつつ、かつ適当な補間を行いながら積分を行うことは困難なことである。

Doppler Frequency そのものは、元来 digital な性質の量であるから、その積分も、計数器を用いることによって、digital に行うことは可能である。ただし、受信中にこれを行うことは、前記のような障害を克服する手段がない限り、結果の信頼性の点できわめて危険であるとせねばならない。したがって、受信中には Doppler Frequency の digital な性質を保存しつつ、その完全な記録をとり、後にそれを再生して適当な手段で積分を行うことが望ましいと考えられる。この場合、受信中に混入する雑音的成分は十分除去しうる手段を講ずる必要があるが、これは可能である。

以上の諸点から、DOVAP 装置の受信時における記録としては、以下のものが具備されていれば、最小限十分であろう。

- i) Doppler Frequency のテープ録音記録
- ii) Doppler Frequency のグラフとしてのオシログラフ
- iii) 受信機の受信信号強度の相対的な記録

i) と ii) は一見重複するように考えられる。結果の処理のためには i) の記録があれば十分なのであるが、あえて ii) を併用するのは、第 1 に DOVAP 受信装置が飛翔中正常に動作しているかどうかの目安をうることができること、第 2 に iii) の記録と照合することによって、ロケットのスピンの伴う雑音信号がどの程度介在しているかを判定することができ、これによって、データの処理に最適のプログラムをたてることができるからである。

テープに録音された Doppler Frequency の瞬時値は、録音時および再生時におけるテープレコーダの速度変動や Wow, Flutter などの影響で、そのままでは完全を期しえない。このためには、Doppler Frequency の変域から予想される帯域を外れた点に、安定度のよい標準周波数信号を受信中同時に重畳して録音しておき、再生時にその変動を監視して、それによって Doppler Frequency の補正を行うようにする必要がある。この標準信号は、たとえばロケット・イグナイター起動のスイッチの投入と同時に録音される仕組みとすれば、発射の起点のマークにも利用しうることになり、好都合である。

以上の考え方は、結局テープに録音された Doppler Frequency の digital な記録結果にすべてを托し、後で

十分注意をした再生を行うことによって、完全なデータを求めようとするもので、他のものは補助的な意味しか期待しない方式であるといえることができる。

2. DOVAP 装置の受信系の構成

別稿に述べた通り、Doppler Frequency は正、負の両域にわたって変化することを予期せねばならない。Doppler Frequency が正というのは、ロケットからの送信周波数が地上送信周波数の 2 倍より低い場合、負というのはその逆の場合である。

ロケットから到来する信号と、地上送信機から到来する信号の周波数を 2 通倍した信号とを、単純に混合してヘテロダイン検波したのでは、Doppler Frequency の正負を判別することはできないが、正負の符号を知らない限り、積分によって距離を算出することもできないことになる。

観測ロケットの飛翔経路は比較的単純なものであるから、予想される Doppler Frequency の変化の様相も大して複雑になることはないであろう。別稿の計算結果を見ても、Doppler Frequency は正→負あるいは負→正といった変化をしていて、たとえば正から零に近づいて負にならずに再び正に増加するといったような変化は示さない。したがって、Doppler Frequency の絶対値のみの記録でも、ロケットの飛翔条件と送受信点の配置の状況とから、そのいずれの部分か正であり、いずれの部分か負であるかという判定はできるものと思われる。

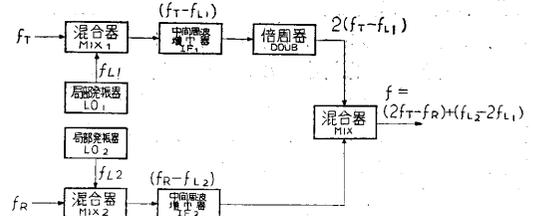
しかし DOVAP としては、Doppler Frequency の変化が正負の両域におよぶことが予期される以上、その判別が明確に与えられる仕組となっていることが本筋であろう。判別法としてはいろいろの方法が考えうるが、analogue 的方法が前節で述べた理由によって採用し難いとすれば、残る方法はさして多くはない。種々の観点から、最も適当と考えられるのは、Doppler Frequency の変域を、一定周波数だけずらす方法である。

すなわち、いま Doppler Frequency が  $(-f_1 \sim +f_2)$  c/s の範囲に変化するものとする。この変域を  $+f_0$  c/s だけずらしてやれば、変化範囲は  $(f_0 - f_1 \sim f_0 + f_2)$  c/s となり、 $f_0 > f_1$  であることがなくなる。 $f_0$  を安定な一定基準の周波数あるように選んでおけば、変域が正負の双方にまたがるとして、再生に当たってその分を差引いてやれば、Doppler Frequency の digital な性質を害することなく、完全な記録の再現を望むことができることとなる。

テープレコーダとしては、低い周波数の録音が困難であるから、零を含んで変化する Doppler Frequency の録音はそのままでは不可能で、そこになんらかの工夫を必要とする。その点上記の方法にはその心配がなくかえて都合がよいともいえる。

Doppler Frequency の変域を  $f_0$  だけずらすには、種々の方法が考えられる。以下それぞれの方法の概略とそれに含まれる問題点とを考慮することとする。

2-1. Doppler Frequency の絶対値を記録する方法  
Doppler Frequency の変域をずらすことなく、その正



第 1 図 DOVAP 受信系統

負の判別は状況判断で行う場合である。第 1 図は DOVAP 受信機の系統図である。

出力信号  $f$  の周波数安定度は次のようになる。

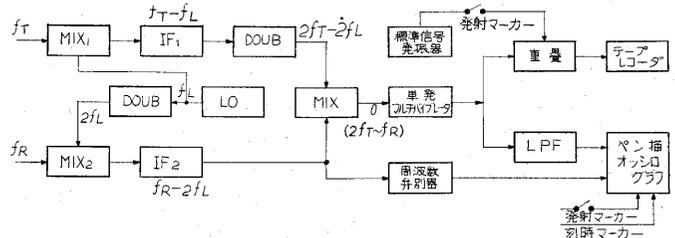
$$\begin{cases} f_T = f_{T0}(1 + \epsilon_T) \\ f_R = 2f_T(1 - \frac{1}{C} \frac{d\rho}{dt}) \\ = 2f_{T0}(1 + \epsilon_T)(1 - \frac{1}{C} \frac{d\rho}{dt}) \dots\dots\dots (1) \\ f_{L1} = f_{L10}(1 + \epsilon_{L1}) \\ f_{L2} = f_{L20}(1 + \epsilon_{L2}) \end{cases} \text{ただし } \epsilon \text{ は各周波数の安定度}$$

$$\therefore f = \frac{2}{C} \frac{d\rho}{dt} f_{T0}(1 + \epsilon_T) + (f_{L20} - 2f_{L10}) + (\epsilon_{L2} f_{L20} - \epsilon_{L1} 2f_{L10}) \dots\dots\dots (2)$$

いま  $LO_1$  を 1 つの発振器とし、 $LO_2$  は  $LO_1$  の出力を 2 通倍したものとすると、

$$f_{L20} = 2f_{L10} \quad \epsilon_{L2} = \epsilon_{L1} \\ \therefore f = \frac{2}{C} \frac{d\rho}{dt} (1 + \epsilon_T) = f_D(1 + \epsilon_T) \dots\dots\dots (3)$$

したがって出力には  $\epsilon_T$  程度の誤差を伴うのみで、局部発振器の周波数変動は影響しないことになる。 $\epsilon_T$  が  $10^{-6}$  以上の安定度であれば、DOVAP としての Instru-



第 2 図

mental Precision が害されるおそれはない。

出力信号は零に近い周波数もあるので、前述のようにそのままテープに録音することはできない。このような信号の録音法は種々考えられるが、確実な方法として、出力をパルスに変換して、そのパルスを録音するのがよいと考えられる。以上の考え方による具体的な方式案を第 2 図に示す。

テープレコーダには前節で述べた理由によって標準周波数の信号を重畳して録音する。一方、単発マルチプレイプレータの出力の平均値は、周波数の瞬時値に比例するから、これをペン描きオシログラフで記録することにより、Doppler Frequency のグラフとしての記録がえられる。周波数弁別器は中心周波数を  $2(f_T - f_L)$  に設定しておいて、その出力の正負をもって Doppler Frequency

の正負の判別に資そうとするものである。  $f_T, f_L$  の変動の影響をうけるため完全な動作は望めないが、その記録は状況判断の参考として役立つ。

この方法は Doppler Frequency の正負が不明確である点に大きな欠点があるが、前述の通り局部発振器の安定度が問題にならず、装置として最も簡単にできる利点をもっている。状況によって Doppler Frequency の正負を判定することが十分な確実性をもつよう運用の当をえれば、観測ロケットの標定には十分役立つものと考えられる。

2-2. Doppler Frequency の

変域をずらす方法

a. 2 個の局部発振器による方法 2.1 の方法では、第 1 図の  $f_{L2}$  は  $f_{L1}$  の 2 通倍の信号としている。これをそれぞれ別の発振器とし

$$f_{L20} - 2f_{L10} = f_0 \dots\dots\dots (4)$$

となるようにそれぞれの周波数をえらべば所望の結果をうる事ができる。

出力信号の周波数は(2)式より

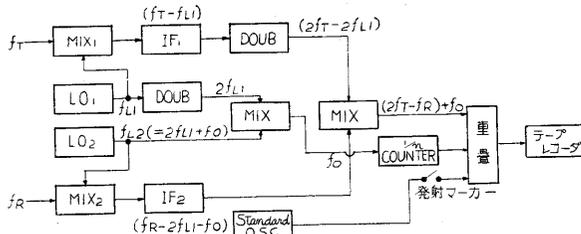
$$f = f_D + f_0 + \epsilon_T \cdot f_D + (\epsilon_L f_{L20} - \epsilon_{L1} \cdot 2f_{L10}) \dots (5)$$

信号の誤差分はほとんど第 4 項で決まる。これを  $f_\epsilon$  とすれば、2 個の局部発振器の安定度がほぼ同じとして、

$$f_\epsilon = \epsilon_{L2} f_{L20} - \epsilon_{L1} \cdot 2f_{L10} \approx 4 \epsilon_L \cdot f_{L10} \dots\dots\dots (6)$$

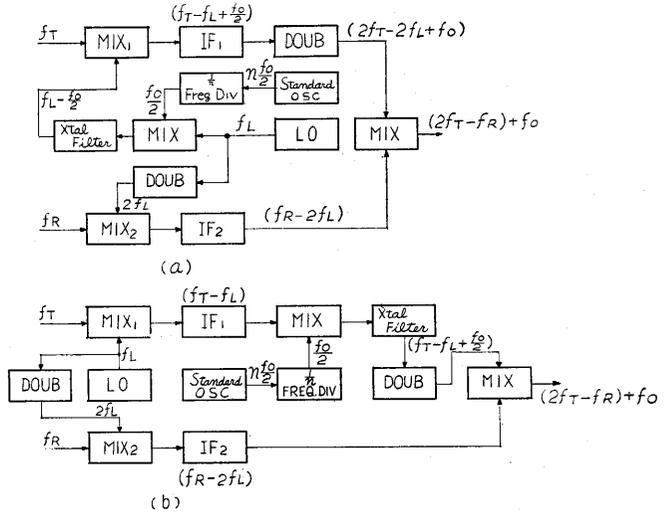
$f_{L10}$  を 10 Mc/s とすれば、 $\epsilon_L$  が  $10^{-5}$  の程度では、周波数誤差は  $\pm 400$ c/s にも達することになり、このままでは実用性に乏しい。

強いてこの手法によろうとするときは、 $(f_{L2} - 2f_{L1})$  を求めて、これを  $f$  と重畳して録音し、再生時に両者を分離し補正を施すしかない。 $f_D$  は別稿の計算によって、 $f_T = 50$  Mc/s のときは、変域は  $(-600 \sim +1500)$  c/s と見れば十分である。 $f_0 = 2$  kc/s として上記の変動を考慮すれば、 $f$  の変域は  $(1,000 \sim 3,900)$  c/s である。一方  $(f_{L2} - 2f_{L1})$  は  $(1,600 \sim 2,400)$  c/s の変域となるか両者をそのまま重畳して録音することはできない。両者を分離しうるためには、後者を例えば  $\frac{1}{4}$  に count down してその変域を  $(400 \sim 600)$  c/s として録音する。再生時にはこの補正信号を分離し、4 倍して補正することになるが、そのため count down ratio だけ precision の低下をきたすことは避けられないことになる。



第 3 図

以上の考え方による受信機の系統図を第 3 図に示す。IF<sub>2</sub> の出力の処に周波数弁別器をおき、その出力をペン描きオシログラフにみちびいて、Doppler Frequency のグラフとしての記録はとれる。ただし周波数変動が



第 4 図

$\pm 2(\epsilon_T \cdot f_T + \epsilon_L \cdot f_L)$  の程度あり、 $\epsilon_T, \epsilon_L$  が  $10^{-5}$  程度では、 $f_T = 50$  Mc/s,  $f_L = 10$  Mc/s の場合、変動は  $\pm 1.2$  kc にも達するので、ほんの目安の役にしかならない。相当の信頼性を期待しうるためには、 $\epsilon_T, \epsilon_L$  は  $10^{-6}$  以上、出来れば  $10^{-7}$  位のものが望ましい。

b. 水晶共振器を用いる方法 第 4 図に基本部分の系統図を示す。これには 2 通りの方法が考えられる。

(a) 図の方法では標準信号の周波数を  $1/n$  に通降して作った  $f_0/2$  の周波数を  $f_L$  と混合し、狭帯域水晶共振器によってその下側波帯のみとり出し、 $(f_L - f_0/2)$  の局発信号をつくっている。(b) 図は  $f_T$  側で、中間周波の出力に  $f_0/2$  を混合し、同じく水晶共振器でその上側波帯をとりだす方法である。 $f_L$  が 10 Mc/s の程度では(a) 図の方法は実現が困難になる。

両者共、出力信号の周波数安定度は、十分高くしうる周波数変動は

$$f_\epsilon = \epsilon_T f_D + \frac{1}{n} \epsilon_S \cdot f_S \dots\dots\dots (7)$$

である。

(b) 図の方法では、 $f_T$  および  $f_L$  の周波数変動が、水晶共振器の帯域に影響する。その帯域は  $\pm(\epsilon_T f_T + \epsilon_L f_L)$  の程度必要であり、 $f_T = 50$  Mc/s,  $f_L = 10$  Mc/s,  $\epsilon_T = \epsilon_L = 10^{-5}$  とすれば、 $\pm 600$  c/s である。水晶共振器として簡単なものですませられるためには、 $f_T, f_L$  ともその安定度はもう一桁位安定であることが望ましい。

c. 位相制御発振器による方法 位相制御発振器を利用すれば、 $f_L$  から  $f_0/2$  低い周波数に安定化された発振器を実現することができる。これを用いれば第 4 図 (a) と同様の方法で、b. と同じ程度の安定度をもつ受信装置が可能である。

位相制御発振器の制御範囲は狭いから、この場合でも  $f_L$  の安定度が十分高くないと、利用は困難である。

(1956. 3. 15)