

# J J Y 受信機の開発とその応用

高木 克彦（日本通信機株式会社）

**あらまし** 40kHz 長波標準電波を受信し、標準時刻、標準周波数を出力する JJY 時刻受信機を開発した。その開発の経過と受信機の応用について報告する。

## 1. まえがき

弊社では、従来 GPS 電波を受信して、標準時刻、周波数を出力する受信機を製造してきた。GPS は米軍により開発されてきたものでその特性は米国の管理下にある。日本の標準時刻、周波数が長波標準電波として正式運用されるにあたり、同電波を受信し、時刻信号、基準周波数を出力する受信機を商品化した。基準周波数を再生するためには電波のタイムコードだけでなく、搬送波位相情報を使用する。また、時刻同期受信機としてみた場合、受信機内部の遅延時間も問題となる。

その開発にあたっての長波標準電波の伝搬特性、受信機回路構成、アンテナ等についての調査、検討結果、および、今後の 60kHz 電波に対する対応などを述べる。

## 2. 本論

### 2.1 電波の特性

開発当初、工場付近での電波の受信状況を調査した。40kHz 近傍の周波数は近隣からの雑音が多く、数 100Hz まで受信帯域を絞り込まないと満足な S/N 比が得られないことが判明した。伝搬特性については資料(1)によると距離 200km までは地表波のみ、それ以上は空間波と地表波の両方になり、数 1000km 以上では空間波のみになる。合成される地点では地表波と空間波の位相がベクトル合成され電波の強度、位相が大きく変動する場合がある。フィ

ールドテストの結果でも、伝搬距離 750km 地点で日の出、日没時の位相変動が  $14\mu\text{s}$  に達した。また、信号レベルの変動も 20dB となった。レベル変動は AGC 回路で解消可能であるが、位相変動は困難な問題であった。長距離伝搬については 1000km を越える小笠原、九州南部でのテストを行い、受信可能なことが確認できた。しかし、環境雑音に大きく影響された。

### 2.2 開発経過

前項で述べた雑音、位相変動をどのように刈アするかが最大の課題であった。一般的に、雑音は受信周波数帯域を狭くすれば低減されるが、弊害として受信機内部遅延時間が増加する。1 秒を規定するタイムコードの立上がり部分の傾斜が 2ms であるので、500Hz は確保したいところである。安定した搬送波再生を確保するためには更に狭くする必要があり、最終的に 200Hz となった。この場合、遅延時間の温度変動が問題となり、温度補正をかけることで対処した。搬送波位相を利用して基準周波数を作り出す部分では、受信搬送波の位相変動をどのように解消するかが課題であった。受信搬送波は S/N 比が悪く、またジッタも多いのでそのままタイムインターバルカウンタに入力するわけにはいかない。また、タイムコードのマーク、スペースでのレベル差も 20dB あり、マークの長さも 3 種類ある。これも位相誤差の要因となる。そこで一度搬送波再生ループを形成し、連続波に変換して基準周波数の制御に用いている。単純に搬送波位相に基準周波数を追従させると日中の安定した時間で  $1 \times 10^{-10}$ 、朝夕では  $2 \times 10^{-9}$  程度しか得られず、目標の  $10^{-11}$  は達成できない。しかし、24 時間の平均をとると  $2 \times 10^{-11}$  となり、十分に使用可能な値となる。このた

〒243 - 0303

神奈川県愛甲郡愛川町中津字桜台 4 0 0 5

日本通信機(株) 製造部 宇宙特機課

E-mail: takagi@nitsuki.com

めには内蔵する基準発振器で 24 時間の安定度を確保し、周波数の絶対誤差を標準電波で補正していくという方針になった。24 時間で  $10^{-11}$  オークの安定度を持つ発振器としてはルビウム発振器があり、小型で機器内蔵可能なものを採用した。最長 24 時間という長い時定数の制御ループのため、ソフトウェアによる周波数制御とした。一方、基準発振器に水晶発振器を用いたタイプでは  $10^{-9}$  程度の安定度が得られる。標準時刻を得るための受信機としてみた場合これで十分とみることができる。時刻同期の精度としては、受信タイムコードの変動を内蔵基準発振器の安定度で平均化できるため、伝搬遅延時間補正後で  $200 \mu\text{s}$  が確保できる。40kHz/60kHz の 2 周波対応については、切換え時、搬送波位相の連続性を確保できないため、自動切換とはせず、切換える必要性を表示した上での手動切換えとする。

受信機の基本系統図を図 2.2 に示す。

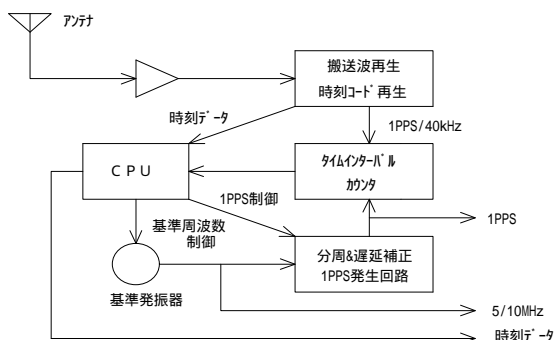


図 2.2 受信機系統図

### 2.3 アンテナ

業務用の長波受信アンテナとしては、ループアンテナ、ホイップアンテナがある。一般にループアンテナは受信帯域が狭く使用周波数に同調をとる必要がある。アンテナは屋外設置のため、動作温度範囲が広く同調回路の温度特性が問題になり、位相安定度に影響がでてくる。このためアンテナはホイップ型とした。ホイップ型の場合、受信信号の波長に対して、アンテナエレメントの長さが短く、アースをとることが必要になる。また、アースをとることで雑音レベルが低減されることが確認された。アンテナ設置場所についても注意が必要で、周囲の構造物からは、できるだけ離れた方が良好な受信をすることができる。

### 2.4 受信機の紹介

現在製品化している受信機は、JJY エタ受信機と JJY 時刻同期受信機がある。エタ受信機は通常の時刻受信機とは逆の使い方で、受信電波の時刻情報を受信局の基準時計と比較し、異常がないか監視するための受信機である。また、受信電波の搬送波位相変動を測定することができる。一般用の JJY 時刻受信機には基準発振器にルビウムを用いたものと、水晶を用いたものがある。ルビウムを用いたものは主に周波数基準として、水晶を用いたものは時刻基準としての用途が推奨される。

### 2.5 受信機の応用

受信機の応用は、従来から使用されている観測機器への時刻供給、通信機器、計測器への基準周波数供給や校正、水晶発振器の周波数調整などがある。それに加え、近年はコンピュータネットワークへの時刻供給への用途が増加してきている。標準時刻受信機については、シリアルインタフェースを通じてパソコン、ワークステーションと接続でき、時刻情報、1PPS 信号を供給できる。更に高度な応用として PCI バスに適合する専用のインタフェース基板を用意しており、より高精度の時刻同期を可能にしている。最終的な確度はアプリケーションソフトウェアに依存するが、入力 1PPS 信号に対して数 100ns の精度で PCI バス上に時刻を供給することができる。ネットワークタイムサーバへの応用が期待される。

## 3. まとめ

九州局から 60kHz の電波も発射されるようになりサービスエリアが全国に広まった。今後、ネットワーク時刻同期をはじめとし、標準電波受信に対する需要は増大することが期待される。現状  $2 \times 10^{-11}$  の周波数確度が得られているが、これを、より簡単に得られるようにし、また、時刻同期の確度を更に高めていきたいと考えている。

### 参考文献

- (1) 本間 重久、斉藤 義信：「長波標準電波 (JG2AS/JFF-2) による供給」、電波研究所季報 Vol.29 No.149 pp.279-289, 1983 年