

# 長波 JJY 利用高安定基準発振器

甲田 正夫（日本無線株式会社）

**あらまし** 最近の通信や放送システムで求められている周波数安定度および現在使用されている基準発振器の現状と問題点を調べた。これらの問題点を解決する手段として、長波標準電波を使用したらどうなるか検討を行った。長波 JJY 利用基準発振器の性能評価試験を行い、標準電波を使用した基準発振器の得失をまとめた。更に長波 JJY 利用基準発振器の製品例を紹介する。

## 1. まえがき

限りある電波の有効利用のため、通信・放送システムは、より高い周波数への移行、狭帯域化やデジタル化が行なわれ、その結果として、周波数安定度に対する要求は、新しいシステムが出てくるたびに厳しくなっているのが実情である。

そこで、長波標準電波の通信や放送の分野における応用として、長波 JJY 利用高安定基準発振器を構成し、評価試験を行なった結果、基準発振器として十分満足できることが検証された。

## 2. 要求される周波数安定度と現状の発振器の性能

現在サービスに供されている、または予定されている主なシステムが求めている周波数安定度を表1に示す。これらの通信・放送システムで使用される基準発振器は、より高い周波数安定度に加えて、さらに周波数同期のため周波数確度が要求されている。

そのほか、何処の世界も同様に省力化・コストダウンの要求から、製品が安価であることに加えて、購入後に手が掛からないことが要求されている。

〒181-8510

東京都三鷹市下連雀5-1-1

日本無線株式会社

通信機器授業部 技術第六部

E-mail: j02798\_kohda@m1.jrc.co.jp

表1 要求される周波数安定度

システム名	許容偏差	要求される安定度	備考
HF無線 (船舶局)	10Hz	$3.8 \times 10^{-4}$	J3E (@26MHz)
VHF移動無線	$10 \times 10^{-6}$	$1 \times 10^{-5}$	
アナログTV (JHF)	3kHz 5Hz	$3.8 \times 10^{-6}$ $6.4 \times 10^{-9}$	一般 精密オフセット方式
地上波デジタルTV	1Hz	$1.2 \times 10^{-9}$ $7.5 \times 10^{-11}$	放送波 (JHF) 独立同期STL回線 (~ 13GHz)
携帯電話 (PDC)	$0.5 \times 10^{-6}$ $3 \times 10^{-6}$	$5 \times 10^{-7}$ $3 \times 10^{-6}$	基地局 移動局
携帯電話 (CDMA)	$0.05 \times 10^{-6}$ $\pm 300\text{Hz}$	$5 \times 10^{-8}$ $\pm 300\text{Hz}$	基地局 移動局 (基地局との同期偏差)

通信・放送システムで使用されている発振器の周波数安定度を、図1に示す。ベーシックな水晶発振器(XO)、温度補償型水晶発振器(TCXO)、また恒温槽入り水晶発振器(OCXO)があり、安定度はそれぞれ  $10^{-5}$ 、 $10^{-6}$ 、 $10^{-8}$ 程度である。さらに高度の周波数安定度を必要とする場合は、原子の共鳴現象を利用した、ルビジウム発振器(Rb)やセシウム発振器(Cs)があり、安定度はそれぞれ  $10^{-10}$ 、 $10^{-12}$ ~ $10^{-13}$ 程度である。

また基準発振器は、経過時間に対する周波数安定度(経時周波数安定度)が重要である。高安定発振器の経時周波数安定度の例<sup>(1)</sup>を、図2に示す。これから、1年後の周波数変動は、1桁から2桁ぐらいあるので、これらの経時変化を補正するために、定期的な校正を必要とする。

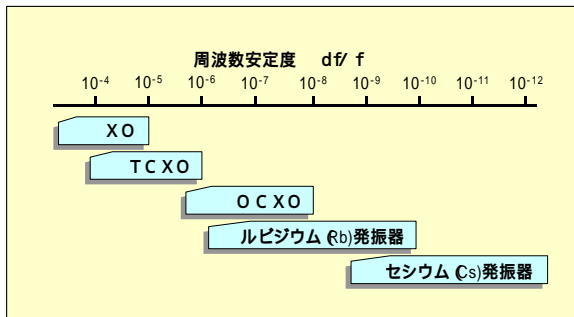


図1 各種発振器の周波数安定度

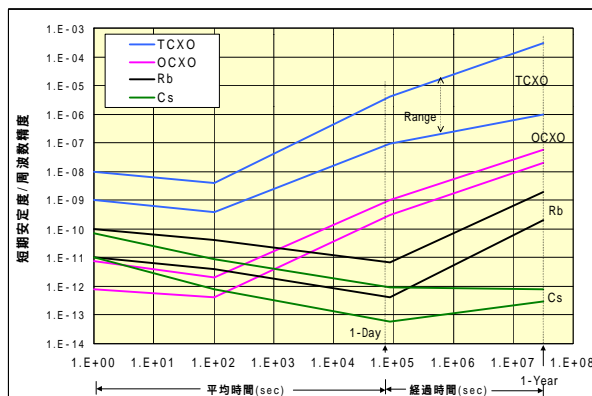


図2 高安定発振器の経時周波数安定度

以上から、基準発振器の問題点をまとめると、周波数安定度に対する要求と現状の発振器の性能は、肉薄しており、性能的限界にきている。経時周波数変動を補正するため、定期的な周波数校正を必要とし、高度な技術と設備および時間が必要である。高安定発振器は高価で、要求する安定度が上がるたびに価格も跳ね上がり、また定期校正が必要としており、購入後のメンテナンスコストを無視することは出来ない。

### 3. 標準電波の利用

基準発振器の問題点を解決する一手段として、「長波標準電波の利用」が考えられる。標準電波を利用する場合の要件として、サービス体制が安定している事が必要であるが、国によって維持・管理されており、安心できる。日本全国で均質なサービスが得られることが必要であるが、九州局の完成により西日本エリアの拡大、その上に相互補完体制も出来たので、さらに確実なものになった。システムが要求する周波数精度を満足す

ることが必要であるが、周波数国家標準で管理されていることおよび長波帯の安定した伝搬特性によって、伝搬路を含めても $10^{-11}$ が確保できる。

現状の発振器について、例えば10年後などの長期経時周波数安定度を、具体的な数値で表すことは困難であるが、標準電波を利用すれば安定した基準周波数を得ることが可能である。

これらの状況を、他の発振器と比較図式化したグラフを、図3に示す。

よって、標準電波を利用することは大変有効な手段といえる。

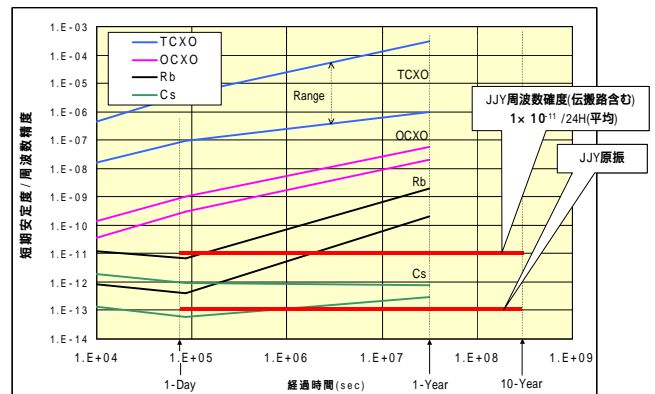


図3 標準電波の周波数安定度

### 4. 長波 JJY 利用発振器の構成及び性能

長波 JJY 利用基準発振器の構成を、図4に示す。基本原理は、標準電波の正確な搬送波周波数を再生して、この周波数を基準にして内蔵の電圧制御発振器(ルビジウム発振器など)を制御することで、正確な発振周波数を得ることが出来る。

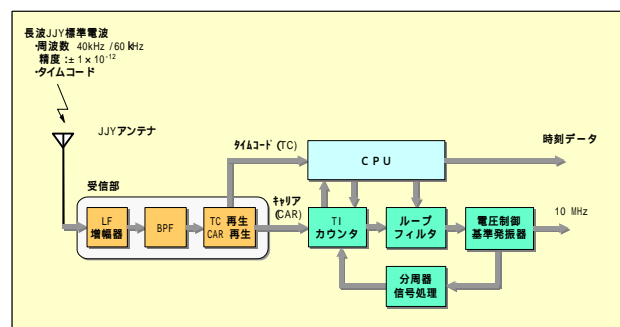


図4 長波 JJY 基準発振器の構成

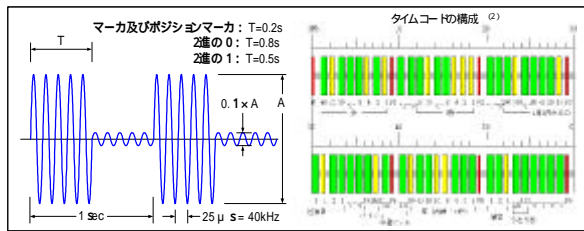


図5 長波標準電波の信号構成

長波標準電波の信号構成を、図5に示す。技術的な要点としては、断続したタイムコードの中から、いかに安定に搬送波周波数を再生するか、また電波伝搬による変動をどのように処理をするかなどがあるが、これらを実現するためにハード面/ソフト面で色々な工夫が盛り込まれている。

実際の長波 JJY 利用基準発振器の評価試験データを、図6～8に示す。

・起動特性：電源投入から、1時間以下で、 $1 \times 10^{-11}$ 以内となり、その後約4日間の周波数変動も安定であることが分かる。

・周波数同期特性・停波試験：2台の発振器の周波数偏差は、データに示すように $1 \times 10^{-11}$ 以下に制御されている。また、標準電波に不測の停波があった場合のシミュレーションとして、アンテナを外して人為的に停波を発生させた(1回目は1時間、2回目は2時間)が、停波期間中は内蔵のルビジウム発振器でホールドされるため、出力周波数には、まったく影響を受けていないことが分かる。

・温度特性：単体のルビジウム発振器の温度特性は、高性能なものでも $1 \times 10^{-10}$ 程度であるが、標準電波を利用することで、 $10^{-11}$ オーダーに制御されていることが分かる。

以上のように、基準発振器の問題点を解決するための基本性能を満足していることが検証できた。

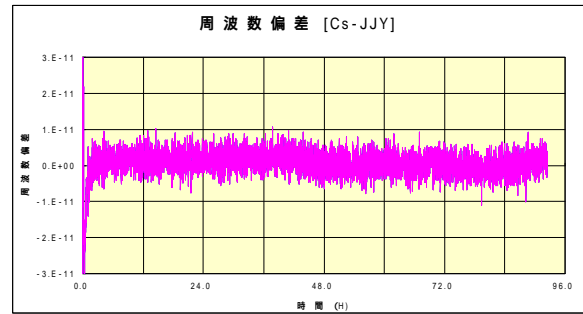


図6 起動特性

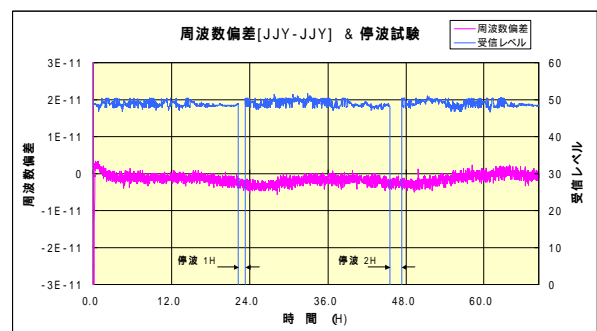


図7 周波数同期特性・停波試験

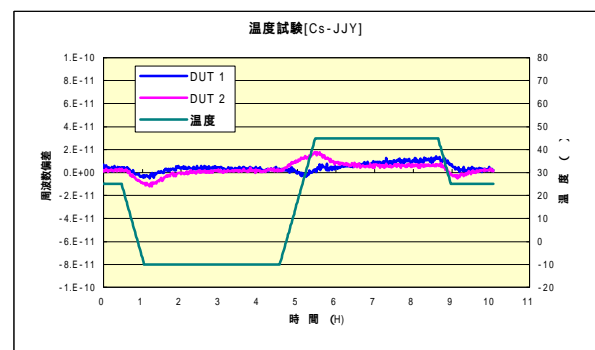


図8 温度特性

#### 4. 長波 JJY 利用基準発振器の得失

以上の結果から、JJY 発振器の得失を上げると次のようになる。

・長所：

長波標準電波に従属依存し、高安定/高

精度である。

常時、自動校正をしているので、メンテナンスが不要である。

廉価で高安定な発振器が得られる。

・短所とその対策：

長所と裏腹に、標準電波に依存しており、他人任せで自己管理が出来ない。

国による安定した管理がされており、安心できる。

標準電波は、メンテナンスなどで停波をすることがある。

福島局と九州局の相互バックアップ体制が出来たことおよび JJY 発振器の内蔵発振器の精度でホールドするようにハード面で工夫されている。

外部アンテナが、必要で面倒。

電波時計は、タイムコードが再生できれば良いのでバーアンテナなどの小型アンテナが使えるが、JJY 発振器は搬送波を再生ため、C/N の良い信号を受信する必要であり、外部アンテナを必要とする。

## 5. 実際の製品例

実際の製品例として、図9に長波 JJY 利用基準発振器 (NGJ-45/日本無線製) を示す。

福島局および九州局の2波対応デュアル受信、DSPによるソフトウェア受信機内蔵、ルビジウム発振器内蔵、メンテナンスフリーなど多くの特長があり、長期周波数安定度  $1 \times 10^{-12}$ /月(平均)を実現している。

また、受信アンテナの例を、図10に示す。長波帯で使用するアンテナは、ループ型・ホイップ型・ロングワイヤなどがあるが、小型であることおよび設置工事が容易であることなどから、ホイップ型のアンテナを使用している。

## 6. まとめ

以上の通り、高安定基準発振器の問題点を解決する手段として、標準電波の利用は有効であることが実証され、長波 JJY 利用基準発振器は各方面から注目されている。

標準電波利用に当たり、通信総合研究所殿のご指

導・ご助言に対し深謝します。



図9 製品例 (長波 JJY 利用基準発振器)



図10 製品例 (受信アンテナ)

## 参考文献

- (1) `Performance Details of Precision Freq. Sources`, Ball Corporation: Precision and Frequency Handbook, pp.9.11
- (2) 通信総合研究所日本標準時グループホームページ (<http://jjy.crl.go.jp>)より転載