

通信総合研究所の時間・周波数標準と標準電波

森川 容雄（通信総合研究所）

あらまし 通信総合研究所（CRL）は我が国の時間・周波数の国家標準機関として標準電波により標準周波数及び日本標準時を社会に供給している。この標準電波を受信し自動的に正確な日本標準時を表示する電波時計の普及が急速に進んでおり、CRLの社会的責任は重くなってきている。このためCRLは新たに九州にはがね山標準電波送信所を整備したので、その概要について紹介する。

1．まえがき

時間およびその逆数である周波数は人類の歴史が始まって以来常に人間社会にとって重要な意味を持ってきた。実際、古代エジプト文明では季節をはじめとする時間の計測は当時の基幹産業である農業と密接に関連しており、精密な暦が発達したことは良く知られている。また、18世紀のヨーロッパ諸国にとって植民地交易は富の源泉であり航法の精度改善は経済や安全保障にとって最重要課題の一つであった。このため当時の英国は経度法を制定するとともに国王の身代金(king's ransom)にも相当する莫大な賞金を設定して正確な時計の開発を奨励している⁽¹⁾。一方、科学技術が高度に発達した現代社会においてもその事情は変わらないどころか、ますます時間の重要性は高まっている。高度情報社会において高速通信網は社会的インフラとして不可欠になっているが、ここでもネットワークの高精度同期のために原子時計が使用されている。また、現代社会を支える科学技術分野においても、時間および周波数はあらゆる物理量の中で最も精度高く決定でき、長さや電圧等の他の物理量を決める上でも必要不可欠の存在になっている。さらに、GPSやVLBIのような超高精度計測技術は高精度な時間・周波数標準があってはじめて可能になった技術である。

〒184-8795 東京都小金井市貫井北町 4-2-1
通信総合研究所 電磁波計測部門
E-mail: tak@crl.go.jp

2．時間・周波数標準の概要

このように時間および周波数は現代社会を支える上で重要な役割を果たしているため、社会的に利用される場合、統一がとれている必要があることはいうまでもない。このため、科学技術の発達した先進国では、国が高精度の時間・周波数標準を定め運用しているのが普通である。我が国でも、通信総合研究所（CRL）が総務省設置法および独立行政法人通信総合研究所法に基づき標準周波数と標準時を供給している。このサービスは国内の計測機器、通信機器メーカーの社内標準の校正や一般の市民生活のリズムの基本となっている各放送局の時報やNTT117の報時サービスの基準として利用されている。時間・周波数の標準業務では次の3要素が基本となっている。

標準時、標準周波数の発生と維持

標準時、標準周波数の国際比較

標準時、標準周波数の供給

第1の要素では、国の標準として十分な精度と信頼性を確保しながら標準時及び標準周波数を発生し、維持することが要求される。CRLでは光励起型セシウム一次周波数標準器と約10台の商用セシウム原子時計により日本標準時および標準周波数を発生している。第2の要素では、国際化が進んだ現代社会においては、各国が維持する標準の間の整合性を確保することが不可欠であり、国際度量衡局(BIPM)をはじめ各国の標準機関が協力してGPSや通信衛星を利用して高精度に標準時を比較し、協定世界時(U

TC)や国際原子時(TAI)を決定している。CRLはBIPMからGPS国際精密時刻比較網のアジア太平洋地域のノード局に指定されている⁽²⁾。第3の要素では、国が維持する標準を広く社会に利用してもらうために必要な精度をもった供給手段を提供することが要求されるが、CRLでは以下で詳述する長波標準電波を中心に電話回線等を利用した様々な方法により標準時と標準周波数を社会に供給している。

3. 長波標準電波の概要

3.1 標準電波の歴史

標準電波は無線局や放送局への標準周波数供給を目的に昭和15年1月30日に運用が開始された。その後、昭和23年8月から標準電波に報時信号が重畳されるようになった。この報時信号はテレビ・ラジオの時報やNTT117サービスの基準として利用され日本の市民生活に深く定着している。その意味で、標準電波は戦後の日本の時を半世紀以上にわたって支えてきたと言っても過言ではない。

標準電波は当初短波帯で運用されていたが、短波帯は電離層の状態に強く依存し、受信状態が不安定、周波数供給精度不足、混信等の問題が指摘されるようになった。このため、平成5年にCRL内に標準供給将来方針検討委員会が設置され、利用者アンケートに基づき、短波標準電波を中心とした体制が総合的に再検討され、高精度で時刻符号の供給が可能な長波標準電波の実用化等が提案された。

その後、具体化に向けた努力がなされ、平成9年度から福島県でおたかどや山標準電波送信所の整備工事が開始され、平成11年6月10日の時の記念日から正式に長波標準電波の運用が開始された。おたかどや山標準電波送信所の運用開始とともに、電波時計の利用が急速に進み、平成12年末の時点で200万台以上の電波時計が国内で市販されている。このように長波標準電波の社会的責任も従来以上に重くなってきており、CRLは長波標準電波を高い信頼性で運用し、その社会的責任を十二分に果たすため、平成11年度から福岡・佐賀両県の境界にある羽金山に二局目の標準電波送信所の

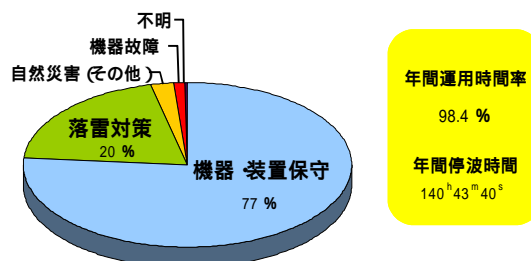
整備を開始し、平成13年10月1日に運用を開始した。第1図は完成したはがね山標準電波送信所の全景写真である。



第1図 はがね山標準電波送信所全景写真

3.2 二局体制の確立

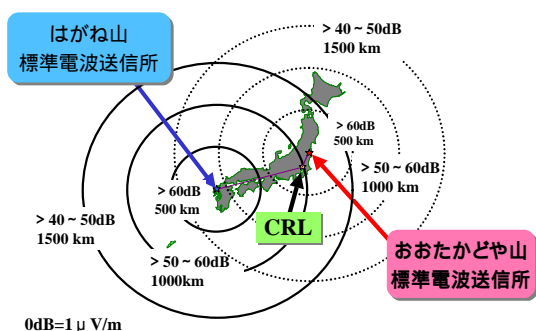
高い信頼性で運用するためには、運用停止時間を極力短くすること、全国どこでも受信可能であること、常に正しい信号を送信すること等が必要である。第2図は平成12年のおたかどや山標準電波送信所の運用実績であるが、年間停波時間は140時間に達していた。標準電波送信所システムの重要部分は二重、三重の冗長性を持たせ、また自家発電装置を備える等、高い運用信頼性を確保するようにしているとは言え、定期保守点検や自然災害等により、これまで一定の運用停止時間は避けられなかった。今回のはがね山標準電波送信所の運用開始により二局体制が確立され相互バックアップ運用が可能になり二局とも同時に運用を停止する確率は非常に小さく、高い信頼性を確保できるようになった。



第2図 おたかどや山送信所運用実績

第3図におたかどや山・はがね山標準電

波送信所の位置とその送信電力から計算される電界強度を示す。図から分かるように、おおたかどや山標準電波送信所だけで、北海道、本州、四国では 50～60dB 以上の電界強度が得られるが、九州や沖縄等、西日本ではどうしても電界強度が弱く、改善が望まれていた。はがね山送信所の開局により、西日本地域の電界強度が大幅に改善され、沖縄を含め全国で 50～60dB 以上の受信電界強度が得られるようになった。



第3図 標準電波送信所と電界強度

標準電波の正確さを確保するために、両標準電波送信所には標準周波数・標準時の原振となるセシウム原子時計が設置されているが、これは後述するようにCRL本所で維持する日本標準時と高精度で比較されている。また、送信される時刻コードも複数の系統で合成されたものを比較し、一致していることを確認し、信頼性を高めている。

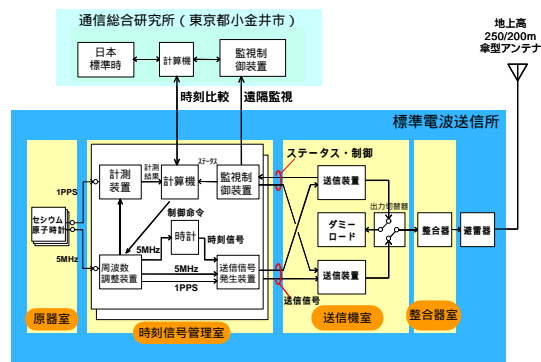
第1表 標準電波送信所諸元

	おおたかどや山	はがね山
運用開始	1999年6月10日	2001年10月1日
所在地	福島県	佐賀県/福岡県
緯度・経度	N 37度 22分 E140度 51分	N 33度 28分 E130度 10分
標高	790m	900m
アンテナ型式	支線式基部絶縁型頂部傘型	
アンテナ高	250m	200m
アンテナ電力	50kW	50kW
アンテナ効率	約 25%以上	約 45%以上
周波数 & 確度	40kHz $\pm 1 \times 10^{-12}$	60kHz $\pm 1 \times 10^{-12}$
電波型式	A1B	A1B

3.3 標準電波送信所の諸元と構成

第1表に標準電波送信所の諸元を示す。両送信所の周波数は40kHzと60kHzと異なっているが、これは同一周波数にすると干渉により受信強度が低下する地域が発生するのを避けるためである。またアンテナ効率が25%と45%と大きく異なっているが、これはおおたかどや山とはがね山の土質の違い等により接地効率が異なるためであると考えている。

第4図は標準電波送信所システムの構成図である。原器室のセシウム原子時計の信号は時刻信号管理室でCRL本所(東京小金井市)の日本標準時とGPS信号を仲介に定期的为数nsの精度で比較され、タイミングと周波数が日本標準時と一致するように周波数調整装置で調整される。周波数調整装置の出力から作られる時刻符号及び5MHz、1PPS信号は、実際に標準電波として送信される信号を発生する送信信号発生装置に入力された後、送信装置に送られ、整合器を経由してアンテナから送信される。システムは信頼性を確保するため、整合器以降を除き全て2系統(原子時計は3系統)の冗長性を持たせている。また、各標準電波送信所には自家発電装置を備えており、停電時には自動的に切り替わるようになっている。



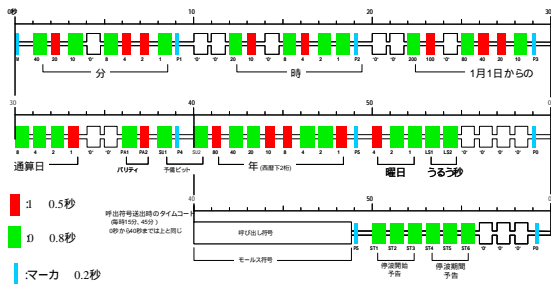
第4図 標準電波送信所システム構成図

3.4 タイムコード

第5図に標準電波から送信されるタイムコードを示すが、毎正分の時刻(年、1月1日からの通算日、時、分)、曜日、うるう秒情報、パリティ、停波予告情報等を1分周期で送信

している。図の例は 1999 年 6 月 10 日 14 時 26 分を示している。各秒信号は 40kHz のキャリアをパルス幅変調してコード化しており、パルス幅 0.8 秒は 2 進の 0、0.5 秒が 2 進の 1 に対応している。その他に正分の位置を示す基準マ - カ及びポジションマーカが送出されるが、そのパルス幅は 0.2 秒である。ポジションマーカ P 0 は、通常（非うるう秒時）は 59 秒の立ち上がりに対応している。しかし、正のうるう秒時（挿入）では、60 秒の立ち上がり（このとき 59 秒は 2 進の 0 とする）に対応する。また、負のうるう秒時（削除）では、58 秒の立ち上がりに対応する。

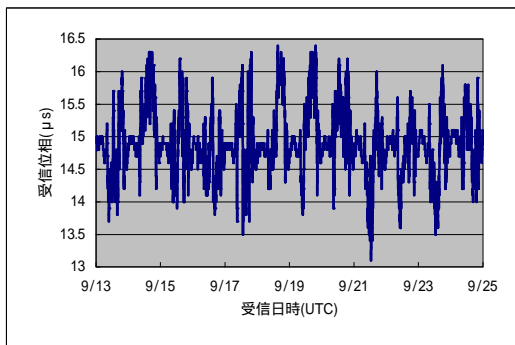
標準電波は周波数標準源としても利用されるため、パルス信号レベルは 100% と 10% に切り替わるようにし、常に 40kHz のキャリアが継続するようになっている。



第 5 図 タイムコード

4. 供給精度

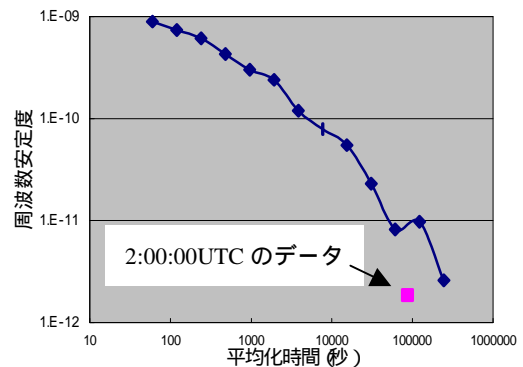
CRL では小金井で標準電波の信号を受信し、その受信時刻の変動を日本標準時を基準に測定し結果をホームページに掲載している (<http://jij.crl.go.jp/Pub/public.html>)。第 6 図に 2001 年 9 月 13 日 ~ 25 日の受信結果を示す



第 6 図 標準電波受信時刻変動

が、受信時刻の変動は明瞭な日周変動が見られるが、変動幅は $\pm 1.5 \mu$ 秒以内に収まっている。特に、昼間は比較的安定しており、受信時刻の変動は $\pm 0.3 \mu$ 秒以内である。これは夜間は長波といえども電離層反射波の影響を受けるためである。

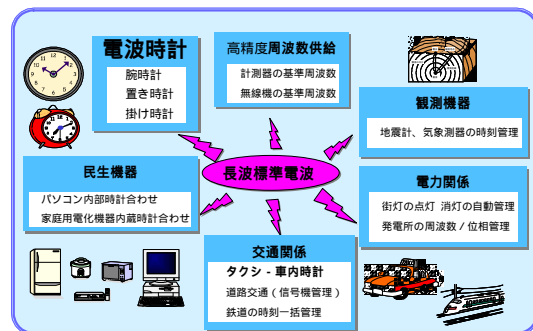
第 7 図は第 6 図のデータから計算した受信周波数の安定度である。平均化時間 1 日でほぼ 1×10^{-11} の周波数安定度が得られているが、昼間の安定した時間帯のデータを使用することでさらに優れた周波数安定度が得られる。図の例は 2:00:00UTC (日本時間 11:00:00) のデータから得られる周波数安定度 (平均化時間 1 日) で、 2×10^{-12} に達している。



第 7 図 標準電波受信周波数安定度

5. 標準電波の利用分野

標準電波は、既に電波時計や精密周波数基準源として利用されているが、この他にタクシメータ用の時計、各種観測機器の時刻管理、



第 8 図 標準電波の利用分野

道路標識の点滅同期制御等にも使用されている。第8図に示すように、今後標準電波は、家電製品内蔵時計をはじめ多様な分野で利用されることが期待される。第2表は時計が内蔵される可能性のある家電製品の2000年度の国内出荷台数^{(3)~(6)}であり、年間数百万台の製品が多数有り、今後の利用拡大が期待できる。

第2表 2000年電気製品国内出荷台数
(千台)

品名	台数	品名	台数
カラーTV	9,873	スルカメラ	3,580
VTR	6,412	扇風機	1,745
ビデオ一体カメラ	1,451	ルームエアコン	6,367
ラジオ受信機	2,690	電気釜	5,277
ラジオCD付き	3,786	ジャーホット	4,969
ヘッドホンステレオ	2,176	電子レンジ	2,868
CDプレーヤ	2,351	電気洗濯機	4,179
MD	3,136	携帯電話	55,303
ステレオセット	3,033	有線電話機	13,043
カーステレオ本体	3,172	PHS 端末	4,918
カーCDプレーヤ	6,131	FAX	3,255
カーラジオ	1,011	パソコン	12,102
デジタルスルカメラ	2,949	総計	165,779

6. まとめ

CRLは日本の時間・周波数の国家標準機関として、標準電波により標準周波数と日本標準時を社会に供給しており、平成13年10月1日には、はがね山標準電波送信所が新たに運用を開始した。

標準電波は、急速に普及が進んでいる電波時計をはじめ、多様な利用が期待され、CRLの責任が重くなってきているが、今回はがね山標準電波送信所とおおたかどや山標準電波送信所の二局体制になり、高い信頼性で運用が可能になるとともに、西日本地域の受信強度も大幅に改善され、日本全国をカバーできるようになった。

本論文では、標準電波送信所の概要について紹介するとともに、標準電波による日本標準時や標準周波数の供給精度について考察した。

最後に、はがね山標準電波送信所の整備にあ

たり、地元自治体、関係省庁他、多数の方々から頂いたご協力に深謝する。

参考文献

- (1) デ・ヴァ・ソベル:「経度への挑戦」、翔泳社、1997
- (2) BIPM; Annual Report of the BIPM Time Section, vol12, 1999
- (3) 電子情報技術産業協会ホームページ, http://www.jeita.or.jp/japanese/stat/shipment/2000/ship_12.htm
- (4) 日本写真機工業会ホームページ; http://www.photo-jcia.gr.jp/data/pdf/d_200012.pdf
- (5) 日本電気工業会ホームページ, <http://www.jema-net.or.jp/japanese/data/suii90-00.htm>
- (6) 通信機械工業会ホームページ, <http://www.ciaj.or.jp/ciaj/ci000001.html>