

5-3 長波標準電波

5-3 JJY, The National Standard on Time and Frequency in Japan

栗原則幸
KURIHARA Noriyuki

要旨

通信総合研究所(CRL)は、周波数国家標準及び日本標準時を定め、それらを長波標準電波に重畳して全国に供給している。この電波は、急速な普及を遂げている電波時計の基準信号としても利用され、日本の市民生活を支える社会基盤の一つとして認知されつつある。複数運用体制を確立した長波標準電波送信施設紹介、そして正確な日本標準時と周波数標準と供給する長波標準電波の今後の利用展開等について解説する。

The Communications Research Laboratory (CRL) determines the national standard time and frequency in Japan, which is disseminated throughout Japan by the LF standard-time and frequency-signal emission, JJY. JJY is utilized as reference signal of radio controlled watches and clocks which have now come into wide use rapidly, and is being recognized as a social infrastructure which supports the people's living in Japan. In this paper, the followings are introduced: JJY facilities with dual operation system, and future utilization and development of JJY.

[キーワード]

周波数標準, 日本標準時, 標準電波, 電波時計

Frequency standard, Japan standard time, Standard-time and frequency-signal emission, Radio controlled clock

1 はじめに

通信総合研究所(CRL)は、我が国の周波数国家標準に責任を持つ唯一の機関として周波数標準及び日本標準時を定め、それらを長波標準電波として全国に供給している。この電波は、急速な普及を遂げている「電波時計」の基準信号としても利用され、最近では日本の市民生活を支える社会基盤の一つとして認知されつつある。長波標準電波の本格運用開始は平成11年6月で、CRLが福島県の大鷹鳥谷山山頂に新設した「おおたかどや山標準電波送信所」が日本初の本格的な送信所である。平成13年10月には、「はがね山標準電波送信所(九州長波局)」での運用も開始し、我が国の標準電波送信所複数局運用体制が確立した。高精度な日本標準時と周波数標準を供給する標準電波は、電波時計のみならず、

家電製品やタイムビジネス、そして高速通信網の高精度同期等への応用も期待され、一部はそうした企業活動も展開されている。本稿では、こうした長波標準電波の背景、完成した送信所施設、送信所運用状況、標準電波供給精度及び今後の利用等について概説する。

2 時間・周波数標準の概要

時間及び周波数は科学技術分野のみならず、現代社会を支える上で重要な役割を果たしているため、その利用を考えた場合、統一がとれている必要がある。このため、科学技術の発達した多くの先進国では、国が高精度の時間・周波数標準を定め、運用しているのが一般的である。我が国でも、CRLが、総務省設置法及び独立行政法人通信総合研究所法に基づき、標準周波数

と標準時を設定・維持・供給している。こうした時間及び周波数に関するサービスは、国内の計測機器及び通信機器メーカー等の社内標準の校正や、一般市民生活のリズムの基本となっている各放送局の時報、そしてNTT117の報時サービスの基準として広く利用されている。

時間・周波数の標準業務は、次の3要素で表すことができる。

- ①標準時、標準周波数の発生と維持
- ②標準時、標準周波数の国際比較
- ③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た標準時及び標準周波数を発生し、それを安定に維持することが要求される。CRLでは、約12台の実用セシウム原子周波数標準器を用いて、日本標準時及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となる。そこで、国際度量衡局(BIPM:Bureau International des Poids et Mesures)^[1]をはじめ、各国の標準機関が協力し、GPSや静止通信衛星(TWSTFT:Two Way Satellite Time and Frequency Transfer)等を利用して、高精度に標準時を比較し、協定世界時(UTC:Coordinated Universal Time)や国際原子時(TAI:International Atomic Time)を決定している。CRLは、BIPMから国際精密時刻比較網のアジア太平洋地域のノード局として指定され、重要な役割を担っている^[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、必要な精度を持った供給手段を提供することが要求される。CRLでは、以下で詳述する長波標準電波を中心に、電話回線等も利用した様々な方法を用いて、日本標準時と標準周波数と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として昭和15年1月30日に運用が開始された。その後、昭和23年8月からは、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広く定着している。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。しかし、短波帯は電離層の状態に強く依存し、受信状態の不安定さ、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を設置し、利用者アンケート等を行うなど、短波標準電波を中心とした従来の供給体制が総合的に再検討され、高精度で、かつ、時刻符号供給可能な長波標準電波の実用化等が提案され、標準電波の方向性が示された。

その後、具体化に向けた様々な努力がなされ、平成9年度から「おおたかどや山標準電波送信所(福島県)」整備工事を開始^[3]し、平成11年6月10日「時の記念日」から長波標準電波の本格運用を開始した。お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拡大し始めた。こうした背景の中、長波標準電波の社会的役割が従来以上に増してきたことから、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に、平成11年度から佐賀・福岡両県 境界にある羽金山(はがねやま)に2局目の標準電波送信所整備を開始し、2年後の平成13年10月1日から本格運用を開始した。図1におおたかどや山標準電波送信所の全景、図2にはがね山標準電波送信所の地上高200m送信アンテナをそれぞれ示す。



図1 おおたかどや山標準電波送信所の全景

3.2 2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



図2 地上高200mの送信アンテナ（はがね山標準電波送信所）

テムの重要部分に2重、3重の冗長性を持たせ、また自家発電装置を備えるなど、高い運用信頼性確保を目標としたが、定期保守点検や自然災害等により、一定の運用停止時間は避けられず、平成13年度の年間停波時間は約81時間に達していた。しかし、平成13年10月以降の「はがね山標準電波送信所」運用開始により、2局体制が確立され、相互バックアップ運用が可能になり、2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。平成14年度におけるそれぞれの送信所の運用時間率及び停波原因を図3に示す。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図4に示す。この図で示されるように、おたかどや山標準電波送信所とはがね山標準電波送信所の両送信所によって、北海道から沖縄を含む全国がカバーされ、50～60dB μ V/m以上の受信電界強度が得られるようになった。

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などが必須となる。長波標準電波送信所は、シス

3.3 標準電波送信所の諸元と構成

表1に長波標準電波送信所の諸元を示す。両送信所の送信周波数は、40kHzと60kHzと異なっ

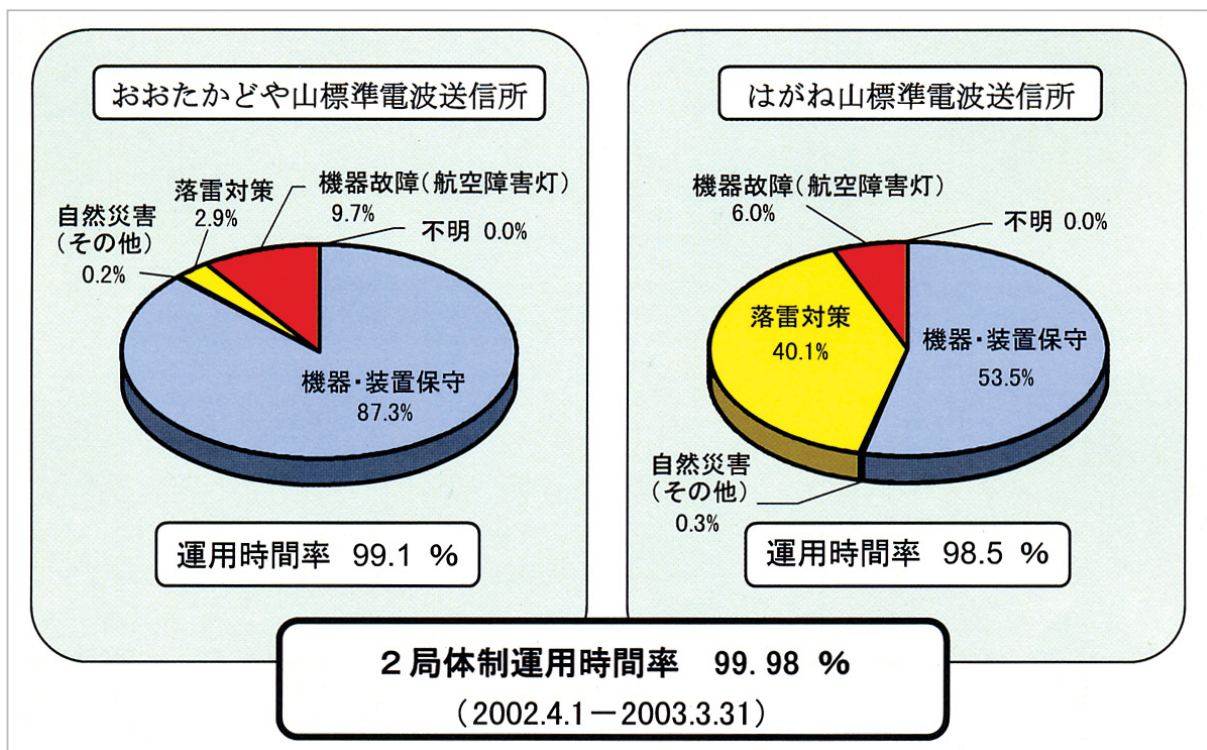


図3 両送信所の運用時間率と停波原因

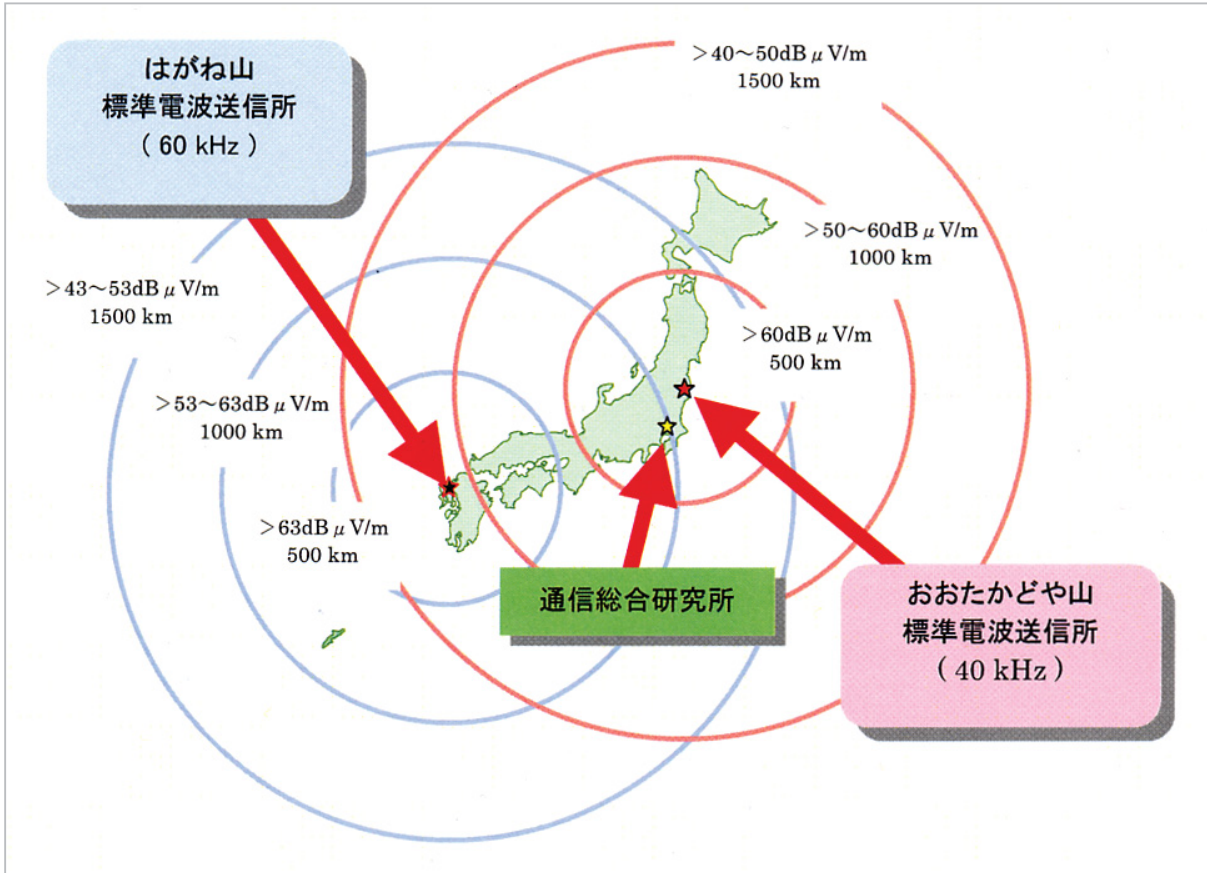


図4 長波標準電波送信所と電界強度計算値

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ことを避けるためである。アンテナ効率が25%と45%と大きく異なっているが、それぞれの送信所の土質・水脈等の違いにより接地効率が異なるためと考えられる。図5は、長波標準電波送信所のシステム構成図である。原器室のセシウム原子時計の信号は、GPS/GLONASSを仲介とするコンピュータ方式^[4]で定期的にCRL本所(東京都小金井市)の日本標準時と数ナノ秒以下の精度でタイミングと周波数とが一致するように周波数調整装置(AOG: Auxiliary Output Generator)で調整している。標準電波として発射されるキャリア周波数や時刻符号(タイムコード)は、先の周波数調整装置から出力される5MHz及び1PPS信号を基に送信信号発生装置で作成し、50kW送信装置に送られ、整合器経由で空中線から発射される。システムは、信頼性を確保するために、整合器以降を除きすべて2系統(原子時計は3系統)の冗長系を持たせている。さらに、それぞれの送信所には、275kVA自家発電装置と4000リ

ットル地下燃料タンクを備え、商用電源停電時には電源系が自動的に切り替わる機能を持たせ、約1週間の自立送信所運用も可能である。

表1 長波標準電波送信所の諸元

	おたかどや山送信所	はがね山送信所
運用開始日	平成11年6月10日	平成13年10月1日
所在地	福島県	佐賀県/福岡県
緯度・経度	北緯 37度22分 東経 140度51分	北緯 33度28分 東経 130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	同左
アンテナ高さ	250m	200m
空中線電力	50kW	50kW
アンテナ効率	約25%以上	約45%以上
搬送波周波数	40kHz	60kHz
電波型式	A1B	A1B
周波数確度	$\pm 1 \times 10^{-12}$	$\pm 1 \times 10^{-12}$

3.4 タイムコード(時刻符号)

図6に長波標準電波に重畳されるタイムコードを示す。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、

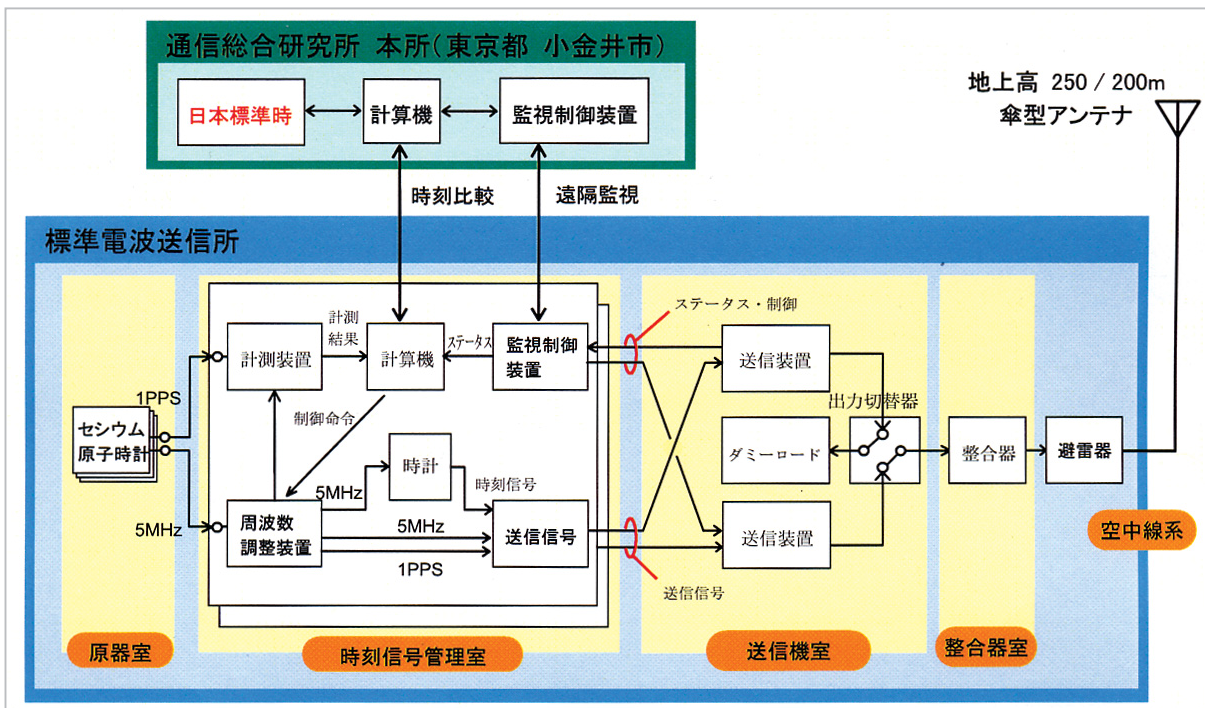


図5 長波標準電波送信所システム構成図

停波予告情報等を1分周期で送信している。図6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(60kHz)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秒は2進の1に対応している。そのほかに、正分の位置を示す基準マーカ及びポジ

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PO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

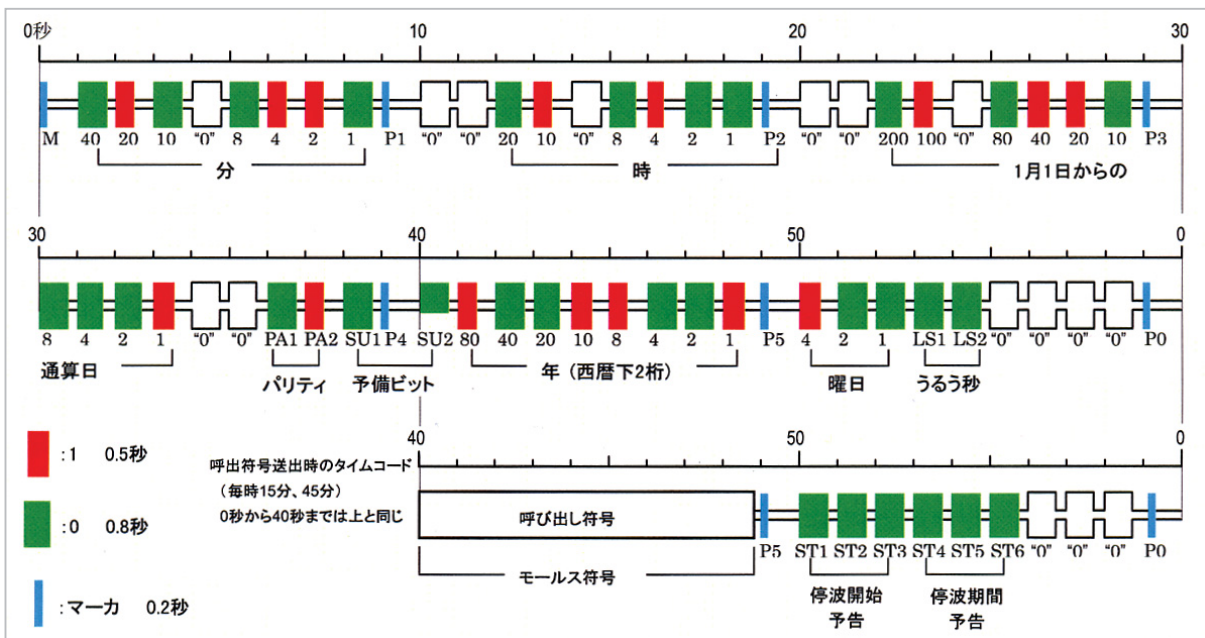


図6 長波標準電波タイムコード

タイムコードは60秒間かけて基準マーカMの位置の時刻を知らせる。上の図では、例として1999年6月10日(通算161日目)木曜日の14時26分を表している。

秒の立ち上がりに対応している。

標準電波は周波数標準源としても利用されるため、パルス信号の振幅レベルは100%と10%に切り替わるようにし、常に40kHz(あるいは60kHz)のキャリアが継続するように工夫している。

4 供給精度

CRLでは小金井本所で、長波送信所から発射される標準電波信号を受信し、その受信時刻変動測定結果をホームページに掲載・公表している (<http://jy.crl.go.jp/Pub/public.html>)。図7に2002年5月10日～24日の受信結果を示す。受信時刻の変動には、明瞭な日周変動が見てとれる。しかし、その変動幅は、ほぼ±1.5μ秒以内に収まっている。特に、昼間は比較的安定しており、この受信時間帯の変動幅は、±0.3μ秒以内である。この測定結果から、長波といえども、夜間には電離層反射波の影響を受けることが解釈できる。図8は、図7のデータから計算した受信周波数の安定度を示す。平均化時間1日での周波数安定度は、約 1×10^{-11} と計算されるが、昼間の安定した時間帯では 1×10^{-12} という更に1桁優れた周波数安定度が得られることが明らかとなった。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)を示している。

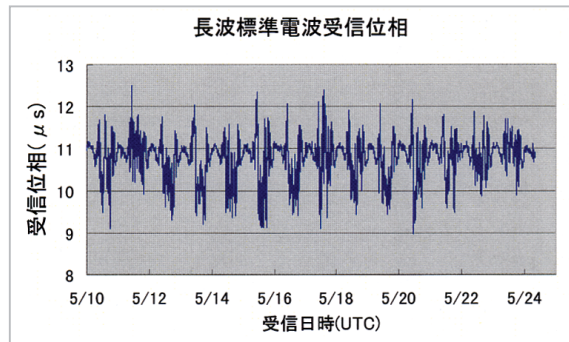


図7 長波標準電波受信時刻変動(40kHz)

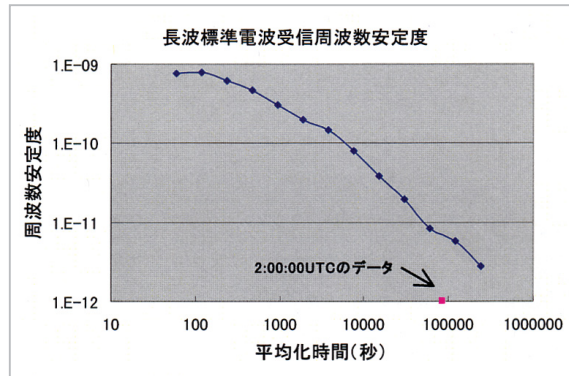


図8 長波標準電波受信周波数安定度

5 標準電波の利用

平成13年1月末、長波標準電波を利用した電波時計国内販売台数は約200万台であった。その後、時刻を自動修正する新機能等が話題となり、併せて販売価格の低廉化傾向が電波時計普及を

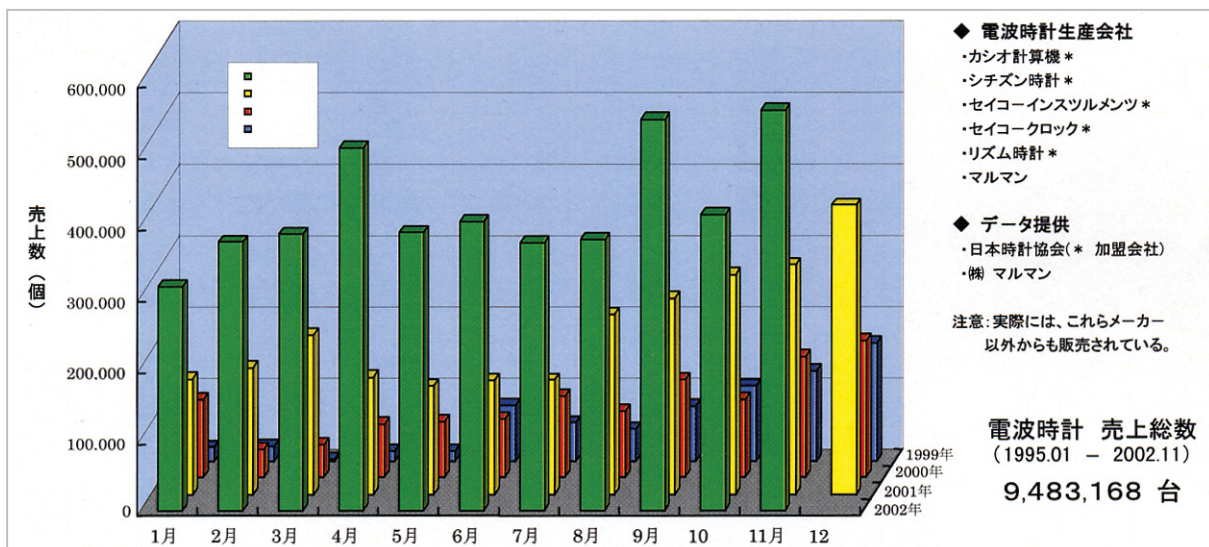


図9 長波標準電波を利用した電波時計売上数の推移

今も加速させている。平成14年12月には国内販売台数1000万台を突破し、従前にはなかった数百億円規模の新しい電波時計市場が創出された。長波標準電波を利用した電波時計国内売上数の推移を図9に示す。このほかに、タクシー料金計・タイムレコーダー・パソコン等の内部時計管理、地震・気象観測機器の時刻管理、道路標識の点滅同期制御、一部JR駅ホームの掲示時計等にも長波標準電波は利用されている。

一方、精密周波数基準源としての利用も進み、複数の大手受信機メーカーから長波標準電波利用高安定基準発振器や、長波時刻同期受信機が市販されている。

さらに、今後は家電製品内蔵時計への応用をはじめ、国家時刻標準機関(CRL)とのトレーサビリティを確保する手段としての長波標準電波利用も検討されている。

参考文献

- 1 BIPM ホームページ、<http://www1.bipm.org/en/bipm/>
- 2 BIPM, "Annual Report of the BIPM Time Section", Vol. 15, 2002.
- 3 今江, 五十嵐, 三木, 細川, 花土, 今村, 大塚, "5.3 長波標準電波局新設計画", 通信総合研究所季報, Vol. 45, Nos.1/2, pp.73-82, Mar/Jun, 1999.
- 4 D. W. Allan and C. Thomas, "Technical Directive for Standardization of GPS Time Receiver Software (International Reports)", Metrologia, 31, pp.69-79, 1994.



くりはらのりゆき
栗原則幸

電磁波計測部門日本標準時グループリーダー
周波数標準、空間計測