

5.3 長波標準電波局新設計画

今江 理人*¹ 五十嵐 通保*² 三木 千紘*² 細川 瑞彦*²
花土 ゆう子*¹ 今村 國康*² 大塚 敦*²

5.3 CONSTRUCTION OF NEW LF STANDARD TIME AND FREQUENCY STATIONS

By

Michito IMAE, Michiyasu IGARASHI, Chihiro MIKI, Mizuhiko HOSOKAWA,
Yuko HANADO, Kuniyasu IMAMURA, and Atsushi OTSUKA

Communications Research Laboratory (CRL) is in charge of not only national frequency standards but also the standard frequency and time signal emission in Japan. CRL has started to improve the service of standards time and frequency emission by shifting its main frequency band from the high frequency band (HF) to the low frequency band (LF). The construction of new LF transmission stations is to realize this purpose.

These new stations will have more than 10 times of transmission power compared with present experimental transmission station in Ibaraki prefecture. The first new LF station has started transmitting the signal from June 1999, and second one will be completed its construction by 2001. These stations are expected to provide the precise time and frequency signals all over Japan. This paper shows the history of standards frequency and time signal emission in Japan and the concept of CRL's standard frequency and time signal emission.

[キーワード] 長波, 標準電波, 周波数標準, 標準時
Long wave, Standard time and frequency emission, Frequency standard, Standard time

1. は じ め に

通信総合研究所は、我が国の周波数標準、標準時に責任を持つ研究機関として、一次周波数標準器の開発、日本標準時の発生、諸外国との精密時刻比較を行い、標準電波をはじめとする各種メディアを通じて標準周波数、並びに、標準時の通報を実施している。

このうち標準電波は最も長い歴史を持つもので、短波帯の標準電波（呼び出し符号 JJY）は昭和 15 年に送信を開始して以来約 60 年を経過している。その送信目的

は、当初は電波監理上の標準周波数の伝送であり、その後、標準時の通報等が追加され、現在に至っている。

また、送信の基準となる原器（周波数標準器）も水晶発振器からセシウム原子周波数標準器へ、報時信号も天文時に基づくものから原子時へと変遷している。

本稿では、標準電波の歴史を概説し、短波帯から長波帯への移行の経緯や長波標準電波施設の概要などに関して述べる。

2. 周波数標準・標準時の供給法

当所の周波数標準・標準時供給法は、
(1) 無線（電波）によるもの
(2) 有線によるもの

*1 標準計測部 時空計測研究室
*2 標準計測部 周波数標準課

に大別され、前者の無線による供給方法の主力が標準電波である。

従来の短波帯標準電波や長波標準電波実験局に関しては、文献（1-3）を参照されたい。

当所では、従来供給の主力であった短波帯標準電波の今後の方針を中心として、平成 5 年に今後の標準標準のあり方に関して議論を行い、

- ①時代のニーズにあった標準供給法の開発
- ②短波帯標準電波の段階的縮小と将来的廃止
- ③長波標準電波の確立

を基本方針としてまとめている。

- ①に関しては、
 - ・電話回線による標準時の供給サービス（テレホン JJY）の一般利用者への公開を平成 7 年 8 月より開始
 - ・計算機ネットワークへの日本標準時供給のための NTP（Network Time Protocol）の開発。

等により、新たなサービス形態を追求している。ちなみにテレホン JJY は、現在月間利用総数 3 ～ 4 万件のアクセス数に達している。

一方、②に関しては、平成8年度末に従来 5 波（2.5, 5, 8, 10, 15MHz）で送信していたものを 2.5MHz と 15MHz の 2 波を廃止し、現在 3 波送信体制へ移行し、平成 12 年度末でこの 3 波についても終了する予定である。

③の長波標準電波の確立に関しては、各種制約があり、従来の実験局（JG2AS）の送信電力を増強することや本格化実用局への移行が困難な状況であった。しかしながら平成 9 年度より 2 カ年計画で長波標準電波送信施設整備が開始され、さらに平成 11 年度より 2 局目の整備が開始されており、標準電波の短波帯から長波帯への移行が実現しつつある。

3. 標準電波の経緯と現状

3.1 標準電波送信の経緯

2 節で記したとおり、標準電波の送信は昭和 15 年（1940 年）に開始されているが、それ以降の主な変遷を第 1 表に示す。

特に、本報告で紹介している長波帯標準電波は、1988 年にタイムコードを重畳して以来、時刻標準としての有用性が期待されていた。しかしながら、送信電力が不十分なこと、“実験局”という位置づけのため将来に渡る運用の保証が出来なかったことなどの課題があった。

3.2 世界の現状

現在、標準周波数／報時目的の標準電波としては、短波帯で 20 局弱が、また、長波帯では 10 数局が送信を行っている。短波帯は、混信の点や受信時の精度の不十分さ（電離層伝搬のため）などの理由により、送信局が減少する傾向があり、一方、長波帯標準電波は、周波数供給

第 1 表 当所の標準電波の経緯

年代	事 項
1940	検見川送信所より JJY(4,7,9,13MHz)送信開始
1944	送信周波数を 4, 8, 12, 16MHz に変更
1948	JJY に分秒信号を重畳
1949	送信局を小金井（緑町）に移転
1951	2.5, 5, 10MHz で試験送信開始
1959	2.5, 5, 8, 19, 15MHz 送信に移行
1959	長波実験局（16.2kHz）送信開始
1961	長波実験局を 20kHz, 3 kW に変更
1966	長波実験局（JG2AS 40kHz）検見川送信所より送信開始：ルビジウム標準器が原振
1970	JG2AS の原振にセシウム標準器使用開始
1971	JJY の原振としてルビジウム標準器使用開始
1975	JJY の原振としてセシウム標準器使用開始
1977	短波・長波送信施設を名崎送信所へ移転
1988	長波標準電波にタイムコードの重畳開始
1996	JJY の 5 波送信体制から 3 波送信体制へ移行

精度が高いこと、タイムコードの重畳により、“電波時計”としての有用性が高いことなどから標準電波の

①短波帯から長波帯への移行

②長波局の拡充

が世界的な流れとなりつつある。第 1 図は全世界の短波帯標準電波局の配置を、また、第 2 図に長波帯標準電波局の配置を示す。

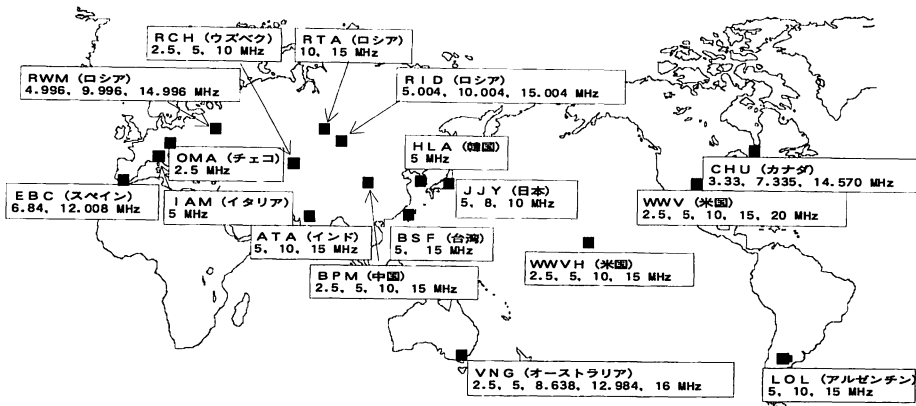
これらの図から判るように、欧州では、混信のため短波帯での送信はすでにほとんど廃止されており、ドイツ（DCF-77）と英国（MSF）でヨーロッパ全土をカバーしていることが判る。また、米国では NIST が短波（WWV, WWVH）並びに長波（WWVB）を送信しているが、WWVB の出力増強を行い、各 50kW 送信機で駆動される 2 基の送信アンテナを同時並列運用し、トータル送信電力 100kW 化を最近実現しつつある。

日本付近では、短波帯では中国（BPM）、台湾、韓国、並びにハワイ（WWVH）が存在し、特に西日本では、JJY が受かりにくく、他国の標準電波が強力であるため、混信により JJY の識別が困難な状況にある。さらに、中国（CSAO）、並びに、台湾（TL）も長波標準電波施設の新設計画を打ち出している。

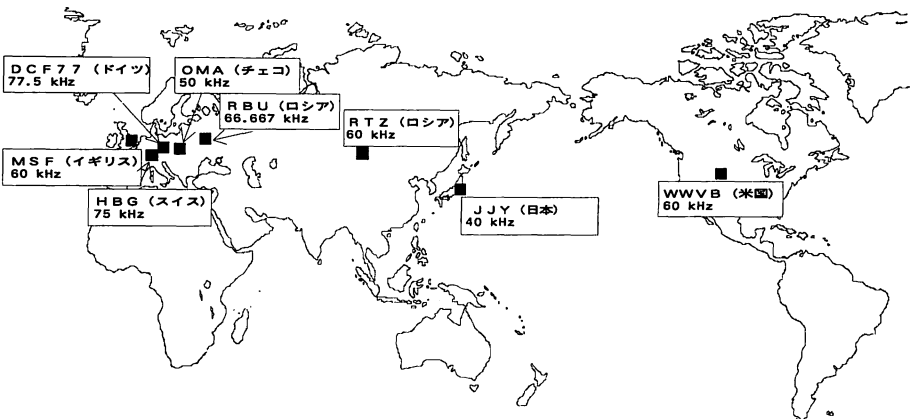
4. 長波標準電波局の整備

4.1 施設の規模と概要

平成 9 年度より、建設を開始し、平成 11 年 6 月より



第1図 世界の短波帯標準電波送信所の分布 (1999年1月現在)



第2図 世界の長波帯標準電波送信所の分布 (1999年1月現在)

運用を開始した福島県大鷹鳥谷山山頂のおおかどや山標準電波送信所施設と従来の実験局であった茨城県の名崎送信所長波標準電波送信施設の対比を第2表に示す。

- 同表に示したように、新設局は、
- ①従来と同一送信周波数 40kHz
——>従来機器が使用可能
 - ②送信電力を10倍以上にパワーアップ
——>受信電力の増強・カバーエリアの拡大
 - ③正式な“周波数標準局”としての位置づけ
——>将来的運用の危惧を一掃
- を実現している。

第3図は、新設局の航空写真を示すもので、福島県南部の川内村と都路村の境界付近の大鷹鳥谷山（おおかどややま）の山頂付近の82,000㎡の敷地（直径約300mの円形）に主鉄塔高約250mを有する傘型アンテナ、並びに送信局舎の外観である。アンテナ効率、40kHzという低周波であるため、25%程度であるが、送信機出力を50kWに増強し、実効放射電力12-15kWを実現している。

さらにタイムコードを従来の互換性を保ちつつ年や曜日に関する情報を追加しより実用性の高いものを採用した。第4図にその例を示す。すなわち、0.2秒、0.5秒、0.8秒

第2表 新旧長波標準電波施設諸元の対比

	新設長波局(おおかどや山標準電波送信所)	名崎送信所長波標準電波実験局
コ ー ル サ イ ン	JJY	JG2AS
位 置	福島県大鷹鳥谷山山頂	茨城県猿島郡三和町
	緯度 北緯 37° 22′	緯度 北緯 36° 11′
	経度 東経 140° 51′	経度 東経 139° 51′
	標高 790m	
空中線形式	250m主鉄塔傘型アンテナ	逆L字型アンテナ
送信機出力	50kW	10kW
輻射電力	12~15kW	1 kW
搬送波 周波数	40kHz	40kHz
運用時間	連続(除保守、緊急作業時)	連続(ただし海岸局の運用時以外)
変調方法	1秒毎に10%-100%の振幅変調	1秒毎にタイムコードによる断続波による変調
タイムコードの内容	年, 通算日, 時, 分, 曜日, うるう秒, パリティ, 停波情報など	通算日, 時, 分, DUT 1

の3種類のパルス幅を用い、おのおのパルスの立ち上がり
が正秒の立ち上がりに対応し、パルス幅0.5秒と0.8
秒の2種類で2進の1と0を表している。

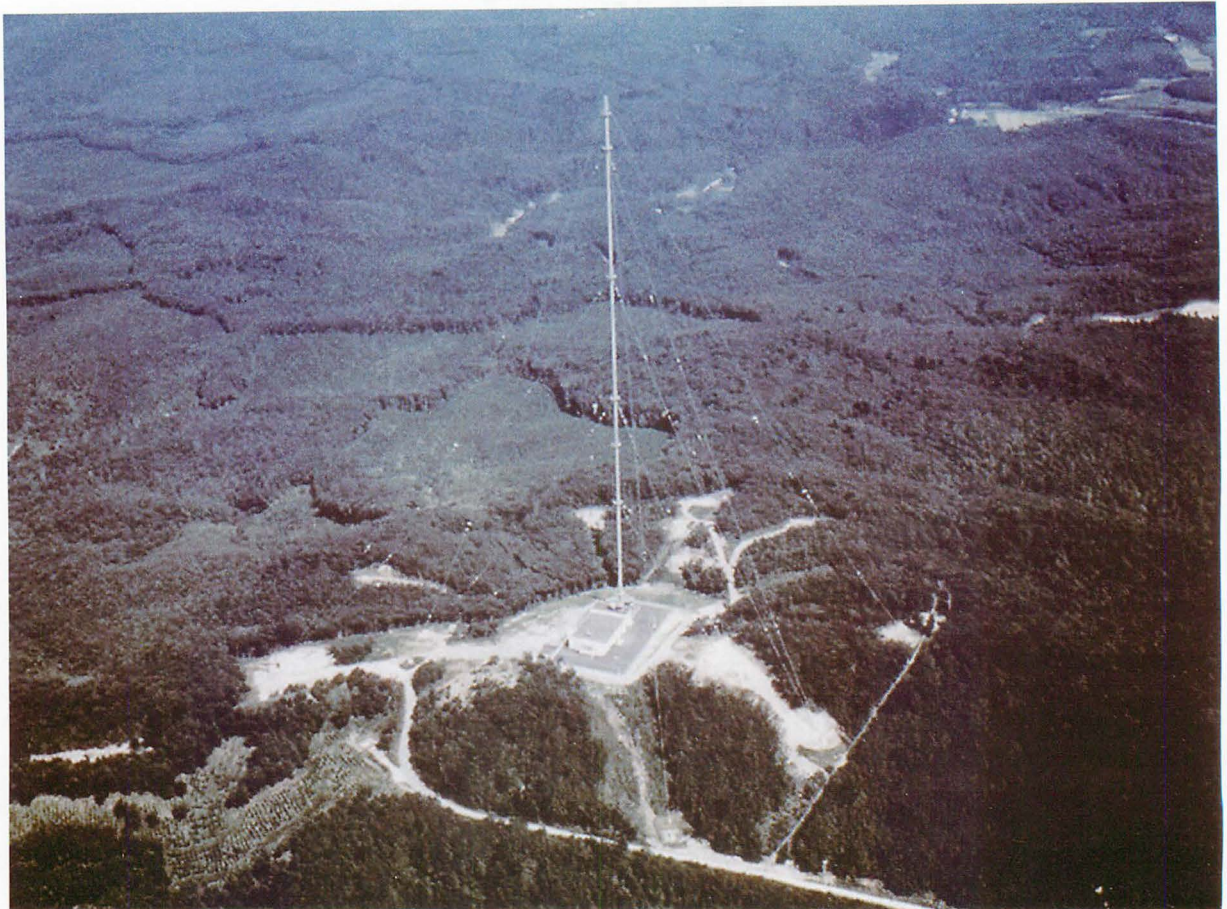
4.2 送信施設概要

第5図に「おおたかどや山標準電波送信所」の構成を示
す。送信所は、標準電波専用の送信所であると共に、将

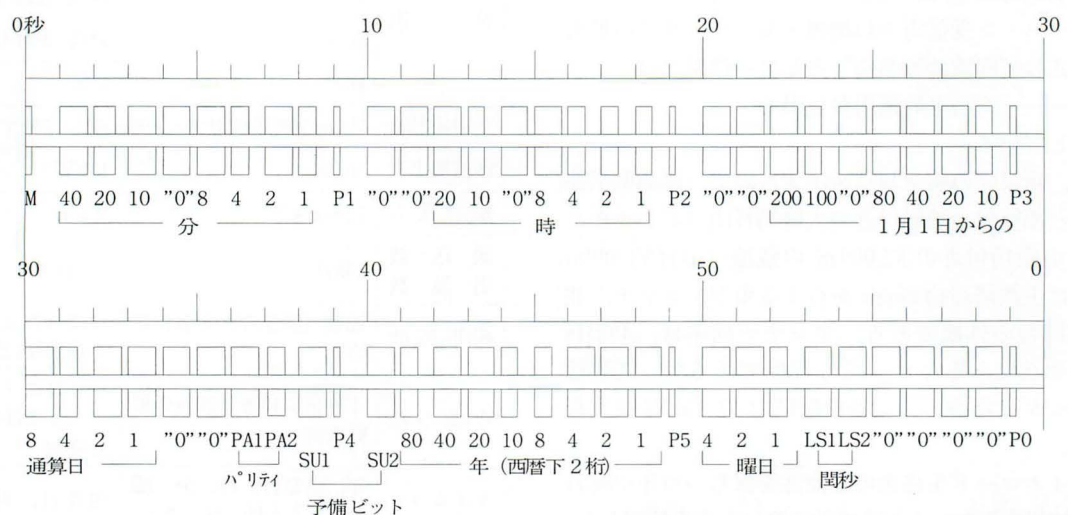
来的には、日本標準時発生施設のバックアップ系を兼ね
ることを想定して施設整備を行った。以下では、送信所
施設の主要設備の概要について紹介する。

(1) 送信局舎

第6図は送信局舎外観を示し、送信機をはじめとする
全ての機器を設置するための局舎で約600㎡の面積を有



第3図 おおたかどや山標準電波送信所全景



第4図 新タイムコード例

しており、

- ・原器室を含む時刻信号管理室
- ・送信機室
- ・整合器室
- ・受変電室
- ・予備電源室
- ・事務室

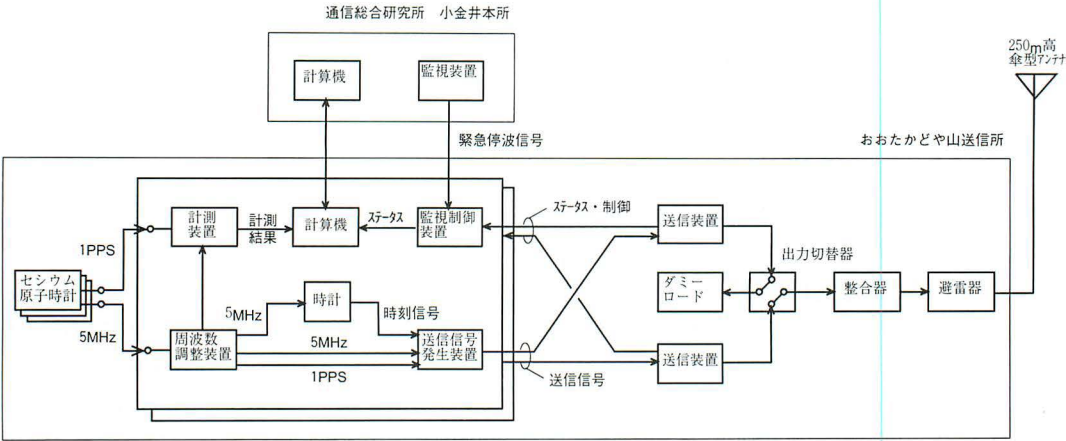
などが配置されている。 同局舎は、送信アンテナ直

下に位置し、強電界中にあるため、屋内の機器の誤動作や運用者の安全管理上、十分な電磁シールドを施して整備されている。

特に送信信号の維持・管理上重要な時刻信号管理室は、シールド効果を高めると同時に同室への信号は基本的に光伝送化を施し、同軸ケーブルでの伝送を避けている。

(2) 送信用原器

送信用原器（原子時計）は、当面 3 台設置し、このう



第 5 図 おたかどや山標準電波送信所構成



第 6 図 送信局舎全景

ち2台が以下の計測システム、送信信号発生部、送信機と共に完全に2重化され、1系統のいずれかの部分に不具合が生じた場合、即時に他系に切り替わり、送信の信頼性を高めると共に送信中断時間を極力短時間で済むように設計されている。

原子時計は、前記の通り3台設置しており、計測システムにより原器の時系を監視し、不具合の有無の検出を行う。

将来的には、同送信所に設置する原子時計の台数を最大6台程度に拡充し、当所小金井本所の時系発生システムに災害等で長期間運用停止時におけるバックアップ施設として機能するように位置づけている。

(3) 計測システム

計測システムは、小金井本所の計測システムとほぼ同一の機能と運用を行い、原子時計の相互比較、時刻比較システムのデータ管理、並びにこれらのデータベースに基づき UTC (CRL) にできるだけ近似した時系および基準信号を発生する機能を有している。小金井本所との間には、データ伝送用に専用回線が敷設されており、小金井本所へこれらのデータを伝送すると同時に小金井本所の原子時計相互比較結果、時刻比較結果を収集、蓄積する。主な装置の外観を第7図に示す。

(4) 時刻比較システム

時刻比較システムは、おおたかどや山標準電波送信所と小金井本所の UTC (CRL) との間の時刻比較を実施することが基本的な使命であり、GPS ならびに GLONASS システムを用いた時刻比較用受信機 (第8

図) で構成されている。当該システムは、GPS や GLONASS 衛星を用いた Common-view 方式での時刻比較を行い、前記の計測システムで定期的 (1日2回) にデータ収集が行われ、小金井本所の UTC (CRL) との時刻比較が行われる。

(5) 送信信号発生部

送信信号発生部は、本おおたかどや山標準電波送信所に開発されたもので、計測システムで発生される 5 MHz および 1 pps 基準信号、年月日時分秒の時刻信号により第4図に示すタイムコード、40kHz 搬送波信号を発生し、送信機に供給する。同装置は、変調パルス信号の立ち上がり時間、立ち下がり時間、局内遅延時間等を設定することが可能であり、高精度かつ高安定に送信信号を発生する様に設計されている。

(6) 送信機

送信機は、最大出力 50kW を発生する。第9図に外観を示すが、2系統を有しており、不具合発生時には直ちに系を切り替え、安定運用に備えている。送信機はすべて半導体増幅器で構成され、第10図に最終段送信機ユニットを示すが、48 ユニットで 50kW の電力を発生する。半導体送信機であるため、落雷等で過電圧による損傷が懸念されるが、避雷システムにより対策を施し、過電圧が送信機にかからないように設計されている。

(7) 整合器

送信機とアンテナ系とのインピーダンスマッチングを行う部分で、自動的に同調をとり、気象条件等でアンテナ系の電気特性が変化した際に常に効率よくアンテナ系



第7図 時系等計測システム



第8図 時刻比較用 GPS/GLONASS 衛星受信システム

へ電力が給電される。

(8) アンテナ系

第11図に250mアンテナ主鉄塔の外観を示す。同鉄塔は、直径1.5m、長さ6mの円管柱を42本つなぎ、4段の支線で固定され、250mの鉄塔を構成している。敷地は、ほぼ直径300mの円形敷地で、敷地内に主鉄塔を中心として、放射状にラジアルアースが張られている。

(9) 送信機監視制御装置

送信機監視制御装置（図12）は、時刻信号管理室に設置されており、送信機の状態監視や制御を時刻信号管理室において行うことができる。同装置は、専用回線で小金井本所の監視装置と結合されており、本所において常時送信所の状態監視が行うことができる。当該装置では、本所からは、送信所の制御を行うことはできないが、不測の事態で異常な信号を送信した場合、本所より緊急停止を行う機能を有している。

5. 長波標準電波の応用分野

標準電波の利用は、周波数標準としてのみならずさまざまな分野での応用が考えられており、また、より広範囲の応用が考えられ始めている。

第13図は、その利用分野を図示したものである。

5.1 周波数標準

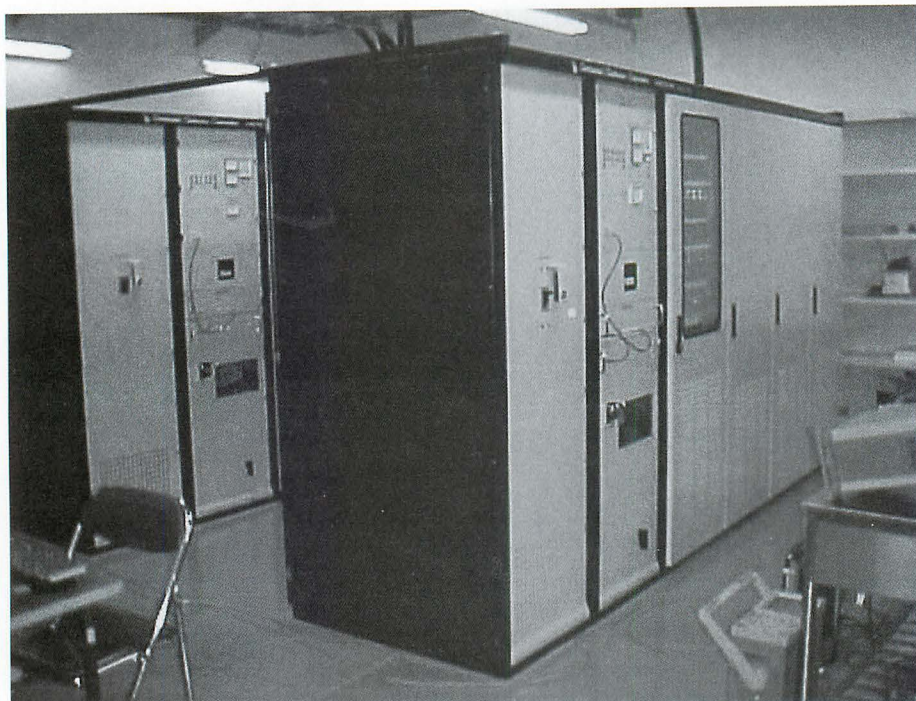
当該施設整備の第1義的な意義としては、周波数標準の高精度供給が挙げられる。

長波標準電波は、地表波の範囲（40kHzの場合、送信局から1,000km程度以内）では $10^{-11} \sim 10^{-12}$ （1日平均）の受信精度が可能であり、短波帯に比し4～5桁の精度向上が可能である。

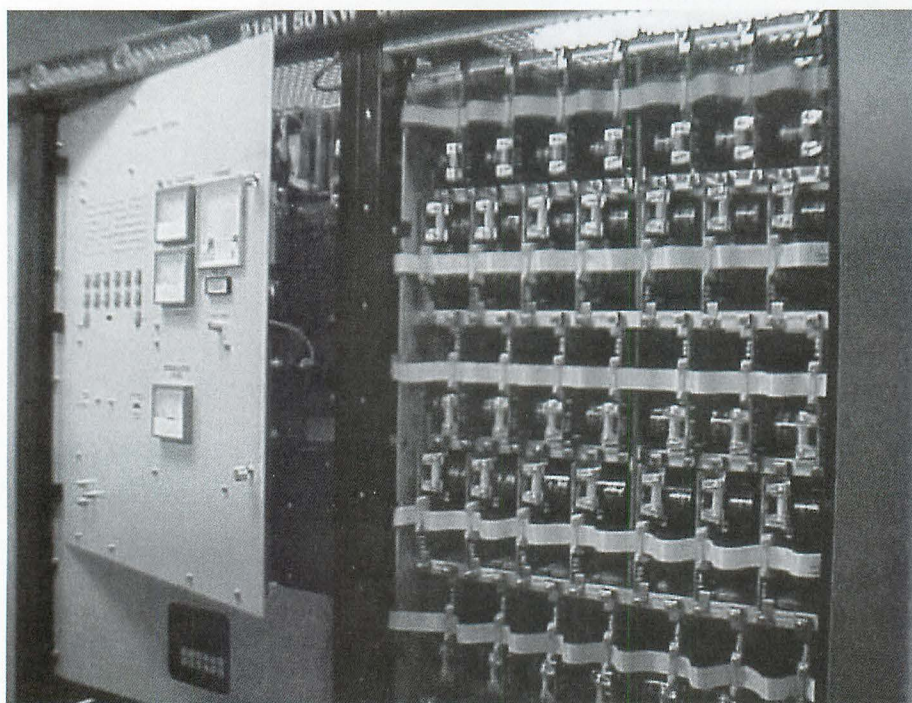
しかも、今回の施設整備では、従来のJG2ASに比し10倍以上の送信電力増強を行うことにより、安定に受信できる範囲を飛躍的に拡大できると考えられる。

5.2 標準時の通報として

昭和63年以降、JG2ASに重畳して送信しているタ



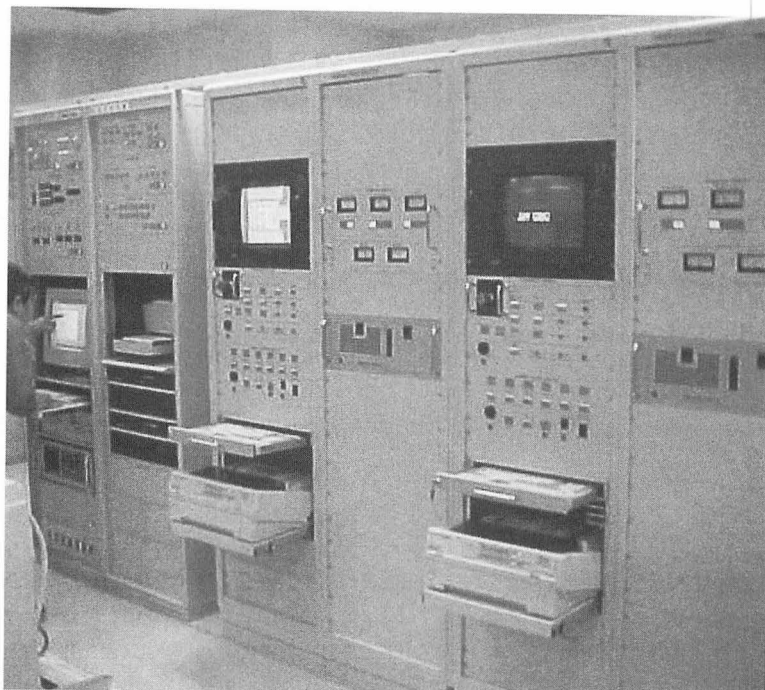
第9図 50kW 送信機外観



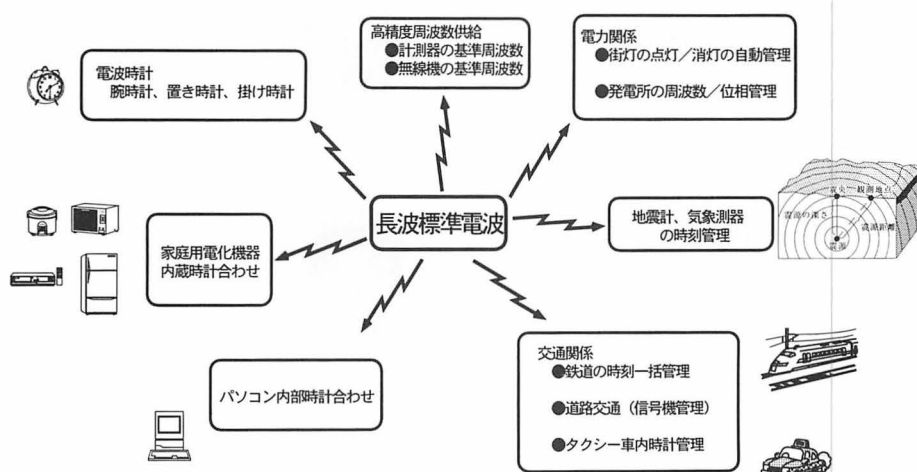
第10図 50kW 送信機ユニット



第11図 送信アンテナ外観



第 12 図 送信機監視制御装置



第 13 図 長波標準電波の利用分野

イムコードを利用した“電波時計”が、“実験局”という現状の位置づけ、また、送信電力が十分では無いという中でも、相当普及している。

新設局において、送信電力を増強することのみならず、“周波数標準局”として位置づけを明確にすることが出来る見通しが得られており、新たな市場が形成されることが期待される。

実際、国内外の時計業界では、新設局の送信開始を目指し、新商品の企画が開始されている状況である。

また、家庭用電化製品内蔵のカレンダークロックの自動校正に利用が出来るようになれば、その数量は膨大なものが想像される。しかしながら、屋内、特に、鉄筋家屋内では受信が困難な場合が多々想定され、安定に屋内

家電製品に信号を伝達する手段の開発が普及の条件である。

その他、パソコンの内蔵カレンダークロックの自動校正用等さまざまな応用が考えられつつある。

5.3 タイミング信号としての応用

すでに、商用化されつつある応用例として、交通標識（カーブ表示器やセンターライン鋸）の夜間点灯の同期信号としての活用が一例として挙げられる。

6. ま と め

本稿では、当所の長波標準電波施設新設計画に関してその背景、施設概要、および応用分野などについて記した。既に運用を開始した福島県おおたかどや山送信所とあわせ、平成 13 年度に九州局が完成し送信を開始する

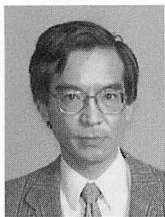
予定であるが、これにより、日本全土により安定な標準周波数および標準時の電波による供給体制が完成する。

利用方法に関しても、様々な分野での応用が考えられつつあり、より有効性の高いものとしていきたいと考える次第である。

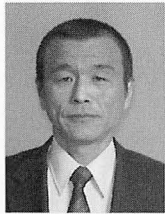
参 考 文 献

- (1) 小林, “標準周波数と時刻の供給”, 電波季, 29, 149. pp.239-240, Feb. 1983.

- (2) 北澤, 本間, 持丸, “2-2 標準電波施設”, 電波季, 29, 149. pp.251-262, Feb. 1983.
 (3) 田中, 菊池, 本間, “3. 短波標準電波 (JJY) による供給”, 電波季, 29, 149. pp.263-278, Feb. 1983.
 (4) 本間, 斎藤, “4. 長波標準電波 (JG2AS) による供給”, 電波季, 29, 149. pp.263-278, Feb. 1983.



今江 理人
Michito IMAE
標準計測部 時空計測研究室
周波数標準
E-mail: imae@crl.go.jp



三木 千紘
Chihiro MIKI
標準計測部 周波数標準課
周波数標準
E-mail: c-miki@crl.go.jp



花土 ゆう子
Yuko HANADO
標準計測部 時空計測研究室
周波数標準
E-mail: yuko@crl.go.jp



大塚 敦
Atsushi OTSUKA
標準計測部 周波数標準課
周波数標準
E-mail: otsuka@crl.go.jp



五十嵐 通保
Michiyasu IGARASHI
標準計測部 周波数標準課
周波数標準
E-mail: iga@crl.go.jp



細川 瑞彦
Mizuhiko HOSOKAWA
標準計測部 周波数標準課
時空計測
E-mail: hosokawa@crl.go.jp



今村 國康
Kuniyasu IMAMURA
標準計測部 周波数標準課
周波数標準
E-mail: kei@crl.go.jp