

3-3 長波帯標準電波送信所の運用

3-3 Operation of Low-Frequency Standard Time and Frequency Transmission Facilities

土屋 茂 松原健祐 今村國康 齊藤春夫 岩間 司 小竹 昇
中川史丸 成田秀樹 水野道明 後藤忠広 藤枝美穂 井戸哲也

Shigeru TSUCHIYA, Kensuke MATSUBARA, Kuniyasu IMAMURA, Haruo SAITO, Tsukasa IWAMA, Noboru KOTAKE, Fumimaru NAKAGAWA, Hideki NARITA, Michiaki MIZUNO, Tadahiro GOTOH, Miho FUJIEDA, and Tetsuya IDO

長波帯標準電波（無線局コールサイン JJY）は、国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が決定した周波数標準を、国家標準として全国で利用できるように発射された電波である。その電波には日本標準時（JST）の情報が重畳されており、電波時計の自動修正など国民一般に広く利用されている。現在、福島県のおおたかどや山標準電波送信所と福岡・佐賀県境のはがね山標準電波送信所の2か所から24時間体制で発射されており、NICT本部の周波数基準と日本標準時に対して、1日平均で 1×10^{-12} 未満の周波数精度と100ns未満の時刻差を維持している。この標準電波を日々安定に発射するための近年の運用状況を解説する。

The low-frequency standard time and frequency radio wave (call sign JJY) is a radio emitted so that the frequency standard determined by the National Institute of Information and Communications Technology (NICT) can be used nationwide as a national standard. Japan Standard Time (JST) information is superimposed on the waves and is widely used by the general public, including automatic correction of radio clocks. Currently, it is transmitted for 24 hours a day from Ohtakadoya-yama Station in Fukushima Prefecture and Hagane-yama Station on the border of Fukuoka and Saga Prefectures. Its frequency instability is smaller than 1×10^{-12} for averaging periods of one day and the time difference is less than 100 ns against the standard of NICT Headquarters. The operation status in recent years to stably transmit the JJY standard radio wave every day is explained.

1 はじめに

NICT は現在、国立研究開発法人情報通信研究機構法の第14条第3項にある「周波数標準値を設定し、標準電波を発射し、及び標準時を通報すること」の規定に従って、国家標準として高精度周波数とそれを用いた日本標準時の供給を、標準電波によって行っている。

日本における標準電波及び標準時の歴史が、NICT 日本標準時のホームページに掲載されている [1]。無線通信の重要性が高まる中、1940年に千葉県の見川無線送信所から短波帯の4つの周波数による標準電波の発射が始まった。この時のコールサイン JJY が現在も使われている。太平洋戦争中の停止を挟み1946年に見川送信所からの送信が再開され、1949年に送信場所が東京都小金井市の電波庁標準課に移された。その後1977年に送信業務が茨城県の NTT 名

崎無線送信所に委託されて、小金井市の電波研究所から遠隔監視制御が行われた。

長波帯による標準電波は、1959年に実用化試験局 JG2AQ から周波数 16.2 kHz で送信されたことに始まる。1966年には見川送信所の試験局 JG2AS から周波数 40 kHz、出力 10 kW で送信が開始された。短波帯に比べて下層の電離層（D層）で反射されるため周波数安定度が良いこと、海外局と混信が少ないこと、また地表波が比較的遠距離まで届くことなどから、より高精度な周波数供給が可能であるとして実験研究が始まった。1977年には短波帯と同じく NTT 名崎送信所に送信設備が移転され24時間運用を開始、その後1999年に、おおたかどや山標準電波送信所（送信周波数 40 kHz）が開設され、これが国内初の正式運用の長波帯標準電波局（コールサイン JJY）となった。

標準電波の2送信所体制は長波帯送信所新設計画の当初から検討されていた。保守点検等による一時的な

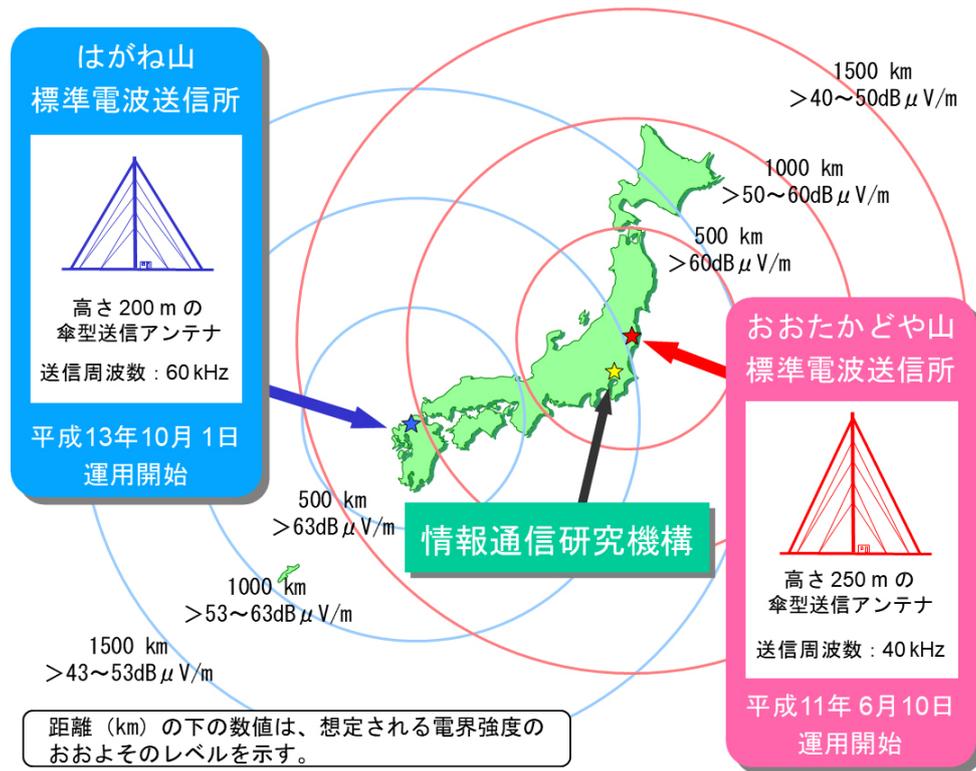


図1 送信所の位置と標準電波(地上波)の推定電界強度

送信停止(停波)を相互に補完して全体として連続供給が可能になること、より安定に標準電波を西日本で受信できることを目的に、はがね山標準電波送信所(送信周波数 60 kHz)が2001年に開設された。同じ年には短波帯による標準電波の送信が終了して、これにより世界でも例が少ない長波帯による複数局での標準電波の供給が始まった。これ以降、365日24時間連続送信の体制で、おたかどや山標準電波送信所の開局から数えて20年以上にわたり標準電波を送信している。

2 標準電波の到達範囲と送信所設備の概要

現在の標準電波送信所の概要として送信所の位置、標準電波の到達範囲、送信所設備について説明する。

2.1 標準電波の到達範囲と送信所の位置

標準電波の到達範囲について、2つの送信所の位置と、その放射電力から計算される地上波の電界強度を図1に示す。市販の電波時計が受信して利用できる強度として送信所から約1000 kmを想定できるので、一般への時刻供給として、2局体制で日本全土をカバーできることが分かる。より高感度な受信機を用いれば、どちらの送信所の電波も国内全域で受信できるが、電離層反射波との干渉が無視できなくなり、朝夕など時間帯によっては安定な位相で送信周波数を受信

できない場合もある。実際の電波強度は、各地の地形や建造物の特性などに大きく依存するので、標準電波の恒久的な受信設備を設置する場合には、事前に電界強度の実地測定を行うことが望ましい。

2.2 標準電波送信所設備の概要

標準電波送信所の設備については他にも詳しい文献がある[2]。ここでは概要を説明する。標準電波送信所の諸元を表1に示す。また標準電波発生機の構成を図2に示す。主な設備に原器室、時刻信号管理室、送信機室、整合器室、空中線(アンテナ)、自家発電機がある。

原器室は温度湿度管理された電磁界シールド室であり、標準電波の送信信号は原器室内のセシウム原子時計(Microsemi 5071A)の信号から生成される。各々の送信所には3台以上の原子時計が設置され、この内の2台が冗長性を成している送信信号発生系のそれぞれの原振として利用されている。原子時計を3台以上運用して相互比較することで、異常の発見やその場合の機器交換を容易にしている。時刻信号管理室に設置された計測システムでは、原子時計の時刻と周波数信号及びそれらを調整して発生させる信号を相互比較している。そして原子時計などの時刻信号は、通信衛星や測位衛星を仲介としてNICT本部の日本標準時(JST)と比較されている。その比較から原子時計の5 MHzの信号をJSTに同期するように周波数調整し

表 1 標準電波送信所の諸元

	おおたかどや山送信所 (標高 790 m)	はがね山送信所 (標高 900 m)
運用開始日	1999年6月10日	2001年10月1日
場所	東経 140° 51' 北緯 37° 22'	東経 130° 10' 北緯 33° 28'
アンテナ形式	傘型(無指向性)	傘型(無指向性)
アンテナ高さ	250 m	200 m
送信周波数(標準周波数)	40 kHz	60 kHz
出力(実効輻射率)	50 kW (25 % 以上)	50 kW (45 % 以上)
電波形式	A1B	A1B

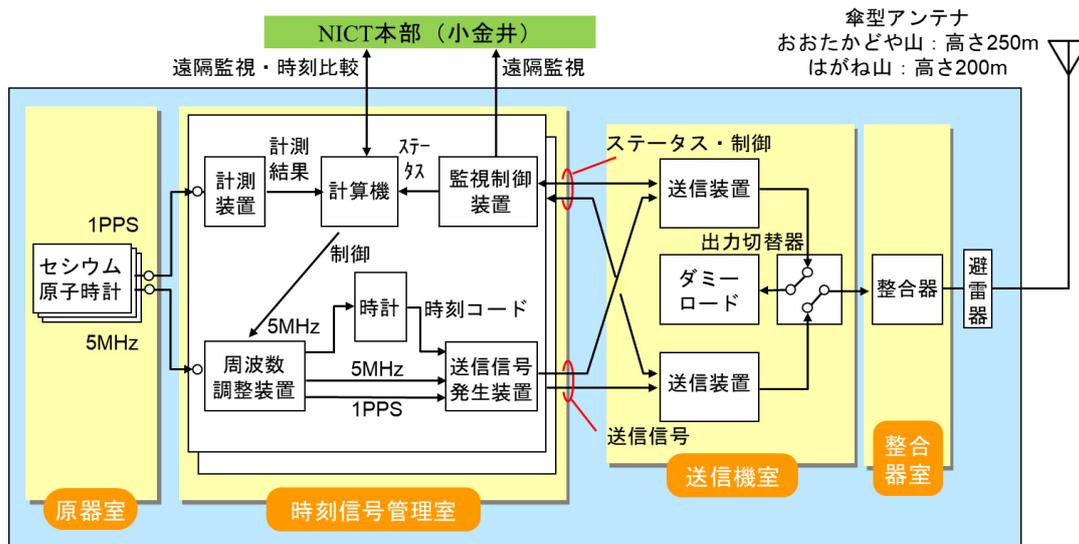


図 2 標準電波発生設備と送信までの構成

て、それを送信信号の基準としている。その基準から毎秒のタイミング信号(1 PPS)、時刻を示すタイムコード、送信周波数(40 kHzまたは60 kHz)を発生させ、それらを重畳して送信信号を発生している。原子時計から送信信号発生までを、標準電波の発射に現用する系と予備系の独立した2系統で並行運用している。現用系に異常を発見した場合に予備系に切り替えるほか、定期的に系の役割を交代させて、規程に沿った安定な標準電波の送信信号を発生させている。

時刻信号管理室から送信機室に信号が送られる時、時刻信号管理室に電気ノイズが混入しないように、送信信号は一度光信号に変換される。送信機室で再び電気信号に変換された送信信号は、定格50 kWの送信機(米国Continental Electronics社)に入力される。送信機も2台設置されており、送信信号発生と同じく冗長性を持たせることで、安定した送信を実現している。送信機の電力増幅はMOSFET(metal-oxide-semiconductor field-effect transistor)による48枚のアンプモジュールで構成されており、故障時にはモジュール交換によって迅速に復旧させている。整合器

室では、大型の可変コイルでリアクタンスを時々刻々変化させ、アンテナへのインピーダンス整合を維持しており、これにより良好な状態で電波を放射している。整合器室の内側には銅板の電界シールドが隙間なく貼られており、室外への強い電界の流出を防いでいる。

アンテナの高さは敷地面積などを考慮して、電波の到達範囲など設置目的を満足するように決められた。アンテナへの給電点には耐圧200 kVの大型碍子が使われている。放射効率を上げるために接地抵抗を小さくする必要があり、角度1°ごとに360本のラジアルアース銅線が、約150 mの長さでアンテナを中心に敷地内に埋設されている。

標準電波送信所は山頂付近にあるため、災害で送電線が切断した時などに商用電源が容易に復旧しない場合がある。そこで送信所にも自家発電用の大型発動発電機が設置されている。商用電源が一週間程度停止しても、自家発電で標準電波を放射し続ける能力を持っている。その他、送信所で発生させる時刻に同期させたNTPサーバーを利用して、送信所内の計算機や機器の時刻を正確に維持している。

3 標準電波送信所の運用

近年の標準電波送信所の運用について説明する。送信所現地での運用では、標準電波送信の維持監視業務や施設の維持点検業務のほか、施設が山頂付近にあるという特殊性から、厳しい天候への対応が重要になる。また近年には老朽化した送信設備の更新を行った。

3.1 標準電波送信の監視制御業務

おたかどや山送信所とはがね山送信所の2局体制で24時間連続運用を行っている。送信所には昼夜交代で常に複数の監視員を配置して、専用回線による送信所間の遠隔監視も併用しながら、日常の電波と設備の監視制御を行っている。送信所現地に監視員を配置することで、アンテナへの落雷の危険など緊急時にも迅速かつ適切に対応できている。また日常点検により装置の異常を早期に発見して、設備を安定に維持している。送信所監視員とNICT本部の標準電波担当者は、常に連絡が取れる体制になっている。さらにNICTでは現在、より高安定で高精度な日本標準時の発生と供給を目指して、標準時発生システムの分散配置を進めている[3]。2018年6月10日からはNICTの未来ICT研究所に日本標準時の副局が設置された。ここにも標準電波の監視装置を設置している。

標準電波の現在の送信状況は、日本標準時のホームページ[4]を通じて知ることができる。また標準電波運用情報として、停波予定の周知と停波後の報告を行っており、Twitterや携帯電話用ホームページでも運用状況を周知している。

ホームページでは、送信された標準電波の精度の周知として、NICT本部での日々の受信周波数の偏差と相対位相差の情報、さらに衛星時刻比較による送信標準周波数の日本標準時からの偏差の月報を提供している。また標準電波の電界強度予測値(実測値で実証された理論により計算)と強度マップを公表し、図3で示すように、各地でどの程度の受信強度が見込まれるかなどの詳しい情報を提供している[5]。

3.2 標準電波施設の維持点検業務

送信所施設を安全に維持し運用するため、敷地内警備には監視カメラなども利用している。警備会社を通じてその映像や各扉の開閉信号などを確認している。また井戸水の水質検査を定期的に行い、来訪する外部作業員には強電界区域などでの注意事項を説明し、さらに敷地内外の倒木、転石、土砂流失などを確認して必要な対応を行っている。

日常の点検業務に加えて、消防設備などの各種の法定点検や、年次定期保守を行っている。年次定期保守

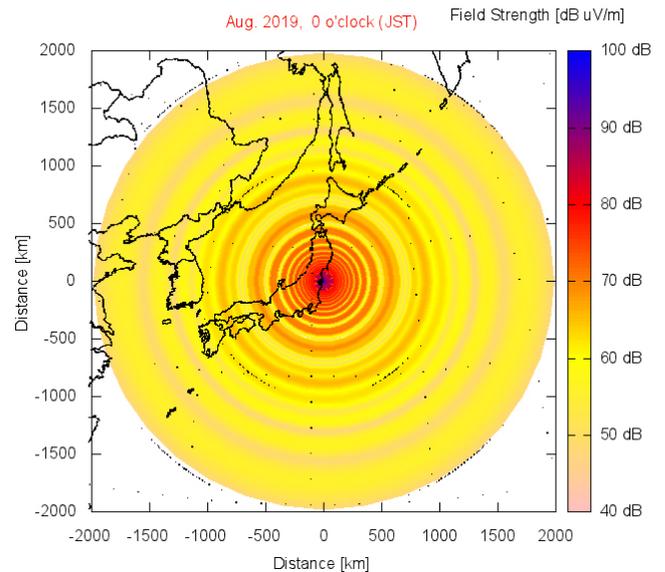


図3 標準電波電界強度予想マップ
(2019年8月の0時 JST おたかどや山 40 kHz)

では登録検査等事業者により実施する無線局検査用のデータ取得を行っている。例年おたかどや山送信所では9月上旬頃に、はがね山送信所では10月下旬頃にそれぞれ10日程度かけて送信設備、整合設備、空中線、監視制御設備、電源設備、局舎設備の保守点検と補修を集中して行う。年次定期保守に伴う計画停波については、その予定をNICTのホームページなどに掲載している。

3.3 落雷への対応

標準電波送信所は共に山頂付近にあり、また高さ200 m以上のアンテナ鉄塔があることなどから落雷被害を受けやすい。おたかどや山送信所の場合、アンテナ給電点での供給電圧は150 kV程度になる。避雷器を設置して雷の高い電圧を地絡(アース)させるが、その作動電圧は150 kVより高く設定する必要がある。そこで送信中に落雷した場合、アンテナにつながった送信設備には最大150 kVを超える電圧が印加して、設備の破壊や火災など大きな被害が発生する可能性がある[6]。送信設備にはアーク放電の検知機能があり、小さな落雷や誘導雷を検知した段階で送信を自動停止して送信機を保護することから、大きな落雷による故障発生には通常至らない。しかし突然大きな落雷を受けることもあって、これまで被害を受けてきた。そこで雷発生を詳細に把握するために、両送信所では、気象情報提供者から地域のリアルタイムの雷発生情報と予報を取得するとともに、敷地内に静電界測定による雷レーダーを設置して周辺の落雷の可能性を判断している。このほかにも無線ノイズ、稲妻や雷鳴、アンテナ周辺の放電、アンテナ供給電流の変化などから落

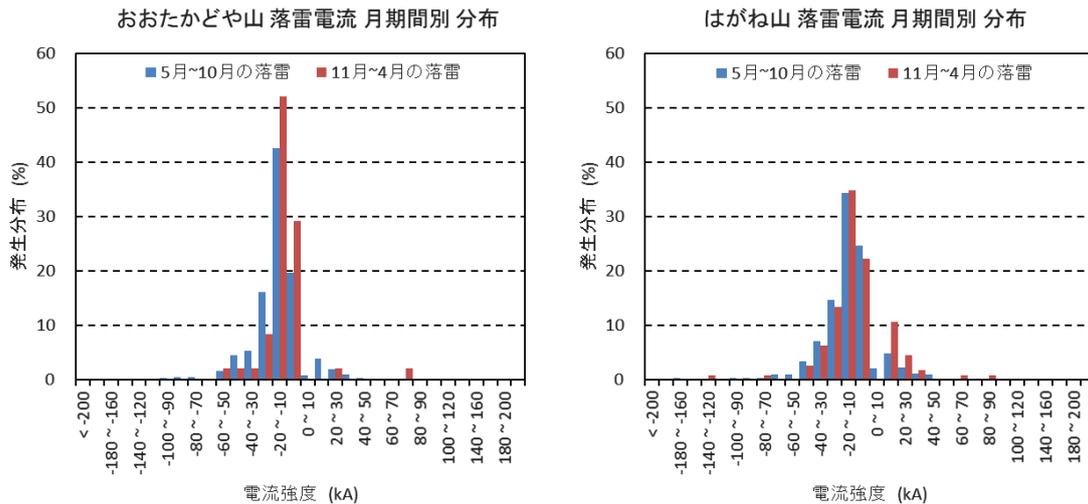


図4 2014年から2018年の各送信所への落雷の電流強度分布
(月期間別)

雷の可能性を判断している。

落雷の危険が大きいと判断すると、監視員は電波送信を一時中断してアンテナを地絡させて、送信設備から切断する。落雷の危険が小さくなれば速やかに送信を再開する。落雷により送信機が被害を受けた場合には、2台設置するうちの正常な送信機に切り替えて送信再開している。被害を受けた装置は保守部品を用いて早期に補修している。落雷などの影響で商用電源が停止した場合には、自動で自家用発電機が発動して送信を続けている。

おたかどや山送信所とはがね山送信所の周辺(各10 km 四方)で、2014年から2018年に観測した落雷の総数は、5月から10月までの夏中心の時期では、おたかどや山で664回、はがね山で1309回であった。一方、同じ5年間の11月から4月までの時期では、おたかどや山で48回、はがね山で122回であったので、落雷は夏中心に多い。図4は上記で集計した落雷数のそれぞれで、落ちた雷の電流分布を示したものである。おたかどや山に比べると、はがね山では通年で分布が大きな電流(絶対値)まで広がっている。はがね山送信所は九州北部の脊振山地にあり、冬には大陸からの季節風と対馬暖流上空の湿った空気が混ざり合って吹き寄せて、周辺には積乱雲が生じやすい[7]。そこで夏冬問わず電流が大きい激しい落雷の危険があるので注意が必要である。

3.4 台風及び降雪の影響

厳しい気象条件下の送信所では落雷と同様に、台風による被害も発生している。各送信所に至る公道及び専用道路では、倒木や豪雨による路肩の崩れなど、通行に支障を来す災害が年に1回程度以上ある。また送信所の敷地周辺でも、台風による山の斜面の崩壊が

発生している。はがね山標準電波送信所では、北側山麓の「白糸の滝」から送信所への市道と専用道路(国有林の借地とNICT所有地の混在)とが、山と谷に囲まれて距離も長く、しばしば被害が発生している。西日本を中心に大きな被害をもたらした2018年7月の豪雨では、はがね山送信所への道路(市道)及び送信所敷地の南側法面が、図5に示すように損壊した。この南側法面の真下には登山道があるため、市役所に通行回避を要請して、被害拡大を防ぐ応急工事を速やかに行った。また、おたかどや山送信所でも2016年8月の台風7号及び8号の影響で、敷地内の管理道路の碎石が流失し、補修工事を行った。

一方で両送信所とも冬期には降雪が多く、毎年除雪作業が欠かせない。九州のはがね山送信所であっても雪道走行できる自動車が必要になる。また送信所局舎の真上をかぶさるように大型アンテナが設置されているため、アンテナに付いた雪が氷塊となって局舎周辺に落ちてくる。大きく重い氷塊もあり、落水による被害の例として車両、監視カメラ、気象観測器などの破壊がある。落水の可能性がある場合はアンテナ鉄塔の目視確認、通行の制限、ヘルメットの着用など安全対策を徹底している。はがね山送信所では車両や監視員の安全確保から、屋根付きガレージ及び通路を2012年に設置した。

3.5 送信設備の更新

おたかどや山標準電波送信所が1999年に、はがね山標準電波送信所が2001年に開局して共に10年以上が過ぎた頃、送信機や整合器の老朽化が問題となった。使用する一部の部品には再入手困難な物も出てきた。一方で、国内生産の電波時計の推定販売台数が累計約1億台を超えて、標準電波の安定運用を維持する



図5 はがね山送信所付近での台風被害(2018年7月豪雨 6月28日~7月8日)
(左:「白糸の滝」山側の市道 右:送信所敷地内の南側法面)



図6 おおたかどや山送信所の新規設備と増築局舎
(左から送信機、整合器、局舎外観)

ために送信設備の更新を行った。

更新工事の計画を2011年から検討して、おおたかどや山送信所から開始しようとしたが、2011年3月11日に発生した東日本大震災と原子力発電所事故の影響で延期となった。そこで、はがね山送信所の工事を2013年から先行させた。東日本大震災と東京電力福島第一原子力発電所事故による、おおたかどや山送信所の連続停波の社会的影響が極めて大きかったことから、工事では連続停波をできる限り短くする検討がなされた。その結果、既設設備を使って送信を続けつつ、局舎増築を行って、そこに新しい送信設備を設置することとした。これにより工期は長くなるものの、夜間は必ず電波送信できることから、連続停波を最長時間にでき、利用者の利便性を保てた。

はがね山送信所の局舎増築工事では、予想以上に多くの大きな岩石が地下に埋まっていたこと、冬期に例年以上に積雪があったことから工事期間が延長されたが、2015年6月に増築を完了して、2016年1月8日から新設の設備による標準電波発射を開始した。おおたかどや山送信所の更新についても、原子力発電所事

故の避難指示の解除により2015年から工事を開始したが、両送信所の工事期間が一部重なったため、2つの両送信所の同時停波を避ける調整に困難を極めた。おおたかどや山送信所の増築工事は2015年11月に完了し、翌年3月31日から両送信所で共に新規送信設備による標準電波の発射を実施した。完成したおおたかどや送信所の新規設備と増築局舎の写真を図6に示す。

4 標準電波送信業務の実績と利用状況

標準電波送信所の運用の実績として、送信信号の精度と年間の送信時間が挙げられる。これらは毎年 の報告書に記載されて、標準電波の発射に関すること [8] を所掌とする総務省に提出されている。また電波時計の普及など標準電波の利用状況については、近年特に正式調査を行っていないが、標準電波に関する関連団体の資料や要望、問い合わせ状況から筆者らが把握している範囲を概説する。

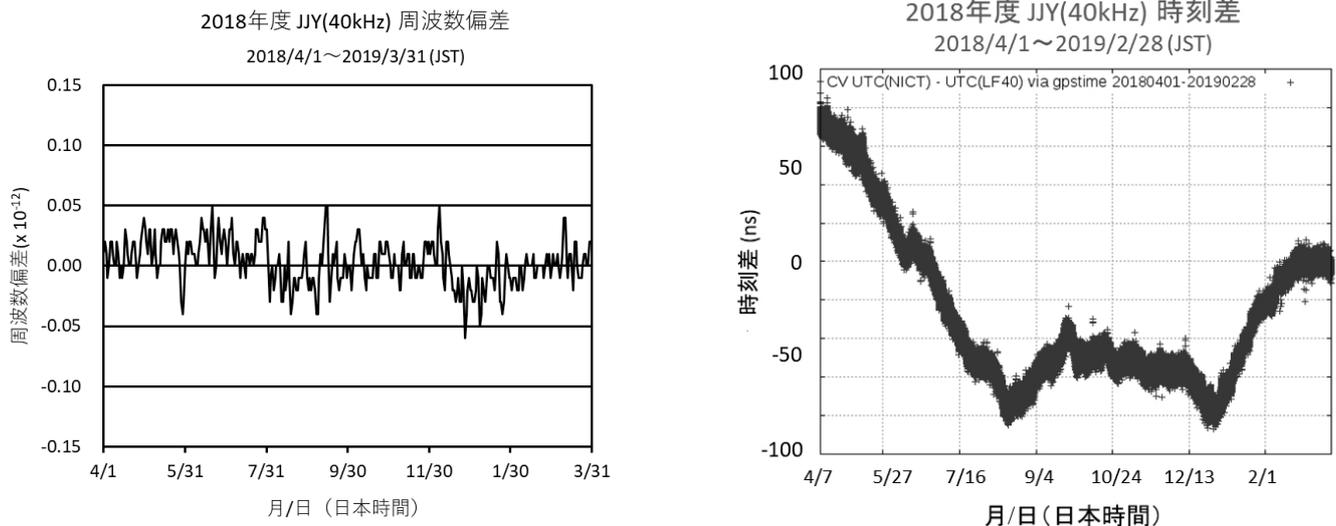


図7 おおたかどや山送信所の周波数偏差と時刻精度 (2018年度)

表2 2018年度の各送信所における停波要因、時間、全停波に対する時間割合 (停波時間は、時：分：秒 で表記している)

	おおたかどや山送信所		はがね山送信所	
	停波時間	割合 (%)	停波時間	割合 (%)
機器・装置保守	65:44:29	77.85	67:30:59	42.10
落雷対策	16:38:41	19.71	92:27:15	57.65
その他自然災害	00:02:51	0.06	00:02:15	0.02
機器故障	02:00:31	2.38	00:22:21	0.23
合計	84:26:32		160:22:50	

4.1 標準電波送信業務の実績

標準電波の信号精度について、標準電波の送信信号は、標準電波局の運用規則 [9] により、NICT 本部の日本標準時に対して送信側で 1×10^{-12} より優れた周波数精度と 10μ 秒以内の時刻誤差であるように規定されている。送信所内で発生させる時刻は NICT 本部と 1 ns 程度の精度で比較されている。図 7 は 2018 年度における、おおたかどや山送信所の 40 kHz の周波数偏差と時刻精度をグラフにしたものである。1 日の比較平均で 1×10^{-13} 以内の周波数偏差、また時刻差としては 100 ns 以内を維持しており、運用規則の基準を十分に満たしている。はがね山送信所においても同様に運用規則の基準を十分に満たしている。

標準電波の送信時間と停波理由について、それぞれの送信所では様々な保守点検作業により、やむを得ず一時的に停波する場合がある。ここで 2 局体制を取ることにより、少なくとも 1 局からは送信できるように調整している。

表 2 は 2018 年度の停波要因と時間をそれぞれの送信所について示したものである。おおたかどや山送信

所では、合計 84 時間停波しており、そのうちの 78 % はホームページなどで事前に周知された機器・装置保守のための停波である。その次には落雷対策が 20 % となっている。停波時間を除いた 2018 年度の年間発射時間率は 99.0 % であり、近年ではおおむね 98 % 以上の時間率を達成している。

一方、はがね山送信所では合計 160 時間停波した。その内の 58 % は落雷対策のための停波である。次いで機器・装置保守の 42 % となった。はがね山送信所は九州北部に位置して落雷が多いため、雷害回避目的の停波が、おおたかどや山送信所に比べ長時間になっている。はがね山送信所の 2018 年度の発射時間率は 98.2 % であり、雷害回避のためにおおたかどや山送信所より時間率がやや小さい傾向があるが、同様に近年おおむね 98 % 以上の時間率を達成している。

2 つの送信所の定期保守点検などの計画停波の時間は重ならないように調整されており、2019 年度の 1 箇所以上の送信所が送信している発射時間率は 99.9 % に達しており、2 局体制の利点が活かされている。

4.2 標準電波の利用状況

短波帯標準電波は電離層の変動によるドップラー効果で周波数安定度が劣化するという問題があったが、長波帯標準電波では電離層による影響は小さく、安定した周波数が得られる。既に述べたとおり、送信周波数の精度はNICT本部と衛星を用いた方式により常に比較されており、周波数偏差はおおむね 1×10^{-13} 以内、時刻はUTC (NICT) に対して100 ns以内に維持されている。そして各送信所の電波はNICT本部で受信し監視を続けている。はがね山送信所から受信する電波は地表波と電離層反射波の干渉の影響を受けており [5]、おおたかどや山からの受信波に比べると大きな位相変化が見られる。しかし、いずれの送信所の電波も安定した時間帯で位相比較を行うと、1日平均で 1×10^{-11} 程度の周波数精度を得ることが可能である。高い周波数精度を得られる長波標準電波であるが、高安定な較正済みの可搬型周波数標準器が普及するようになって、基準周波数としての利用者が減少しているのが実状である。周波数利用の向上のため、遠隔周波数校正へ標準電波を利用することについて研究開発を進めている。現在、開発した長波標準電波による遠隔周波数校正装置を、遠隔地であるサロベツ、金沢大、沖縄などに配置し評価実験を実施している [10][11]。

一方、日本標準時の取得のための利用者は、電波時計の普及もあって非常に多い。大型商業施設、病院、駅、大学内の時刻管理にも利用されており、標準電波による時刻供給は、社会の重要な基礎インフラのひとつに成長した。「2020年のサマータイム導入の検討」が2018年に各種報道で取り上げられた際も、標準電波のサマータイム対応が話題になった。標準電波は現在国民全般から広く利用されており、今後も安定した運用と適切な情報発信に努める必要がある。

5 東日本大震災からの復旧

本解説の終わりに、2011年3月11日に発生した東日本大震災からの標準電波の復旧について概要報告する。

本震災発生(おおたかどや山送信所付近では震度6弱)直後の商用電源の停止により送信機はごく短時間停波したが、自家発電機の運転により送信所の機能全般に支障は無かった。その後商用電源が復旧し、余震の影響を含めた設備点検を行った後3月11日16時45分頃に通常送信が再開された。しかしその直後より電話がつながりにくい状態となり、翌12日の昼過ぎにはネットワークが不通になって、送信所は孤立状態となった。その後さらに、福島第一原子力発電所から20 km圏内に退避指示が出されたため、約17 kmにある送信所の監視員は、同日19時46分に電波送信を停止して送信所から退去した。それ以降、送信所の状況を確認できなくなった。

翌月の4月3日にネットワークが復旧し、状況が断片的に分かった。商用電源により各機器はほぼ正常動作していた。しかし原器室の空調が停止しており、セシウム原子時計の温度は約50度まで上昇していたため、早急な対策が必要であった。送信所への立入りを各方面に打診して、国の対策本部のオフサイトセンターから自己責任を前提に許可が出たのは8日後の11日であった。NICTでは「標準電波緊急対策本部」を設置して、放射線防護の安全教育を含む準備を行い、4月21日に現地に立ち入った。送信所の運用業務を委託する民間業者も同行し、この日の作業の結果、暫定的な送信再開を果たした(図8左)。

この限られた時間の作業で、今後の不具合で誤った時刻・周波数の提供を行わないように、遠隔操作で送信を強制停止できる機能を追加した。しかし送信再開して間もなく4月25日には落雷による機器損傷で送



図8 左：暫定的な送信再開作業 右：福島県川内村への感謝状贈呈(右側から、遠藤村長、NICT 熊谷理事(当時))

信が不能になった。既に警戒区域に指定された送信所周辺への立入りには自治体の許可が必要だったが、極めて多忙な地元の川内村から献身的な支援を頂いて、立入りのたびに許可書が発行された。

復旧のための立入作業はまず5月9日と10日に行われた。委託運用業者と協議を重ねて、福島県白河市に仮事務所を設け、これ以降は状況に応じて停波と一時立入りによる送信再開を繰り返す運用を行った。また並行して送信設備を遠隔操作する改修を突貫で進めて、8月末に送信業務の多くを遠隔で行える改修を完了した。これにより2011年9月13日以降は、NICT本部に出勤する監視員が24時間体制で送信所の遠隔監視制御を行った。震災から6月末までに、利用者などからNICTへの苦情を含む問い合わせの電話やメールは500件以上に達した。

遠隔監視制御により送信所の通常の運用業務が可能になったが、現地の天候を体感的に判断できず、雷害回避のための停波がそれまでより長時間必要になった。それでも突然の落雷で送信機の故障が相次ぎ、一時立入りの修理が繰り返された。2012年4月1日からは送信所の周辺が警戒区域から避難指示解除準備区域に移行されて、一時立入りに自治体の許可が不要となった。標準電波の復旧には川内村の貢献が多大きであったことから、NICT理事長から川内村に感謝状を贈呈した(図8右)。2012年10月頃には送信所周辺で国の除染作業が行われた。その後、送信所の敷地が含まれる田村市都路地区では2014年4月1日から避難指示解除準備区域の指定が解除され、これ以降、おたかどや山送信所に監視員が常駐して監視制御する時間を、段階的に増やしていった。また川内村では同年10月1日から、避難指示解除準備区域の指定が解除された。

東日本大震災は日本がこれまで遭遇することがなかった、広域かつ国のインフラに大きな損壊をもたらした災害のひとつと言える。これに対して日本標準時の供給はどのように準備すべきかという課題を提起した。これ以降の日本標準時の供給には、甚大災害への緊急対応の検討が必須になっている。

6 長波帯標準電波送信所の開局20周年を迎えて：まとめと将来

おたかどや山標準電波送信所が開局以来、2019年6月10日で20周年を迎えた。はがね山送信所との2送信所体制で、国内全域で標準電波を利用できるようになった。その結果、電波時計が広く普及し、公共から家庭まで時計の時刻調整から解放される契機となった。携帯電話などの情報端末が普及した現代に、常に正しい時刻を利用できる便利さは不可欠なもので、

標準電波は社会の基礎インフラに発展したと言える。

一方で、高精度周波数の供給としての標準電波の役割は、長波帯への移行により精度は十分なものの、手軽な可搬型の高精度周波数標準器が普及したこともあり、利用が減少している。NICTでは標準電波受信機によるより簡便な周波数遠隔校正を開発している[10]。

20年以上安定して長波帯の標準電波を送信することは容易ではない。台風や降雪の予報、地震情報などに注意し、送信所への影響を予測して状況を把握した。それでも東日本大震災のような予想外の災害は発生し、復旧に向けた迅速な対応を行ってきた。また送信所の安定運用には地元自治体の貢献が大きき、さらに保守や装置開発では各専門業界にお世話になった。NICT内でも、広報部、財務部、企画系部門などの協力を得て課題を解決してきた。加えて標準電波送信所の経費として安定した予算が確保され、災害時などには復旧のための予算が速やかに処置されてきた。

既に長期にわたる送信所運用では、近年には、アンテナや送信所までの専用道路の老朽化の問題が発生している。また送信所周辺では、登山など観光開発や風力発電など再生エネルギー開発が活発になっており、共に発展するような意見交換が必要になっている。

世界の最新技術はより高精度な周波数標準を必要としており、標準周波数の供給について新たな手法の検討が求められてきている。今後もNICTは、世界最高クラスの精度の標準電波を国内に安定供給することを維持しながら、時代に合った新しい時刻・周波数の供給方法を検討して、新しい情報化社会への要請にこたえるように努めたい。

【参考文献】

- 1 http://jij.nict.go.jp/QandA/reference/chrono_table.html
- 2 栗原則幸, “長波標準電波,” 通信総合研究所季報, vol.49, nos.1/2, pp.167-173, 2003.
今村國康, “日本標準時の運用と供給,” 情報通信研究機構季報, vol.56, nos.3/4, pp.87-96, 2010.
- 3 <https://www.nict.go.jp/info/topics/2018/06/180612-1.html>
- 4 <http://jij.nict.go.jp/>
- 5 土屋茂, 今村國康, 伊東宏之, 前野英生, 久保田実, 野崎憲朗, “長波標準電波の電界強度測定法の開発と測定,” 情報通信研究機構季報, vol.56, nos. 3/4, pp.97-108, 2010.
- 6 今村國康, 岩間司, 土屋茂, “長波標準電波とその活用,” 電気学会 電子回路研究会, 2012.
- 7 <http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/toppuu/thunder1-3.html>
- 8 総務省設置法第4条1項67
- 9 標準周波数局の運用(総務省告示第382号)
- 10 齊藤春夫, 岩間司, 今村國康, 小竹昇, 土屋茂, “標準電波(JJY)を用いた周波数遠隔校正システムの開発,” 電気学会 電子回路研究会, 2009.
- 11 岩間司, 齊藤春夫, 小竹昇, 成田秀樹, 今村國康, 北口善明(金沢大), “標準電波を用いた周波数遠隔校正システムのフィールド実験,” 電気学会 電子回路研究会, 2013.

3 日本標準時システム



土屋 茂 (つちや しげる)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
時間・周波数標準



成田秀樹 (なりた ひでき)

電磁波研究所
時空標準研究室
有期研究技術員
時間・周波数標準



松原健祐 (まつばら けんすけ)

電磁波研究所
時空標準研究室
研究マネージャー
博士(理学)
周波数標準、標準時、レーザー分光

水野道明 (みずの みちあき)

電磁波研究所
時空標準研究室
有期研究技術員
時間・周波数標準



今村國康 (いまむら くによす)

電磁波研究所
時空標準研究室
標準時、周波数標準

後藤忠広 (ごとう ただひろ)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(工学)
時刻比較、精密軌道決定



齊藤春夫 (さいとう はるお)

電磁波研究所
時空標準研究室
マネージャー
時間・周波数計測

藤枝美穂 (ふじえだ みほ)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(理学)
精密時刻比較、光ファイバ周波数伝送



岩間 司 (いわま つかさ)

電磁波研究所
時空標準研究室
研究マネージャー
博士(工学)
時刻・周波数供給・同期、時刻応用技術



井戸哲也 (いど てつや)

電磁波研究所
時空標準研究室
室長
博士(工学)
光周波数標準、光周波数計測



小竹 昇 (こたけ のぼる)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
時間・周波数標準



中川史丸 (なかがわ ふみまる)

電磁波研究所
時空標準研究室
主任研究員
博士(理学)
時間周波数標準、時刻比較