

電波時計による長波標準電波 JJY の タイムコードの遅延時間の長期測定

Long Term Measurement of Delay-time on Time-code sent from JJY station
by using Radio-Controlled Clock

吉村 和昭*・山下 貴史**・倉持 内武*

* 桐蔭横浜大学工学部電子情報工学科

** 桐蔭横浜大学大学院工学研究科修士課程情報・機械工学専攻

(2006 年 2 月 28 日 受理)

Abstract

By using a radio-controlled clock, the delay-time of time-code sent from JJY station were measured¹⁾. JJY is the standard radio wave in Japan. Time-code consists of three kinds of different pulse-width: 20 % duty ratio against 1 second, 50 % duty ratio, and 80 % duty ratio.

The delay-time mentioned above was measured referring to 1pps signal of GPS receiver, from January 2004 to July 2005. The total numbers of pulses for one hour are: about 420 for 0.2 s pulse, 1000 for 0.5 s pulse and 2000 for 0.8 s pulse respectively. The mean values of delay-time and standard deviation are calculated for each pulse.

Obtained results at 1:00 a.m. data are: 64 ± 3.4 ms for 0.2 s pulse, 82 ± 2.0 ms for 0.5 s pulse and 105 ± 3.1 ms for 0.8 s pulse signal.

The distance from the JJY station is about 233 km with a delay-time propagation of about 0.7 ms. Therefore, the delay-time is independent from the propagation delay of JJY.

This research shows that delay-time for a pulse-width of 0.5 s has the minimum standard deviation. On the other hand, 0.2 s pulse has large standard deviation depending on the season. For example, from June to August in 2004, the values were between about 5 ms and 8 ms, and from May 28 to June 16 in 2004, they rose up to about 8 ms.

キーワード：長波標準電波 JJY、長期観測、遅延時間、時刻信号、電波時計

Keywords : JJY, long term measurement, delay-time, time-code, radio-controlled clock

1. はじめに

我が国における長波標準電波（コールサインは JJY。以下 JJY と云う）は、標準周波数と日本標準時（JST）を全国に供給するための電波で、独立行政法人情報通信研究機構が管理する福島県および佐賀県の長波標準電波送信施設からそれぞれ周波数 40 kHz、60 kHz で 24 時間送信されている。JJY には時

刻情報が標準周波数に重畳されて送信している。受信周波数精度は 24 時間の周波数比較平均値で 1×10^{-11} である²⁾。

一般ユーザにとって JJY 電波は電波時計用としての利用がほとんどであると思われる。電波時計は、JJY 電波に重畳して送信されているタイムコードを受信することにより、時刻を自動修正する時計であり、安価で時刻が狂わないので、近年、急速に普及している。JJY 電波はその伝搬の性質上、ビル

* 桐蔭横浜大学工学部電子情報工学科

〒 225-8502 横浜市青葉区鉄町 1614

Department of Electronics and Information Engineering, Toin University of Yokohama

〒 225-8502 1614, Kuroganecho, Aoba-ku, Yokohama-city, Kanagawa, Japan

内にも電波が容易に進入するので、時計に内蔵されている小型のバーアンテナで十分 JJY 電波が受信可能である。このように、電波時計は時刻の同期性に優れており、日常的に多く使用されているが、電波時計で受信復調された JJY の受信特性は明らかにされていない。そこで、本研究では電波時計による JJY の受信特性を長期的に測定することにより、電波時計で受信した毎正秒信号の特性を明らかにすることを目的にしている。

2. 時刻自動修正に使用するタイムコード

JJY 信号は周期 1s のタイムコードを 40 kHz 及び 60 kHz の搬送波でマーク時 100%、スペース時 10% の振幅変調をかけたシリアルデジタル信号で、伝送速度 1bps、1 フレーム 60s で繰り返して送信している。

毎正秒の始まりはタイムコード信号の立ち上がりで示され、パルスの立ち上がりの 55% 値が日本標準時に同期している。タイムコードは、Fig.1 に示すように、パルス幅が 0.2s、0.5s、0.8s の 3 種類のパルスから成り立っている。

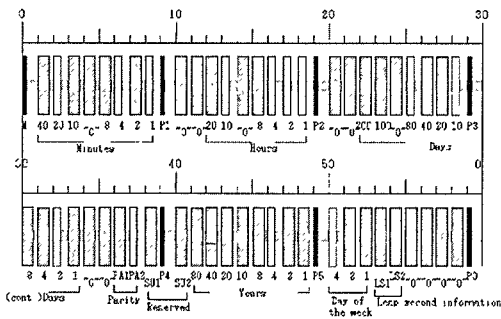


Fig.1 JJY Time-code format
(reprint from NICT Home Page)

パルス幅 0.2s のパルスは、分の始めを表す Reference Marker 及び毎 9 秒 (P1)、19 秒 (P2)、29 秒 (P3)、39 秒 (P4)、49 秒 (P5)、59 秒 (P0: 通常は 59 秒、正閏秒時は 60 秒の立ち上がり、負閏秒時は 58 秒の立ち上がり) に対応して送信される Position Marker を

示す。

パルス幅 0.5s のパルスは 2 進の 1 を表し、パルス幅 0.8s のパルスは 2 進の 0 を表している²⁾。Reference Marker 及び Position Marker は、JJY 電波が伝搬路でレベルに変動がある場合、復調エラーが増加する傾向にある。Marker は、これらの復調エラー増加を抑制する働きをする。

タイムコードは、先頭から順に分、時、1 月 1 日からの通算日、時と分に対応するパリティ、予備ビット、年 (西暦の下 2 桁)、曜日、閏秒、モールス符号送出 (毎時 15 分と 45 分)、停波開始予告及び停波期間予告 (毎時 15 分と 45 分) のコードで構成され、1 フレーム 60s で搬送波に重畳して送信されている。時、分、通算日、年、曜日に関しては 2 進数 BCD 正論理で表されている。JJY には誤り訂正符号は使われていない。時と分のパリティチェックは可能であるが、日、年、曜日についてはパリティチェックは不可能である。従って、電波時計は通常タイムコードを複数回受信し、データを照合することによって正しくタイムコードを受信したかどうかを判断する方式を採用している。

電波時計で自動時刻修正を行うには、60s 間 1 フレーム分のタイムコードを 1bit も欠けることなく全て受信しデコードしなければならない。1bit でも受信できない場合はそのフレームは無効となる。例えば、電波時計の受信アンテナ付近でタイムコードのパルス幅が所定の幅から変化したり、パルス抜けが起きたりすると、デコード不能になるので、全てのタイムコードを再度受信しなくてはならないので時刻修正に時間を要することになり、ときには数十分もかかるケースもある。特に、電波腕時計のように小さな電池で駆動している時計の場合、電池の消耗が多くなるので注意が必要である。

Fig.1 は 2004 年 4 月 1 日木曜日 17 時 25 分

を示すタイムコードである。毎時 15 分と 45 分のタイムコードは 40 秒から 9 秒間 JJY のモールスコード (·--- ·--- ·---) が送信されるので、この間は電波時計の時刻の自動修正はできないことになる。

Fig.1 は次のように解説する。

- (1) 分データは 1,2,3,5,6,7,8bit 目の計 7bit で表されており、日本標準時の分を示している。2,6,8bit 目が 0.5s パルスであるので、 $20 + 4 + 1 = 25$ 分を示している。
- (2) 時データは 12,13,15,16,17,18bit 目の計 6bit で表されており、24 時間制日本標準時の時を示している。13,16,17,18bit 目が 0.5s パルスであるので、 $10 + 4 + 2 + 1 = 17$ 時を示している。
- (3) 1 月 1 日からの通算日データは 22,23,25,26,27,28,30,31,32,33bit 目の計 10bit で表されており、1 月 1 日を 1 とした通算日を示している。25,28,32 bit 目が 0.5s パルスであるので、 $80 + 10 + 2 = 92$ 日目であることを示している。すなわち 1 月が 31 日、2 月が 29 日 (閏年)、3 月が 31 日で 3 月までの通算日が 91 日であるので、1 月 1 日から 92 日目は 4 月 1 日である。
- (4) パリティデータは 36,37bit 目の計 2bit で表されており、時と分の信号が正しく読み取れたかどうかを確認するための信号である。PA1 は時、PA2 は分に対応しており、それぞれ偶数パリティを示す。PA1 は 4 ($10h + 4h + 2h + 1h$) を 2 で割れば余りが 0 であるので 0.8s パルス、PA2 は 3 ($20m + 4m + 1m$) を 2 で割れば余りが 1 となるので 0.5s パルスが伝送されている。
- (5) 年データは 41,42,43,44,45,46,47,48 目の計 8bit で表されており、西暦年の下 2 桁を示している。46bit 目が 0.5s パルスであるので、4 すなわち 2004 年を示している。
- (6) 曜日データは 50,51,52bit 目の計 3bit で

表されており、日曜日～土曜日を 0～6 に割り当てた値を示している (日曜日 = 0、月曜日 = 1、火曜日 = 2、水曜日 = 3、木曜日 = 4、金曜日 = 5、土曜日 = 6)。Fig.1 の場合は 50bit 目が 0.5s パルスであるので 4 と認識でき、木曜日であることが分かる。

- (7) 閏秒情報データは 53,54bit 目の計 2bit で表されており、閏秒は日本時間で実施月の 1 日 9 時の直前に行われる。閏秒情報は、実施される前月の 2 日 9 時 0 分より、実施月の 1 日 8 時 59 分まで継続表示される。
- (8) その他、予備 bit として、38,40bit 目の計 2bit の SU1、SU2 があり、将来の情報増加に備えている。夏時間情報表示などが考えられる。現在は 2 進の 0 を示す 0.8s パルスが伝送されている。

毎時 15 分と 45 分に伝送されるタイムコードには 6bit からなる停波予告 bit の ST1～ST6 がある。これは、保守作業などで、長波標準電波の停波が予定されている場合、ST1～ST3 の停波開始予告と、ST4～ST6 の停波期間予告で示される。長波標準電波に停波予定が無い場合は 0.8s パルスが伝送される。

3. 測定システム

電波時計を使用した、タイムコードの遅延時間測定システムを Fig.2 に示す¹⁾。

GPS 受信機から出力される、協定世界

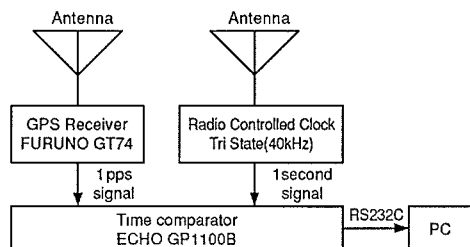


Fig.2 Measurement system for time-code delay

時 UTC に同期している pps (pulse per second) 信号を基準として、電波時計で復調されたタイムコードの 1s 信号の立上りの遅延時間を 1s 間隔で測定するものである。遅延時間は、GPTTS (Global Positioning Traffic and Tracking System) と呼ばれるセンテンスで取得できる。得られた UTC と電波時計の正秒信号の時刻差データを RS232C 経由でパソコンに取り込み処理するものである。

本測定システムで使用した機器を次に示す。

GPS Receiver : Furuno GT74 (Accuracy of 1pps : $1\mu\text{s}$)

Radio-controlled clock : Tri-State TS-JJY01 (40kHz)

Time comparator : Echo Keisokuki GP1100B (Resolution : 100ns)

Rubidium Oscillator : TEMEX SRO100 (Stability : $5 \times 10^{-11}/\text{month}$)

使用した JJY 電波は 40 kHz で、測定点は桐蔭横浜大学(北緯 $35^{\circ}33'45''$: 東経 $139^{\circ}31'17''$) とし、2004 年 1 月から現在まで連続して遅延時間の測定を行っている。そのうち、本報では 2004 年 1 月～2005 年 7 月までのデータを対象とした。測定時間帯は、人工雑音が少ないと予想される時間帯である 18:00～翌日の 9:00 の間である。この時間帯で 1 s 間隔で連続して遅延時間の測定を行っている。受信点である桐蔭横浜大学と 40 kHz JJY 送信所との距離は 233.4 km であり、電波伝搬に要する時間は約 0.78 ms である。

4. 測定結果

4.1 タイムコードの遅延時間測定結果例

電波時計で復調された JJY のタイムコードの遅延時間の測定結果の一例として 2005 年 7 月 28 日 1:00～2:00 の 1 時間 3600 点分の結果を Fig.3 に示す。

遅延時間はタイムコードを構成している

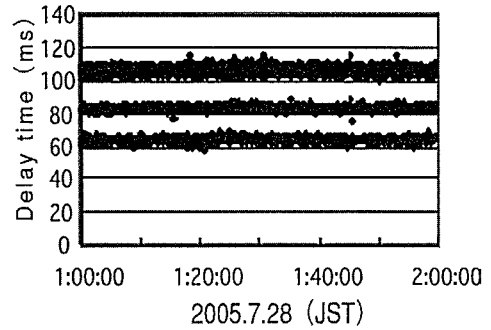


Fig.3 Delay-time of each second

0.2s パルス、0.5s パルス、0.8s パルスの順に大きくなり、明確に 3 層に分かれた。測定した遅延時間の値とタイムコードフォーマットを照合することで、3 種類のパルスのパルス幅と遅延時間の関係を検討することにした。検討に使用したのは 2005 年 7 月 28 日 1:00～1:01 の 60 秒間の遅延時間データとタイムコードである。60 秒間の遅延時間とタイムコードを比較したのが Table 1 である。

遅延時間が 60 ms 付近である場合は、Reference Marker 又は Position Marker、遅延時間が 80 ms 付近である場合は、タイムコードが「1」すなわち 0.5s パルス、遅延時間が 100 ms 付近である場合は、タイムコードが「0」すなわち 0.8s パルスを表していることを示している。

4.2 タイムコードの遅延時間の標準偏差 (長期間)

2004 年 1 月～2005 年 7 月の 19 ケ月間、毎月 8 日、18 日、28 日の 3 日間について、それぞれ 1:00～2:00 の 1 時間分の遅延時間の標準偏差測定結果を表したのが Fig.4 である。Fig.4 で示した測定期間におけるタイムコードを構成する 3 種類のパルスの遅延時間の平均値とその標準偏差を示したのが Table 2 である。

2004 年 1 月～5 月、2005 年 1 月以降の遅

Table 1 Delay-time and Time-code

時刻	遅延時間 (ms)	タイムコード
1:00:01	105.3341	0
1:00:02	105.5991	0
1:00:03	104.3201	0
1:00:04	105.3759	0
1:00:05	105.9476	0
1:00:06	105.2824	0
1:00:07	105.176	0
1:00:08	104.1516	0
1:00:09	104.3072	PM
1:00:10	107.3052	0
1:00:11	105.3639	0
1:00:12	105.0193	0
1:00:13	104.533	0
1:00:14	103.8265	0
1:00:15	106.1565	0
1:00:16	100.0911	0
1:00:17	105.2538	0
1:00:18	82.6411	(1)
1:00:19	104.273	PM
1:00:20	107.8856	0
1:00:21	105.4572	0
1:00:22	81.3878	(200)
1:00:23	105.7242	0
1:00:24	104.0556	0
1:00:25	102.8335	0
1:00:26	105.8443	0
1:00:27	104.8857	0
1:00:28	104.2956	0
1:00:29	104.4817	PM
1:00:30	80.4748	(8)
1:00:31	104.742	0
1:00:32	104.5331	0
1:00:33	81.1228	(1)
1:00:34	101.7349	0
1:00:35	102.918	0
1:00:36	105.1814	0
1:00:37	104.7721	0
1:00:38	104.4008	0
1:00:39	104.273	PM
1:00:40	108.2834	0
1:00:41	105.9089	0
1:00:42	104.4845	0
1:00:43	104.1351	0
1:00:44	103.9311	0
1:00:45	103.7257	0
1:00:46	84.257	(4)
1:00:47	102.0933	PM
1:00:48	83.5185	(1)
1:00:49	82.8438	PM
1:00:50	82.4431	(4)
1:00:51	105.2973	0
1:00:52	105.5585	0
1:00:53	105.2456	0
1:00:54	104.3441	0
1:00:55	102.1902	0
1:00:56	104.0629	0
1:00:57	105.0106	0
1:00:58	104.9846	0
1:00:59	86.827	PM

なった。中でも、2004年6～8月の0.2 sパルスの標準偏差が6 ms以上となり、通常の約3倍の値を示した。通常は3種類のパルスのうち0.8 sパルスの標準偏差が最も大きくなることが多いが、2004年6月～8月の期間は0.2 sパルスの標準偏差が大きくなった。2005年の同じ季節にはこの現象が現れていないので季節変動によるものでないと思われる。2004年10～12月では、0.8 sパルスが4 ms以上となり、通常の2.5 msより大きくなった。

17ヶ月の測定期間において、0.5 sパルスは3種類のパルスの中で標準偏差が最も小さくなった。

5. まとめ

- (1) 電波時計で復調された JJY のタイムコードを構成しているパルス幅が 0.2 s、0.5 s、0.8 s の 3 種類のパルスの遅延時間は、それぞれ、64 ms、82 ms、105 ms 程度であることが判明した。ただし、遅延時間の大きさは本測定で使用した電波時計固有の値である。
- (2) 3 種類のパルスの遅延時間の標準偏差は 0.5 s パルスが一番小さくなることが分った。遅延時間の標準偏差を時刻精度とすると、0.5s パルスで 2 ms 程度である。
- (3) 0.5s パルスを利用することにより、1 s 以下を表示できる電波時計の実現の可能性がある。

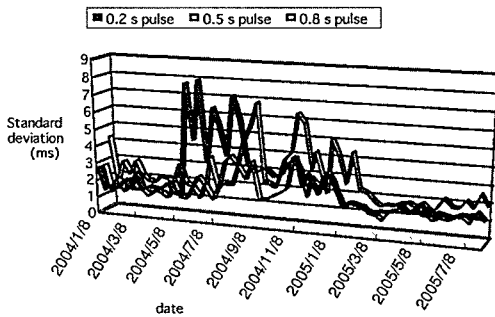


Fig.4 Standard deviation (2004.1～2005.7)

Table 2 Delay-time and Standard deviation

Receiving Point	Pulse signal	Delay time (ms)	
		2004	2005
Yokohama	0.2 s	64±4.0	63±1.7
	0.5 s	82±2.3	82±1.4
	0.8 s	105±3.5	104±2.5

遅延時間の標準偏差は、通常の標準偏差値である 1 ms～2 ms 程度の値である。2004年6月以降は3種類のパルス共標準偏差が大き

あとがき

JJY を利用する場合、JJY 電波の位相安定性を利用した精度そのものの利用と電波時計のように時刻の同期性の利用に主体をおいたものの2種類がある。本報は安価な電波時計で復調されたタイムコードの遅延時間を測定し、その標準偏差を測定することで、電波時計の時刻精度を求め、1 s 以下を表示する電

波時計の可能性を検討するために行っているものである。

参考文献

- (1) 吉村和昭、安田明生：「電波時計による長波標準電波のタイムコードの遅延測定」、日本航海学会論文集第 111 号、pp.143-148、日本航海学会、2004.9
- (2) 独立行政法人通信総合研究所：「長波帯標準電波施設案内」、通信総合研究所電磁波計測部門日本標準時グループ、2002.9
- (3) Kazuaki Yoshimura, Akio Yasuda：“Measurement of the Delay-Time for Time-Code sent from JJY station referring to time pulse of GPS Receiver”, The International Symposium on GPS/GNSS 2004, P110, pp1-10, 2004.12.7, The University of New South Wales, Sydney
- (4) Takashi Yamashita, Kazuaki Yoshimura, Naimu Kuramochi：“Long Term Measurement of Delay-Time on Time-Code sent from JJY station by using 1pps Signal of GPS Receiver”, The International Symposium on GPS/GNSS 2005, 6B03, pp1-5, 2005.12.9, The Hong Kong Polytechnic University