

長波標準電波 JJY のパルス幅の遠隔測定

Remote Measuring of Pulse-width of JJY Wave

吉村 和昭 根塚 正勝

桐蔭横浜大学工学部電子情報工学科

(2007 年 3 月 1 日 受理)

キーワード: 長波標準電波 JJY、遅延時間、パルス幅、時刻信号、電波時計、遠隔測定

Keywords: JJY, delay-time, pulse-width, time-code, radio-controlled clock, remote measuring

1. はじめに

我が国の、標準周波数と日本標準時を決定、維持しているのは、東京都小金井市にある独立行政法人情報通信研究機構である。情報通信研究機構が決定した標準周波数と日本標準時は周波数 40kHz で福島県から、60kHz で佐賀県から長波標準電波（呼出符号 JJY。以下 JJY という）として、24 時間休むことなく送信されている¹⁾。

JJY は特別な人だけが利用しているのではなく、現在、広く普及している電波時計で利用しているがほとんど意識はされていない。JJY は、時刻、年月日などを周期が 1s でパルス幅が 0.2s、0.5s、0.8s の 3 種類のパルスで構成されるタイムコードで表わしており、JJY 電波に重畳されているタイムコードが受信できれば電波時計の時刻の自動修正が出来る。

電波時計は、長波標準電波が持つ絶対的な精度の利用ではなく、時刻が狂わないという

時刻の同期性に重点が置かれている。JJY が使用している周波数付近は雑音の多い周波数領域で、電波時計はパソコンや蛍光灯などの影響を受け易く、設置場所に注意しないと JJY の電波を受信できないことになり、電波時計の時刻の自動修正も出来ないこととなる。一般に電波時計の受信機には雑音を回避するためクリスタルフィルタが使用されている。そのため、電波時計に用いられている受信用の集積回路の種類にもよるが、復調されたタイムコードパルスの立ち上がり時間は UTC（協定世界時）に対し数十 ms から 100ms 以上遅れる^{2) 3)}。

電波時計の置かれた環境によっては、電波時計受信機に入力される前のタイムコードのパルス幅が変化したりパルス自体が抜け落ちていた場合⁴⁾ などは電波時計の時刻の自動修正は困難になる。タイムコードパルスの遅延時間を測定する場合、タイムコードパルスが正規のパルス幅を有するパルスであるか否かを確認する必要がある。

本報告は試作した JJY 電波のタイムコードパルスのパルス幅測定装置と鉄道用情報メモリ、モデム、携帯電話機を組み合わせで遠隔地において測定されたパルス幅データを電話回線を通じてパソコンに取り込むシステムで実験を行った実験報告である。パルス幅測

定時刻と同時刻に各々のパルスの立ち上がりの遅延時間も測定し、パルス幅と遅延時間の関係についても検討した。

2. タイムコードのパルス幅測定方法

JJY 電波のタイムコードを構成しているパルスは周期が 1s でパルス幅が 0.2 s、0.5 s、0.8 s の 3 種類の正弦波パルスである。

電波時計で時刻の自動修正を行うためには、タイムコードを構成している 3 種類のパルスをどのような悪条件の雑音下でも確実に識別できる能力を有する受信部とパルスの種類の判別が必要となる。

パルス幅の異なるパルスの識別方法に次に示すような方法が考えられる。

「2 進の 1 を表す 0.5s パルス」と「2 進の 0 を表す 0.8s パルス」を識別するには図 1 に示すように、信号の立ち上がりから、両者のパルスの平均長、すなわち 0.65 s 後の状態を検出すればよい。パルスの立ち上がりから 0.65 s の時点でパルスの振幅が存在すれば、0.5 s パルスではあり得ないことになり、0.8 s パルスと判定することが出来る。

同様に、「リファレンスマーカ、又は、ポジションマーカである 0.2 s パルスと 0.5 s パルスの識別は図 2 に示すようにパルスの立ち上がりから 0.35 s 後の状態を検出すればよい。

このような方式のパルス識別は D フリップフロップと単安定マルチバイブレータを組み

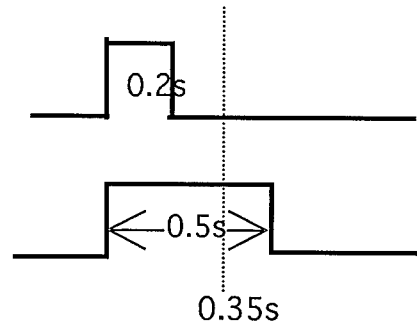


図 2 0.2s パルスと 0.5s パルスの識別

合わせることで実現することができる⁵⁾。図 3 にパルス幅識別回路の構成例を示す。図 3 の回路は、0.5s パルスと 0.8s パルスを識別する回路とパルス幅 0.2s のマーカを識別する動作をする。図 4 のパルス識別タイムチャートを使用して説明する。例として、入力信号には「0、1、M、0、1、0」の信号が加わるものとする。

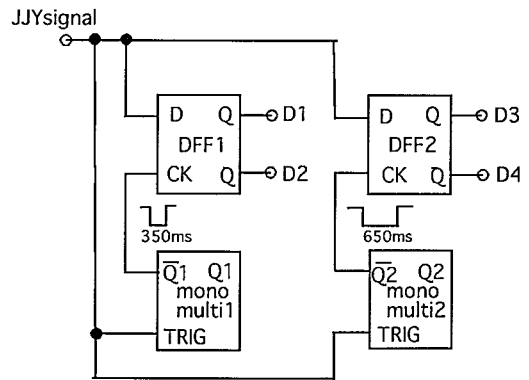


図 3 パルス幅識別回路の構成例

受信機で JJY 電波を受信し、タイムコードを構成する 3 種類のパルスをそれぞれのパルス幅に比例した直流電圧に変換された信号 (JJYsignal) を単安定マルチバイブレータ (monomulti1, monomulti2) のトリガ信号とする。トリガ信号が加わると、Monomulti1 の出力端子 Q1 からはパルス幅 350ms のパルス、反転端子 $\overline{Q1}$ からはパルス幅 650ms の信号を出力するように設計する。同様に、Monomulti2 の出力端子 Q2 からはパルス幅

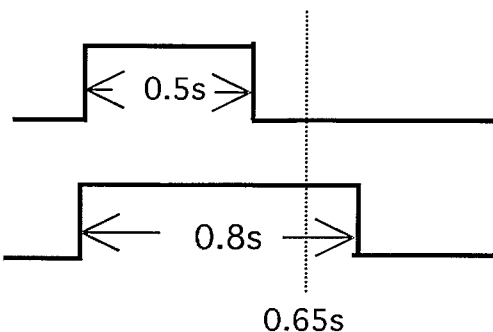


図 1 0.5s パルスと 0.8s パルスの識別

650ms のパルス、反転端子 $\overline{Q2}$ からはパルス幅 350ms の信号を出力するよう設計する。 $\overline{Q1}$ の信号が D フリップフロップ DFF1 のクロック信号となり、 $\overline{Q2}$ の信号が D フリップフロップ DFF2 のクロック信号となる。D フリップフロップはクロックの立ち上がり時のデータ状態を保持するので、DFF1 の出力端子 D1 からは、図 4 に示すように 0.2s パルス、すなわち、マーカーが現れると電圧が「L」になる信号が得られる。D1 端子の信号が「H」であれば出力は「2 進の 1」か「2 進の 0」のどちらかの信号であることになる。

同様に、DFF2 の出力端子 D4 からは、入力された JJYsignal の 0.5s パルスに対応する「2 進の 1」、0.8s パルスに対応する「2 進の 0」が得られる。すなわち、入力された JJYsignal の「0、1、M、0、1、0」に対して DFF2 の出力端子 D4 から「0、1、1 (M)、0、1、0」を得ることができる。

JJY のタイムコードを構成する 3 種類のパルスのうち、パルス長が隣り合わせのパルス幅の差はすべて 0.3s である。電波時計の時刻自動修正に最低限必要なタイムコード 1 フレーム分 60s と、パルス長が隣り合わせのパルス幅の時間差の比を求めると (1) 式、(2) 式のようになる。

0.8s パルス $P_{0.8}$ と 0.5s パルス $P_{0.5}$ のパルス幅の時間差とタイムコード 1 フレーム分の比は

$$\frac{P_{0.8}-P_{0.5}}{1\text{frame}} = \frac{0.8-0.5}{60} = 0.005 \dots\dots (1)$$

0.5s パルス $P_{0.5}$ と 0.2s パルス $P_{0.2}$ のパルス幅の時間差とタイムコード 1 フレーム分の比は

$$\frac{P_{0.5}-P_{0.2}}{1\text{frame}} = \frac{0.5-0.2}{60} = 0.005 \dots\dots (2)$$

電波時計の自動時刻修正に必要な情報の単位であるタイムコード 1 フレーム分 60s あたり 0.3s、時間率にして 0.5% 程度連続した雑音が生じる場合に生じる場合は円滑に自動修正が出来ないことになる。パルス幅測定においても同様で、パルス幅が 0.2s、0.5s、0.8s の 3 種類のいずれかと認識できなくなる可能性がある。D フリップフロップと単安定マルチバイブレータで構成された電子回路による方式では、パルスの振幅が規定値にある場合は問題はないが、JJY の受信電界強度以上の雑音を生じるような場合においては、パルスの識別が困難になる恐れがあるし、識別に時間を要することになる。

そこで、図 5 に示すような、受信した JJY 電波から電子回路でパルス波形を再生し、再生されたパルスの振幅を 10 ms 間隔で継続して測定することにより、パルス幅を測定する方式のパルス幅測定装置をマイクロコントローラ PIC (Peripheral Interface Controller) を利用して試作した⁶⁾。

JJY 電波のパルス幅に対応した直流電圧 (直流パルス) を得る方法の一つにリトリガブル単安定マルチバイブレータを使用する方法が

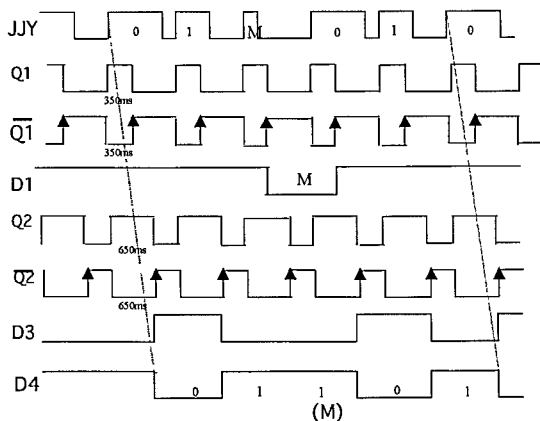


図 4 パルス識別タイムチャート

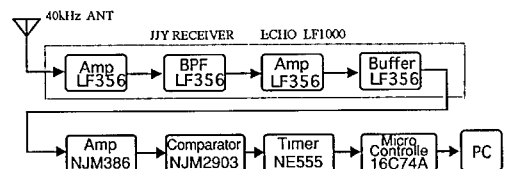


図 5 JJY 受信機とパルス幅測定装置のブロック図

ある。リトリガブル単安定マルチバイブレータはトリガ信号が一発の場合は、予め設定されたパルス幅のパルスを一つ発生するのみであるが、パルス発生中にリトリガすると、その時点からさらにパルスが発生するので、出力電圧は「H」状態に保持されることになる。そして、最後のトリガ信号で設定値のパルス幅のパルスを発生して終了する。リトリガブル単安定マルチバイブレータを使用することにより、容易に JJY 電波のような正弦波パルスからパルス幅に対応した直流電圧に変換することができる。この働きをタイマ集積回路 NE555 で行なわせている。

JJY 信号波形と試作したパルス幅測定器で再生されたパルス波形を図 6 に示す⁷⁾。

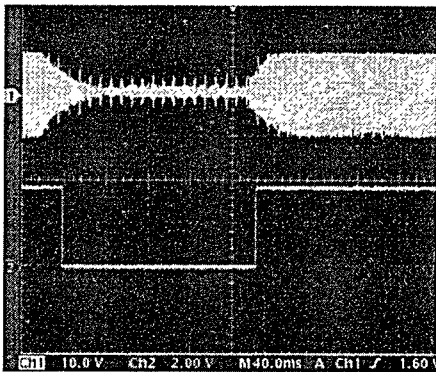


図 6 JJY 信号 (上) と再生されたパルス波形 (下)
(横軸: 40ms/div, 縦軸: 10V/div (上) 2V/div (下))

3. 遠隔地におけるパルス幅測定システム

図 5 で示した JJY 受信機とパルス幅測定器に鉄道用情報メモリ、モデム及び携帯電話機を使用し、遠隔地において、タイムコードのパルス幅の測定を可能にしたシステムのブロック図を図 7 に示す。

本装置の受信周波数は、40 kHz で、「おおたかどや山標準電波送信所」から送信されている 40kHz の JJY 電波のタイムコードの

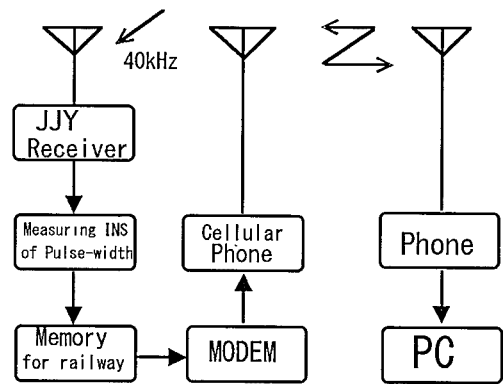


図 7 遠隔地におけるパルス幅測定システム

パルス幅を測定することが出来る。横浜市青葉区の測定点で使用している 40kHz JJY 受信用アンテナは角型ループアンテナで海拔約 50 m、地上高約 7m の見晴らしの良い場所に設置している。

パルス幅測定システムで使用した機器を次に示す。

JJY Receiver : Echo Keisokuki LF1000 (40kHz)

Memory for Railway : TOHO Electric Industry (SD4243)

Modem : SUNTAC (P2)

Cellular Phone : KYOCERA TK22

パルス幅測定時刻と同時刻に、電波時計で復調されたタイムコードパルスの立ち上がりの遅延時間測定システムを図 8 に示す²⁾。

GPS 受信機から出力される、協定世界時 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

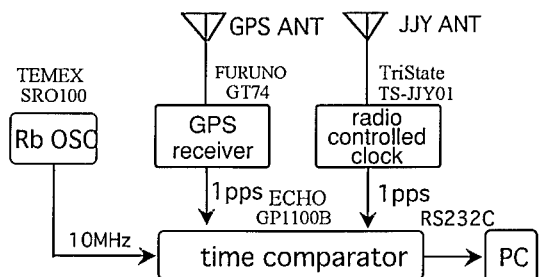


図 8 タイムコードの遅延時間測定システム

遅延時間を 1s 間隔で測定するものである。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している。

遅延時間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 μ s)

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

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

Rubidium Oscillator : TEMEX SRO100 (Stability : 5×10^{-11} /month)

今回の測定は 40 kHz JJY 送信所との距離が 233.4 km である横浜市青葉区にある桐蔭横浜大学で行った。JJY 送信所から受信点までの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 パルス幅測定結果例

2006 年 12 月 10 日 13:30:00-13:59:59 の 30 分間 (1800s) パルス幅を測定した結果を図 9 に示す。

パルス幅測定時間は 1800s であるので、測定パルス数は 1800 個となる。図 9 より 0.2s パルスと推定されるパルス幅が 200ms、210ms、220ms のパルスの合計は $2+172+36 = 210$ 個、0.5s パルスと推定されるパルス幅

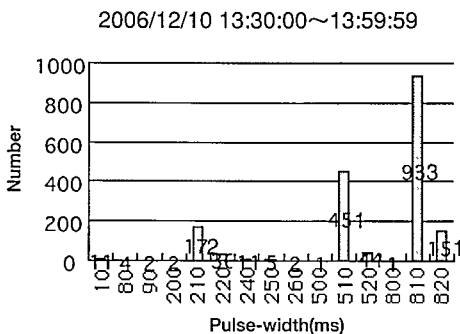


図 9 パルス幅測定結果

が 500ms、510ms、520ms のパルスの合計は $1+451+44 = 496$ 個、0.8s パルスと推定されるパルス幅が 800ms、810ms、820ms のパルスの合計は $1+933+151 = 1085$ 個で合計 1791 個となり時間では 1791s 分である。9 個の不足パルスがあるのは、13 時 45 分 40 秒から 48 秒までの 9 秒間は無線局運用規則第 30 条に基づき JJY のモールス符号が 2 度伝送されているからである。

JJY のモールス符号を 2 度伝送すると、短点が 6 回、長点が 18 回必要となる。短点の伝送時間と長点の伝送時間は 1 対 3 の割合である。図 9 の 80ms パルス 4 個と 90ms パルス 2 個の計 6 個は短点、240ms パルス 11 個、250ms パルス 5 個、260ms パルス 2 個の計 18 個は伝送時間の長さが短点の約 3 倍であることから長点と推測される。

以上の結果から本装置は伝送されているパルスの個数及びパルス幅を適切に測定していると考えられる。

4.2 遅延時間測定結果例

パルス幅測定時刻と同時刻の 2006 年 12 月 10 日 13:30:00-13:59:59 の 30 分間 (1800s) 遅延時間を測定した結果を図 10 に示す。

遅延時間はタイムコードを構成している 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 グループに分かれた。それぞれのパルス毎の遅延時間の平均値と標準偏差を次頁の表 1 に示す。

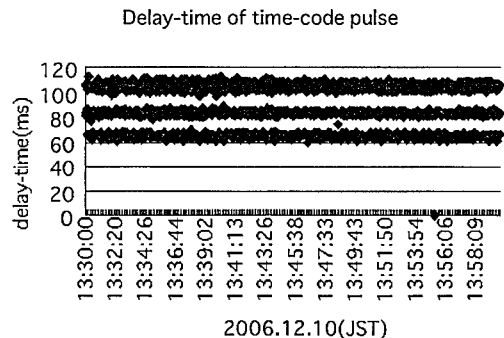


図 10 遅延時間測定結果

表1 タイムコードの遅延時間と標準偏差

Receiving point	Pulse signal	Delay time (ms)	
		Average	SD
Yokohama	0.2 s	64.49	1.64
	0.5 s	83.08	1.39
	0.8 s	104.80	1.98

遅延時間が 60 ms 付近である場合は 0.2s パルス、80 ms 付近である場合は 0.5s パルス、100 ms 付近である場合は 0.8s パルスに対応している。

5. 結論

- (1) 試作したパルス幅測定装置は 1s 周期で送信されている JJY タイムコードのパルス幅を分解能 10ms で測定可能で、パルス幅の測定結果をパソコンに 1s 毎に取り込める。鉄道用情報メモリ、モデム、携帯電話機と組み合わせることにより、JJY のタイムコードパルスのパルス幅の遠隔測定が可能になった。
- (2) パルス幅測定時刻と同時刻にタイムコードの遅延時間を測定することにより、タイムコードのパルス幅と遅延時間とパルス幅の関係を検討した。
その結果、横浜受信点の場合、タイムコードパルスの遅延時間が 75ms 以下の場合は 0.2s パルス、遅延時間が 75ms ～ 90ms の場合は 0.5s パルス、遅延時間が 90ms 以上の場合は 0.8s パルスであることが分った。
ただし、遅延時間の大きさは本実験で使った電波時計固有の値である。
- (3) 遅延時間を測定することにより、JJY タイムコードの 3 種類のパルスの分類が可能である。
- (4) タイムコードのパルス幅を測定することにより、その測定点が電波時計の設置場所として適不適かを決定できる。

参考文献

- (1) 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
- (2) 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
- (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, The University of New South Wales, Sydney
- (4) 今村美由紀、佐藤浩之：「アナログ表示電波クロックの謎」、エレクトロニクス、pp.24、1999.11
- (5) 浜田雅生：「40kHz 受信機の試作とタイムコードデコーダー」、HAM Journal No.62、pp.4-12、CQ 出版社、1989.8
- (6) 吉村和昭：「電波時計による JJY のタイムコードの遅延時間とパルス幅」、電気学会論文誌 C、pp.1203-1208、Vol.125、No.8、2005.8
- (7) 吉村和昭：「長波電波時計の特性解析に関する研究」、東京商船大学博士論文、pp.87、東京海洋大学、2006.9