アモルファス電波アンテナに関する研究（第２報）
（アンテナの感度評価方法）

伊関　陽一郎*　菅家　章*　須田　孝義**　浅間　正剛***　相羽　智***　井浦　博男***

A Sensitivity Evaluation method of an Antenna for Standard Radio Waves

ISEKI Yoichiro*, KANKE Akira*, SUDA Takayoshi**, ASAMA Masatake***,
AIBA Satoshi*** and IURA Hiroo***

抄　　録

試作した電波腕時計用の標準電波受信アンテナの特性の評価項目として L 値，Q 値があるが，最終的には時計全体としての感度を評価する必要があり，そのための手法について検討した。疑似標準電波を放射し，それを受信して得られる出力信号の変化から感度を求めることができ，試作アンテナの感度評価を可能とした。

1．緒　　言

我々は，昨年度に引き続き電波腕時計用の標準電波受信アンテナの開発を行ってきた。開発品が小型のものになるにつれ，これまで評価項目としてきた L 値（インダクタンス）およびコイルの性能を表す Q 値だけでなく，受信用 IC と組み合わせて実際に時計とした際の感度も評価する必要に迫られた。そこで，そのための手法の検討・開発および関連基礎データの収集を行った。

2．電波時計のシステム

2.1　JJYのタイムコード

日本の標準電波(JJY）は，40kHz もしくは 60kHz の搬送波に，出力が 10:1 となるように 1Hz のタイムコードで AM 変調をかけたもので，60 ビット（1 分）を 1 フレームとするシリアルのディジタル信号である。

タイムコードは分，時，曜日，1 月 1 日からの通算日，西暦年，うるう秒情報などを BCD（2 進化 10 進法）で表現しており [1),4)]，2 進数の'0', '1' の他、フレームの始まりを示すマーカと 10 秒ごとにデータ位置の目印として入るポジションマーカと呼ばれる信号の計 3 種類の信号で構成される。それぞれの信号は図 1 のようなパルス幅の信号であり，マーク（H レベル）の長さが 200ms のものはマーカ（M：0 秒時）およびポジションマーカ（P0 ～ P5：10 秒ごと）を，500ms のものは 2 進数の'1' を 800ms のものは 2 進数の '0' をそれぞれ表している。

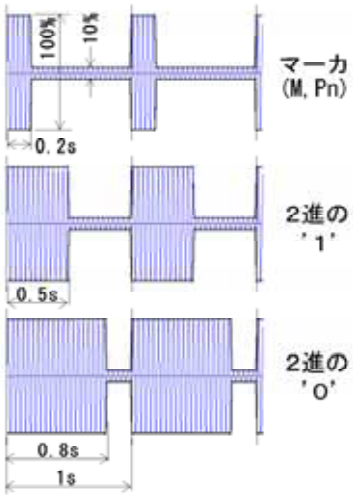


図1 JJYの信号

---

*　　研究開発センター
**　　下越技術支援センター
***　新デンシ株式会社新潟工場

2.2　タイムコード受信用IC

市販の電波時計は一般的に，タイムコード受信用 IC を用いて，受信した標準電波から 1Hz のタイムコードを復調し，これをマイコンで判読して正確な時刻を取得し表示を修正している。

通常，受信用 IC は，アンテナで受信した微弱な電波を増幅する RF 増幅部，外付けの水晶フィルタで不要な信号を除去した後それを検波復調する整流部およびその信号を整形しマイコンをドライブできるレベルのタイムコード出力(以下，TCO）にするデコーダ部からなる。

本研究では，この TCO 信号のパルス幅および整流後の信号（検波出力）に着目して感度評価の検討を行った。

3．実　　験

3.1　受信状態による出力の変化

市販の電波時計を改造し，アンテナの交換および TCO 信号の取り出しができるようにしたものを用いて実験を行った。

時計は小型の置き時計型のものと腕時計を利用し，前者は TCO 信号の他に検波出力も取り出せるようにした。図 2 に腕時計の例を示す。

図 3(a)は電界強度が十分強く安定して受信できる状態の，また図 3(b)は電界強度が弱く正常に受信できない状態の出力信号波形の例で，それぞれ上段が検波出力, 下段が TCO 信号である。受信状態が悪くなると検波出力が低下しノイズを含むようになり，TCO 信号もノイズの多いものとなる。同時に波形そのものが崩れ，パルス幅が変化する。そこで，一定時間内に観察された TCO 信号について，そのパルス幅が所定の範囲内に収まらないものの割合から受信の良否を判定することにした。

なお，パルス幅の測定にはアンリツ製周波数カウンタ MF1603A を，40kHz の電波の発生には同じくアンリツのシンセサイズト標準信号発生器（以下，SSG）MG3633A をそれぞれ用いた。

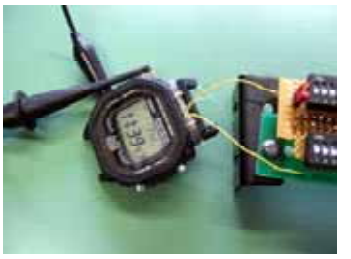
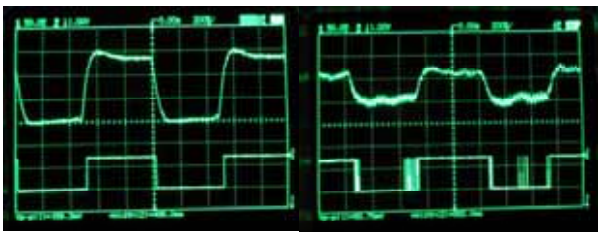


図2　使用した腕時計



(a)安定受信時　　(b)不安定時

図3　出力信号波形例

3.2　実際のJJYのパルス幅

図 4 に，夜間の静穏時に JJY を受信した場合と，近くに雑音を発する機器がありノイズの多い環境で JJY を受信した場合の，TCO 信号のパルス幅の分布を示した。

JJY で送出されるタイムコードのパルス幅は 200ms, 500ms および 800ms（いずれも誤差±5ms）であるが，それを受信して得られる TCO 信号のパルス幅は静穏時では，中心値が 180ms, 485ms および 780ms 程度でそれぞれ前後に 70ms 程度の幅を持った分布をしている。

雑音環境では中心値がずれ，分布も広くなっていることが分かる。つまり，'マーカ(M,Pn)', '0', '1' のいずれとも判別できないデータが増えることになり，それだけ時刻の修正が困難になることになる。

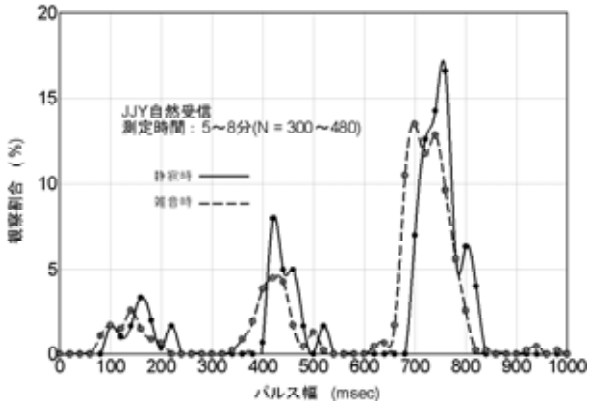


図4　JJY受信時のTC0信号パルス幅

3.3　疑似標準電波の生成

受信用 IC にもよるが，同じ符号のみを連続して受信した場合と，３種類の符号が組み合わされて送られている実際の JJY（と同等の信号）を受信した場合とでは，出力されるパルス幅の分布状態が異なることが確認された。

また，タイムコードによる変調度（実際の JJY では 10:1）によっても受信時の状況が異なることから，評価を行うにあたっては，実際の標準電波にできるだけ近づけた形の電波を発生させて利用する必要性があった。

そこで，パソコンを用いて疑似タイムコードを生成するプログラムを開発し，その信号を適切なレベルに変換するインタフェースを介して SSG の外部変調入力とすることで疑似標準電波を生成した。疑似タイムコード生成プログラムの開発に当たっては，1 秒や 0.5 秒などの時間間隔が可能な限り正確に得られるようにするため，予期せぬ割り込み処理が発生して遅延が生ずる可能性のある Windows の利用を避け，あえて DOS で動作させるようにした。また，最終的にはワンボードマイコンを用いて疑似タイムコードを生成するようにした。

3.4　評価方法およびデータのバラツキ

感度評価は図 5 に示したような機器構成で行った。つまり，周囲の電波を遮蔽するため供試アンテナと受信部を GTEM セル内の一定位置に置き，タイムコードで変調をかけた 40kHz の電波をセルに入力し，受信部から得られる TCO 信号のパルス幅を周波数カウンタを用いて計測するようにした。

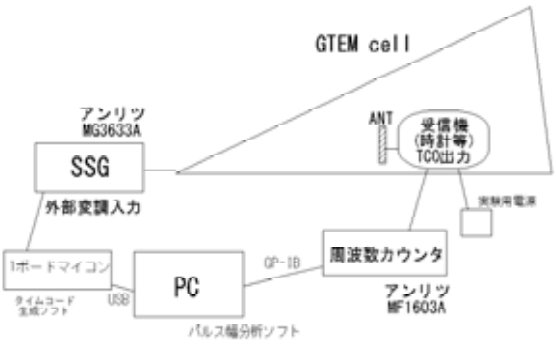


図5　評価に用いた機器構成

計測したパルス幅によって '0'(710 ～ 850ms), '1'(415 ～ 555ms)， 'M,Pn'(110 ～ 250ms)を判別し，それらから外れるものを判別不可データとし，測定時間内に観察された TCO 信号の総パルス数に対する判別不可データ数の割合を判別不可率として評価の指標とした。

図 6 は，1 分間の測定を 10 回繰り返し，SSG 出力に対して判別不可率がどう変化するかを示したもので，実線が平均値，破線が標準偏差である。当然ながら出力が増加するに従い判別不可率は低下し，結果のバラツキも小さくなる。

1 分の測定では出力が十分であってもまだバラツキがみられたので，測定時間を変えて結果のバラツキをみたのが図７である。1 回の測定時間が長くなるほどバラツキは小さくなり，また，判別不可率も低くなる傾向がみられた。しかし，バラツキの減少は 7 分程度から頭打ちに

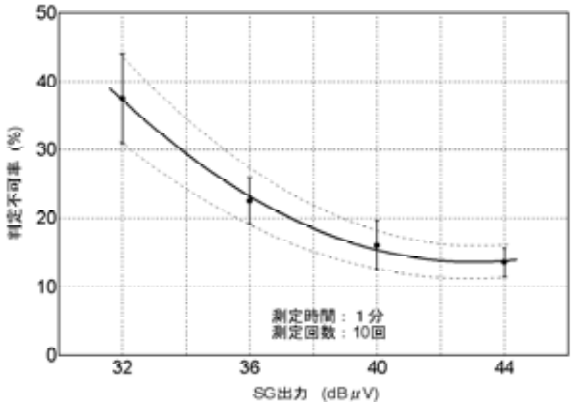


図6　SSG出力と判定不可率

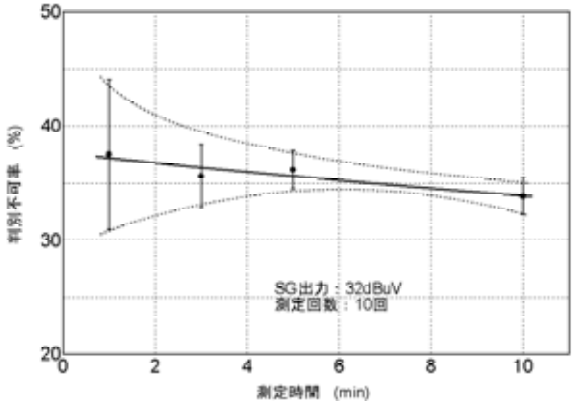


図7　測定時間と判定不可率の関係

なり，それ以上測定時間を延長してもあまりその効果は望めない。これから，実際的には 3 ～ 5 分程度の測定時間が適当と判断した。

実際の感度評価に際しては，3 分の測定を複数回行い，過半数の測定結果（判別不可率）が所定の値を超えない最低の SSG 出力を感度の値として採用した。

3.5　受信用ICによる違い

現在タイムコード受信用の IC は数社から製造販売され[2),3)]，各時計メーカに採用されているが，IC の種類（メーカ）によってその特性が異なることが分かった。

図 8 は，メーカの異なる IC を使った 2 種類の時計を用いて，日中室内の良好に受信できる状態で JJY を受信したときのパルス幅分布を示したもので，ピーク位置はもとより，広がりも異なったものとなっている。

このことから，評価の際には使われているタイムコード受信用 IC にあわせて評価プログラムのパラメータを設定する必要があることが分かる。実際この例の場合，IC メーカ A の IC にあわせたパラメータ設定を行った評価プログラムで判別不可率を求めると IC メーカ A については 6.4%であったのに対し，IC メーカ B は 13.8%と大きく異なる結果となった。

3.6　試作品の感度評価

これまで述べたようなことをもとにして評価条件を設定し，試作を行っている小型アモルファスアンテナや比較用の各種アンテナの感度評価を行い，本方法の有効性を確認している。

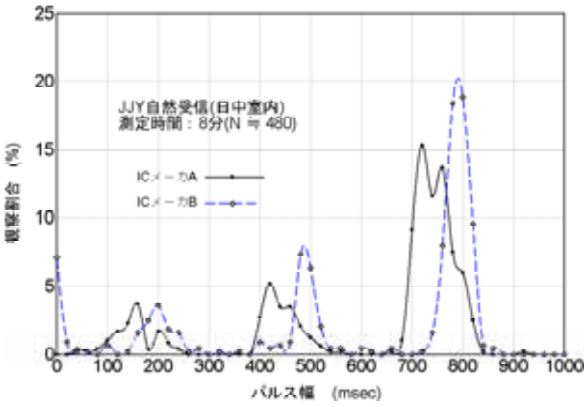


図8　ICによる違い

4．結　　言

標準電波受信用のアンテナの感度評価に関し，次のような基礎データの取得およびシステムの開発を行い，適切に感度評価を行えるようになった。

(1) 標準電波を受信して得られる TCO 信号のパルス幅はある程度の幅を持った分布がみられ，受信状態によってその分布は異なる。

(2) これを利用して，パルス幅が所定の範囲から外れたデータ数の割合で感度評価を行うことができる。

(3) 判定不可率のバラツキは測定時間を長く取ることで減少するが，約 7 分を超えるとそれ以上の効果はそれ程望めなくなる。

(4) タイムコード受信用 IC の種類（メーカ）によって TCO 信号パルス幅の分布が異なり，利用する IC にあわせて評価プログラムのパラメータを設定する必要がある。

(5) JJY のタイムコードを再現する疑似タイムコード生成プログラムおよび TCO 信号のパルス幅を集計分析する評価プログラムを開発し，標準信号発生器や GTEM セルおよび周波数カウンタと組み合わせて感度評価システムを構築した。

参考文献

1) 森川，“ 通信総合研究所の時間・周波数とその応用 ”，長波標準電波シンポジウム集録，2001，p1-5.

2) 近藤，丸山，大池，“ 電波時計用 LSI について ”, 沖テクニカルレビュー 202 号, 72, 2005, p88-91.

3) 木下雅貴，“ 電波時計受信用 LSI の開発 ”，長波標準電波シンポジウム集録，2001，p22-25.

4) 独立行政法人情報通信研究機構日本標準時グループ　http://jjy.nict.go.jp/