電波時計を船内時に整合可能な船舶用自動同期時計の開発

大西貴希*・鈴木治** 山下勝博***・三好敏夫***

Development of the Marine Master Automatic Synchronization Clock for Radio Controlled Clock onboard.

Takaki OHNISHI, Osamu SUZUKI, Katsuhiko YAMASHITA and Toshio MIYOSHI

Abstract

An onboard marine clock is adjusted every day. A master clock shall be matched standard time by the radio rule. The adjustment is performed by manual operation at the time and these works are the duty of deck officer.

The GPS receiver shall be include ocean going vessel. Network Time Protocol (NTP) uses the GPS time information. It can use shipboard LAN.

The author designed the 40kHz radio transmitter for radio controlled clock and the program code of ship's time for the Unix embedded microcomputer. The accuracy of NTP server is efficient for shipboard LAN and the marine master clock and slave clocks. The transmitter for the radio clock onboard deliver the time information to the ordinary radio controlled clock within few meters.

The authors installed some above integrated functions of the marine master clock to embedded computer. Finally, the generated time code can set some general radio controlled clocks by any ship's hour.

Keywords: *Marine Clock, GPS, Radio clock, Shipboard LAN, Ship's time*

キーワード: 船舶用時計、GPS、電波時計、船内 LAN、船内時

1 はじめに

大洋航海中の船内の時刻は「時刻改正」により、日々変化する。これに対応した船内にある船舶用時計は、親時計の時刻が変われば子時計が連動する仕組みになっている⁽¹⁾。また、義務船舶局は毎日 1 回以上、正確な時刻に時計を合わせる「時刻整合」(中央標準時または世界時)を行わなければならない⁽²⁾、船では周辺各国の短波報時放送を聞きながら時刻を合わせている。日本沿岸で時刻整合を行う場合は、中国や台湾が放送している報時放送を利用している。この方法を、普及している電波時計か、多くの船舶に搭載が義務化されている航法用 GPS を時刻源にして、協定世界時 (Coordinate Universal

Time 以下、UTC) に整合ではなく、常に同期するようなシステムとすれば、人間による時刻整合作業が不要になると考える。

これまでに、船舶用時計の高機能化の具体的な手法について航法用 GPS や電波時計を利用した時刻サーバ⁽³⁾や船内 LAN 対応の時刻整合及び時刻改正作業の自動化⁽⁴⁾に関する提案がなされている。

本研究では、自動的に時刻整合が行える電波時計の船上での利用状況の調査と、GPS を始めとする様々な時刻源を利用できる NTP⁽⁵⁾(Network Time Protocol)を始め、これまで報告された機能や仕組みを船舶用時計として利用できるよう組込マイコンに実装し、さらに電波時計の仕組みと 40kHz の許可不要な出力⁽⁶⁾(3m 離れた電界強度 500 μ V/m、

*学生会員 鳥羽商船高等専門学校専攻科海事システム学専攻 (〒517-8501 三重県鳥羽市池上町 1-1) 6601@st.toba-cmt.ac.jp

**正会員 鳥羽商船高等専門学校商船学科

***正会員 航海訓練所

以下、微弱出力)で船内各所の電波時計を船内時に自動整合できるシステムを開発する。これにより、大洋を航行する船舶が、陸岸近くを航行する場合は、各国の標準時を放送し、大洋を航行する場合は、船内時を放送することで、より便利に電波時計を利用する環境を提供する仕組みを確立する。

2 電波時計の仕組み

本研究では、船内各所にある電波時計を船内時に一斉に自動整合する仕組みとして電波時計の原理を利用する。電波を利用して利用者に時刻を自動的に知らせ、時刻を変えられる電波時計の放送の仕組みにより船内時を放送できれば、船内にある市販の電波時計を自動的に時刻整合および改正することが可能である。

2.1 電波時計用の時刻放送の仕組み

電波時計が利用している日本の報時放送(標準電波)は、独立行政法人情報通信研究機構(以下、NICT)が日本列島全域をカバーするために福島(40kHz)と佐賀(60kHz)から放送している。日本標準時の情報はデジタル符号(以下、タイムコード)となっており、その情報を伝送するのに1分間必要とし、報時放送は、一種のパルス幅変調のデジタル通信である。1秒間毎の秒信号の幅を長・中・短のパルス幅により、年、通算日、曜日、時、分等の情報が、1周期60秒(60ビット)で送出されている。この送出された1周期60秒のタイムコードを全て受信することで、日本標準時に整合することができる⁽⁷⁾。

2.2 船内での標準電波の受信状況

船舶用時計の自動整合を目的として、市販の電波時計の船内各所における受信状況を調査した。調査には、機器組込用の電波時計(トライステート社製 TS-JJY02)と据置き型の電波時計(セイコー製 SQ918)を使用した。受信状況は、船内の窓際の一部で受信できる程度であり、船舶用時計や受信設備が設置される船橋や無線室内では、電子機器が多く使用されているため、それからのノイズで標準電波がほとんど受信できず、時刻情報を得ることができなかった⁽⁸⁾。

2.3 海上における 40kHz 標準電波の受信率の測定

電波時計の受信システムを船外に設置し、受信状況がどの程度改善され、実用的であるか航海訓練所

練習船「大成丸」(全長:125m、総トン数:5886トン)の、訓練航海(名古屋港~東京港、神戸港~鹿児島港~東京港、延べ19日間)の停泊・錨泊・航行中に、標準電波のタイムコードの受信状態を連続で計測した。

Fig.1 は、航行中のタイムコードの受信状況を連続で記録する仕組みを示す。受信機はバーアンテナを用いて、40kHzの標準電波の受信状況を下記のように出力できるように改造したトライステート社製 TS-JJY02 である。

改造した電波時計から出力される情報

凡例: 年月, 時刻, 受信の可否, 0 or 1 or Marker

2007/12/01, 08:29:30, 1, 2

2007/12/01, 08:29:31, 1, 0

2007/12/01, 08:29:32, 1, 1

放送されているタイムコード情報は、電波時計内部のマイコンに組み込まれているプログラムを変更して、時刻と共にタイムコードパルスの可否、マーカの種類を RS232C で出力可能にした。この受信機は、受信部およびタイムコード検波部と解析部を分離できるもので、前者をバーアンテナを船首尾方向と直角となるように最上甲板上の 1.5m に設置し、解析部と記録用の PC を無線室に置いた。Fig.2 に、四国沖-東京間の航行中(平均速力:10 ノット)における1分毎のタイムコードの受信率と船首方位を示す。指向性のあるバーアンテナであるが、毎時 15、45 分にタイムコードとは違った長さの信号である、モールス符号で「JJY」を送信する以外に受信率の低下は少なく、全体の正受信率は9割以上であった。また、鹿児島~東京での航海では、送信場所から離れている場所と、バーアンテナの指向性によっては受信状況が低下することがわかったが、船舶でもアンテナ次第では、電波時計としての利用が可能であることはわかった⁽⁹⁾。

しかし、電波時計は、GPS を使わないので時刻情報の自律、そして、放送している国の夏時間を含む利用時刻を得られるメリットはあるが、電波時計用のアンテナを設置する手間と、全世界で利用できないことを考えると、搭載が義務づけられている航海用 GPS を使った NTP による船舶用時計の方が利点が多い。

3 組込型 UNIX マイコンによる親時計

船舶用親時計は、船内の子時計の他、機関制御室のデータロガーに時刻を供給している。船上での

Fig.1 Diagram of 40kHz standard frequency reception system in T.S. Tai-seimaru.

Fig.2 Time code NICT(40kHz) reception rate from port of Kagoshima to port of Tokyo.

時刻管理は、主として船内時計の時刻整合と地方時の時刻改正があり、親時計の調整の他、子時計の駆動と調針がある。現在、多くの PC が船内に搭載および持ち込まれているが、市販の親時計では PC への時刻供給ができないので、船内 LAN 上の PC とファイルサーバでの時刻不一致によるファイルの不整合などが生じるため、PC の時刻管理を親時計ができることが望まれている。これらの機能の実現に、ネットワーク対応のコンピュータ用 OS として、長年利用され、近年小型化している UNIX を利用し、従来の機能の他、近年ネットワーク化されている船載機器および PC へ対応可能な船舶用親時計を開発する。

3.1 航法用 GPS からの UTC 供給

一般的な航海計器からのデータ出力は、NMEA(National Marine Electronics Association 0813 Standard) で規定されており、RS-422 やカ

レントループなどの出力ポートからデータを取り出すことができる。GPS 受信機は、測位のみならず、正確な UTC を出力できることが多く、航法用 GPS 受信機の場合、自船位置や針路、速力などの航海情報を表示するだけでなく、他の機器に提供ができる。そのうち、UTC や日付、時刻の情報は、NMEA で決められたフォーマットのデータのうち、GPS より \$GPRMC センテンスのデータとして 1 秒毎に出力されているので、これを船上での NTP の時刻源として利用可能である。

3.2 ネットワーク対応の船舶用自動同期時計の構成

船舶用親時計の時刻の自動整合および同期を目的として、航法用 GPS が利用でき、多くの PC 用の OS にクライアントとして実装されている、NTP を利用することとした。NTP を実装するために組込用のマイコン、ルネサステクノロジ製 SH-4(266MHz) を利用した。このマイコンに OS として Linux2.6 を搭載した。Fig.3 は、航法用 GPS を利用できる NTP サーバと拡張 daytime サーバ⁽⁴⁾を使った構成を示し、Fig.4 が試作親時計の外観である。時刻源には航法用 GPS の他、さらに高精度の 1PPS(Pulse Per Second) 信号を使った時刻用 GPS や、電波時計が利用可能である。船内各所へ設置されている既存の親時計に連動する子時計のために、 $\pm 24V$ の信号を出力する。これにより子時計で船内の時刻を知ることができるほか、船内 LAN 上のクライアント PC では NTP と拡張 daytime プロトコルに対応したクライアントにより船内時を知ることができる。

3.3 試作親時計に内蔵した NTP サーバの精度

Fig.5 は、試作親時計の精度評価方法を示したものである。時刻源ごとに NTP サーバを用意し、それぞれのデータを収集し、比較用 NTP サーバで基準時刻との差を比較した。基準となる時刻源は、NICT が運用している NTP サーバである。Table 1 は、基準時刻との差 (time offset) を 5 分間隔で記録したときの、12 時間分のそれぞれの平均値と標準偏差である。Fig.6 は、時刻基準が異なる NTP サーバと NICT に同期した NTP サーバからの差を測定し、14 時間分を示したものである。GPS 受信機の PPS を利用する NTP サーバを除き、それぞれ数十 ms のオフセットと変動があるが、変動が大きい NTP サーバでも数時間周期で収束を繰り返

Fig.3 Diagram of proposed marine master clock with UNIX micro computer.

Fig.4 Proposed marine master clock.

Fig.5 A evaluation method of the proposed marine master clock.

している。これは、NTP が常に時刻を同期しようとしていることを示しており、このようにマイコン内で時刻にずれが生じて、正確な時刻を保ち続けることができる。

4 船内放送用の 40kHz タイムコード送信機

船内時を知らせる方法として、これまで述べた既存の子時計と船内 LAN 以外に、親時計の時刻を電

Table 1 Time offset of NTP server each time source(12 hours).

Data(ms)	toba-cmt	NICT	GPS	TEST
Average	9.97	10.02	-0.15	7.76
Std. Dev.	1.04	0.58	1.44	2.83

Fig.6 Accuracy of NTP by the Linux embedded microcomputer built-in proposed marine master clock.

波時計が受信する周波数（例えば 40kHz）でタイムコードを使って船内時を放送することを考えた。無免許で実施する場合には、出力は大きくすることはできないので、必要な箇所にアンテナを展張するか、送信機を増設することとする。なお、2 節で記述したように、船内ではほとんど電波時計が利用できず、時刻改正を行うということは、大洋航海中であり、これは各国の電波時計用の報時放送が受信できない海域でもあるので、本来の放送との混信による問題は少ないと考える。

4.1 40kHz 微弱出力タイムコード送信機の構成

Fig.7 が、試作した微弱出力船内時タイムコードの送信機（以下、試作送信機）の系統図である。

送信機は、発振器、緩衝器、電力増幅の 3 ステージ形式の一般的な CW 送信機を参考⁽¹⁰⁾に、Linux マイコンが発生した 3 種類のパルス幅から成るタイムコードを送信できるように、Buffer を介してパルス信号を入力させることで発信周波数の 40kHz が変動しない構成とした。

40kHz 発振器には、水晶時計用の発振ユニットを使用した。親時計の Linux マイコンで正分毎に生成した NICT の標準電波と同じ構成の船内時タイムコードは、総務省の方式⁽⁷⁾と同じとし、FET を使った緩衝増幅器に入力し、40kHz の電波がタイムコードで変調される。その後、電力増幅器により増幅しアンテナから船内向けに船内時を送信する。この信号を受信した電波時計は、親時計と同じ時刻（船内時）の表示が可能となる。

Fig.7 Diagram of proposed 40kHz weak power transmitter.

4.2 試作送信機の電界強度

試作した送信機の受信電力をスペクトラムアナライザ (アドバンテスト製 R3131) で確認した。送信アンテナから 1m 離れた場所では、Fig.8 に示す通り、 -75.8dBm であり、同一距離で動作中の PC のノイズと同程度 (-75.9dBm) と低いレベルであった。3m 離れた場所で測定したところ、測定レベル以下で、測定できなかったため、1m での受信強度から、電界強度で換算して推定したところ、 $1\mu\text{V/m}$ 以下であり、規定内に収まっていることを確認した。そして、手元にあった市販の電波時計 (電波時計キット: トライステート社製 TS-JJY02、腕時計: カシオ製 LNA-100、置時計: セイコー製 SQ918) を、1m の距離で日本標準時、任意の時刻 (世界時、適当な未来および過去の時刻) に変えることができることも確認し、船内時用のシステムとして利用できることがわかった⁽¹¹⁾。

4.3 試作送信機の送信可能範囲

試作送信機を鳥羽商船高等専門学校の練習船「鳥羽丸」 (全長: 40m、総トン数: 244 トン) と大成丸に持ち込み、送信可能範囲を調査した。送信側のアンテナには、直径 7cm、22 回巻きのループアンテナを使用し、受信の確認は、バーアンテナを利用する電波時計 (トライステート社製 TS-JJY01) を使用した。タイムコード受信の可否は、この電波時計上に搭載されている、40kHz を受信・検波したことを示す TCO ランプにより確認した。送信機と電波時計間の距離は 1m 間隔で離し、受信可能であった 6m まで調査したところ、距離が 3m までは、確実にタイムコードを受信していたが、4~5m の間では、送信したタイムコードのうち 20~30% 程度し

Fig.8 Receiving intensity of the proposed transmitter.

か受信しなかった。本来、電波時計は、放送されているタイムコードを 1 周期分全て受信しないと標準時に整合しないことから、試作送信機の送信可能範囲は、確実にタイムコードを受信していた 3m 程度であることがわかった。この出力を変えずに、船内の広い場所に放送するために、地下鉄の誘導無線やトンネル内の中波ラジオ放送の再中継⁽¹²⁾ の仕組みのように長いワイヤー状のアンテナを利用することとした。

4.4 40kHz のアンテナの形状による伝搬状況

試作した送信機の 40kHz のアンテナごとの電波の伝搬状況を Table 2 に示す。送信側のアンテナには、半径 7cm・24 回巻と半径 15cm・22 回巻のループアンテナと 10.5m と 21m のワイヤーアンテナを使用した。距離は送信機からの距離であり、受信の確認は電波時計 (トライステート社製 TS-JJY01) 上の受信の可否を示す TCO ランプによって行った。ワイヤーアンテナは送信機から距離を伸ばすことができ、アンテナの線材から数 m 内でタイムコードが十分に受信可能であった。このことから、局所的に時刻情報を送信する場合はループアンテナで、広く様々な場所に送信する場合は、必要箇所にワイヤーアンテナを展張する方法が有効であるといえる。

Table 2 Available range by antenna of the proposed transmitter.

Kinds of antenna	1m	2m	3m	4m	5m
Loop*1	○	○	○	△	×
Loop*2	○	○	○	△	△
Wire(11m)	○	○	○	○	○
Wire(21m)	○	○	○	○	○

*1 radius 7cm 24 turns, *2 radius 15cm 22 turns

5 おわりに

NTP サーバや daytime プロトコルを利用した船内時自動整合の仕組みは、これまで別々に研究され、提案されてきたものの、既存の親時計とは違って、PC の利用が前提であり実現性に乏しかった。そこで、本研究では、既存の親時計としての機能と NTP サーバや daytime プロトコルを利用した新しい機能を Linux を搭載した組込用マイコンにより実現したものである。そして、NTP で管理する時刻情報をもとに、船内にある市販の電波時計も自動整合出来るシステムにするため、タイムコード生成プログラムを作成、試作した 40kHz の微弱出力送信機により、電波時計に船内時を伝送可能であることを確認した。このことにより、大洋を航行する船舶が、陸岸近くを航行する場合は、各国の標準時を放送し、大洋を航行する場合は、船内時をすることができ、より便利に電波時計を利用する環境を提供する仕組みを確立できた。

これまで、報時放送による時刻整合作業と、親時計、船内にある PC、航海計器、個人が所有する時計と別々に行っていた時刻改正作業が、提案する方法により自動化が可能となった。これにより、当直航海士の職務が軽減できるばかりでなく、乗員、船客の負担も減らすことが可能である。

この親時計は、船内時のほか日本標準時や世界時を利用できるので、日本周辺海域であれば、日本時間を放送することで、船内では電波時計による時刻整合を利用することが可能になる。

計算機の時刻整合や時刻同期は、多くのデータを陸船間で共有したり、検証したりするようになると、今以上に重要な技術となる。今後、試作機の長期の運用を、実際の船舶運航の場面で、どのように本研究で開発した親時計サーバ機能が生かせるのか調査していきたい。

謝辞

本研究を進めるに当たり、たくさんの方々からのご支援を頂きました。試作親時計の製作にあたり、現役の貨物船の航海士でもある鳥羽商船高専 34 期生、高橋英次様の卒業論文および 1PPS 同期型の親時計を参考にさせて頂きました。その他にも、航海士として従事する方々から多くの助言を頂き、本研究の参考にさせて頂きました。感謝すると共に、厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) 井関貢:新訂航海計器、海文堂書店、p.163、昭和 54 年
- (2) 無線局運用規則:“時計”,第 3 条
- (3) 富永敏明, 添田忍, 鈴木治, 安田明生:“GPS と電波時計を使った船内への時刻情報の提供”, 電子情報通信学会総合大会論文集, D-9-8, 2004 年
- (4) 富永敏明, 鈴木治, 添田忍, 安田明生:“船上での時刻整合及び時刻改正作業の自動化”, 日本航海学会論文集 112 号, p.p.205-211, 2005 年
- (5) インターネット RFC 辞典: アスキー、p.p.352-355
- (6) 電波法施行規則:“免許を要しない無線局”, 第 6 条
- (7) 高橋正行:“電波時計のしくみと受信回路の設計例”, トランジスタ技術, p.p.221-229, 2004 年
- (8) 大西 貴希, 鈴木治, 富永敏明, 安田明生:“船内 LAN への情報配信可能な船舶用自動同期時計の開発”, 電子情報通信学会総合大会、B-2-10、2007 年
- (9) 大西 貴希, 鈴木治, 山下勝博, 三好敏夫:“海上における 40kHz 標準電波の受信率の測定”, 電子情報通信学会総合大会論文集, B-2-10, 2008 年
- (10) 例えば、千葉秀明:“ビギナーのためのトランシーバー製作入門”, p.p.128-132、CQ 出版社、1992 年
- (11) 大西 貴希:“40kHz の微弱電波による NTP の時刻を送信する装置の開発”, 2008 年電子情報通信学会総合大会特別号, p.56, 2008 年
- (12) 日本放送協会:“ラジオ技術教科書”, 日本放送協会, pp.176-177, 1993 年

質疑応答

若林伸和 (神戸大学):

船内における送信出力を極めて微弱に抑え

られていますが、既存 (NICT) の 40kHz や 60kHz の電波時計用標準電波との干渉等について計測・評価されているのでしょうか。その結果等があればお教え下さい。

大西貴希 :

日本が放送している電波時計用の標準電波は、船内ではほとんど受信できませんので、干渉 (混信) はないと考えており、計測はしていません。

もし、受信できる場合ですが、日本の標準電波が受信できるような海域は、船内でも日本標準時を利用しますので、試作送信機を利用する場合でも、同じ信号を送信することとなり、問題にならないと考えます。

横井威 (産業技術総合研究所, 東京海洋大学) :

クライアント側の NTP とサーバ側の NTP の間に誤差が生じると思いますが、どのような工夫が行われているのでしょうか。

鈴木治 :

ご指摘のように NTP のサーバ-クライアント間に追従できない誤差が生じることはあると思います。本研究では、日常利用用の時計の基準としての NTP サーバの利用であり、目指す精度は旧船舶設備規程での日差 ± 0.2 秒以下です。これに関しては、NTP サーバ同士でずれを比較してこれ以内に入っていることを確認していますので、実用的には問題ないと考えています。将来この誤差が許容できない場合は、独立な NTP サーバや再起動によって問題を回避できると考えています。