

船舶無線通信機 MF/HF無線装置の技術変遷

Evolution of Marine MF/HF Radio Equipment Technology

小林 英一 黒森 正一
Eiichi Kobayashi Shoichi Kuromori

要 旨

船舶用MF/HF無線装置は、国際航海に従事するSOLAS条約船舶に搭載が義務付けられており、現在でも地上波による長距離通信が可能な唯一の無線設備である。20世紀初頭から長らくモールス符号による無線電信通信およびその後のSSB無線電話通信は船舶の長距離通信の要として利用されてきたが、海事衛星装置の普及とGMDSSの導入によりモールス符号による遭難信号(SOS)は廃止され、代わりにDSC(デジタル選択呼出)による遭難警報の機能が組み込まれた。このGMDSS導入前後以降の船舶用MF/HF無線装置の技術変遷について紹介する。

Abstract

Shipbone MF/HF radio equipment is required to install to the SOLAS convention ships that engage international voyage, and is even now the only shipbone radio equipment capable of long distance terrestrial communication. For a long period since the early twentieth century, the radiotelegraph communication with Morse code and the later SSB radiotelephone communication were the mainstay of the long distance communication for the ships. However, the distress signal of Morse code SOS had repealed because the Inmarsat communication system have spread and GMDSS have started. Instead the distress signal SOS, the function of distress alert by DSC (Digital Selective Call) have installed in MF/HF radio equipment as GMDSS. This report introduces technical evolution of JRC MF/HF Radio Equipment since approximately the start of GMDSS.

1. まえがき

中波帯(MF:300kHz~3MHz)および短波帯(HF:3~30MHz)の電波伝搬には、地表波と電離層伝搬の二通りがある。地表波は、地球表面に沿って伝わる電波で、電離層伝搬は発射された電波が上空へ向かい、電離層で反射されて再び地上に戻ってくる伝搬である。電離層は地上80~400kmの上空にあるため、一度の反射で数100km遠方まで届き長距離通信が可能となるが、電離層の電波反射特性は太陽活動の影響を強く受ける性質があり、時刻、季節、太陽黒点数により変化する。特に短波では、高い周波数帯ほど太陽活動の影響を大きく受ける。中波では、昼間は地表波伝搬が主で海上での伝搬距離は約200kmとなり、夜間は地表波の伝搬距離が80kmから160kmとなるが、代わりに電離層伝搬が主になる。このような電波伝搬の特徴から、船舶は古くから中波(410~512kHz)および中短波(1.6~4MHz未満)を中距離通信に、短波(4~30MHz)を長距離通信に使用してきた。

2. SSB無線電話全盛期

SOLAS条約の改正により1992年にGMDSSが導入され始めるまでは、国際航路を航海する船舶には専門技術を持った通信士が乗船し、無線通信に関わる業務を一手に引き受け

ていた。この場合の長距離通信手段はモールス符号による無線電信およびSSBによる無線電話が主であった。1980年代になると無線装置の心臓部である周波数シンセサイザ(発生器)にはPLL方式が、その制御にはマイクロプロセッサが採用され、任意の通信チャネル(通信周波数)の組込が容易になった。送信機は、マイクロフォンからの音声信号を平衡変調とSSBフィルタによりSSB変調を生成し、中間周波段にて増幅と不要波除去の後、送信周波数に変換後に送信前段アンプ(DA:ドライバーアンプ)および送信最終段アンプ(PA:パワーアンプ)で送信電力に増幅する。この場合の送信最終段アンプには高電圧にて駆動する8122等の真空管が使われた。アンテナチューナは送信最終段アンプの負荷インピーダンスを最適に保ったまま送信電力を有効にアンテナから放射する様に可変ロータリコイルをステップモータで制御し同調する。

受信機は、PLL方式の周波数シンセサイザとマイクロプロセッサにより、特に長波から短波までの全帯域(90kHz~30MHz)を高性能でカバーするゼネラルカバーレッジ方式とし、送信機との組み合わせで通信に使用すると共に放送等をモニタして安全航海のための情報を収集した。受信機の妨害波特性改善のために、受信周波数に応じてRF通過周波数を可変するRF同調方式が採用された。

GMDSS導入以前の一般的な船舶無線装置(MF/HF)の外観を図1に、構成を表1に、仕様概要を表2に示す。



図1 GMDSS導入前の無線通信装置
Fig.1 Radio Equipment before GMDSS

表1 GMDSS導入前の無線通信装置の構成

Table 1 Configuration of Radio Equipment before GMDSS

NSD-55 主送信機	主管制盤
	補助管制盤
	電力増幅部
	IF・HF TUNING
	MF TUNING
	電源部
NRD-92	主受信機
NSD-1157N	補助送信機
NRD-91	補助受信機
JXA-15A	緊急自動受信機 (500kHz)
JXA-8A	緊急自動受信機 (2182kHz)

表2 GMDSS導入前の無線通信装置の仕様

Table 2 Specification of Radio Equipment before GMDSS

送信機 NSD-55	
送信周波数	405~535kHz, 1.6~4MHz. 4~25MHzの船舶バンド
チャンネル	総合計313チャンネル プリセット
電波形式	A1A (CW), J3E (SSB)
送信出力	中波 400W (A1A) 中短波 500W (A1A), 200W (J3E) 短波 1kW (A1A), 1.2kW (J3E)
周波数安定度	1ppm
電源	AC440V, 50/60Hz, 3相
消費電力	最大 3.5kVA
受信機 NRD-92	
受信周波数	90kHz ~ 29.9999MHz
受信電波形式	A1A (CW), J3E (SSB), A3E (DSB)
受信感度 S/N比 20dB	90~199.9kHz : 20 μV以下 (A1A)
	200~1599.9kHz : 10 μV以下 (A1A)
	1.6~29.9999MHz : 3 μV以下 (J3E)
バンド幅	6kHz, 3kHz, 0.5kHz
周波数安定度	1ppm

3. GMDSSの幕開け

GMDSSの導入により、DSCとNBDPの両デジタル通信機能がMF/HF無線装置に組み込まれた。DSCは、モールスなどの特殊技能を持たない乗組員が緊急時にも対応できるよう専用ボタンの操作だけで送信できる遭難警報の機能を持ち、一般通信用には個別に相手局を選択呼び出しする機能も持つ。また、他船の遭難警報を受信するためにDSC専用6つの遭難周波数をスキャン受信する聴取受信機能(以後WKR)も内蔵する。NBDPはARQやFECといった再送要求や誤り訂正といった冗長性を持ったTelex通信機能を提供する。DSCとNBDPは共に1700±85HzのAFSK変調であり、送信機および受信機は、DSC/NBDP通信のために高い周波数安定度(±10Hz以内、約0.3ppm以内)が求められた。

GMDSS対応MF/HF無線装置の仕様概要を表3に示す。

表3 GMDSS対応MF/HF無線装置の仕様

Table 3 Specification of Radio Equipment for GMDSS

MF/HF 送信部および受信部	
送信周波数	1.6MHz~27.5MHz
受信周波数	90kHz~29.9999MHz
送信出力	400W (1.6~4MHz), 800W (4~27.5MHz)
電波形式	J3E, F1B, A1A
周波数安定度	±10Hz以内 (0.3 ppm)
占有帯域幅	3kHz以内 (J3E), 0.5kHz以内 (F1B, A1A)
受信感度	1.6 ~ 29.9999MHz 3 μV以下 (J3E)
DSC装置	
プロトコル	ITU-R M.493, M.541
発呼モード	全船宛, グループ宛, 個別宛
符号	10ビット単位コード
ボーレート	100baud
サブキャリア	1700Hz
周波数シフト	±85Hz
NBDP装置	
プロトコル	ITU-R M.625, M.476, M.490-492
動作モード	ARQ, CFEC, SFEC
通信先指定	全船 (CFEC), 個別ID (4桁, 5桁, 9桁)
符号	4B/3Yの7ビット単位コード
ボーレート	100baud
サブキャリア	1700Hz
周波数シフト	±85Hz
DSC聴取受信部	
受信周波数	DSC遭難周波数 6波 (2187.5kHz, 4207.5kHz, 6372kHz, 8414.5kHz, 12577kHz, 16804.5kHz)
スキャン受信	上記6波を2秒以内
電波形式	F1B (J2B)
受信バンド幅	0.3kHz (F1B)
周波数安定度	±10Hz以内 (0.3 ppm)
受信感度	1 μV入力時の文字誤り率 1%以下

4. GMDSS第1世代: JSS-710シリーズ, JSS-800 (1992年~, 1993年~)

1992年から導入が始まったGMDSSに始めて対応したJSS-710の外観を図2に、1999年の完全導入に向けてGMDSS

換装の主力製品であったJSS-800の外観を図3に示す。



図2 JSS-710 MF/HF無線装置
Fig.2 JSS-710 MF/HF Radio Equipment



図3 JSS-800 MF/HF無線装置
Fig.3 JSS-800 MF/HF Radio Equipment

JSS-710シリーズの操作端末は、電話およびDSC通信用にマイコン制御による専用端末とNBDP通信用に汎用ノート型PCで実現したデータターミナル(DTE)からなる。NBDP操作端末は、BASIC言語で開発したMS-DOS上で動作するソフトウェアをOSと共にフロッピーディスクで起動し、外部記憶媒体もフロッピーディスクであった。JSS-800では電話、DSC、NBDPの全通信モードに対応した一括操作部とした。

送信部の周波数シンセサイザの基準発振器には、周波数安定度0.3ppmを実現するためにTCXOを採用し、この基準信号は受信部およびDSC聴取受信部でも使用した。送信部の最終段アンプのデバイスにはFETを採用し、固体化PAとした。

受信部の周波数シンセサイザには、PLLと共にDDSを採用し主に周波数の下位の桁を生成して、PLL回路の使用数を削減した。

DSC聴取受信部は、(広帯域)受信部と同等構成で6波のDSC遭難通信用周波数のスキヤニング受信に機能を絞り、DSC復調部にてドットパターンを検出しスキヤンを制御する。

DSCモデム部は、受信AF信号をアクティブフィルタでマ

ーク/スペース信号を検出しマイコン制御でビット同期、シンボル復号、メッセージ組立てを行う。

NBDPモデム部も同様に、受信AF信号をアクティブフィルタによりマーク/スペース信号を検出しマイコン制御でビット同期、シンボル復号、誤り検出と訂正(ARQは3文字1ブロック毎に誤り検査し再送要求)を行う。

アンテナチューナは、多数のコイルおよびコンデンサをマイコン制御の各リレーでON/OFF制御し、インピーダンス同調状態のセンサー値に応じた自動同調、あるいは記憶された状態にプリセット同調する。

5. GMDSS第1.5世代：JSS-850

(1996年～)

JSS-850は、ユニットの小型化と構造最適化を行い500Wモデルながら250WモデルのJSS-800と同等サイズとした。特にDSC聴取受信部は、周波数シンセサイザにおけるDDS活用率を高め、従来8ユニットで構成していたのを2ユニットで構成し、装置全体の小型化にも寄与した。

アンテナチューナは完全防水構造とし屋外設置が可能となった。

操作部には、全通信モード対応の一括操作部にx86系のCPUを採用したPCボードを採用し、MS-DOS上で擬似マルチタスク動作するアプリケーションソフトウェアをC言語でプログラミングし、Windows風のユーザーインターフェースを実現した。

JSS-850の外観を図4に示す。



図4 JSS-850 MF/HF無線装置
Fig.4 JSS-850 MF/HF Radio Equipment

6. GMDSS第2世代：JSS-296シリーズ

(2002年～)

送受信部にDSPを採用し、デジタル信号処理技術によりノイズ低減と混信除去の性能を向上させ、高価な狭帯域水晶フィルタを不要とした。

DSCモデム部とNBDPモデム部は共通機能回路を共用した1枚ユニットにまとめ、更にDSC通信のユーザーインターフェイス機能も同ユニットに組込んだ。

送信部と受信部を一体化した150Wトランシーバを共通の送受信部として採用し、製品のシリーズ展開を効率よく行った。

電源部は、力率改善による高効率化を実現し250W、500Wおよび800Wモデルの筐体の共通化を実現した。

JSS-296/596/896の外観を図5に示す。



図5 JSS-296/596/896 MF/HF無線装置

Fig.5 JSS-296/596/896 MF/HF Radio Equipment

7. GMDSS第3世代：JSS-2150シリーズ (2009年～)

150Wモデルの送信部の終段には、バイポーラトランジスタPAを絶縁型で実現し、バッテリーからの絶縁DC電源でも直接駆動可能とすることで、電源部の構成を簡素化した。

送受信部は、前モデルからのデジタル信号処理技術を押し進め、受信フロントエンド部以外のフルデジタル化を実現した。

DSC聴取受信部およびDSC/NBDPモデム部は、DSP内蔵のベースバンドSoC (BB-SoC) とデジタル信号処理により1枚ユニット化を実現した。

電話およびDSC通信用の操作部は、国際VHFと共通デザインとし、ブリッジ内のスマートなレイアウトに対応した。NBDP操作部は、表示にカラーLCDを採用して視認性を向上させると共に外部記憶媒体にはUSBメモリを採用し、船内の機器との通信データの交換を容易にした。

JSS-2150の外観を図6に示す。



図6 JSS-2150 MF/HF無線装置

Fig.6 JSS-2150 MF/HF Radio Equipment

8. あとがき

MF/HF無線装置は他の船用無線装置と比較し送信電力が大きく、放熱構造のために装置の外形寸法も大きいのが現状であり、電源部および送信部の高効率化が求められる。また唯一、地上波による長距離通信が可能な無線通信手段であるが、機能と操作手順が多いために通常通信手段としての使用頻度が低い。GMDSS導入時の本来の目的である、特殊技能を持たない乗組員が緊急時にも容易に対応できるようにするために、通常時から操作に慣れて頂けるよう、ユーザが利用し易い操作方法の通信設備であることが望ましい。将来は、乗組員が適した周波数や特別な手順を意識せずとも利用できる通信手段となることを期待する。

最後に本稿の作成にあたり、ご指導、ご協力いただいた関係者各位に本文面を借りて深く感謝いたします。

用語一覧

- AF : Audio Frequency (音声周波数/低周波)
- ARQ : Automatic Repeat reQuest (自動再送要求)
- BB-SoC : Base Band - System on a Chip
- DA : Driver Amplifier
- DDS : Direct Digital Synthesier
- DSC : Digital Selective Call
- DSP : Digital Signal Processor
- DTE : Data Terminal
- FEC : Forward Error Correction (前方誤り訂正)
- GMDSS : Global Maritime Distress and Safety System
(海上における遭難及び安全に関する世界的なシステム)
- MF/HF : Medium Frequency / High Frequency (中波/短波)
- NBDP : Narrow Band Direct Printing (狭帯域直接印刷電信)
- PA : Power Amplifier
- PLL : Phase Locked Loop
- RF : Radio Frequency (無線周波数/高周波)
- SOLAS条約 : The International Convention for the Safety of Life at Sea
(海上における人命の安全のための国際条約)
- SSB : Single Side Band (単側波帯変調)