

# 送信機JRS-900シリーズの開発

## Development of Transmitter JRS-900 Series

佐藤 剛                      野 嶋 孝 文                      長谷川 宏 一  
Tsuyoshi Satoh              Takafumi Nojima              Koichi Hasegawa  
市 橋 憲 幸                      中 原 功 一  
Noriyuki Ichihashi              Koichi Nakahara

### 要 旨

近年、デジタル変調信号を扱う送信機では、パワーアンプの歪補償としてデジタルプリディストーション (DPD)方式が普及してきた。

HF帯大電力SSB送信機においても、歪補償の方式が幾つかあるが、アナログ方式における補償量は限界に達しており、この度開発した送信機において初めてDPDを採用し製品化を実現した。

本稿では、開発経緯、特長、独自技術などについて紹介する。

### Abstract

In recent years, the digital pre-distortion (DPD) method has begun to spread for distortion compensation of power amplifiers in transmitters which transmit digital modulation signals.

There are several distortion compensation methods in high power SSB transmitters for HF bands; however, the amount of compensation in the analog method has reached its limit. We have realized commercialization by adopting DPD for the first time, in the latest transmitter we have developed.

This report introduces the development history, features, unique technology etc. of this transmitter.

## 1. ま え が き

送信機JRS-900シリーズは、海岸局システムや陸上固定局システム向けに当社の永年にわたるHF送信技術を結集させて製品化した大電力HF送信機であり、従来機JRS-700シリーズの後継機として開発した。

JRS-700シリーズは、1980年代後半～1990年代前半にかけ開発・設計されたもので、近年になり、従来から採用していた送信機のキーデバイスであるパワーMOSFETをはじめ、送信信号を生成している回路等に使用している部品の製造中止が多くなったため、同シリーズを継続して生産することが困難となった。

また、送信機の最終段に採用したパワーMOSFETの低歪化を実現するために、デジタルテレビ放送機や携帯基地局LPA等のデジタル変調信号を扱う送信機で採用されている適応型DPD方式を、新たに大電力HF (SSB) 送信機に採用し開発したので報告する。

## 2. 装置概要

今回開発した製品は、旧シリーズのラインナップのうち、定格出力電力1kWおよび10kWの送信機2機種である。

1kW機の外観を図1に、10kW機を図2に示す。



図1 JRS-913 1kW HF 送信機  
Fig.1 1kW HF Transmitter, JRS-913



図2 JRS-914 10kW HF 送信機  
Fig.2 10kW HF Transmitter, JRS-914

2.1 主な仕様

表1に主な送信機仕様を記す。

表1 送信機仕様  
Table 1 Specification of Transmitter

送信周波数範囲	1.6000MHz ~ 29.9999MHz <sup>※1</sup>
電波型式	CW, FSK, SSB
周波数安定度	1×10 <sup>-8</sup> /日以下
出力負荷インピーダンス	50Ω, VSWR 3:1 最大
プリセットチャンネル	100CH
不要発射レベル	PEPより-60dB以下
相互変調歪み (IMD)	PEPより-41dB以下
周囲温度・湿度	0~50℃ 40℃ 95%以下

※1 10kW機は2.0000MHz ~ 29.9999MHz

2.2 特長

(1) 運用冗長性

1kWおよび10kWの各送信機の電力増幅部 (PAモジュール) は、共通のモジュールで構成され、1kW送信機には500W PAモジュールを2台、10kW機には20台搭載している。それらPAモジュール出力を電力合成して連続出力を得ている。特に10kWに於ては故障等により、一部のPAモジュールが動作を停止しても、減力してそのまま運用続行可能である。

(2) 集中制御監視

送信機の全ての操作は、エキサイタユニットのパネル操作により行うことができ、制御の状態、出力電力、アンテナのVSWR、各部の電圧・電流等が表示される。

(3) 高度な保守機能

テストプログラムによる自己診断機能を備えており、保守時や障害発生時には、各部の動作状態やレベルを自動的

にチェックして不具合回路を表示する。

(4) リモートコントロール

エキサイタユニットに内蔵のモデムを介して、外部コントローラとインタフェースすることにより、遠隔制御による無人運転が可能である。また、多数の装置を遠隔制御より集中監視制御するシステムやパーソナルコンピュータによるリモートコントロールなど、ユーザーに応じた多彩なシステム構成が可能である。

2.3 構成

図3に送信機の基本構成を示す。

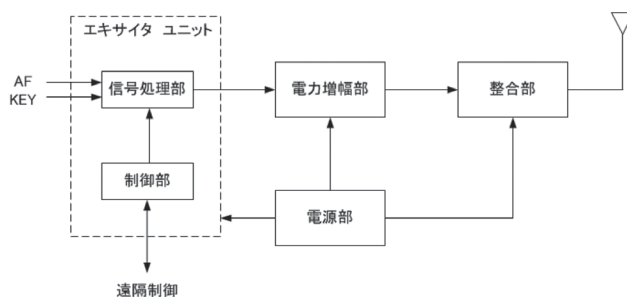


図3 送信機の構成

Fig.3 Configuration of transmitter

以下、主要ユニットを説明する。

(1) エキサイタユニット

エキサイタユニットは、プレス信号及び音声周波数 (AF) 信号入力を変調して、送信周波数を搬送波とするRF変調出力を得る。送信周波数はエキサイタユニット内のDDS (ダイレクト デジタル シンセサイザ) により100Hzステップで設定することができる。図4に外観図を示す。



図4 エキサイタユニット外観図

Fig.4 Exciter unit

エキサイタユニットの前面パネルには、キーボードスイッチと表示パネルがあり、送信機の局制御および送信周波数、変調モード、出力電力、空中線のVSWR値等を表示する。

また、警告や警報が発生した際には、その内容を表示する。更に、自己診断機能の実行とその結果の表示が行え、送信機内のDC電圧、RFレベルのチェック、不具合が発生した

場合の不具合箇所を表示する。

## (2) 電力増幅部

電力増幅部は、複数のPAモジュールと電力合成回路で構成されている。図5にPAモジュールの外観図を示す。

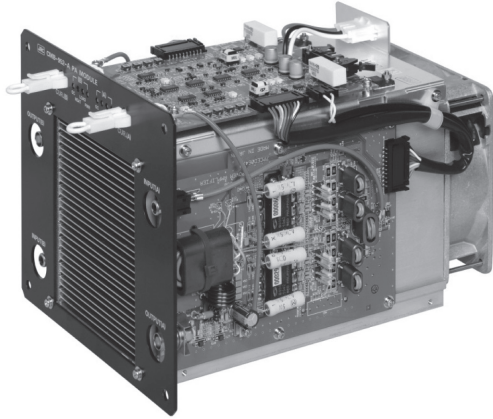


図5 PAモジュール外観図  
Fig.5 Power Amplifier module

PAモジュールには破壊耐量が高いパワーMOSFETを採用した。

各々のPAモジュールは独立した警報回路を備えており、故障が発生した場合には、そのPAモジュールのみが自動的に警報を発生して断になる。

## (3) 整合部

整合部は、高調波の抑圧と負荷インピーダンスへの整合を行うため、内蔵のマイクロプロセッサにより送信周波数に対して自動同調制御され、一度得られた最適整合状態は、不揮発性メモリに記憶される。その後の送信周波数の切換えでは、出力整合部は、記憶された設定値により制御され、最適整合状態が再現される。

また、運用中に生じた空中線のインピーダンス変化に対しても、自動的に追従して、常に最適状態を保つ。

## 3. デジタル処理

### 3.1 エキサイタユニットのデジタル化

従来の送信機におけるエキサイタユニットは、主にアナログ回路を使用していた。本装置では、DSPおよびFPGAによるエキサイタユニットのフルデジタル化を行い、以下を実現した。

- (1) 歪補償にDPDを採用したことにより従来機に対して、相互変調歪特性を10dB以上改善し、高い安定性と再現性を実現。
- (2) 従来のアナログミキサ回路に代わり、FPGAによるデジタルアップコンバータを搭載し、従来機に対して部品点数を削減し信頼性を向上するとともに、調整による特性のばらつきを改善。
- (3) 従来機からの大幅なダウンサイジング（面積比約1/4）とコストダウン。

### 3.2 DPD処理による相互変調歪特性改善

図6にDPD処理の概念図を示す。

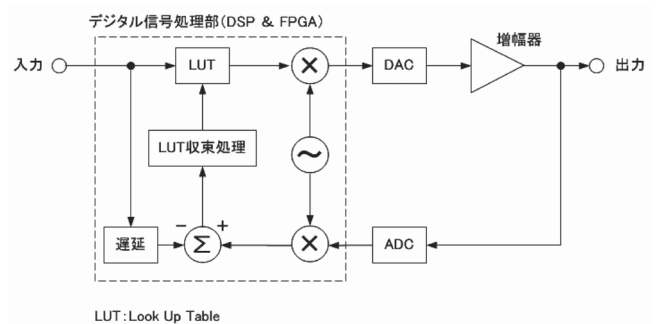


図6 DPD 概念図  
Fig. 6 Conceptual diagram of DPD

DPDは、入力された変調信号を歪むことなく、所望の電力まで増幅する方式である。DPDは、増幅器と前段に接続されたデジタル信号処理部 (DSP & FPGA) とから構成される。

図6の概念図に示す増幅器は、非直線性歪を発生する。歪みを含む出力信号は、デジタル信号処理部に帰還、無歪の入力信号と比較され、増幅器の逆応答特性が算出される。この逆応答特性を、ルックアップテーブル (LUT) としてメモリに保持する。

LUTにより逆応答で補正された入力信号を、増幅器に入力することで、非直線性歪は打消され、出力信号は低歪となる。

図7は、本装置の相互変調歪特性を示したスペクトラム波形 (1kW機にて) である。

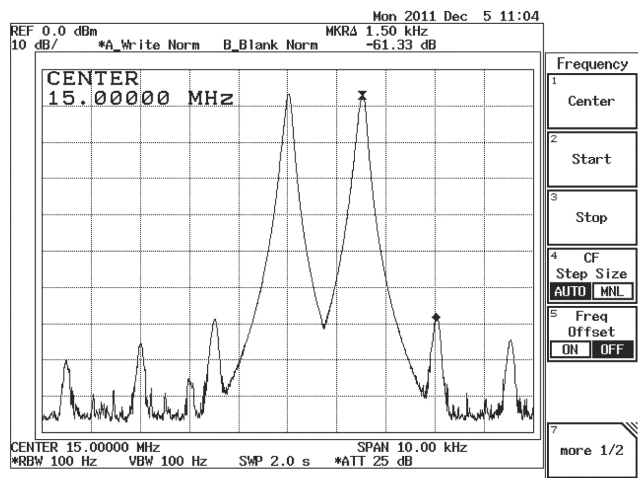


図7 1kW送信機の相互変調歪特性  
Fig.7 Characteristics of IMD

図8に10kW機の2信号試験による相互変調歪 (IMD) の周波数特性を示す。定格出力PEP時のIMD特性は、全帯域において、2信号の一方のレベルに対し-50dB以下である。また、本特性は、-5℃～+55℃の温度範囲においても再現しており、優れた温度特性を示している。

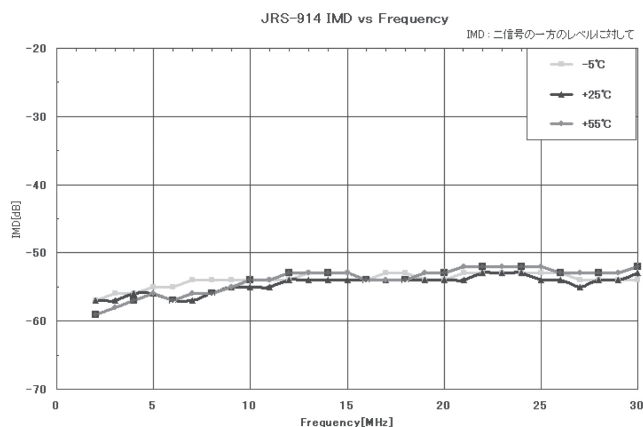


図8 10kW送信機の相互変調歪特性  
Fig.8 Characteristics of IMD

#### 4. あとがき

今回新型送信機の開発においては、FPGA及びDSPのデジタル信号処理によるDPD方式を採用し、従来機種よりも相互変調歪特性を格段に向上させることができた。

当社の伝統技術と最新技術の融合を更に若い世代に継承し、より良い製品開発に努力したい。

#### 参考文献

- (1) 日本無線技報No.16, “全固体化1kW HF送信機”, 1981, pp.15-24
- (2) 日本無線技報No.32, “全固体化10kW短波送信機”, 1993, pp.75.

#### 用語一覧

- DDS: Direct Digital Synthesizer
- DPD: (Digital Pre-Distortion) デジタルプリディストーション
- DSP: Digital Signal Processor
- FPGA: Field Programmable Gate Array
- IMD: (Intermodulation Distortion) 混変調歪み
- LPA: Linear Power Amplifier
- LUT: Look Up Table
- PEP: (Peak Envelope Power) 尖頭値電力
- SSB: Single SideBand
- VSWR: (Voltage Standing Wave Ratio) 電圧定在波比