

# VDL モード 3 の電波干渉実験

航空システム部 北折 潤 中谷 泰欣 加藤 敏 塩地 誠\* 津田 良雄\*\*

\* 管制システム部 \*\* 早稲田大学大学院

## 1 はじめに

VHF デジタルリンク (VDL) は、国際民間航空機関 (ICAO) の航空移動通信パネル (AMCP) 会議において標準化作業が行われてきた次世代の空地間航空通信システムである。VDL は現在、ICAO の国際標準および勧告方式 (SARPs) においてモード 2、3、4 の 3 種類が規定されている。VDL モード 3 はデータ通信機能に加え音声通信機能を備え、VHF ACARS および無線電話に代わる高速、高信頼性システムとして日本においても導入が検討されている。

VDL モード 3 システムの航空管制業務への利用に備え電子航法研究所では、平成 12 年度より VDL モード 3 SARPs に準拠した実験システムを試作し、技術的課題等についての試験および研究を行っている [1]。重要な技術的課題の一つとして、VDL モード 3 と無線電話および他の VDL 局との電波干渉の問題が挙げられる。VDL モード 3 は無線電話と同様 1 チャンネルにつき 25kHz 幅が割り当てられるが、差動 8 相位相偏移変調 (D8PSK) を用いており無線電話に比べ所要帯域が広い。このため VDL モード 3 の電波が隣接チャンネルを使用する無線電話等の他局に干渉し、またこれらの局から干渉を受ける可能性がある。このようなチャンネル間の電波干渉を調査することにより VDL モード 3 のチャンネル割り当てに関する指針を得ることができる。

本稿では VHF 無線電話装置および試作した VDL モード 3 実験システム (以下モード 3 装置とする) を用いて行った電波干渉実験とその結果について報告する。

## 2 電波干渉実験概要

### 2.1 使用機器

実験に使用した無線機を表 1 に掲げる。モード 3 装置以外はいずれも機上用無線電話装置である。これ以降、表 1 の機上用無線電話装置 4 機種に対して順不同で 'A'、'B'、'C'、'D' と名付け、これらの記号により参照する。

表 1: 使用無線機一覧

使用無線機	搭載機体例
モード 3 装置	—
Rockwell Collins VHF-900	B 777
Rockwell Collins VHF-700	B 767
Rockwell Collins VHF-700B	B 747-400
Rockwell Collins VHF-22A	小型機

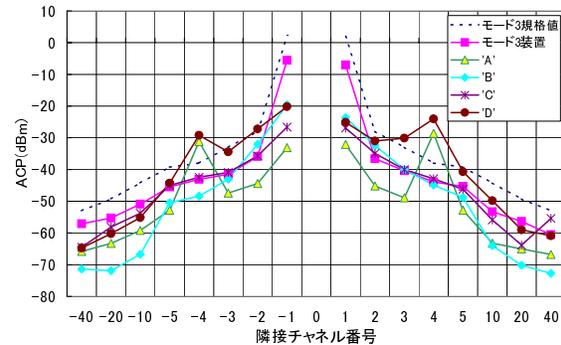


図 1: 使用無線機の ACP 特性 (136.000MHz)

表 1 の各無線機に対して隣接チャンネル電力 (ACP) 特性を測定した (図 1)。ACP は無線機の設定チャンネルおよび各隣接チャンネル (25kHz 幅) での絶対電力である。なお、設定上 +40 隣接チャンネルの ACP 測定ができない場合は +39 隣接チャンネルでの測定結果を用いた。

VDL モード 3 では最低受信感度  $20\mu\text{V}/\text{m}$  (136.000MHz において  $-94\text{dBm}$  相当) の時に前方誤り訂正 (FEC) 前のビット誤り率 (BER) が  $10^{-3}$  以下であることが規定されている。試作したモード 3 装置は、 $\text{BER}=10^{-3}$  を受信電力約  $-101.5\text{dBm}$  で満足していた。

本モード 3 装置は、Voice/Data パースト (V/D) 送信の他、擬似雑音 (PN) 送信が可能である。V/D は VDL モード 3 に従ったフォーマットであるが、PN は長い擬似ランダムビット列であり、VDL モード 2 の送信パケットのようにみなすことができる。VDL システムの電波干渉問題を扱う際にはモード 3 の他、モード 2 の影響についても調査する必要がある。本実験では PN を VDL モード 2 の代用として、V/D および PN の両パターンを適宜使い分け

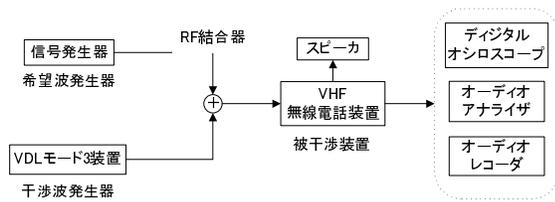


図 2: 実験機器接続図 1

ることとした。なお、PN は 15 段の擬似ランダムパターン PN15、V/D は 1 スロット内バースト占有率 35% にて実験した。その他、本稿全般における実験パラメータの設定は AMCP で定めた実験方法 [3] に準じた。

## 2.2 VHF 無線電話に対する電波干渉実験

VHF 無線電話装置を被干渉装置とし、モード 3 装置を干渉源とした電波干渉実験を行った。実験における機器接続図を図 2 に示す。希望波は 1kHz トーンによる変調度 30% の振幅変調波とし、設定チャンネル 119.000MHz、受信端電力  $P_D = -82\text{dBm}$  とした。干渉波の周波数は希望波設定チャンネルに対して同一チャンネル (コチャンネル) および  $\pm 1$ 、 $\pm 2$ 、 $\pm 3$ 、 $\pm 4$ 、 $\pm 5$ 、 $\pm 10$ 、 $\pm 20$ 、 $\pm 40$  隣接チャンネルに設定した。

### 2.2.1 スケルチブレイク

干渉波のみを被干渉装置に入力してスケルチが開くかどうかを調べた。被干渉装置のスケルチレベルは  $1\mu\text{V}$ 、 $50\Omega$  終端時に  $-107\text{dBm}$  となるように設定した。干渉波は受信端電力で最大  $+8\text{dBm}$  まで供給した。機上無線電話装置 'A'、'B'、'C'、'D' のいずれも干渉波がコチャンネルまたは  $\pm 1$  チャンネルにあるときにスケルチブレイクがあった。さらに 'A' は PN 干渉波に対して  $\pm 5$  チャンネルまでスケルチが開く現象がみられた。

### 2.2.2 (S+N)/N

$(S+N)/N$  は、被干渉装置の音声出力対雑音比を表す。干渉波は PN とし、オーディオ出力で  $(S+N)/N$  一定になるような干渉波受信端電力を計測した。図 3 に  $(S+N)/N=6\text{dB}$  での結果を示す。'D' 以外は干渉波を  $0\text{dBm}$  まで上げて、10 チャンネル以遠において  $(S+N)/N>6\text{dB}$  となり、今回の測定では 10 チャンネル以遠のデータが取れなかった。一方、

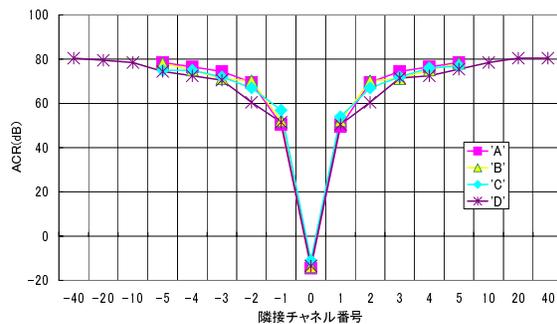


図 3: ACR 特性 ( $(S+N)/N=6\text{dB}$ )

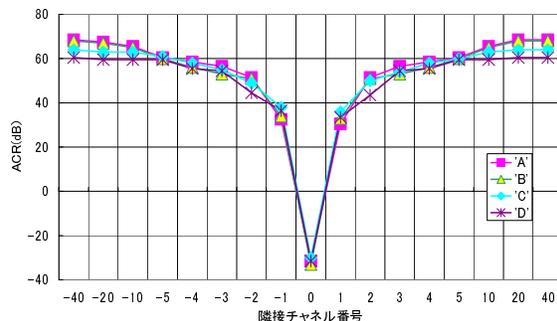


図 4: ACR 特性 ( $S/P=18\text{dB}$ )

$\pm 5$  チャンネル以内ではどのタイプの無線機でもほぼ同様の隣接チャンネル除去 (ACR) 特性になった。ここで ACR は受信端における干渉波電力  $P_U$  と希望波電力  $P_D$  の比  $P_U/P_D$  である。

### 2.2.3 S/P

S/P とは信号 S 対パルス P 比のことで、希望波のオーディオ出力 (ピーク to ピーク振幅) 値  $a$  と干渉波のオーディオ出力値  $b$  との比  $a/b$  で定義される。干渉波を V/D とし、 $a/b = 2, 4, 8$  ( $S/P=6, 12, 18\text{dB}$ ) の場合についてそれぞれ干渉波受信端電力を計測した。各 ACR 特性を比較すると、'A'、'B' については第 2 隣接チャンネル以遠で ACR が小さいほど S/P が大きいという特徴が見られ、S/P の dB 差がほぼ ACR の dB 差に等しい結果となった。一方 'C'、'D' については ACR が同程度であっても S/P が大きく変化していることから、干渉波のわずかな電力差が S/P の違いに反映されると考えられ、干渉波の影響を 'A' や 'B' より受けやすいと言える。図 4 に  $S/P=18\text{dB}$  での ACR 特性を示す。

表 2: MOS 評価設定パラメータ

干渉波チャンネル	0、-1、-5、-40 隣接
干渉波パターン	干渉波なし、V/D、PN
干渉波の大きさ	S/P=6、12、18dB
音声パターン	男声 3 フレーズ 女声 4 フレーズ

### 2.2.4 MOS 評価

MOS 評価は主観評価法の一つであり、各テスターが音質を 0(努力しても全く聞き取れない)~4 (努力を要しないで聞き取れる) の 5 段階で採点してその平均値を評価結果とするものである。本実験では、管制官の音声による変調波に VDL 干渉波を重畳し、受信オーディオ出力を評価サンプルとした。表 2 に示すパラメータおよびフレーズの組み合わせがランダムな順番で被験者に聞こえるようにサンプルを作成した。また、パイロットや航空管制官経験者等にテスターを依頼し、各条件の組み合わせ毎に延べ 24 人のデータを得ることができた (図 5)。

S/P=18dB であればどの受信機、どの条件でも MOS>2.0(聞き取りに中程度の努力を要する)であった。MOS>2.0 は VDL モード 3 用ボコーダ評価結果 [2] から見ても少なくとも通常の管制通信では支障なく通信可能と考えられる。また、PN は連続的雑音、V/D は断続的雑音に聞こえるが、一部のテスターは「断続的雑音の方が聞き取りに悪影響がある」とコメントした。なお、S/P=6dB では PN パターンの方が V/D よりも評価のばらつきが大きいという結果が得られた。さらに、同じ S/P 値を示していてもテスターには同じ雑音に聞こえるとは限らないことがわかった。

### 2.3 VDL モード 3 に対する電波干渉実験

VDL モード 3 はデータ通信の他に音声通信もサポートしているが、音声通信もボコーダによるデジタルデータの符号化/復号処理を基礎としていることから、いずれの通信でも BER が通信品質を決定する。今回は電波干渉下における BER 特性の評価を行った。実験ではモード 3 装置を被干渉装置とする一方、VHF 無線電話装置および他のモード 3 装置を干渉源とし

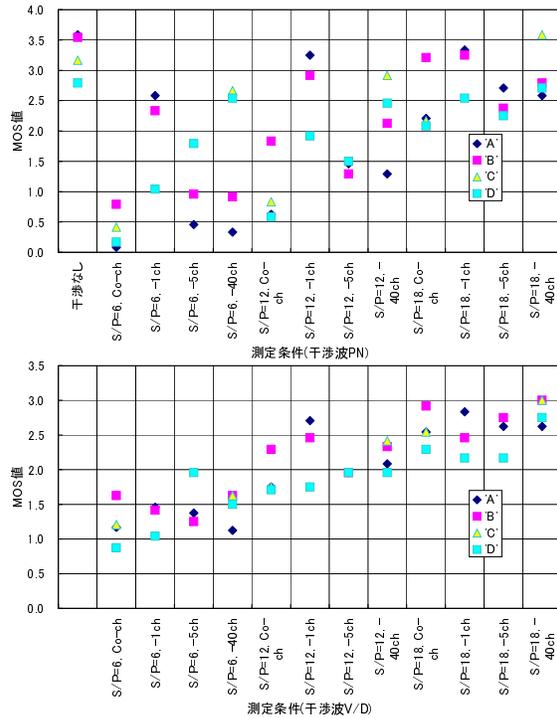


図 5: MOS 評価結果

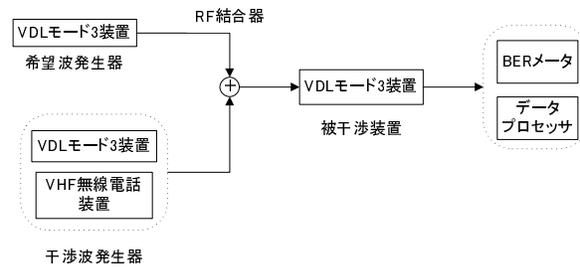


図 6: 実験機器接続図 2

た (図 6)。

#### 2.3.1 BER 計測

希望波は設定チャンネル 136.000MHz、送信パターンは PN とし、干渉波は PN と V/D の両パターンおよび各無線電話装置として BER を計測した。受信端における希望波受信電力を  $40\mu\text{V/m}$  ( $-88\text{dBm}$  相当) に設定した。BER= $10^{-3}$  での ACR 測定結果を図 7 に示す。第一隣接チャンネルに注目すると、無線電話装置よりもモード 3 装置からの干渉による ACR 値の方が低い結果となった。

### 3 実験結果の考察

#### 3.1 自由空間におけるチャンネル離隔

2.2 節の試験結果から、無線電話を被干渉装置とした場合のモード 3 装置と無線電話装

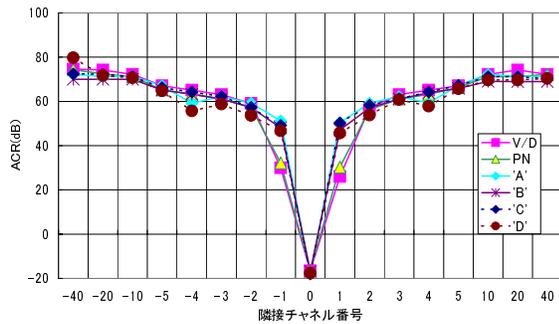


図 7: ACR 特性 (BER=10<sup>-3</sup>)

置間に必要となるチャンネル間隔 (チャンネル離隔) を求める。MOS 評価の結果から、一般的に S/P=18dB であれば管制通信に支障がないとみなすことにする。自由空間伝搬を仮定すると、干渉波受信端電力は  $P_U = P_T / (L_C L)$  で求まる。なお  $P_T$ : モード 3 装置送信電力 (=15W)、 $L_C$ : 送信側ケーブル損失 (=3.0dB) として送受信アンテナの利得は 0dBi とみなした。 $L$  は自由空間伝搬損であり距離  $d$  m および VDL モード 3 の送信波長  $\lambda$  (=2.2m) より、 $L = (4\pi d / \lambda)^2$  で計算できる。

一例として 2 機の航空機にモード 3 装置と無線電話装置を搭載し、両装置のアンテナ間隔を最短垂直管制間隔  $d=2000\text{ft}$  (=610m) に等しいとした状況を考える。 $P_D = -82.0\text{dBm}$  より、ACR=50.0dB が得られる。2.2 節の各 ACR 特性より、ACR>50.0dB が成立する隣接チャンネル番号を求め、これをチャンネル離隔とした (表 3)。同様に 2.3 節の実験結果から、モード 3 装置を被干渉装置とした場合のチャンネル離隔を求めた (表 4)。なお、表 4 中の無線電話は 2.3.1 節の BER=10<sup>-3</sup> での 'A'~'D' の各 ACR 特性の最悪値より計算した。

### 3.2 実運用上のチャンネル離隔

実運用におけるモード 3 装置の送信出力は、今回の実験に用いた 15W より高くなることが予想される。また今回はアンテナ利得パターンや反射波の影響を考慮していない。各 ACR 特性が不変であっても、与干渉局におけるこれらの要因を考えると被干渉局における干渉波受信端電力が大きくなり、所要チャンネル離隔が広がる可能性がある。さらに表 3、表 4 では与干渉局と被干渉局間の最低アンテナ間隔を 2000ft と

表 3: チャンネル離隔 (対無線電話,  $d=2000\text{ft}$ )

被干渉装置 測定条件	'A'	'B'	'C'	'D'
(S+N)/N=6 dB	2	1	1	1
S/P=18 dB	2	2	3	3

表 4: チャンネル離隔 (対モード 3,  $d=2000\text{ft}$ )

干渉パターン 測定条件	PN	V/D	無線電話
BER=10 <sup>-3</sup>	2	2	2

しているが、空港面での運用下では両局が更に狭い範囲内に配置されることが考えられる。つまり空間伝搬損の減少に伴い同様にチャンネル離隔が広がると考えられる。以上のことから、実運用では 3.1 節で求めたチャンネル離隔より広い割り当て間隔を要する場合がある。

## 4 まとめ

電子航法研究所にて試作したモード 3 装置と現用の VHF 無線電話装置を使って電波干渉実験を行った。無線電話装置への干渉実験ではスケルチブレイク特性、および S+N/N、S/P がそれぞれ一定とした条件下での ACR 特性を求めた。モード 3 装置への干渉実験では BER 一定の条件下での ACR 特性を求めた。さらに電波の自由空間伝搬を仮定して、与干渉局と被干渉局間距離が最短垂直管制間隔相当の場合のチャンネル離隔について考察した。チャンネル離隔は VDL モード 3 の運用において他局と干渉しない基準を与えるものであり、ICAO が行っている VDL モード 3 チャンネル離隔基準策定に寄与することができた。

## 参考文献

- [1] 藤森, 松下, 塩地, “VHF デジタルリンク・モード 3 の実験計画”, 第 32 回電子航法研究所発表会講演概要, pp.43-46, 2000.
- [2] 藤森, 中島, 上野, 菅沼, “VHF 対空通信用デジタル音声の評価について”, 第 31 回電子航法研究所発表会講演概要, pp.9-12, 1999.
- [3] AMCP/9th Working Group B Meeting Report, 2000.