

20. VDLモード3相互運用性及び管制官評価実験

航空システム部 ※松久保 裕二 中谷 泰欣 北折 潤
管制システム部 塩地 誠
早稲田大学大学院 津田良雄

1. はじめに

航空管制用の次世代対空無線システムとして国際民間航空機関(ICAO)が標準及び勧告方式(SARPs)を定めている^{[1][2]}VHF デジタルリンクモード3(VDL3)は、現行のアナログ対空無線の代替として、米国において導入が検討されている。我が国でも国土交通省航空局の要望を受け当研究所にて評価を進めている。VDL3は、デジタル通信によりセキュリティを確保し、かつ欧米における周波数問題を解決可能な通信システムとして期待されている。さらに、今後需要が増大すると予測されている管制用空地データリンク通信を音声と同時に送受信することができる。また、時分割多重アクセス(TDMA)の技術を利用し、1つの周波数(25kHz帯域幅)で、音声及びデータを最大4chまで収容することができる。また、音声通信のデジタル化により管制業務に有効である様々な機能を備えている。

当研究所では、平成12年度から平成16年度までの5カ年間にVDL3実験システムの開発評価実験^{[3][4][5]}を実施してきた。本稿では、当研究の最終年度に実施した米国FAA(Federal Aviation Administration)とのVDL3に関する相互運用性評価および航空管制官によるVDL3評価実験の結果について報告する。

2. FAAとの相互運用性評価実験

2.1 背景

米国FAAでは、VHF周波数不足への対応及び老朽化した対空通信施設の更新を目的として1995年よりVDL3を中核としたNEXCOM(Next Generation Air/Ground Communication)と呼ばれる空地通信システム更新プログラムを開始している。NEXCOMではVDL3用地上システムに加え、VDL3に対応した機上アビオニクスの開発も行われ、これまでに開発済みのシステムを用いた評価実験が数回に渡り行われている。

一方、当所においてもVDL3の研究評価を進めており、実験結果により得られたアイディア

をICAOの会議などに報告・提案するとともにFAAに対しても情報提供を行ってきた。以上の背景のもと、平成16年7月下旬に、日米のVDL3システムを接続した相互運用性評価実験を当研究所において実施した。本評価実験のため、米国よりVDL3空地システムを輸送し、実験当日には7人の技術者が来所した。

2.2 目的

本評価実験は、日米それぞれが開発したVDL3空地システム及びATNルータの相互運用性を検証することを目的として行った。評価に用いた日米のシステムは、いずれもICAO SARPs及びそのマニュアル(Doc9805)等に準拠して開発されている為、相互運用性が確保できない事項が発見された場合は、その原因を究明しSARPs等へ評価結果を反映させることも目的とした。

2.3 評価機材及び評価構成

評価に用いた電子研機材は、当所が開発したVDL3実験システム及びATNルータからなる(表1)。一方のFAA機材は、VDL3対応マルチモード無線機のほかVDL3用地上ネットワーク機器並びにアビオン社が開発したVDL3対応機上アビオニクスからなる(表2)。図1及び図2に評価時のシステム構成を示す。

表1 電子研VDL3システム

名 称	製造者
VDL3システム(地上局及び機上局)	NEC
地上センター局	NEC
ATN 機上/地上ルータ	OKI

表2 FAAVDL3システム

名 称	製造者
MDR TX(マルチモード送信機)	ITT
MDR RX(マルチモード受信機)	ITT
RTPF(地上機器)	CIE
RIU(インターフェイス)	BCI
機上無線機	Avidyne

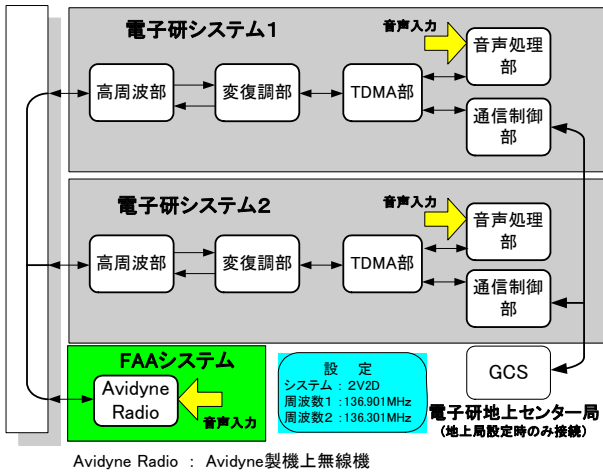


図1 電子研（地上／機上）⇔FAA（機上）

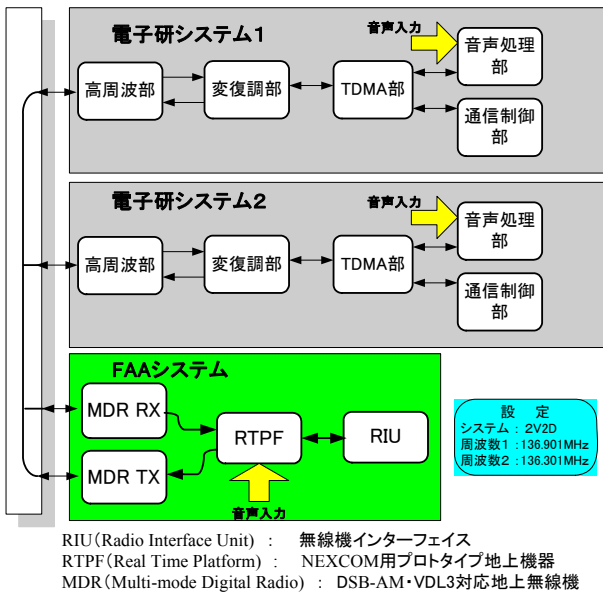


図2 電子研（機上）⇔ FAA（地上）

2.4 評価項目

(1) デジタル音声通信

受信音声品質を相互に確認する。

(2) 管制官優先機能（スタックマイク解除）

管制官通信が、パイロットの通信より優先し、かつ機上局側のスタックマイク状態を強制的に解除できる事を確認する。

(3) 次網アップリンク

地上局から次網周波数（次の管制空域の周波数）をアップリンクし、機上局が次の地上局の周波数に切り替わることを確認する。

(4) 管制官オーバーライド

機上局が音声送信中に、地上局がその送信に割り込み、送信可能なことを確認する。

(5) 緊急音声通信要求（UDR）

地上局が音声送信中に機上局から緊急音声要求を行い、地上局でメッセージを確認する。

(6) アンチブロッキング

複数のパイロットが同時に送信しないようパイロットの送信が1人に限定されることを確認する。

2.5 評価結果

VDL3の音声通信に関しては、予定した評価項目の全てで良好な結果が得られた。但し、これは評価に先立ってFAA機材を輸送し、当所において繰り返し予備実験を行い、その結果に基づいて事前に機材改修を行ったことが大きく貢献している。

2.6 本評価で判明した両システムの相違点

当所が行った事前評価を含め、本評価で判明した日米システムの相違点を原因別に説明する。

(1) ICAO マニュアルが不明確

- 地上局がUDRに対応しているかどうかを機上局に伝えるサポートオプションメッセージにおいて、航空機IDの挿入箇所が異なっていた為、電子研機材を改修して相互運用性を確保した。
- UDRの送信タイミングが、地上局に随時送信する電子研の機材に対して、FAA機材はポーリング応答でしか送信しなかった。この項目自体は、相互運用性に影響を与えるものではないが、UDRの緊急性を考えると電子研機材の方が適切な動作といえる。また、UDRに対する地上局の動作も異なっていたが、こちらはFAA機材の方が適切な動作であったため、電子研機材を改修した。
- ネットワークで通信する両者が、通信を始める前に対応プロトコル等について整合をとる動的パラメータ(XID)交換の際、電子研機材が一部不適切な項目を含んでいたため、これを削除した。

(2) ICAO マニュアルの解釈の誤り

下記はいずれも電子研機材が誤っていたため、電子研機材を改修し相互運用性を確保した。

- 電子研機材の音声フレームのビット送信順序

- ATN データ通信時の VDL3 サブネットワーク内の送達確認
 - トグルビットの反転方法
- (3) 機能未実装または独自機能
- ATN 通信時の VDL3 サブネットワークプロトコルが日米システムで一致するものがなく、そのままでは両者の間でデータ通信を行うことができないため、FAA 機材を臨時に電子研機材にあわせた。
 - 電子研機材のボコーダが短縮モードに対応していなかったため、FAA より最新ボコーダの提供を受け、短縮モードの評価を行った。
 - 電子研機材が伝送遅延評価の解析に必要な独自のデータ項目を挿入していたため、それ以降のデータが FAA 機材で解釈できなかった。このため、FAA 機材を臨時に改修し、電子研の独自データ部を読み飛ばす扱いとした。
 - FAA 機材が送信するデータのメッセージ ID が ICAO マニュアルに準拠していなかったため、電子研機材を臨時に改修し、FAA 機材にあわせた。
 - FAA 地上機材が複数の機上局からの予約要求に適切にスロット割り当てを行うことができなかった。
 - 動的パラメータ(XID)交換時に、電子研機材はオプション項目まで含めていたが、FAA 機材は必要最小限項目のみとなっていた。このため、電子研機材を臨時に FAA 機材にあわせた。

2.7 評価結果の活用

本評価で得られた結果は、ワーキングペーパーにまとめ、ICAO 航空通信パネル(APC)ワーキンググループ C,M および RTCA SC-172 の各会議に報告^{[6][7]}するとともに、当所がまとめたワーキングペーパーに基づいて、ICAO VDL3 マニュアルの改訂を FAA 側と共同で提案した。

3. 航空管制官による VDL3 評価実験

3.1 概要

平成12年度から行ってきた航空管制用デジタル対空無線システムの研究の締め括りとして、平成17年1月に東京航空交通管制部及び東京事務所の航空管制官40名により、VDL3の音声お

よび各種機能について評価を行った。評価者の年齢構成等を図3に示す。

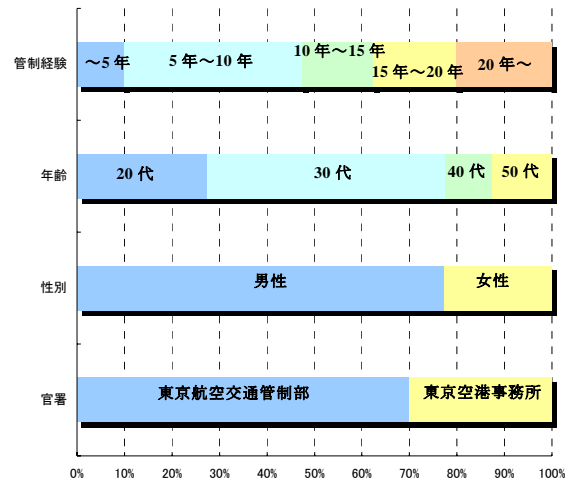


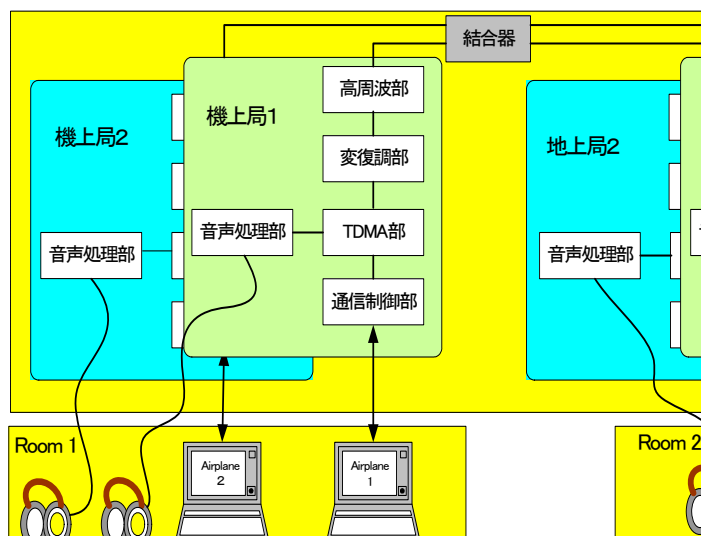
図3 評価者の構成

3.2 評価方法

本評価は、当所が開発した VDL3 実験システムおよび評価用ツールを使用して実施した(図4)。評価者は、あらかじめ用意したシナリオに従って、管制官役およびパイロット役に分かれ、擬似空地間通信を行い、次項に示す評価を行った。この評価結果は、評価項目毎に良いから悪い等の5段階で回答してもらった。

3.3 評価項目

- (1) デジタル音声及びデータ通信
 - 音声品質
 - 音声遅延
 - CPDLC 通信遅延
- (2) 各種機能の管制業務への有効性
 - 管制官優先機能
 - 自動ハンドオフ(次網アップリンク)機能
 - アンチブロッキング機能
 - 緊急音声要求機能
 - 送信者情報通知機能



(3) アンケート

- VDL3 システム導入について
- 国内航空路管制へ CPDLC(Contoller Pilot Data Link Communication)を導入した場合の管制官のワークロードについて

3.4 評価結果

(1) デジタル音声及びデータ通信性能

図5に評価結果を示す。音声品質および遅延については、回答の9割以上が管制通信に利用する上で問題なしとの評価結果が得られた。CPDLC通信の遅延についての評価は、「判断出来ない」と評価した人が、4割弱の結果となった。これは、遅延を判断する基準が明確でなかったことから、このような結果となったと考えられる。

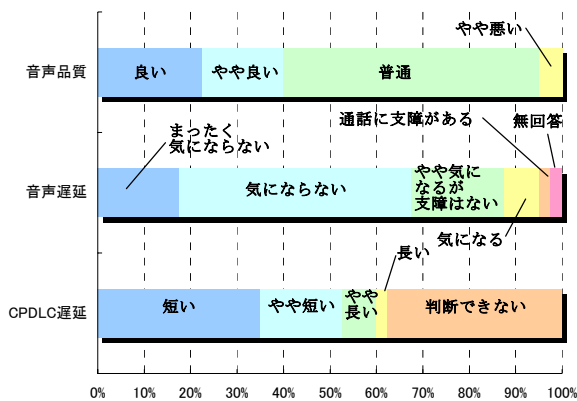


図5 音声及びデータ通信

(2) VDL3の各種機能の管制業務への有効性

図6に評価結果を示す。管制官優先機能、アンチブロッキング機能、緊急音声要求機能、および送信者情報通知機能(音声送信中の航空機をレーダ画面上において、目で見えて認識できる機能)の4項目については、7割以上の回答が、「非常に有効」または「有効」であった。特に管制官優先機能については、今すぐにも欲しいとのコメントが寄せられた。緊急音声要求機能については、パイロットにとっては「有効」な機能と評価しながらも、多用されると困るので、運用基準を定める必要があるとされた。

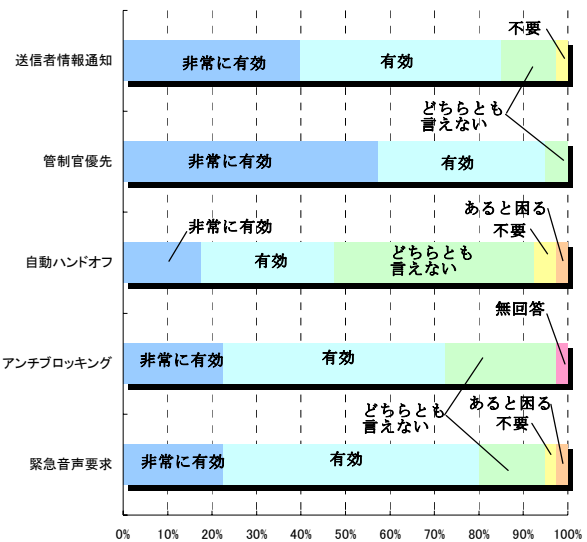


図6 各種機能の有効性

VDL3機能の中で最も有効と考えていた自動ハンドオフ機能については、「非常に有効」および「有効」の回答が、5割にとどまった。これは、パイロットに対して自動で管制移管が行われると、指示誤りに気づいた場合に訂正できないことを懸念する評価者が多くいたためである。これについては、現行のRDP(Radar Data Processing)及びFDP(Flight Data Processing)のシステム上で行われている管制移管手続きと同様に、移管先の管制官の了解手続き(Accept)を行うことで防止できると考えている。

(3) アンケート結果

評価終了後に実施したアンケート結果を図7に示す。

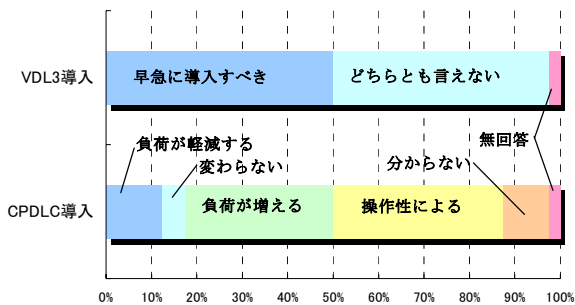


図7 管制官アンケート

VDL3導入については、「早急に導入すべき」と回答した人が5割に上り、「導入は見送るべき」との回答はなかった。また、国内航空路管制にCPDLC通信を導入した場合の管制官のワークロードについては、5割の方が「負荷が軽減される」または「操作性による」と回答した一方で、3割程度の方が「負荷が増える」と答えている。これは、データ通信を行うよりも音声で指示したほうが早いとの考え方に基いたものと推測するが、今回の評価で使用したツールが操作性を厳密に考慮したものでなかったこともこの結果につながったものと思われる。将来、我が国の管制通信にCPDLCを導入する際には、管制官およびパイロットのワークロードを低減させることが第一の目的となることから、その操作性については、可能な限り詳細な評価を行う必要がある。

3.5 管制官から寄せられたコメント

管制官から寄せられたコメントの一部を紹介する。

(1) デジタル音声及びデータ通信

音声品質

- 思っていたよりクリアだった。
- アナログの最良の状態に比べると少し劣るが、運用上問題ないレベルである。
- 現在の通信状態と大差ない。

音声遅延

- 遅れているようには感じられなかった。
- 操作に慣れていないから、実際の遅延は今回のモニターでは測れないと思う。

データ通信

- コマンドを選択して操作するための時間が問題。レーダ表示から目を離す必要があるため、仕様検討が大きな課題。
- 洋上管制で現在運用されているのに比べ短くてよい。
- 通信が混み合っている状況で、どの程度遅延が発生するか検証する必要があると思う。

(2) VDL3の各種機能の管制業務への有効性 送信者情報通知

- 機数が多い場合には、非常に有効だと思う。
- 特にいらぬ気がするし、余計な表示は邪魔になる。
- あってもよいがスイッチで無効にできるようにしてほしい。
- 類似コールサインが多いので助かる。
- コールサインも色が変わったほうが良い。

管制官優先

- 業務上有効な機能だと思う。
- 多々経験しているので、この機能があると非常に良いと思う。
- 管制官の主観とすれば非常に有効だが、パイロットの評価次第。
- 音声だけでなくデータ通信でも知らせる機能があってもよい。

自動ハンドオフ

- 忙しい時は、ハンドオフを受けるタイミングも重要なので、パイロットの了承によってOKとなると、受ける管制官は都合の悪いこともあるように思えた。
- 機数が少ないときはいいが、1人で何機も持ってハンドオフの入力を忘れた場合など、今と余り変わらない気がする。
- 間違ったときの訂正が心配
- 航空機側が周波数を間違えないのは有効であると思うが、東京管制部のように移管すべき周波数が多い場合、管制官側に操作ミスの可能性があると思う。

アンチブロッキング

- 重複したパイロットが管制官側でわかると便利である。
- 長すぎる送信を制限する必要がある。
- 今すぐにでも欲しい。
- 非常に有効だとは思いますが、ブロックされ送信していないパイロットが、管制指示を自分に

対してだと思わないようにブロック中は、表示や音をはっきりさせないと危ない。

- 混信がなくなるので良い

緊急音声要求

- どの機が緊急か一目でわかるため有効
- どこまでが緊急なのかの定義が必要
- 使用方法、やり方によっては有効だが、頻繁に使われると困る。
- 注意喚起ができ有効

3.6 評価結果の活用

本評価結果は、インフォメーションペーパーとしてICAO ACPワーキンググループM会議に報告し^[8]、VDL3の管制業務への適合性および有効性について説明を行った。また、RTCA SC-172会議にも同様の内容のペーパーを提出したほか、FAAテクニカルセンターでの発表も行った。

4. まとめ

5ヶ年の研究の最後として実施したFAAとの相互運用性評価実験および航空管制官によるVDL3評価実験については、当初予測した以上の成果が得られた。

相互運用性評価実験では、ICAO VDL3マニュアルの記述の誤りや不明瞭な点を修正することについて貢献できた。しかしながら今回の評価実験では完全に日米システム間の相互運用性を確保するに至っていないため、今後両システムをさらに熟成させるとともに、今回評価できなかった項目も含めて再度評価を行う必要がある。

また、航空管制官による評価実験は、VDL3が導入された場合の運用者(ユーザ)の評価を受けるものであり、システム作りには欠かすことが出来ない。当然、得られた結果や寄せられた意見は非常に貴重なものであり、今後のシステム構築に反映させなければならない。

VDL3の研究は、今後ATN、管制卓および管制用アプリケーションの研究と一体となって実施され、管制官のワークロード低減やそれによる空域容量の拡大を目指して継続して行くこととしている。次期研究では、FAAとの相互運用性評価実験を再度行うほか、研究の最終年度には、管制卓及び管制用アプリケーションまで含めた航空管制官による評価実験についても計画している。

[謝辞]

航空管制官によるVDL3装置評価に協力を頂きました東京航空交通管制部、東京空港事務所管制官の各位に感謝します。

[参考文献]

^[1]ICAO, ANNEX 10, VOLUME III

COMMUNICATION SYSTEMS, PART I,
CHAPTER 6, 2001.

^[2]ICAO, DOC 9805, Manual on VHF Digital
Link(VDL) Mode 3, 2002

^[3]S.Kato, "Development and Evaluation of VDL
Mode 3 System in Japan", ICAO ACP WGM/8,2003

^[4]北折他, "VHF デジタルリンクモード3システムの
基礎実験", 電子航法研究所報告, No.108,
2004.

^[5]中谷他, "VDL モード3の音声・データ通信性能
評価実験", 第4回研究発表会講演概要, 2004

^[6]Y.Nakatani, "Packet Flow Optimization for VDL
Mode 3", RTCA SC-172, 2005

^[7]Y.Nakatani, "Report of FAA-JCAB VDL Mode 3
Interoperability Testing", ICAO ACP WGM/9,2004

^[8]Y.Nakatani/Y.Matsukubo, "Report of Air Traffic
Controller Evaluations for VDL Mode 3", ICAO
ACP WGM/10, 2005