

1.1. 航空路管制業務への CPDLC 導入時の業務負荷の変化

監視通信領域 ※塩見 格一 板野 賢

1. はじめに

管制官-パイロット間データ通信（CPDLC: Controller-Pilot Data Link Communication）の導入では、現状のアナログ音声による通信における“聞き間違い”が排除されることによる、航空管制業務の安全性や信頼性の向上が期待される。

我が国の現状においては、CPDLCは管制間隔が大きく比較的に時間的な余裕が有る洋上空域の管制に導入されているだけであるが、欧米においては既に国内の航空路管制業務にも一部の導入が進められている。

アナログ音声通信からデータ通信への移行により、空地通信における電波の空間占有時間が大幅に短縮されることは、電波の使用効率の著しい改善を意味し、周波数を含めた電波資源の有効活用の観点からも、将来的には、我が国の国内航空管制業務においても空地デジタル通信の広範な導入が予想される。

航空局の提示する CARATS（将来の航空交通システムに関する長期ビジョン）においても、CPDLCの導入による航空交通の安全性・利便性の向上と、航空保安業務の効率化が期待・想定されている。

2. CPDLC 導入に向けての第一歩のために

CPDLCの航空管制業務への広範な導入は、将来的な必然ではあっても、その第一歩においては、我が国の航空管制業務に、業務環境の異なる欧米のCPDLCシステムをそのまま単純に導入することの適否は不明である。CPDLCの我が国の航空管制業務への導入に当たっては、結果的に欧米システムと何ら変わるものではないものとなる可能性もあるが、また更には将来的には欧米システムと十分な互換性を実現する必要があることを前提としても、第一歩においては、我が国の航空管制業務環境に対応した運用方式の策定と、これに対応するシステムの実現が必要不可欠である。

本研究は、我が国における国内空域へのCPDLC導入における第一歩を、躓いたりすることなく円滑に踏み出し、第二歩目のための確固たる足場に置くことができるように、「どのようなCPDLCのメッセージ・セットから始めるべきか?」、また導入の成果として、「航空管制官の通話時間をどの程度低減させることが可能か?」「その状況における管制官の業務作業負担はどの様に変化するのか?」と言った

問いに対して、可能な限り定量的な回答を与えるために行った。

CPDLCの導入により低減される通信時間の期待値等は、現状の空地通信の内容と頻度等の基礎データが存在すれば、導入するメッセージ・セットに対して、近似計算で算出可能であり、不確定要素を含めた予測についてもファストタイム・シミュレーション等を利用して、より正確に予測することは十分に可能である。しかしながら、単純化されたモデルを想定した近似計算や、ファストタイム・シミュレーションでは、業務形態の変更に伴う“人間性”を有した管制官の挙動の変化（新しいタイプのヒューマン・エラーの発生、等々）や、作業負担と負担感については、何らの情報を得ることもできない。

“CPDLCの導入における第一歩”が成功であったか、或は失敗であったかは、実際に新たな業務環境に身を置く管制官の主観的な評価によるものであるから、“CPDLCの導入における第一歩”を多くの管制官に肯定的に受け入れられる様に、導入準備は行われる必要がある。

本研究は上記導入準備に資するデータ及び資料を得るためのものであり、そこで、本研究においては、簡易的なものではあるが航空路管制業務用CPDLCシミュレータを製作し、管制業務経験者の方々に参加協力をいただき、リアルタイムなシミュレーションを実施することで、定量的な結果とプラス・アルファを得ることを目的とした。

3. CPDLC シミュレーション

図1は、製作したCPDLCシミュレータのユーザ・インタフェース部である。管制官役1名とパイロット役1名の2人でリアルタイム・シミュレーションが実施可能である。



図1 製作したCPDLCシミュレータ

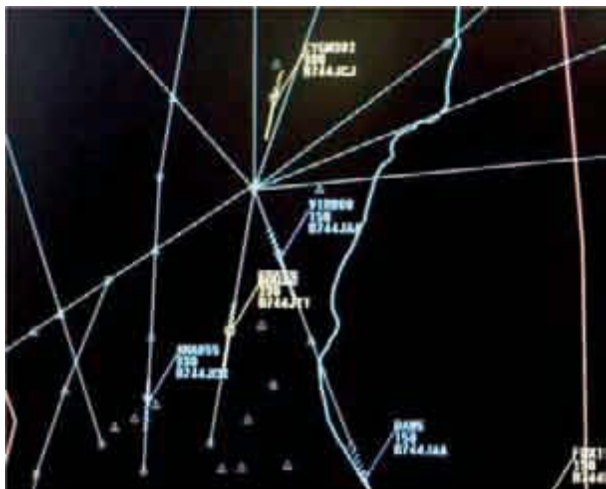


図2 航空機運航情報表示イメージ

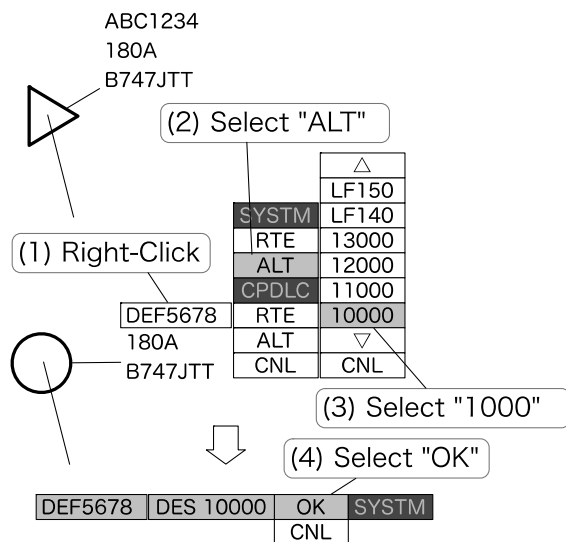


図3 CPDLCメッセージ作成手順



図4 CPDLCポップアップ・メニュー



図5 シミュレーション実験実施状況

図2は航空機の運航情報の表示形態を示したものであり、管制官役席にもパイロット役席にも同じ様に表示される。

図3は CPDLC メッセージの作成手順を模式的に示したものであり、実際のポップアップ・メニューは図4の様に表示される。高度変更に係るメニュー表示においてポップアップ項目数は調整可能とした。

図5は、シミュレーション実験実施状況であり、パイロット役に調整席役を兼任してもらう必要があったため、図1の様な向かい合わせではなく、横に並んでシミュレーションは実施した。なお、運航票は、その現状の書式に準じて予めリストとして印刷し、管制官役と調整席役の間に置いている。

シミュレーション空域としては、シミュレータの製作時点（2006年）における関東北セクターを設定した。同空域は羽田及び成田の二大空港のターミナル空域に隣接し、洋上からの通過機、福島空港等の小空港の離発着便、また百里・横田等の軍用機を取り扱い、9,000 フィートから 37,000 フィートまでの高度を有して運用方式が変化に富んでおり、成果としてのプラス・アルファを期待するシミュレーションに適していると考えたためである。

CPDLC の導入評価シミュレーションにおいて最も重要な想定は、データ通信に利用する CPDLC アプリケーションの機能特性とメディア特性、また CPDLC メッセージ・セットである。

本件シミュレーション実験では、まず、第一に、利用メディアとして、VDL (VHF Digital Link) Mode 2 を想定した。VDL Mode-2 は、アナログ音声通信の様に一方が話始めた瞬間に相手方に聞こえる程のリアルタイム性は有しておらず、常に、全てのメッセージの相互送達に 3 秒から、時に 10 秒以上の遅延が発生する。本件シミュレーション実験に使用した CPDLC シミュレータには、VDL Mode-2 機能評価

実験の結果から得られた伝送特性を模擬するデータ通路特性の模擬機能を実装している。

次に、CPDLC アプリケーションに対する機能設定は、ICAO の ATN (Aeronautical Telecommunication Network) の規定に準拠して行い、アプリケーションには全データの保護機能（データが不達の場合の再送機能）と論理的な送達確認機能が実装されている。アプリケーションにおいて実装される論理的な送達確認機能は、より下位の通信プロトコルが送達確認機能を有していない場合には、対話型通信の信頼性の確保には必須な機能と考えられている。

上記 CPDLC アプリケーション機能とデータ通路特性より、利用可能な CPDLC メッセージ・セットには制限が発生する。メッセージ・セットにおける制限そのものは、欧米における試行から運用における CPDLC においても存在し、必ずしも常に問題を孕んでいるものばかりではないが、CPDLC の導入を音声によるアナログ通信からの移行として捉える場合には、利用者である管制官の立場からの意見によれば、メッセージ・セットにおける制限が不自然に感ぜられるものがある。

本件シミュレーション実験においては、ATC 通信管理 (ACM) サービス・メッセージとして周波数変更指示メッセージを、ATC 管制指示 (ACL) サービス・メッセージとしては高度変更指示メッセージと進路変更メッセージの使用を想定したが、速度変更指示メッセージは利用できない。

速度の変更指示を的確に行うためには、運航状況において風の影響を受けている航空機の運航速度を速度変更指示以前に、航空管制側が知ることが必要であるが、DAPs (Downlink Aircraft Parameters) 等により航空機からの情報の自動的な情報配信が行われていない限り、管制官からパイロットに問い掛ける他なく、伝送遅延の大きな状況では対話型のメッセージの交換は業務負担の増大の観点から行うべきではないと考えられるからである。

速度変更指示以外の ACL サービス・メッセージについても、“ディスリガード” による修正が頻発する可能性があるものについては、利用は制限されてしかるべき、と考えられる。ICAO SARPs (国際民間航空機関による標準および勧告方式) に依って 300 種以上の Up-Link CPDLC メッセージが定義されているのに対して、本件シミュレーション実験では僅か 1% 程度のサイズのメッセージ・セットを想定したが、航空路管制業務では周波数変更指示は全ての取扱い航空機に対して行われ、高い CPDLC の導入効果

が期待されるサービス・メッセージであり、高度変更指示も離発着機を取り扱うセクターにおいては典型的な定型サービス・メッセージと考えられ、同様に高い導入効果が期待できる。針路変更指示はスペーシングに多用されるサービス・メッセージであり、これらによるメッセージ・セットのサイズは極めて小さなものではあるが、決して非現実的な想定ではない。

シミュレーション・シナリオは 50 機/時の想定許容処理容量（限界処理容量は 55 機/時）に対して 45 機/時程度として 30~40 分で処理可能なものを 3 種類用意した。比較的に様な航空機密度が保たれるもの（シナリオ A）から、航空機密度が一時的に高くなるもの（シナリオ C）、その中間的なもの（シナリオ B）を用意したが、いずれも管制業務経験者であれば無理なく処理できる難度としている。

CPDLC 対応機の設定は、3 種類のシナリオのいずれにおいても、CPDLC 対応機の割合を全体に対して 0%、30%、80%とした。その結果、シミュレーションにおける各管制官役参加者には、一人当たり 9 回のシミュレーションを行ってもらうこととなった。なお、本番のシミュレーションに先立ち、CPDLC 操作に慣熟するための練習は、別試行として行っている。

4. シミュレーション結果

一般財団法人航空交通管制協会殿に依頼し、関東北セクター対応の管制業務経験者 10 名を派遣していただき、8 名から有効な実験結果を得た。

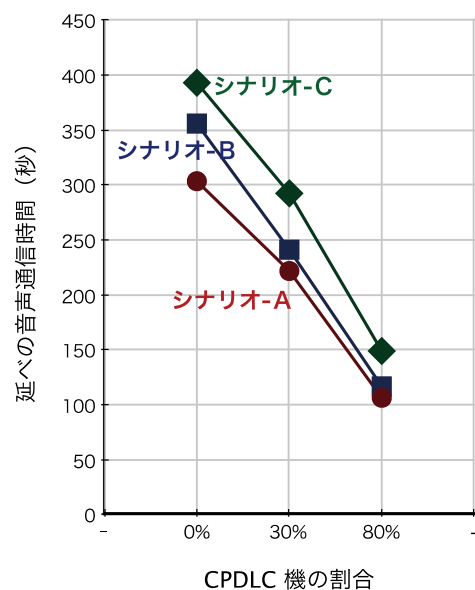


図6 平均的な音声通信時間の低減効果

図6は、シナリオ毎のCPDLC対応機の割合の変化と音声通話時間低減の効果を、有効な8人の管制官役による平均値により示したものである。各管制官役によるシミュレーション結果を個別に見れば、シナリオに依存して通話時間の差異が百秒以上になる場合もあったが、CPDLC対応機の割合の増大により通話時間が減少する傾向に変化はなく、ACMサービス・メッセージに限定すれば通話時間の減少傾向が更に著しいものとなることも明確であった。

移管に伴う周波数変更指示はキーパックを利用してもマウス等のポインティング・デバイスを利用しても一瞬にして完了するため、1回の操作で3～4秒の通信時間の短縮が図られ、予想通りの結果となっている。

シミュレーション実験後の個別の意見として、CPDLC対応機の割合が80%の場合には、「話す時間が少なくなり、考える時間が持たた。」「業務に集中できる。」等の肯定的な意見が多いが、30%の場合には、殆どが音声通信なのでCPDLC対応機にも音声で指示を出してしまう。「CPDLC対応機と非対応機の区別で混乱する。」等の否定的な意見が目立った。また、CPDLCの導入そのものに対しては、「交通量が数内状況では非常に便利だが、応答遅延が改善されなければ、交通量が多い状況では、周波数変更指示程度に使用を限定しなければ、運用は困難になる。」との意見を得た。

本件研究においては、伝送遅延が改善された状況を想定した同様なシミュレーション実験も行っている。伝送遅延の改善によっても、音声通信時間の低減効果に変化は認められなかったが、VDL Mode-2の通信パフォーマンスでは、航空機からの応答が否定的なものであった場合に、伝送遅延に起因するコンフリクトも発生していたが、その様な問題は解消されている。応答遅延の改善を前提として、ACLサービス・メッセージに速度変更指示メッセージとダイレクト指示メッセージを追加すれば、航空路管制業務へのCPDLCの導入が管制官諸氏に肯定的に受け入れられる可能性は高い様に思われた。

5. おわりに

本シミュレーション実験においても、実験後の意見においてはユーザ・インタフェースの改善を求めるものは多くあった。また、必ずしもそれらのリクエストは似たものばかりではなく、時には両立はしないものもあった。ユーザ・インタフェースの改善等は、システムやアプリケーションを使用しながら実際の利用者の意見を集めて改善を進めていくべきものであるから、導入当初からは複雑な機能は提

供すべきではない。初期的には、周波数変更指示等をワンタッチで行える様にしておけば十分と思われる。高度変更指示メッセージの作成も航空機シンボルに対するポップアップ・メニューである必要はなく、メニュー・バーの様な形態を採用し入力可能な全ての高度を表示した方が効率的であるかも知れない。

航空路管制業務へのCPDLCの導入以降、将来的にCPDLC対応機の割合がどの様に推移するのかは分からないが、中途半端に30%程度の状況が続くことは、業務負担の観点からは好ましくはなさそうである。当所では、発話音声の揺らぎ（CEM値）から発話者の心身状況を推定する研究も行っており、本シミュレーション実験における音声通信の音声をその手法により分析した結果、CPDLC対応機の割合が30%の場合に、統計的有意に思考負荷が増大していることが確認されている（図7を参照）。

管制官参加によるリアルタイム・シミュレーションは経費と時間が掛かるため、行われる機会は減って来ているが、機会があれば再度、より現実に忠実なシミュレーション実験を行いたいと考えている。

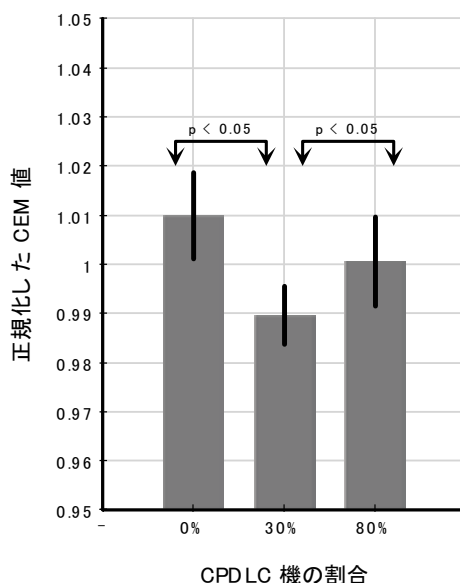


図7 CPDLC対応機の割合とCEM値

文献

- [1] 板野, 塩見, 青山, 金田: “CPDLC対応航空路管制卓の試作開発と評価”, 第10回電子航法研究所発表会講演概要, 平成22年6月.
- [2] ICAO Doc.9705, Edition-3, 2002.
- [3] COCR OS/SPRC, April 13 2007.