

21. VDLモード3を用いたATNの通信実験

航空システム部 ※板野 賢
 国土交通省航空局 加藤 敏
 航空システム部 北折 潤 中谷 泰欣

1. まえがき

ATN（航空通信網）は、従来個別に行われていた航空におけるデータ通信をOSI（開放型システム間相互接続）を用いたビット指向型のデータ通信に統一し、航空通信用のインターネットを構築して行くものである。

平成16年度は、ATNの互換性および相互接続性を検証するためFAA（連邦航空局）とVDL（VHFデジタル・リンク）モード3（以下、VDL-M3と言う）を介した接続実験を行った。また、当所で試作中のVDL-M3を用いて、ADS（自動位置情報伝送・監視機能）などのATNアプリケーション通信性能の測定を行なった。

本報告では、これらの実験概要と実験結果について報告する。

2. FAAとの国際実験

当所では、これまでにユーロコントロール等の海外の試験機 関とATNの接続実験を行ってきた^{(1)、(2)、(3)}。FAAはNEXCOMと呼ばれる次世代空対地通信基盤プログラムのなかでA/G BIS（空/地境界型中間システム）とVDL-M3等の開発を行なっている。

FAAとは今回が初の試験であり、空対地のシステム構成で、FAAのBISと電子航法研究所（以下ENRIと略す）所有のBISを接続し、下位層（3層まで）の接続性を評価することを目的とした。実験はステージ1とステージ2の2段階に分

けて行なった。また、実験の前にPICS（プロトコル実装適合標準）などの比較を行い接続性に重大な支障はないことを確認した。

・ステージ1の接続実験

FAAのテクニカルセンターとENRIの間で、FAA BISとENRI BISの接続実験を行った。この実験は、X.25（ISO8208パケット層プロトコル）パケットトンネリングを利用し、インターネットを介したものである。

図1に実験構成を示す。図中のCiscoルータはゲートウェイであり、Ciscoルータ間はXOT（X.25 over TCP/IP）プロトコル（IETF RFC 1613）によるトンネリングを使用して、インターネットで接続した。XOTを用いて、BIS間においてATN下位層（IDRP、ES-IS、CLNP、ISO 8208 mobile SNDCEF、X.25）の接続試験を行った。ここでIDRPとES-ISはBISが用いるルーティング・プロトコルである。また、CLNPはATNで用いるネットワーク・プロトコルである。ISO8208 mobile SNDCEF（以下mobile SNDCEFと略す）はISO8208のオプション機能を利用したサブネットワーク依存収束機能である。また、X.25はATNではサブネットワーク・アクセス・プロトコルとして用いれる。

また、FAAのA/G BISは航空機BISとして設定し、ENRIのBISはA/G BISとして設定した。mobile SNDCEFは空/地間で送受信されるデータ

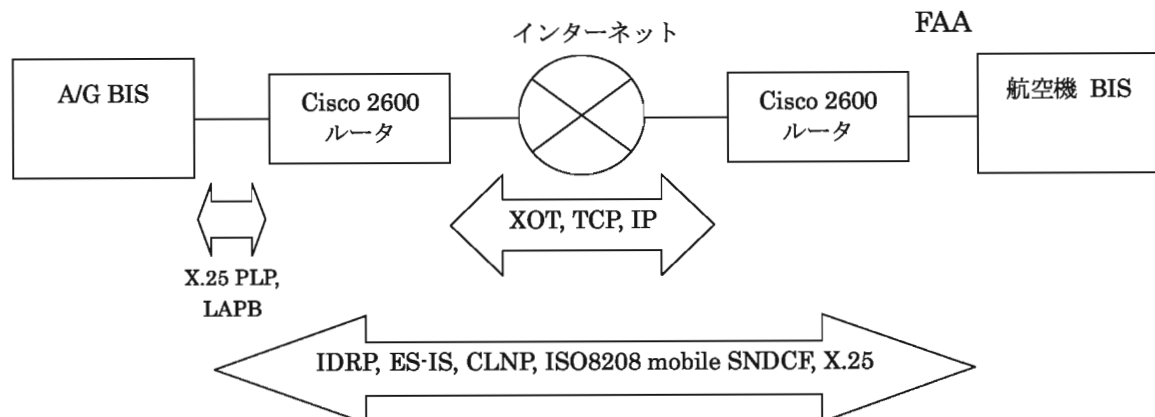


図1 ステージ1の実験構成

量を減らすために用いられ、CLNP-PDU（プロトコル・データ・ユニット）ヘッダの圧縮・解凍を行なう機能（LREFと呼ばれる）などがある。実験ではLREF機能を用いた。

実施した実験項目は次のものである。

- 1) A/G BIS からの接続による BIS 確立
- 2) A/G BIS からの BIS 切断～再確立
- 3) 航空機 BIS からの接続による BIS 確立
- 4) 航空機 BIS からの BIS 切断～再確立
- 5) ECHO Request/Response
- 6) 未知の宛先アドレスによる ER（エラー）-NPDU 返却
- 7) A/G BIS 回線障害
- 8) 航空機 BIS 回線障害

実験結果は項目 1、3、4、5、6 については、FAA と ENRI の BIS の処理上の差異が一部見られたが互換性には問題なく成功した。項目 7 は A/G BIS のコネクタを抜いて回線障害を起こし、コネクタを戻して BIS 間の再接続が行なえるかどうかを試みたが、再接続にはいたらなかった。項目 8 は航空機 BIS で項目 7 と同様なことを行なった。この場合、FAA 側が手動でリーブ・イベントを発生させた時は再接続できた。項目 2 も不成功であった。また、mobile SNDCF の LREF 機能については問題なく互換性を確認できた。その圧縮効果については 3 節で述べる。

VDL-M3 の場合、航空機がサブネットワークに参加あるいは離脱したことを BIS が知るの、サブネットワークからのイベント情報による。離脱した場合に用いられるのがリーブ・イベン

トである。項目 7 が不成功であった理由はリーブ・イベントの日米間の実装上の差異による。

ENRI の BIS では、回線障害を検出すると mobile SNDCF がリーブ・イベントを内部で発生させる。このため BIS は当該リンクの構成情報やフォワーディング情報ベースを破棄して IDRP を切断する。一方、FAA 側はサブネットワークからのリーブ・イベントにしか対応していない。このため、FAA 側では回線障害などでは構成情報の破棄などは発生しないので、回線が復帰した場合にも BIS は ISH（中間システムハロー）を送信しない。ENRI 側では既に構成情報を破棄しているので、BIS の再接続には ISH は必要である。このため BIS の再接続は不可能になる。項目 2 の場合も、再確立の際 FAA 側から ISH が送信されないので不成功に終わる。

・ステージ 2 の接続実験

ステージ 2 では、FAA のクルーが来日し、当所に米国機材を設置して日本側の機材と VDL-M3 を介して接続して実験を行った。図 2 にステージ 2 での実験システムに用いたプロトコルスタックを示す。日米間では同じ SARP s に基づいて試作した機材であるにもかかわらず実装上での差異がある。ここでは、ATN での差異を述べる。

ENRI では、BIS と VDL の地上局との間の接続は WAN（ワイド・エリア・ネットワーク）を用いるが、FAA では BIS と航空機局との接続に X.25 パケットを TCP/IP でカプセル化したイーサネットを用いている。このため、FAA 側では形状の大きな WAN ボードやコネクタを使用する

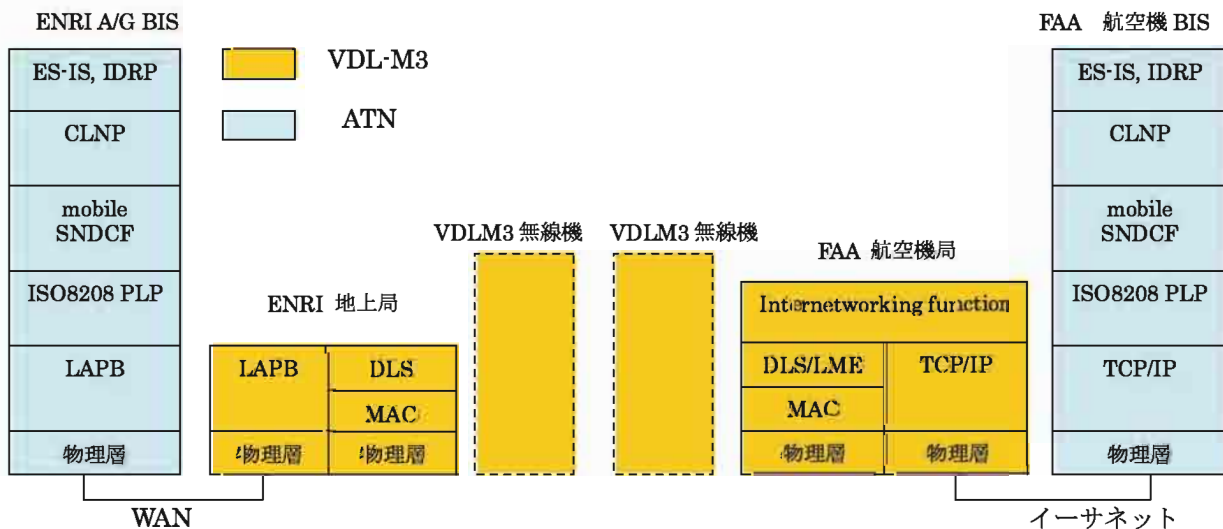


図 2 ステージ 2 の実験システムのプロトコル・スタック

必要がなく、BISも通常のラップトップ・パソコンに実装できる。X.25を用いたWAN製品は現在では枯渇ぎみであり、コンパクト性や機材調達でのメリットがある。

実験項目はステージ1の項目1、2、5、6と同様の内容を、ENRIとFAAで空/地の立場を入れ替えて2回実施した。実験結果は互換性に関しては問題は見られなかった。項目7と8に関しては、ENRIが航空機側で航空機BISに回線障害が発生した場合だけ実施したが、BISの再接続はできなかった。この問題は、FAAが内部リブ・イベントを実装しない限り解決しない。また、項目3、4は時間の都合で実施できなかった。

3. ATNアプリケーションを用いた通信実験

VDL-M3を用いた場合のATNアプリケーションの通信性能を評価するため、当所のVDL実験システムを用いた通信実験を行なった。実験構成図を図3に示す。図3の地上アプリケーション・サーバと航空機シミュレータ間でアプリケーション間の通信は行なわれる。実験に用いたアプリケーションはADSやCM（コンテキスト・マネジメント）などである。アプリケーション操作表示端末は地上アプリケーションサーバの操作と表示に用いる端末である。性能測定装置により模擬航空機側と地上側のLAN上の送受信データのキャプチャを行い、各種データの伝送時間を測定する。VDL-M3のTDMA（時分割多元接続）スロット1チャンネルあたりのデータ伝送速度は4.8kbpsである。

ここでは、実験結果の一部を紹介する。図4はADSレポートを100回送信した場合のレスポ

ンスタイム（航空機シミュレータがADSレポート送信してから地上アプリケーション・サーバからの送達確認を受信するまでの時間）を示す。図4のVDL回線品質「通常」はVDL-M3でのBER（ビット誤り率）が0の場合を、「低下」はBERを悪化させ平均で 1×10^{-3} の場合を示す。BISからVDL装置に送信されるデータ量は毎回、アップリンクで20バイト、ダウンリンクでは42バイトである。このうちCLNPヘッダは6バイト固定である。CLNPヘッダはLAN上では78バイトであり、72バイトがmobile SMDCFのLREF機能で圧縮される。

回線品質「通常」の場合、アップリンクの伝送時間はほぼ一定であるが、ダウンリンクでは伝送時間にばらつきが見られる。これは、VDL-M3ではTDMAを用いているため、アップリンクでは回線に空きが有りしだいデータを送信するのに対して、ダウンリンクでは予約処理などのため待ち時間が発生するためである。レスポンスタイムは平均で1.317秒、標準偏差は0.212秒である。

回線品質「低下」の場合、BERが 1×10^{-3} よりも悪い状態ではデータを正常に受信することができず、VDL装置内部でデータの再送が行なわれレスポンスタイムが増加している。VDL装置はデフォルトで3回までのデータの再送機能がある。LAPB、X.25プロトコルによるエラーは検出されていない。また、4層の応答監視タイマーは12秒に設定したため、エンド・エンドでのデータの再送も発生していない。レスポンスタイムの最大値は8.197秒で、平均は2.214秒、標準偏差は1.561秒である。

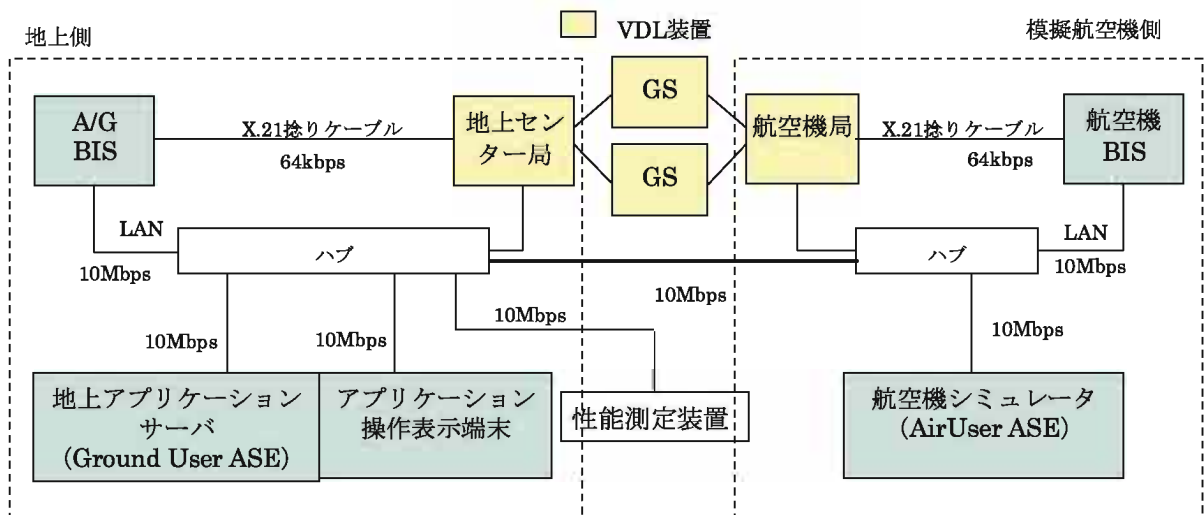


図3 ATNアプリケーションの通信実験の実験構成図

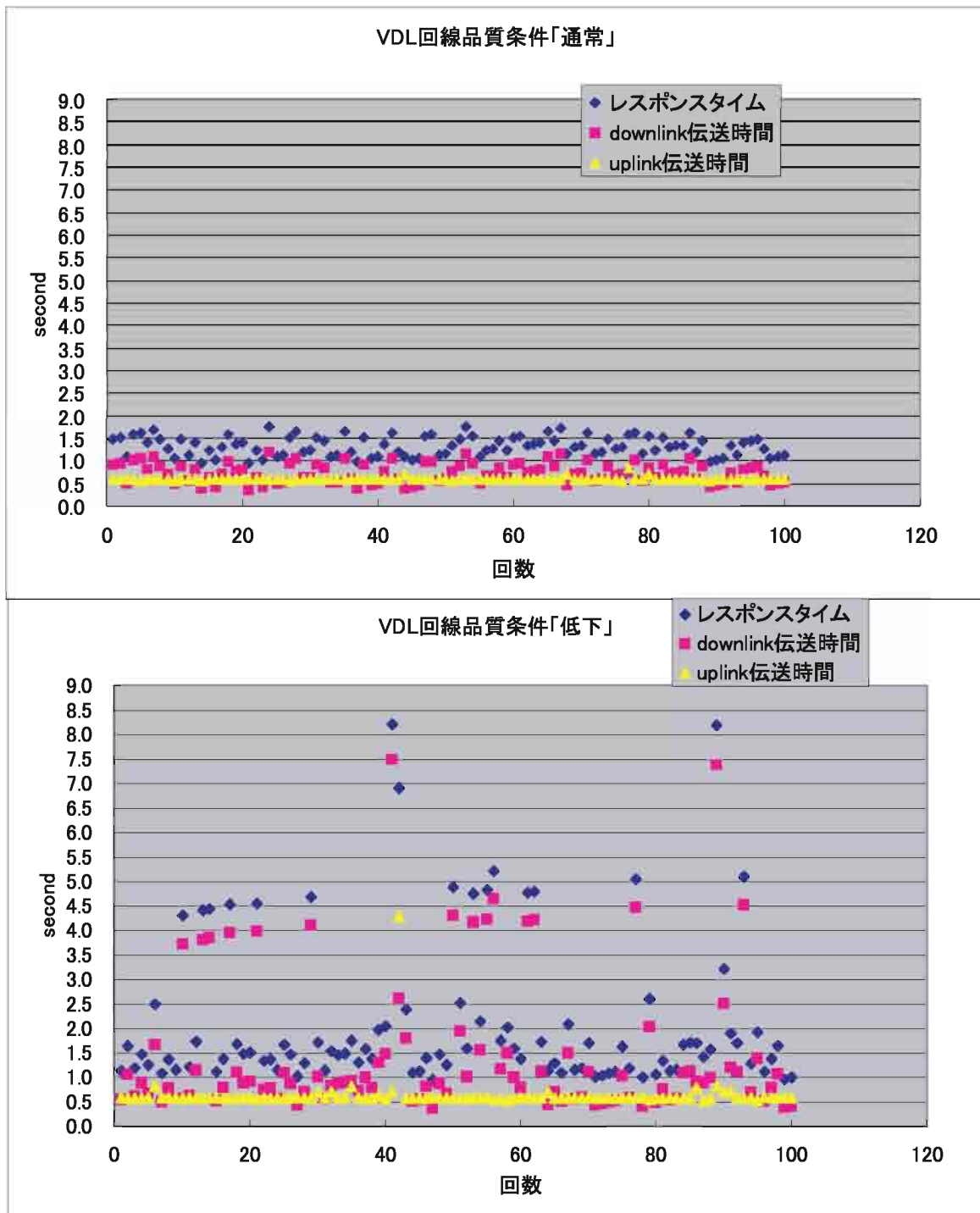


図4 ADSのレスポンスタイム

4. まとめ

ATNの互換性および相互接続性を検証するためFAAとVDL-M3を介したBISの接続実験を行った。実験結果は、正常なBISの接続・切断、切断後の再接続は成功するが、異常な切断の場合、処理が異なるので再接続は成功しない。

mobile SNDCFについてはFAAとの互換性を確認できた。また、当所のVDL実験システムを用いた実験では78バイトのCLNPヘッダが6バイトに圧縮され、空/地リンクの通信には有効と思われる。

参考文献

- (1) 板野賢、塩見格一：“航空通信網(ATN)の研究”，電子航法研究所報告No.100,2003.2.
- (2) 板野賢、塩見格一：“ATNの国際接続実験について”，第31回電子航法研究所発表会概要，平成11年6月.
- (3) 板野賢、塩見格一：“ATNの国際接続実験について(その2)”，第32回電子航法研究所発表会概要，平成12年6月.