研究報告
電子航法研究所報告
№100　2003．2

ELECTRONIC NAVIGATION
RESEARCH INSTITUTE PAPERS
№100　February　2003

航空通信網（ATN）の研究

板　野　　賢*，塩　見　格　一**

Research of Aeronautical Telecommunication Network

Ken ITANO, Kakuichi SHIOMI

Abstract

The ATN (Aeronautical Telecommunication Network) is designed to present a global internetworking infrastructure for future aeronautical telecommunication. This report presents research activities on ATN conducted by ENRI (Electronic Navigation Research Institute) from fiscal 1996 to 2000. In these 5 years, we developed an experimental simulation system called EAST (Enri ATN Simulation Test bed). Using EAST, we verified the protocols and air/ground applications of ATN through the international experiments with Eurocontrol and Air Service Australia. The result of the experiments showed that ICS (Internet Communication Service) and ULCS (Upper Layer Communication Service) protocols of EAST are compatible with those of foreign experiment systems, and it also showed that air/ground applications of EAST have connectivity and compatibility with those of them. To evaluate the performance of the air/ground applications, we also conducted an experiment with EAST and pseudo AMSS (Aeronautical Mobile Satellite Service) subnetwork. The outlines and results of those experiments are also described in this report.

*航空システム部　　**管制システム部

用語解説

ADS：自動従属監視
AES：航空機地球局
AIDC：管制機関間データリンク通信
AMCP：航空移動通信パネル
AMHS：ATS メッセージ・ハンドリング･システム
AMSS：航空移動衛星業務
ASN.1：抽象構文記法１。応用層のプロトコル仕様などによく利用される抽象構文を記述する記法の一つ。
ATN：航空通信網
BER：ビット誤り率
BIS：境界型中間システム。IS の一つでルーティング･ドメインの境界に有り，ドメイン間の通信は BIS を介して行われるのでこう呼ばれる。
CLNS：コネクションレス・ネットワーク・サービス。各層にはコネクション型とコネクションレス型のサービスが有り，それぞれ長所と短所がある。ネットワーク層がコネクション型（CONS）だとデータ転送の前に接続処理で相手までの経路を確保する必要があり ATN ではコネクションレス型が採用された。インターネットもネットワーク・サービスはコネクションレス型である。
CLNP：コネクションレス・ネットワーク・プロトコル。CLNS で用いられるネットワーク層のプロトコルで，ATN に準拠する ES 及び IS は CLNP を実装する必要がある。ATN 用の CLNP はオプション機能を採用し，標準的な OSI とはやや異なる。
CM：コンテキスト・マネジメント
C/No：搬送波電力対雑音電力密度比
CNS/ATM-1：通信・航法・監視および航空交通管理-1。最初の ATN-SARPs の別称。
CPDLC：管制官・パイロット間データリンク通信
ES：エンドシステム。OSI 以外のネットワークではホストとかシステムなどと呼ばれるノード。
ES-IS プロトコル：OSI のサブネットワーク内部で使用されるルーティングプロトコル
GES：地上地球局
Hello メッセージ：OSI で各ノードがネーバー・グリーティングに用いるメッセージ。Hello を受け取ることで隣接ノードの存在を知ることができる。また，保持時間を設けることで，そのノードがまだ存在しているかどうかも知れる。ES　Hello, IS　Hello, IS-IS　Hello などがある。
ICAO：国際民間航空機関
ICS：インターネット通信サービス。ATN の3,4層の通信サービスで，パケットを目的の相手に届けるサービス。
IDRP：インター･ドメイン・ルーティング・プロトコル。OSI で用いられる三つのルーティング・プロトコルの一つ。
IS：中間システム。経路選択やサブネットワーク間のサービス品質やプロトコルの差を吸収する機能を持つ OSI 下位３層からなるデータの中継機。インターネットではルータあるいはゲートウェイと呼ばれることもある。
IS-IS プロトコル：OSI のドメイン内部で用いられるルーティング・プロトコル
ISO：国際標準化機関
Lack：ロジカル･アクノレッジ。CPDLC メッセージを受信した方が送信元に送る肯定応答で，アクノレッジであってもトランスポート層ではデータとして取り扱われる。
LAN：ローカル･エリア・ネットワーク
LAPB：平衡型リンク・アクセス手順
LLC 副層：論理リンク制御副層。２層の副層の一つ。
OSI：開放型システム間相互接続。ISO により提唱されたインターネット技術。
PDU：プロトコル・データ・ユニット
QOS：サービス品質
RD：ルーティング・ドメイン
RNP：航法性能要件
SARPs：ICAO による標準及び勧告方式
TCP/IP：トランスポート制御プロトコル/インターネット・プロトコル。インターネットなどで標準的に使われているインターネット技術を意味する。
TPDU：トランスポート層プロトコル･データ･ユニット
ULCS：上位層通信サービス。ATN の５層以上の通信サービス。
VDL：VHF ディジタル・リンク
WAN：ワイド・エリア・ネットワーク
パケット：OSI などでデータ伝送の単位となるもの。イーサネットなどではフレームと呼ばれる。

1．まえがき

国際民間航空機関（ICAO）は将来の航空需要の増大に対応するため，1994年に航空通信網（ATN）パネルを設置し，1996年に開催されたATNパネル2で最初の標準及び勧告方式（SARPs）をまとめた。ATNは従来個別的に行われてきた航空通信のデータ通信機能を，国際標準化機関（ISO）の提唱する開放型システム間相互接続（OSI）*1を用いたビット指向型の通信に統一し，航空通信全般に渡るインターネットを構築しようとするものである。

ATNの最初のSARPsは通称，通信・航法・監視および航空交通管理-1（CNS/ATM-1）パッケージと呼ばれ，コアパート（第10付属書の改定部分）と5つの技術分冊（Doc.9705と呼ばれる）で構成されている。技術分冊の第一分冊はシステム要件に関して，第二及び第三分冊はそれぞれ空対地及び地対地のアプリケーションに関してまとめられている。第四及び第五分冊が通信サービスに関するもので，第四分冊はOSI5層以上の上位層通信サービス（ULCS）を，また，第五分冊は3～4層のインターネット通信サービス（ICS）をまとめたものである。また，空地サブネットワークについては3層ネットワーク層のサブネットワーク副層以下の標準化が航空移動通信パネル（AMCP）などの専門のパネルで行われている。また，2000年に開催されたATNパネル3でSARPsの改訂が行われ，システム管理やセキュリティなどに関する要件が追加され，現在技術分冊は9分冊になった。

当所では，平成8年度からパネル2に対応するATNの研究を開始し，ATNプロトコルの検証と相互接続性の確認を目的として，平成10年度から海外の研究開発機関との間で接続実験を行った[1],[2]。また，空対地データリンクとの相互運用性の確認のために，擬似衛星サブネットワークを用いた実験を行った[3]。本報告では，平成8年度から12年度にかけてのATN研究の概要と成果について述べる。

なお，本報告には略語や特殊な用語が多数あるので，本文中に説明のないものについては用語解説を参照されたい。また，引用した文献は参考文献にまとめたが，ISO関連の文献については本文中に，例えばISO9052という形で表記した。

*1：付録1にOSIの概要を示す。

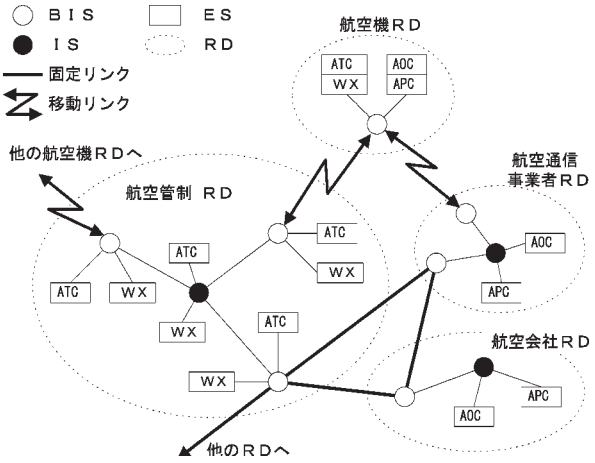

図1　ATNのルーテイング構造

2．ATNの概要とICSについて

ATNは従来個別的であったネットワークを中間システム（IS）で相互接続し，一つの航空通信インターネットを構築するものである。OSIは7層の階層構造をしているが，ISはネットワーク層までの下位3層からなり，通信経路を選択（ルーティング機能）したりサブネットワーク間の品質やプロトコルの差を吸収する機能などを持ったデータの中継器である。

図1はATNのルーティング構造を示す。図中の丸印はISを，長方形はエンドシステム（ES：ここでは用途別に記号を振っている。例えばATCなら航空管制用のESを示す）を示す。各ISを結ぶ実線は固定リンクを，折れ線は移動リンク（空対地サブネットワーク部分に相当する）を表す。図の点線で囲まれた範囲がルーティング・ドメイン（RD）で，RDの集合がATNを形成する。RDは共通のルーティング・プロシジャで区切られたISとES及びサブネットワークの集合で，共通の経路選択アルゴリズムや情報交換プロトコルを持つ特徴がある。航空機は，それ自体が一つのRDを構成する。

ISにはRD間のリンクに用いられる境界型中間システム（BIS：図1中の○印）とRD内部のリンクに用いられるIS（図1中の●印）があり，異なるルーティング・プロトコルが用いられる。BISはRDの境界にあり，RD間の通信は常にBISを介して行われる。

ICSはデータを目的の相手まで届けるための通信サービスである。ATNの特徴的なことは，移動体である航空機ドメインが含まれることである。このためネットワークのリンク状態は刻々と変化し，ICSでは動的なルーティングが不可欠になる。OSIがATNで採用された理由の一つは，OSIが動的なルーティングの仕組みを提供

していることによる。

OSI のルーティング・プロトコルには ES-IS（ISO9054），IS-IS（ISO10828）及びインター・ドメイン・ルーティング・プロトコル（IDRP：ISO10747）の 3 つがある。この内，前の二つは RD 内部のルーティングに用いられる。IDRP は RD 間のルーティングに用いられ，ATN では BIS に実装不可欠なものである。また，RD 内部のルーティングについては，ATN でも必ずしも動的なルーティングが不可欠ではないので SARPs 上でも OSI のルーティング・プロトコルを使用する必要性は記述されていない。

3．研究の概要と背景

ATN の実現を目的として，欧州（ユーロコントロール），豪州（エア・サービス・オーストラリア）などでは国際間での試行・接続などの実運用を意識した評価実験が進められている。一方，我が国は平成17年頃までに ATN の運用を，また，AMHS については平成12年頃に試験運用を開始する予定であることを公表している。この計画に沿った整備を行うためには，早急に ICS の接続性の検証に加えて，ULCS 及びアプリケーション間の相互接続性の確認を実施しなければならない状況にある。また，我が国と諸外国との ICAO SARPs に対する解釈の相違などによる問題点を，ATN の整備に先立ち明らかにし解消することが重要であり，これらの目的のため当所の実験システムと海外のテストベッドとの接続実験が不可欠と考えられる。このため，平成10年度から平成12年度までに通信サービスとアプリケーションを含めた相互接続性を国際間の接続実験で確認した。また，空対地サブネットワークを用いた場合の通信時間などの性能を評価するため，当所衛星航法部で試作した擬似衛星サブネットワークを用いた通信実験を行った。

3.1　実験計画と目的

海外との接続実験は次の 3 ステップに分けて行った。

ステップ 1

ICS の接続性の検証を BIS レベルで行った。

ステップ 2

ULCS と管制官・パイロット間データリンク通信（CPDLC）アプリケーションの接続性の検証を平成11年下半期から行った。

ステップ 3

自動従属監視（ADS）を含めたアプリケーションの検証を平成12年度に行った。

4．実験システム

海外との接続実験などのために実験システムを試作した。この実験システムを EAST（電子航法研究所 ATN

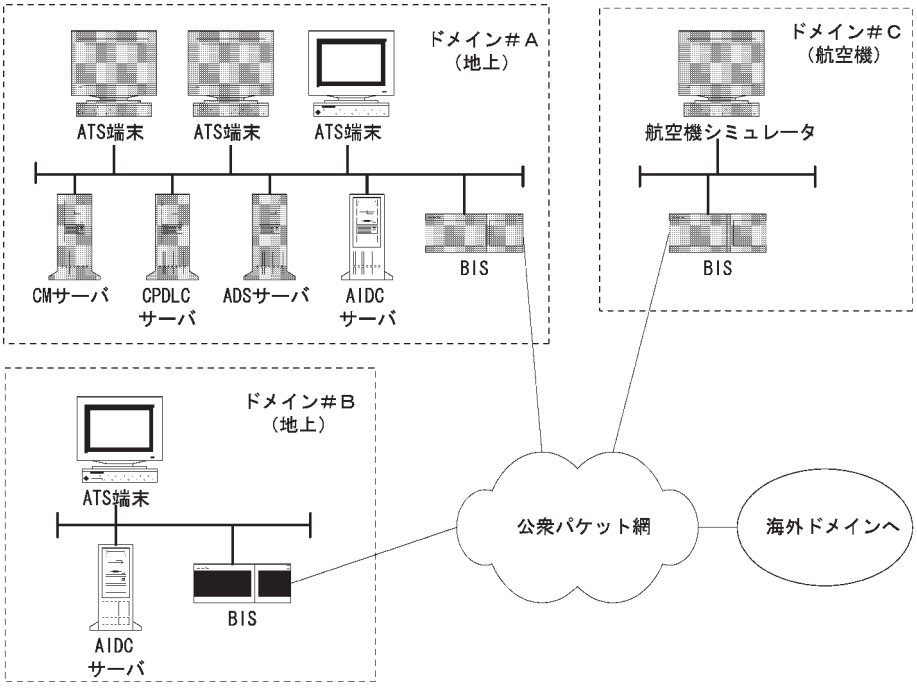

図 2　EAST の構成図

シミュレーション・テストベット）と呼ぶ。図2はEASTの構成を示しており，図中の網掛けの部分が平成12年度までに試作したものである。EASTは将来的には地上2ドメイン，航空機1ドメインの構成になり，海外など他のドメインとの実験に主に使用する。

図2中のATS端末はデータリンク用の入出力端末で，航空管制官用のインターフェースを提供する。CPDLCなどのATNアプリケーションはそれぞれ専用のアプリケーション・サーバが提供するサーバ・クライアント型のシステム構成をとっている。図2の航空機シミュレータはパイロット用のデータリンクの入出力端末で，機上のATNアプリケーションとパイロット用のインターフェースを提供する。

図3はEASTのプロトコル・スタックを示す。EASTはOSIとTCP/IPの2つのプロトコルを用いている。BISとアプリケーション・サーバ間のATNの通信に関わる部分ではOSIを用いるが，ATS端末とアプリケーション・サーバ間はTCP/IPを用いる。また，EAST内部の各装置の接続にはローカル・エリア・ネットワーク（LAN）を，海外などの他ドメインとの接続にはX.25を用いたパケット網を用いている。図中の網掛けの部分がICSとULCS SARPsに相当する部分である。

ATNでは，管制官とパイロット間の通信のように，不特定多数の利用者が比較的短い通信を繰り返し行い，その通信に緊急性が要求される場合がある。そこで，ATNではコネクションレス型のネットワーク通信サービス（CLNS）を採用しそのプロトコルであるコネクションレス・ネットワーク・プロトコル（CLNP）の実装を義務づけている。

しかし，サブネットワーク自体はコネクション型のものもコネクションレス型のものもある。このため，OSIではネットワーク層を3つの副層に分けている。CLNPやルーティング・プロトコルは最上位の副層のプロトコルである。ATN SARPsで標準化されているのはネットワーク層ではこの最上位の副層までである。他の副層にはサブネット毎に必要なプロトコルを実装する。

図3で，パケット網自体はコネクション型のネットワークである。ここで用いるX.25（パケット層）はネットワーク層のプロトコルであり，ICSではサブネットワーク副層のプロトコルとして取り扱われる。平衡型リンクアクセス手順（LAPB）はデータリンク層になる。これに対して，LANの部分はコネクションレス型であり，CLNP以下にネットワーク層のプロトコルは必要ない。データリンク層の論理リンク制御副層（LLC副層）以下

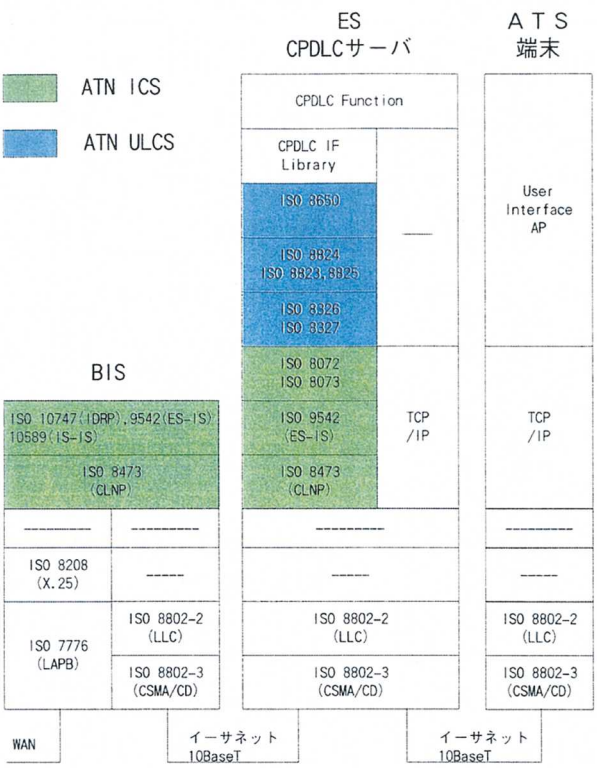

図3　EASTのプロトコル・スタッフ

がこの下に続く。

図3のCPDLCサーバのISO8072とISO8073が，トランスポート層のサービスとプロトコルである。データを目的の相手に届けることがネットワーク通信サービスの役目であるが，CLNSはデータが正しくまた順序どおりに届くかどうかの保証を行わない。これを保証するのがトランスポート層の役目で，コネクション型のトランスポート通信サービス（COTS）を用いる。現在のところATNのアプリケーションは全てCOTSを用いている。その上ISO8650までがULCSの部分である。

図4にATS端末の表示画面の一例を示す。この端末はCPDLCのクライアントで空港用管制卓（羽田）を模した画面構成を持つ。画面の左側がレーダ画面で，右側が上から管制官支援用の順序表示部，運航票およびCPDLCメッセージ履歴，CPDLCエディタ画面の構成である。ATNでは，アップリンクのCPDLCメッセージに200以上のメッセージが用意されている。しかし，空港管制や航空路管制単独ではこれらのメッセージが全て使用されることはなく，その一部分で足りる。また，全てのメッセージを使用可能にするとCPDLCエディタが複雑になる。さらに，複数の管制官が一つのCPDLCサーバを共用することは経済的にも有利であるので，CPDLCサーバとクライアントに分け，クライアント側

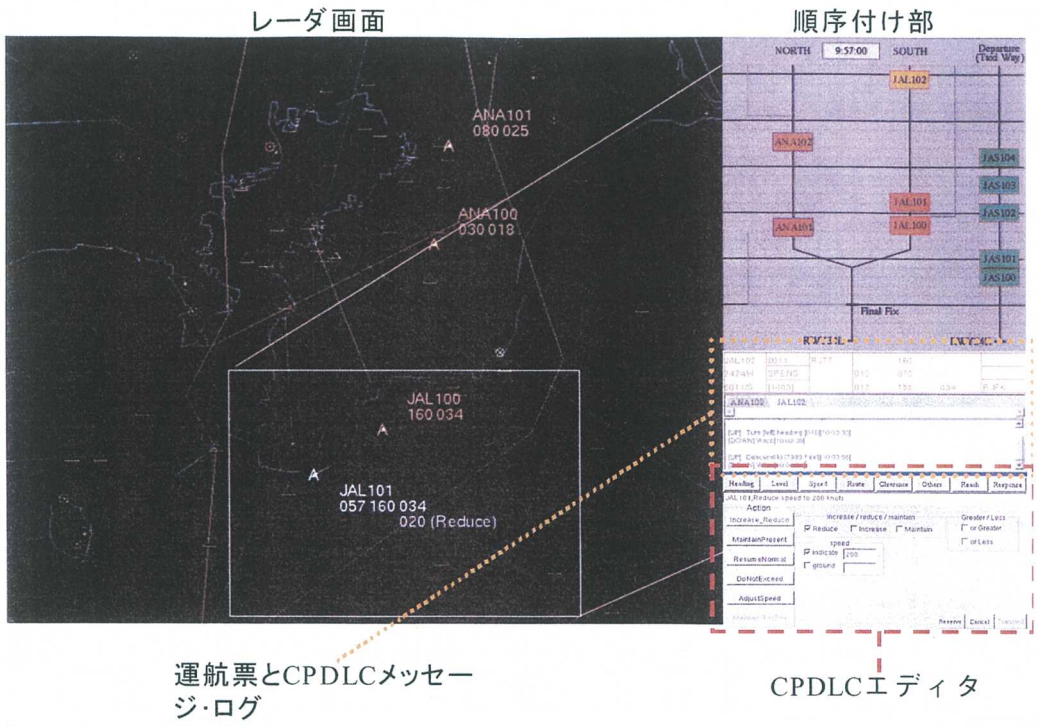

図4　ATS 端末の画面表示例

で用いられる管制に適した CPDLC メッセージの作成を可能にした。

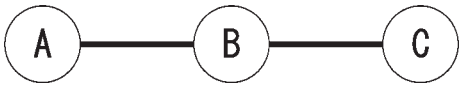

図5　距離ベクトルの説明図

5．国際接続実験について

5.1　ICS 接続実験

5.1.1　IDRP について

ICS 接続実験の説明の前に IDRP の原理を簡単に説明する。IDRP はドメイン間のルーティングに用いる距離ベクトル型[4]のプロトコルで，BIS に実装されるものである。距離ベクトル方式の考え方自体は非常に単純なもので，各 IS が自分自身の距離 0 から初めて，互いの距離を計算し合うことで互いの最小距離を知るというものである。

図 5 で A, B, C が全て IS とする。物理的な距離はネットワークではあまり意味を持たないので，ここではホップ数（パケットが宛先に届くまでに通過する IS の数）として計算する。各 IS は他の IS からの新しい距離ベクトルを受理したり，リンクの状態が変わると自分の距離ベクトルを再計算することにし，それが前回発行した距離ベクトルと違っていれば再発行するものとする。また，距離はホップ数が最小となる経路で計算するとし，他の IS からの距離ベクトルは最新の物を覚えているものとする。

簡単のために，C から始まるとする。C が発行する距離ベクトルを C（C0）（C が発行し，C までの距離 0 ）と標記する。B はこれを受け，距離ベクトル B（B0,C1）を発行する。C はこれを受け C（B1,C0）を発行する。距離ベクトルの遷移状態は，どの IS から始まるか，またどちらの距離ベクトルが先に届くかで変わってくるが，最終的には A（A0,B1,C2），B（A1,B0,C1），C（A2,B1,C0）になり，各 IS はお互いの最小距離（ホップ数）を知ることになる。

しかし，この方式にも欠点がある。図 5 で B と C 間のリンクが切れた場合，B は Hello メッセージのタイム・アウトなどでリンクが切れたことを知ることが出来るので[4]，距離ベクトルを再計算する。この時 B（A1,B0）なら問題が無いが，なまじ A（A0,B1,C2）を覚えているため，B（A1,B0,C3）（A から C に至る経路があると判断するため）を発行する可能性がある。これにより，A は A（A0,B1,C4）を発行して無限ループに陥り収拾がつかなくなる。

これらの問題への対処などで，IDRP が ISO で標準化

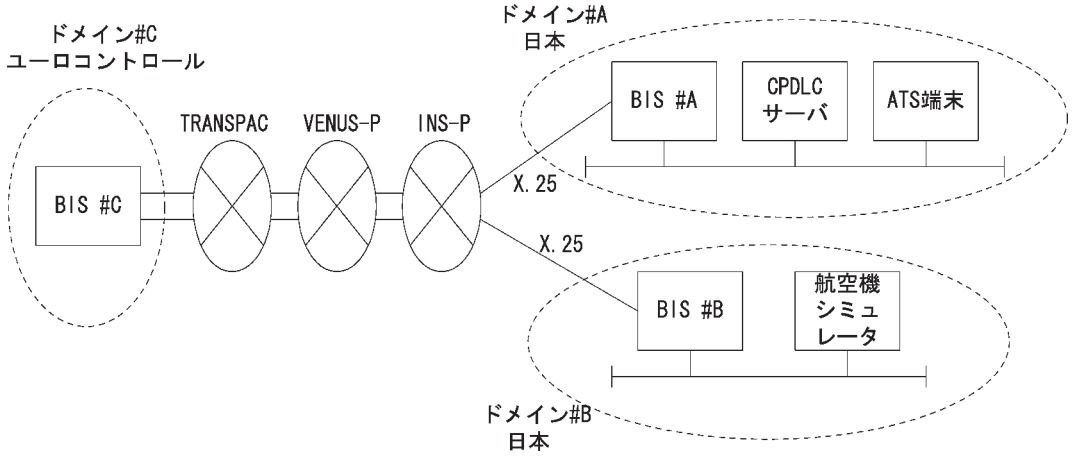

図6　ICS 接続実験の構成図

されたのは1994年末である。IDRP は政策ベース（ルーティングに各ドメイン内のネットワーク資源についての運用方針を反映できる。例えば，移動体ドメインを通過する経路は避ける，特定のドメインへのパケットは中継しないなどの方針である。)のルーティングを行えることや，サービス品質（QOS）パラメータに基づくルーティングが行えるなどの特徴がある。QOS には課金，遅延，信頼性の三つのパラメータがあり，先程述べたホップ数を最小にするルーティング（デフォルトになる）以外に，課金を最小にするなどの三つのメトリックに応じたルーティングが行える。

OSI のルーティング･プロトコルのうち ES-IS は，OSI を搭載したワークステーションやパソコンに標準的に実装されており，ES-IS と IS-IS を実装した IS も内外のメーカーで各種販売されている。但し，BIS に関してはユーザが現在のところ ATN に限られ，開発メーカーも限られる状況である。また，メーカー間の互換性の確認もまだ十分にはとられていない。

5.1.2　実験結果

図 6 はユーロコントロールとの ICS の接続実験に用いた実験システムの構成図を示す。日本側が 2 ドメイン（# A，# B）でユーロ側が BIS のみの 1 ドメイン（# C）の構成である。ICS は前にも説明したように，データが目的の相手に正しく届けられる仕組みを提供する通信サービスである。この構成の場合，日本側から送信されたデータはユーロ側の BIS で折り返され，日本側の端末間でデータの送受信が正常に行えるかどうかを確認する。この実験により ICS のネットワーク層までの動作の確認ができる。

また，日本とユーロコントロール間は，それぞれ別のプロバイダが提供する 3 つのパケット網（INS-P，VENUS-P，TRANSPAC）を介して接続されている。また，図 6 は日本側でデータの送受信を行う場合の構成で，ユーロ側が行う場合ドメインなどの構成は逆になり，日本側が BIS のみ提供する構成になる。また，図 6 の構成は前述した図 5 の場合と BIS の構成では等価である（# A が A，# B が C，# C が B に対応する）。

最初の実験は図 6 に示す構成で平成10年度12月に，図 6 の逆構成での実験を平成11年 3 月に行った。日本側でデータの送受信を行った場合，ES 間の通信は正常に行われ，BIS 間のプロトコル・データ・ユニット（PDU）の交換も手順に従い正常に行われるのを確認した。

主な実験項目は次のようなものであり

1）BIS 接続と経路付加
2）多重 BIS 接続と経路付加
3）BIS 切断と経路消去
4）データ転送
5）ターミナル異常時のデータ転送
6）BIS 異常時のデータ転送
7）BIS 異常時の BIS の再接続

いずれの実験項目についても正常に動作することを確認した。また，前節で述べた無限ループの問題も発生していない。なお，豪州との実験は平成12年度にユーロの場合と同じ構成で行い，同様の実験結果であった。

5.2　ULCS および CPDLC/ADS の接続実験

5.2.1　空対地アプリケーションと ULCS について

ATN の空対地アプリケーションの標準化にあたっては，空対地サブネットワーク部分のデータ伝送速度が限

ユーザインター フェース上の表現	maintain FL290
抽象構文	uM19Level
転送構文	**PERを用いて符号化**

図7　CPDLCの表現形式

られるため，空対地間のデータ転送量を減らし，また，転送手順を簡略化することが考えられた。

このため，当初は空対地アプリケーションに辞書を用いることでメッセージの量を減らしてデータ転送量を減らすことも考えられた。しかし，抽象構文記法1（ASN.1）を用いてメッセージを厳密に定義することで同様の効果が得られると言う意見が支配的になり後者の方法が採用された。

例えば，“犬”という文字をパソコン間で転送する場合，“犬”という文字はネットワーク上では“犬”という文字を表す具体的なビットパターンとして転送される。OSIでは，応用層では“犬”という文字で表現されるが，プレゼンテーション層ではあいまいさのないビット列に変換される。応用層の表現形式は抽象構文と呼ばれ，プレゼンテーション層の表現形式は転送構文と呼ばれる。

CPDLCでは航空管制用語の各フレーズをASN.1[5]を用いてアップリンクとダウンリンクのメッセージとして定義することなどでメッセージの短縮をはかっている。図7にその例を示す。図7ではユーザ（管制官とパイロット）に“maintain FL290”（フライトレベル290を維持せよ）と表現される文字列が，抽象構文ではアップリンク・メッセージの19番目の要素番号と{Level}というカテゴリーのパラメータのフライトレベルという形式（LevelType）のデータとして表現される。LevelTypeには他にもフィートやメーターなどの形式がある。また，同じmaintainで始まるフレーズでも速度に関するものは，要素番号が106番以降になり明確に区別される。

このようにCPDLCのメッセージは，抽象構文では要素番号とパラメータの組み合わせとして表現される。また，符号化はデータ長を短縮できるとされているPER（Packed Encoding Rule）を用いて行われる。この考え方はADSなどの他の空対地アプリケーションでも同様で，各アプリケーション毎に専用のメッセージ・セットが必要である。このため，ATNの空対地アプリケーションは他者が簡単には模擬できない仕組みになっているが，反面製作が複雑で高価になる恐れがある。

表1　TPDUのデータ量（単位：バイト）

TPDU名称	最小データ量	最大データ量
接続要求（CR）	37	69
接続確認（CC）	37	69
データ確認（AK）	9	9
データ転送（DT）	10	1024
データ確認（AK）	9	23
切断要求（DR）	11	75
切断確認（DC）	10	10

OSIの上位層（セション層以上）は色々な機能を提供するが，反面データの転送手順は複雑になりデータの転送量を増やす要因になる。ATNでは，ULCSはできるだけ手順を簡略化しオーバーヘッドの少ない軽いプロトコルを用いている。表1はCPDLCを用いてデータ通信を行った場合のトランスポート層プロトコル・データ・ユニット（TPDU）のデータ量をサービス・プリミティブ毎にまとめたものである。

CPDLCのメッセージが実際に転送されるのは，表1ではデータ転送のフェーズである。一般のOSIのアプリケーションでは，トランスポート層の接続確認に対するAckから実際にメッセージが転送されるあいだに，上位層の同位層間の通信によりES間でデータがやりとりされる場合があり，これがデータ量やデータ転送手順を増やす要因になっている[6]。CPDLCやADSではこのような部分は無い。また，実際のデータ転送手順などについては6節で述べる。

5.2.2　接続実験について

接続実験は，平成11年度にまずCPDLCを用いてユーロコントロールと行った。図8にユーロコントロールとの間で行った接続実験の構成図を示す。日本側が地上（ドメインB）で，ユーロ側が機上（ドメインD）の構成である。日本とユーロ間は，ICS接続実験と同様にそれぞれ別のプロバイダが提供する3つのパケット網（INS-P，VENUS-P，TRANSPAC）を介して接続されている。日本側が機上の場合は若干構成が異なり，CPDLCサーバとATS端末の代わりに図6の航空機シミュレータを用いる。豪州との接続実験は，日本側は図8と同じ構成で，回線部分が異なる（TRANSPACがAUSTPACになる）のと豪州側の構成が実験システムの都合でやや異なる。この実験により，ULCSとCPDLC，及びICS接続実験でやり残したトランスポート層の互換性・接続性が

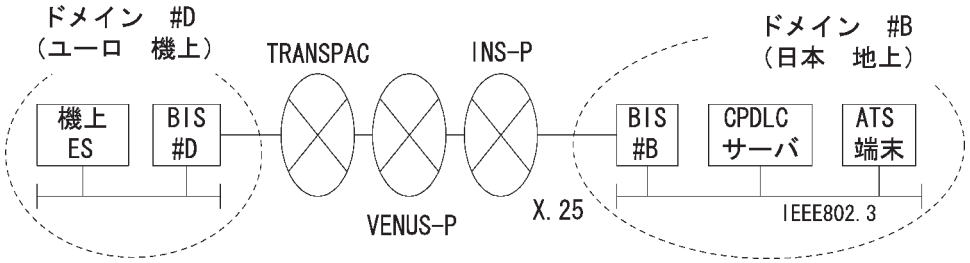

図８　CPDLC の接続実験構成図

検証できる。

実験結果は当初はあまり芳しくなかった。ユーロとの実験では，日本側が機上でユーロ側が地上のケースで地上側からの接続の場合のみメッセージの交換ができるだけで，この場合でも機上から接続した場合は，メッセージ交換まで至らず途中で中断される。豪州との実験は，CPDLC ダイアログの確立までで，どのケースでもメッセージの交換まで至らなかった。

しかし，その結果，日本と外国との SARPs の解釈の相違点も何件か見つかり，これらについては妥当な解釈を確認することができた。これらの改修などに１年近く要したが，平成12年度にはほぼ問題なくメッセージの交換ができるようになった。ADS についても同様に平成12年度までには問題なくメッセージの交換ができるようになった。

６．擬似衛星サブネットワークを用いた通信実験

6.1　実験構成

図９に擬似衛星サブネットワークを用いた通信実験の構成図を示す。衛星データリンク実験システムを挟んで性能測定装置を省く左側が航空機側で，右側が地上側である。CPDLC/ADS 航空機シミュレータが機上のパイロット用の CPDLC と ADS の操作表示端末である。CPDLC 及び ADS 操作表示端末は，管制官用の GUI を提供する操作表示端末であるが，ATN に関する通信の処理は CPDLC/ADS サーバが行う。ADS 及び CPDLC メッセージのやり取りは航空機シミュレータと CPDLC 及び ADS 操作表示端末間で行われる。

CPDLC メッセージは航空機 BIS，衛星データリンク実験システム，地上 BIS，CPDLC/ADS サーバを経由する。また，3.2節でも述べたように CPDLC 及び ADS 操作表示端末と CPDLC/ADS サーバ間ではプロトコルに TCP/IP を用い，CPDLC/ADS サーバと航空機シミュレータ間は OSI を用いる。

航空機側及び地上側のネットワークはハブを用いた LAN（IEEE802.3　10BaseT）で構成される。航空機 BIS と AES 間，及び地上 BIS と GES 間の接続は X.25を用いたワイド・エリア・ネットワーク（WAN：回線速度 9600bps）を用いる。航空移動衛星業務（AMSS）や VHF ディジタル・リンク（VDL）などの空対地サブネットワークは，それぞれ独自のプロトコルを用いる。しかし，BIS との接続には X.25が用いられるので，BIS から見ると空対地サブネットワークはそれぞれ性能が異なる一種のパケット網にしか見えない。また，性能測定装置は一種のプロトコルアナライザで，航空機側及び地上側の LAN

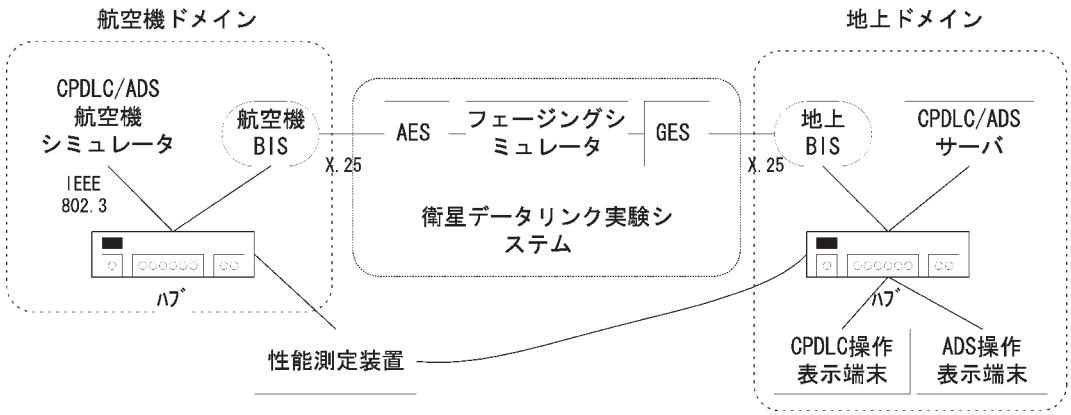

図９　疑似衛星サブネットワークを用いた通信実験構成図

上のパケットを監視し，出現するパケットの絶対時間の差分をとって各処理の通信時間を計算する。

衛星データリンク実験システムは，AMSS サブネットワークを模擬し，BIS との接続には X.25を用いるが，AES と GES 間の通信には ICAO の AMSS-SARPs に準拠したプロトコルが用いられる。また，フェージング・シミュレータにより電波伝播におけるレベル変動やノイズなどの影響が模擬できる[7]。また，AMSS のデータ伝送速度は600bps と10500bps を用いた。回線速度600bps のノイズの無い場合と搬送波対雑音電力密度比（C/N_0）31.9dBHz を，回線速度10500bps の場合はノイズの無い場合と $C/N_0$42.9dBHz の場合について測定した。ここで C/N_0の値はビット誤り率（BER）10^{-5}を満足する最小の値である。

6.2　データ・フォーマット

図10にコネクション確立要求を含まない ADS 及び CPDLC のデータ･フォーマットの一例を示す。ATN では図10のトランスポート層ヘッダ以降の TPDU の最大サイズが1024バイトなので，ATN に接続される各データリンクの取り扱える最大ユーザデータサイズも同程度以上が望ましい。

しかし，衛星データリンク実験システムではシングルバースト・モードしか外部からは利用できず，シングルバースト･モードでの最大ユーザデータサイズは144バイトになる。このため X.25のユーザデータサイズも最大で128バイトまでしか使えない[7,8]。CLNP ヘッダだけでもこれより大きいため，各 BIS は LAN から送られてくるパケットを必ず 2 個以上に分割して衛星データリンク実験システムに送信する必要がある。また，受信側の BIS も分割されたパケットを一つのパケットに再構成して LAN 上に転送する必要がある。このため，データの伝送に時間がかかる。

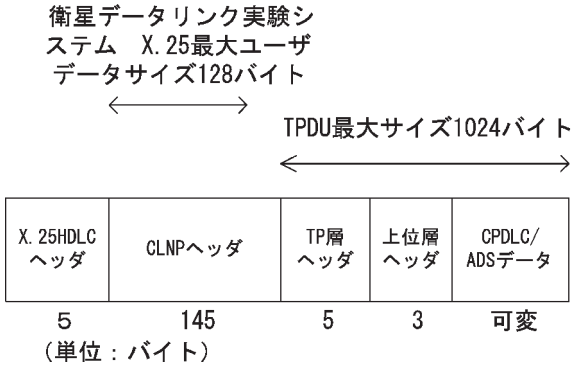

図10　データ・フォーマット

また，CLNP ヘッダ長は通常の OSI では60～70バイト程度であるが，ATN ではセキュリティ上の理由などで，CLNP のオプション機能を用いるため長くなる。例えば，セキュリティが必要とされるリンクではセキュリティタグの無いパケットは破棄され，パケットがどの経路を経由したかも記録されるなどの機能である。

なお，ADS データの大きさは今回は数バイトから20バイト程度（ADS レポートは18バイト）で，CPDLC データの大きさは十数バイトからフリーテキストで256バイト程度であった。

6.3　ADS のアップリンク通信所要時間

ADS は地上からのコントラクトにより，航空機側から位置情報などを含む ADS レポートを地上に送信したり（一回の ADS レポートを要求する Demand コントラクトと周期的な要求の Periodic コントラクトがある），レポートの送信を止めたり（Cancel コントラクト）するアプリケーションである。ADS も CPDLC もコネクション型のアプリケーションであり，ダイアログ・サービスを利用する。

ADS は通信時間の短縮のため，最初にアプリケーション間の接続という手順を踏まず，地上側からいきなりコントラクトを要求する。このため，同じコントラクトでも，ダイアログが確立されている場合とそうでない場合があり，データ伝送手順が異なり通信所要時間も異なる。

例えば，地上側から最初に航空機にコントラクトを要求する場合は，それまでに通信履歴が無いのでダイアログは確立されていない。しかし，Periodic コントラクト中の航空機に対して，周期時間を変えたいなどの理由で再度コントラクト要求する場合には既にダイアログは確立されている。

図11に ADS の起動時のシーケンスを示す。図11(a)がダイアログのない場合で，この時コントラクトにはトランスポート層ほか上位層の接続要求が含まれる。また ADS レポートが送られるパケットには，それぞれの層の接続確認が含まれる。図11(b)がダイアログが確立されている場合で，航空機側はコントラクトに対して Ack を返した後に ADS レポートを送信する。なお，Periodic コントラクトの場合には，どちらの場合も，この後，航空機側から ADS レポート，地上側から Ack が繰り返し送信される。

図12にアップリンクでの通信所要時間を示す。ADS サーバから航空機シミュレータまでのコントラクト別の送信に要した通信所要時間を示したものである。また，

表2に各コントラクトごとの衛星データリンク実験システムに送られるデータサイズを示す。回線速度にかかわらず，各コントラクトの所要時間はダイアログがない場合の方がダイアログある場合より時間がかかる。これは，ダイアログのない場合はADSサーバは確立要求を含んだメッセージを送信し，データサイズが56バイト程大きくなるためである。また，図12及び表2のAbortはコントラクトではないが，地上側から何らかの理由で以後の処理を中断する場合に送信する。これは，ESレベルでの中断であって，回線のサービスプロバイダなどから送られるAbortとは異なる。

また，ノイズの影響については，BERが10^{-5}と比較的良いため有意な差はほとんど見られない。また，10500 bpsの方が600bpsに比べて4倍から4.5倍ほど速いが，回線速度ほどの差は見られない。これは，回線速度が影響するのはデータ伝送にかかわる部分であり，メッセージの分解・組み立てなどのプロトコルに係わるAMSS内部の処理には影響せず，この部分でかなりの時間が取られるためと考えられる。

表3にアップリンクの実効回線速度を示す。表3の計算は，表2のコントラクト毎のデータサイズを送信所要時間で割ったものである。表3及び図12にはBISの処理

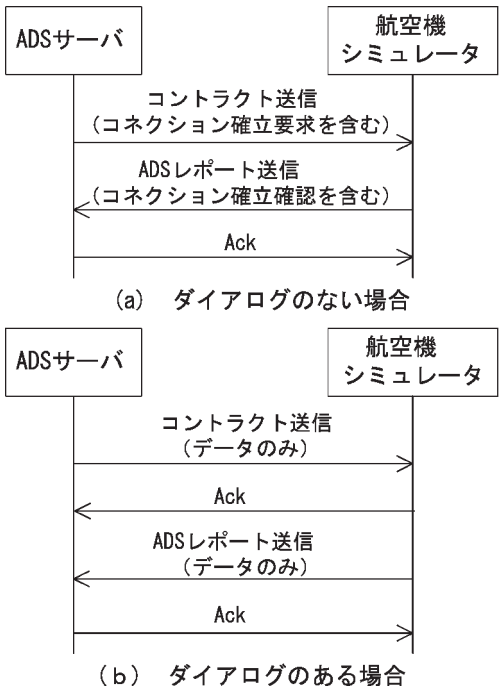

図11　ADS起動時のシーケンス

表2　各コントラクトのデータサイズ

コントラクト	データサイズ（バイト）
Demand-contract（ダイアログなし）	*221*
Demand-contract（ダイアログあり）	*165*
Periodic-contract（ダイアログなし）	*223*
Periodic-contract（ダイアログあり）	*167*
Cancel	*164*
Abort	*169*

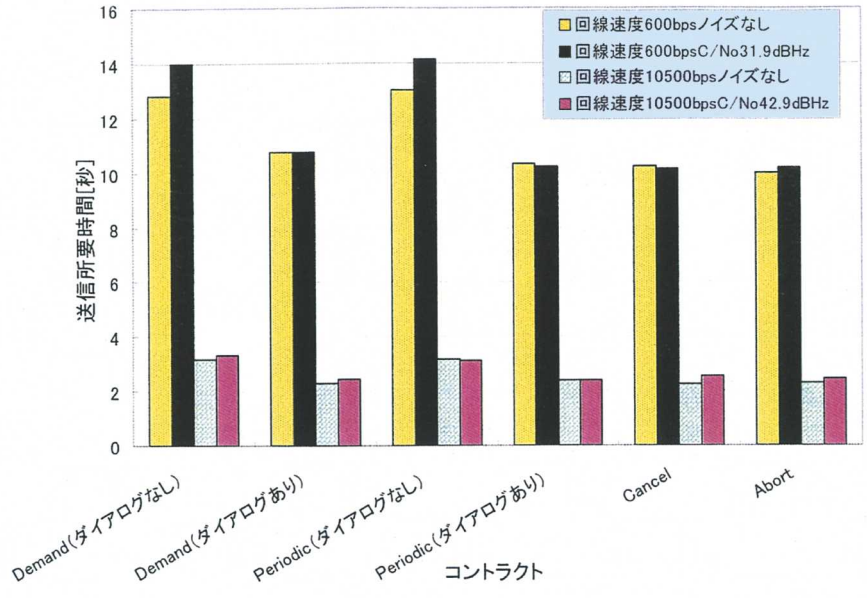

図12　ADSアップリンクの送信所要時間

表3　ADSアップリンクの実効回線速度（単位：bps）

コントラクト	600bps		10500bps	
	ノイズなし	C/No31.9dBHz	ノイズなし	C/No42.9dBHz
Demand（ダイアログなし）	134	123	543	519
Demand（ダイアログあり）	119	119	553	527
Periodic（ダイアログなし）	133	123	545	557
Periodic（ダイアログあり）	125	126	541	544
Cancel	124	125	560	500
Abort	131	128	566	539

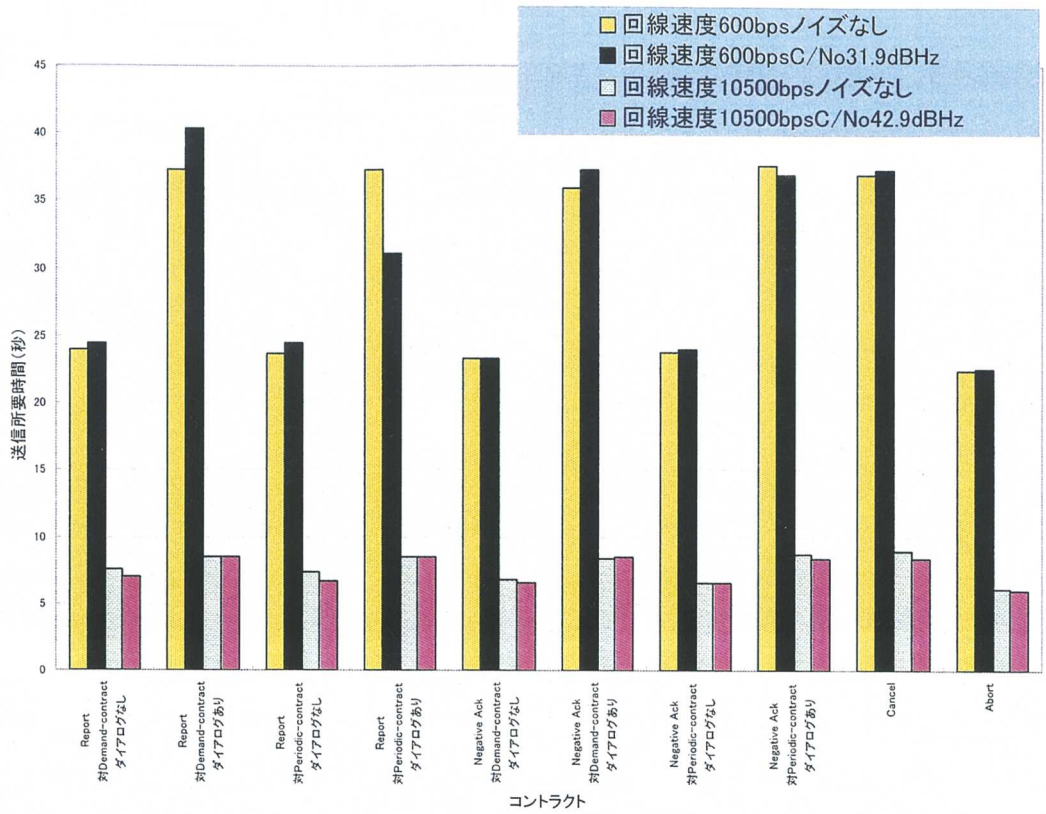

図13　ADSダウンリンクの送信所要時間

時間も含まれるが，数十msの程度なのでBISの影響はほとんど無視できる。

6.4　ADSダウンリンク通信所要時間

図13は各コントラクトに対して航空機シミュレータからADSサーバへADSレポートなどの応答を送信するときの所要時間をグラフにしたものである（Abortは機上から発行した場合）。また，表4にそのときのデータサイズを示す。

ダウンリンクでは，ダイアログがある場合の方がダイアログがない場合より所要時間が大きくなる。これは，データサイズ自体はコネクションの確立確認が含まれる分ダイアログのない場合の方が大きくなるが，図11に示すようにダイアログがある場合には航空機シミュレータがADSレポートまたはNegative　Ack（否定応答：ADSレポートが何らかの理由で送信できない場合に返す）を送信する前にトランスポート層レベルでAckを返すためである。

このためダイアログのある場合は，シーケンスで2倍，トラフィック量も約2倍（Ackは172バイト）になる。し

表 4　ダウンリンクのデータサイズ

コントラクト	データサイズ（バイト）
Report 対 Demand-contract ダイアログなし	*219*
Report 対 Demand-contract ダイアログあり	*182*
Report 対 Periodic-contract ダイアログなし	*219*
Report 対 Periodic-contract ダイアログあり	*182*
Negative Ack 対 Demand-contract ダイアログなし	*202*
Negative Ack 対 Demand-contract ダイアログあり	*165*
Negative Ack 対 Periodic-contract ダイアログなし	*222*
Negative Ack 対 Periodic-contract ダイアログあり	*165*
Cancel	*165*
Abort	*169*

かし，送信所要時間は回線速度600bps で約1.5倍，回線速度10500bps では1.1～1.2倍程度である。これは，航空機シミュレータは Ack とレポートを連続して送信するため，衛星データリンク実験システムがこれらのスロット予約処理を並列に行うためである。また，ダイアログのある場合のコントラクトでは，航空機シミュレータが Ack を返すのは最初の 1 回だけなので，Periodic コントラクトでも最初の一回を除いて ADS レポートの送信所要時間は回線速度600bps でも約23秒になる。

洋上における管制間隔と航法性能及び最大 ADS-Periodic Report の関係は，管制間隔30NM（海里）では，航法性能要件（RNP）が 4 で，最大 ADS-Periodic Report 間隔が14分なので，在空機数に対して十分な AMSS のチャネル数があれば，Periodic コントラクトでの ADS の運用では特に問題は無いと考えられる。

表 5 にダウンリンクの実効回線速度を示す。表 5 の計算は，表 4 のデータサイズをそれぞれ送信所要時間で割ったものである。アップリンクに比べ実効回線速度は遅い。これは，アップリンクの場合，衛星データリンク実験システムは地上 BIS からデータ伝送要求を受けた後，スロットに順次挿入して送信するのに対して，ダウンリンクの場合は，各スロット予約毎に待ち時間を設けているためである。また，ノイズの影響に関しては，アップリンクの場合と同様に有意な差は見られなかった。

6.5　ADS 操作端末-航空機シミュレータ間往復通信時間

表 6 は，ADS 操作端末からコントラクトを送信してから，航空機シミュレータからの応答が返るまでの時間を示す（いわゆるレスポンスタイム）。また，表 6 の通信トラフィック量は衛星データリンク実験システムに送られる各シーケンスでのトラフィックの総量である。

表 6 から，往復通信時間は，回線速度が10500bps ではコントラクトの種別にかかわらず約10秒である。回線速度が600bps では，ダイアログのない場合は37～46秒で，ダイアログがある場合は42～59秒である。ダイアログの

表 5　ADS ダウンリンクの実効回線速度（単位：bps）

コントラクト	600bps		10500bps	
	ノイズなし	C/No31.9dBHz	ノイズなし	C/No42.9dBHz
Report 対 Demand-contract（ダイアログなし）	73	72	233	248
Report 対 Demand-contract（ダイアログあり）	39	36	172	171
Report 対 Periodic-contract（ダイアログなし）	74	72	238	263
Report 対 Periodic-contract（ダイアログあり）	39	47	172	172
Negative Ack 対 Demand-contract（ダイアログなし）	69	69	239	248
Negative Ack 対 Demand-contract（ダイアログあり）	37	35	158	157
Negative Ack 対 Periodic-contract（ダイアログなし）	75	74	272	270
Negative Ack 対 Periodic-contract（ダイアログあり）	35	36	152	159
Cancel	36	35	148	157
Abort	60	60	220	227

表 6　ADS 操作端末-航空機シミュレータ間往復通信時間（レスポンスタイム）

コントラクト	測定結果（秒）				空地間トラフィック量（バイト）
	600bps		10500bps		
	ノイズなし	C/No31.9dBHz	ノイズなし	C/No42.9dBHz	
Report 対 Demand-contract（ダイアログなし）	37.212	42.458	10.967	9.819	1574
Report 対 Demand-contract（ダイアログあり）	47.920	59.724	10.861	10.893	693
Report 対 Periodic-contract（ダイアログなし）	36.621	43.098	10.772	10.000	602
Report 対 Periodic-contract（ダイアログあり）	47.966	41.690	10.910	10.917	691
Negative Ack 対 Demand-contract（ダイアログなし）	36.070	36.548	10.248	9.686	1557
Negative Ack 対 Demand-contract（ダイアログあり）	46.936	47.563	10.750	11.073	655
Negative Ack 対 Periodic-contract（ダイアログなし）	37.002	42.909	9.767	9.732	1559
Negative Ack 対 Periodic-contract（ダイアログあり）	47.824	47.239	11.177	11.069	655
Cancel	47.315	47.516	11.236	11.037	1628

ある場合とない場合の通信時間の差については，既述したようにシーケンスの違いによるものと考えられる。また，測定値のゆらぎには，既述した AMSS のスロット予約のタイミングなどが含まれると考えられる。

また，ダイアログがない場合の Demand コントラクトと，Periodic コントラクトに対して航空機シミュレータが Negative-Ack を返した場合は，トラフィック量が大幅に増える。これは，ADS サーバと航空機シミュレータ間のメッセージの送受信が終了した後に，ダイアログの切断処理が行われるためである。同様に Cancel 要求でも，メッセージの送受信後にコネクションの切断処理が行われるためトラフィックが増える。

このため，Demand コントラクトの運用については洋上空域でも十分留意する必要がある。ダイアログのない場合，Demand コントラクトは要求するたびに，ダイアログの切断処理を伴う。このトラフィック量と AMSS の実効回線速度を考えれば，その処理時間に回線速度600 bps では数分は要する。従って，管制官が同一の航空機に対して何らかの理由で何回も Demand コントラクトを要求した場合は，輻輳が起きる可能性が高い。なお，Periodic コントラクト中の航空機に対して，Demand コントラクトを要求した場合は，ダイアログの切断を行わないのでこの種の問題は発生しない。

また，比較のため，BIS 間を V24ケーブルを用いて直接結び（図 1 から衛星データリンク実験システムを除いた構成になる）同様の実験を行った。実験結果はコントラクトの種別にかかわらず，往復通信時間は約500ms になった。通信時間の内訳は BIS 間の WAN の部分が約 350ms, BIS の処理時間が約50ms, 残りの100ms が ADS サーバと航空機シミュレータの処理時間である。WAN と BIS の部分の処理時間が多いのは，前述したように各パケットを分割して再度組み立てることによる。

6.6　CPDLC の通信時間

CPDLC はアプリケーションの開始処理を行った後にメッセージの交換を行うので，ADS のようなダイアログの有る無しの問題は発生しない。表 7 に CPDLC 操作端末と航空機シミュレータ間の往復通信時間を示す。表 7 の一番目がスタート処理の，二番目が終了処理の往復通信時間である。三番目以降が CPDLC メッセージを送信してから応答が返ってくるまでの時間である。最後の処理を除いて，いずれも地上側から送信を始めたものである。なお，付録 2 に今回用いた CPDLC メッセージの全文を示す。

図14に地上から起動した場合の CPDLC の開始時と終了時のシーケンスを示す。表 7 から終了処理ではスタート処理に比べて 2 倍以上通信時間がかかる。これは，サーバが CPDLC-start Cnf を CPDLC 操作端末に送るのは Ack を航空機シミュレータに返した後になるのに対して，終了処理では，CPDLC-end Cnf を CPDLC 操作端末に送るのは切断確認 TPDU を受け取った後になるためである。

図15に CPDLC メッセージの送受信のシーケンスを示す。CPDLC ではサーバと航空機シミュレータ間ではメッセージを受信した側がロジカル･アクノレッジ（Lack）を返すので ADS に比べ手順が複雑になる。また，この Lack はアプリケーション・レベルのものなので，トランスポート層ではメッセージと同等とみなされ，

表7　CPDLC操作端末-航空機シミュレータ間往復通信時間（レスポンスタイム）

処理対象データの種別	測定結果［sec］				空地間データサイズ［byte］
	回線速度600bps		回線速度10,500bps		
	ノイズなし	C/No31.9bBHz	ノイズなし	C/No42.9dBHz	
CPDLC-start Req/Cnf	36.342	36.931	9.376	9.972	423
CPDLC-end Req/Cnf	64.12	99.524	21.547	21.161	338
「CPDLC福岡タワーモニタ指示」送信～応答受信	63.829	69.076	13.595	13.783	710
「エンルートクリアランス」送信～応答受信	63.105	63.642	13.852	13.456	708
「VHF音声周波数聴取指示」送信～応答受信	63.646	63.054	13.601	13.323	710
「FACC→TACCへのハンドオフ」送信～応答受信	69.35	63.365	13.725	13.718	710
「高度復帰指示」送信～応答受信	63.472	63.481	13.726	13.346	705
「PACOTS経路割り当て」送信～応答受信	63.68	62.862	13.462	13.583	705
「高度変更許可」送信～応答受信	63.516	85.49	13.672	16.888	705
「CPDLCオークランドATSUモニタ指示」送信～応答受信	63.86	63.022	38.209	13.585	710
「ゲートFIX経過指示」送信～応答受信	64.007	75.267	13.891	39.689	710
「モニタ周波数送信」送信～応答受信	63.612	63.794	13.792	17.313	710
「フリーテキスト（アップリンク）」送信～応答受信	73.472	93.844	15.227	15.027	939
「フリーテキスト（ダウンリンク）」送信～応答受信	68.594	69.112	13.938	14.145	939

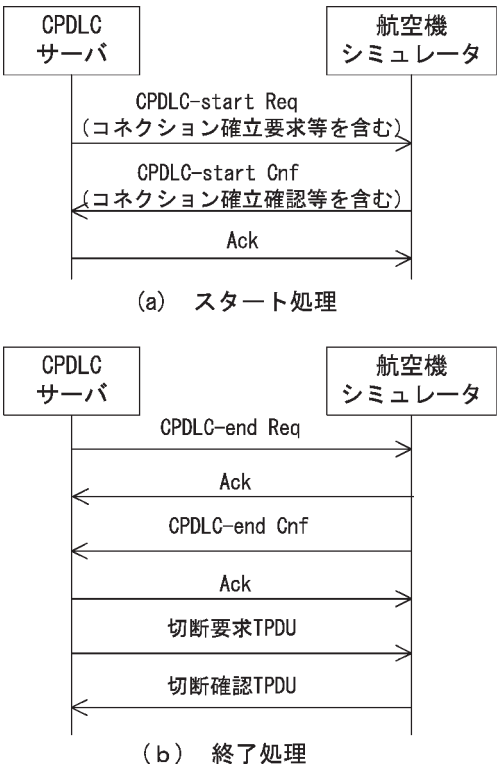

図14　CPDLCのスタート／終了処理のシーケンス

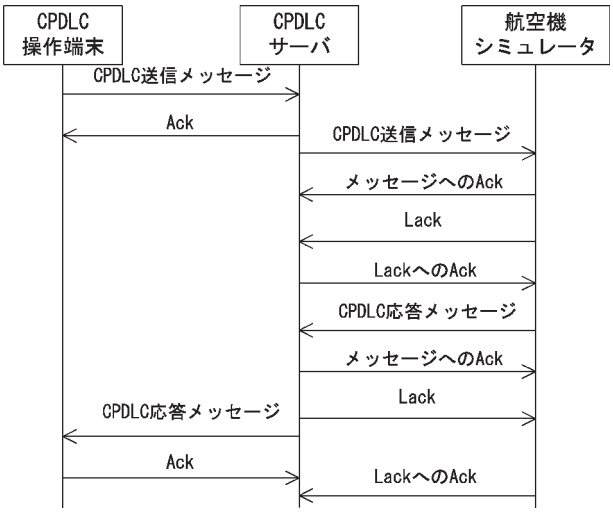

図15　CPDLCメッセージ送受信のシーケンス
（地上起動の場合）

Lackに対してもAckを返す必要がある。このため，CPDLCはADSに比べ今回用いたメッセージのデータサイズは殆ど同等なのにより通信時間がかかる。また，表7の空地間データサイズにはLackも含まれる。

また，フリーテキストを除くCPDLCメッセージの往復通信時間は回線速度が600bpsの場合は約63～64秒，10500bpsの場合は約13～14秒程度であった。フリーテキストの場合はCPDLCのデータ自体が大きい（20バイト前後に対して256バイト）のでより時間がかかっている。また，回線速度10500bpsでは600bpsに比べて4～4.5倍ほど高速であったが，ADSの場合と同様に回線速度ほどの差は見られなかった。

ここで特異なデータについて考察する。CPDLCメッセージの送受信の通信時間で，表7の回線速度10500bpsで38秒を超えるデータが2件，回線速度600bpsで75秒を

超えるデータが3件ある。これらはBISの通信履歴から，いずれも衛星データリンク実験システム内部で処理中のデータがあり送信遅延が発生したため，BISでの処理が待たされたためと考えられる。ノイズによる影響はADSの場合と同様に有意な差は見られなかった。また，終了処理で回線速度600bpsでノイズなしの場合の値（64.12s）が他のデータと比べ異様に速いが，これは何らかの転送手順上の間違いがあり，航空機シミュレータからも切断要求を出したためと考えられる。

6.7 ADS/CPDLC以外のデータの影響について

ネットワーク上では，ネットワークを維持するために経路情報や構成情報の交換が各ノード間で行われている。前述した図9の地上ドメインでは，ES-ISプロトコルによりBISとサーバ間でHelloメッセージの交換が定期的に行われる。しかし，これらドメイン内部の構成情報や経路情報がBISを経由してAMSSサブネットワークに送られることはない[4]。

一方，BIS間でも経路情報などの交換があり，図9では衛星データリンク実験システムを経由して行われる。IDRPが用いるメッセージには，Open-PDU，Update-PDU，KeepAlive-PDUの三種類がある。

Open-PDUはBIS間のリンクの確立に用いられる。航空機がAMSSサブネットワークにログインし，空対地間でX.25の接続が確立すると，Open-PDUの交換から始まり，Update-PDU，KeepAlive-PDUの交換を経てBIS間のリンクが確立する。

Update-PDUは距離ベクトルなどの経路情報を含み，リンク確立時以外にもリンクの状態が変わり経路情報が変化した場合などに発行される。今回の実験では，リンク状態の変化は無いのでOpen-PDU及びUpdate-PDUの交換はBIS間のリンクの確立時に行わるだけで，実験には影響ない。

KeepAlive-PDUはBISのヘルスチェックに用いられる。BISはHelloメッセージではなくKeepAlive-PDUを定期的に交換することで，互いの存在を確認する。しかし，ATNでは空対地間のデータ伝送速度が遅いため，KeepAlive-PDUの周期時間を空対地間では最大値の65535秒に定めている。従って，通常の航空機の運航では空対地間のKeepAlive-PDUの交換はリンク確立時以外には起こらないと考えられる。

しかし，KeepAlive-PDUの交換を行わないとBISがリンク切れなどを知る手段は，無線機などからの通報に限られる。このため，回線速度10500bpsのCPDLCの実験で，周期時間を30秒に設定してKeepAlive-PDUの交換を行った。前節の回線速度10500bpsの異常データはこの影響と考えられる。なお，回線速度600bpsでは周期時間30秒では輻輳が起こり通信不能になる。

KeepAlive-PDUの交換が行われたのは，回線速度10500bpsのCPDLCの実験だけで，他の実験結果についてはKeepAlive-PDUの影響は無い。また，LAN上のHelloメッセージなどの影響については，これらの処理時間はたかだかmsのオーダーであるので今回の実験には殆ど影響ないと考えられる。

7．まとめ

本報告では，平成8年度から12年度に行ったATN研究について述べた。ATN実験用の実験システムと空対地アプリケーションを試作し，海外との国際実験により試作したプロトコルを検証し，アプリケーションの接続性・互換性を確認した。

実験結果から，試作したプロトコルはユーロ・コントロールやエア・サービス・オーストラリアで試作されたものと互換性があることを確認した。空対地アプリケーションについては，当初SARPsの解釈の相違などから相互通信できなかったが，平成12年度までにはほぼ問題なく相互通信可能になり，接続性・互換性を確認した。

また，擬似衛星サブネットワーク（衛星データリンク実験システム）を用いて通信実験を行った。ADSの実験結果を見ると，AMSSの回線速度にかかわらず洋上空域では，AMSSのチャネル数が在空機に対して十分あればPeriodicコントラクトでのADSの運用には問題は無い。

ADS及びCPDLC共に回線速度10500bpsの場合は，回線速度600bpsに比べて4～4.5倍ほど高速であるが，回線速度の違いほどの差はなかった。しかし，回線速度10500bpsの場合はシングルバースト・モードでの最大ユーザデータサイズが回線速度600bpsに比べて大きいので，BISとのインターフェースの改善（X.25の最大ユーザデータサイズを128バイトから256バイトに変えるなど）次第では高速化が可能と考えられる。

ATN-SARPsは2000年に開催されたパネル3会議で改訂された。その結果，Doc.9705に「ATNセキュリティ」，「システム管理」，「ディレクトリ・サービス」，「ATN登録」が追加され，現在は9分冊になった。今後は，改定されたSARPsに対応した研究・開発が求められる。

［参考文献］
［1］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．
［2］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．
［3］板野　賢，藤田光紘，塩見格一：“擬似衛星サブネットワークを用いた ATN の通信実験”，電子情報通信学会技術研究報告，SANE2001-33，2001年 7 月．
［4］Radia Perlman:“Interconections Bridges and Routers”, Addison-Wesley, 1992.
［5］戸部美香，森野和好：“プロトコル構文規定言語 ASN.1”，カットシステム，1994年．
［6］Marshall T.Rose:“The Open Book:A Practical Perspective on OSI”, Prentice-Hall, 1990, など．
［7］石出明，藤田光紘，北折潤：“衛星利用空地データリンクの通信負荷特性”，第30回電子航法研究所発表会概要，平成10年 6 月．
［8］ICAO Doc.9705 2nd edition, subvol.5, Chap.5.7.6, 1999.

（平成14年 8 月 9 日受付，平成14年11月 5 日再受付）

付録 1
ATN-OSI の解説

OSI は付図に示す 7 層の階層構造をしており，ここでは ATN での各層の機能を簡単に説明する。

物理層：物理媒体上のビット転送を行うための機械的，電子的，機能的，および手続き的な手段を提供する。

データリンク層：データリンク層はユーザデータを転送するための手続きと手段を提供する。また，コネクション型のデータリンク層は，物理コネクション上で起きる誤りを検出し，訂正を行う場合もある。

ネットワーク層：CLNS の役目はユーザデータを目的の相手まで届けることである。このため，データ転送と経路選択および中継の機能を提供するが，コネクションレス型のためデータの順序・フロー制御また誤り検出などは行わない。また，データリンク層が保持するバッファ内に，NPDU を収容するためパケットの分割も行う。

また，プロトコルの CLNP はセキュリティ強化のためオプション機能を採用し，標準的なものとはやや異なる。

トランスポート層：終端間でのデータ転送に責任を持つ

7 層	応用層
6 層	プレゼンテーション層
5 層	セション層
4 層	トランスポート層
3 層	ネットワーク層
2 層	データリンク層
1 層	物理層

付図　OSI の階層構造

層である。ネットワーク層がコネクションレス型であるため，誤り検出と復旧，終端間での TPDU の順序制御を行う必要である。トランスポート・プロトコルには 0 から 4 までのクラスがあるが，クラス 4 が用いられる。

セション層：セション層以上の機能については空対地アプリケーションと地対地アプリケーションでは様相が異なる。セション層の主な役目は会話単位でのデータの制御機能をユーザに提供するもので，高信頼のデータ転送機能を提供するとされる。応用層の高信頼転送サービスなどもセション層の機能を利用する。しかし空対地アプリケーションではデータ転送手順を簡略化し，オーバヘッドを軽減するためこの層の機能はほとんど利用しない。

プレゼンテーション層：応用エンティティ間で送受信される情報の表現形式を管理する。プレゼンテーション層はコネクションが確立すると 1 つ以上のコンテキストを作成し，その定義集合を管理する。各コンテキストは抽象構文と転送構文の組み合わせからなる。従って，ユーザはこの機能を利用して，複数の表現形式をサポートしたり，時間によって表現形式が異なるプログラムを書くことも可能とされる（それほど複雑なプログラムが本当に必要かどうかは別にして）。

空対地アプリケーションでは予め定められたコンテキストを用い，途中でコンテキストの変更も行わないため，プレゼンテーション層間の折衝もコネクション確立時以外は原理的に発生しない。

応用層：OSI の応用層には先ほど述べた高信頼転送サービスを始め，さまざまな応用サービスが提供されている。ユーザはこれらの応用サービスを利用したアプリケーションを作成できる。しかし，空対地アプリケーションでは 5 層及び 6 層の限られた機能しか用いないので利用できる応用サービスも限られる。

従って，空対地アプリケーションでは PER による符号化機能を応用層に持たせれば，5 層と 6 層は特に必要

付録 2

使用された CPDLC メッセージエレメント一覧

試験項目での名称	エレメント				値
CPDLC 福岡タワーモニタ指示	uM #120　MONITOR［unitname］[frequency]	UnitName	Facility Design ation		RJDG
			FacilityName		なし
			Facility Function		tower (2)
		Frequency	Frequencyvhf		26336 (131.68)
CPDLC 福岡タワーモニタ指示への応答	dM #0 WILCO				
エンルートクリアランス	uM #74PROCEED DIRECT TO[position]	Position	FixName	Fix	GENCO
エンルートクリアランスへの応答	dM #0 WILCO				
VHF 音声周波数聴取指示	uM #120　MONITOR[unitname][frequency]	UnitName	Facility Design ation		RJTG
			FacilityName		なし
			FacilityFunction		control (7)
		Frequency	Frequencyvhf		26336 (131.68)
VHF 音声周波数聴取指示への応答	dM #0 WILCO				
FACC → TACC へのハンドオフ	uM #117　CONTACT[unitname][frequency]	UnitName	Facility Designation		RJTG
			FacilityName		なし
			Facility Function		control (7)
		Frequency	Frequencyvhf		26336 (131.68)
FACC → TACC へのハンドオフへの応答	dM #0 WILCO				
高度復帰指示	uM #20 CLIMB TO[LeveL＝FL330]	Level	LevelType (singlelevel)	LevelFeet	3300 (33000feet)
高度復帰指示への応答	dM #0 WILCO				
PACOTS 経路割り当て	uM #19 MAINTAIN[level＝FL330]	Level	LevelType (singlelevel)	LevelFeet	3300 (33000feet)
PACOTS 経路割り当てへの応答	dM #0 WILCO				
高度変動許可	uM #20 CLIMB TO[level＋FL360]	Level	LevelType (singlelevel)	LevelFeet	3600 (36000feet)
高度変更許可への応答	dM #0 WILCO				
CPDLC オークランド ATSU モニマ指示	uM #120　MONITOR[unitname＝KZOA][frequency]	UnitName	Facility Designation		KZOA
			FacilityName		なし
			Facility Function		control (7)
		Frequency	Frequencyvhf		26336 (131.68)
CPDLC オークランド ATSU モニタ指示への応答	dM #0 WILCO				
ゲート FIX 通過指示	uM #46　CROSS[position＝GENCO]AT[level＝1535Z]	Position	FixName	Fix	GENCO
		Level			3300 (33000feet)
ゲート FIX 通過指示への応答	dM #0 WILCO				
モニタ周波数送信	uM #120　MONITOR[unitname＝KZOA][frequency＝131.68]	UnitName	Facility Designation		KZOA
			FacilityName		なし
			Facility Function		control (7)
		Frequency	Frequencyvhf		26336 (131.68)
モニタ周波数送信への応答	dM #0 WILCO				
フリーテキスト (アップリンク)	uM #196［freetext＝ABCDEF...]	Freetext			0123456789... 計256桁
フリーテキスト (アップリンク) への応答	dM #0 WILCO				
フリーテキスト (ダウンリンク)	dM #68［freetext＝ABCDEF...]	Freetext			0123456789... 計256桁
フリーテキスト (ダウンリンク) への応管	uM #3 ROGER				

ないと思われる。しかし，応用エンティティからトランスポート・エンティティに直接アクセスする方法が現状では無く，また，5 層と 6 層を省いてもデータ転送時には 3 バイト程度の圧縮にしかならない（本文図10参照）。このため OSI の階層構造がそのまま活かされていると言っても過言ではないと思われる。

独立行政法人　電子航法研究所報告編集委員会
委 員 長：東福寺則保
副委員長：山本　憲夫
委　　員：星野尾一明
　　矢田　士郎
　　板野　　賢
事 務 局：総務課企画室

電子航法研究所報告の編集は，編集委員会が行う。

編集委員会は２名の査読委員の意見に基づいて論文の採録の可否を判定する。

本誌に掲載された論文は編集委員会で採録と決定されたものである。

本誌に掲載された論文の著作権は独立行政法人電子航法研究所（以下研究所という）に帰属する。本誌に掲載された論文を引用する場合は，出所を明示すれば研究所の許諾を必要としない。本誌に掲載された論文の全部又は一部を複製，転載，翻訳，あるいはその他に利用する場合は，個人が研究，学習，教育に使用する場合を除き，研究所の許諾を得なければならない。

ELECTRONIC NAVIGATION RESEARCH INSTITUTE PAPERS

No.100　February　2003

電 子 航 法 研 究 所 報 告　　ISSN 1341-9102
（第100号）
平成15年２月25日　発行

編集兼発行人　独立行政法人 電 子 航 法 研 究 所

発　　行　独立行政法人 電 子 航 法 研 究 所
〒182-0012　東京都調布市深大寺東町７丁目42番地23
電話　0422-41-3168

印 刷 所　㈱ 丸 井 工 文 社
〒102-0073　東京都千代田区九段北1-12-4

Electronic Navigation Research Institute. Independent Administrative Institution
7-42-23. Jindaijihigashi-machi, Chofu, Tokyo,182-0012, Japan