

2. 擬似衛星サブネットワークを用いたATN実験

航空施設部 ※板野 賢 塩見 格一* 藤田 光紘**
 *電子航法評価部 **衛星航法部

1. はじめに

ATN（航空通信ネットワーク）は従来個別に行われてきた航空におけるデータ通信機能を、ISO（国際標準化機構）のOSI（開放型システム間相互接続）を用いたビット指向の通信に統一するもので、ICAO（国際民間航空機関）により提唱された次世代の航空通信用のインターネットである。

本年度は、昨年に引き続きCPDLC（管制官・パイロット間データリンク通信）とADS（自動従属監視）の国際接続実験⁽¹⁾を行うとともに、新たに衛星航法部の擬似衛星サブネットワークを用いてCPDLCとADSの通信実験を行った。本講演では擬似衛星サブネットワークを用いた実験の概要と結果について述べる。

2. 実験構成

図1に擬似衛星サブネットワーク（図中の衛星データリンク実験システム）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

表示端末が、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、メッセージは航空機BIS（境界型中間システム）、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、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。また、BISは一種のデータの中継機で、各空地データリンクの両端では必須のものである。

航空機側及び地上側のネットワークはハブを用いたLANで構成される。航空機BISとAES（航空機地球局）間、及び地上BISとGES（地上地球局）間の接続はx.25を用いたWAN（回線速度9600bps）を用いる。従ってBISから見ると衛星データリンク実験システムは一種のネットワークに見える。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上のパケットを監視し、各パケットのデータリンクヘッダ部分に付加される絶対時間から、各パケットの差分をとって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（航

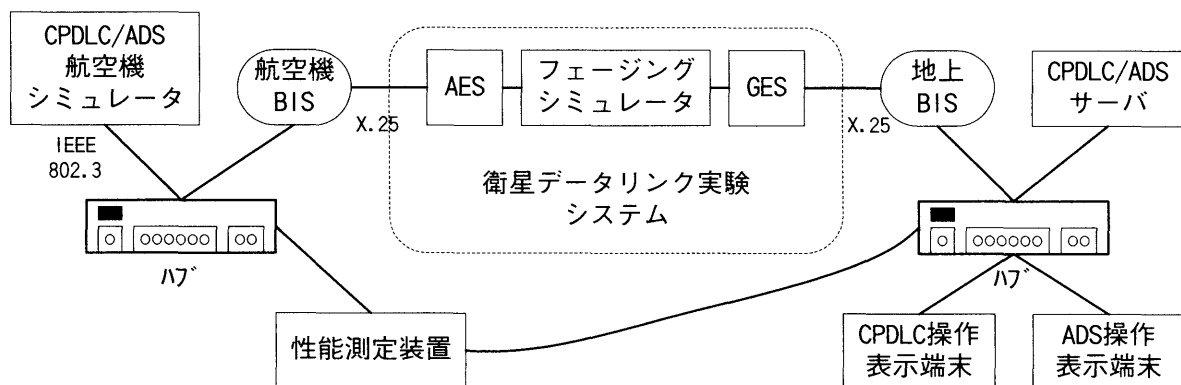


図1 通信実験の構成図

空移動衛星業務）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（標準化及び勧告方式）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。また、AMSSのデータ伝送速度は600bpsと10500bpsを用いた。

3. ADSとCPDLCについて

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、レポートの送信を止めたりするアプリケーションである。ADSはコントラクトの種類により、またダイアログの有り無しにより（ATNのアプリケーションはダイアログサービスを用いているが、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る。）データ伝送手順が異なり、通信時間も異なる。また、ADSレポートには各種のオプションがあり、オプションの種類によりデータ長も異なるが、今回用いたものは最も基本的なもの（航空機アドレス、緯度経度、高度、FOM[航法精度の指標]、時刻）である。

CPDLCは管制官とパイロット用のデータ通信用のアプリケーションである。CPDLCはADSと異なり最初にアプリケーション間の接続を行う。このため、メッセージ送信の際は常にダイアログが確立された状態になるので、その通信内容にかかわらず基本的に同じ伝送手順になり、通信時間もメッセージ長に依存する。ただし、CPDLCのスタート処理やエンド処理などではデータ転送手順が異なる。

また、ADSやCPDLCなどの空地アプリケーションでは、ASN.1（抽象構文記法1）を用いてメッセージの短縮を図っている⁽¹⁾。

4. 実験結果

実験結果はCPDLCに関しては現在も解析中なので、ここではADSの実験結果について述べる。AMSSの回線速度600bpsのノイズの無い場合とC/N比31.9db（搬送波電力対雑音電力密度比）を、回線速度10500bpsの場合はノイズの無い場合とC/N比42.9dbの場合について測定した。C/

N比の値はBER（ビット誤り率） 10^{-5} を満足する最小の値とした。

4.1 データフォーマット

図1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1のTP層ヘッダ以降のTPDU（トランスポート層プロトコル・データ・ユニット）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、AMSSではX.25のユーザデータサイズが最大で128バイトであり、CLNP（コネクションレス・ネットワーク・プロトコル）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。これはAMSSの取り扱えるユーザデータが最大144バイト程度であることによる。このため、データの伝送に時間がかかる。

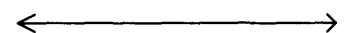
また、CLNPヘッダ長は通常60～70バイト程度であるが、ATNではセキュリティ上の理由などで、CLNPのオプション機能を用いるため長くなる。例えば、セキュリティが必要とされるリンクではセキュリティタグの無いパケットは破棄され、パケットがどの経路を経由したかも記録される等である。

また、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200バイト程度であった。

AMSS X.25最大ユーザ
データサイズ128バイト



TPDU最大サイズ1024バイト



x.25HDLC ヘッダ	CLNPヘッダ	TP層 ヘッダ	上位層 ヘッダ	CPDLC/ADS データ
5	145	5	3	可変

（単位：バイト）

図2 CPDLC/ADSの空地データリンクに送られるデータフォーマット

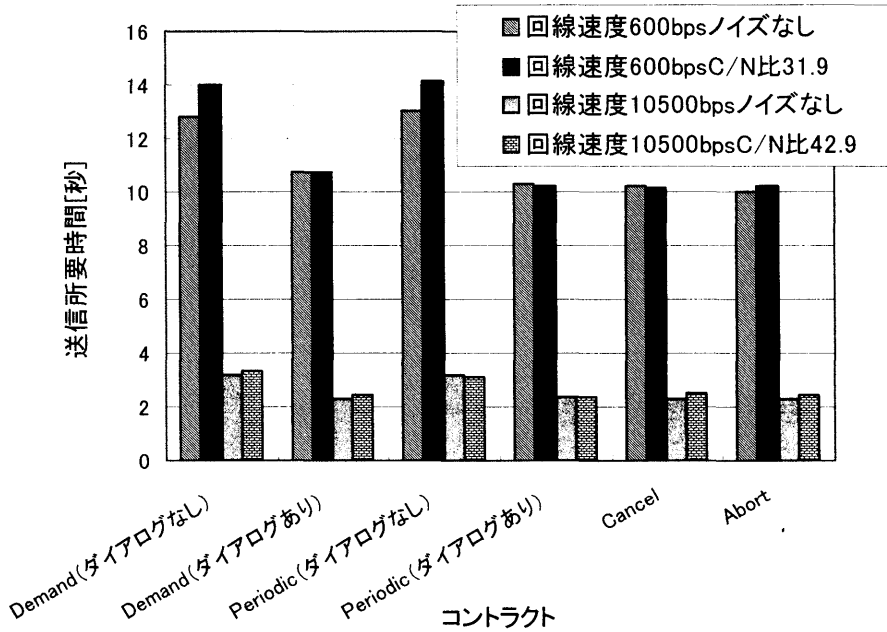


図3 アップリンク通信所要時間

4.2 ADSのアップリンク通信所要時間

図3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1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、ノイズの影響については有意な差はほとんど見られない。また、10500bps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

表1 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

あり、メッセージの分解・組み立て等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2にアップリンクの実行回線速度を示す。表2及び図3にはBISの処理時間も含まれるが、数十ms程度なのでBISの影響はほとんど無視で

表2 アップリンクの実行回線速度[bps]

コントラクト	600bps		10500bps	
	ノイズなし	C/N比31.9	ノイズなし	C/N比31.9
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

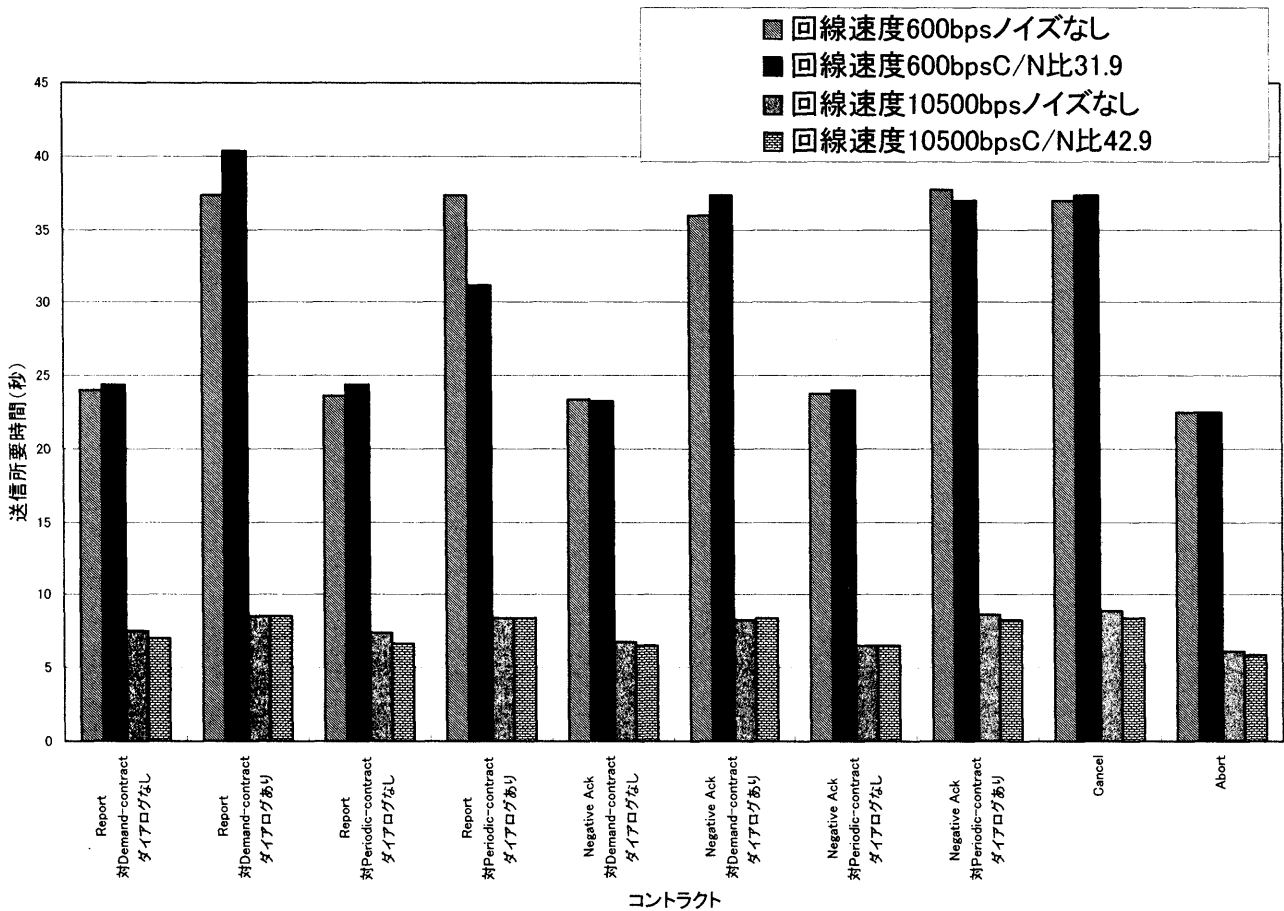


図4 ダウンリンク通信所要時間

きる。

4.3 ADS ダウンリンク通信所要時間

図4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レポート等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は機上からコントラクトを発行した場合）。また、表3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、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）を送信する前にAck（肯定応答）を返すためである。図5にこの時のシーケンスを示す。ダイアログのない場合は、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）になるが、送信所要時間は回線速度600bpsで約1.5倍、回線速度

表3 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

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1回だけなので、Periodic-contract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、航法性能がRNP（要求航法性能）4で、最大ADS-Periodic Report間隔が14分なので、AMSSのチャンネル数が在空機に対して十分あれば洋上の運用では問題は無いと考えられる。

表4にダウンリンクの実行回線速度を示す。アップリンクに比べ実行回線速度は遅い。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。

4.4 ADS操作端末 - 航空機シミュレータ間往復通信時間

表5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5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

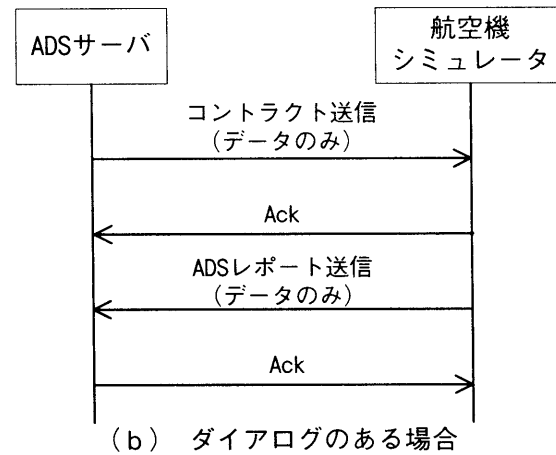
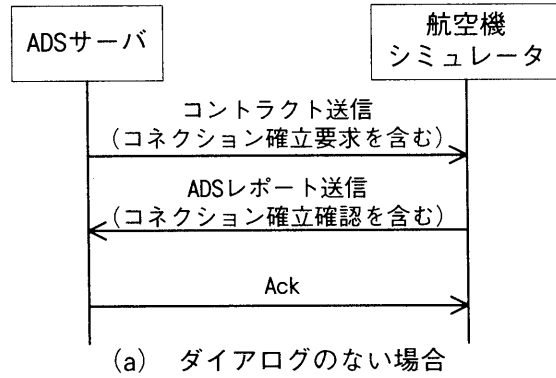


図5 ADSのシーケンス

ンスでのトラフィックの総量である。

表5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類にかかわらず約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

表4 ダウンリンクの実行回線速度 [bps]

コントラクト	600bps		10500bps	
	ノイズなし	C/N比31.9	ノイズなし	C/N比31.9
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5 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/N比31.9	ノイズなし	C/N比31.9	
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

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-contractと、Periodic-contractに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接続の切断処理が行われるためトラフィックが増える。

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。

5. まとめ

衛星データリンク実験システムを用いてATNの通信実験を行った。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の運用ではAMSSのチャンネル数が在空機に対して十分あれば問題は無い。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）しただいでは高速化が可能と考えられる。

また、CPDLCの実験結果については別の機会に発表する。

参考文献

- (1)板野賢，塩見格一：“ATNの国際接続実験について（その2）”，第32回電子航法研究所発表会概要，平成12年6月。