

航空衛星通信システム

Aeronautical Satellite Communications System

坂口 夕紀子
SAKAGUCHI Yukiko

鈴木 正広
SUZUKI Masahiro

従来、航空機と地上との間の通信方式として、短波帯の音声通信が用いられてきた。近年、通信品質が安定してきたことから、音声に加えてデータを含めた通信が行える航空衛星通信システムが国際的レベルで運用されている。

当社は、バースト信号(間欠的な信号)の復調を行う衛星通信用変復調装置、及びこれを用いた航空衛星通信システムを開発し、納入してきた。このシステムは、高速移動体特有の大きなドップラーシフト(ドップラー効果)や移動に伴う環境の変化によって引き起こされる、フェージング(fading:受信信号振幅の短周期変動)が存在し、かつ低C/No(Carrier-to-Noise-density ratio:信号対雑音密度比)の環境下でも安定に復調できる特長を持っている。今後、航空衛星通信は、次世代の航空管制システムをはじめ様々なアプリケーションソフトウェアへの適用が期待される。

The aeronautical satellite communications system has recently been used at the international level, superseding the current HF communications system. This system has the characteristics of good communication quality and the capability for both data and voice communications.

Toshiba has developed modems for satellite communications which demodulate the burst signal under the large Doppler shift and fading phenomena that are peculiar to high-speed mobile communications, in conditions of a low carrier-to-noise-density (C/No) ratio. Toshiba has also delivered aeronautical satellite communications systems incorporating these modems, both domestically and internationally.

In the field of aeronautical satellite communications systems, there are strong expectations for the development of application systems including a new-generation air traffic control system.

1 まえがき

従来から、洋上空域の航空機と地上との通信方法として、短波帯のアナログ音声通信が使用されている。しかし、この方法は、通信品質が安定していないなどの問題がある。これに代わる通信方法として、通信衛星を利用した航空衛星通信システムの運用が世界的に進められている。

国際海事衛星機構(インマルサット)の衛星を利用した航空衛星通信システムは、主に航空会社の業務通信(電話及びデータ通信)並びに乗客向けの公衆通信(電話)などにおいて、既に運用されている。

国際民間航空機関(ICAO)においては、航空衛星通信システムを航空管制に利用することが検討されており、わが国でも、衛星及び地上局の整備計画が進められている。

当社は、1988年から航空衛星通信システムに関する要素技術やシステムの開発に取り組み、KDD(株)、運輸省電子航法研究所、韓国通信に装置を納入してきた。ここでは、それらの要素技術及び納入システムの概要を紹介する。

2 航空衛星通信システムの構成

航空衛星通信システムは、図1に示すように、航空機に搭

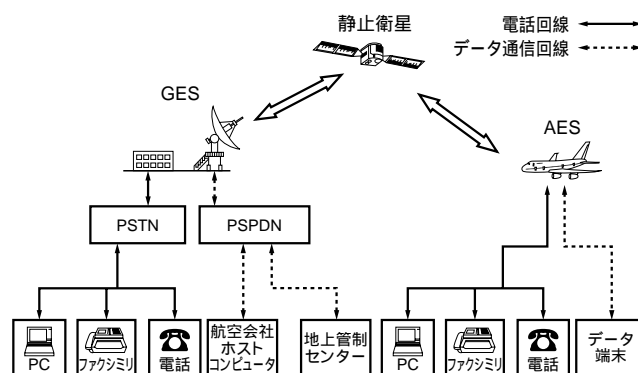


図1. 航空衛星通信システムの構成 AES, GES及び通信用静止衛星で構成され、パケットデータ通信、電話などのサービスを提供する。
Concept of aeronautical satellite communications system

載する航空機地球局(AES: Aircraft Earth Station), 地上に設置する航空地球局(GES: Ground Earth Station)及び通信用静止衛星から構成される。インマルサットのシステムでは、衛星は太平洋, 東大西洋, 西大西洋, インド洋の上空に位置している。

このシステムにおけるGESと衛星の間の通信周波数は、GES 衛星方向が6 GHz, 衛星 GES方向が4 GHzである。

AESと衛星の間の通信周波数は、AES 衛星方向が1.6GHz、衛星 AES方向が1.5GHzである。

航空衛星通信システムで提供されるサービスは、データ通信、電話、ファクシミリ及びパソコン(PC)データ通信がある。

データ通信サービスでは、航空機上のデータ端末と公衆パケット交換網(PSPDN)に接続する地上のデータ端末との間で、パケットデータ通信が行える。データ通信には、データ2、データ3の2種類のサービスがある。データ2では、通信を行う地上側データ端末がAESごとに固定であるのに対して、データ3では、任意の地上側データ端末と任意の航空機側データ端末との間で通信が可能である。

電話サービスは、航空機上の電話端末と地上の公衆電話網(PSTN)に接続する電話端末との間で音声通信が行える。航空機上の電話端末としては、パイロットなどの乗務員と乗客用がある。

これらのサービスを行うために、AESとGESの間の通信には以下に示す4種類のチャンネルが使用されている。

2.1 Pチャンネル

Pチャンネル(Packet mode time division multiplex channel)は、フォワードリンク(GESからAESへの回線)用として、GESとAES間のアクセス制御及びGESからAES方向へのユーザーデータ通信に使用される。伝送方式としては、TDM(Time Division Multiplex)の連続送信を用いる。伝送レートは低速の600bpsから高速の10.5kbpsまでである。

2.2 Rチャンネル

Rチャンネル(Random access(slotted aloha)channel)は、リターンリンク(AESからGESへの回線)用として、AESとGES間のアクセス制御及びAESからGES方向への33バイト以下の短いユーザーデータ通信に使用される。伝送方式としてはランダム予約方式であるスロット付きアロハ方式^{注1)}を用いており、バースト送信である。伝送レートは低速の600bpsから高速の10.5kbpsまでである。

2.3 Tチャンネル

Tチャンネル(reservation Time division multiple access channel)は、リターンリンク用として、AESからGES方向への33バイトを超える長いユーザーデータの通信に使用される。伝送方式は、予約TDMA(Time Division Multiple Access)方式を用いており、バースト送信である。伝送レートは、低速の600bpsから高速の10.5kbpsまでである。

2.4 Cチャンネル

Cチャンネル(Circuit mode single channel per carrier)フォワードリンク/リターンリンク共用であり、音声、ファクシミリ及びPCデータ通信に使用する。制御方式は、要求があったときに周波数を割り当てるDAMA(Demand Assignment Multiple Access)方式を用いている。多元接

(注1) 回線上時間軸をパケットの送信時間に相当するスロットに分割し、各局の送信タイミングをこのスロットに同期させる方式。

続方式としては、SCPC FDMA(Single Channel Per Carrier - Frequency Division Multiple Access)を採用している。

3 GES

GESは、アンテナ装置、RF/IF(Radio Frequency/Intermediate Frequency)周波数変換装置、及び回線制御装置で構成される。回線制御装置はGESの中枢部であり、この部分でAES管理、通信制御をはじめとしたGESのほとんどの機能を実行する。

当社は、92年にKDD(株)(当時、国際電信電話(株))に回線制御装置を2式(太平洋空域用1式及びインド洋空域用1式)、95年に韓国通信に回線制御装置を納入した。また、92年に運輸省電子航法研究所に実験用航空管制データ通信システムの一部として回線制御装置を納入した。回線制御装置納入後も、新たなサービスや機能の追加を継続的に実施している。回線制御装置は、中央処理装置、監視制御装置、電話回線交換装置、変復調装置から構成されている(図2)。

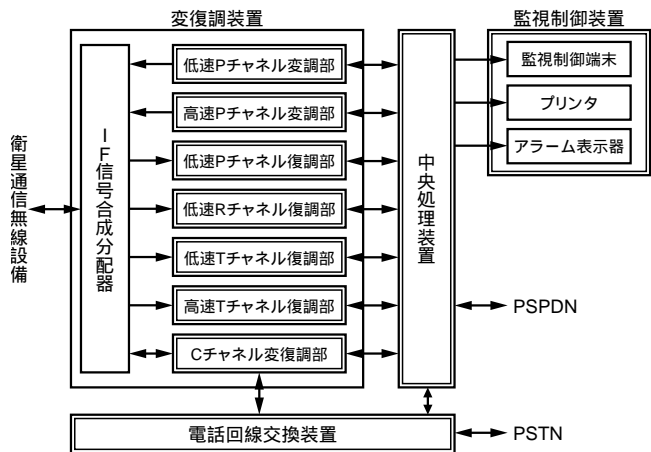


図2. GES回線制御装置の構成 回線制御装置はGESの中枢部であり、AES管理・通信制御をはじめとするGES主要機能を実行する。

Configuration of GES access control and signaling equipment

回線制御装置では、AES管理、電話呼(こ)処理、データ呼処理、保守運用機能などを実行する。

- (1) AES管理 移動体であるAESが衛星通信のサービス範囲に入り、運用を開始するときのログオン、運用を終了するときのログオフを行う。
- (2) 電話呼処理 衛星区間の呼制御、地上側の呼制御、空地間の音声交換制御を行う。
- (3) データ呼処理 OSI(Open System Interconnection)の階層モデルにおけるネットワークレイヤの交換制

御,衛星区間の通信制御,地上側の通信制御(ITU-T^(注2)勧告X.75準拠)を行う。

- (4) 保守運用機能 通信サービスにおける課金データ管理,構成機器の状態管理,冗長系の切替制御などを行う。

以下に,各構成要素の機能を示す。

3.1 中央処理装置

中央処理装置は,二重化されたコンピュータであり,連続運用に対応できるホットスタンバイ構成としている。2系統のコンピュータ間の情報共有は,共有メモリ及び共有ディスクにより実現している。

3.2 監視制御装置

監視制御装置は,オペレータのヒューマンインタフェースとしての役割を持つ。構成機器の状態表示,冗長系の現用/予備の切換え,課金データなどの履歴データの表示,運用パラメータの設定などの操作が行える。ハードウェアにはワークステーションを使用している。

3.3 電話回線交換装置

電話回線交換装置は,二重化されたデジタル交換機を使用しており,No.5信号方式^(注3)で公衆電話網に接続している。

3.4 変復調装置

変復調装置は,衛星区間のP/R/T/Cの各チャネルで伝送するための変復調を行うもので,1チャネルごとに独立した構成となっている。航空衛星通信システムでは,移動体が航空機という高速移動体であることによる大きなドップラーシフトや受信信号振幅が短周期で変動するフェージングが存在する。また,衛星通信のためC/Noが低いという条件に対応する必要がある。GESでは,このような条件下でも安定した通信を確保するための性能要求として,表1に示す許容できる誤り率及びバースト引込み確率を規格で定めている。

表1. GES高速チャネル変復調装置の主要受信性能
Receive performance of Ground Earth Station (GES) high-speed channel modem

チャネル ビットレート (kbps)	チャネル 間隔	必要 C/No(dB·Hz)		ビット 誤り率	バースト 引込み確率		
		ライシアンチャネル					
		C/M = 10 dB	C/M = 12 dB				
Cチャネル	(21.0)	17.5 kHz	49.3	46.7	44.9 ~ 59.2	10 ⁻⁵ 以下	99.9%以上
R/Tチャネル	(10.5)	7.5 kHz	46.3	45.0	43.6 ~ 65.3	10 ⁻⁵ 以下	99.9%以上
	(10.5)	10.0 kHz	45.9	44.6	43.2 ~ 64.9	10 ⁻⁵ 以下	99.9%以上

C/M : Carrier to Multipath power ratio
ライシアンチャネル, ガウスチャネル: ノイズの分布の仕方

(注2) International Telecommunication Union - Telecommunication standardization sector
(注3) 6周波のうち,2周波を選択して低周音波とした各種信号の送信機能を持った電話回線。
(注4) 行列を使用したデータの書き込み・読み込みのとき,行列の方向を変えることによりデータの誤りを分散させ,エラー訂正を可能にすること。

変調部では,ベースバンド信号に対して差動符号化,スクランブル,誤り訂正符号化,インタリーブ^(注4),フレーム多重などを実行し信号として出力する。

復調部では,①バースト信号の復調,②規定ビット誤り率特性,③リアルタイム復調処理,を実現しなければならない。このために,高速フーリエ変換によるバーストヘッド検出^(注5),キャリア再生,クロック再生,AGC(Automatic Gain Control:自動利得制御)などのデジタル信号処理による復調を行う。更に,復調後のデジタルデータに対してフレーム同期,デインタリーブ,誤り訂正復号,デスクランブル処理を実施している。これらの変復調処理には,すべてDSP(Digital Signal Processor)を使用することによりソフトウェアで実現している。高速10.5 kbps変復調ユニットの系統を図3に,外観を図4に示す。

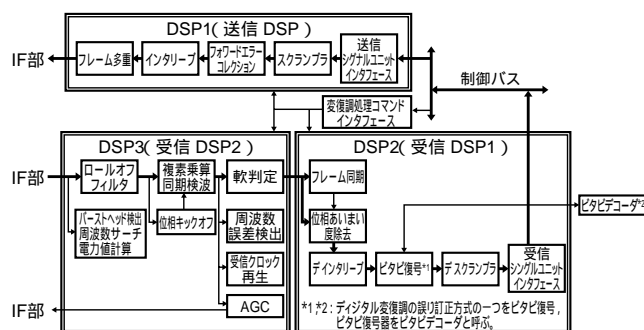


図3. 高速10.5 kbpsチャネル 変復調処理ユニットの系統 三つのDSPにより,衛星回線用変復調処理を実現している。
System configuration of high-speed 10.5 kbps channel modem processing unit



図4. 高速10.5 kbpsチャネル変復調処理ユニット DSPのソフトウェアを変えることにより,衛星回線のチャネル種別(P/R/T/C)を変えることができる。
High-speed 10.5 kbps channel modem processing unit

(注5) バースト信号の復調にあたり,同期を取ったり中のデータを抽出するために,バースト信号の先頭部分を検出すること。

4 AES

航空機に搭載するAESは、アンテナ、無線装置、変復調機能及び制御機能を持つ衛星データユニットなどから構成される。これらの装置は、小型・軽量でかつ離着陸時の振動、温度・気圧変化などの厳しい環境条件にも十分耐えられるように設計・製造しなければならない。

当社は、94年に全日本空輸(株)に米国ボーイング社製ジャンボジェット機B747-400搭載用のAESを納入した。また、92年に運輸省電子航法研究所に実験用航空管制データ通信システムの一部として、AESを納入した実績を持つ。

5 実験用航空管制データ通信システム

現在、洋上空域における航空機と地上との通信は短波帯での音声通信を用いており、位置通報はパイロットにより1時間1回程度の割合で行われている。この方式では、航空機の安全航行のためには航空機相互の管制間隔を広く取る必要があり、将来の航空交通量の増大に対応することが困難である。この問題を解決するために次世代航空管制保安システムとしてICAOより提案されたのが、CNS/ATM (Communication, Navigation and Surveillance/Air Traffic Management: 通信, 航法, 監視 / 航空交通管理) である。CNS/ATMの実現により、管制間隔の短縮, 空域の効率的な使用, 安全性向上などをはじめとする種々の効果が期待される。衛星を利用したCNS/ATMの概念を図5に示す。

CNSのうち、C(通信)とS(監視)の分野において、航空衛星通信が大きな役割を果たすものと期待されている。

Cの分野では、地上管制官と洋上空域を航行する航空機との間でデータリンク(CPDLC(Controller Pilot DataLink Communications))通信を行う手段として用いられる。通常、の定型な通信ではデータリンクを使用し、緊急時などの通信では音声を使用することが検討されている。航空衛星通信システムのデータリンクを使用することにより、ほぼ全世界的な覆域を実現できる。更に、通信方式上の誤り制御手順による伝送データの信頼性、通信内容が記録されることによる確実性の向上、並びに自動化により管制官やパイロットの作業負担を軽減できるなどのメリットが得られる。

Sの分野では、洋上空域を航行する航空機から自発的な位置通報(ADS(Automatic Dependent Surveillance: 自動従属監視))を得る手段として用いられる。ADSは、全地球的規模で航空機の監視を行うシステムである。航空機が搭載する航法装置から得られる自己の位置・高度・速度などの情報を、空地データリンクを介して自動的に地上管制システムに送信し、地上管制システムの表示装置に、地図と重ねて表示する。航空衛星通信システムを使用したADSにおいては、CPDLCと同様、覆域の拡大、データの信頼性、作業負担

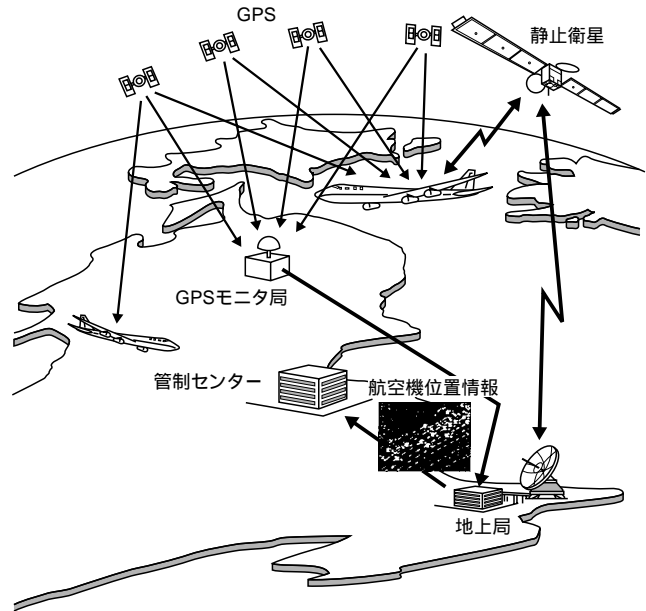


図5. 衛星利用のCNS/ATMの概念 衛星を使用して、航空機と地上管制センターとの間の通信、航空機の航法、航空機の監視(航空機から地上管制センターへの位置通報)が行われる。

Concept of communication, navigation and surveillance/air traffic management (CNS/ATM) system using satellites

の軽減などのメリットが得られる。

当社は、92年より運輸省電子航法研究所に、前述のAES、GESを含む実験用航空管制データ通信システムを納入している。電子航法研究所では、このシステムにより、ADS及びCPDLCの実現に向けた機能・性能の検証を実施している。

6 あとがき

将来の航空通信の分野において、注目されている航空衛星通信システムについて、当社は過去10年以上にわたり製品の納入・機能追加を継続的に実施してきた。今後は、航空衛星通信の航空管制への適用、新サービスの導入などが進められるなかで、航空衛星通信システムの事業を拡大するために注力していく。



坂口 夕紀子 SAKAGUCHI Yukiko

情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部主務。

航空衛星通信システムの設計・開発に従事。

Komukai Operations



鈴木 正広 SUZUKI Masahiro

情報・社会システム社 小向工場 電波応用システム技術部。

航空衛星通信システムの設計・開発に従事。

Komukai Operations