

## 7. 航空機地球局

### 7.1 概説

現在の航空機の通信はその通信内容が大部分、航空交通管制や業務通信である。公衆通信サービスとしては地上システムを利用したもので、アメリカ国内にエアフォン (Airfone) 社による航空機電話サービスが、また日本においても国内線の一部で日本電信電話株式会社 (NTT) による電話サービスがあるが、ほぼ陸上部分の上空に限られており、国際線のような世界的規模での運用は行われていない。このため通信の広域性、通信の安定性という特徴を持つ衛星通信の導入が期待されている。

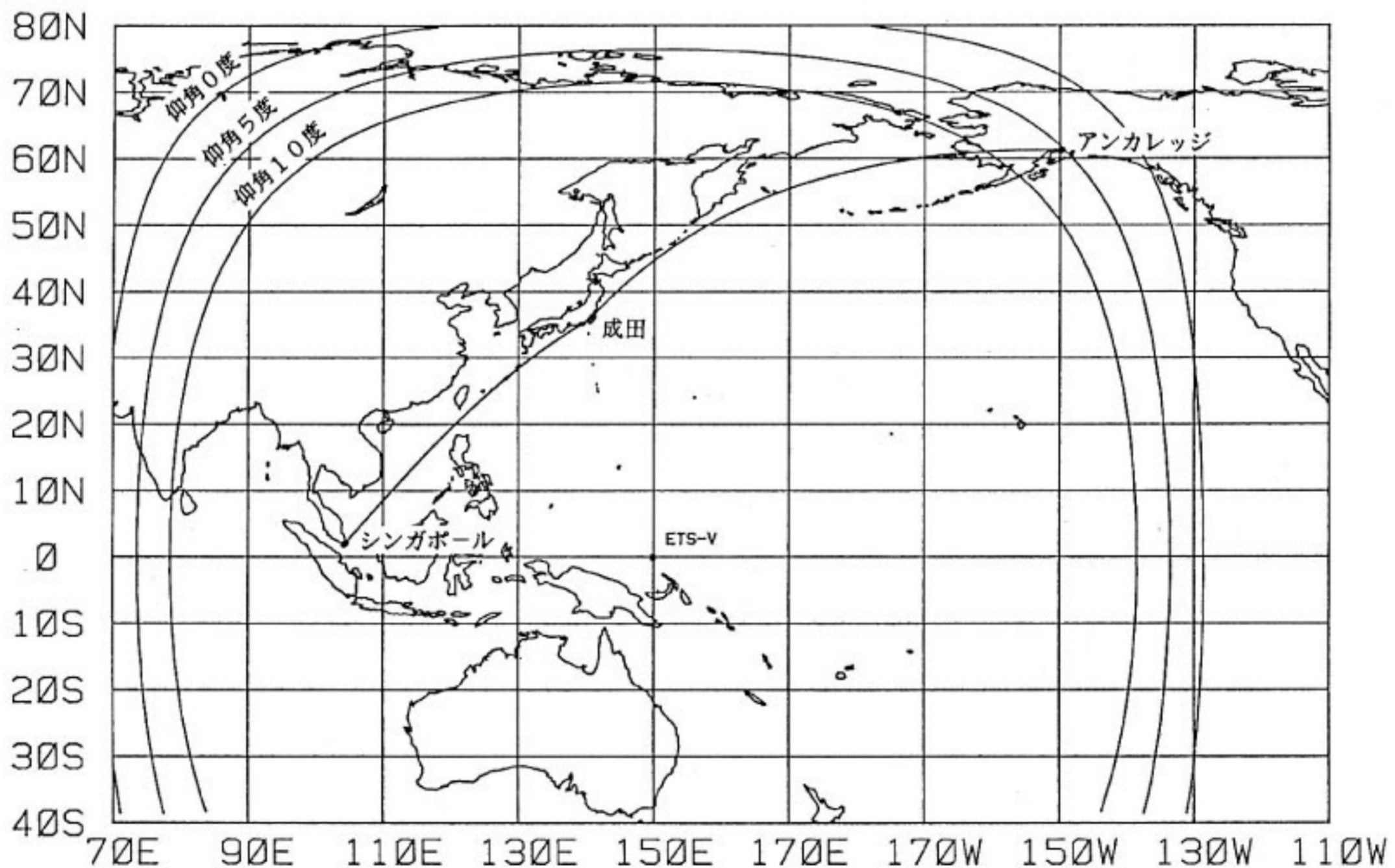
EMSS 実験における航空機地球局は公衆航空衛星通信を目標にして、昭和58年にその開発に着手し、昭和60年に開発を終了、その後一部改良を加えて、昭和62年9月に航空機への搭載を終えた。実験に用いる航空機は日本航空 (JAL) 所有のボーイング747型貨物機 (B-747F, 機体番号 JA8123) であり、実験は成田—アンカレッジ

及び成田—シンガポール間の定期航路上において、月2回程度の頻度で昭和63年度末まで行われる予定になっている。

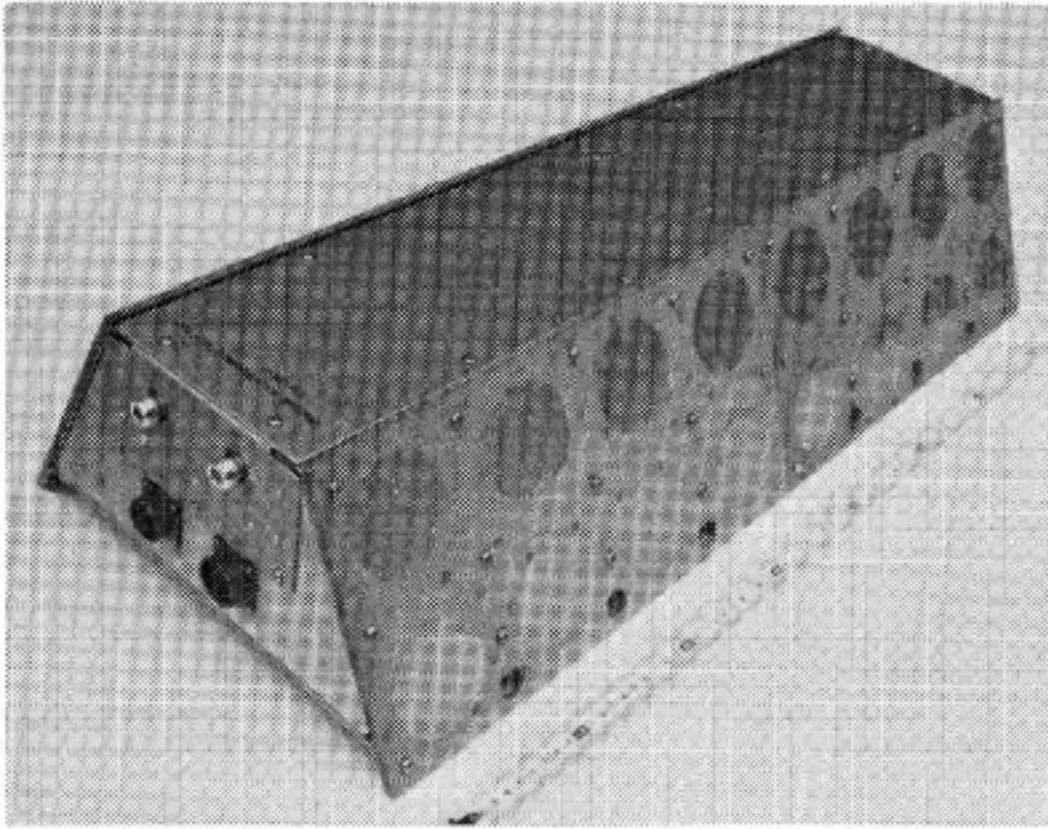
### 7.2 航空機地球局の構成

航空機地球局は機外に取り付けられるアンテナ部、並びに機内に設置される送受信部、端局部、制御部及び電源から構成される。第7.2-1図にアンテナ部の、第7.2-2図に機内装置の写真を、また第7.2-3図に構成の概要を示す。

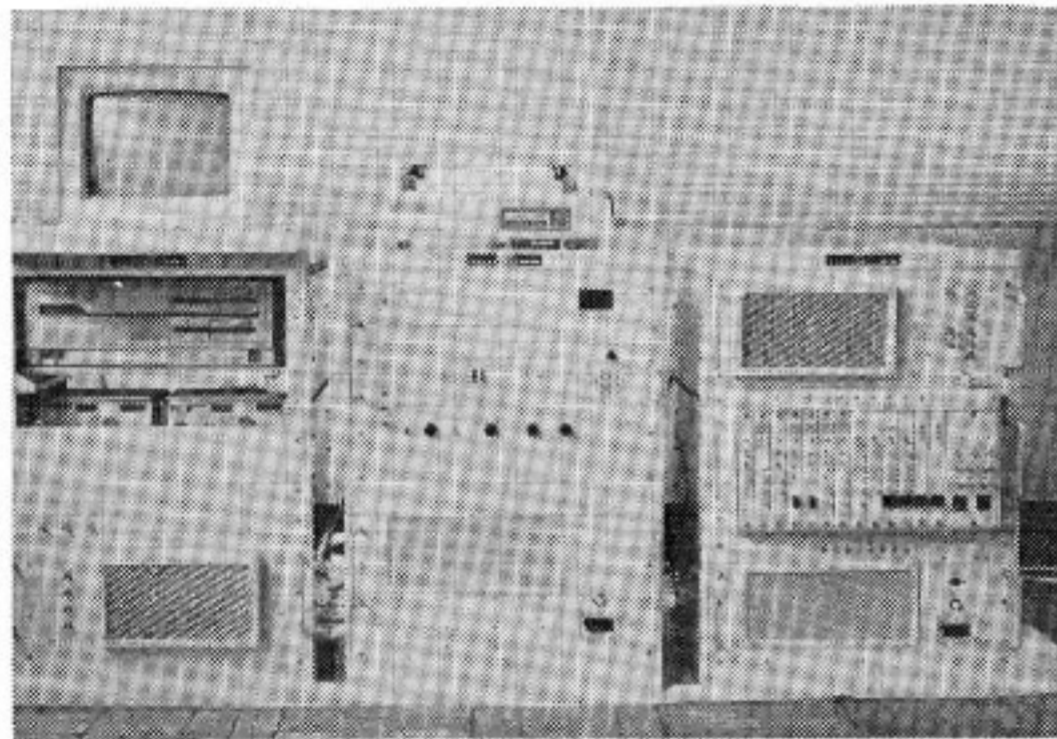
アンテナ部はアレーアンテナ、ダイプレクサ及び低雑音増幅器より成っているが、ダイプレクサ、低雑音増幅器はアレーアンテナ内部に組み込まれており、アンテナ部は一つの装置にまとまった形になっている。設置場所は第7.2-4図に示すような位置であり、ここにはフェアリングと呼ばれる特殊なレドームが用意されている。もともとこのフェアリングはボーイング社が1970年代中ごろに VHF 帯を用いた衛星通信の実現を目指して設計し



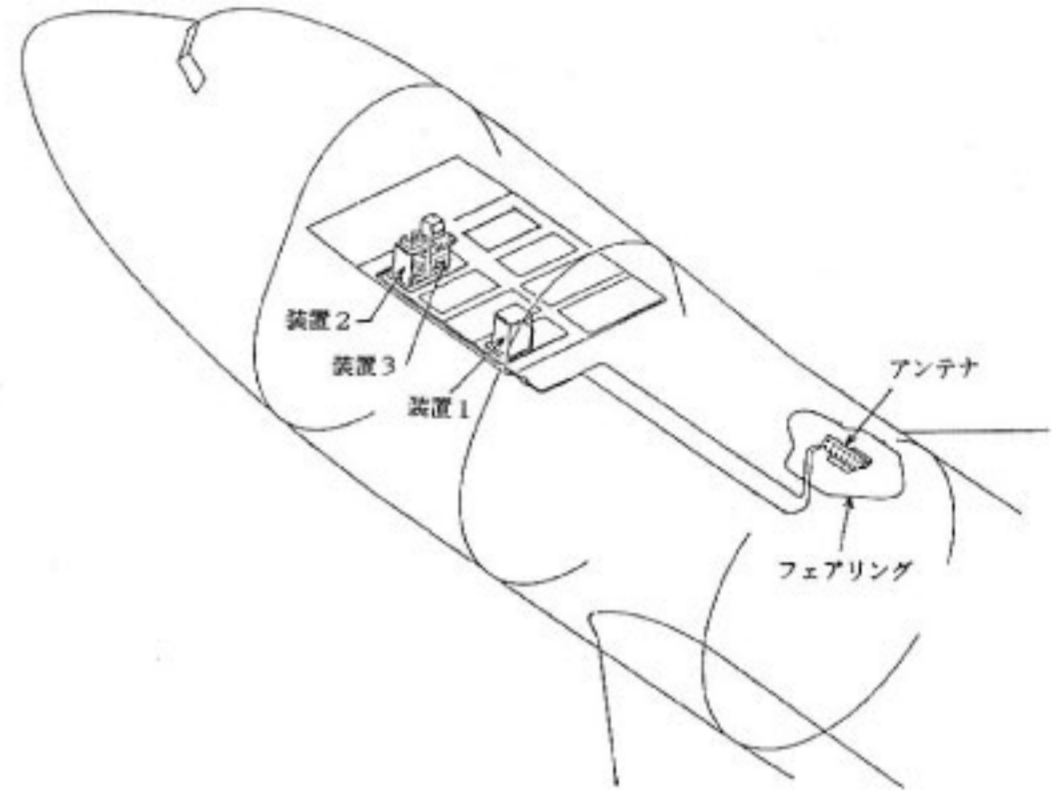
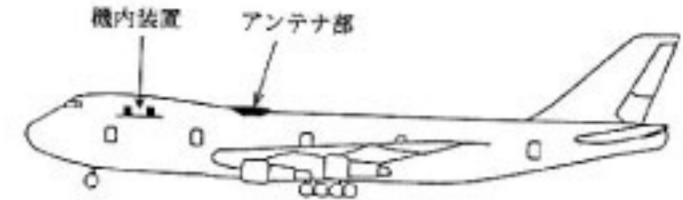
第7.1-1図 航空機地球局の実験コース



第7.2-1図 航空機搭載アンテナ



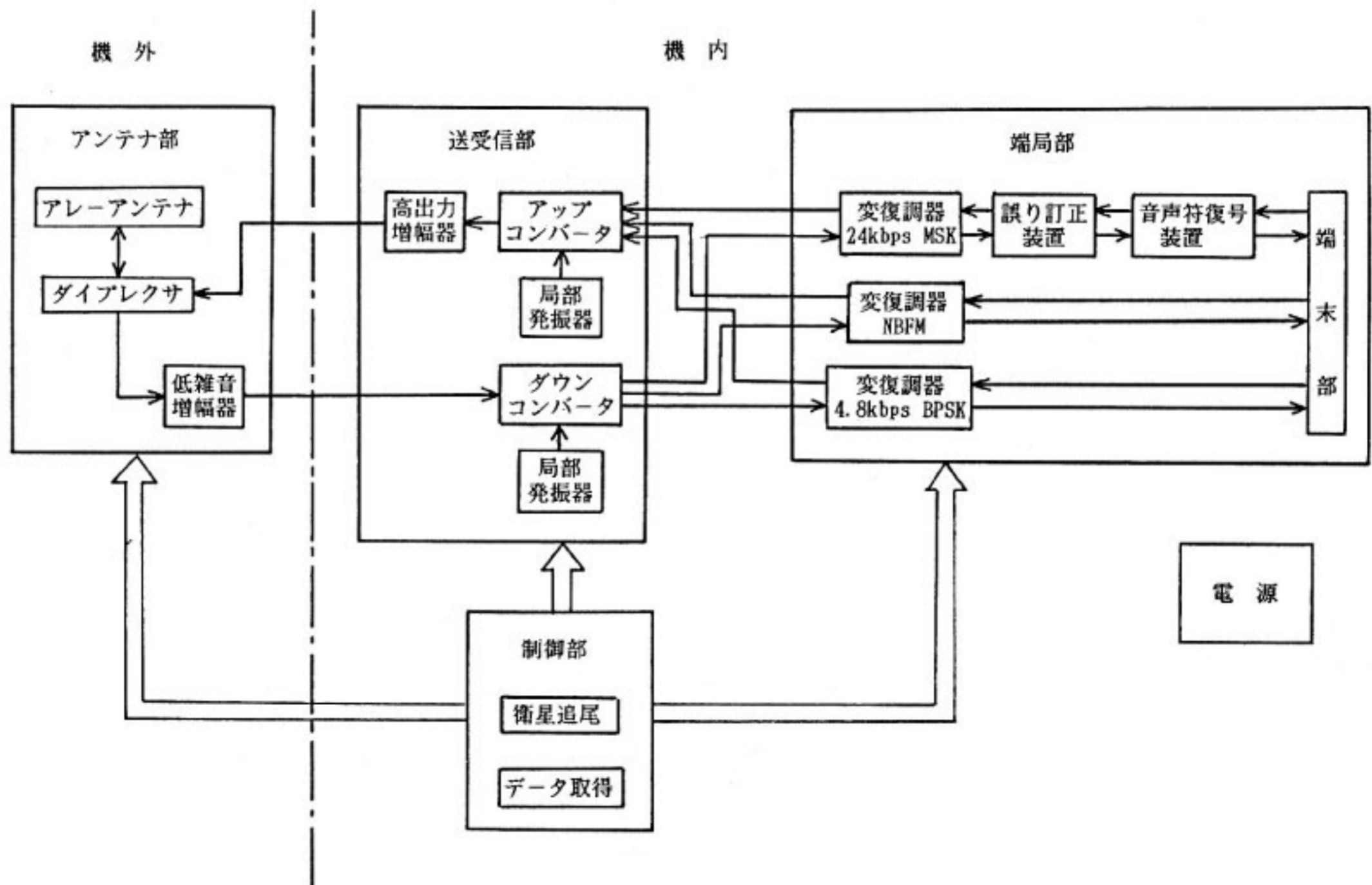
第7.2-2図 機内装置



第7.2-4図 航空機地球局の取り付け位置

たものであるが、結局この計画は実現されないまま現在に至っている。そこで今回の EMSS 実験においては、このフェアリングを利用することにした。

端局部は NBFM, 24 kbpsMSK 及び 4.8 kbpsBPSK の3種類の変復調器, CADM 及び CVSD の2種類の音声符復号装置, 誤り訂正装置及び端末部から構成さ



第7.2-3図 航空機地球局構成図

れ、これらは送受信系及び電源の一部と同一のラックに収められており、これが第7.2-2図の右端のラックに、第7.2-4図では装置1にあたる部分で、その重量は約90 kgである。

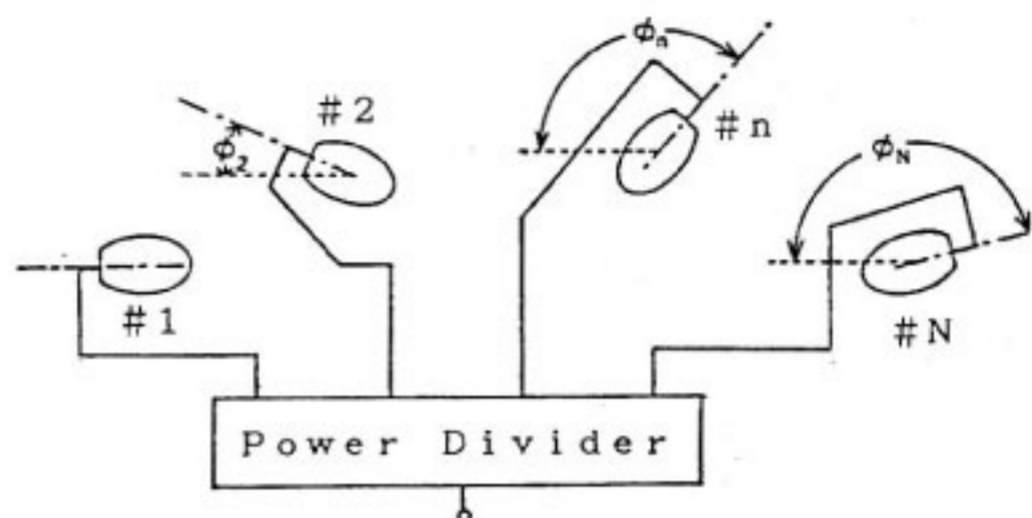
制御部はアンテナの指向を衛星方向に向けさせるための衛星追尾の部分と各種の実験データを収集するためのデータ取得の部分に分けられる。データ取得処理用の計算機にはパーソナルコンピュータが用いられており、取得データは一次処理したのち、5インチフロッピーディスクに記録される。またそのうち主要なデータについてはCRT上にグラフとして示されるとともにハードコピーとしてプリンタに出力される。このデータ取得と衛星追尾の部分第7.2-2図の中央及び左端のラックにあたり、それぞれ第7.2-4図の装置2及び装置3である。また重量は装置2が約60 kg、装置3が約50 kgである。なお、装置2のラック内には機体電源である115 V 400 Hzを100 V 50 Hzに変換するインバータ電源も含まれており、パーソナルコンピュータやデータ取得部内に含まれる電界強度測定器等の電源となっている。

### 7.3 アンテナ系

#### 7.3.1 アンテナ

アンテナ系は航空機地球局において最も開発研究要素の大きな部分である。EMSS実験に用いる航空機搭載アンテナには実験のシステム検討により約15 dBiの利得が求められているが、第7.2-4図に示したフェアリング内での実質的な搭載空間は100(長さ)×50(幅)×20(高さ)cmと狭く、またフェアリング内の搭載重量は20 kg以下と厳しい。さらに機外装置には $-55^{\circ}\text{C}$ から $+70^{\circ}\text{C}$ までの温度変化等のかこくな環境条件にも耐えうる強度と電気的特性を満足することが要求されており(RTCA Do 160 A「Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Electronic/Electrical Equipment and Instrument」による)、機械的追尾機構を持ったアンテナを用いることは難しい。そこで今回開発したアンテナは、アレー構成とし、アレーの各素子で励振する位相量を制御することにより電氣的に衛星追尾を行うフェーズドアレーアンテナを採用した。また、アレー素子には軽量、薄型でかつ十分な機械的強度が必要であり、厳しい環境条件を考え合せると、マイクロストリップアンテナが最適であると思われるためこれを用いることとした。

マイクロストリップアンテナは軽量、薄型で製作が容易であるなどの種々の利点を有するが、使用可能な周波数帯域は一般に狭い。帯域を広くするには低誘電率で厚みのある基板を用いると良いことが知られているが、同



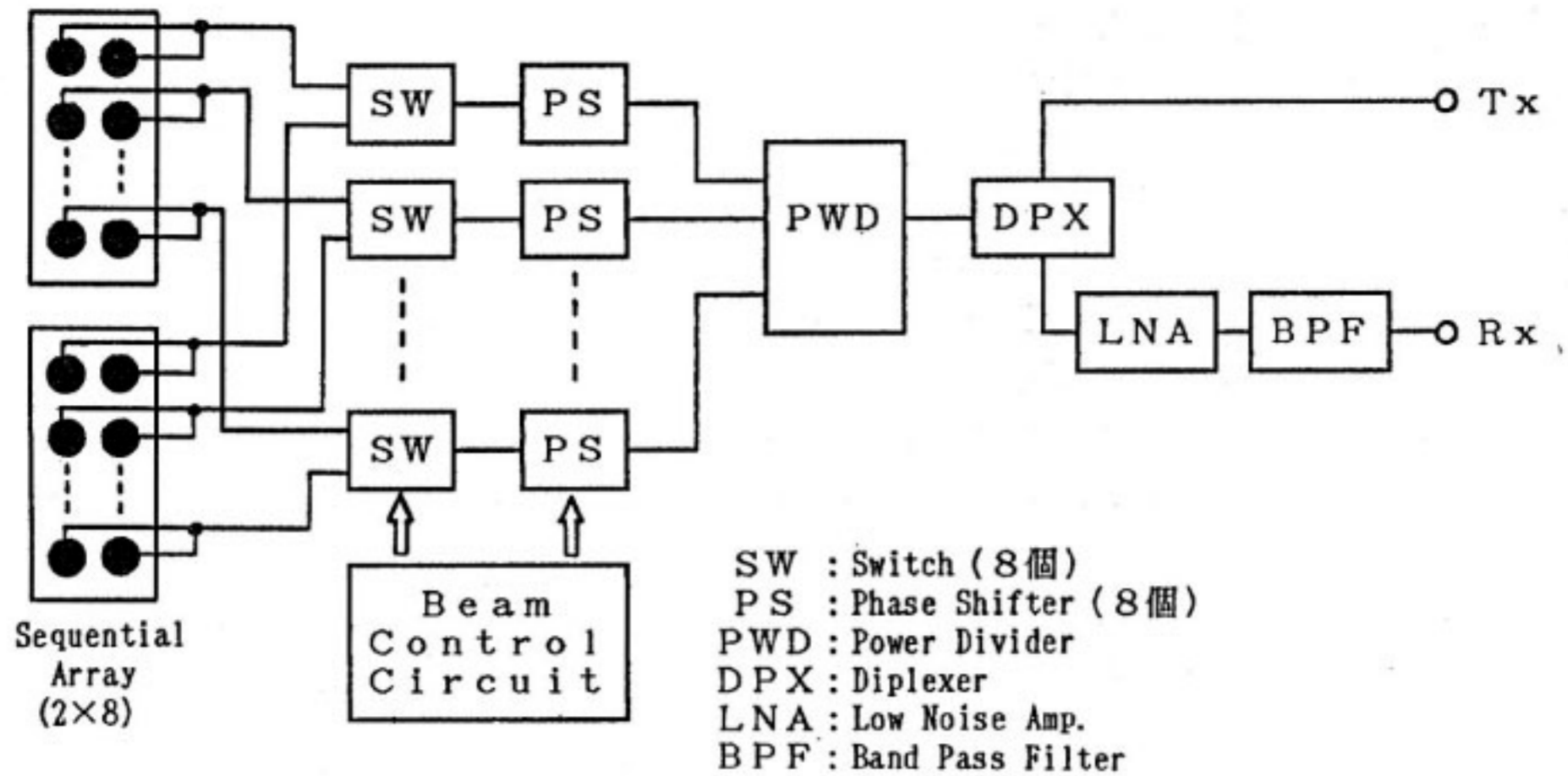
第7.3-1図 シーケンシャルアレーの構成

一の周波数で設計すると、基板の誘電率が低く、厚みがあるほど素子自体の大きさは増加するという性質を持っているため、今回のように搭載できる空間が限られている場合には収められる素子数が減少し、アンテナの高利得化が困難となる。このように要求される利得と空間制限から、比較的高い誘電率を持つ薄い基板を用いる必要があるが、これではインピーダンス特性、円偏波特性が狭帯域となり使用できない。そこで開発したアンテナでは“シーケンシャルアレー方式”を採用することによって広帯域化をはかり所要の性能を実現している。

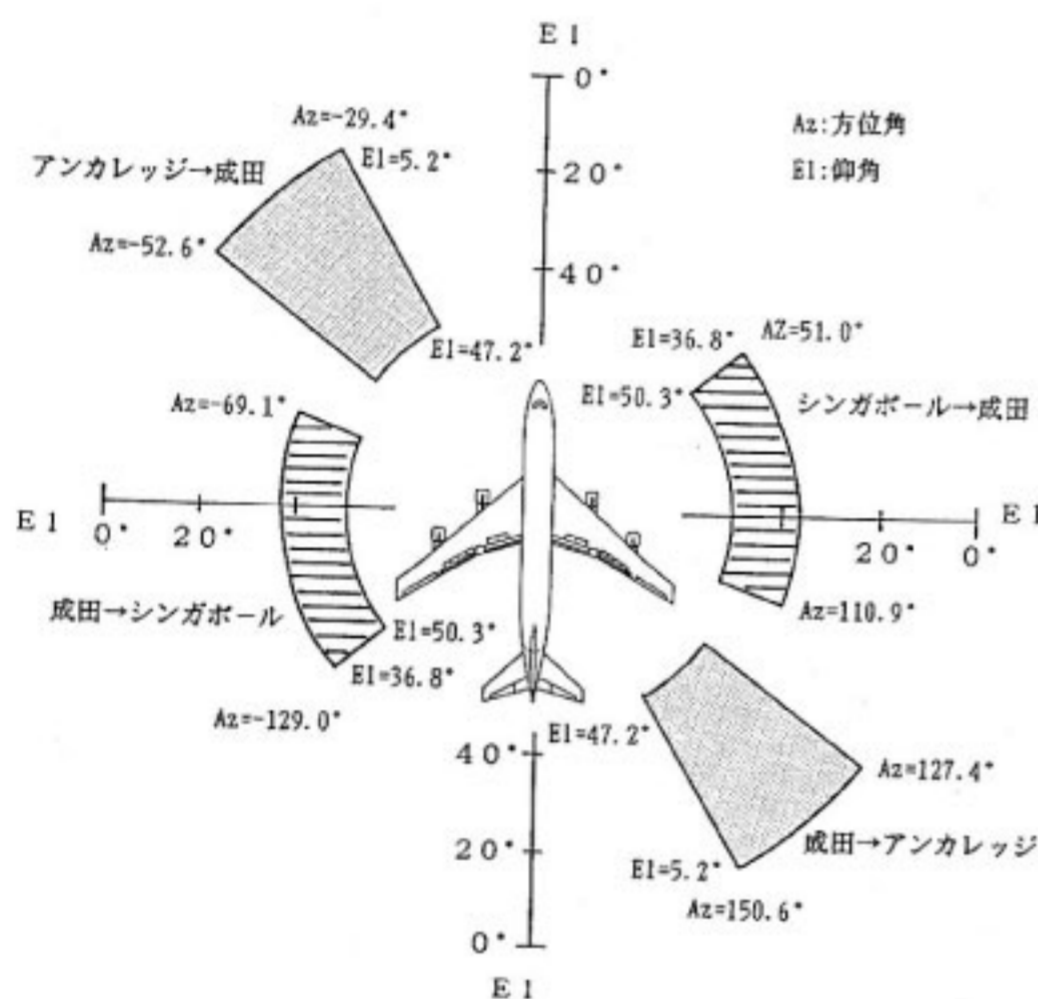
シーケンシャルアレーとはN個の素子で構成されるアレーアンテナにおいて、各素子を順に $\pi/N$ ずつ回転させて配置し、かつ励振する位相量を $\pi/N$ ずつ偏移させて給電するアレー方式である。第7.3-1図にその構成図を示す。このアレー方式には次のような特徴がある。

- (1) 素子の偏波特性やインピーダンス特性が狭帯域であってもアレーアンテナ全体としては広帯域となる
- (2) ボアサイト方向では完全な円偏波となる。また、主ビーム内でも交差偏波は十分小さい
- (3) ビームを走査した場合にも、ビーム方向では低交差偏波が保たれる。

第7.3-2図にアンテナ部の構成図を示す。EMSS実験で予定されている成田—アンカレッジ間及び成田—シンガポール間で必要なカバレッジは航路を大圏コースと仮定した場合、第7.3-3図に示すような範囲であり、かなり広範囲となっているため1組のアレーアンテナでこのすべてをカバーすることは困難である。そこでアンテナは2行8列のシーケンシャルアレーを2枚用意し、これを航空機の往路と復路で同軸スイッチにより切り替えて使用することとした。またビーム走査はカバレッジ範囲の広い方位角方向のみで行い、仰角方向は固定として、アレー各列の2素子には同一の移相器を接続することによって必要な移相器の数を8個に抑えて小型化、軽量化を図っている。搭載用アンテナは第7.2-1図に示したように台形状をしており、内部にはスイッチや移相器のほかダイプレクサ、低雑音増幅器等も収められている。また、同軸スイッチ(SW)及び移相器(PS)はビー



第7.3-2図 アンテナシステム構成図

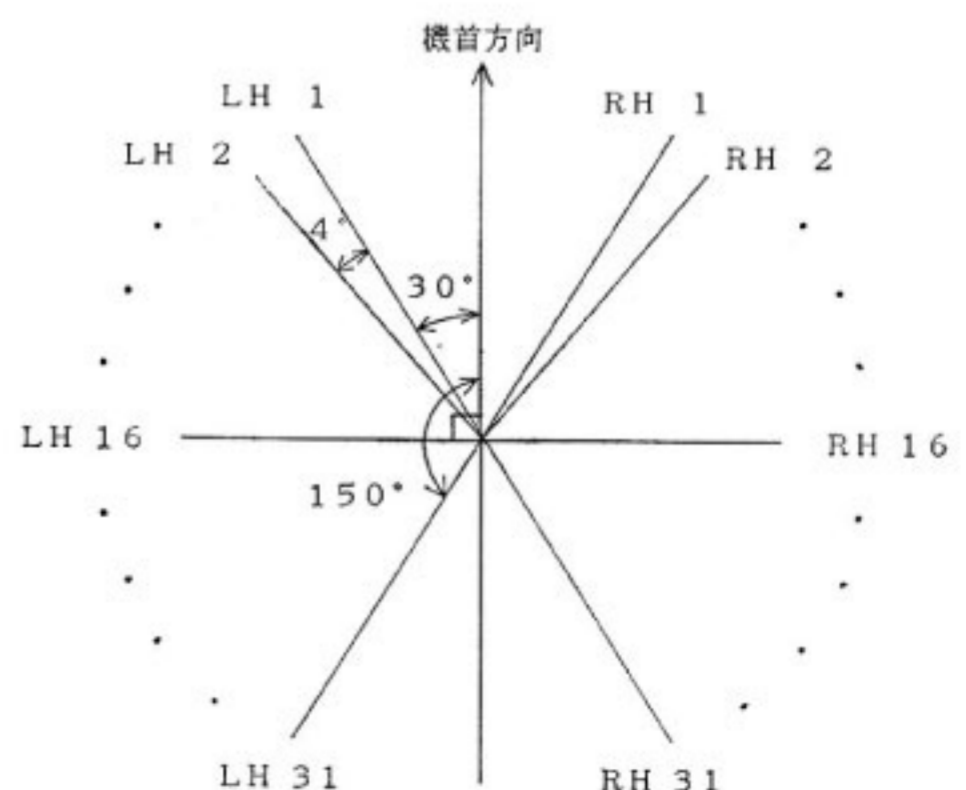


ムコントロール回路からのデジタル信号によって制御される。

第7.3-1表にアンテナの主要な電気的特性と機械的特性を掲げる。用いるアンテナ素子は基板背面より1点で給電する円形マイクロストリップアンテナで、送受信の2周波で共振するように縮退分離素子が付加されている。アレーの基板には比較的誘電率の高いガラスクロスステフロン(比誘電率2.6, 厚さ4mm)を使用している。アンテナビームは機首方向を基準にして方位角方向に+30度~+150度及び-150度~-30度の範囲で走査でき、その走査ステップ幅は4度、またビーム幅は方位角方向で約10度、仰角方向で約45度である。アンテナの各ビームには第7.3-4図に示すようにビーム番号が定められている。衛星追尾はステップトラック方式により自動的に行うが、操作スイッチの切り替えで手動でもビーム

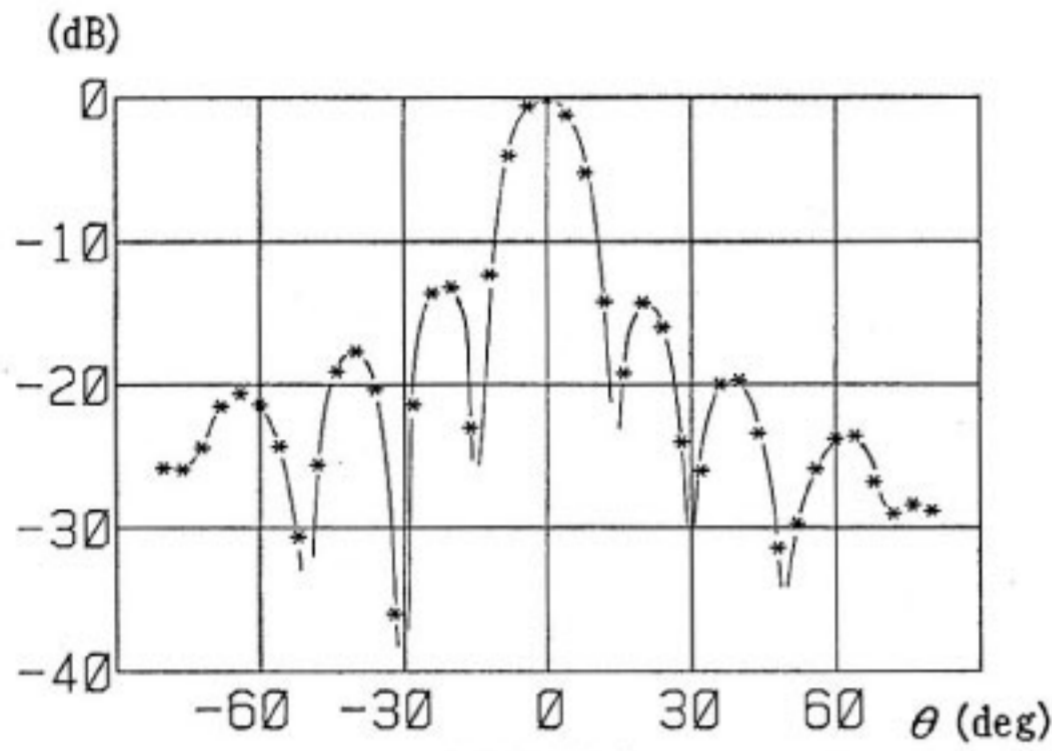
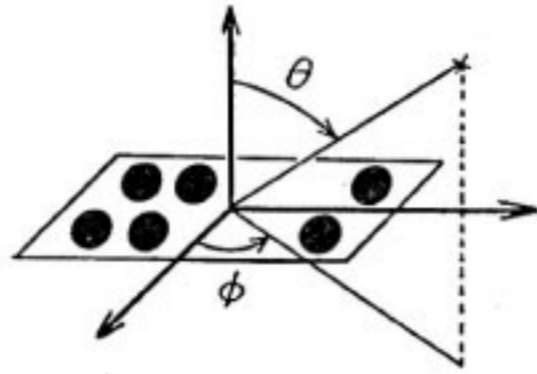
第7.3-1表 航空機搭載アンテナの主要特性

周波数	受信: 1545 MHz—1548 MHz 送信: 1647 MHz—1650 MHz
偏波	左旋円偏波 (IEEE 基準)
利得	受信: 14 dBi (ビーム非走査時) 送信: 12 dBi (ビーム非走査時)
G/T	-11.5 dBK (ビーム非走査時)
アンテナ素子	1点給電円形パッチマイクロストリップ
アレー形式	2行8列シーケンシャルフェイズドアレー
基板誘電体	ガラスクロスステフロン ( $\epsilon_r=2.6$ )
軸比	1.2 dB 以下 (ビーム非走査時)
VSWR	1.4 以下 (ビーム非走査時)
ビーム走査分解能	4度
移相器	4ビットデジタル 8個
重量	18 kg
寸法	760×320×180 mm

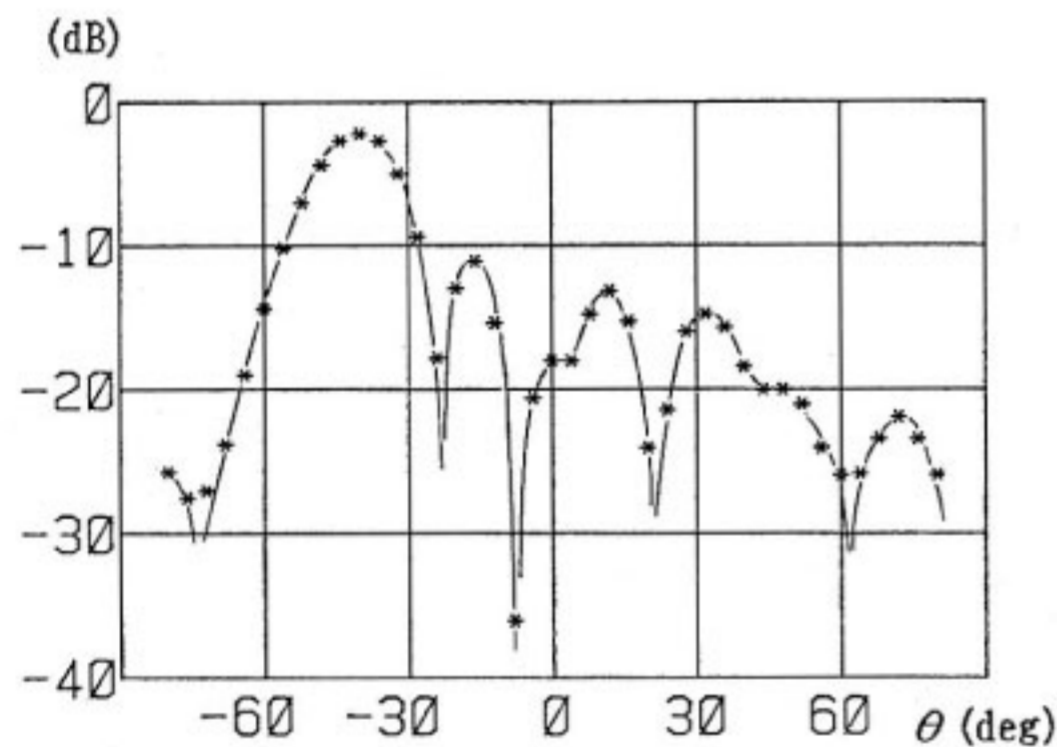


第7.3-4図 ビーム番号と方位角

走査ができるようになっている。第7.3-5図にアンテナパターンの例を示す。(a)がビームを走査しなかった場合

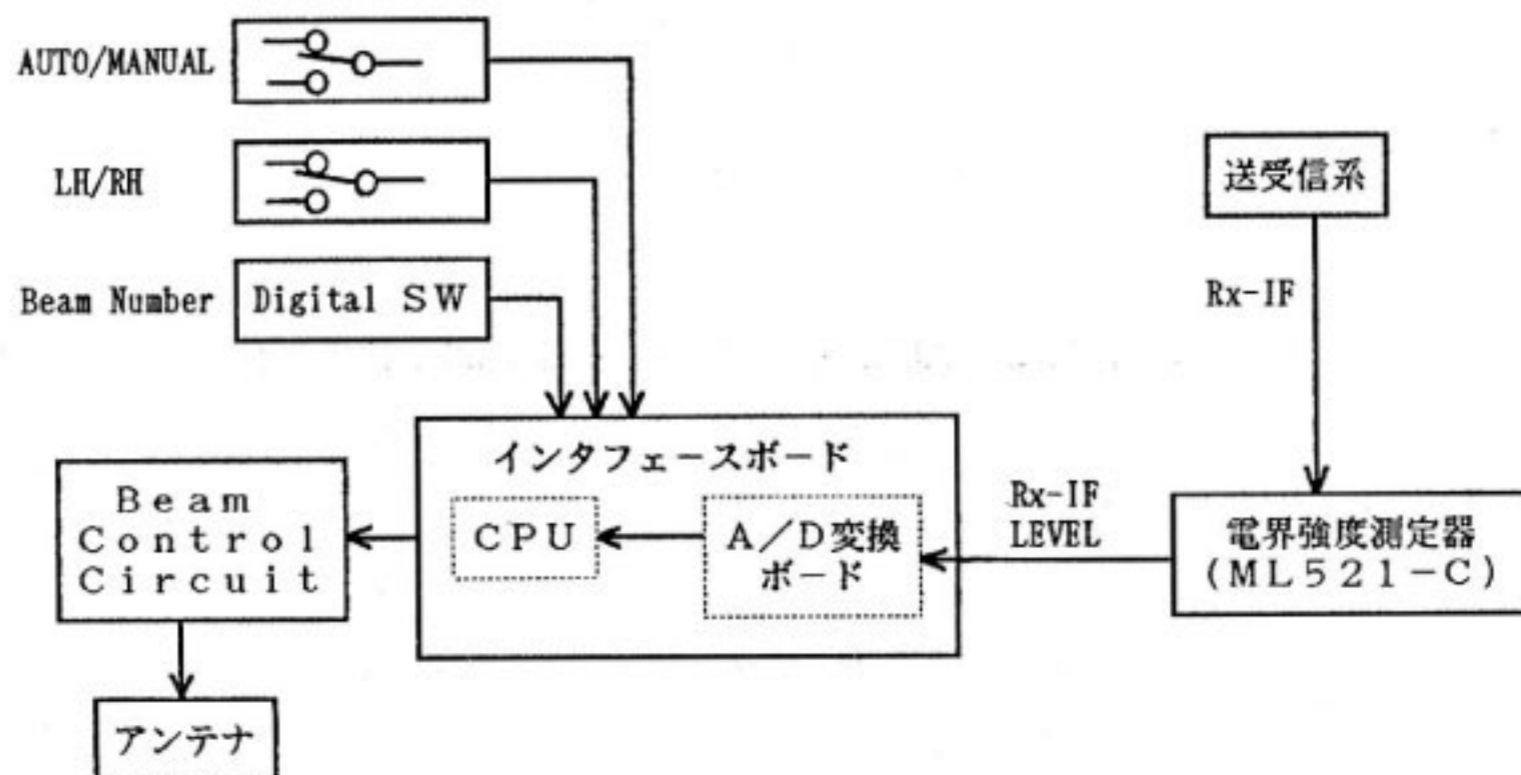


(a) 非走査時 ( $\phi=90^\circ$ )



(b) 走査角度40度 ( $\phi=90^\circ$ )

第7.3-5図 アンテナパターン



第7.3-7図 追尾系系統図

(b)がビームを40度だけ走査した場合の主偏波成分のパターンである。

低雑音増幅器は、増幅用素子としてゲリウム砒素電解効果トランジスタ (GaAs FET) を使用し、これを5個直列接続した回路構成になっている。第7.3-2表に低雑音増幅器の主要諸元を、また第7.3-6図に周波数に対する利得特性を示す。

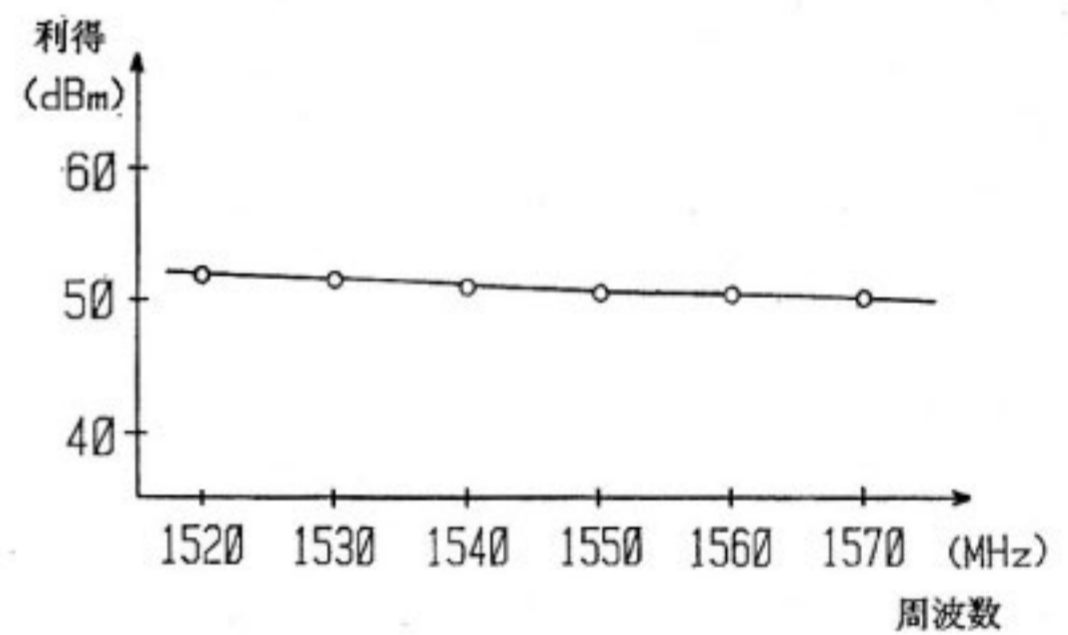
移相器は PIN ダイオードを使用したもので高速度でビーム切り替えができる。

7.3.2 追尾系

アンテナのビーム走査は手動による MANUAL 操作と CPU を用いて自動的に走査を行う AUTO 操作に分けられる。第7.3-7図に追尾系における信号の流れ図を示す。

第7.3-2表 低雑音増幅器の主要諸元

周波数帯域	1543.2 MHz—1548.0 MHz
雑音温度	92.3 K
利得	50 dB 以上
帯域内利得偏差	0.35 dB
VSWR	1.2 以下



第7.3-6図 低雑音増幅器の周波数—利得特性

## (a) MANUAL 操作

第7.3-7図において、MANUAL/AUTO スイッチを MANUAL にし、LH/RH スイッチと Beam Number スイッチによりビーム番号を設定すれば、その情報はインタフェース盤を通してビームコントロール回路へ行きビームは設定されたビーム番号の方向へ向けられる。

## (b) AUTO 操作

MANUAL/AUTO スイッチを AUTO にすればビーム指向制御は自動的に行われる。

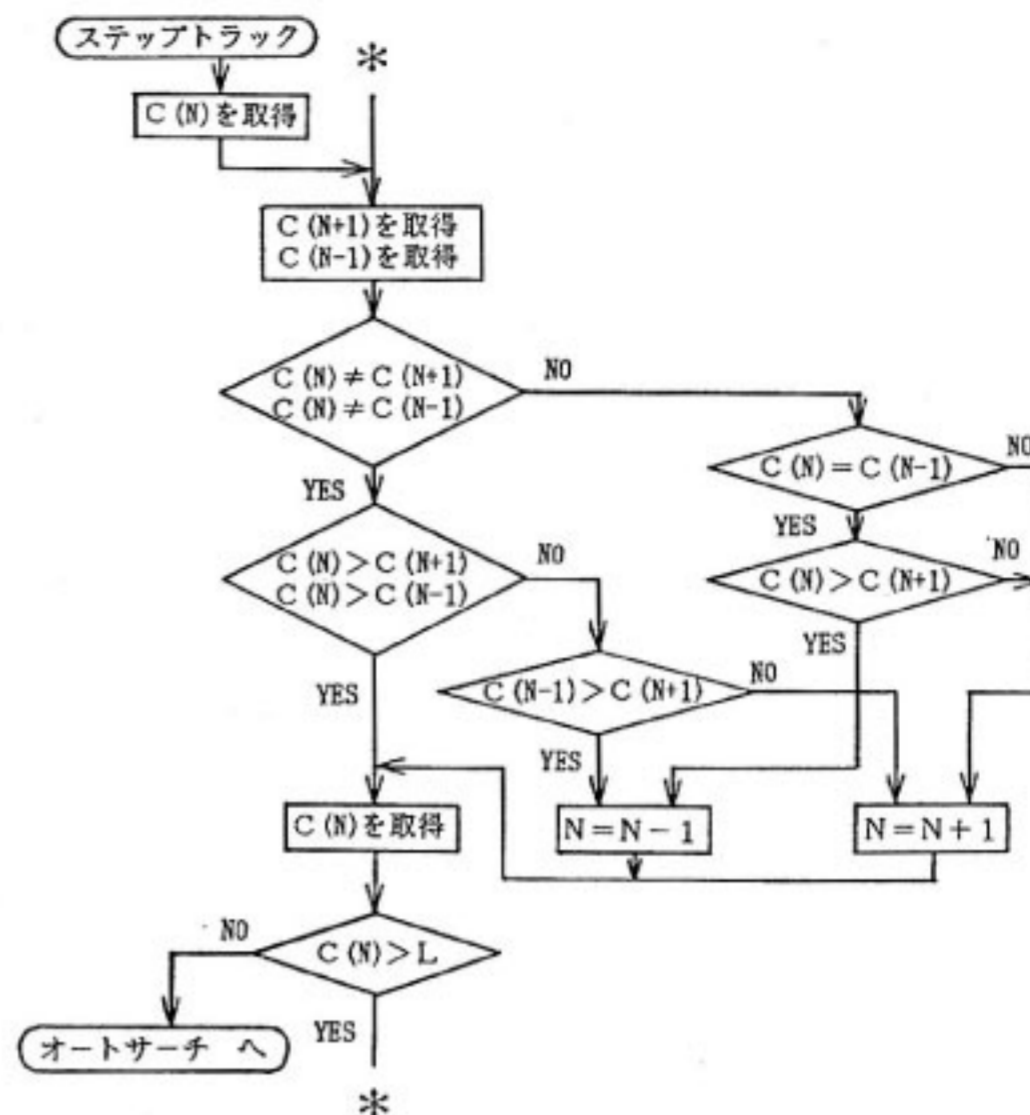
電界強度測定器 (ML521-C) は送受信系からの受信 IF 信号のレベルを測定し、そのレベル信号をインタフェース盤へと送る。インタフェース盤へ送られてきたレベル信号は A/D 変換され CPU に入り、CPU はこの情報を基にした制御信号をビームコントロール回路へと送りアンテナビームの指向を制御する。

AUTO 操作ではまず初期ビームの設定が行われ、その後ステップトラックによる自動追尾へと移る。以下にその手順を述べる。

## (ア) ビームの初期設定とオートサーチ

AUTO/MANUAL スイッチを AUTO 側にすると、このとき LH/RH スイッチ及び Beam Number スイッチで指定されていたビームにおいて受信レベルが測定され、これが追尾可能な最低受信レベル  $L$  ( $L = -53\text{dBm}$  (電界強度測定器入力端での値)) 以上であればこのビームがステップトラックでの初期ビームとなる。また、測定した受信レベルが  $L$  より小さければオートサーチにより初期ビームが決定される。

オートサーチはビームを LH1~LH31, RH1~RH31 と順に走査して各ビームにおける受信レベルを測定し、受信レベルが最大となるビームを探る動作をする。受信レベルが最大であったビームにおける受信レベルが  $L$  以上であればこのビームがステップトラックでの初期ビームとなり、 $L$  より小さい場合は再びオートサーチが繰り返される。なお、このときの受信レベルとはサンプリング周期 100 ms で 10回の測定を行った場合の受信信号レベルの平均値である。



第7.3-8図 ステップトラック方式

## (イ) ステップトラック

ステップトラック方式のアルゴリズムを第7.3-8図に示す。第7.3-8図において、 $C(N)$  はビームナンバー  $N$  の受信レベルで、サンプリング周期 100 ms で 50回の測定を行った場合の受信信号レベルの平均値、また  $L$  はアンテナが追尾可能な最低受信レベル ( $L = -53\text{dBm}$ ) である。

ステップトラックではまず初期ビーム  $N$  の受信レベルを測定し、次にその両隣のビーム  $N+1$  及び  $N-1$  の受信レベルを測定して、この3者で最大となるビームが次の初期ビームとなり、以下同様の事を繰り返して追尾を行う。もし、初期ビームの受信レベルが  $L$  より小さければオートサーチを行い再度初期ビームの設定をする。なお初期ビーム  $N$  が、LH1, RH1 の場合は  $C(N)$ ,  $C(N+1)$ ,  $C(N+2)$  の3者で、LH31, RH31 の場合は  $C(N)$ ,  $C(N-1)$ ,  $C(N-2)$  の3者間で比較が行われる。