

## 調 査

## 航空管制及び衝突防止システムとその船舶への適用性

近藤 喜美夫\* 三浦 秀一\*

(昭和57年2月9日受理)

AIR TRAFFIC CONTROL AND COLLISION AVOIDANCE  
SYSTEM AND THEIR APPLICATION TO SHIPS

By

Kimio KONDO and Shuichi MIURA

Air traffic control system, collision avoidance systems and ARPA (CAS for ships) are reviewed. Radar beacon technique is the key to these systems. Application of this technique to ships is useful but has some problems to be solved. Brief description of these problems is also given.

## 1. はじめに

近年、商船特にコンテナ船においては16人船が現実のものとなりつつあり、船舶の自動化及び省力化が進んでいる。このような中で、航行安全のための周囲船舶の監視も、処理技術の進歩により近代化が進み、船舶用衝突防止装置も商品化されている。しかし、このような衝突防止装置も、従来の1次レーダ信号による航跡のプロットをマイクロプロセッサで行うもので、過密な海域では船舶の航跡を誤認する可能性があり、また、衝突危険に対する避航は、各船の操船者の判断で行われるため、常に効果的となるとはかぎらない。

一方、航空機については、このようなシステムの開発は急速に進んでおり、現在2次レーダ(SSR: Secondary Surveillance Radar)による航空管制システムが多くの国で稼動しており、更に同様の原理による衝突防止システムも開発されている。これらシステムの基本となっている2次レーダ、データ交換等の技術の多くは、船舶に対しても有効と考えられる。

ここでは船舶に対する衝突防止システムを考えるための基礎として、航空機の管制・衝突防止システム、船舶の衝突防止システムの調査を行ったのでその結果を述べる。2.で航空管制システムの概要、3.でその中で重要な位置を占めるSSRシステム、4.でその発展形であるDABSシステム、5.で航空機の衝突防止システム、6.で船舶用衝突防止システムの現状を述べ、最後に7.で

船舶の衝突防止システムへの2次レーダの適用上の問題点について簡単に触れる。

2. 航空管制システム<sup>(1)~(7)</sup>

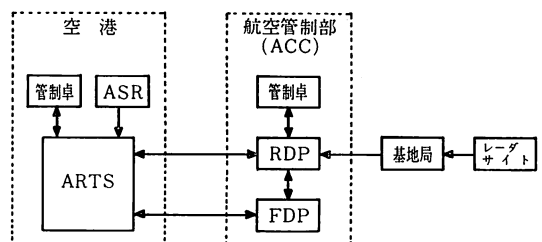
## 2.1 管制システムの構成

航空管制(ATC: Air Traffic Control)の目的は、国内機・国際機・民間機・軍用機の別なく全航空機の航空交通状況を地上で把握し、予測に基づいて航行の安全と運航能率の促進を図ることにある。このため管制官に対しては秩序維持のための大幅な権限が与えられている。

管制システムは機能的には第1図のように構成され、ターミナルエリアの管制と航空路の管制に分けられる。航空機の増加・高速化に伴い、短時間に多数の航空機の管制を行う必要から、管制官に対し、交通状況に関する情報・予測に必要なデータを提供するシステムの自動化が進んでいる。

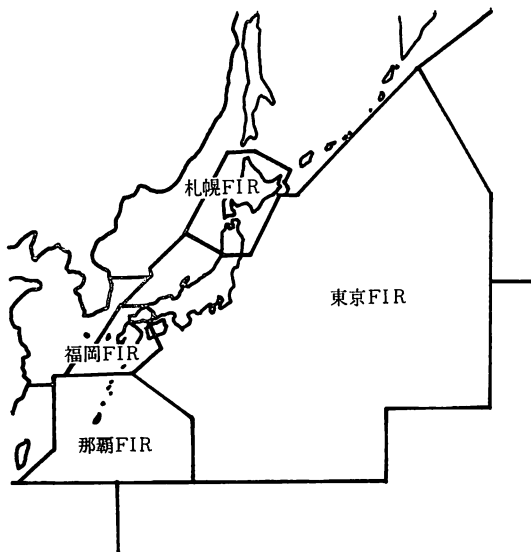
## 2.2 航空路管制システム

航空交通管制部(ACC: Area Control Center)は、



第1図 管制システムの構成

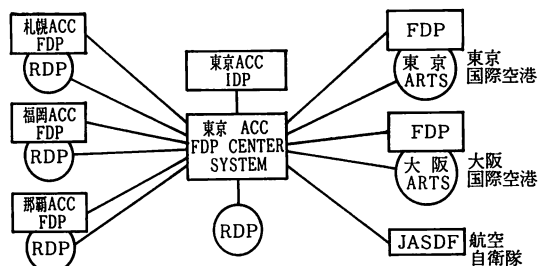
\* 通信機器部 海洋通信研究室



第2図 4管制部の管制空域<sup>(4)</sup>

東京、札幌、福岡、那覇の4箇所に置かれている。ACCは各航空機のフライトプランと、9箇所(横津、上品山、山田、箱根、三河、三国山、三郡山、加世田、八重岳)のレーダサイト、6箇所(函館、石巻、成田、岡崎、信太、加世田)の基地局を経て得たレーダ情報を用いて、各担当の空域(FIR: Flight Information Region)の航空路を運航する航空機の飛行状況を監視し、指示を与える(第2図参照)。

このために必要な情報処理はFDP(Flight Data Processing)システム、RDP(Radar Data Processing)システムにより行われる。FDPはフライトプランの収集・分析・記録・更新を行うもので、処理されたフライトプラン情報はATC施設、RDP、ARTS等へ送られる。RDPは、1次及び2次レーダ信号をディジタ



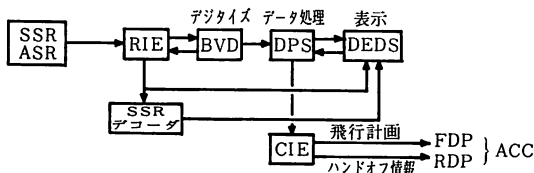
第3図 FDPシステムの構成<sup>(4)</sup>

ル化し、ソフトウェアによる自動追尾を行った上でフライトプランとの照合を行い、位置、便名、高度、針路などのデータを表示する。第3図にFDPシステムの構成、第4図にRDPシステムの構成を示す。

2.3 ターミナル管制システム

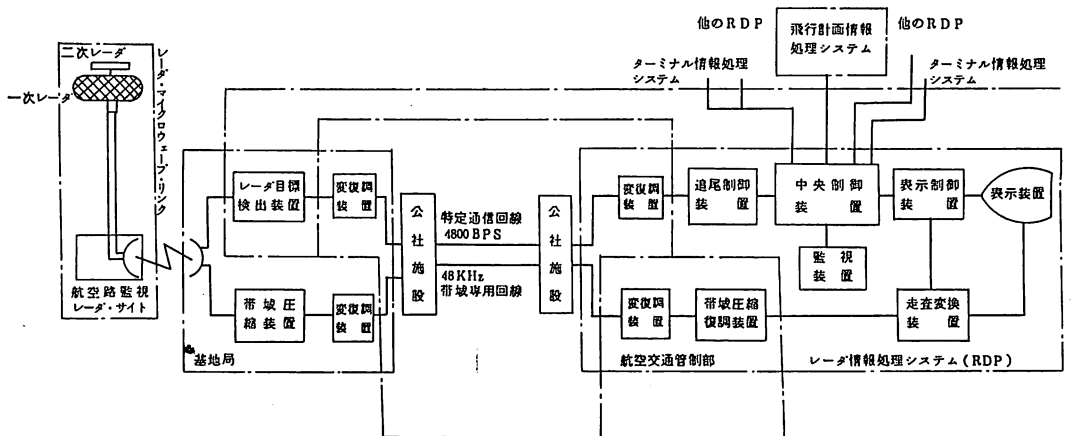
空港周辺の混雑する空域で安全かつ効率的に航空機を誘導するための管制支援システムとしてARTS(Automated Radar Terminal System)が主要空港に設置されている。

ARTSは、レーダ情報とフライトプラン情報を処理し、管制機・非管制機の区別、便名、高度、速度など管制に必要な情報を総合的に画像として表示する。米国ではARTS-IIIとして1971年より設置が開始され、日本

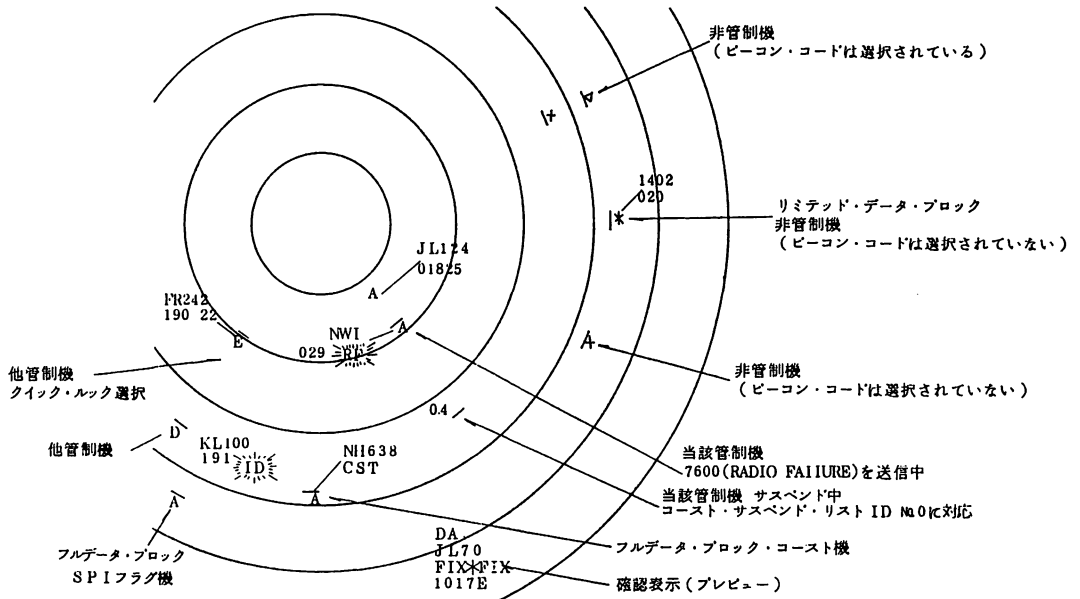


第5図 ARTSの機能<sup>(1)</sup>より

RIE: レーダ接続装置, BVD: ビーコンデジタイザ, DPS: データ処理装置, DEDS: 表示装置, CIE: データ伝送装置



第4図 RDPの構成<sup>(7)</sup>



第6図 ARTS の表示例 (部分) (7より)

でも ARTS-J が 1972 年より評価を開始し、1976 年より運用されている。第 5 図に ARTS の機能系統図、第 6 図にその表示例を示す。

2.4 衝突危険の警報 (Conflict Alert)

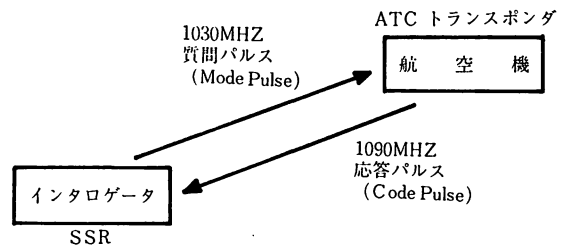
計算機利用の高度化により、ACC 及び ARTS の設置されたターミナルでは、管制官に航空機間距離の過小となる危険を警報する Conflict Alert 機能が可能となっている。例えば米国 ARTS-III では ACC における航空路 (en-route) Conflict Alert は、2 分間の予測により各航空機の水平 4.5 km、上下 500 ft 内への侵入機の有無をチェックし警報を発する。ターミナルエリア Conflict Alert は、3 段階に分かれているが例えば 40 秒間の予測により水平 1.4~2.2 km、上下 300~400 ft 内をチェックし、警報を発する。これらの警報に基づき管制官は必要な指示を航空機に与え衝突予防に役立っている。

ただし、パイロットへの指示は、気象及び交通情報と同様に UHF/VHF の無線電話に頼っており、品質に問題を生じやすく、また、管制官への負担も増加し、対航空機データリンクの導入あるいは自動化が望まれている。これらは 4. で述べる DABS, ATARS 等により可能である。

3. SSR システム (1) - (8)

3.1 原理

航空管制に必要なデータの主要な部分は 1 次監視レーダと連動した SSR システムにより得られる。



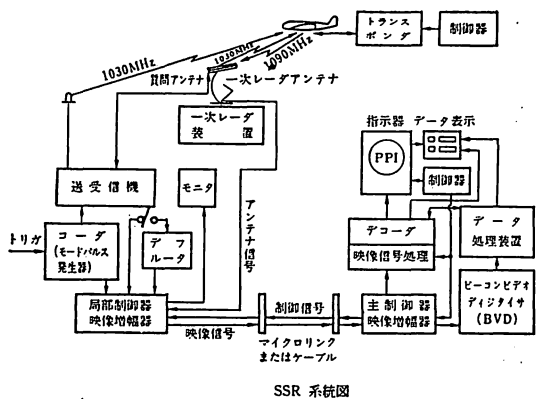
第7図 SSR の原理

SSR システムは、第二次大戦中の敵味方識別装置 (IFF: Identification Friend or Foe) から発展したもので、米国では、ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) と呼ばれ、軍用の SIF (Selective Identification of Feature) と同じ機能である。

SSR システムでは、第 7 図のように地上インタロゲータから 1030 MHz の質問モードパルスを送り、航空機上のトランスポンダはこれを受信して 1090 MHz の最大 15 個のパルス列で応答する。したがって、この応答パルスにより航空機の識別が可能となり、高度情報も地上で取得可能となる。また、2 次レーダとして、1 次レーダ反射に比べ強い応答信号が戻されるため降雨・雑音の影響を受けにくく、また、応答信号中のデータを用いてデジタル化が可能であるため航空機の反射面積によらず一定の表示が得られる。

3.2 動作

SSR は通常、1 次レーダアンテナ上部に取付けられ、これと組み合わせて使用される。1 次レーダシステムから航空機の方位・距離情報を得、SSR から、識別・高

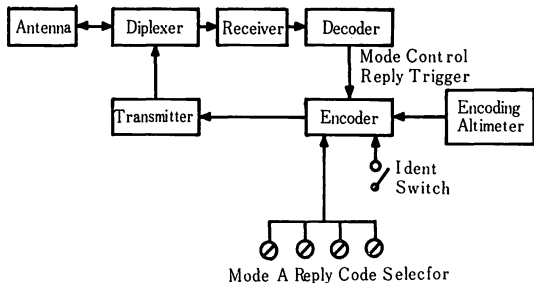


第8図 SSR 系統図<sup>(1)</sup>

度情報を得ることができ、管制及び衝突防止システムの中で重要な機能を果たす。第8図に SSR システムの系統図を示す。コードにより作られたモードパルスに応じて航空機トランスポンダから帰された応答信号はデフルータ (Defruiter) 回路等を経てビデオ信号として管制指示部へ送られる。ここでデフルータとは、応答信号として受信された信号のうち、SSR の1周期と同期している信号のみをデコーダに供給する回路で、Fruit (SSR 施設が近接し、かつ航空機密度が高いとき、ある SSR 局に、不要な応答信号が非同期で入力し、PPI 上に結像する現象) を除くためのものである。管制指示部では、ビデオ信号よりコードパルスを抽出、解読し、これをビデオ処理して指示器に表示する。

ATS トランスポンダ (RBX : Radar Beacon Transponder と呼ばれる) の構成を第9図に示す。なお、トランスポンダに直接入力できる高度計 (Reporting Altimeter 又は Encoding Altimeter) の設備を有する航空機は、インタロゲータによる質問に対し、識別コード以外に高度データも応答することができ、管制上有効である。

ATC トランスポンダは一般に、質問モードパルスを受信しこれに応じた応答パルスを送信する。しかし、SLS (Side Lobe Suppression) 制御パルス (3.3 参照) が強く受信されて、SSR 局からの主ビーム内ないと

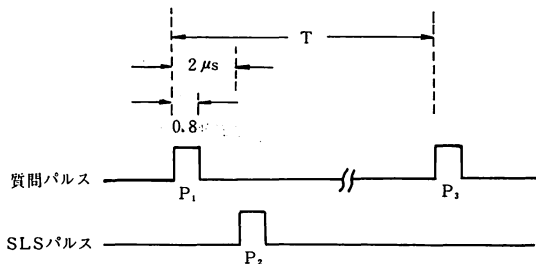


第9図 ATC トランスポンダの構成<sup>(8)</sup>

第1表 SSR 設備諸元例<sup>(1)(8)</sup>

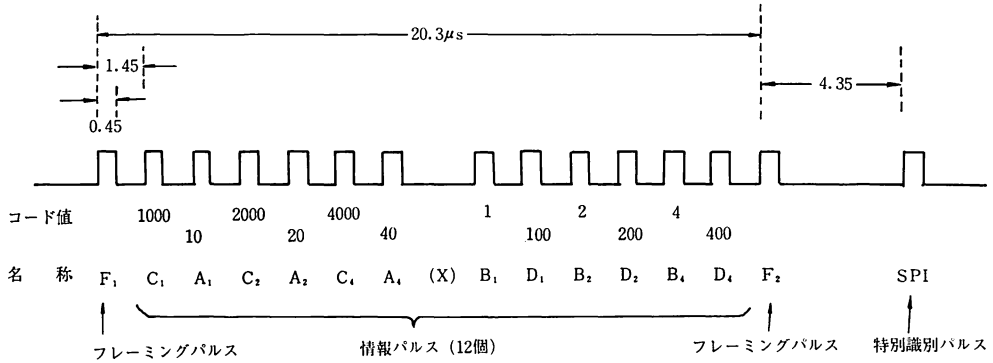
	SSR 地上施設		ATC トランスポンダ
	質問アンテナ	SLS アンテナ	アンテナ
周波数	1015~1105 MHz	1030±15 MHz	1030/1090 MHz
ビーム幅 (水平)	2.5±0.5°	無指向	無指向性
(垂直)	45° 以上	同左	
サイドローブ比	-24 dB 以下		
利得	22 dB 以上		
偏波	垂直	垂直	垂直
	送信機		送信機
周波数	1030±0.2 MHz		1090±3 MHz
電力	0.5~2 kW (ピーク)		0.25~0.75 kW
送信	350~450 c/s の質問		応答遅延 3±0.5 μs
	受信機		受信機
周波数	1090 MHz		1030 MHz
感度	-87dBm 以下		-80~-69 dBm
帯域幅	8 MHz		6 MHz

判断されたときには、その後約 35 μs 間、また、正しくモードパルスが復調され、これに対するコードパルスの送信を行うときには、送信機の過負荷を避けるため約 125 μs 間、それぞれ質問パルスを受付けられないようになっている。この機能は一方では、能動 BCAS (Active



第10図 質問パルス<sup>(11)より</sup>

- T
- 3μs.....Mode 1 軍用 (IFF/SIF)
- 5 ..... 2 " ( " )
- 8 ..... 3/A 共用 (ATC)
- 17 ..... B 民間用 (ATC)
- 21 ..... C " (高度)
- 25 ..... D " (未利用)



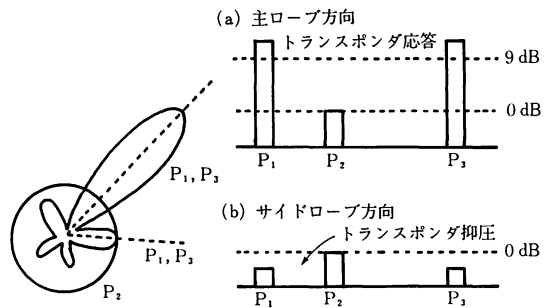
第11図 応答パルス (11より)

Beacon-based Collision Avoidance System : 5.4 参照) 等で, SLS 制御パルスによるトランスポンダ抑圧と, 送信電力の増加によるトランスポンダの応答可能範囲の拡大とを利用して同期ガーブル (Synchronous Garble : 航空機密度が高いとき, 応答信号が受信点で重なり合う現象) を減少させる Whisper/Shout Interrogation 手法<sup>(9) (10)</sup>に利用される。また, DABS (Discrete Address Beacon System) で, 現用 SSR システムと両立性のある信号方式を構成するためにも用いられようとしている (4.4 参照)。SSR システム各部の諸元は例えば第1表のようにになっている<sup>(1) (8)</sup>。

3.3 信号

信号の変調は, 質問, 応答とも PAM (パルス振幅変調) が用いられる。SSR 局からの質問パルスは第10図のような信号で, その内容は, P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> パルス間隔により示される。一般の民間機ではモードAにより航空機の識別及び追跡を行い, モードCにより高度を質問する。モードDは現在未使用であるが, BCAS において相手の航空機の回避操作の質問への利用も考えられる。P<sub>2</sub> パルスは SLS 制御パルスで, ICAO (International Civil Aviation Organization) により 1967 年以降各地地上局に対し義務化されている。P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> は, 指向性アンテナで送出される。一方, P<sub>2</sub> は同じ周波数 1030 MHz に, 無指向性アンテナにより送出される。ATC トランスポンダでは, 第12図のように P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> パルスと P<sub>2</sub> パルスの振幅比較を行い, 主ローブか否かが判定される。すなわち, P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> に比べ P<sub>2</sub> が 9 dB 以上小さいとき主ローブ内であると判定される。一方, P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub> が P<sub>2</sub> 以下であるとき主ローブ内にないと判定され, トランスポンダは応答を抑圧する。このようにして, 主ローブ以外からの応答信号を指示器上にゴーストの形で表示する現象が防げる。

航空機からの応答は, 第11図のようなパルスで 1090 MHz に行われる。第11図の SPI (特殊識別) パルス



第12図 SLS 動作 (11より)

は, 同一のコード番号を有する複数の航空機を区別する必要が生じたとき管制官の要求によりパイロットが手動で付加し, 約 20 秒間応答パルス列中に挿入される。フレーミングパルス F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> に挟まれた 12 個のパルスにより 2<sup>12</sup>=4096 個の情報が伝送可能で, これらは各パルスに与えられたコード値を用いて 0000~7777 の 8 進数で示される。現システムでは, コード 1200 が 10000 ft 以下の VFR (Visual Flight Rules : 有視界飛行) 機, 1400 が 10000 ft 以上の VFR 機, 7700 が緊急コード, 7600 が無線機故障, 3100 がハイジャックを示すコードとして使われている。モードCの質問への応答は, 情報パルス中 D<sub>1</sub>, SPI を除いた 11 個のパルスを用い, 変形 Gray コードにより 100 ft 単位の -1000~126500 ft の高度信号として行われる。

3.4 SSR の問題点

以上のように SSR システムは航空管制に有効な手段として発展し, 1963 年に米国で, ATCRBS として National Standard が制定された後, 何回かの修正を経て, 1979 年には米国内だけでも 110000 機の ATCRBS トランスポンダ搭載機 (うち, 高度応答可能機は 45000 機) があるといわれる<sup>(27)</sup>。

しかし, 航空機数の増加・高速化により, 主要空港周辺で, SSR による管制の特性が劣化する傾向があり,

特に米国において、現行 SSR システム (ATCRBS) の改善の要求が大きくなっている。

現行 SSR システムの問題点は、次のような点にある。

- (i) 同期ガブルの影響が大きく、航空機・地上局の増加により応答信号の欠落、虚像等の形で現れる。
- (ii) 測角精度が十分でない。
- (iii) アンテナパターンが低仰角に対しても利得があるため、地表面及び海表面の影響がある。
- (iv) 対航空データリンクがなく、管制指示を音声により行っているため、品質低下、輻輳の問題を生じる。

これらの問題に対しては、ソフトウェア的な対策のほか、垂直ビームに対するシャープカットオフ特性アンテナ (SSR アンテナの垂直ビームを低仰角に対して絞り、海・地表面からの反射を減らす特性を持つアンテナ) の採用、モノパルス方式による測角等が考えられるが、更に、同期ガブルの改善、データリンクの付加等を可能とする個別アドレス方式の SSR システムの開発が、米国、英国等で進められている。また、複数の地上局の質問を同期して行うことにより、衝突防止能力の向上を図る Synchronous DABS の提案もなされている<sup>(18)</sup>。

#### 4. DABS システム<sup>(1) (8) (11) ~ (17)</sup>

##### 4.1 概要

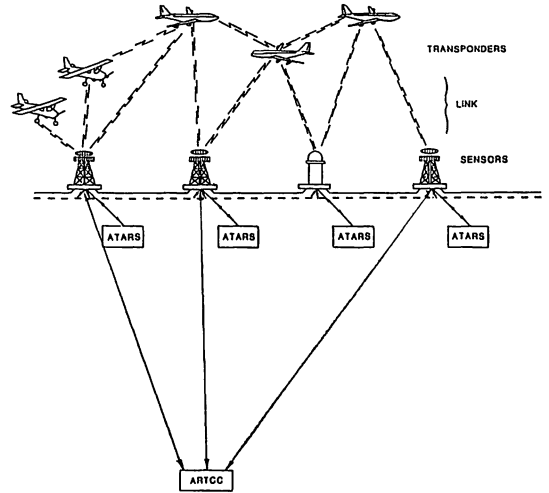
航空機数の増加・高速化に対応するために、米国では、1969年の ATCAC (Air Traffic Control Advisory Committee) による「1980年以降の ATC に関する勧告」に基づき、次のような点を目標として DABS (Discrete Address Beacon System) の開発が進められている。

- (i) ATCRBS との両立性
- (ii) 個別質問・応答の実現
- (iii) データリンクの拡充
- (iv) 測角精度の向上
- (v) アンテナパターンの改善
- (vi) システム信頼性の向上

同様なシステムは、英国 (ADSEL: Address Selective SSR System), ソ連 (DAS SSR: Discrete Address System of SSR) 等でも開発が行われており、1981年の ICAO 通信部会会議で、これらの個別質問、データリンク機能の特性を含む SSR については「SSR Mode S」と呼ぶことが決議されている。以下では、米国におけるシステム DABS について述べる。

##### 4.2 原理

第13図に DABS の構成を示す。DABS において



第13図 DABS の構成<sup>(11)</sup>

は、個々の航空機は固有のアドレスを有し、DABS センサ (地上局) は All-Call, Roll-Call (点呼) と呼ばれる2種の質問を行う。

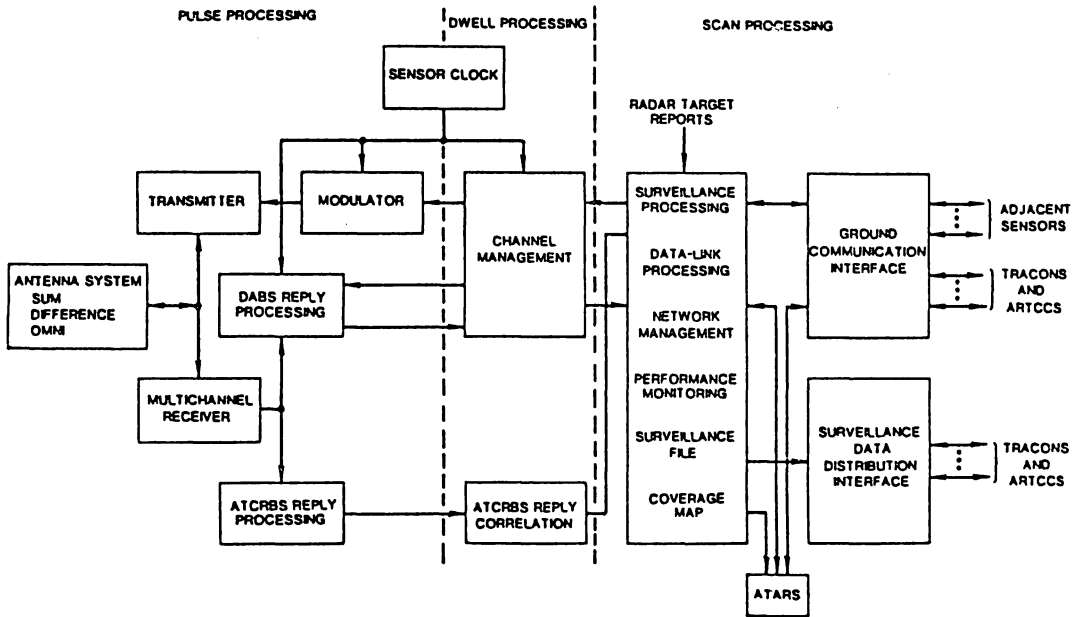
All-Call (All-Call Acquisition Mode) は対象とする全航空機の位置・識別コードのリストを作成するための質問で、DABS 搭載機は自分のアドレスコードを用いて応答し、ATCRBS 搭載機は従来の SSR と同様に応答ができる。All-Call により作成されたリストを用いて、目標予測方位にアンテナが向いたとき、DABS 搭載機個々に対して Roll-Call の質問が行われる。これにより最新の方位及び距離情報と、応答信号中の高度その他のデータを得ることができる。なお、対航空機の質問信号にもデータ伝送機能が付加されるから、これを用いて、衝突回避に関する情報、ATC 情報等の提供が同時に実現される。

したがって、DABS の特徴は次のような点にあるといえる。

- (i) 個別アドレスの使用によりシステムの飽和と同期ガブルを防ぐことができる。
- (ii) All-Call により従来の ATCRBS 搭載機を管制できる。逆に DABS 搭載機も ATCRBS 内で管制され得る。
- (iii) 両方向データリンクによりメッセージ又はデータの通信能力が拡大される。

##### 4.3 動作

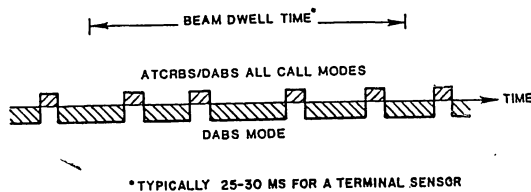
DABS の地上システムとして DABS センサは、ATCRBS 局のすべての機能を果たすほか、DABS 搭載機のための識別ファイル、両システムの航空機を捕捉するためのチャンネル管理部などを付加することにより機能が拡大される。第14図に DABS センサの系統図を示



第14図 DABS センサ系統図(11)

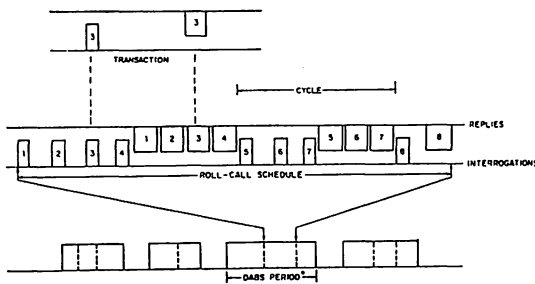
す。なお、ATCRBS 応答相関部は、アンテナ 走査ごとに得られる応答信号を整理し、既にあるターゲットレポートと比較して新しいターゲットかどうか判断する回路である。

センサは、第15図のように時分割で All-Call 及び DABS の2モードで動作し、All-Call モードでは4質問/3dB ビーム幅の割合で質問・応答処理を行い、DABS モードでは DABS 搭載機のファイルを使用して次のような Roll-Call 質問を行う。すなわち、まず各航空機に対しその距離から応答待ち時間の計算を行い、

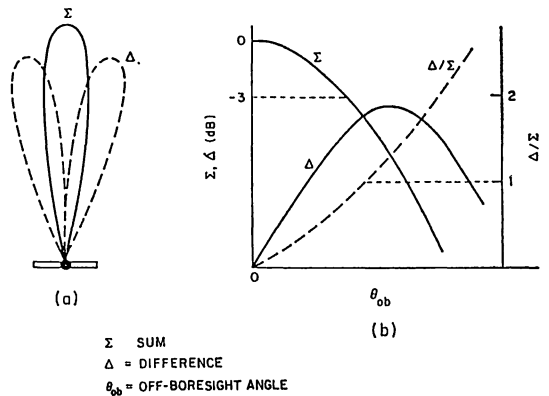


\* TYPICALLY 25-30 MS FOR A TERMINAL SENSOR

第15図 All Call スケジュール(11)



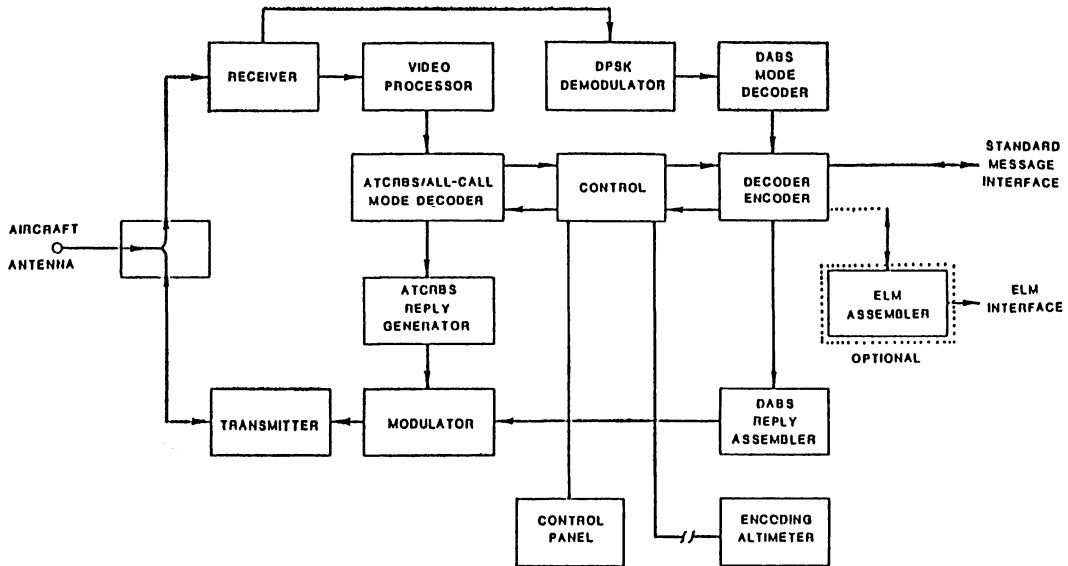
第16図 Roll Call スケジュール(11)



第17図 モノパルス測角方式(11)

第2表 アンテナパターンとその目的

動作 アンテナ	送信		受信
	質問	SLS	
$\Delta$			○ ● } 方位角検出
$\Sigma$	○		○ ● } サイドローブ信号
$\Omega$		○	○ ● } 除去



第 18 図 DABS トランスポンダ系統図<sup>(11)</sup>

制御される。

なお、Roll-Call ファイルに登録された DABS 搭載機は All-Call に応答する必要がなくなるので、センサはこのような DABS 機に対しロックアウト指令を送り、応答を制限することができる。このようなロックアウト機能は、航空機→センサへのデータリンクにおける同期ケーブルの減少に効果があり、また、複数のセンサに対しても 15 局まで個々独立にロックアウト (Site Addressed Lockout) することもできる。ロックアウトの解除は、センサからの指令によるほか、トランスポンダ内部でも約 16 秒間 Roll-Call 質問を受信しないとき自動的に行われる。

アンテナは第 17 図のような  $\Sigma$  (Sum) パターンと  $\Delta$  (Difference) パターンを有する回転式ファンビームアンテナと、 $\Omega$  (Omni) パターンの無指向性アンテナが用いられる。これらは第 2 表のように用いられ、方位角検出とサイドローブ抑圧が行われる。モノパルス測角方式の採用により ATCRBS でのビーム切替方式に比べ必要パルス数が減少し、測角誤差も約 1/10 ( $\approx 0.05^\circ$ ) になる。

DABS トランスポンダは、ATCRBS トランスポンダの全機能を有し、更に DABS センサからの質問に対する応答を行う。その構成を第 18 図に示す。主に BCAS (5.4 参照) を目的として、アンテナは航空機の上部及び下部に 2 個設置され、質問信号の強い方を選択して応答が行われる。なお、DABS 応答の応答遅延時間は、質問受信後 (第 23 図  $P_5$  の中心から) 128  $\mu s$  である。

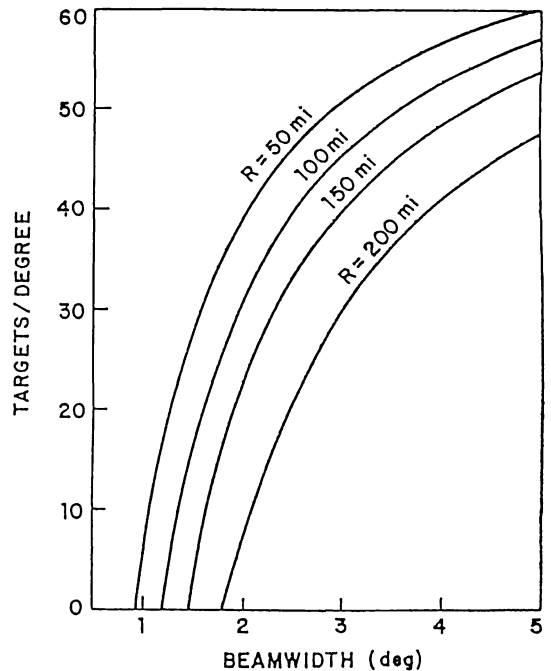
DABS センサが方位角  $1^\circ$  当たり可能な DABS

Roll-Call の質問・応答のサイクル数をセンサの処理容量と考えると、処理容量  $n$  は、All-Call モードの質問・応答の時間を考慮して

$$n = 18.5 \left[ T - 360 \frac{N_a}{\theta} \left( \frac{2R}{c} + t_a \right) \right] \quad \dots\dots(1)$$

ただし、 $T$  : センサアンテナの回転周期 [sec]

$N_a$  : ビーム幅当たりの All-Call 質問数



第 19 図 DABS の収容力<sup>(11)</sup>



第3表 DABS システム諸元<sup>(11)(14)(16)</sup>

		DABS センサ	トランスポンダ
送	周波数	1030 MHz	1090 MHz
	電力	20~29 dBm	25~27 dBm
	変調	DPSK	PPM
	ビットレート	4 Mbps	1 Mbps
信	データ量	56~112 bits	56~112~bits
	パリティ	24 bits	同 左
受信	感度		<-72.5~ -74 dBm
	方式		ダイバーシティ トランスポンダ
特性	方位精度	0.1° 以下	
	距離 "	100 ft 以下	
	データ更新	4 sec ごと	

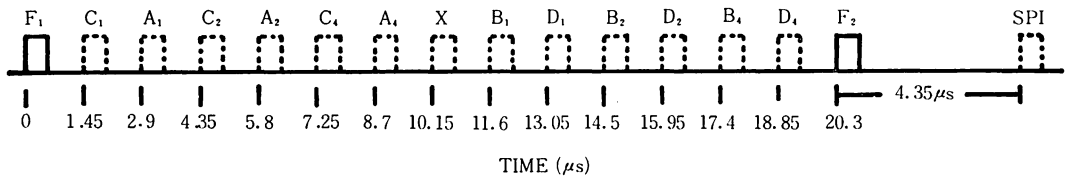
$\theta$  : ビーム幅 [deg]  
 $R$  : 管制距離 [NM]  
 $c$  : 光速 [NM/s]  
 $t_a$  : ATCRBS 聴取時間 [s]

により表される<sup>(11)</sup>。例えば  $T=4s$ ,  $N_a=4$ ,  $t_a=2ms$  については第19図のように求められる。第19図によれば、20~30機/deg の収容が可能であり、この値は将来の航空機数の増加に対しても十分大きい値である。ただし、DABS の初期システムに対しては最大2000機の監視を目標としてシステム設計が行われている<sup>(13)</sup>。

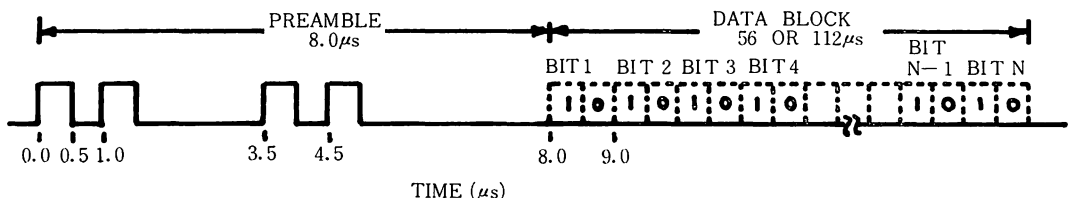
また、システムの信頼性は、DABS カバレッジの多重化、計算機システムの冗長化等により向上が図られている。

第3表にシステム諸元、第4表に回線設計を示す。

4.4 信号



第21図 ATCRBS 機の応答信号<sup>(11)(12)</sup>

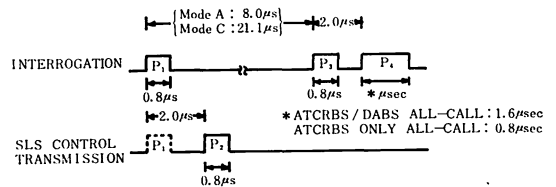


第22図 DABS 機の応答信号<sup>(11)(12)</sup>

第4表 DABS リンクバジェット<sup>(11)</sup>

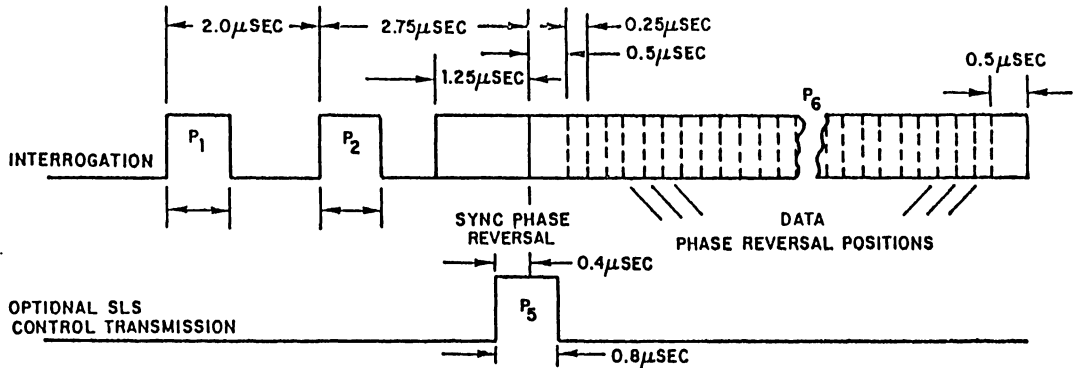
PARAMETER	UPLINK LOW POWER MODE	DOWN- LINK	
Transmitter Power	50 dBm (59 dBm)	57 dBm	
Coupling Loss, Sensor to Antenna	-1 dB		
Coupling Loss, Transponder to Antenna	-3 dB		
Ground Antenna Peak	21 dB		
Antenna Gain Elevation Factor (0.5 nmi)	-5 dB		
Aircraft Antenna Gain (nom)	0 dB		
Path Loss	Free-space (50 nmi)	-132 dB	-132.5 dB
	Atmospheric	-0.5 dB	-0.5 dB
Received Power	-70.5 dBm (-61.5 dBm)	-64 dBm	
Minimum Triggering Level	-77 dBm	-79 dBm	
Nominal Margin	6.5 dB (15.5 dB)	15 dB	

(HIGH POWER MODE)



第20図 DABS 質問パルス (All Call) <sup>(11)(12)</sup>

信号は、現在 SSR 専用とされている 1030 及び 1090 MHz を用いて伝送され、そのフォーマットには、現行



第23図 DABS Roll Call 質問<sup>(11)(12)</sup>

SSR システムとの両立性を保つ工夫がなされている。

センサから All-Call の質問は、第20図のようなパルスで行われ、従来の ATCRBS の質問信号に  $P_4$  パルスが付加されている。ATCRBS 搭載機は  $P_4$  に影響される通常の第21図のような応答を行う。DABS 搭載機は  $P_4$  を検出し、 $P_4$  のパルス幅が  $1.6 \mu s$  のときは、ATCRBS 搭載機とともにこの質問に回答するが  $P_4$  が  $0.8 \mu s$  のときは DABS 搭載機は回答しない。また、 $P_4$  のない ATCRBS 地上局からの質問に対しては DABS 搭載機も第22図のような ATCRBS 応答を行う (第18図参照)。

DABS 応答中のデータブロックは、All-Call の場合 56 ビットの PPM (パルス位置変調) で第24図 DF 11 のフォーマットをとる。CA はトランスポンダが有する能力 (近接警報表示器の有無、拡張メッセージ受信の可、不可等) を示し、AA は航空機固有の識別コード 24 ビットを示す。パリティ部 PI は、次のようにして生成された 24 ビットを用いる<sup>(12)</sup>。

すなわち、まず生成多項式  $G(x)$

$$G(x) = \sum_{i=0}^{24} g_i x^i \quad \dots\dots(2)$$

ただし、 $g_i = \begin{cases} 1 & (i=0, 3, 10, 12, 24) \\ 0 & (i \text{ が上の値以外のとき}) \end{cases}$

を、情報系列を示す多項式  $M(x)$

$$M(x) = \sum_{i=0}^{k-1} m_{k-1-i} x^i \quad \dots\dots(3)$$

ただし、 $k=32$

で割ったときの剰余を  $R(x)$

$$R(x) = \sum_{i=1}^{24} P_i x^{24-i} \quad \dots\dots(4)$$

とする。次に DABS センサ識別コード ( $a_1, \dots, a_{24}$ ) の作る  $A(x)$

$$A(x) = \sum_{i=1}^{24} a_i x^{i-1} \quad \dots\dots(5)$$

と(2)で使われた  $g_i$  による  $H(x)$

$$H(x) = \sum_{i=0}^{24} g_i x^{24-i} \quad \dots\dots(6)$$

との積  $H(x)A(x)$  を

$$H(x)A(x) = \sum_{i=1}^{24} b_i x^{i-1} \quad \dots\dots(7)$$

と表す。(7)式の係数  $b_i$  を用いて作る modulo 2 の和

$$t_{k+i} = b_i \oplus P_i \quad (i=1, \dots, 24) \quad \dots\dots(8)$$

を PI 部に挿入して伝送する。なお、実際は、センサ識別コードは 4 ビットであり ( $a_1, \dots, a_{24}$ ) = (0.....0  $a_{21} a_{22} a_{23} a_{24}$ ) となっている。

Roll-Call 質問では、DABS 搭載機のみ の回答を得るため第23図のように間隔  $2 \mu s$  の  $P_1, P_2$  パルスを用いて ATCRBS トランスポンダを抑制し、この期間内に 4 Mbit/s の DPSK (差動 PSK) により 56 又は 112 ビットのデータを伝送する。DABS 搭載機上での SLS 制御は  $P_5$  パルスにより行われる。

Roll-Call 質問に対する回答は、DABS 搭載機のみが、ATCRBS 局に対する回答と同様第22図のフォーマットで行う。ただし、データブロックは 56 ビットのほか 112 ビットも可能となる。

この DABS 動作で 56/112 ビットのデータフォーマットは第24図のように目的により異なる<sup>(11)(12)</sup>。また、拡張メッセージフォーマット (ELM: Extended Length Message) を用いれば、1 セグメント 80 ビットのデータを最大 16 セグメント連続して伝送することができる。

なお、誤りのある質問に対して航空機が回答しないように、対航空機 (上り回線) の質問中のパリティ部には、(4)式のようにして求められた  $P_i$  を、航空機固有アドレス ( $a_1, \dots, a_{24}$ ) に modulo 2 で加えた

$$t_{k+i} = a_i \oplus P_i \quad (i=1, \dots, 24) \quad \dots\dots(9)$$

が挿入される。

DABS で可能となるデータリンクは種々の目的に利

a)	00100	PC (3)	RR (5)	DI (3)	SD (16)	AP (24)	高度質問 (UF4)
b)	00101	PC (3)	RR (5)	DI (3)	SD (16)	AP (24)	識別コード質問 (UF5)
c)	01011	PR (4)	II (4)	"1" (19)	AP (24)		DABS局 All-Call (UF11)
d)	11	RC (2)	NC (4)		MC (80)	AP (24)	ELM (UF24) (対航空機)
e)	00100	FS (3)	DR (5)	UM (6)	AC (13)	AP (24)	高度応答 (DF4)
f)	00101	FS (3)	DR (5)	UM (6)	ID (13)	AP (24)	識別コード応答 (DF5)
g)	01011	CA (3)		AA (24)		PI (24)	All-Call応答 (DF11)
h)	11	1	KE (1)	ND (4)		MD (80)	AP (24)

Code	Field Name	Downlink (D)/Uplink (U) Meaning
AA	Address Announced	D Aircrf. identification in All-Call reply
AC	Altitude Code	D equivalent to aircraft Mode-C code
AP	Address/Parity	U/D error detection field
AQ	Acquisition	U/D part of BCAS protocol
BR	BCAS Reply Data	D special data for BCAS
CA	Capability	D aircraft report of system capability
DF	Downlink Format	D downlink descriptor
DI	Data Identification	U describes content of SD field
DR	Downlink Request	D aircraft requests permission to send data
EP	Epoch	U/D synchro-DABS time indicator
FS	Flight Status	D aircraft's situation report
ID	Identification	D equivalent to ATRCBS identity number
II	Interrogator Identification	U site number for multisite features
KE	Control, ELM	D part of Extended Length Message protocol
MA	Message, Comm-A	U message to aircraft
MB	Message, Comm-B	D message from aircraft
MC	Message, Comm-C	U long message segment to aircraft
MD	Message, Comm-D	D long message segment from aircraft
MS	Message, Synchro-DABS	D uplink synchro DABS message
MT	Message, Synchro-DABS	D downlink synchro DABS message
MU	Message, Uplink	U message without surveillance function
MS	Message, Synchro-DABS	D uplink synchro DABS message
MT	Message, Synchro-DABS	D downlink synchro DABS message
MU	Message, Uplink	U message without surveillance function (BCAS etc.)
NC	Number, C-segment	U part of ELM protocol
ND	Number, D-segment	D part of ELM protocol
PC	Protocol	U operating commands for the transponder
PI	Parity/Interr. Identifier	D reports source of interrogation
PR	Probability of Reply	U used in stochastic acquisition mode
RC	Reply Control	U part of ELM protocol
RR	Reply Request	U commands details of reply
SC	Special Communication	D BCAS report
SD	Special Designator	U control codes to transponder
UF	Uplink Format	U format descriptor
UM	Utility Message	D short message from aircraft

第24図 DABS データブロックフォーマット(11)(12)

用できる。FAA ではその利用開発計画を進めており、次のような情報伝送サービスが考えられている<sup>(13)</sup>。

- (i) ATARS (Automatic Traffic Advisory and Resolution Service) : 4.5 参照
- (ii) MSAW (Minimum Safe Altitude Warning) : 最低安全高度違反の警告
- (iii) 離陸承認 (Take Off Clearance), 割当巡航高度

変更の指示

- (iv) 空港気象 (天候・風向・風速・視程等), 使用滑走路, 着陸方式等の情報
- (v) パイロットからの要求データ

以下では、航空機間の衝突防止に直接関係する ATARS について述べる。

#### 4.5 ATARS

ATARS は 1974 年初めから米国 MITRE 社が FAA と共同であるいは指導のもとに開発を続けてきた IPC (Intermittent Positive Control) を引継いだもので、DABS センサにより一つのサービスとして提供される。

これは、衝突回避に必要な計算を地上で行う衝突防止システムの一つで、パイロットに“See and Avoid”が可能となるような情報の提供を行い、飛行の自由の最大限尊重を原則として、衝突回避コマンドは安全限度まで発信されないシステムである。計算が地上で行われるため航空機用装置が安価となるほか、衝突回避ロジックの段階的改善、また、地形等を考慮したターミナルごとに異なるロジックの採用の可能性などの利点がある。

ATARS システムは、次のようなステップで動作する。

- (i) ATARS サービスエリア内航空機の DABS 管制データを得る。
- (ii) 追尾を行い速度データを得る。
- (iii) 位置と速度を比較し、ATARS メッセージの必要性を判定する。
- (iv) 必要に応じて DABS データリンクで PWI (Proximity Warning Indication) メッセージ (最接近時刻の 45 秒前) や回避指示メッセージ (同 30 秒前) が送出される。また、Conflict Alert が ATC 施設に送出される。これらのメッセージは ATARS 搭載機には管制航空機、非管制航空機によらず送出され、安全距離が保たれる。

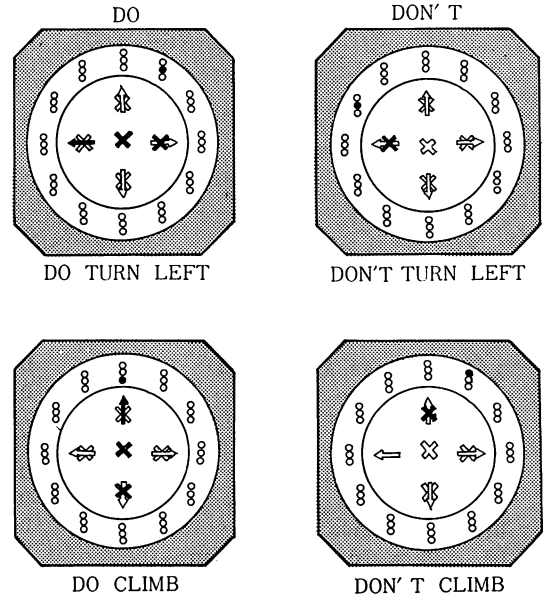
ATARS 機上設備の表示例を第 25 図に示す。近接する航空機の方位と高度が 3×12 個のランプのいずれかの点灯によりパイロットに示される。高度は上・中・下それぞれの点灯により、自機より 500~2000 ft 上、±500 ft 内、500~2000 ft 下に近接する航空機が存在することが示される。この表示は最接近時刻の 45 秒前には点滅して警告を与える。更に 30 秒前には矢印と×印による特定操作の DO/DON'T コマンドとともに、効果的な回避方法をパイロットに示す。

ATARS においては、パイロットの反応も含んだ実験、解析とシミュレーションが行われ、空中衝突防止に有効であることが認められている。

#### 4.6 DABS の開発状況

DABS の開発過程で問題点とされた、過密な空域での現行 ATCRBS との両立性、すなわち、

- (i) DABS の質問信号による ATCRBS トランスポンダの過度の抑圧、
- (ii) DABS の応答信号による ATCRBS 応答信号への妨害、



第 25 図 ATARS 表示<sup>(16)</sup>

- (iii) DABS データリンク機能の米軍 IFF (3.1 参照) への影響、
- (iv) ロックアウト機能の米軍 ATCRBS 搭載機への影響。

等の可能性について、シミュレーション、テストフライト及び理論解析が行われ、また、センサモデルによる実験も行われた。この結果、データリンクの過度の使用はある程度の影響があるが、ATCRBS 搭載機の過度抑圧、ATCRBS 処理能力劣化等は問題がなく、現行 ATCRBS システムとの両立性を保ったまま、高信頼性を有する有効な管制システムを構成できることが認められた。

このまま順調に開発が進めば、1980 年代中ごろには、DABS の展開が始まると考えられている。

英国においても、航空交通量の急速な増加に対する SSR 特性改善の要求に従い、RSRE (Royal Signals and Radar Establishment) の提案による Selective Addressing 技術を用いた ADSEL (Address Selective SSR)<sup>(19)(20)</sup> 開発計画が、米国で DABS 計画が開始されたのと同じ 1971 年より開始されている。ADSEL は DABS システムと同様なシステムで、1974 年英国 CAA (Civil Aviation Authority) と米国 FAA (Federal Aviation Administration) の間の協定 (Memorandum of Understanding) により共通の信号フォーマットの使用等互いに両立性のあるシステムの開発が確保されている。

日本においても、監視能力の向上と管制業務の自動化

のため、また、航空交通の国際性のため DABS 又はそれと両立性を有するシステムの導入に関し検討が行われている。

5. 衝突防止システム (CAS) <sup>(1) (9) (10) (16) (21) - (35)</sup>

5.1 概説

航空交通量の増加、また、高速の航空機と低速の航空機、VFR (Visual Flight Rules) 機と IFR (Instrument Flight Rules) 機の混在は、空中衝突、異常接近(ニアミス)の可能性を増加させており、地上からの航空交通管制(ATC)のみでなく、補助手段としての航空機搭載装置による衝突防止システム(CAS: Collision Avoidance System)の必要性が高まっている。

CASの開発は1956年6月米国グランドキャニオン上空での旅客機同士の空中衝突事故により従来の“See and be Seen”の原則が無効化していることを認めた時点より活発化した。その後、各社からEROS, SECANT, AVOIDS, BCAS(5.3参照)等各種の方式が提案された。これらのうちSSRシステムとの両立性の点でBCASが有力になり、衝突防止能力の向上を図る1976年Five Point Programme中でも一つの重要な開発項目とされた。なお、Five Point Programmeは衝突防止を次の5点で達成しようとするものである<sup>(1)</sup>。

- (i) Ground base の ATC システムの拡張・強化。
- (ii) IFR 飛行率の向上。
- (iii) モードCトランスポンダの義務化。
- (iv) BCAS の開発。
- (v) DABS/ATARS の開発。

最近では、DABSを基本としつつ、更に方位走査アンテナを機上に搭載するTCAS(Threat alert and Collision Avoidance System)の開発が進められようとしている。

日本でも1971年の墜石事故以後、現行SSRシステムの信号形式を変更しないBCASの開発が進められ、1974年にはこれらの評価試験が行われた。その後、米国の運用要件を考慮しつつ、我国独自の環境条件に適合するBCASの開発を進める方針が打ち出されている。

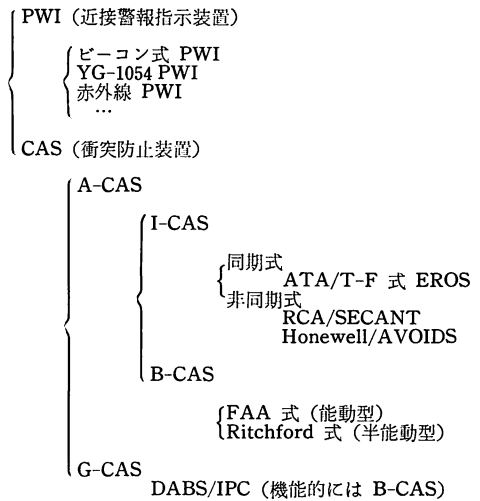
5.2 原理

CASの目的は、飛行中の航空機の機間距離を確保すること(Separation Assurance)であり、次のようなステップで動作する。

- (i) 注意すべき航空機の探知、
- (ii) 危険度の評価、
- (iii) 衝突回避判断、
- (iv) 回避操作の表示、

このような動作の過程で衝突回避操作に許される時間

第5表 CAS の 分類



は短く(25~40秒)航空機相互間の信号送受が重要な役割を果たす。危険度の評価は、高度・高度変化率・距離・距離変化率などを用いて行われ、回避操作表示は危険度に応じて行われる。

このようなCASに要求される条件は、米国ALPA(Air Lines Pilots Association)の要求<sup>(28)</sup>に基づき整理すると次のようになる。

- (i) 地上システムからの独立性
- (ii) 即効性(自機のみを搭載でも効果が期待できること)。
- (iii) VFR/IFRに依存しないこと。
- (iv) 空域の任意性。
- (v) 脅威時における正確かつ明確な情報提供。
- (vi) 通常運航時に何の制限も与えないこと。
- (vii) 航空機能力の範囲内であること。
- (viii) 他のデータと総合的に表示されること。
- (ix) ATC現システムとの両立性。
- (x) 高信頼性。
- (xi) 誤警報率の小さいこと。
- (xii) 将来における有効性。
- (xiii) 国際的承認の容易性。

衝突防止システムは、原理・機能により第5表のように分類される。PWI(Proximity Warning Indicator)はICAO第7回航空会議(1972年)で衝突の危険に際し回避方法を指示する機能のない点で、この機能のある他のCASと区別して考えられることになっている。他機の接近、相対位置等の情報を表示できるが、機能及び性能に限界があり小型一般機向けとされる。

CASはパイロットに対し、他機との衝突危険を警告し適切な回避操作を指示するシステムで、2機の相対的位置関係、接近速度の計算及び危険度の評価に必要な情

第6表 ICAS の評価<sup>(25)</sup>

基準	AVOIDS ハネウェル社	EROS マクダネルダグラス社	SECANT RCA社	
テスト結果	最大警戒範囲における通信の可能性	優	優	良
	警報時間正確度	優	良	良
	1982年までに全機装備の可能性	有	有	無
	誤警報の防止	優	優	良
	電波高度計への障害	優	不良	良
総合評価	地上局同調の必要性	不要	要	不要
	全航空機への指示の可能性	可	可	不可
	すべてのアンテナの組合せでの通信の可能性	可	不可	不可
	距離正確度	最良	中間	最低
	設計の完成度	高	中間	低
	価格	安価	中間	高価

報を機上で入手する ACAS (Airborn-derived CAS) と、地上で入手する GCAS (Ground-derived CAS) に分けられる。更に ACAS は、システム構成及び機能が地上の ATC システムから独立した ICAS (Independent CAS) と、地上 ATC システムに付属した BCAS (Beacon-based CAS) に分けられる。なお、ICAS は BCAS と対応づけるとき「ACAS」と呼ばれることもある。

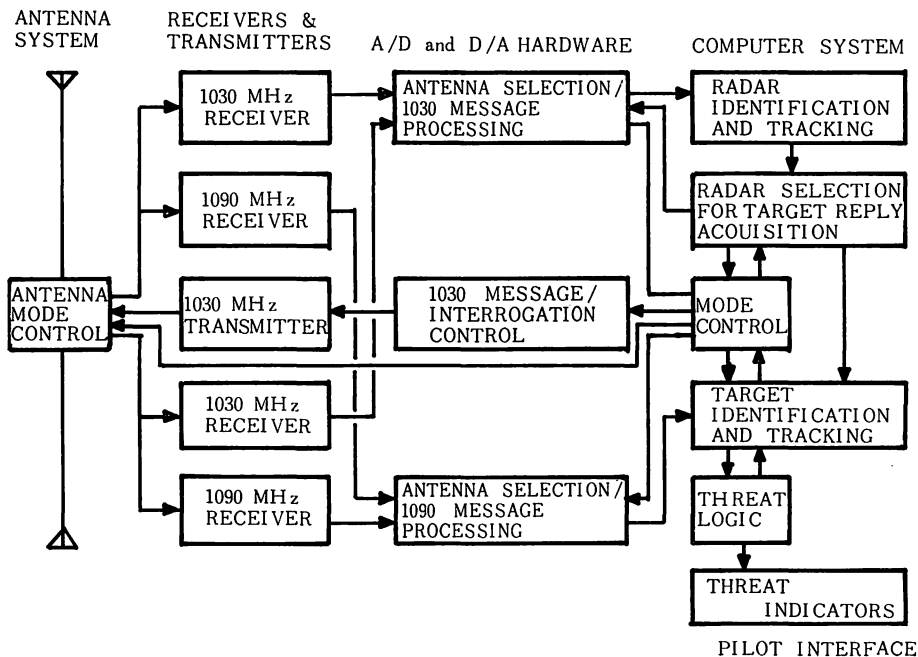
5.3 ICAS

初期のころ提案された McDonnell Douglas 社の Time-Frequency 方式を用いた EROS (Eliminate Range Zero System), RCA 社のインタローゲータ・トランスポンダ方式の SECANT (Separation and Control of Aircraft by Nonsynchronous Techniques), Honeywell 社の AVOIDS (Avionic Observation-of-Intruder Danger System) 等が ICAS に属する。これら個々のシステムについては、簡単な紹介が文献<sup>(21)</sup>にあるのでここでは省略するが、これらの評価試験は 1975 年までに終了し、第 6 表のような結果を得ており AVOIDS が最も有効なシステムとされていた。

しかし、このような ICAS は、対向装置として同じ装置を必要とし、自機のみを搭載では衝突防止の効果がない。したがって大多数 (少なくとも 100000 機に搭載しないと効果がないといわれる<sup>(26)</sup>) の航空機への搭載の義務化を必要とし、高価である上、段階的導入も困難である。また、新たな周波数を必要とするなどの問題もあり、1976 年には FAA は BCAS の開発へ方針変更を行い、既に米国 National Standard も作成されている。

5.4 BCAS

BCAS (Beacon-based CAS 又は Beacon Reply based CAS と呼ばれる。) は現用の ATC トランスポンダを利用した CAS で、相手の航空機のトランスポンダに質問を行うか、又は相手の航空機が地上局に回答する等で発信している信号を傍受することにより衝突回避



第26図 BCAS の構成<sup>(31)</sup>

に必要な情報を得る。

したがって、従来の ATC トランスポンダは、これに対する質問の送信、その応答の受信のための送受信機、追尾及び衝突回避ロジック、上部及び下部両アンテナ等の付加及び修正が必要となる。このようなシステムでは、高度レポートの得られる ATC トランスポンダの装備率向上が必要で、SSR システムへの妨害の可能性もあるが、次の点で優れている。

- (i) 効果の即効性 (自機のみ装備でも効果がある)。
- (ii) ATC システムとの両立性。
- (iii) 国際協定の容易性。

BCAS は動作方式により、次のように分類される。

- (i) 能動 BCAS (Active BCAS)
- (ii) Tri-modal BCAS
- (iii) DCAS (DABS-based BCAS)

なお現在は、DCAS の機能を拡張し、機上の指向性アンテナにより空域にかかわらず方位情報を含んだ回避指示の可能な TCAS (Threat Alert and CAS) の開発方針を打出している。以下、各 BCAS について述べる。

#### 5.4.1 能動 BCAS (Active BCAS)

能動 BCAS は、航空機にも質問機能を与え、これにより相手の航空機の高度、回避操作等の情報を得て衝突回避を行うもので、第 26 図のように構成される。

航空機は毎秒 1 回程度のモード C の質問を上部及び下部アンテナを切り替えて行う。この応答信号を受信して往復所要時間及び相対高度により距離と接近速度を計算し、危険度を評価し、必要な回避操作を判定する。回避操作は、上、下、又は水平のいずれかである。なお、両航空機間の相補的な回避は ATCRBS でもモード D で相手の航空機の操作内容を質問する等により可能となるが実現はされていない。

危険度の評価は次のような原理に基づいて行われる<sup>(23)</sup>。すなわち、2 機の航空機は危険判定式

$$(R + \dot{R}t_e)^2 + (V_{nt_e})^2 \leq U^2 t_e^4 / 4 \quad (0 \leq t < t_e) \quad \dots\dots(10)$$

ただし、 $R$  : 相対距離 (at  $t=0$ ),

$\dot{R}$  : 相対距離変化率 (at  $t=0$ ),

$V_n$  : 相対速度ベクトルの  $\vec{R}$  に垂直な成分,

$U$  : 考え得る最大相対加速度絶対値,

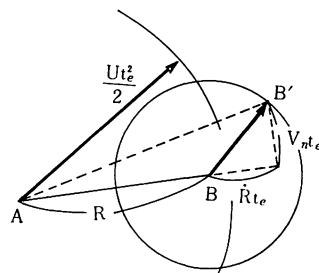
$t_e$  : 衝突回避に要する時間,

を満たすとき、第 27 図のように  $t_e$  後の 2 機の存在可能範囲が重なり衝突の可能性がある。(10)式は、未知の  $V_n$  を除いた

$$R + \dot{R}t_e < \frac{Ut_e^2}{2} \triangleq R_0 \quad \dots\dots(11)$$

したがって、

$$TAU < t_0 \quad \dots\dots(12)$$



第 27 図 航空機 A, B の  $t$  秒後の存在範囲

ただし、

$$TAU \triangleq \frac{R - R_0}{-\dot{R}}$$

により近似することができる。すなわち、(12)式を満たすとき、回避操作の指示が出される。なお、シミュレーションにより、安全とされる高度差 150 ft の確保のためには、

$$t_e = 25s \text{ のとき } R_0 = 0.25 \text{ NM}$$

$$t_e = 40s \text{ のとき } R_0 = 1.8 \text{ NM}$$

の値が必要とされている<sup>(23)</sup>。

能動 BCAS は、地上 SSR 施設が少ない空域で、航空機密度も低いとき有効であるが、ATCRBS システム利用の場合次のような欠点がある。

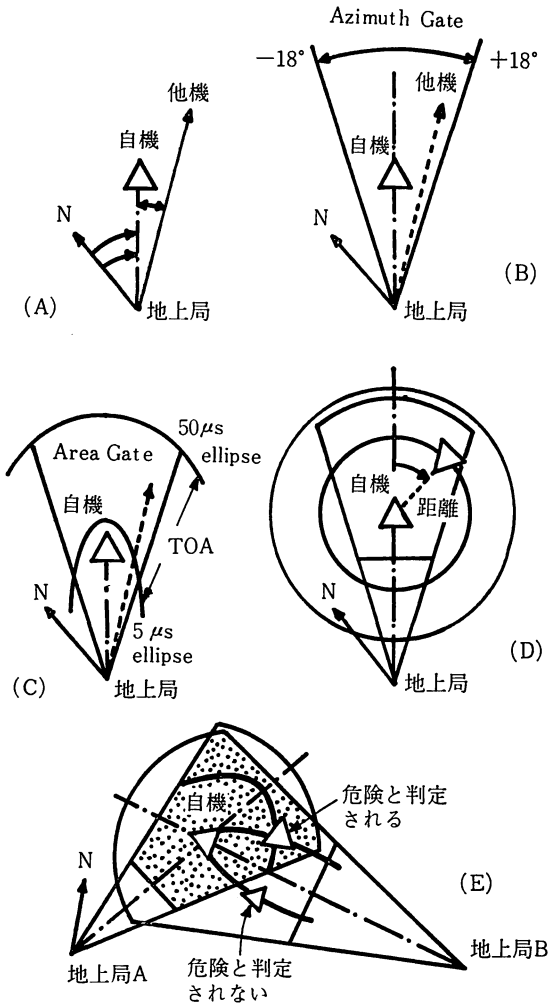
- i) 過密な空域では、二つ以上の相手の航空機までの距離差が 1.7 NM (20.3  $\mu$ s) 以下のとき、応答パルスが重なり同期ガブルを生じる。
- ii) SSR 地上局に Fruit を生じる。
- iii) 脅威となる航空機の方角情報が得られない。

特に衝突危険の大きな過密空域でシステムが十分に機能しない点が大きな問題である。この点は、次の Tri-modal 方式では受動モードの併用により避けられ、DCAS では危険性のある少数の航空機に対してのみ質問することにより避けられる。

#### 5.4.2 Tri-modal BCAS

Litchford により提案された半能動方式の BCAS で、現行 SSR 信号に方位基準信号 (North Pulse) を付加する必要があり、国際的協定が必要となる。この信号は、SSR 質問アンテナが磁北を向いたとき、無指向性アンテナにより送信され、各航空機が地上局に対する相対方位を知るために用いられる。CAS としての動作は第 28 図に示すように次のようなステップで行われる。

- (i) 方位基準信号の受信後、自機が質問を受けるまでの時間により、また、他機が同じ質問に回答するまでの時間により、それぞれ自機、他機の地上局に対する方位角を得る (第 28 図 A 参照)。
- (ii) 危険性のある領域に適当なゲートをかけ、航空機数を減少させた後 (第 28 図 B 参照)、TOA (Time



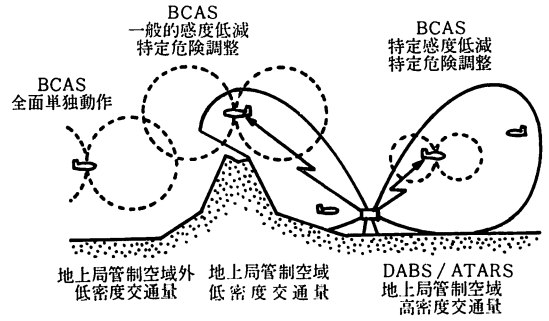
第28図 Tri-modal BCAS<sup>(26)</sup>

of Arrival : 地上局からの質問が、他機で受信されその応答が自機で受信されるまでの時間と、自機が直接同じ質問を受信するまでの時間の差)が危険性のある一定の範囲内(第28図Cでは $5\mu s \sim 50\mu s$ )の値をとる領域と考え、この領域への他機の侵入をチェックする。

- (ii) 他機の位置の確定は、SSR地上局が1局のときは自機から能動的に質問を行い距離情報を得ることにより(第28図D参照)、またSSR地上局が2局以上あるときには各地上局からのTOAを計測することにより(第28図E参照)、行うことができる。

このように、航空交通量が多く必然的にSSR地上局の多い空域で受動的な動作を行い、交通量が少なくSSR局も少ない空域で自動的に能動的な動作となるため、次のような利点がある。

- (i) 同期ガブルの影響が少ない。



第29図 DABS-based BCAS 概念図<sup>(24)</sup>

- (ii) 地上 ATCRBS 機能、動作への影響が少ない。
- (iii) 既に使用されている SSR トランスポンダがほとんどそのまま使用できる。

以上の利点から、ALPA (米国パイロット協会) もこの方式に支持を与えていた。しかし、

- (i) ICAO Annex 10 の SSR 信号を修正する必要がある、
- (ii) システム的に高価となる。
- (iii) データリンクが従来どおりである。

などの理由で採用には至らず、FAA は DCAS の方向へ進んでいる。

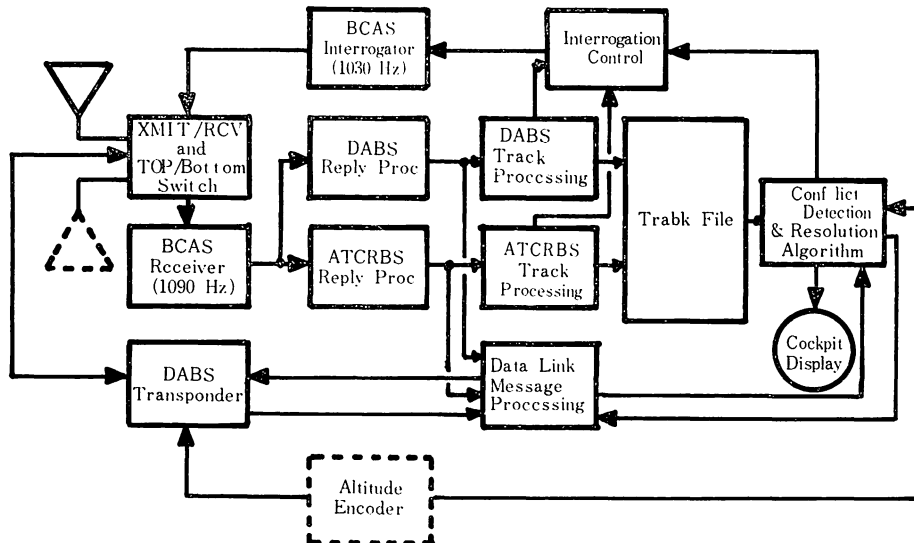
### 5.4.3 DABS-based BCAS (DCAS)

DCAS は機能的には、能動 BCAS と DABS/ATARS を組み合わせたもので、第29図のように低密度空域では DABS に基づく能動的動作を行い、高密度空域では受動的動作を組み合わせ、危険度の高い対象にのみ能動的に動作を行う。ATCRBS 機も対象とするため機上装置は第30図のような構成となる。

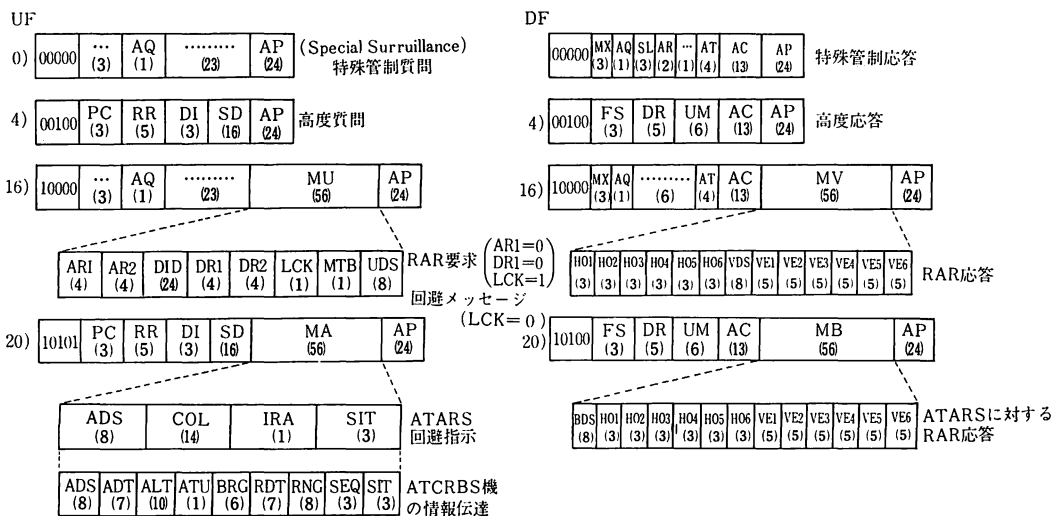
この動作は次のように行われる<sup>(32)</sup>。

- (i) 他機の DABS 応答または Squitter (周期的発信信号) を聴取し、高度、飛行状態等の情報を得る。
- (ii) 同一高度付近の航空機に質問を行い、距離情報と最高速度情報を得る(第31図 UF 4, DF 4 の信号を使用する)。
- (iii) 距離、高度及び最高可能速度により他機の危険度を評価する。
- (iv) 危険となる航空機に対し、周期的質問を行い追尾する(第31図 UFO, DFO の信号)。
- (v) 危険となる航空機の RAR (Resolution Advisory Register) の内容(その航空機のパイロットに対し表示される回避操作の内容)を得て、自機の最適な回避操作を決定する(第31図 UF 16, DF 16 の信号)。なお、
- (vi) ATCRBS 搭載機をチェックするため、周期的に ATCRBS-only All-Call 質問(第20図参照)を行





第30図 DABS-based BCAS 機上装置の系統図<sup>(25)</sup>



第31図 DABS-based BCAS に使われる信号フォーマット<sup>(32)</sup>

い、1)の能動BCASと同様な動作をする。  
 また、DABS/ATARSのカバレッジ内では、次のような衝突回避サービスを受ける。

- (i) 衝突危険のあるとき ATARS により出される RAR 内容の指示を受け、これに基づき回避操作を行う (第31図 UF 20, DF 20の信号)。
- (ii) 危険な航空機が ATCRBS 搭載機のととき、その位置、速度等のデータが ATARS により伝達される (第31図 UF 20の信号)。

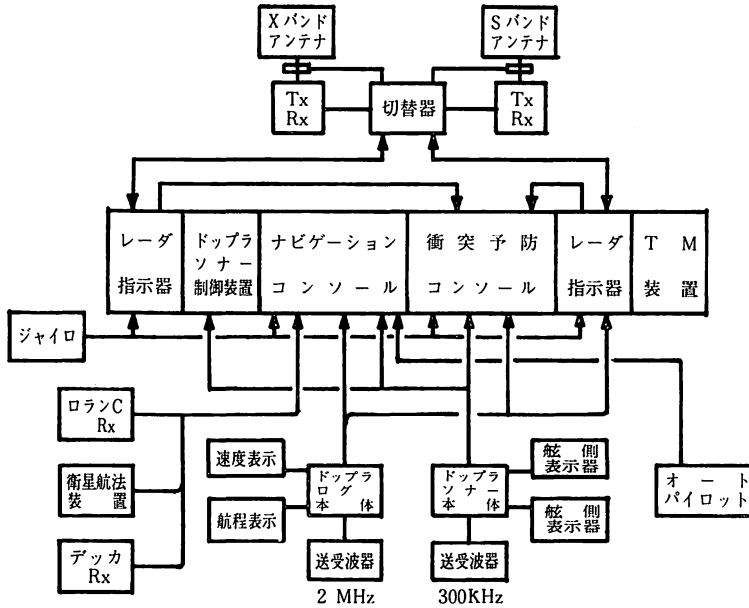
これらの指示は ATC システムと調整をとった上で行われるので ATC に混乱を与えない。

5.5 CAS の現状

以上のように、管制システムを DABS により強化し、衝突防止もこの DABS を基本にして達成する方針がとられているが、更に1981年7月には TCAS<sup>(34) (35)</sup>の提案がなされ、National Standard の作成にとりかかることとなった<sup>(34)</sup>。

TCAS は、方位走査アンテナを航空機に搭載することにより、過密空域での同期ケーブルの減少を図ると同時に、モノパルス測角も行い、危険な航空機の方位情報を得ることができる等の点で優れている。他の動作については DCAS と同様と考えられるが詳細については更に調査を要する。

日本では従来の SSR システム内での BCAS の検討



第 32 図 航海システム例<sup>(36)</sup>

が主に行われていたが、1980年代中期以後の DABS への移行に伴い、方針変更が必要となると考えられる。

以上のように航空機に関しては 2 次レーダの応用が進んでいるが、船舶に関しては、まだ実用化されているシステムはない。

以下では、現在使われている船舶用衝突防止装置及び船舶への 2 次レーダの応用について述べる。

## 6. 船舶用衝突防止装置<sup>(36)~(42)</sup>

### 1.1 概説

船舶の自動化・省力化の進展に伴い、航行安全のための装置も近代化されつつあり、衝突防止装置として既に商品化されているものもある。

しかし、船舶には航空機のようにトランスポンダ搭載が義務化されていないため、衝突防止装置とされるものはすべて、1 次レーダ信号の処理・表示装置である。これらは IMCO (Intergovernmental Maritime Consultative Organization) の正式名称では ARPA (Automatic Radar Plotting Aids: 自動レーダプロット援助装置) と呼ばれる。すなわち、ARPA は従来行われているレーダプロットング (レーダ指示器表面に手で他船舶の位置を記録し、予測のための資料にする) を自動化し、更に、針路と速度を計算並びに評価して、衝突回避に有効な情報の形で表示する装置である。

ARPA は、米国では 1978 年 PTSA 法 (Port and Tanker Safety Act of 1978) により、米国の港に入港するタンカー等危険物を運搬する 10000 総トン以上の船

舶に対し 1982 年 7 月より義務化されることになっており、また、IMCO 第 11 回総会 (1979 年) でも 1984 年 1 月以降の 10000 総トン以上の新造船に対して義務化することが決議されている。

### 6.2 ARPA の動作

ARPA は第 32 図に一例を示すように、

(i) 船舶レーダ (3, 5, 9 GHz が使用される) の信号、

(ii) ジャイロコンパスからの針路信号、

(iii) ログ (Log: 速度計) からの速度信号、

をマイクロプロセッサで処理し、衝突回避に有効な形で表示する。表示内容は、1 次レーダの生データのほか、

(i) 真速度ベクトル又は相対速度ベクトル

(ii) 過去の航跡点、

(iii) PAD (Predicted Area of Danger: 衝突予測危険範囲)、

(iv) CPA (Closest Point of Approach: 予測最近接距離) 及び TCPA (Time to CPA: 予測 CPA 時間)、

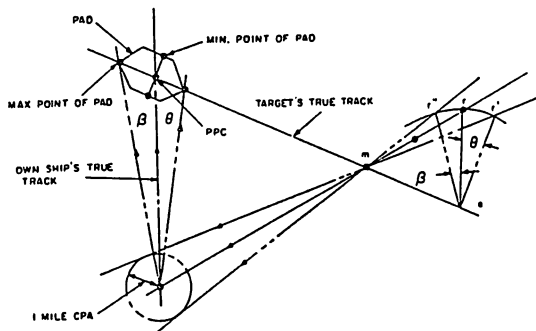
などであり、更に警報機能として例えば、

(i) 損失物標…追尾中のターゲットの信号が受信されなくなったとき、

(ii) 他船の接近…ある境界を設定し、それに他船が進入してきたとき、

(iii) CPA/TCPA…CPA, TCPA の設定閾値を超えて接近する船舶があるとき、

などに対し、視覚的及び聴覚的な警報を行う機能が付加



第33図 PAD<sup>(40)</sup>

される。また、試行操船として、避航操作の結果をシミュレートして表示することもできる。  
 なお、PADは、他船を避航する際必要なCPAを相対運動表示のまま示す手法であり、第33図のように、m点にあり矢印方向に進む船舶を、0点にある自船があるCPA(第33図では1mile)以上で避航するには6角形で示されるPADを横切らない針路をとればよく、このような表示は操船判断に便利である。

6.3 問題点

このように、ARPAは他船舶との位置関係等を知る上で有効な情報を与え、結果的に衝突予防の効果が大きい。

しかし、次のような問題点がある。

- (i) 1次レーダ信号の処理であるため、過密時には追尾物標が乗り移る現象を生じ、航跡を誤ることがある。
- (ii) 船間データリンクがないため、避航にあたり各船操船者は、互いに相手船が現在の操船方法を将来も変えないことを仮定することになるが、これは各船で行われる独立した避航判断と矛盾する。したがって必ずしも常に効果的な避航結果になるとはいえない。

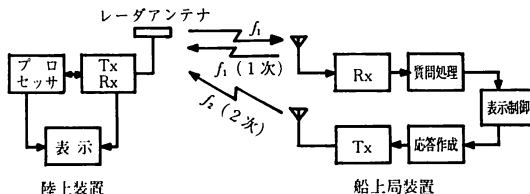
このような問題は、データリンクを伴うトランスポンダ方式を採用することにより解決される。

7. 2次レーダシステムの船舶への適用性

7.1 現状

トランスポンダ方式の航路管制及び衝突防止システムに関しては、米国において研究が行なわれているといわれる<sup>(44)</sup>が、詳細は更に調査を要する。日本では、港湾内の船舶管制用の通信装置の試作結果が報告されている<sup>(43)</sup>。

これは、管理水域内の船舶に第34図のような船上局装置を搬入することにより、2次レーダ方式で、船舶に対しては管制指令の伝送、逆に船舶からは航行情報及び



第34図 船舶航行管制用データ通信装置の試作例<sup>(43)</sup>

第7表 船舶管制装置試作例諸元<sup>(43)</sup>

		質	問	応	答
周	波	数	9.375 MHz	9.305 MHz	
出	力		—	100 mW 以上	
パルス幅	測	距	0.1 μs 0.2 μs		
デ ー タ 内 容	ア	ド	レ		
	ス	レ	ス		
	メ	ッ	セ		
	ッ	ジ	ー		
	ジ	ー			
	ー	グ			
	グ	ラ			
速	度		0~39 ノット (1ノットごと)		
行	先		—	20 通り	
喫	水		—	0~18m (2mごと)	
船	体	長	—	4 段階	
そ	の	他	制御信号	緊急信号	

識別コードの伝送を可能とする装置であり、第7表のような諸元が報告されている。これにより、シークラッタ・誤認の問題なく、集中的管制が可能となり、港湾又は狭水道における航行の安全並びに効率的運航がもたらされるとしている。

7.2 適用性

航空機に対する管制及び衝突防止システムへの2次レーダ方式適用の有効性はさきに述べたとおりであるが、このような方式と技術の船舶への適用にあっては、次のような船舶の特殊性に留意する必要がある。

- (i) 既存システムにおいては1次レーダシステムしかなく、トランスポンダ搭載を前提として衝突防止システムを考えることはできない。
- (ii) レーダの周波数は3, 5及び9GHzの3種類あり、その選択は自由に行われている。
- (iii) 船の大きさ、設備の差が大きく、各船の速度・旋

回半径等運動性能の差が大きい。これらの船舶が同じ海域を利用する。

- (iv) 位置精度及び速度精度に誤差が入りやすい。
  - (v) 動きは2次元であるが、海底、海岸等固定物の考慮も重要となる。
  - (vi) 漁船等で位置を知られたくない要求がある。
  - (vii) 船舶では他船の方位情報は容易に得られる。
- したがって、2次レーダ方式を船舶に対して適用する場合の問題点は次のような点にある。

- (i) トランスポンダの義務化の困難性：衝突防止は、ほとんどの船舶が同じ装備を有しなければ効果がなく、装備率零の状態からこれを実現するには法的なあるいは制度的な強制力を必要とする。例えば、航空機に関しては主要空港ではATCトランスポンダを搭載していない航空機の離発着を認めず、これが半強制的にトランスポンダの装備率を向上させており、船舶に対してもこのような制度等が必要となる。また、外国船舶との関係も問題となる。
- (ii) 設備差と回避責任：大きく運動性能は低いが発知能力の大きい設備を有する船舶ほど、運動性能は高いが発知能力の小さい船舶を回避する結果となるため、そのままでは非効率的で、また、設備のメリットも少ない。
- (iii) トランスポンダの方式及び特性の制定：データリンクの構成及びシステムの特性等が未定であり、航空機のCASに対し要求される条件と同様な条件を満たす形でシステムの標準規格が決定される必要がある。また、このシステムは、小型の船から大型の船まで受容し得る価格、構成、特性を有する必要がある。

以上のように、船舶に対する2次レーダ方式の応用は、幾つかの問題点を解決する必要があるが、管制・衝突防止に有効と考えられる。しかし、その方式、データ内容等の検討は十分なされていない現状であり、今後これらに関する調査、検討が必要であろう。

## 8. おわりに

航空機に対する管制及び衝突防止システム並びに、船舶用衝突防止システムについて、その原理、方式等の調査を行い、船舶に対する2次レーダ方式適用上の基本的問題点にも言及した。今後、方式、信号フォーマット等の検討が必要であろう。

調査を行うにあたり、貴重な資料を提供下さった運輸省航空局保安企画課北野広久氏、運輸省電子航法研究所電子航法評価部航空管制研究室の東福寺則保室長、長岡栄研究官に感謝いたします。また、日ごろ御指導いた

く当所通信機器部宮島貞光部長に感謝いたします。

## 参考文献

- (1) 岡田實, 航空電子装置, 日刊工業新聞社, 1978.
- (2) 林良治, 航行援助無線, 近代科学社, 1976.
- (3) 大越英雄他, レーダ技術, 電子通信学会, 1975.
- (4) 運輸省航空局, 飛行計画情報処理システム.
- (5) 運輸省航空局, 航空路レーダ情報処理システム.
- (6) 運輸省航空局, ターミナル情報処理システム.
- (7) 運輸省航空局, 航空無線施設の解説, 1980.
- (8) Drouilhet P. R., Jr.; "The Development of the ATC Radar Beacon System: Past, Present and Future", IEEE Trans. Commun., COM-21, No. 5, pp. 408—421, May 1973.
- (9) Koenke E. J., Boczenowski S.; "The Effect of Whisper/Shout on Active BCAS Performance", FAA-EM-80-5, June 1980.
- (10) 平田俊清, 山本光男, 松永正春; "混信状況下におけるATCトランスポンダ応答信号の読解率改善", 東洋通信機技報, No. 20, pp. 42—49, 1981.
- (11) Orland V. A. & Drouilhet P. R.; "DABS: Functional Description", FAA-RD-80-41, Apr. 1980.
- (12) Licoln Lab., DABS National Standard Draft-Working Copy, RTCA Paper No. 284—80/SC 142—58.
- (13) 東福寺則保; "航空管制における新しい監視・通信システム(DABS)の紹介", 航海, No. 65, pp. 34—44, Sept 1980.
- (14) 平田俊清, 山本光男; "個別アドレスビーコンシステム(DABS)(その1)", 東洋通信機技報, No. 27, pp. 33—46, 1981.
- (15) 平田俊清, 山本光男; "個別アドレスビーコンシステム(DABS)(その2)", 東洋通信機技報, No. 28, pp. 50—61, 1981.
- (16) Drouilhet P. R. & Weils W. I.; "U. S. Developing Two Concepts for Improved ATC Surveillance, Air/Ground Communications and Collision Avoidance", ICAO Bulletin, pp. 13—21, March 1976.
- (17) Jansky D. M. & Pratt R. M.; "DABS-ATCRBS Compatibility under Scrutiny by Independent U. S. Agency", ICAO Bulletin, pp. 37—38, March 1979,
- (18) Amlie T. S.; "A Synchronized Discrete-Address Beacon System", IEEE Trans. Commun. COM-21, No. 5, pp. 421—426, May 1973.

- (19) Mackeller A. C. & Evans A. J. ; "ADSEL-An Improved Form of Secondary Surveillance Radar", ICAO Bulletin, pp. 25-28, March 1979.
- (20) Braybrook L. S., Langley J. V. & Stevens M. C. ; "ADSEL : A Selective Address Secondary Surveillance Radar System", ICAO Bulletin, pp. 23-25, July 1976.
- (21) Eleccion M. ; "The Promise of Air Safety", IEEE Spectrum, pp. 41-48, Sept. 1975.
- (22) Litchford G. B. ; "Avoiding Midair Collisions", IEEE Spectrum, pp. 41-48, Sept. 1975.
- (23) 岡田昂三 ; "Active BCAS の研究経過と今後の課題", 電波航法, No. 21, pp. 29-34, 1976.
- (24) 船津忠平, 平田俊清 ; "航空機衝突防止装置開発の現状", 電波航法, No. 21, pp. 22-28, 1977.
- (25) 岡田和男 ; "日本及び米国における航空機衝突防止装置の開発", 電波航法, No. 23, pp. 16-24, 1978.
- (26) Litchford G. B. ; "An SSR-based, Air-derived CAS can complement Today's ATC System", ICAO Bulletin, pp. 29-36, March 1979.
- (27) White F. C. ; "Active BCAS has a Vital Role in Aircraft Separation Assurance", ICAO Bulletin, pp. 39-40, March 1979.
- (28) Gerber R. C. ; "Collision Avoidance Systems-How much longer can we wait?", ICAO Bulletin, pp. 41-43, March 1979.
- (29) Keyne V. J. ; "A General Aviation View of the Collision Avoidance Problem", ICAO Bulletin, pp. 44-45, March 1979.
- (30) Tymczyszyn J. P. ; "The Collision Avoidance Problem Requires a Mix of Partial Solutions", Aircraft Engineering, 51, No. 11, pp. 18-21, Nov. 1979.
- (31) Thedford W. A. ; "The Operation and Design of the Beacon-based Collision Avoidance System", Pap. Inst. Navig. Annu. Meet., 34, pp. 1-32, 1978.
- (32) Lincoln Lab., Active BCAS National Standard Draft-Working Copy, Oct. 1980.
- (33) Koenke E. J., Ebert P. M., Harman W. H., Spencer N. A. & Weinberg A. ; "A Preliminary Evaluation of the ATCRBS Signal Format for the BCAS Data Link", FAA-EM-77-9.
- (34) Klass P. J. ; "FAA Selects Collision Avoidance System", Aviation Week & Space Technology, pp. 31-32, June 1981.
- (35) 曾根岡昭直, 本山澄夫, 浅野正一郎, 伊藤紘二, 水町守志 ; "衝突防止方式 (TCAS) とその考察", 信学技報, SANE 81-30.
- (36) 北条晴正, 諏訪頼久, 山名利雄, 河島茂男 ; "トータルナビゲーションシステム", 日本無線技報, No. 16., pp. 51-60, 1981.
- (37) 吉本高使 ; "衝突予防援助装置の現状と将来", 造船技術, 13, No. 3, pp. 67-81, March 1980.
- (38) 吉本高使 ; "レーダプロット援助装置の自動化", 日本船用機関学会誌, 15, No. 9, pp. 93-103, Sept. 1980.
- (39) Riggs R. F. ; "A Modern Collision Avoidance Display Technique", Journal of Navigation, 28, No. 2, pp. 143-155, 1975.
- (40) Ravenna K. C. ; "Collision Avoidance Systems The Evaluation Continues", Oceans, pp. 193-197, 1980.
- (41) Abelsen O., Pohner F., Torkilseng T. A. & Vedrell I. C. ; "Traffic Surveillance Systems for Protection of Offshore Installations", Autom. Saf. Shipp. Offshore. Pet. Oper./IFIP, pp. 419-427, 1980.
- (42) "The Compulsory Fitting of Seaborne Radar Collision Avoidance Systems ; A Discussion", Journal of navigation, 33, No. 3, pp. 389-397, 1980.
- (43) 篠原英男 ; "船舶航行管制用船上局データ通信機の研究", 科学技術試験研究補助金による試験研究成果集 第24集, Aug. 1978.
- (44) 木村小一 ; "船舶電子航法ノート", 船の科学, 33, No. 9, pp. 87-94, 1980, 9月.

