

12. SSRモードSネットワークの評価試験について

航空施設部 ※宮崎 裕己 三吉 襄 古賀 禎

1. まえがき

現用の二次監視レーダ(SSR)の監視機能を向上するとともにデータ通信機能を付加したSSRモードS⁽¹⁾(以下モードSという)は次世代のSSRとして期待されている。当所ではSSRモードS実験システムを開発し監視機能およびデータ通信機能について評価試験を行ってきた⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾。評価試験の結果、モードS実用化の目処が得られたことから、我が国においてもモードSの整備が計画され、現在、監視機能から導入することとなっている。

このモードSはネットワーク化を図ることにより、モードSが持つ優れた機能および性能を十分に発揮させて、効率的で信頼性の高い航空機監視と空地データ通信を提供することができる。また、モードSは航空通信ネットワーク(ATN)における空地サブネットワークの

一つでもあり、これらのことから、我が国におけるモードSネットワーク技術を確立しておくことが必要である。

当所では、モードSネットワーク評価システムを開発し⁽⁶⁾、機能および性能の評価試験を実施して、ネットワークの諸機能について国際民間航空機関(ICAO)の規定等⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽⁹⁾の検証を進めてきた。

本報告では、モードSネットワークの概要を述べ、当所が開発したモードSネットワーク評価システムを説明し、モードSネットワークの機能および性能について評価試験を行った結果を示す。

2. モードSネットワークの機能

2.1 モードSネットワークの構成

図1にモードSネットワークの構成を示す。

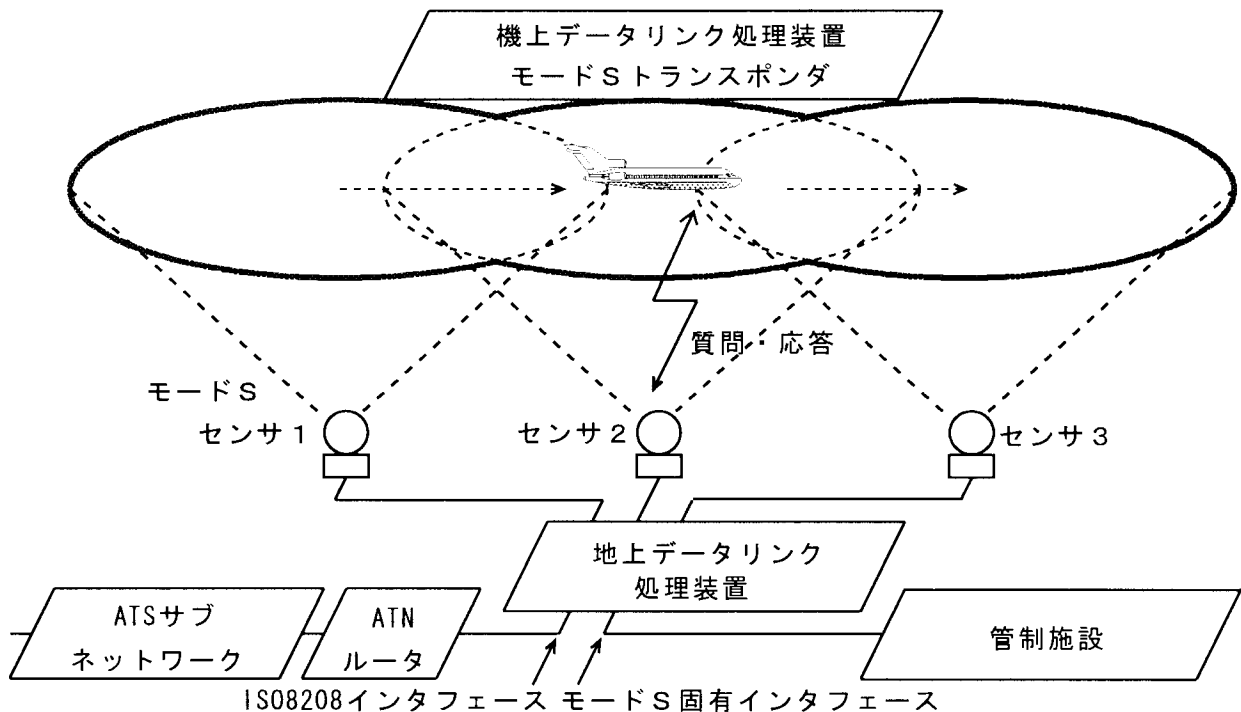


図1 モードSネットワークの構成

モード S ネットワークはモード S センサ(以下センサという)、地上データリンク処理装置(GDLP)、管制施設、航空機に搭載されるモード S トランスポンダおよび機上データリンク処理装置(ADLP)等により構成される。モード S は、重複覆域を持つセンサをネットワークを用いて管理および調整することで、電波伝搬上の制約を超えた一つの大きな覆域を形成して、効率的で信頼性の高い航空機監視と空地データ通信を提供することができる。外部との接続形態には、ATN ルータを経由して他のサブネットワークに接続される ISO8208 インタフェースと、直接に管制施設等に接続されるモード S 固有インタフェースの二つの方式がある。モード S 固有インタフェースは、データ転送プロトコルを簡易化して、管制通信への適合性を高めた方式で、スタンドアロン型と呼ばれている。当所ではスタンドアロン型のモード S ネットワークを構築し評価試験を行った。

2.2 モード S ネットワークの機能

2.2.1 ネットワーク管理

(1)モード S センサの運用モード

モード S では覆域に入った航空機を一括質問により捕捉すると、以後、一括質問に回答しないようにロックアウトして、個別質問により監視とデータ通信を行う。センサには識別コード(以下 II コード)が付与されており、航空機は II コード毎にロックアウトされる。

モード S センサの運用には、ネットワークを利用してセンサ間で調整が行われる調整モードと、調整が行われない独立モードがある。独立モードでは、各センサが独立に一括質問して航空機を捕捉しロックアウトする。このため、センサの密集した空域では、航空機はある II コードのセンサにロックアウトされても、他の II コードを持つ全てのセンサの一括質問に対して応答するので、フルーツの発生が避けられない。一方、調整モードでは、一つのセンサが航空機を捕捉した後は、他のセンサはネットワークを経由して転送される航空機情報に基づいて個別質問を行い、航空機の監視を開始するので、各センサに共通の II コードを付与できる。

このため、あるセンサが航空機をロックアウトすると、ネットワークを構成する他センサの一括質問にも応答しないので、フルーツ干渉を軽減できる。

当所の評価システムでは、センサに回線障害が発生して調整が取れなくなった場合、当該センサの運用モードを自動的に独立モードに切り替えて、運用を継続できるようにした。

(2)覆域管理

ネットワーク管理では覆域マップを用いて各センサの覆域を管理する。図 2 に覆域マップを示す。覆域マップはセンサの覆域を方位および距離方向にセルと呼ばれるブロックに分割したものである。各セルではセンサの最低監視可能高度によりセンサの優先順位を決定し、これに基づいて監視とデータ通信を行うセンサを割り当てる。

当所の評価システムでは、各センサに覆域マップを持たせ、センサ毎に優先順位を管理させている。

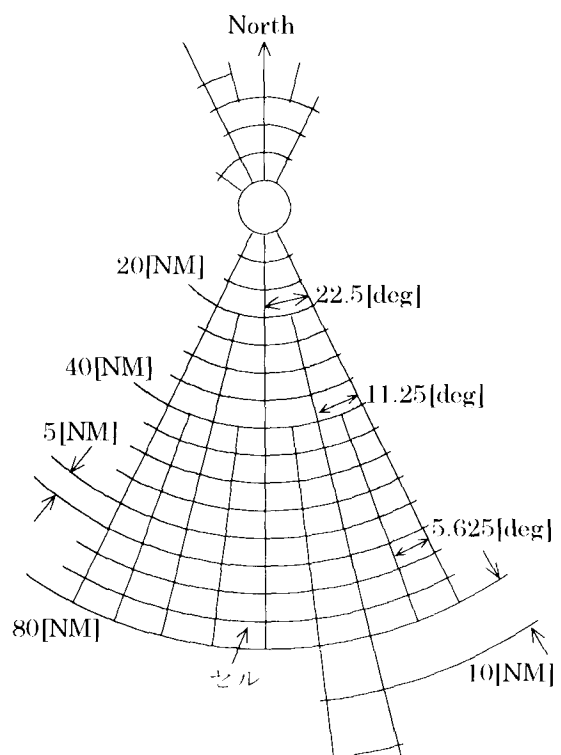


図 2 覆域マップ

(3) 航空機情報の転送

航空機が覆域境界を通過して割り当てセンサが変わる場合、新たな割り当てセンサに航空機情報(トラックデータ)が転送される。トラックデータには航空機のアドレス、位置および速度等の情報が含まれており、新たな割り当てセンサは、この情報をもとに航空機追尾を開始するので、効率的に連続した監視を行うことができる。

また、センサにコストが発生した場合、他の割り当てセンサからコストした航空機のトラックデータが転送されるので、航空機の監視を継続することができる。

当所の評価システムでは、トラックデータの転送は、各センサが管理している割り当てセンサ情報を基に GDLP により制御される。

(4) データリンクメッセージの転送制御

GDLP は、センサより送られてくる航空機情報に基づきアップリンクメッセージの転送ルートを決する。また、GDLP はメッセージの転送ルート情報を ADLP に通知する。ADLP はこのルート情報に基づいてダウンリンクメッセージの送信ルートを決する。ADLP よりルート情報の更新要求があった場合は、GDLP はルート情報を ADLP に通知する。メッセージの送信が失敗した場合、送信ルートを変更してメッセージの再送を実行する。

当所の評価システムでは、ターゲットに対して優先順位の最も高いセンサ(プライマリセンサ)がアップリンクメッセージの送信、およびダウンリンクメッセージの受信を行うようにした。

(5) 障害発生時の処理

センサに障害が発生した場合、他の割り当てセンサが覆域を拡大して、障害センサの覆域における監視とデータ通信を代行する。また、障害センサが復旧した場合、GDLP は復旧したセンサとターゲット情報の整合を取り、不整合となったターゲットに対しては、他の割り当てセンサよりトラックデータが転送され、復旧したセンサが迅速にターゲットを捕捉できるようにする。このように、センサ間で相互にバックアップすることで、監視とデータ通信の信頼性を高めることができる。

2.2.2 モード S 固有サービス

モード S 固有サービスでは、以下の 3 種類のプロトコルが用意されている。

(1) 地上喚起ダウンリンク (GICB)

GICB はリアルタイムでの情報送信を実現するために開発されたプロトコルで、航空管制に必要な機上データを迅速に取得する場合に利用される。ヨーロッパでは、GICB を利用して航空機の位置、速度、機首方向等の機上データをダウンリンクし、航空機の位置予測精度を高め、監視機能を強化する DAPs (Downlinked Aircraft Parameters) の評価計画を進めている。

(2) モード S 固有プロトコル (MSP)

MSP は ISO8208 の手順を簡易化することで最小のオーバーヘッドでデータを転送し、最小の遅延によりリアルタイムの情報送信を実行するプロトコルである。MSP は、モード S で取得した航空機周辺の交通状況をアップリンクしてパイロットに周辺の航空交通状況を把握させる TIS (Traffic Information Service) 等に利用されている。

(3) ブロードキャスト (放送)

放送にはアップリンク放送とダウンリンク放送がある。アップリンク放送は、覆域内の多数の航空機に同時にアップリンクメッセージを送信できるプロトコルで、DGPS の補正情報の送信等に利用することが考えられている。ダウンリンク放送は、当該航空機を監視する複数のセンサに同時にダウンリンクメッセージを送信することができるプロトコルで、航空機のデータリンク能力および航空機識別符号(コールサイン)の変更通知等に利用される。

3. モード S ネットワーク評価システム

図 3 に当所が開発したモード S ネットワーク評価システムの構成を示す。本システムでは、モード S センサの他、複数のセンサの機能を模擬できる擬似モード S センサを用いてネットワーク環境を形成している。マルチサイトターゲットシミュレータ(以下ターゲットシミュレータという)により模擬ターゲットを発生させ、シミュレーションによる評価試験を行った。以下に各装置の機能を説明する。

(1)モード S センサ

質問応答の送受信、応答の信号処理、監視処理、データリンク処理、およびネットワーク管理等を行う。ネットワーク管理では、覆域マップの管理、トラックデータの転送等を行う。

(2)擬似モード S センサ

複数センサによるネットワーク環境を実現するためにセンサの機能を模擬する。本装置では、ネットワーク管理の機能試験を行うために、アップリンク送信の失敗模擬、センサ障害の模擬等を行えるようにした。

(3) 地上データリンク処理装置

地上データリンク処理装置は、ICAO が定めたモード S ネットワークの規定に従って、ネットワーク管理、モード S 固有サービス等の機能を実行する。ネットワーク管理では、センサプライオリティの決定、航空機情報の転送制御、データリンクメッセージの転送制御等を行う。

(4)マルチサイトターゲットシミュレータ

模擬ターゲットの発生および機上データリンク処理装置の機能模擬等を行い、マルチサイト環境下における模擬ターゲットの移動およびデータ通信を制御する。本装置では、シナリオ管理、データリンクメッセージの送受信制御、ロックアウト管理、ルート情報管理等を行う。

(5)ターゲット関連装置

複数センサから送られてくる監視情報を選択し、ターゲットを共通画面に表示させるために監視データの座標変換を行う。

(6)その他の装置

レーダ表示装置は監視情報に基づいてレーダ画面にターゲットを表示する。データ入出力装置はアップリンクメッセージの入力およびダウンリンクメッセージの表示を行う。データ収集装置は各センサより送られてくる監視情報およびデータ通信情報を収集する。データ解析装置は収集したデータよりターゲットの航跡表示やネットワークの性能解析等を行う。

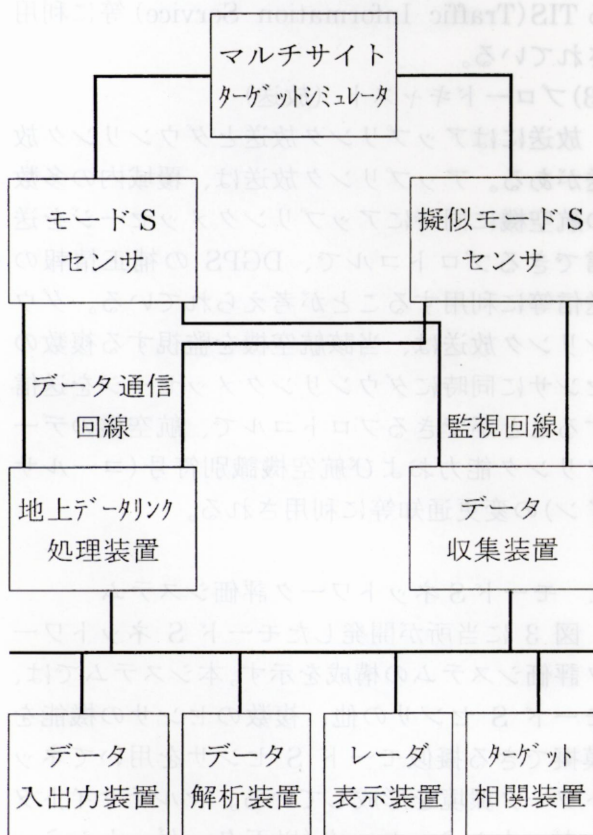


図3 ネットワーク評価システムの構成

4. 評価試験

当所で行ったモード S ネットワークの機能試験および性能試験の結果を示す。図4に重複覆域の形成状況および割り当てセンサを表す覆域マップを示す。図中、各エリアのリストはセンサの割り当てを示し、上段が優先順位の高いセンサである。最大覆域は200NMである。

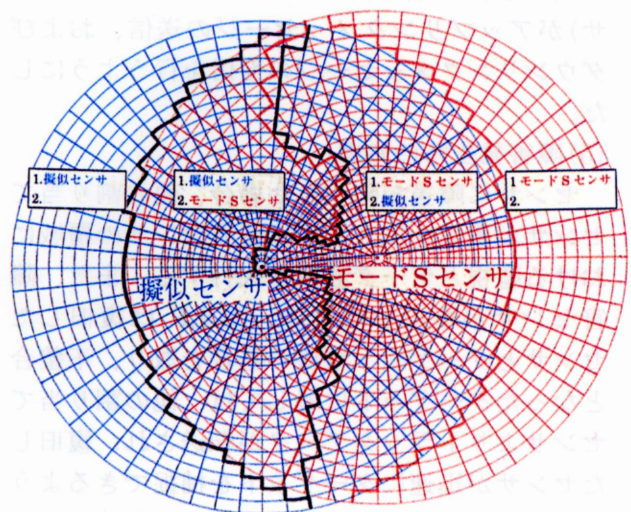


図4 評価試験に用いた覆域マップ

4.1 機能試験

4.1.1 連続的な航空機監視

本試験では、トラック移送およびトラック補完等、航空機情報の転送制御に関するネットワークの諸機能を確認した。図5(a)(b)に本試験におけるネットワーク制御メッセージ等の流れを示す。

(1)トラック移送

ターゲットがモード S センサの覆域に進入して、擬似センサにおいてモード S センサが新たに割り当てセンサに追加されると、GDLP が擬似センサにトラックデータの転送を要求する。移送されたトラックデータによりモード S センサがターゲットを捕捉すると、GDLP は擬似センサに対してトラックデータの転送中止を要求する。

(2)トラック補完

ターゲットシミュレータによりコーストを開

始させ、モード S センサがコースト発生を GDLP に通知すると、GDLP は擬似センサに対して、コースト状態であるターゲットのトラックデータをモード S センサに補完するように要求する。モード S センサは補完されたトラックデータにより当該ターゲットの監視を継続し、コーストが解除されると、当該ターゲットを再捕捉する。

4.1.2 効率的な空地データ通信

本試験では、アップリンクおよびダウンリンク等、データリンクメッセージの転送制御に関するネットワークの諸機能を確認した。図6(a)(b)に本試験におけるネットワーク制御メッセージ等の流れを示す。

(1)アップリンク

データ入出力装置によりターゲットに対して

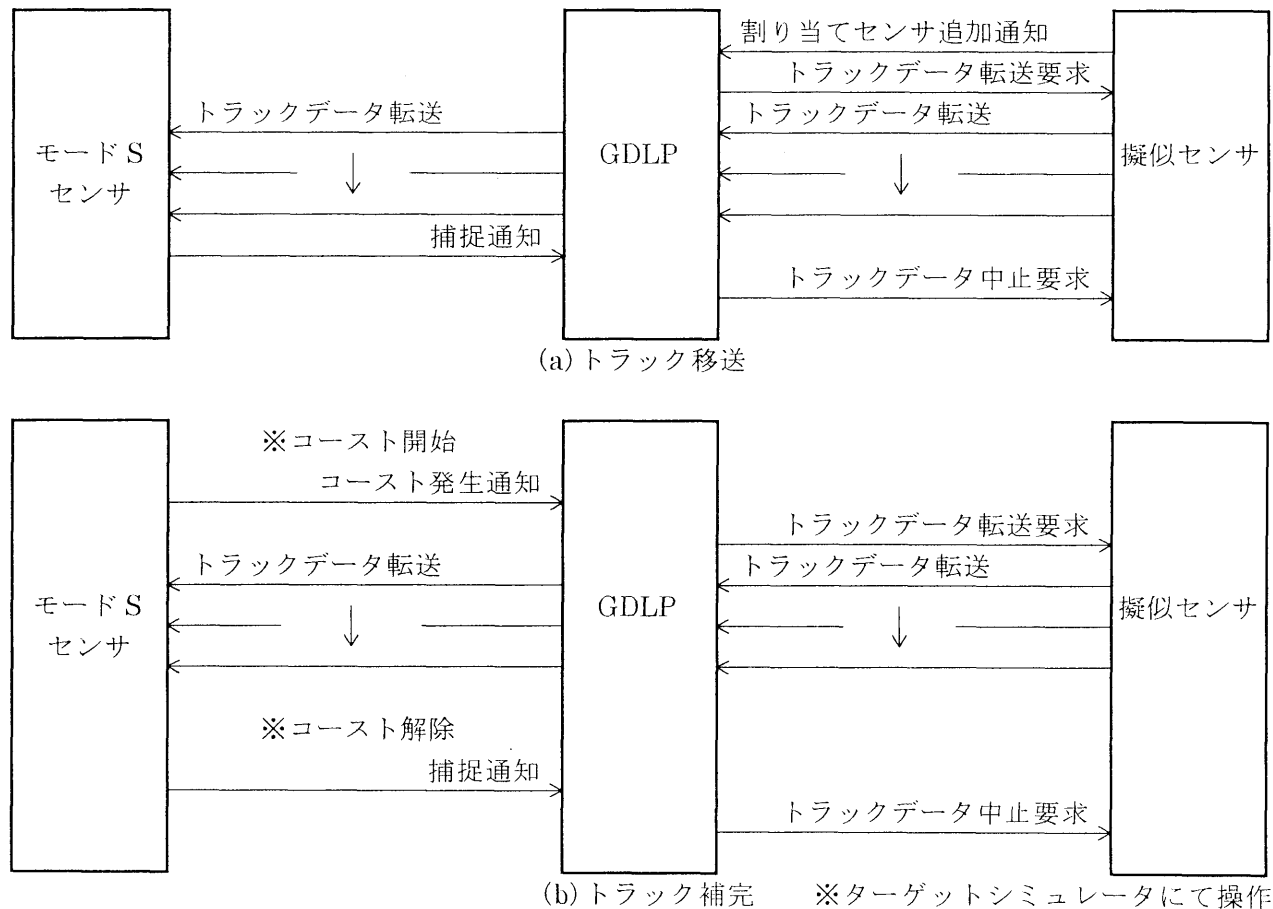


図5 航空機情報の転送制御に関するネットワーク制御メッセージの流れ

アップリンクメッセージを送信すると、当該ターゲットに対してプライマリであるモード S センサ経由で、ターゲットシミュレータがメッセージを受信する。境界通過によるセンサの割り当て順位の変動により、プライマリセンサが擬似センサに切り替わった後にアップリンクメッセージを送信すると、ターゲットシミュレータは擬似センサ経由でメッセージを受信する。擬似センサにおいてアップリンク送信の失敗を模擬させると、GDLP はモード S センサをプライマリに切り換えて、モード S センサ経由でメッセージが再送される。

(2) ダウンリンク

擬似センサが新たにターゲットを捕捉し、メッセージの転送ルートが増えると、GDLP より当該ターゲットに対してルート情報が転送される。当該ターゲットはこのルート情報に基づいてダウンリンクメッセージを送信する。ターゲットシミュレータよりルート情報更新要求が送信されると、GDLP が当該ターゲットに対してルート情報を送信する。

4.1.3 相互バックアップによる信頼性の向上

本試験では、センサ障害時の処理および障害復旧時の処理等、障害発生時の処理に関するネ

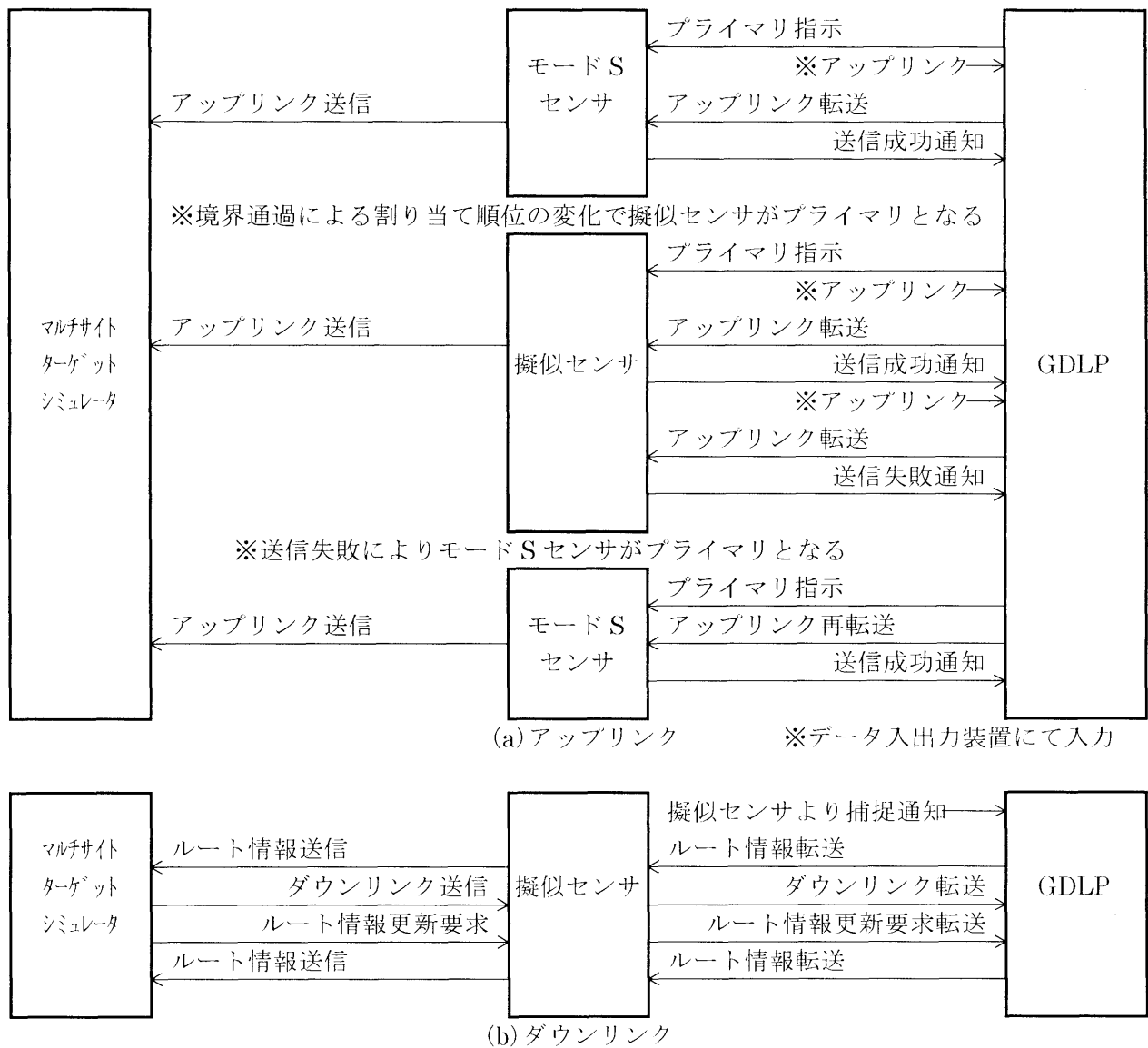


図6 データリンクメッセージの転送制御に関するネットワーク制御メッセージの流れ

ネットワークの諸機能を確認した。図7(a)(b)に本試験におけるネットワーク制御メッセージ等の流れを示す。

(1) センサ障害時の処理

擬似センサに障害が発生すると、GDLPがモードSセンサにセンサ障害発生を通知し、モードSセンサが覆域を拡大して、当該覆域における監視およびデータ通信を継続する。

(2) 障害復旧時の処理

擬似センサの障害が復旧すると、GDLPが擬似センサに対してターゲット情報を要求し、情報の整合を取る。不整合となったターゲットに対しては、GDLPがモードSセンサにトラックデータの転送を要求し、擬似センサは転送されたトラックデータによりターゲットを捕捉する。

4.1.4 モードS固有サービス

本試験では、GICBプロトコル、モードS固有プロトコル、放送プロトコルについて、データ入出力装置とマルチサイトターゲットシミュレータとの間で空地データ通信を行い、各プロトコルが正常に機能していることを確認した。

4.2 性能試験

(1) トラック補完による再捕捉時間の比較

ネットワークを用いて運用すると、センサにコーストが発生した場合、隣接センサよりトラックデータが補完され、コースト状態であるターゲットの監視を継続できる。コーストを解除してから個別質問に移るまでの時間を、ネットワークを用いて運用した場合と単独で運用した場合とで比較した。

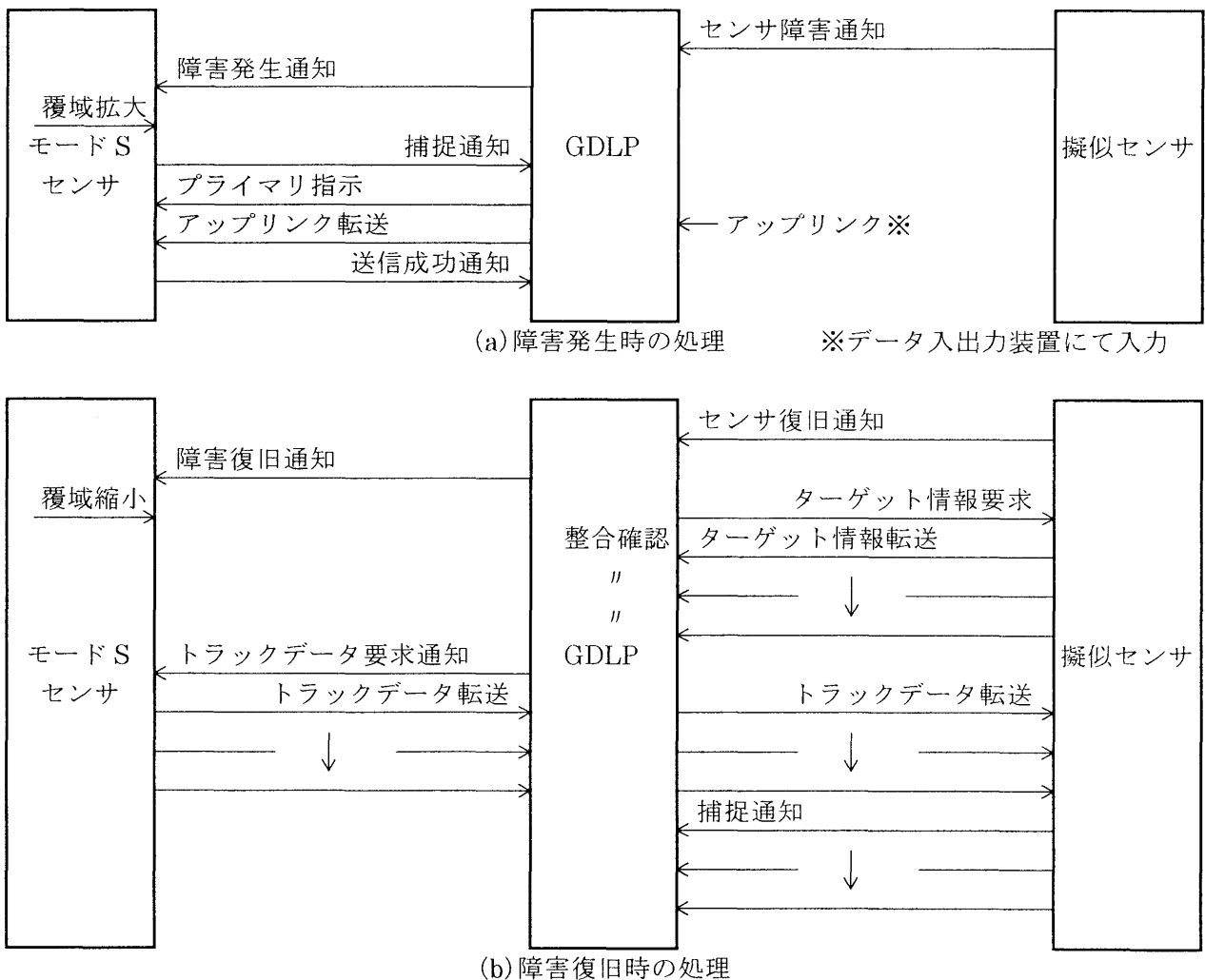


図7 障害発生時の処理に関するネットワーク制御メッセージの流れ

表1に試験結果を示す。対象機数は32機である。ネットワークを用いて運用した場合は、平均約8秒で個別質問に移行しているが、単独で運用した場合は平均約12秒で移行する結果となった。これより、ネットワークを用いて運用すると、コーストした航空機を素早く再捕捉でき、信頼性の高い運用を行えることが分かる。

(2) センサ復旧後のターゲット捕捉時間の比較

ネットワークを用いて運用すると、障害センサが復旧した場合、隣接センサがトラックデータを転送して、ターゲットの捕捉をサポートする。障害センサを復旧させ、復旧してから覆域内の全てのターゲットが個別質問に移るまでの時間を、ネットワークを用いて運用した場合と単独で運用した場合とで比較した。

表2に試験結果を示す。対象機数は16機である。ネットワークを用いて運用した場合は、13秒で全ターゲットが個別質問に移行しているが、単独で運用した場合は、約28秒で全ターゲットが移行する結果となった。これより、ネットワークを用いて運用すると、障害センサが復旧した後、迅速に航空機を捕捉できるので、効率的な運用を行えることが分かる。

これらの性能試験の結果より、SSRモードSはネットワークを用いた場合のほうが、効率的で信頼性の高い運用を行えることが分かる。

5. まとめ

本報告では、モードSネットワークの概要

表1 トラック補完による再捕捉時間の比較

	ネットワーク	単独運用
総機数	32機	32機
最小値	4.240[s]	9.240[s]
最大値	14.710[s]	16.200[s]
平均値	8.488[s]	12.632[s]

表2 センサ復旧後の捕捉時間の比較

	ネットワーク	単独運用
総機数	16機	16機
最小値	12.200[s]	12.310[s]
最大値	13.000[s]	28.470[s]
平均値	12.663[s]	19.001[s]

を述べ、当所が開発したネットワーク評価システムを説明し、ネットワークの機能および性能に関する評価試験結果を示した。機能試験では、ネットワーク管理およびモードS固有サービス等、ネットワークの諸機能が正常に機能していることが確認できた。性能試験では、SSRモードSはネットワーク化を図ることにより、効率的で信頼性の高い運用を行えることが分かった。今後は、ネットワーク化によるメッセージ転送率の向上、およびフルツ干涉の軽減等の性能試験を行い、ネットワーク環境下におけるモードSの性能を把握して、我が国の航空管制に適合したSSRモードSの検討を進めていく計画である。

[参考文献]

- (1) ICAO: Aeronautical Telecommunications Annex10 Volume4 (SURVEILLANCE RADAR AND COLLISION AVOIDANCE SYSTEMS), 1998
- (2) 三吉襄、宮崎裕己、古賀禎：SSRモードSシステムの研究その1 モードSシステムの開発と監視機能の評価試験について、要望研究報告、平成12年9月
- (3) 宮崎裕己、三吉襄、古賀禎：SSRモードSの開発と監視機能の評価試験、電子航法研究所報告、N0.92、1999年1月
- (4) 古賀禎、三吉襄、宮崎裕己：SSRモードSのデータリンク評価試験の結果について、電子航法研究所報告、N0.96、2001年1月
- (5) 古賀禎、三吉襄、宮崎裕己：SSRモードSシステムの研究その2 データリンク機能とその評価試験について、要望研究報告、平成13年2月
- (6) 宮崎裕己、三吉襄、古賀禎：SSRモードSネットワークの開発について、第31回電子航法研究所研究発表会講演概要、平成11年6月、pp.29-32
- (7) ICAO: Aeronautical Telecommunications Annex10 Volume3 (PART1-DIGITAL DATA COMMUNICATION SYSTEMS), Chapter5, 1995
- (8) ICAO: Manual of The Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems, Doc 9684, 1998
- (9) ICAO: Manual on Mode S Specific Service, Doc 9688-AN/952, 1997