

10. SSR モード S による航空機動態情報の取得について

航空交通管理領域 ※瀬之口 敦， 機上等技術領域 古賀 禎， 上島 一彦

1. はじめに

SSR（二次監視レーダ；Secondary Surveillance Radar）モード S は、監視性能の向上に加えてデータリンク機能を有する新しい航空管制用レーダである。モード S データリンク機能の活用に関して、欧州を中心に航空機の動態情報の取得技術（DAPs；Downlink Aircraft Parameters）が検討されている。欧州空域を飛行する航空機に対しては DAPs 対応のトランスポンダ搭載が義務付けられており、約 93%（平成 21 年 9 月現在）の航空機が DAPs に対応している[1]。

欧州における義務化や新型機材の導入・更新等により、本邦空域を飛行する航空機に関しても DAPs 対応機が増加している。電子航法研究所では、将来の動態情報の活用に備え、データリンク機能を有する SSR モード S を開発し、その性能や効果の検証を開始した。

本報告では、動態情報の取得技術と実験システムの概要を述べる。次いで、欧州におけるモード S 拡張監視（EHS；Enhanced Surveillance）の動態情報群であり、航空機を選択垂直方向意図を表す GICB 40 の内容を紹介する。また、航空機の GICB 40 対応状況の解析結果について報告する。

2. 概要

2.1. 動態情報の取得技術

航空機の動態情報とは、時々刻々と変化する機上のセンサやシステムの出力情報である。

モード S システムにおいては、GICB（地上喚起 Comm-B；Ground Initiated Communication-B）プロトコルを使用することにより、機上から地上へ動態情報をダウンリンクすることが可能である[2][3]。機上のトランスポンダにおける 255 個の記憶領域（GICB レジスタ）へのアクセスにより、地上からの要求に対応した GICB レジスタのデータ（56 ビット長）が返信される。

表 1 に GICB レジスタの登録内容の一部（5 項目）を示す。複数の関連する動態情報が分類

され、登録されている。GICB レジスタのデータは周期的に更新され、常に最新である。

リアルタイム性の高いモード S からの動態情報は、レーダ画面上に表示させることにより、管制官の航空交通状況の認識を向上させることが期待できる[4]。また、航空機のコンフリクト予測検出に活用する等、管制支援システムの機能向上が期待される[5]。

2.2. 実験システム

電子航法研究所が開発した実験システムは、モード S 地上局本体、GICB コントローラ、レーダ情報表示装置から構成される[6]。

モード S 地上局は調布本所内に位置しており、最大 250 NM 遠方の航空機を監視可能である（飛行高度 40000 ft の場合）。回転周期は 10 秒である。

GICB コントローラは、図 1 に示す要求手順に従って GICB レジスタのデータをダウンリンクする。初期捕捉の段階で、航空機のデータリンク能力通報（GICB 10）とその詳細の GICB 17（一般 GICB 能力通報）を把握する。主要な動態情報群である GICB 05、40、50、60 のデータリンク能力を航空機が有する場合、それらをレーダ周期毎に連続して取得する。なお、システム負荷を検討するため、現状においては取得を行う航空機の最大数 N を 20 機程度に制限している。

表 1 GICB 17 モニタ結果

GICB 番号	データ内容	機数	対応率
05	拡張スキット航空機位置	1,554	69.2%
20	航空機識別	1,719	76.5%
40	選択垂直方向意図	1,672	74.4%
50	航跡・旋回通報	1,714	76.3%
60	機首方位・速度通報	1,682	74.9%

注) 平成 22 年 3 月における 2,246 機の異なるモード S トランスポンダ搭載機について。

レーダ情報表示装置は航空機の位置情報に加

えて、取得した動態情報をリアルタイムに表示する。図 2 に表示例を示す。図 2 上側の航空機シンボルは欧州のモード S 基本監視（ELS；Elementary Surveillance）に対応しており、モード S アドレス（ABCA08）と気圧高度（145 [FL]）に加え、コールサイン（NWA28）を表示している。下側の航空機シンボルは拡張監視に対応しており、さらに追加で選択高度（060 [FL]）、対地速度（214 [kt]）、指示対気速度（209 [kt]）、機首磁方位（230 [deg]）を表示している。

3. GICB 40

GICB 40（選択垂直方向意図）の動態情報群は、航空機のコンフリクト予測検出を改善する等を目的として、管制官への戦術に関する付加情報として、航空機の垂直方向に関する意図情報を提供するものである。

表 2 に GICB 40 の内容を示す[7]。GICB 40 は

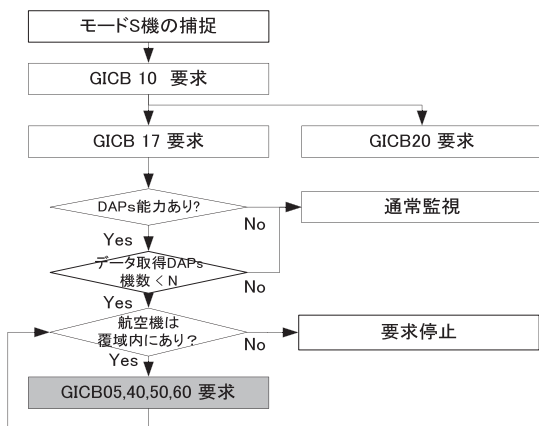


図 1 GICB コントローラの要求手順

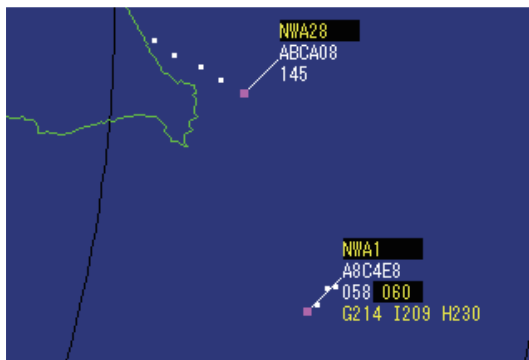


図 2 電子研の動態情報表示例

5 つの動態情報（MCP/FCU 選択高度、FMS 選

択高度、気圧設定、MCP/FCU モードビット、目標高度情報源ビット）を含む。

4. GICB 40 対応状況の解析結果

4.1. モニタ結果

平成 22 年 3 月に GICB 40 をモニタした結果について、表 3 に示す。

MCP/FCU 選択高度について、1,483 機から有効なデータが取得された。航空機が GICB 40 に対応する場合、MCP/FCU 選択高度の利用が期待できるものと考えられる。

FMS 選択高度について、445 機から有効なデータが取得された。また、MCP/FCU 選択高度と FMS 選択高度が同時に有効となる状態が 443 機に認められた。

MCP/FCU モードビットに関して、127 機から有効なデータが取得された。また、データのダウンリンクには連続性が認められた。データの示す内容は ALT HOLD モードのみ有効の状態、Approach モードのみ有効の状態、全てのモードが無効の 3 パターンであった。ALT HOLD モードは高度一定時に（一定値に漸近する場合あり）、Approach モードは低高度での降下時に認められた。

目標高度情報源ビットに関して、1 機からのみ有効なデータが取得された。データの内容は目標高度が MCP/FCU 選択高度であることを示したが、その時の MCP/FCU 選択高度は無効であった。

4.2. データ値の検証

モード S 地上局にて取得した GICB 40 のデー

表 3 GICB 40 モニタ結果

動態情報名	機数	有効データ取得率
MCP/FCU 選択高度	1,483	98.3%
FMS 選択高度	445	29.5%
気圧設定	1,129	74.8%
MCP/FCU モードビット	127	8.4%
目標高度情報源ビット	1	0.1%

注) 平成 22 年 3 月における 1,509 機の異なる GICB 40 対応機について。

表 2 GICB 40（選択垂直方向意図）の内容 [7]

動態情報名	範囲	解説
MCP/FCU 選択高度	0～65520 ft (16 ft 刻み)	パイロットにより MCP/FCU (Boeing/Airbus 系の飛行制御盤; Mode Control Panel/Flight Control Unit) 上で設定される高度を指し、多くの場合は管制官からの承認高度と同じく設定される。選択可能な垂直方向のモード（上昇・降下率一定 V/S、所与の速度による高度変更 FL CH、FMS による垂直経路 VNAV）を使用して MCP/FCU 選択高度に達するまで上昇・降下し、ALT HOLD モードを使用して MCP/FCU 選択高度を維持する。承認高度がパイロットに正しく理解され、機上システムに入力されたかを確認するための、復唱の補完情報として用いられる。
FMS 選択高度	0～65520 ft (16 ft 刻み)	FMS により計算された選択高度の制約を指す。例えば、VNAV モードが選択された場合に使用される。航空機は MCP/FCU 選択高度を違反してはならないので、MCP/FCU 選択高度は常に FMS 選択高度より優先される。
気圧設定	800～1210 mb (0.1 mb 刻み)	高高度、および洋上の管制で用いられる QNE の場合 1013.25 mb。
MCP/FCU モードビット	3 モード（VNAV・ALT HOLD・APPROACH）に関するビット	VNAV（最高水準の垂直経路の自動化であり、燃料の経済性を最大化する）、ALT HOLD、Approach（ILS ローカライザ・グライドスロープの捕捉モード）の各モードの有効・無効を指す。
目標高度情報源ビット	MCP/FCU 選択高度・FMS 選択高度・現在高度・不明のいずれか	目標高度とは、上昇・降下の場合にはレベルオフする次の高度、飛行高度を維持しようとしている場合にはその時点での意図高度を指す。MCP/FCU 選択高度が現在高度と FMS 選択高度の間ならば、目標高度は MCP/FCU 選択高度。VNAV モードが使用され、先の場合に該当しなければ、目標高度は FMS 選択高度。ALT HOLD モードが選択され、現在高度がどちらの選択高度にも等しくなければ、目標高度は現在高度。

注) 全ての動態情報に対して、ダウンリンク時のデータ値のその有効・無効を示すビットが存在する。

目標高度と関連する飛行モードは短期コンフリクト警報の誤発生率の減少に寄与する。目標高度と現在の飛行モードを決定するための情報は、現状の機上装備において、必ずしもトランスポンダへ提供可能ではなく、加えてプラットフォームへの高い依存性がある。ゆえに、誤った情報を通信するよりは、該当する情報のビットを 0 に設定することが望ましい。

表 4 モード S 取得値と機上記録値との差

動態情報名	最小分解能	B747-400		B737-800①		B737-800②	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
MCP/FCU 選択高度	16 ft	37 ft	271 ft	2 ft	6 ft	10 ft	92 ft
気圧設定	0.1 mb	0.1 mb	0.1 mb	0.0 mb	0.0 mb	0.0 mb	0.4 mb

タについて、航空機の QAR（Quick Access Recorder）に記録された実際の GICB 40 機上値と比較し、正しい動態情報の値を取得できているかどうか確認した。QAR には飛行中の様々な動態情報が周期的に記録されるため、こちらを真値として取り扱った。

GICB 40 に関するモード S 取得値と機上記録値との差について、表 4 にまとめる。異なる 3 機体について、4 回分の飛行におけるモード S 取得値と機上記録値の差の絶対値の平均と標準偏差をとった。なお、表 3 の結果より対応状況を考慮して、FMS 選択高度、MCP/FCU モード

ビット、目標高度情報源ビットのモード S 取得値は比較から除外した。

MCP/FCU 選択高度に関して、どの機体においてもその平均は小さい。また、B747-400 と B737-800②の標準偏差は大きい。これは、選択高度が遷移する際に取得値と機上値に大きな差が発生することに起因する。また、選択高度が一定の部分では両者がよく一致する。図 4 に MCP/FCU 選択高度の時間変化を示す。青点はモード S 取得値、水色点は機上記録値である。緑点は取得値と機上値の差の絶対値を表す。管制が割り当てた承認高度との一致を確認する場

合など、モードSで取得したMCP/FCU選択高度の遷移遅れに留意する必要がある。

気圧設定に関して、気圧高度の最小分解能を考慮すれば、モードS取得値と機上記録値はよく一致する。図5に気圧設定の時間変化を示す。

5. まとめ

本報告では、動態情報の取得技術と実験システムの概要を述べた。次いで、GICB 40（選択垂直方向意図）の内容を紹介した。GICB 40をモニタした結果、航空機がGICB 40に対応する場合にはMCP/FCU選択高度の利用が期待できることがわかった。また、GICB 40のMCP/FCU選択高度と気圧設定についてモードS取得値と機上記録値を比較したところ、両者はよく一致した。管制が割り当てた承認高度との一致を確

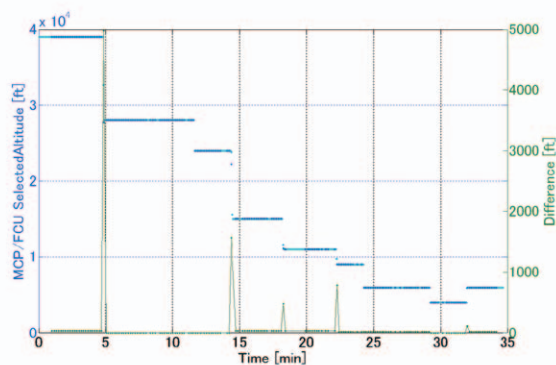


図4 MCP/FCU 選択高度

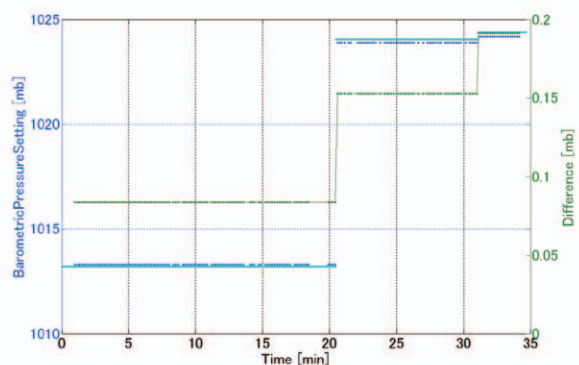


図5 気圧高度設定値

認する場合など、モードSで取得したMCP/FCU選択高度の遷移遅れに留意する必要がある。

航空機の動態情報の活用にあたっては、そのデータ値を確認する仕組みが重要である。今後は、動態情報間の関係性を利用してデータ値の品質をモニタする地上ベースのアプリケーション開発を行う予定である。

参考文献

- [1] E. Potter, “Eurocontrol Fleet Monitoring Report”, ICAO-ASP-WP07-20”, Sep. 2009.
- [2] ICAO, “Aeronautical Telecommunications - Surveillance Radar and Collision Avoidance Systems”, Annex 10, Vol. IV, Second edition, 1998.
- [3] ICAO, “Manual of the Secondary Surveillance Radar (SSR) Systems”, Doc 9684, Third edition, 2004.
- [4] Noud de Lang, “MUAC Mode S EHS Implementation Programme”, http://www.eurocontrol.int/corporate/public/event/081217_modes_infoday.html, Dec. 2008.
- [5] 瀬之口・福田, “航空機の動態情報を利用するコンフリクト検出手法の研究”, 電子航法研究所研究所報告第122号, 2009.
- [6] 古賀・瀬之口・上島・宮崎, “二次監視レーダ(SSR)モードSによる航空機の動態情報の取得技術について”, 第47回飛行機シンポジウム, 2B9, 2009.
- [7] ICAO, “Technical Provisions for Mode S Services and Extended Squitter”, Doc 9871, First edition, 2008.