

16. 監視システムの性能要件に関する一考察

機上等技術領域 ※小瀬木 滋，大津山 卓哉，古賀 禎 通信航法監視領域 住谷 泰人
航空交通管理領域 伊藤 恵理

1. はじめに

空域の航空交通状況の現状確認には、レーダ等の監視システムが使用されている。レーダ等の監視システムを用いて空域全体の状況認識能力を持つ管制官と目視による局所的監視のみが可能なパイロットを前提に、監視システムを用いる航空管制方式が定められてきている。

監視システムが新たに開発または改良された場合、航空管制に使用できるかどうかの評価が必要になる。従来と同じ航空管制方式を想定する場合、すべての性能指標において新しい監視システムが従来の監視システムと同等以上の性能を示すならば、新しい監視システムを使用できる。しかし、一部の性能指標が従来のシステムより低いが他の性能指標が非常に良好でこれを補える可能性がある場合についても、航空管制の可能性を判断する必要がある。

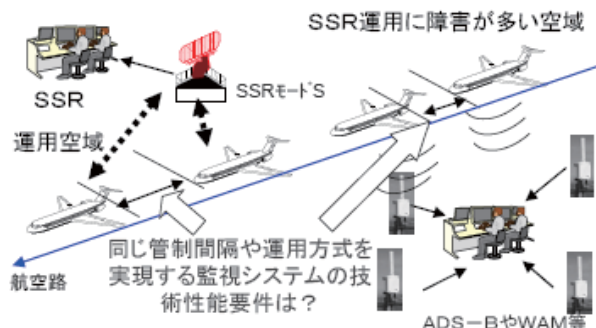


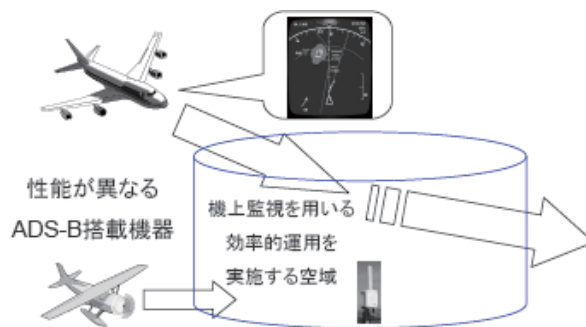
図 1. 新しい監視システムの導入

また、航空機トラジェクトリの精密な管理やパイロットによる航空機位置の相互監視など、新しい運用方式の導入の前に、使用する監視システムに求められる性能を知る必要がある。

これらのため、想定する運用方式のための運用性能要件から監視システムの測定精度や信頼性指標など技術性能要件を求める必要がある。

本稿では、運用方式、運用性能要件、技術性能要件の関係に関する考察結果をまとめる。また、運用方式や運用性能要件から技術性能要件を求める例として、航空機位置の相互監視を例

にした検討状況を報告する。



搭載機器の技術性能により空域に入れるかどうかを判断

図 2. 新しい運用方式の導入

2. 監視システムの性能要件

2.1. 運用方式と運用性能要件の現状

ICAO は、空域運用の方法として PANS-ATM (Doc.4444)、および、航空機運用の方法として PANS-OPS (Doc.8168) を定めている。ICAO は、既存の運用方式から将来の運用方式への移行について、Global Air Traffic Management Operational Concept (Doc.9854) を発表した[1]。また、航空交通施設整備に関する将来計画を含む米国 FAA の NextGEN や欧州 EUROCONTROL の SESAR には、性能ベースの運用 Performance Based Operation の提案も見られる。SESAR D2 報告書では、性能目標の設定とそれを満たすシステムの実現を求めている[2]。

さらに、ICAO は、ATM システムの要件について Manual on Air Traffic Management System Requirements (Doc.9882) を発表した[3]。この文書は、ATM システムの全体像や要件を定める指針を示す。配慮すべき観点には、安全性 Safety、保安性 Security、経済性 Cost-Effectiveness、利用の平等性 Access and Equity、容量 Capacity、環境 Environment、可予測性 Predictability、関係者の参加 Community Participation、柔軟性 Flexibility、効率 Efficiency、全世界的共用性 Global Interoperability を挙げている。また、システム設計や工学的配慮にも、共用性とシーム

レスさとインフラ Interoperability, Seamlessness, and Infrastructure、人間工学的設計と自動化 Human Design and Automation、周波数割当 Spectrum、航空機設計 Aircraft Design を配慮するよう求めている。しかし、それぞれの詳細な具体的な要件を定めてはない。

具体的な運用性能要件については、RTCA と EUROCAE が多様な運用方式を想定しながら標準化を試みている。両規格団体が合同で運営する ASA / GSA - RFG (Airborne Surveillance Application / Ground Surveillance Application – Requirement Focus Group) 会議が ADS-B 監視方式の活用について作業を進め、航空管制や航空機位置の相互監視など想定する運用方式毎に、SPIR (Safety, Performance and Interoperability Requirements) をまとめている[4]。これまでに、表の運用方式が標準化されたが、運用評価前の暫定規格の段階にある。今後は、運用評価結果に応じて内容が再調整される見込みである。

表 1. 標準化された機上監視応用方式

運用方式名称	概要
ATSA-ITP	In-Trail Procedure : 洋上等遠隔地で高度変更支援
ATSA-VSA	Visual Separation Approach : 目視着陸支援
ATSA-AIRB	Airborne : 飛行中に相互監視
ATSA-SURF	Surface : 空港面で相互監視

表 2. 標準化された地上監視応用方式

運用方式名称	概要
ADS-B-NRA	Non-Radar Airspace : 非レーダ空域の ADS-B 管制
ADS-B-RAD	Radar Airspace : レーダ空域の ADS-B 管制
ADS-B-APT	Airport : 空港面の ADS-B 管制

SPIR は、運用方式や運用環境の定義 OSED (Operational Service and Environment Definition) を含む。さらに、OSED を元に、安全性の決定要因を定量的に記載した運用安全性分析 OSA (Operational Safety Analysis)、運用性能の決定要因を定量的に記載した運用性能分析 OPA (Operational Performance Analysis)、運用方式実現の条件となる共用性要件 INTEROP (Interoperability Requirements) を SPIR に含む。

2.2. 監視システムの性能指標の表現

運用要件から求められた技術性能要件に記載される性能指標は、運用要件との関係が明確になるように選択して記載すべきである。また、技術性能要件をもとに、各方式の監視システムについて性能指標を表現し直すことで検査が容易な仕様書が得られる。

例えば、航空路の航空管制の運用要件である安全性を満たすかどうかを判断するためには、航空路の方向（縦方向）、横方向、上下方向の航空機位置誤差が必要である。一方で、監視システムの測定位置誤差は、測定値を直接検査できるように、レーダの場合はレーダからの距離、方位、高度方向成分、ADS-B の場合は水平面内と高度方向成分として表現される。

3. 航空機相互監視の例

本稿では、まだ実現していない運用方式である飛行中の相互監視 ATSA-AIRB について考察する。この運用方式の SPIR は、RTCA DO-319 に記載されている。また、この文書の OPA や OSA は、搭載監視システムに ADS-B を使用する場合について記載している。

本稿では、特に、相手機方位や距離など交通情報提供機能の性能について、運用要件から TIS-B 用地上監視装置の技術性能要件を求める例を示す。

3.1. 想定する運用要件

現在、パイロットが航空機の位置関係を相互確認するための監視は、目視で行われている。機上監視装置を活用し、目視監視を支援するため相手機の方位情報、高度差、識別情報を提供する事例について考える。この運用方式は管制方式を変更しないため、機上のみを考察する。

機上監視装置は、パイロットに水平面内の航空機位置関係を表示する。また、可能なならば、周辺機の高度、速度、飛行方向などを表示する。また、パイロットからの要請により識別情報や速度の値を可能な範囲で表示する。

航法性能や無線機器など ATSA-AIRB 運用を実施する航空機に関する想定事項は、ADS-B の利用を想定した RTCA DO-319 に記載されてい

る条件と同じとする。ADS-B-IN と同じ性能を TIS-B-IN に想定する。

3.2. 運用要件と測定誤差の関係

DO-319 の運用性能要件の例を表に示す。表の SPR は安全性や運用性能要件の番号を示す。

表 3 運用性能要件

要件	運用性能要件
SPR.29	相手機方位の表示分解能 $\leq \pm 5^\circ$
SPR.32	相手機速度の表示分解能 $\leq \pm 10\text{kts}$
SPR.34	送信位置情報 1 - Integrity $< 0.001/\text{Flt hour}$
SPR.35	受信処理情報 1 - Integrity $< 0.001/\text{Flt hour}$

3.2.1. ADS-B 監視の例

自機および ADS-B 情報を送信する相手機について SPIR の想定と運用性能要件を表に示す。表の Assump-OPA は OPA の想定事項を示す。表の SPR はそのまま ADS-B 監視の技術性能要件として使える表記方法である。

表 4 情報源の想定事項

想定	想定事項
Assump-OPA.3	自機飛行方向誤差 $\leq 5^\circ$ 95%
Assump-OPA.12	相手機位置測定周期：1 s
Assump-OPA.13	位置送信 Latency：1.5s 95%
Assump-OPA.14	位置受信周期 $\leq 3\text{s}$ 95% @ 5NM

表 5 監視情報に関する運用性能要件

要件	相手機の運用性能要件
SPR.39	相手機 $dR \leq 0.5\text{NM}$ 95% (NACp>5)
SPR.40	自機 $dR \leq 0.5\text{NM}$ 95%
SPR.41	相手機 $dV \leq 19.4\text{kts}$ 95% (NACv>1)
SPR.42	自機 $dV \leq 19.4\text{kts}$ 95%
SPR.43	相手機表示方位誤差 $\leq 25^\circ$ 95%

ただし、 dR は水平面内位置誤差、 dV は水平面内速度誤差

3.2.2. TIS-B 監視の例

地上に固定アンテナを用いる高更新レートの簡易な二次レーダや WAM を設置して監視情報支援が必要な特定の空域を監視し、その情報を TIS-B で送信する場合を考える。位置情報の更新周期や Latency は比較的自由に調整可能であるため、ADS-B と同じ条件に設定したと想定

し、ここでは位置測定精度について考察する。

監視情報を受信する航空機の条件 (SPR.40 と SPR.42) は、ADS-B と TIS-B について共通である。このため、監視情報源の条件のみを考えれば十分である。ADS-B と同様に ATSA-AIRB を実現するためには、TIS-B が ADS-B と同等以上の性能を持つ (SPR.39 と SPR.41 を満たす)、または、別の設計バランスであっても最終的な運用目標 SPR.43 を満たす必要がある。

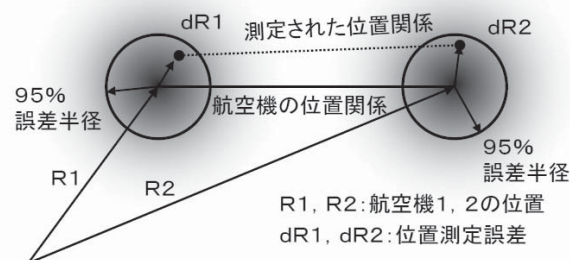


図 3 等方性二次元正規分布する位置測定誤差

SPR.39 にて等方性二次元正規分布を想定した誤差の 95% 値半径が 0.5NM であるため、距離や方位など特定の方向の成分については 0.4NM が 95% 値、標準偏差値は 0.2NM rms になる。なお、等方性二次元正規分布では、95% 半径の 2.45 分の 1 が標準偏差値である。

TIS-B 監視情報源を 1 カ所に設置して距離と方位を測定する場合、方位誤差に伴う位置誤差は遠距離になるほど大きくなる。このため、最大覆域にて発生する位置誤差から方位誤差を制限する必要がある。例えば、最大覆域 30NM にて要件 0.2NM rms を満たすためには、方位測定誤差は 0.0067 radian (0.38°) rms になる。

以上より、インタロゲータ方式の TIS-B 監視情報源について、運用性能要件 SPR.39 に相当する技術性能要件は、次のようになる。

- 距離誤差成分 $\leq 0.2 \text{ NM (370 m) rms}$
- 方位誤差成分 $\leq 0.38^\circ \text{ rms}$

SPR.41 の条件からも位置誤差成分を規定する必要がある。速度は 2 回の位置測定値間の距離を測定間隔時間 T で割って求められる。このとき、速度測定誤差の rms 値 dV_{rms} は、位置測定誤差の rms 値 dR_{rms} を用いて次のようになる

$$dV \text{ rms} = 1.41 dR_{rms} / T$$

SPR.41 が求める 95% 誤差から標準偏差を求

めると dV_{rms} は 4.1m/s になる。Assump-OPA.14 を参考に平滑時間の目安を 3 秒とすると、位置測定誤差 dR_{rms} は 21.3m となる。以上より、インタロゲータ方式の TIS-B 監視情報源について、運用性能要件 SPR.41 から換算された位置測定誤差の技術性能要件は次の値になる。

距離誤差成分 ≤ 0.011 NM (21.3 m) rms

方位誤差成分 $\leq 0.02^\circ$ rms

この例のように、複数の運用性能要件から異なる値の技術性能要件が求められる場合がある。この場合は、厳しい条件の方を技術性能要件として採用すべきである。

4. 今後の課題

4.1. 運用方式と運用性能要件の関係

本稿では、水平面内の測定精度に関する一部の要件しか考察していない。運用方式から運用性能要件を求める作業は、安全性や運用効率などを配慮した膨大な作業が必要となる。RFG 会議の成果である SPIR などの資料の活用が有効である。

4.2. 運用性能要件と技術性能要件の関係

TIS-B 監視情報源の例で示したように、多数の運用性能要件から多数の技術性能要件が算出されるため、適切な結果を選択する必要がある。

また、運用性能要件は、OPA や OSA の結果を基に定められる。このとき、想定される運用手順に応じて使用される監視情報の誤差や信頼性をもとに、運用安全性などが評価される。監視情報の誤差については、3.2.2. に示した例のように監視システムの測定方式を想定して誤差評価結果から技術性能要件を求められる。

一方、これまで作成された SPIR は、監視情報の信頼性指標に関する値が不明であったため、保守的な値を想定している。このため、監視情報の信頼性指標の技術性能要件は、主に運用安全評価の想定値が当面の値として用いられている。監視情報の信頼性の指標として、Availability（必要な時点で要件を満たす監視情報が得られる確率）、Continuity（必要な期間にわたって連続して監視情報が得られる確率）、Integrity（要件を満たさない監視情報を排除できる確率）な

どが知られている。

今後、監視情報の信頼性の指標については、実態調査により検証された適切なモデルを用いて OSA や技術性能要件を確認する必要がある。

4.3. 技術性能要件と機器要素性能の関係

位置の測定精度の例で示したように、方位測定精度などの機器要素性能を技術性能要件の項目にする必要がある。監視システムの測定原理に応じた技術性能要件の項目を整理し、運用性能要件との関係を明らかにしておく必要がある。

4.4. 技術性能要件の可測性

技術性能要件を定めても、測定不可能な項目では仕様書などに記載しても実現状況を確認できない。監視情報の Integrity など非常に低い確率値や直接の測定が困難な性能要件には、測定可能な項目を組み合わせる直接の測定に代える手法の開発が必要である。

5. まとめ

本報告では、SPIR の標準化動向を示し、そこに含まれる運用性能要件から技術性能要件を求める例を示すとともに、今後の課題を紹介した。

謝辞

本件の調査は、多くの皆様のご支援ご協力により実施されています。情報提供等ご協力くださいました関係各位に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] ICAO: "Global Air Traffic Management Operational Concept", Doc.9854, 2005
- [2] EUROCONTROL: "SESAR Definition Phase - Deliverable 2", DLM-0607-001-02-00a, 2006
- [3] ICAO: "Manual on Air Traffic Management System Requirements", Doc.9882, 2007
- [4] RTCA の SPIR は、DO-303 (ADS-B-NRA), DO-312 (ATSA-ITP), DO-314 (ATSA-VSA), DO-318 (ADS-B-RAD), DO-319 (ATSA-AIRB), DO-321 (ADS-B-APT), DO-322 (ATSA-SURF)
- [5] M. C. Stevens: "Secondary Surveillance Radar", p177, Artec House, 1988