

ASAS に関する研究・開発動向の調査報告

航空交通管理領域 ※伊藤 恵理

1. はじめに

ASAS (Airborne Separation Assistance System: 機上間隔維持支援システム) とは、フライトクルーに周囲の交通状況を提供することで飛行間隔維持を可能とする航空機システムのことである。将来的には ASAS の世界規模の適用が期待されており、欧米を中心とした研究開発が現在進行中である。そこで、2007 年度に実施した ASAS に関する研究・開発動向調査から得られた知見の一部をここにまとめる。

まず、ASAS の概念と、現在検討されている応用方式を説明する。そして、2007 年度に筆者が出席した ASAS-RFG(Requirement Focus Group)会議の趣旨と議論内容をまとめる。

筆者の出席した ASAS-RFG 会議は以下のとおりである。

- 12th ASAS-RFG 会議
期間：2007 年 7 月 10 日から 13 日
開催場所：アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 ケンブリッジ
- 14th ASAS-RFG 会議
期間：2008 年 1 月 22 日から 25 日
開催場所：アメリカ合衆国 フロリダ州 メルボルン

2. ASAS の概念

2.1 ASAS とその応用方式

2001 年 6 月、FAA と Eurocontrol が ASAS の運用に関して将来の展望を発表している[1]。文献[1]では、ASAS の概念と ASAS 応用方式 (ASAS Application) は以下のように定義されている。

- **ASAS** :
フライトクルーに、飛行間隔維持を可能とするよう周囲の交通情報を提供する航空機システム
- **ASAS 応用方式** :
定義した ASAS の運用目的を達成するために、フライトクルーと航空管制官に与える

運用手順

ASAS 応用方式は以下の 4 種類のコンセプトに分類される。

- **ATSA** (Airborne Traffic Situational Awareness applications: 航空交通状況認識を向上させる応用方式) :
空域と空港面において周囲の航空交通に関するフライトクルーの状況認識を高める。これによって、安全かつ効率的な飛行管理を目指す。機体間隔維持のタスクや責任の所在は現在と変わらない。
- **ASPA** (Airborne SPacing Applications : 航空機の間隔づけに関する応用方式) :
フライトクルーは、管制官の指示した航空機との間隔づけを行う。フライトクルーには新しいタスクが課されるが、距離間隔維持は管制官の責任下であり、適用される最小間隔は現在のままである。
- **ASEP** (Airborne SEParation applications : 航空機の距離間隔維持に関する応用方式) :
機体間隔保持の責任とタスクは、管制官からフライトクルーに移動する。ただし、管制官が指定した航空機、時間帯、空域等、限定された対象に関して、フライトクルーが間隔維持の責任を負う。これらの環境外では、機体間隔維持は管制官の責任である。
- **SSEP** (airborne Self-SEParation applications : 航空機が自律して距離間隔維持を行う応用方式) :
機体距離間隔の基準とルールに従い、フライトクルーが航空機の間隔維持を行う。

2.2 ASAS における Package とは

本節では、ASAS 研究・開発の展望を、文献[2]に基づいて説明する。文献[2]のタイトルにも入っているように、GS/AS とはそれぞれ Ground Surveillance (地上監視) /Airborne Surveillance (機上監視) に対応しており、応

用方式のコンセプトは、ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) 応用方式、TIS-B (Traffic Information Service-Broadcast) 応用方式、ASAS 応用方式のコンセプトとして認識される。ADS-B は GS/AS 応用方式を実現するために重要な役割を担うと考えられている。

GS/AS 応用方式は、さまざまな応用方式をセットにした“パッケージ (Package)”として扱われている。これは、GS/AS 応用方式が網羅する範囲が非常に大きいこと、これを実現するために機上と地上で対応した開発が必要になること、理由により、実用化のレベル別に機上と地上の応用方式をまとめて (パッケージ化して) いるからである。これまでに、Package 1, Package 2, Package 3 という 3 つの応用方式のセットが提案されている。

Package 1 は、今後 5 年から 10 年程度の間、実用化を目指すレベルの応用方式をまとめている。ユーザーの需要を見込んだ視点から ASPA に重点をおき (ASEP と SSEP は開発にさらなる時間がかかるため)、既存のシステムを大きく変える必要がなく、欧米においてすでにシミュレーションや実験が実施されており、産業としても市場が確保できる分野を対象としている。Package 1 が網羅する GS/AS 応用方式は以下の通りである。

Package 1 GS 応用方式

- **ADS-B-ACC** (ATC surveillance for en-route airspace: エンルートにおける航空管制監視)
- **ADS-B-TMA** (ATC surveillance in terminal areas: ターミナル領域における航空管制監視)
※ただし、後に ADS-B-ACC と ADS-B-TMA はまとめられ、ADS-B-RAD (ADS-B surveillance in radar airspace) となった。
- **ADS-B-NRA** (ATC surveillance in non-radar areas: ノーレーダー空域における航空管制監視)
- **ADS-B-APT** (Airport surface surveillance: 空港面での監視)
- **ADS-B-ADD** (Aircraft derived data for ground tools: 地上システムのために航空

機が送信するデータ)

Package 1 AS 応用方式

- **ATSA-SURF** (Enhanced traffic situational awareness on the airport surface: 空港面における交通の状況認識の向上)
- **ATSA-AIRB** (Enhanced traffic situational awareness during flight operations: 航空業務中の交通状況認識の向上)
- **ATSA-S&A** (Enhanced visual acquisition for see & avoid: フライトクルーが衝突を回避するための視覚情報取得の向上)
- **ATSA-SVA** (Enhanced successive visual approaches: 連続的な有視界進入の向上) ただし、後に ATSA-VSA (Enhanced visual separation on approach: 有視界進入においてフライトクルーが距離間隔を維持する手段の向上) となった。
- **ASPA-S&M** (Enhanced sequencing and merging operations: (航空交通流の) 順序づけと合流に関する運用の向上)
- **ASPA-ITP** (In-trail procedure in oceanic airspace: 洋上空域において効率よく一列縦隊の航空交通流を作る手順) ただし、ASAS-RG 会議では“ATSA-ITP”と改訂された。
- **ASPA-C&P** (Enhanced crossing and passing operations: (航空交通流の) 交差と追い越しに関する運用の向上)

Package 1 に続く将来の GS/AS 応用方式は、Package 2、Package 3 にまとめられる予定である。(最近では Package 1.5 も現われている。)

Package 2

- Package 1 に含まれる GS/AS 応用方式のさらなる向上
- 交通密度が高い空域における ADS-B のみによる監視
- ASEP 応用方式
- 交通密度が低い空域における SSEP 応用方式

Package 3

- Package 2 に含まれる GS/AS 応用方式のさらなる向上

- 交通密度が中程度または高い空域における SSEP 応用方式

3. ASAS-RFG 会議

3.1 開催目的

Package 1 に含まれる GS/AS 応用方式を具体的に定義し要件をまとめるために、ASAS-RFG 会議が開催されている。Package 1 で提案されている応用方式を現場で使用するためには **AD** (Application Definition/Description: 具体的な運用手順の定義) が必要とされる。**OSD** (Operational Service and Environment Definition: 運用手順を実現するために必要なサービスと環境の定義) と、**OSA** (Operational Safety Assessment: 実際に運用する際にそれが安全であるかの評価)、**OPA** (Operational Performance Assessment: 効率的であるかの評価) を行い、**SPR** (Safety & Performance Requirements: 安全性と効率に関する要件) を示す必要がある。さらに、**IA** または **INTEROP** (Interoperability Assessment: 最低限の運用共通性を各国で保障できるかの評価) を行い、共通基準をまとめる必要もある。これらを議論しているのが ASAS-RFG 会議である [8]。それぞれの作業の関係を図 1 に示す。

ASAS-RFG 会議は年に 4 回開催されている。会議では GSA (Ground Surveillance

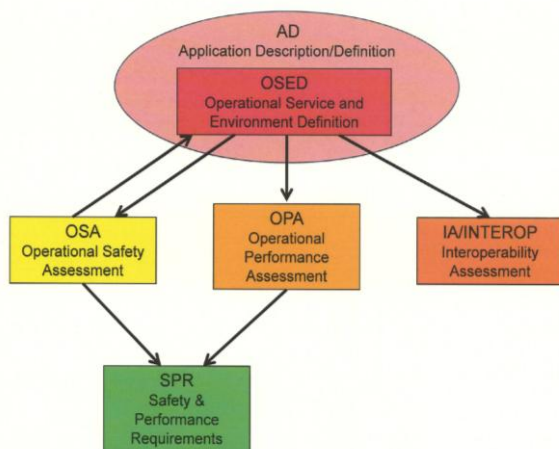


図 1 ASAS-RFG 会議で実施される各作業の
関係

Assistance) と ASA (Airborne Separation Assistance) というグループに分かれて議論を行う。GSA は GS 応用方式、ASA は AS 応用方式に対応した作業を受け持っている。筆者は ASA に参加した。

会議には、アメリカ (NASA、FAA、Boeing、MITER など)、EU (Eurocontrol、Airbus、Helios など)、オーストラリア (Airservice Australia)、カナダ (NAV CANADA)、日本 (電子航法研究所) などから参加があった。参加者のバックグラウンドは、航空管制官、パイロット、研究者、エンジニアなどさまざまである。

3.2 節では、ASA グループで議論された ASAS 応用方式である ATSA-ITP、ATSA-VSA、ASPA-S&M に関してまとめる。

3.2 ASA グループでの議論内容

3.2.1 ATSA-ITP

ITP は ASA グループの中で最も議論が進んでいる応用方式である。筆者が参加した時点ではすでに、SPR や INTEROP の要件がまとめられ、最終調整段階にあった。2008 年には、文献 [3] が EUROCAE の出版物としてまとめられた。

ITP では、洋上空域を飛行する航空機が希望する高度変更の実施頻度を増加させるために、ITP 機 (ITP aircraft: 高度変更を行う航空機) と参照機 (Reference aircraft: 高度変更前と変更後の中間の高度帯を飛行し、既存の最小縦間隔が満たされていない航空機) の間隔づけに、新しく提案する ITP 基準 (ITP criteria) を適用する。ITP の対象となるのは、ITP 機と参照機が以下の 6 種類の状態にある場合である。ただし、高度変更は $\pm 4,000\text{ft}$ の範囲内に限られる。また、ITP は ITP 機と参照機に適用される手順であり、それ以外の航空機には適用されない。(他機には既存の間隔づけの手順が適用される。) 参照機は 1 機または 2 機を対象とする。

- A Following Climb: 参照機が ITP 機の前方を飛行中に、高度を上昇させて実施する ITP
- A Following Descent: 参照機が ITP 機の前方を飛行中に、高度を降下させて実施する ITP
- A Leading Climb: 参照機が ITP 機の後方

を飛行中に、高度を上昇させて実施する ITP

- A Leading Descent: 参照機が ITP 機の後方を飛行中に、高度を降下させて実施する ITP
- A Combined Leading-Following Climb: 2 機の参照機の間を通過し、高度を上昇させて実施する ITP
- A Combined Leading-Following Descent: 2 機の参照機の間を通過し、高度の降下により実施する ITP

参考のため、A Following Climb の例を図 2、

A Leading Descent の例を図 3、A Combined Leading-Following Climb の例を図 4 に示す。

ITP 実施の主な条件として、以下のものがある。ただし、安全性や効率の評価で利用された衝突危険モデルなどの詳細は、文献[3]を参照されたい。

- ITP 開始条件として、縦の機体間隔が 10NM 以上保障されていること
- ITP 開始条件として、ITP 機と参照機の間隔が 15NM 以上であり対地速度の差が 20kt 以下であること、または ITP 機と参照機の間隔が 20NM 以上であり対地速度の差が 30kt 以下であること
- ITP 機の上昇・降下率は 300fts 以上であること
- ITP 機のクルーズのマック数は一定であること
- 参照機は ITP 中にマヌーバしないこと（ただし、コース変更が±45 度以内であり、マヌーバ前と同じ経路を飛行する場合は、マヌーバと見なさない。）

ITP 機と参照機に求められる装備としては、

- ITP 機は、ITP の実施に必要な ADS-B データを受信し、処理し、ディスプレイに表示可能であること
- 参照機は、ADS-B データを送信可能であること

3.2.2 ATSA-VSA

VSA は、前節にまとめた ITP と比較して議論の進捗状況が遅く、AD が発表され[4]、OSD、OPA、OSA[5][6]に関する議論が進んでいる

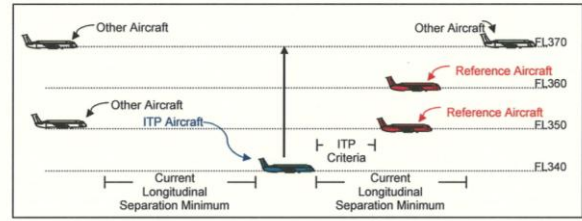


図 2 ITP- A Following Climb の例[3]

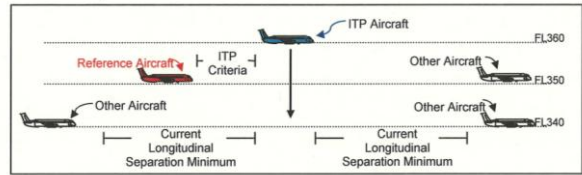


図 3 ITP- A Leading Descent の例[3]

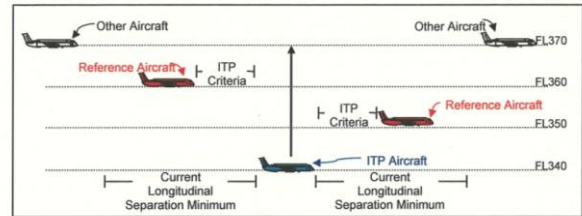


図 4 ITP- A Combined Leading-Following Climb の例[3]

最中である。

視認進入をより習慣的に行い滑走路の運用をより効率化するために、CDTI (Cockpit Display of Traffic Information) を使用して有視界進入時における先行機の位置認識を支援し、フライトクルーのワークロードを減らしながらより安全に先行機との距離間隔を維持する。先行機の ID をディスプレイに表示するものを Advanced procedure、表示しないものを Basic procedure と区別している。VSA では、ディスプレイ表示の利用が現行の視認進入と異なる。

サンフランシスコ空港に VSA を適用するメリットを例に考える。図 5、6 に示されるように、2 本の滑走路が 750ft (229m) と隣接しており、同時進入を実施している。図 5 に示されるように AC1 と AC2 は同時進入中である。約 4NM 後方では、AC3 が ILS 進入方式をとって左滑走路へ、AC4 が LDA 進入方式をとって右滑走路に向かっている。AC3 と AC4 は、できるだけコースの中心線の間隔が 3000ft に

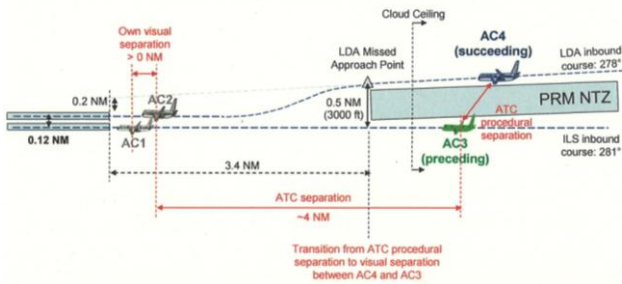


図5 VSA-サンフランシスコ空港の例1 [4]

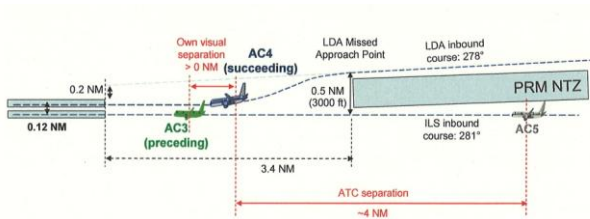


図6 VSA-サンフランシスコ空港の例2 [4]

近づくように LDA Missed Approach Point (LDA MAP)まで進入する。PRM NTZ (A Precision Runway Monitor Non Transgression Zone)は、この運用方式を可能にするよう定義されている。図6に示されるように、LDA MAPを通過後は、AC4は視認進入によりAC3との機体間隔を維持しながら着陸しなければならない。

この状況にVSAのAdvanced procedureを適用すると、視認進入に入る前段階において、AC4がAC3を確認するタスクを補助する。例えば、AC4が雲の中に入っているときに、管制官の指示とディスプレイ上のIDを確認することでAC3の存在する方向を事前に判断し、雲から抜けた際の間隔維持を支援する。

前述のようなメリットが期待される反面、OSDでは、フライトIDの利用に関して具体的に以下の意見が寄せられている。

- フライトIDをコックピットに表示すれば、見間違いなどの安全性に関連する問題が発生するかもしれない。
- Basicは従来の方式とあまり代わりがなく、導入するメリットがあるのか不明である。
- Advanced procedureの安全性解析、ワークロード評価法が不明である。
- 管制官やパイロットがフライトIDを聞き間違えると危険である。

ディスプレイ表示を利用することによって防止できるヒューマンエラーと、新たに生じるヒューマンエラーと、どちらが頻繁に起こり得るかなど、VSAのメリット自体が疑問視されている段階であるため、OSDがまとまるまで更なる議論と検討が必要なASAS応用方式だと判断される。

3.2.3 ASPA-S&M

S&Mは、ITPの後にRFG会議で本格的に議論が行われる予定であり、ADがまとめられつつある段階である。en-route空域とTMAにおいて、到着機の順序づけと間隔維持を行うASAS応用方式である。目的は機体間隔維持の精度を上げること、管制官のワークロードを減らすこと、CDA (Continuous Descent Arrivals) に代表されるようにエネルギー効率の良い降下を可能にすることである。現状の運用方法では、CDAは滑走路の容量を低下させるといわれている。これは、管制官がベクターやスピードの指示を与えなくても十分に安全な機体間隔を維持するために、余分なマージンを機体間隔に含めて航空機を誘導するためである。S&Mは、滑走路を有効に活用し、かつCDAを実現するために期待される応用方式である。

CDAを実現するために、各国で様々な運用方法がとられ始めている。ヒースロー空港では、機体間隔の維持と順序づけのために、ベクタリングが積極的に取り入れられている。カナダの主要空港では、自動操縦装置がCDAの垂直プロファイルに機体を載せる際にRNAVを利用している。CDAを実現するためのRNAV利用はアムステルダムスキポール空港でも適用されているが、この手法の欠点はRNAVに対応しない航空機には適用できないことである。ルイビル空港では、UPSがRNAVベースのCDAを実施しており、この結果がS&Mに反映される予定である。CDAを可能にする順序付けと間隔の維持のために時間管理を取り入れたTailored Arrivalsの試験も各地(ヒューストン、シドニー、メルボルン、サンフランシスコ、アムステルダム)で実施されている。

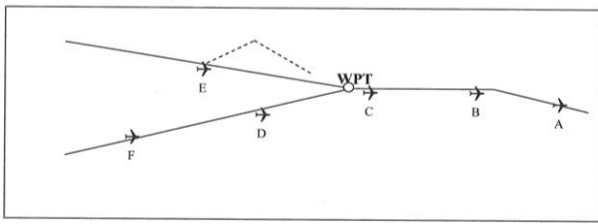


図7 S&M- 既存の運用手順 [7]

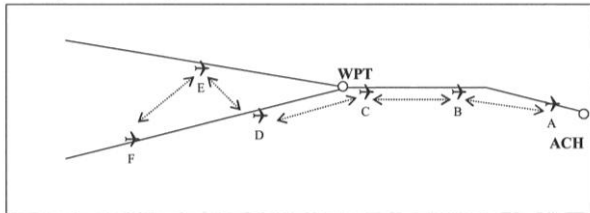


図8 S&M- S&Mで提案する運用手順 [7]

S&M の運用コンセプトを説明するために、図 7、8 を利用して運用例が示されている。航空交通流の合流の際、現状では図 7 に示す手順がとられている。合流地点 WPT に向かって飛行中の航空機 D、E、F に管制指示を与える場合を考える。D と F の間隔が適切に保持されていないときは、管制官はスピードの指示を出して D と F の間隔を正す必要がある。管制官が WPT において D、E、F と順序づけることを決定した場合、スピードかヘディングの指示を E に与え、D と F に必要に応じてスピードの指示を与える。管制官は、これらの航空機の位置をモニターで頻繁にチェックしてスピードやヘディングの指示を出さなければならず、管制官とフライトクルーのワークロードが高くなる。

一方で、S&M で提案される手法 (図 8) では、管制官はそれぞれの航空機に早い段階で先行機を指示し、順序付けを行う。(例えば、E は D の後、F は E の後、など。) 航空機は、指定された順番通り、ある決められた点 (図 8 では ACH) において、割り当てられた間隔を達成することが求められる。

4. まとめ

ASAS の概念と Package1 に含まれる ASAS アプリケーションを説明した。ASAS-RFG 会議で議論が現在進行中の、ITP、VSA、S&M の進捗状況をまとめて報告した。

RFG 会議では、参加者の意見が ASAS 応用

方式に反映される。VSA、S&M の国際的な運用共通性も今後議論されるため、日本の意見を取り入れることが十分可能である。筆者も研究を通してフィードバックをはかると共に、皆様からのご意見に期待したい。

謝辞

本報告書をまとめるにあたり、有意義な議論とご助言をいただきました、電子航法研究所 小瀬木 滋 上席研究員に深く感謝致します。

参考文献

- [1] FAA/EUROCONTROL Cooperative R&D: Action Plan 1, "Principles of Operation for the Use of Airborne Separation Assurance Systems", http://www.eurocontrol.int/care-asas/public/standard_page/art.html, 2001.
- [2] CARE/ASAS Action, "CARE/ASAS Activity 5 Description of a first package of GS/AS applications version 2.2", http://www.eurocontrol.int/care-asas/public/standard_page/art.html, 2002.
- [3] EUROCAE, "Safety, Performance and Interoperability Requirements Document for ATSA ITP Application", 2008.
- [4] Package I Requirements Focus Group Application Definition Sub-group, "Package I: Enhanced Visual Separation on Approach (ATSA-VSA) Application Description", 1.5d ed., 2007.
- [5] Package I Requirements Focus Group SPR Sub-group, "Package I: Enhanced Visual Separation on Approach (ATSA-VSA) Operational Safety Assessment (OSA)", 0.3 ed., 2008.
- [6] W. Brondsema, S. Koczko, I. Levitt, J. Martensson and E. Vallauri, "VSA OPA Jan 2007-present", 2007.
- [7] Package I Requirements Focus Group Application Definition Sub-group, "Package I: Enhanced Sequencing and Merging Operations (ASPA-S&M) Application Definition", 1.7.5 ed., 2008.
- [8] 小瀬木 滋 上席研究員 (電子航法研究所) とのプライベートディスカッション, 2007-2008.