



航空管制における 現在の課題と将来展望 — ICT の観点から —

山本 憲夫
(独) 電子航法研究所

新しい航空管制システム

航空交通管制とは、航空管制官が航空機を監視して他の航空機や障害物等との衝突を防ぎつつ円滑な交通流を維持するために実施する業務である。航空が大量輸送手段として発達するにつれ、航空交通管制とそれを支える通信・航法・監視技術等からなる航空管制システムが構築されてきた。近年航空交通量の増加は著しく、これまでの航空管制システムではサービスレベルの維持が困難になるとの認識から、従来の航空交通管制に加え空域を有効利用して広範囲にわたる大局的な交通管理を行う航空交通管理(ATM: Air Traffic Management)の重要性が認識されるようになってきた。このため、国際民間航空機関(ICAO: International Civil Aviation Organization)では「全世界的 ATM 運用概念」を提案し、その実現を目指した研究開発、評価等を世界の関係機関に求めている。この概念には新しい航空管制システムとそれにより想定される将来の運航、その実現のために必要な技術等が含まれている。特に、SWIM(System Wide Information Management: 統合情報管理)と呼ばれる情報通信技術(ICT)の開発とその適切な運用が新しい航空管制システム実現のための重要な要素となっている。

航空交通の現状と課題

空地の情報交換という観点から、現在定期便で用

いられている飛行方式(計器飛行)での運航の流れを説明する。

- (1) **飛行計画作成** 飛行に先立ち、パイロットまたは航空会社は飛行計画を作成して管制機関に提出する。この計画には航空機番号、出発・到着空港、飛行予定高度、出発・到着予定時間ほかの情報が含まれ、管制機関はこれを管制情報処理装置で解析、整理して関係機関に配信する。
- (2) **出発, 地上走行, 離陸** パイロットは出発準備が終わり次第航空無線により管制機関に離陸許可を申請する。管制機関からは離陸許可とともに使用滑走路など離陸に必要な情報が音声により提供され、パイロットはこれに基づき地上走行を行って離陸する。
- (3) **上昇, 巡航, 降下** 飛行計画は航空機の飛行管理システム(FMS: Flight Management System)に記録されており、航空機はこの計画に沿った飛行をすることができる。飛行中、管制機関との音声通信は常に維持できるよう設定されている。一方、航法情報等は地上の航法無線装置や機上の慣性航法装置等から得られる。
- (4) **着陸, 到着** パイロットは、目的空港が近づいたら航空無線により空港への進入、着陸許可を申請する。進入、着陸許可を受けるとともに滑走路の情報等の提供を受け、航空機は空港へ進入、着陸する。到着後パイロットは管制機関に飛行経路上の状況等を報告する。

以上のように、現在空地の情報交換はほとんど航空無線の音声により行われている。これは長年にわ

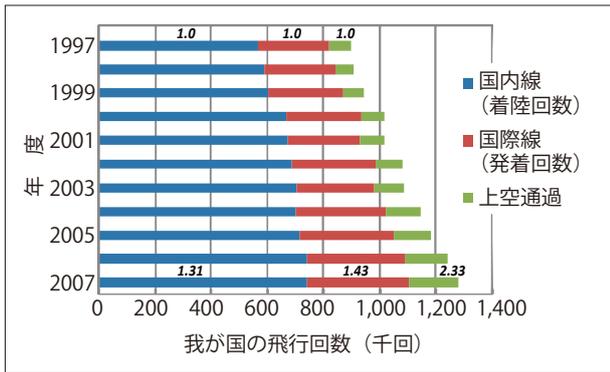


図-1 我が国の国内線、国際線、上空通過機の増加¹⁾

たり航空機の運航で用いられてきた通信手段ではあるが、今後航空便数が増え通信の頻度が高くなると、話中の発生や通話遅れなど通信の利用性低下が生じると予想されている。

図-1は1997年から2007年までの我が国の国内線、国際線および上空通過機の飛行回数と増加率である¹⁾。増加率(1997年を1とする)は上空通過機、国際線そして国内線の順であり、日本近隣諸国の交通量増大に伴う国際線および上空通過機の増加が著しい。この交通量は経済状況などの影響で変動するが、長期的には増加傾向にある。このため、分けられた空域ごとの航空機間隔維持を主目的とする従来の航空管制に加え、航空交通流の円滑化と混雑緩和を目的として関係する全空域を有効利用し、広範囲にわたる大局的な交通管理を行う航空交通管理が世界的に導入されつつある。しかし、近年航空交通量の増加は著しいことから、さらなる航空交通管理の改良が必要となっている。

図-2は羽田空港、大阪の空港(伊丹、関西空港)およびその他の我が国の空港における1978年度から2008年度までの旅客数推移である²⁾。羽田空港を利用した旅客数と同空港のシェアは1978年度から継続的に増加しており、航空交通の首都圏空港への一極集中が進んでいるといえる。このような航空交通の大都市圏集中は世界的傾向であり、安全を維持しつつ大都市圏の空域および空港の混雑を緩和する技術の確立は緊急を要する課題である。

近年、地球環境保全のためのCO₂削減、燃料消費の少ない効率的運航および騒音を軽減できる飛行

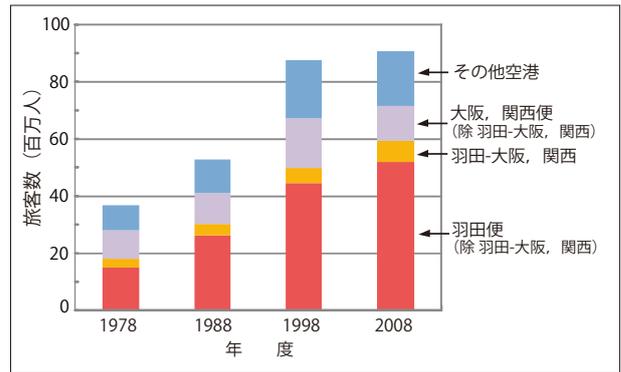


図-2 羽田、大阪およびその他空港における旅客数推移²⁾

方式などを実現するための技術開発は世界的な課題となっている。地球環境保全の観点からは、航空と高速鉄道など他の交通機関との適切な競争と調和も重要であり、そのため航空輸送では定時性や就航率および速達性の向上等が課題となっている。

航空機は日常的に国、地域を越えて飛行することから、国際民間航空条約(シカゴ条約)およびその付属書などに飛行にかかわる世界共通のルールが定められており、条約加盟国内では基本的にこのルールに基づいた飛行が行われている。しかし、たとえば交通監視装置(レーダなど)の整備状況は国、地域ごとに異なり、それが国、地域ごとの飛行方式や交通容量の違いを引き起こしている。国際交通量の増加が著しい現在、これらの違いによる交通のボトルネック緩和のため、世界的に運用できる共通システムの構築が大きな課題となっている。

航空交通の課題への対応

ICAO「全世界的ATM運用概念」

航空交通量の著しい増加、大都市圏空港への交通集中、地球環境保全、世界的に運用できるシステムの構築などは世界各国が現在直面する重要な課題である。これらの課題に対応するため、ICAOでは2003年の第11回航空会議で航空交通管理(ATM)の考え方を拡張した「全世界的ATM運用概念」を承認、2005年にはその手引き書を刊行した³⁾。この概念には航空の安全性、効率性および定時性を高めるため2025年頃までに実施すべき7つの実行要素(手

	実行要素名	概要
(1)	空港管理	空港離発着量増加, スポットや滑走路の利便性向上, 地上走行時間減少.
(2)	空域管理	空域有効利用の観点から, 訓練空域などの制限空域や空域区分, 航空路などの柔軟な設定.
(3)	需要/容量バランス	空域が持つ最大処理容量と現実の航空交通量との関係を求め, 当該空域の交通量を制御.
(4)	交通同期	空港および周辺空域の容量向上のため, 進入機の種類, 高度等調整による到着順序・間隔の制御.
(5)	コンフリクト(異常接近)管理	飛行計画段階から実際の飛行中まで将来の飛行経路の適切な予測によるコンフリクト予防.
(6)	ユーザオペレーション	交通同期や順序づけなど従来管制官が担当していた業務のユーザ(パイロット)による分担.
(7)	サービス配送管理	必要な交通情報の全関係者での共有を可能とする通信技術, ネットワーク技術および情報管理.

表-1 「全世界的 ATM 運用概念」実行要素と概要³⁾

法)が示されている。表-1はその要素と概要である。

全世界的 ATM 運用概念の実現に向け、米国では NextGen (Next Generation air transportation), 欧州では SESAR (Single European Sky Atm Research), 我が国では CARATS (Collaborative Actions for Renovation of Air Traffic Systems) と呼ばれる研究・開発、展開プロジェクトが進行中である。これらに共通する主要な目標として軌道ベース運用 (TBO: Trajectory Based Operation), 関係者の情報共有のための広域データリンク, そして衛星航法の活用等が挙げられ、これらの実現が今後の世界の重要な技術開発課題となっている。上記軌道ベース運用の「軌道」とは、航空機の飛行軌跡と解釈できるもので、軌道ベース運用とは事前に航空機の4次元飛行座標を設定し、その設定通りに飛行するという考え方である。なお、現在の一般的計器飛行では出発から目的空港到着まで飛行ルートが設定され、それに沿って飛行するが、ルート上を通過する正確な時間までは規定されていない。

CARATS の概要

国土交通省航空局は、国内・国際航空サービスの量的、質的向上は今後必要不可欠との判断のもと、我が国の航空交通システム変革のため「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン」を策定し、

2010年に公表した⁴⁾。この長期ビジョンでは、まず運航者や利用者のニーズ、社会動向等を念頭に2025年頃の航空交通システムについて、現在に比べ安全性を5倍、混雑空港における管制の処理容量を2倍、1フライト当たりの燃料消費を10%削減など7項目の具体的な目標を掲げ、それらを達成するための活動について検討している。検討の結果、現在の航空交通システムの課題について、空域ベースの ATM 運用, ATM 運用の基盤となる情報通信技術などに6分類し、それぞれに含まれる課題解決のための施策として、(1) トラジェクトリに基づく運航の実現, (2) 予見能力の向上, (3) 性能準拠型の運用, (4) 全飛行フェーズでの衛星航法の実現, (5) 地上・機上での状況認識能力の向上, (6) 人と機械の能力の最大活用, (7) 情報共有と協調的意思決定の徹底, そして (8) 混雑空港および混雑空域における高密度運航の実現, の8項目を提示している。これらの施策実施のためには多くの関係者の連携や協力が必要なことから、この活動全般について「CARATS」(航空交通システムの変革に向けた協調的行動)と名付けられている。

航空局では、2011年から産官学の関係者が参加する作業グループを組織し、CARATSで提示された目標施策に沿った具体的研究・開発・整備計画とその実施時期、担当機関等について討議を進め、運用面の改良にかかわる33、技術面の改良にかかわる13の実施案を提示している。

電子航法研究所の研究長期ビジョン

電子航法研究所は、現在の航空交通の課題解決のため実施すべき研究について長期的方針を明らかにし、それを所内で共有するとともに所外の関係者の理解を得るため、2008年7月研究長期ビジョン(2008年版)を作成してそれに基づいた研究を進めてきた。しかし、この長期ビジョンは研究所をとりまく社会状況の変化や新たに開発された技術、知見等に応じて継続的に見直す必要がある。また、アジア地域の急速な交通量増加を踏まえ、我が国だけでなくアジア地域全体のスムーズかつ効率的な航空交

研究分野	研究課題名
1 飛行中の運航高度化	洋上経路システムの高度化の研究
	ターミナル空域の評価手法に関する研究
	トラジェクトリモデルに関する研究
	ATM パフォーマンス評価手法の研究
	CPDLC 卓を用いた航空管制シミュレーションの研究
2 空地を結ぶ技術, 安全性向上技術	将来の航空用高速データリンクに関する研究
	監視システムの技術性能要件の研究
	航空管制官の業務負荷状態計測手法の開発
	携帯電子機器に対する航空機上システムの耐電磁干渉性能に関する研究
	ハイブリッド監視技術の研究
3 空港付近での運航高度化	GNSS 精密進入における安全性解析とリスク管理技術の開発
	空港面監視技術高度化の研究
	カテゴリ III 着陸に対応した GBAS の安全性設計および検証技術の開発
	空港面トラジェクトリに関する研究
	GNSS 高度利用のための電離圏データ収集・共有

表-2 研究所で現在進めている主な研究課題

通を実現するための研究・開発が必要となってきた。そこで、この研究長期ビジョンの見直しに着手し、2011年3月新たな研究長期ビジョン（2011年版）を作成・公表した⁵⁾。この見直しの過程では、短・中および長期的な研究目標の明白化、重点化すべき研究課題の絞り込み、研究課題間の関連性の明白化、そして我が国が直面する課題への適切な対応等を重視した。また、研究所は今後アジア地域における ATM の中核的研究機関となることを目標として設定していることから、研究員が1つの課題に長期的視点で取り組み、「研究力」の向上を果たしやすい環境を作ることも考慮した。

この長期ビジョンでは研究目標として「飛行中の運航高度化」、「空港付近での運航高度化」、そして「空地を結ぶ技術、安全性向上技術」の3分野を設定し、目標を達成したとき期待される代表的効果についてはそれぞれ「航空路の容量拡大」、「混雑空港の処理容量拡大」そして「安全で効率的な運航の実現」を挙げている。表-2は、この研究長期ビジョンの考え方に基づき現在電子航法研究所で実施している主な研究課題で、CARATSの施策と整合がとれたものとなっている。

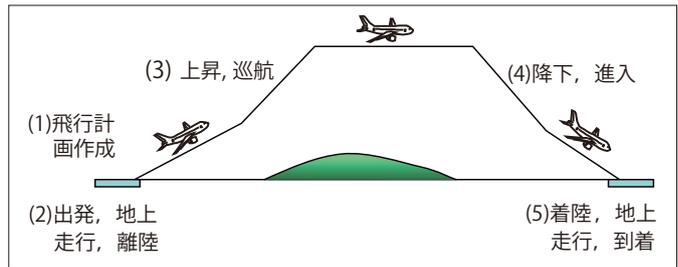


図-3 航空機運航の概念図

全世界的 ATM 運用概念における ICT の役割

全世界的 ATM 運用概念で想定される運航例

全世界的 ATM 運用概念で想定される運航について、NextGen の考え方⁶⁾をもとに説明する。図-3は飛行準備（飛行計画作成）から目的空港到着までの運航の概念図である。

- (1) 飛行計画作成 飛行計画作成に際し、従来の情報に加え4次元気象データベース(4D Weather Cube)、軍用空域、使用誘導路等の情報にアクセスできるようになる。これらをもとに初期軌道案が作られ、それを管制機関、運航者ほかすべての関係者がSWIMにより共有して、協調的意思決定(CDM: Collaborative Decision Making)を行う。それにより異常接近等がない最適軌道が作成できる。
- (2) 出発、地上走行、離陸 初期軌道は交通状況、気象状況等により更新され、機上にはゲート出発時点の最新軌道情報が種々の空地データリンクを用いて伝送される。周辺交通情報、気象情報等はTIS-B (Traffic Information Service-Broadcast: 放送型交通情報サービス) や FIS-B (Flight Information Service -Broadcast: 放送型飛行情報サービス) のような放送型データリンクで提供される。機上では、自らの地上走行状態や詳細な上昇コース、先行機の後方乱気流の情報等が表示できるようになる。また、滑走路間隔が狭い平行滑走路を持つ空港では、現在は制限がある同時離着陸が可能となる。
- (3) 上昇、巡航 厳密な時間管理により離陸上昇する航空機の間隔短縮が可能となる。騒音低減に有利な上昇経路が提供される。機上では ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast: 放送

型自動位置情報伝送・監視機能) などにより周辺の航空機の交通状況が把握できる。気象状況等で軌道の修正が必要になったとき、航空交通流管理システムにより関係航空機がすべて最適経路で飛行できるよう再計算、修正される。修正後の軌道は自動的かつすべての関係機に空地データリンクにより一括、同時配信される。軌道変更に基づく関係航空機の飛行ルート変更は、一括同時に許可されるようになる。

(4) 降下, 進入 到着空域までの複数の精密経路情報が提供される。騒音および燃費低減のため有効な最適降下, 進入経路情報が提供される。降下, 進入軌道の再計算は巡航中に行われ、空地データリンクを介して航空機と調整、最終進入コースが再設定される。このとき、降下航空機間の間隔は厳密な時間管理により短縮できるようになる。最終進入には GBAS (Ground-Based Augmentation System: 地上型衛星航法補強システム) も利用できるようになる。

(5) 着陸, 地上走行, 到着 着陸前, 空地データリンクを介して望ましい地上走行ルートが提供される。パイロットおよび管制官は機上または管制室内の表示装置で飛行場内の航空機や地上車両等の動きを把握できる。ランプ操作者は航空機のゲート到着時間を事前に知ることができる。

以上の運航を現在の運航と比較すると、空地の情報交換は従来の音声から空地データリンクが主になると想定されていることが分かる。

新しい運航のための技術, システム等

以上の運航実現のため開発, 整備すべき主な技術, 機上, 地上システムとその概要を表-3に示す。新しい運航方式では、すべての航空機にそれぞれの最適軌道が地上からデータリンクにより割り振られ、機上のFMSに記録されて、それに基づき飛行することになる。ただし、この軌道は天候や空港の混雑状況等により更新が必要となるため、表に示した技術, システムはきわめて高い信頼性と軌道更新などを必要な頻度で行うための高速処理性能とを持つこ

	必要技術	概要説明
1	4次元気象データベース	すべての航空関係者が共有できる環境上で、任意時間と位置における立方体状空間内の気象データベース。
2	SWIM	統合情報管理: 飛行にかかわるすべての情報を全関係者で共有するための高機能なネットワークシステム。
3	協調的意思決定	飛行にかかわるすべての情報を関係者で共有し、同じ状況認識のもと、全関係者の利益を最大化する意思決定手順。
4	空地データリンク	100MHz帯や1000MHz帯電波を使った航空用データリンク。既存システムは低速であり、高速システムを研究開発中。
5	TIS-B/FIS-B	地上で収集した周辺航空機の位置情報、空港や周辺気象情報などを放送型データリンクで航空機へ伝送する技術。
6	航空交通流管理システム	運航者と協調のもと飛行経路や出発時間の調整等により1つの空域の処理能力と交通量とを適合させる技術。
7	ADS-B	GNSS等の測位システムで得た自らの飛行位置を放送型データリンクで周辺航空機や地上に送信する方式。
8	GBAS	ディファレンシャルGPSの原理でGPS信号の信頼性を向上させ、空港への精密進入を実現するシステム。

表-3 開発, 整備すべき主な技術, システム

とが必須となる。そこでこれらの条件を満たす技術やシステムおよびその運用方法の研究, 開発が現在世界で進められている。

新しい運航における ICT にかかわる主な課題

全世界的 ATM 運用概念では従来管制官, パイロット等に対し個別に提供されていた情報, たとえばレーダーで観測した交通情報, 航空機で得られる飛行状態情報等を全関係者で共有し、共通の状況認識のもと最適運航のための意思決定を行うことを想定している。これを可能にするためには、全関係者を結ぶ新しいネットワーク網やデータリンクなど、情報通信技術が重要となる。

将来システムにおける新しい情報通信技術として表-3に記載のSWIMがある。図-4はその概念図である。SWIMの概念はNextGenとSESARとで少し異なるが、基本的には航空管制で使われる管制情報処理システム, 管制通信システム, 航空会社の運航システム, 空港会社の空港管理システム, 機上システムそして軍用運航システム等をネットワークで結び、データの一貫性を持たせることにより異なる

システム間での情報交換を可能とすることを目指している。これにより上述した諸情報の共有、関係者での協調的意思決定が可能になると期待できる。

最近、この SWIM について地上ネットワークと空地ネットワークとに分けて考える傾向が出てきた⁷⁾。それは、空地ネットワークには無線通信が必ず関与し、それによる通信容量や速度制限、電波干渉、電波資源問題など地上システムとは大幅に異なる性格を持っているためと考えられる。このため、地上と空地 SWIM ネットワークとでは研究、開発課題が大きく異なっている。

地上 SWIM ネットワークの課題

地上 SWIM ネットワークは IP ベースによる運用が想定されており、その構築に関してハードウェア、ソフトウェア的に独自の課題は少ないと思われる。しかし、その運用に関しては以下の大きな課題がある。

- (1) ネットワーク網で共有する具体的情報は何か、
 - (2) 誰がネットワークを管理、運営するか。
- まず (1) について、協調的意思決定を行うにはそれに必要な全情報を関係者で共有する必要があるが、たとえば管制情報システムの情報は膨大で、そのすべてをネットワーク上で共有するのは容易なことではない。図-5は管制卓上に表示された航空交通流の例である。この例では管制情報処理システムで処理、表示された情報としてレーダによる航空機位置、便名および飛行高度等および飛行計画情報の処理による予想飛行方向や指示高度等が表示されている。このシステムは将来のコンフリクト予測とその警報機能も持ち、必要なときはそれらの情報も提供される。また、航空管制関連の情報には個々の航空機の詳細情報が含まれており、セキュリティの観点からいずれの情報も共有すべきか十分な検討が必要である。同様のことは軍用機の運航情報についてはさらに重要となる。

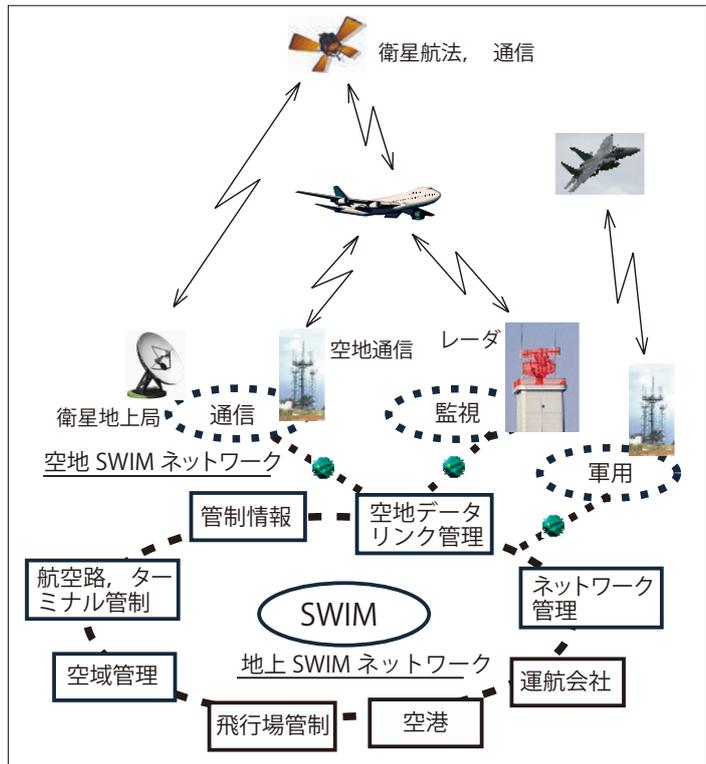


図-4 SWIM の概念図



図-5 管制卓上に表示された航空交通流の例

一方、ネットワーク網には航空会社や空港会社の運航管理等経営にかかわる情報が含まれる。そのため、たとえば航空会社では自社便の情報についての部分は共有、どの情報は非開示とするかなどを決定する必要がある。すなわち、SWIM で共有すべき具体的情報の内容と共有予定の全情報の一貫性を持たせる作業などについて、今後十分な検討と討議が必要になると考えられる。

(2) について、このネットワークには公的な情報と企業などの私的な情報とが混在することになるため、運営、管理は公平、公正そして秘密保持が保証できる組織により行う必要がある。また、運営、管理に要する経費の分担について、このネットワーク

導入により期待される利益をもとに精度良く見積もる必要があり、全関係者が納得できる経費分担の考え方が重要になると考える。

空地 SWIM ネットワークの課題

空地ネットワークを適切に機能させるためには空地データリンクの整備が必要不可欠である。現在実用化されているデータリンクとして ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System) があり、離着陸時間、搭載燃料、機体の整備にかかわる情報等、主に航空会社の運航関係情報の通信に利用されている。しかし ACARS の通信速度は 2.4 kbps (規格値) 程度であり⁸⁾、これに将来のトラジェクトリ運航にかかわる情報も重ねての運用は困難と考えられている。

そこで、新しい通信技術の研究・開発、評価が世界で行われている。表-4 は、現在検討されている主な空地データリンク技術とその通信速度について運用範囲で分けて示したものである^{7)~9)}。この表から、データリンクの速度は AeroMACS を除き現在の一般的地上ネットワーク網等と比べ大幅に低速であることが分かる。また、表の通信速度は規格値であり、通信用電波の遮蔽や反射がある環境や航空交通が密集した環境での伝送特性等データリンクの実効性能についてはいまだ十分な調査、評価がなされているわけではなく、今後の課題となっている。なお、表-4 の衛星データリンクは現在次世代システムが研究中であるが、通信速度等の規格は明らかでないため現在の衛星データリンクの通信速度を記している。

以上に加え、SSR モード S (Secondary Surveillance Radar - Mode S : モード S 二次監視レーダ) もデータリンクの一種として利用が拡大しつつある。SSR とは電波を目標に向け放射し、その反射波の到達時間と到達方向から目標を知る従来のレーダ (一次レーダ) とは異なり、質問信号を含めた電波を目標に向け放射し、質問信号に応じた機体情報等を機上のトランスポンダにより返信するものである。その中でモード S 方式とは、個別の識別信号を用いて航空機ごとに異なる質問、応答をする方式で、データリ

運用範囲	通信技術	通信速度 (規格値)
空港内、付近	AeroMACS	20-75 Mbps
陸上	VDL Mode2	31.5 Kbps
	LDACS	275-1373 Kbps
洋上	衛星	0.6-10.5 Kbps
	短波無線	0.3-1.8 Kbps

表-4 新しい運航のための空地データリンク技術^{7)~9)}

nkの一種として機能する。SSR モード S のデータリンク機能と表-3 の ADS-B とは基本的に同じ原理を用いており、これらが今後の空対空および空対地データリンクとして重要な役割を担うと期待されている。これらと表-4 の空地データリンクとの役割分担、調和についても今後の課題となっている。

以上のように、新しい運航方式では全関係者の情報共有による最適の運航実現のための新しい情報通信技術として、SWIM の構築とその主要構成要素となる空地データリンクの確立が前提となっている。また、この SWIM 上で共有すべき情報やその適切な管理の考え方など、情報技術の分野において多くの解決すべき課題がある。

参考文献

- 1) 国土交通省：平成 18 年度幹線旅客流動調査報告書，pp.IV-37 - IV-38 (Mar. 2007)，鉄道輸送統計調査年報 (2008 年度分)，航空輸送統計調査年報 (2008 年度分)。
- 2) 国土交通省：平成 20 年度航空輸送統計年報，第 10 表 国内定期航空空港間旅客流動表 (年度) (Apr. 2009)。
- 3) ICAO : Global Air Traffic Management Operational Concept, Doc. 9854 AN/458 (2005)。
- 4) 将来の航空交通システムに関する研究会 (航空局) : 将来の航空交通システムに関する長期ビジョン-戦略的な航空交通システムへの変革-，http://www.mlit.go.jp/koku/koku_CARATS.html (Sep. 2010)。
- 5) 電子航法研究所：電子航法研究所の研究長期ビジョン (2011 年版)，http://www.enri.go.jp/news/osirase/pdf/choki_ver1_1.pdf (Mar. 2011)。
- 6) Ward, D. : NextGen - Where We are Going and Our Need for Standards, EUROCAE Symposium 2009 (May 28)。
- 7) Pouzet, J. : Future Communication Infrastructure, EUROCAE Symposium 2009 (May 28)。
- 8) 北折 潤：空地データリンク技術，日本航空宇宙学会誌，Vol.57, No.666, pp.14-19 (July 2009)。
- 9) 住谷泰人：空港面における航空用高速移動通信システムの動向，日本航海学会航空宇宙研究会 研究講演会 (Oct. 2010)。(2012 年 2 月 6 日受付)

■ 山本 憲夫 yamamoto@enri.go.jp

昭和 50 年運輸省電子航法研究所入所。以来、VOR の高精度化の研究、ヘリコプタの障害物探知衝突警報システムの研究、携帯電子機器の航法機器への影響に関する研究等に従事。現在、電子航法研究所研究企画統括。工博。電子情報通信学会、日本航空宇宙学会、IEEE 各会員。