

24. 先進型地上走行誘導管制(A-SMGC)実験システムの総合性能試験

通信・航法・監視領域 ※二瓶 子朗、宮崎 裕己、角張 泰之、上田 栄輔
 機上等技術領域 古賀 禎
 航空交通管理領域 青山 久枝、山田 泉
 企画課 林 一夫
 独立行政法人交通安全環境研究所 豊福 芳典、青木 義郎

1. はじめに

近年の幹線空港等の大規模化に伴う空港面レイアウトの複雑化及び航空需要増大に伴う高密度運航に対応するため、また、夜間や霧の発生などによる低視程時においても航空機等の安全で円滑な地上走行を確保すると共に、管制官の状況認識の向上によるワークロードの軽減が図れる先進型地上走行誘導管制（A-SMGC：Advanced-Surface Movement Guidance and Control）システムの早期研究、開発、導入が社会的にも求められている。

電子航法研究所では、国土交通省航空局のニーズ調査等に基づいて、平成16年度から5ヶ年計画で「A-SMGCシステムの研究」を実施しており、近い将来実現可能な技術水準を前提としたシステム開発を進めている。A-SMGCシステムは、監視・経路設定・誘導・管制といった4つの基本機能が定義されており、複数の専門分野にまたがる総合的なシステム開発が必要とされることから、組織横断的なプロジェクトチームを編成して取り組むと同時に、灯火誘導機能の開発を担当している（独）交通安全環境研究所と共同研究契約を結んで研究体制の強化を図って進めている。

本稿では、平成21年1月に仙台空港で実施した実験システムの総合性能試験結果について報告する。

2. A-SMGCシステムの概要

A-SMGCシステムは、ICAO（国際民間航空機関）で検討が進められている空港面における航空機等の地上走行誘導管制システムであり、監視、経路設定、誘導、管制の4つの基本機能が定義されている^[1]。このような機能を実現するには多くの装置を有機的・効果的に結合して適切なシステム構築を実現することが必要である。

2.1 監視機能

監視機能は、他の3つの機能に必須となる監視情報を提供することから、最も重要な機能と位置づ

けられており、早期実現が望まれている。そこで、システムの信頼性確保と性能の相互補完の観点から、航空機と車両それぞれの移動体監視に適した複数の監視センサの組み合わせとデータの統合化により空港面を走行する航空機と車両全てに対する自動識別表示を実現するための統合型空港面監視センサの開発を進めている^[2]。図1に統合型空港面監視センサのブロック図を示す。

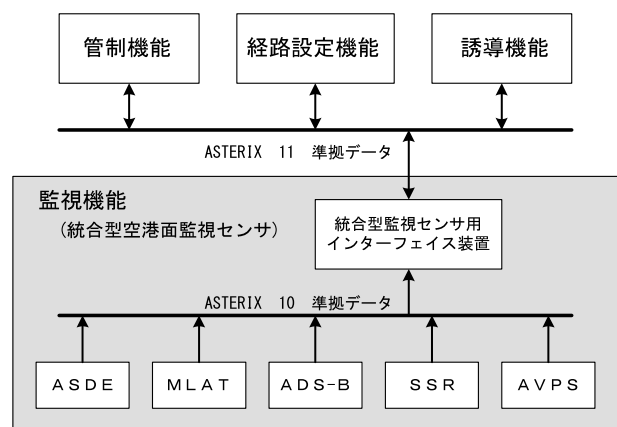


図1 統合型空港面監視センサブロック図

2.2 経路設定機能

経路設定については、手動であれ、自動であれ、移動区域内の各航空機に対して迅速に経路を指定する必要がある。そこで、図2に示すようにタッチパネル等を使って始点と終点をマニュアルで選択指示することで、その間の経路を容易に生成・指示できる半自動経路生成装置の開発を進めている^[3]。また、管制官の思考を反映した標準的な走行パターンを用意して経路指示の簡略化を図る方法^[4]、さらには推奨経路を自動的に生成するためのアルゴリズムの開発に向けた空港面地上走行のモデル化^[5]についても検討を進めている。

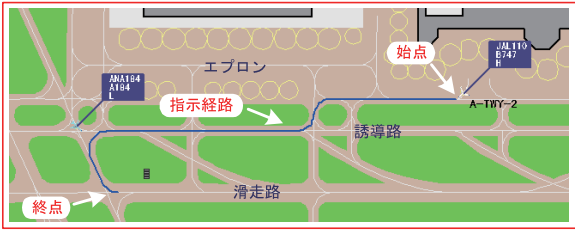


図2 出発航空機に対する経路指示

2.3 誘導機能

誘導機能については、パイロットや車両運転者が指示された経路を走行できるように明確な表示を提供する必要がある。そこで、統合型空港面監視センサで得られた移動体の位置・識別・進行方向・速度等の監視データと、経路生成装置から送信された経路データを使用して、誘導路中心線灯（TCLL:Taxiway Center Line Light）を停止線灯（SBL:Stop Bar Light）と組み合わせて自動点灯消灯制御できる灯火誘導装置の開発を進めている。

図3は、灯火誘導（Follow Green）の概念図を示す。同図（a）は誘導路中心線灯の選択的點灯消灯制御による航空機の地上走行誘導の様子を示す。また、同図（b）に示すように後続機が続く場合、先行機の直後一定範囲は点灯させないように制御する。すなわち、先行機の後方灯火消灯範囲が後続機の前前方灯火消灯範囲と重なる場合は先行機の後方灯火消灯制御を優先する。

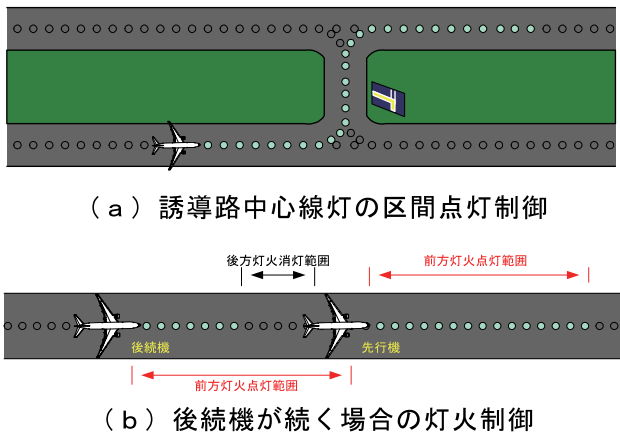


図3 灯火誘導（Follow Green）概念図

2.4 管制機能

ICAO で出された A-SMGC マニュアルでは、管制機能の一部に誤進入や移動体のコンフリクトを事前に検出する機能を含めることを推奨している。

そこで、統合型空港面監視センサから出力される ASTERIX11 形式の監視情報を基にして、移動体の種別・位置・速度・方向と滑走路周りに設定した保護エリアの種別により誤進入およびコンフリクトを検出処理するソフトウェアの開発を進めている⁶⁾。表1は、監視センサと移動体検出の関係を示す。また、図4は、滑走路周りに設定した保護エリアの区分図を示す。

これまでに試作・実装した検出項目の一覧を表2に示す。判定基準となるパラメータの設定については、実態に即した検証を積み重ねた上で決める必要があることから、各検出項目に対して東京国際空港における MLAT 導入評価で取得した監視ログデータ等を使って評価を行っている。

表1 監視センサと移動体検出

	ASDE	MLAT	AVPS
航空機	○	○	×
識別車両	○	×	○
非識別車両	○	×	×

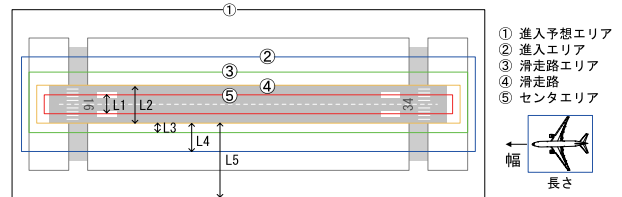


図4 保護エリア区分図

表2 滑走路誤進入・コンフリクト検出項目

状態	移動体	判定基準	検出結果
誤進入	非識別移動体の進入	侵入予想エリア	注意
	識別車両の進入	侵入エリア	注意
	クローズ滑走路からの離陸	滑走路エリア	注意
	クローズ滑走路からの離陸	センタエリア	警報
	クローズ滑走路への着陸	30秒未満	注意
	クローズ滑走路への着陸	15秒未満	警報
	運用方向とは逆方向へ離陸	センタエリア	注意
	運用方向とは逆方向へ離陸	100m移動	警報
コンフリクト	離陸機の前方に移動体	30nt未満	注意
	離陸機の前方に移動体	30nt超過	警報
	着陸機の前方に移動体	30秒未満	注意
	着陸機の前方に移動体	15秒未満	警報

3. 総合性能試験

各要素を結合させた A-SMGC 実験システムを構築して、仙台空港において実験車両と実験用航空機を使った総合性能試験を実施した。

図5にA-SMGC実験システムの系統図を示す。本試験では、ASDE、ADS-B、そしてSSRモードS、AVPSの4種類の監視センサを使用して試験を実施した。

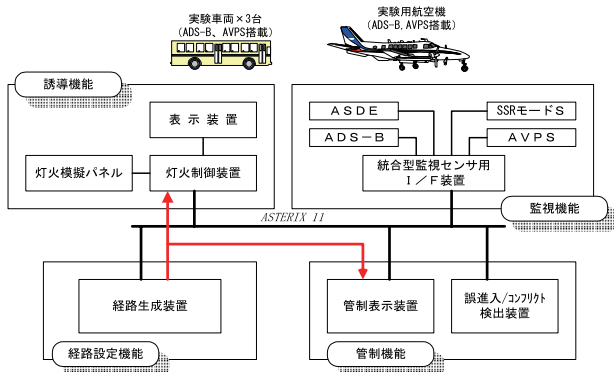


図5 A-SMGC実験システム系統図

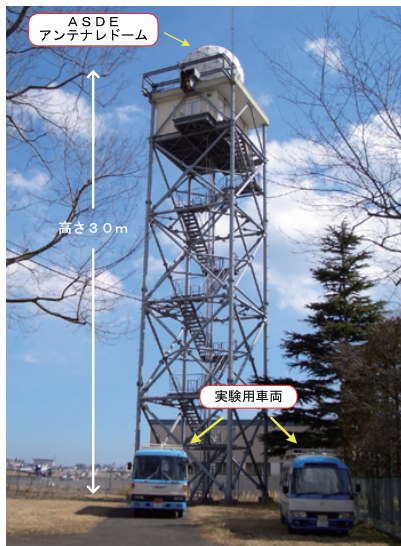


図6 ASDE アンテナ鉄塔と実験用車両の外観



図7 ADS-B 受信局アンテナ設置外観

このうち、ASDEとADS-Bを主センサとして相関処理して統合型監視センサ出力とした。図6は、当研究所岩沼分室敷地内に設置されている高さ約30mの実験用ASDEアンテナ鉄塔と実験用車両の外観を示

す。また、図7は岩沼分室屋上に設置した実験用ADS-B受信局のアンテナ設置外観を示す。

経路設定機能では、走行可能な誘導路をエッジと定義し、タッチパネル又はマウスを使って経路上のエッジを選択する事で経路データを生成する。

図8は、タッチパネルを使った経路生成装置の外観を示す。経路生成装置は、監視センサから出力される移動体位置情報を取り込んで移動体の現在位置を空港面マップ上にシンボル表示する。経路設定の手順としては、経路生成装置の空港面マップ上に表示された移動体のシンボルに対してタッチパネル等で捕捉して経路指示の対象となる移動体のシンボルを特定する。そして、指示する経路の始点、途中点、終点をタッチパネル等でマニュアル選択して経路を生成する。また、幾つかの走行パターンを予め用意しておきワンタッチで選択指示することもできる。生成された経路に対しては適宜変更することも可能である。

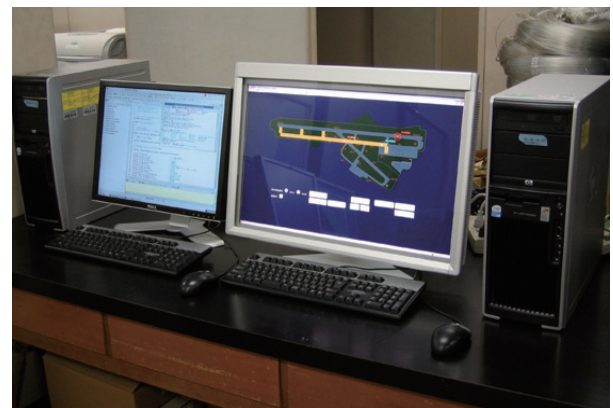


図8 タッチパネルを使った経路生成装置外観

灯火誘導については、実際の灯器は使えないのでTCLLと、交差部に設けたSBLの座標データをパソコンの地図上に入れて、PCの画面上で灯火制御の動きを検証した。また、TCLLとSBLにLEDを使った灯火模擬パネルを使って灯火誘導機能の動作検証をした。図9は、灯火制御装置と灯火制御モニタ表示装置、そして灯火模擬パネルの外観を示す。

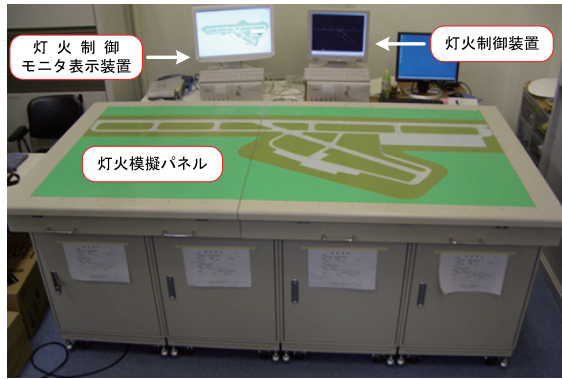


図9 燈火制御装置，燈火制御モータ表示装置，
燈火模擬パネル外観

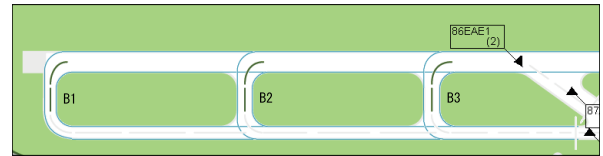
3.1 実験用車両による夜間走行試験

今回の試験では、複数機に対する経路指示と燈火誘導に関する基本的な機能の動作検証を主目的としている。そこで、各機能の検証に対応した走行パターンに対して3台の実験用車両を適宜使って夜間走行試験を行った。

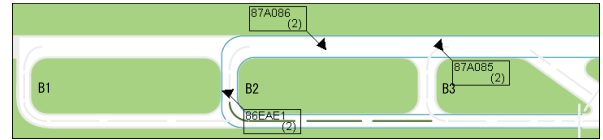
燈火誘導機能は、監視センサからの航空機位置情報と経路生成装置からの経路情報に基づいて、航空機前方走行経路上の一定範囲（設定距離：400m）の T CLL を航空機の走行に合わせて移動点灯させる。ただし、前方点灯灯列の範囲内に先行機が存在する場合は、追従機の追突防止等の観点から先行機の後方一定距離（設定距離：100m）までしか点灯させない。即ち、先行機の後方消灯制御が優先され、先行機の前はその誘導のためだけの燈火制御が行われる。

図 10 は、到着機に対する離脱誘導路の制御点灯例を示す。滑走路離脱誘導路の選択は、通常パイロットに任されている。そこで、到着機が滑走路を走行中は、同図（a）に示すように離脱可能な全ての離脱誘導路入口（B1, B2, B3）の T CLL を点灯することとした。そして、同図（b）に示すように到着機がいずれかの離脱誘導路（B2）に進入した時点で、航空機前方の経路誘導を継続する一方、他の離脱誘導路（B1 及び B3）の T CLL は消灯する。なお、誘導機能では、走行経路を付与されているターゲットを誘導対象と認識して、その機に対する燈火制御を行う。図 10 では“86EAE1”が誘導対象であるが、滑走路に存在する2個のターゲット（“87A085”，“87A086”）は誘導対象ではない。

交差点部では、複数の接近機の中から優先的に通過させる航空機を決定し（先着順アルゴリズム、



(a) 離脱可能な誘導路を点灯



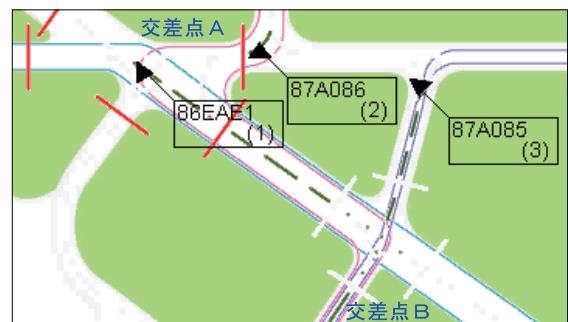
(b) B2へ離脱

図10 滑走路離脱誘導路の燈火制御点灯

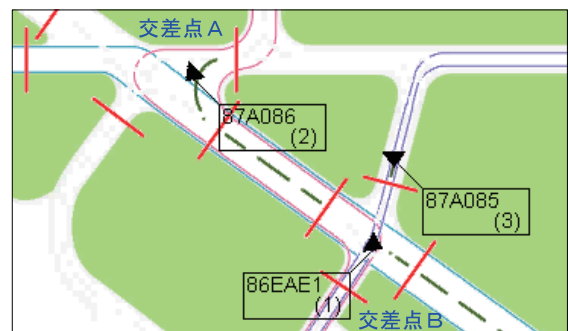
または個別優先アルゴリズム)，SBLによって他の航空機を交差点手前で一時停止させるなどの交通整理を行う。

先着順アルゴリズムは、複数機が相前後して交差点に接近した場合、SBLの手前一定距離（設定距離85m）に先に到達した航空機を優先通過機として経路上の T CLL の点灯を継続し、同時に他の誘導路の SBL を点灯してそれらの誘導路からの交差点への進入を禁止する。このとき、交差点への進入を禁止された航空機は、機体前方の T CLL が SBL より先は消灯される。

図 11 は、航空機毎に優先度を付与し、これに従って交差点を通過させる燈火制御の例を示す。図



(a) 交差点 B へ“87A085”が先着



(b) “86EAE1”が優先通過

図11 優先度に従った交差点通過の燈火制御例

中、航空機タグの文字は航空機の識別符号（モードSアドレス）であり、カッコ書き数字は優先度を示しており数値が小さい程優先度が高い。例えば、交差点 B には“87A085”が先着するが、最も優先度の高い“86EAE1”及び次いで優先度の高い“87A086”を優先通過させるために、“87A085”に向けた停止線灯が点灯して待機させている様子が分かる。この優先度対応機能は、実運用において管制官の任意の管制指示に対応可能な灯火制御システムを構築するための基本機能として開発した。

図12は、灯火模擬パネルの点灯表示例を示す。灯火の点消灯動作については、灯火をLEDで模擬し、そのドライブ機器は基盤ベースの実機を使用したシミュレータ（模擬パネル）で確認した。

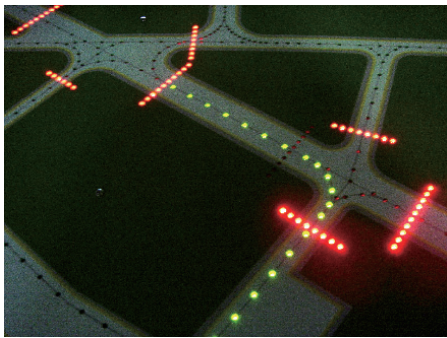


図12 灯火模擬パネル点灯表示例

3.2 実験用航空機による走行試験

本試験では、監視、経路設定、誘導、管制の各機能に関する基本動作の検証と併せて、経路生成装置の操作性に関する管制官評価を行った。

当研究所の実験用航空機B99を使って、あらかじめ用意したトラフィックパターンに沿って仙台空港ターミナルエリアと空港面を飛行・走行し、管制官が所定の手順に沿って経路生成装置を操作して経路を入力指示することで、その操作性を中心に評価を実施した。

図13は、実験用航空機による飛行試験時のトラフィックパターンを示す。図中の太線で示すように、A滑走路南端A4の停止線の位置を仮想スポットとし、この仮想スポットから滑走路入口までを出発機に対する経路、B滑走路の離脱誘導路から仮想スポットまでを到着機に対する経路とした。

図14は、経路生成装置の到着機に対する経路設定操作画面を示す。同図（a）は、B滑走路に着陸した到着機を対象航空機として選択し、トラフィックパターンとして登録済みの標準経路が表示

された画面を示す。また、同図（b）は、表示された標準経路がOKボタンの操作によって承認され、経路が確定された画面を示す。この時点で、経路データは灯火制御装置や管制表示装置に送信される。

経路設定については、所定の手順に沿って経路指示操作ができ、灯火誘導装置や管制表示装置に対して正常に経路データ伝送されることを確認した。また、より少ない操作で指示できる標準的な経路データベースを予め用意しておく事の有効性、到着機に対して離脱可能な複数の離脱誘導路を1

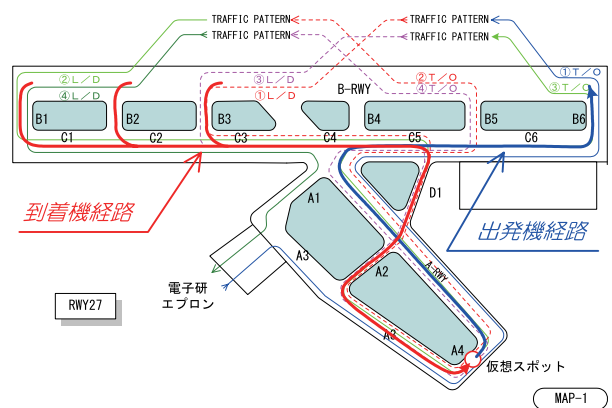
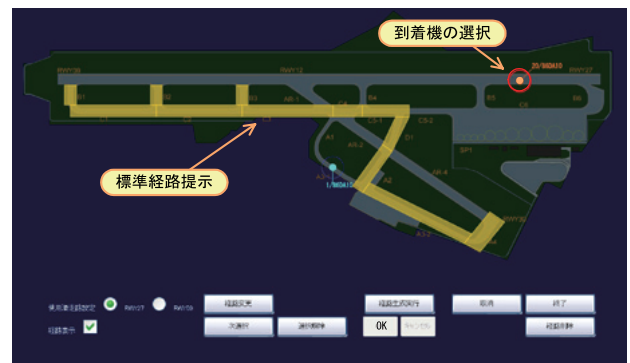
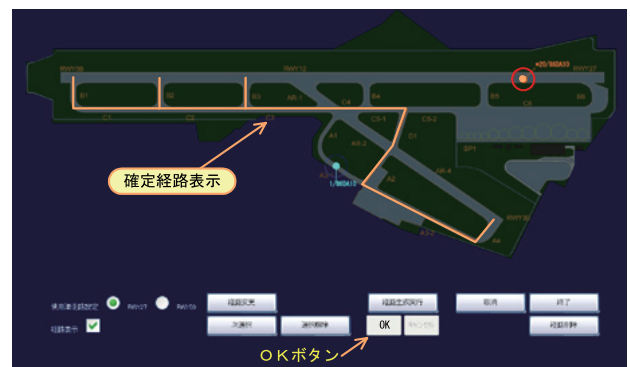


図13 飛行試験用トラフィックパターン



(a) 対象航空機選択&標準経路表示画面



(b) 走行経路承認・確定画面

図14 経路設定操作画面（到着機）

つのブロックとして扱うことの有効性についても確認した。

図15は、統合型空港面監視センサの航跡記録例を示す。これは到着機による地上走行航跡記録例であり、×印がASDEとADS-Bの各センサ航跡、+印がシステム航跡としての統合出力を示す。B3で滑走路を離脱してC3-C4-C5-D1-A2-A3を通過してA4の仮想スポットまでの航跡を示す。このように、統合型空港面監視センサでは複数の監視センサからの位置データを融合処理して、ターゲット毎に統合した信頼性の高い位置データを生成・出力する。また、何らかの原因で片方のセンサデータが欠落しても、他のセンサによる相互補完機能によって連続した位置データが生成・出力されることも確認した。

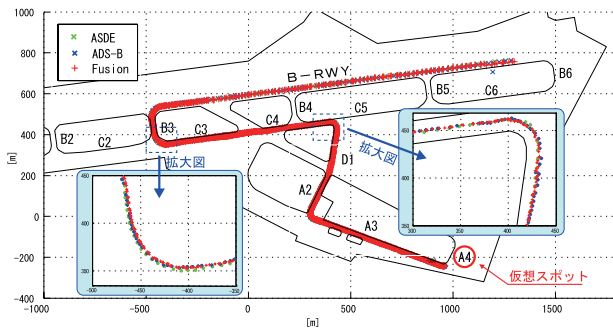


図 1 5 統合型空港面監視センサ航跡記録例

4. まとめ

A-SMGCシステムの開発に向けて、各要素を結合させた実験システムを構築して仙台空港において総合性能試験を実施した。

監視機能については、航空機と車両それぞれの移動体監視に適した複数の監視センサの組み合わせとデータの統合化により空港面を走行する航空機と車両の全てに対する自動識別表示を実現する統合型空港面監視センサの開発を進めており、国土交通省航空局の委託に基づいて平成17年度～平成20年度までに東京国際空港および成田国際空港で実施した「マルチラレーションの導入評価」^[7]、及び「マルチラレーション管制機器化評価」において実用化の見通しを得ることができた。

経路設定機能については、タッチパネル等を使って複数機に対する経路指示が比較的容易にできることを確認した。また、標準的な走行パターンを経路データベースとして準備しておくことの有効性について確認した。今後は、羽田空港や成田

空港といった大規模空港を想定した場合にも対応できる、より簡便な操作性の実現に向けた検討や、これまでの管制官評価で指摘された意見等を踏まえて更なる改良を図っていく予定である。

誘導機能については、複数機（3機）に対する灯火誘導に関して、先着順アルゴリズムに対する検証と、個別に優先順位をつける個別優先アルゴリズムに対する動作検証に主眼を置いて実施した。その結果、いずれの場合も交差点に対して複数の接近機がある場合の TCLL と SBL の制御等、所定の手順に沿って正常に動作することが確認でき、灯火制御装置としての基本的な機能について開発することができた。

管制機能については、滑走路における誤進入とコンフリクトの検出について機能実現に向けたソフトウェアの試作を行った。今後は、動作の判定基準となるパラメータの設定について、実態に即した検証を積み重ねた上で決める必要があることから、各検出項目に対して空港面監視ログデータを使って検証試験等を積み重ねていくと同時に、誘導路上におけるコンフリクト検出についても機能実現に向けて継続的に開発を進める予定である。

謝 辞

本研究を実施するにあたり、ご支援ご協力を頂いた国土交通所航空局、仙台空港事務所、成田空港事務所、東京空港事務所、当研究所岩沼分室の関係各位に感謝します。

参考文献

- [1] International Civil Aviation Organization, “Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems (A-SMGCS) Manual,” ICAO Doc9830, 1(2004)
- [2] 古賀ほか：“A-SMGCシステムの監視機能の性能評価について” 第8回電子航法研究所発表会講演概要, pp. 67-70, 平成20年6月
- [3] 角張ほか：“A-SMGCシステム経路生成機能の開発ー経路設定インターフェイスの開発評価ー” 第46回飛行機シンポジウム講演集(2008), 2008.10.24
- [4] 青山ほか：“A-SMGCシステム経路生成機能の開発ー地上走行パターンの解析について その2ー” 第46回飛行機シンポジウム講演集(2008), 2008.10.24
- [5] 山田ほか：“A-SMGCシステム経路設定機能の開発ー推奨経路生成のための空港面地上走行のモデル化 その2ー” 第8回電子航法研究所発表会講演概要, pp. 57-62, 平成20年6月
- [6] 古賀ほか：“滑走路における誤進入およびコンフリクト検出方式について” 第7回電子航法研究所発表会講演概要, pp. 97-100, 平成19年6月
- [7] 宮崎ほか：“東京国際空港におけるマルチラレーション監視システムの評価結果” 第7回電子航法研究所発表会講演概要, pp83-88, 平成19年6月