

17. 先進型地上走行誘導管制(A-SMGC)実験システムの接続試験について

通信・航法・監視領域 ※二瓶 子朗、宮崎 裕己、松久保 裕二
 機上等技術領域 古賀 禎
 航空交通管理領域 青山 久枝
 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

空港面における航空機や車両等移動体の監視と走行経路の指示などは、現在は主として管制官による目視と音声通信によって行われているが、大きな空港などで交通量が多く、滑走路や誘導路が複雑に入り組んでいる場合や、夜間や霧などによる低視程時では、的確な監視と適切な管制指示を行う事が難しく、管制官の負荷も非常に大きい。

そこで、低視程・大交通量・輻輳経路の状況下でも空港における誤進入防止、経路誘導、間隔確保、衝突防止等を図って、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等に寄与でき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要望に基づいて平成16年度から「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。

本稿では、19年3月に仙台空港で実施した実験システムの接続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。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。

図1にA-SMGCシステムの概念図を示す。

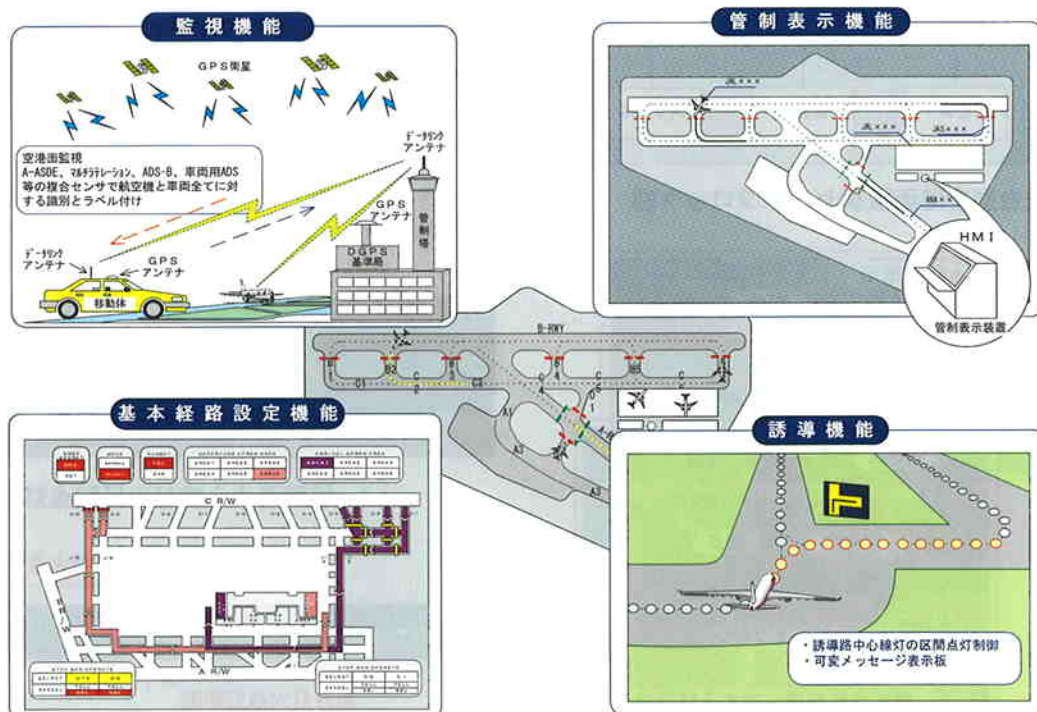


図1 A-SMGCシステム概念図

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A-SMGCシステムの監視機能（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）に適した統合型空港面監視センサを開発する。^{[4][5][7][9]} 図2に統合型空港面監視センサのブロック図を示す。

ASDE（空港面探知レーダ）は空港面を監視する一次レーダであり、航空機側に特別な装備は必要なく、航空機と車両の両方を検出できる。

MLAT（マルチラテレーション）は、航空機に搭載されたトランスポンダから送信されるACAS（航空機衝突防止装置）のスキッタやSSR（二次監視レーダ）の

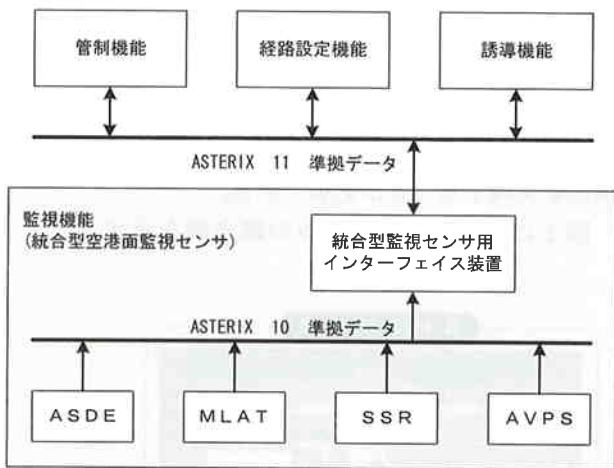


図2 統合型空港面監視センサブロック図

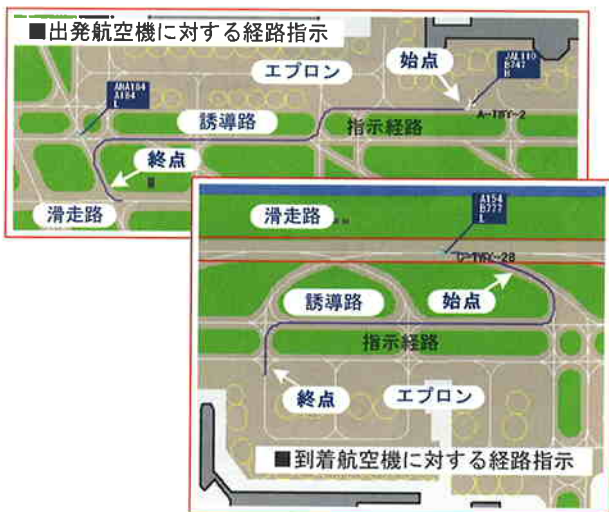


図3 出発航空機、到着航空機に対する経路指示

モードS応答を3カ所以上の受信局で受信して、受信局間での受信時刻差から航空機の位置を測定する監視システムである。^{[3][4][6][10]}

SSRは、空港周辺空域の飛行中の航空機監視が主な役割であるが、A-SMGCシステムでは到着航空機の監視情報を提供するセンサとして、SSRから1NM以遠の飛行中の航空機監視に使用する。

AVPS（空港内車両位置情報システム）は、2.4GHz帯特定小電力SS無線とD-GPS精密測位を活用した空港面ADSシステムであり、主に車両監視用センサとして位置づけている。^{[1][2]}

2.2 経路設定機能

経路設定機能については、図3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できる半自動経路生成ツールを開発する。また、自動的に経路を指示する推奨経路生成処理アルゴリズムの開発を目指して、実際の動きをモデル化するシミュレーションソフトの開発、さらに、現在の管制官の業務を変えずに灯火誘導装置に経路情報を提供できる音声認識技術を活用した経路生成ツールについても併せて開発を進める。

2.3 誘導機能

誘導機能については、統合型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ツールから伝送された経路データを使用して誘導路中心線灯（TCLL）を停止線灯（STBL）と組み合わせることで自動点灯点滅制御できる灯火誘導装置を開発する。

図4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

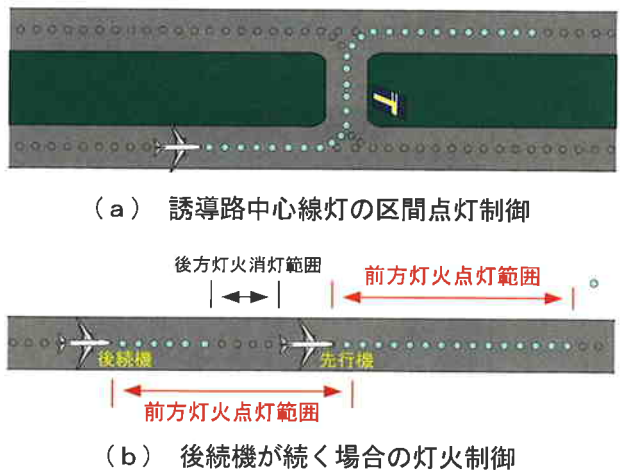


図4 灯火誘導（Follow Green）概念図

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灯火点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。

2.4 管制機能

ICAO(国際民間航空機関)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、監視機能の統合型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を開発する。^{[8][11]}

表1は監視センサと移動体検出の関係を示す。また、図5は、滑走路周りに設定した保護エリアの区分図を示す。

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	○	×	×

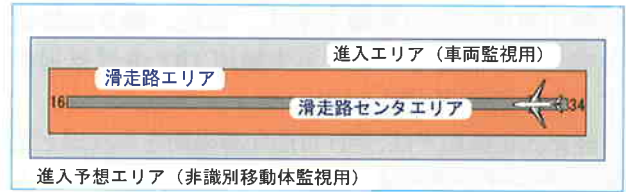


図5 エリア区分図

3. A-SMGC 実験システムの接続試験

A-SMGC実験システムの開発に向けて、各要素を結合させたA-SMGC実験システムを構築し、仙台空港において実験車両と実験用航空機を使った走行試験を実施した。本接続試験では、A-SMGCシステムに要求される4つの基本機能のうち、灯火誘導機能の開発を担当している交通安全環境研究所と共同研究契約を結んで連携を図った。

3.1 実験システムの構成

図6にA-SMGC実験システムの系統図を示す。本接続試験で使用した監視センサは、MLATが東京国際空港における導入評価で使用中なため、その代用としてのADS-B、そしてASDE、SSRモードS、AVPSの4つのセンサを適宜使用して試験を実施した。このうち、主にADS-BとASDEを相関処理して統合型監視センサ出力とした。図7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

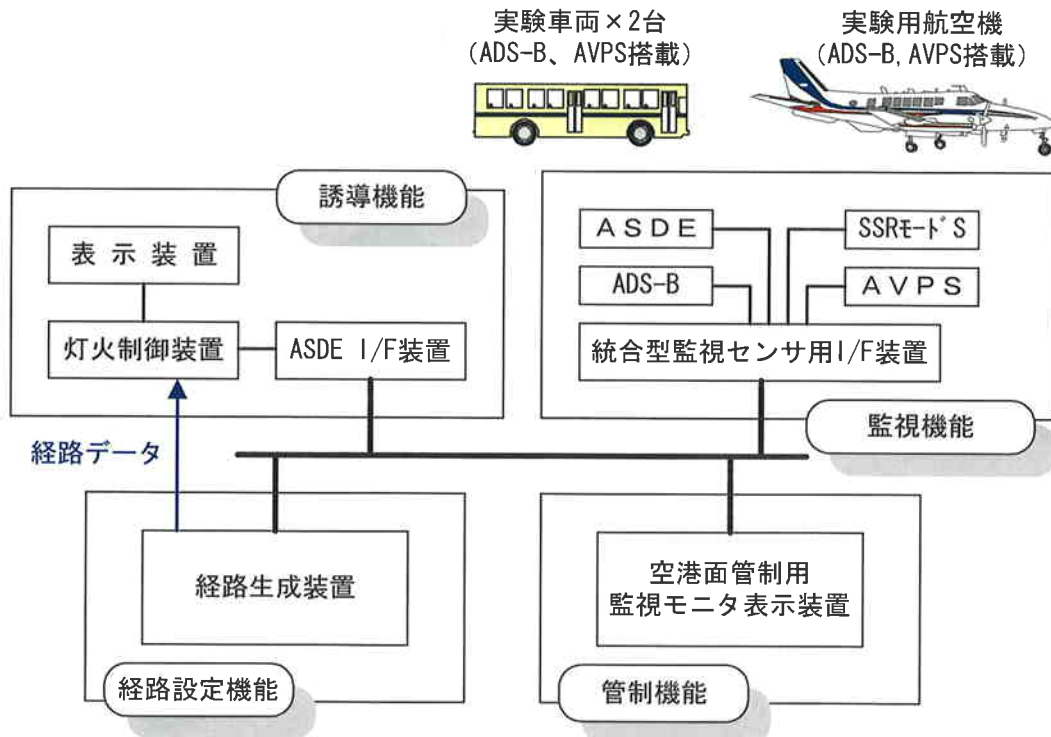


図6 A-SMGC実験システム系統図

実験用車両2台の外観を示す。また、図8は岩沼分室屋上に設置されている実験用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9は、仙台空港面の経路(エッジ)とその名称を示す。図10は、タッチパネルを使った経路生成装置の外観を示す。



図7 ASDEアンテナ鉄塔と実験用車両の外観

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補足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、始点と終点をマニュアルで選択指示することで、その間の経路を自動生成する機能も有する。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。

灯火誘導については、実際の灯器は使えないのでTCLLとSTBL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、



図8 ADS-B受信局アンテナ設置外観

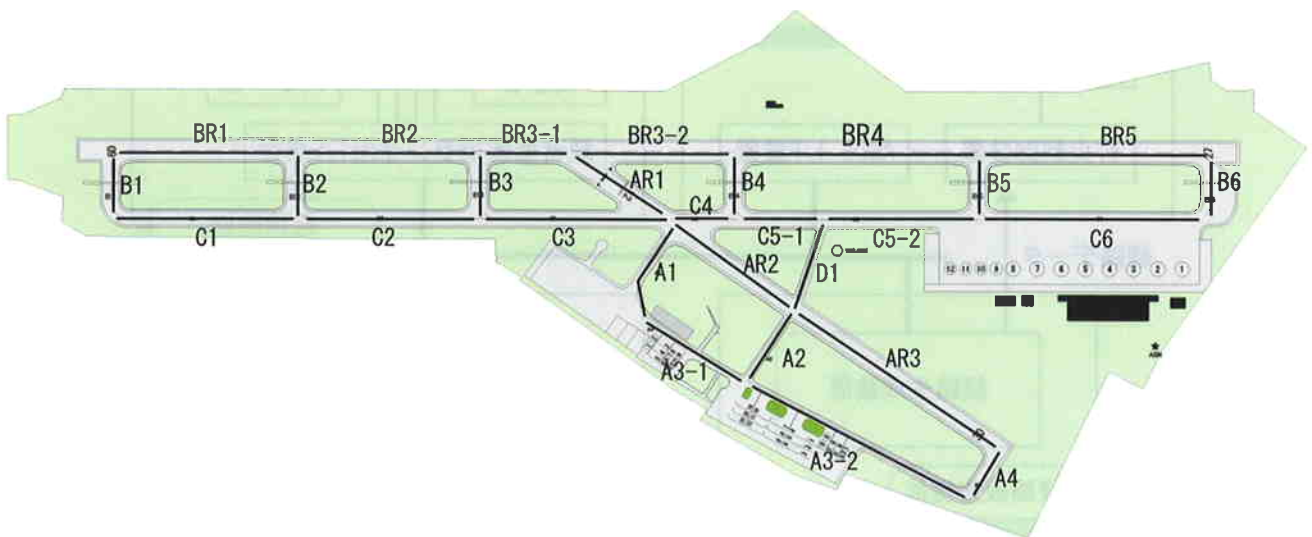


図9 仙台空港面の経路(エッジ)とその名称

TCLLと交差部のSTBL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11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。また、図12は灯火模擬パネルのLEDを点灯したときの表示例を示す。

図13は、統合型監視センサからの移動体位置情報を取り込んで空港面マップ上にシンボル表示する監視情報の提供と滑走路の使用状態を表示する管制用監視モニタ表示装置の外観を示す。



図10 タッチパネルを使った経路生成装置外観



図11 灯火制御装置、灯火制御モニタ表示装置、灯火模擬パネル外観



図12 灯火模擬パネルLED点灯表示例



図13 管制用監視モニタ表示装置外観

3.2 実験用車両による夜間走行試験

今回の接続試験では、複数機に対する経路指示と灯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2台の実験用車両を使った夜間走行試験を行った。

灯火誘導機能は、監視センサからの航空機位置情報と経路指示装置からの走行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TCLLを航空機の走行に合わせて移動点灯する。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、先行機の後方の一定距離（設定距離：100m）までしか点灯させない。

図14は、灯火制御モニタ表示装置の拡大画面であり、前方点灯と後方消灯の表示例を示す。この場合、点灯灯火は一括制御される数個の灯火群ごとに濃緑色の線分で表示している。このモニタ表示画面から、後続機の前点灯は、先行機の後方一定距離までしか点灯していないことが分かる。

交差点においては、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（今回の実験は先着順アルゴリズム）、STBL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。

図15は、交差点における灯火制御モニタ画面表示例であり、2機が相前後して交差点へ接近した場合のTCLLとSTBLの点消灯状況を時間推移に従って示したものである。灯火誘導は、STBLの手前一定距離（設定距離：85m）に先に到達した“TEST001”を優先通過機として、その経路のTCLLの点灯を継続し、同時に他の誘導路のSTBL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（同図（b））。このとき、“TEST002”の前方TCLLはSTBLより先は消灯される。続いて、優先通過機が交差点を離脱（同図（d））、すると“TEST002”に対するSTBLのみを消灯し、その前

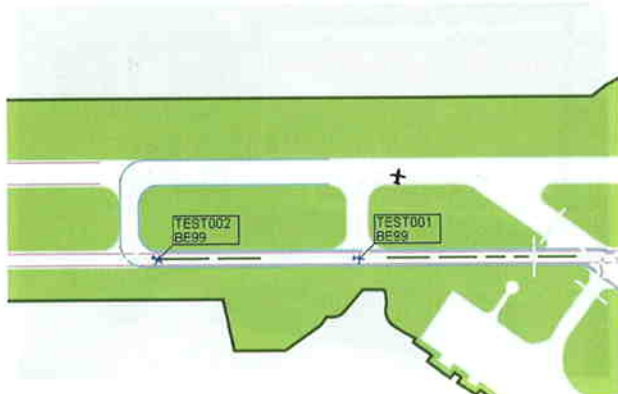
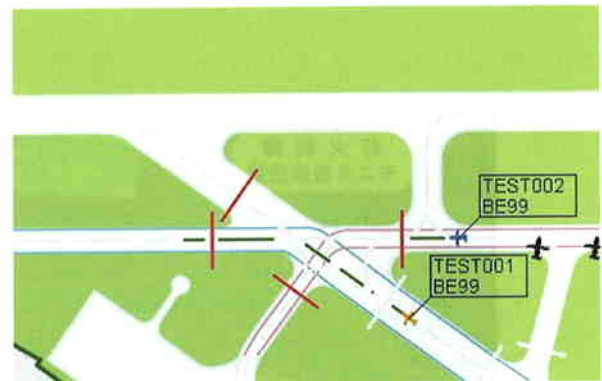


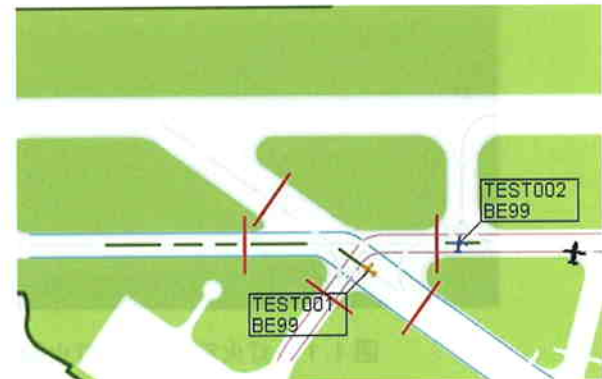
図14 前方点灯・後方消灯制御モニタ画面表示例



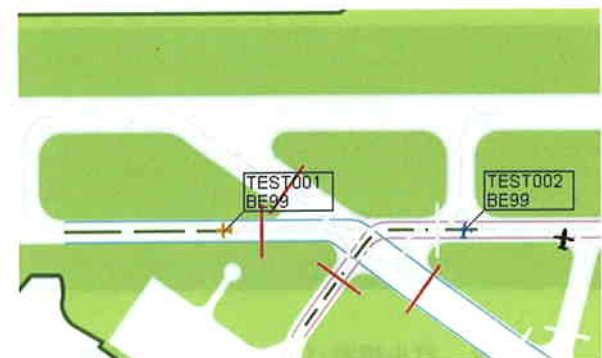
(a) 交差点に2機接近



(b) STBL点灯



(c) 優先通過機交差点通過中



(d) 優先通過機交差点離脱

図15 交差点灯火制御モニタ画面表示例

方TCLLを点灯して交差点への進入を促す。また、灯火の点消灯動作は、実灯火をLEDで模擬する灯火模擬パネルでも検証した。図16は、図15(b)とほぼ同タイミングの灯火模擬パネルのLED(TCLL、STBL)点消灯状況を示す。

今回の実験では、図15に示す灯火制御モニタ画面表示例から分かるように対象となる航空機の移動に合わせてTCLLとSTBLに対する灯火制御が所定の手順に沿って正常に動作していることを確認した。

3.3 実験用航空機による走行試験

監視、経路設定、誘導の各機能に関する基本動作と経路指示の操作性について検証するため、当所の実験用航空機による走行試験を行った。



図16 灯火模擬パネル点灯表示例

到着便に対する経路設定方法で始点となる離脱ポイントについては、1カ所に特定しない柔軟な指示方法を取り入れた。図17は、到着便に対する経路指示画面であり、B1、B2、B3の何れの誘導路から離脱して

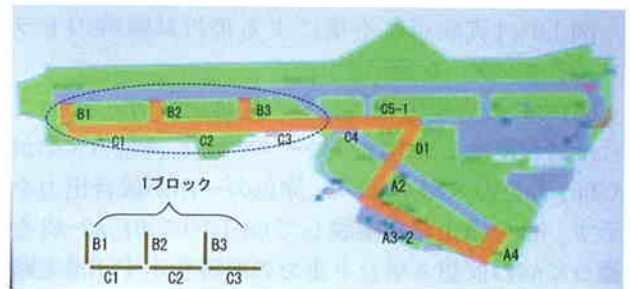


図17 経路生成装置経路指示画面

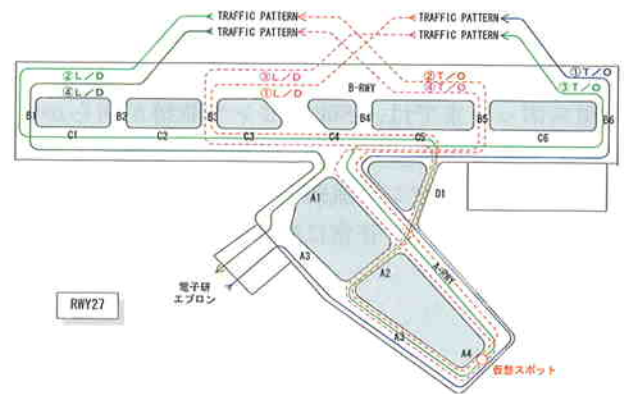


図18 飛行試験用トラフィックパターン

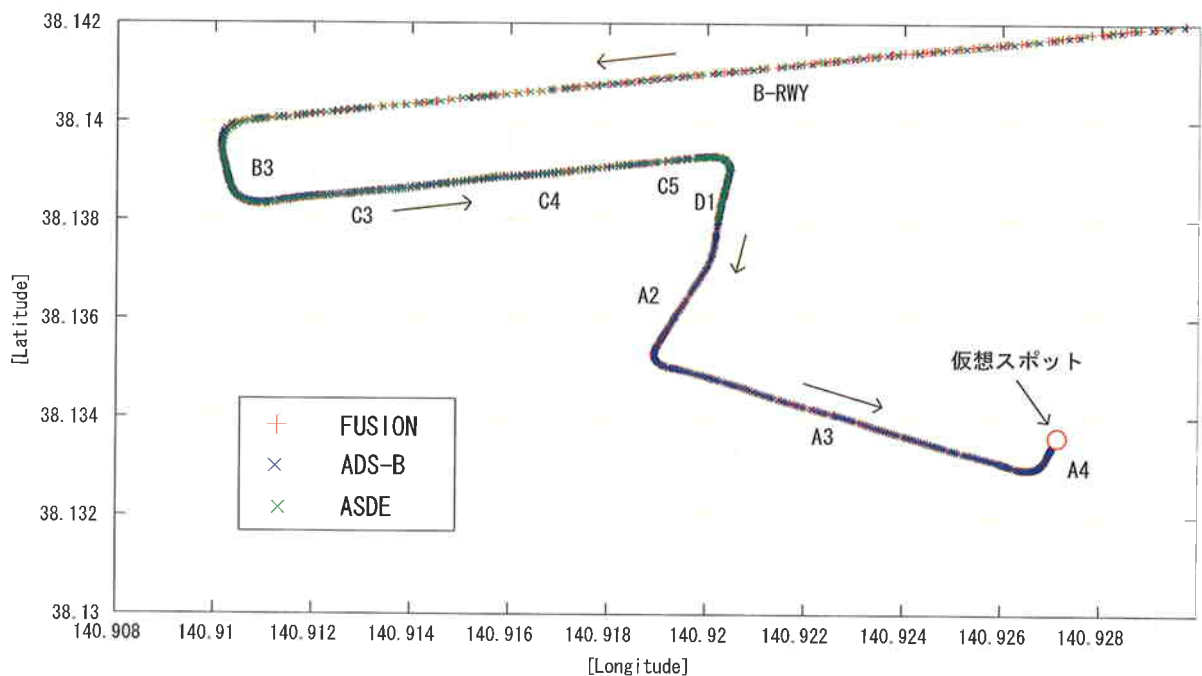


図19 統合型監視センサ航跡記録例(実験用航空機による走行試験)

も対応できるように、B1、B2、B3の各離脱誘導路を1つのブロックとして扱っており、タッチパネル等でB2を選択すれば、B1-C1、B2-C2、B3-C3が1つのブロックとして同時に認識できる簡便な方法についてその有効性を確認することができた。

図18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19は、統合型監視センサの航跡記録例を示す。これは到着便による走行パターンであり、緑色の×印がASDE、青色の×印がADS-B、赤色の+印が統合出力を示す。B3で滑走路を離脱してC3-C4-C5-D1-A2-A3を通ってA4の仮想スポットまでの航跡を示す。B滑走路上ではADS-Bデータに部分的な欠落が確認された。そして、B3で離脱してC3-C4-C5を通ってD1の途中までは、ADS-BとASDEの各センサ単体によるセンサ航跡と2つのセンサ航跡を融合した統合航跡が生成されていることが確認できる。D1の途中からA2-A3-A4の仮想スポットまでは、ASDEのセンサ航跡が何らかの原因で欠落している。しかし、相互補完機能によってADS-B単体によるセンサ航跡と統合航跡が生成されており、システムとして正常に動作していることが確認できた。

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基本性能試験を実施した。今回の接続試験では、灯火誘導機能の開発を担当している独立行政法人交通安全環境研究所と共同研究契約を結んで連携を図った。

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いるが、平成17年度と平成18年度に国土交通省航空局の委託に基づいて実施した「東京国際空港マルチラレーションの導入評価」で実用化に向けての見通しをほぼ得ることができた。今回の接続試験では、統合型監視センサ用インターフェイス装置は、東京国際空港におけるマルチラレーションの導入評価で使用中の装置と同じ物を使用し、ASDEとADS-Bを主たるセンサとして相関処理して統合型監視データとしてシステム内に出力した。そして、A-SMGCシステムの中核をなす監視センサとして機能していることを確認した。また、SSRとAVPSは、実験時における補助センサとして活用した。

経路設定機能については、タッチパネルまたはマウス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。しかし、経路を指示する対象航空機の認識と経路データの生成方法等については、操作性がより簡便な方法について更に検討を進めていきたい。

誘導機能について、今回の接続試験では、複数機に対する灯火誘導機能の検証に主眼を置いて実施した。その結果、後続機が続く場合のTCLLの制御、ならびに交差点に対して複数の接近機がある場合のTCLLとSTBLの制御等、灯火制御装置としての機能の妥当性について検証することができた。

5. 謝辞

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

【参考文献】

- [1]二瓶、田中：“空港内車両位置情報システム”電子情報通信学会 信学技報 SANE2001-115 pp17-21 2002.1
- [2]二瓶：“マルチチャンネル化空港面ADSシステムの開発”電子情報通信学会 信学技報 SANE2003-104 pp65-70 2004.1
- [3]宮崎、二瓶、他：“マルチラレーション監視システムの導入調査(1)”第6回電子航法研究所発表会概要、平成18年6月
- [4]二瓶、宮崎、他：“マルチラレーション監視システムの導入調査(2)”第6回電子航法研究所発表会概要、平成18年6月
- [5]古賀、二瓶、他：“A-SMGCシステムの監視機能の開発について”第6回電子航法研究所発表会概要、平成18年6月
- [6]宮崎、二瓶、古賀：“マルチラレーション監視システムの評価実験”2006電子情報通信学会ソサイエティ大会B-2-30 pp260 2006.9
- [7]二瓶、宮崎、古賀：“統合型空港面監視システムの開発”2006電子情報通信学会ソサイエティ大会B-2-31 pp261 2006.9
- [8]古賀、二瓶、青山：“滑走路における誤進入・コンフリクト検出手法の検討”2006電子情報通信学会ソサイエティ大会B-2-32 pp262 2006.9
- [9]古賀、二瓶、宮崎：“A-SMGCシステムの監視機能について”電子情報通信学会 信学技報 SANE pp62-68 2007.1
- [10]宮崎、二瓶、他：“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概要、平成19年6月
- [11]古賀、二瓶、他：“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概要、平成19年6月