

空港面ADSシステムの基地局運用方式について

航空システム部 二瓶 子朗

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、夜間や霧などのため視程が低い状態では、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、安全で円滑な航空機の地上走行を確保すると共に管制官の負荷を軽減するため、将来は空港面においてもADS(Automatic Dependent Surveillance:自動位置情報伝送・監視機能)システムの導入が必要とされている。

電子航法研究所では、空港における航空機や車両等移動体を監視する空港面ADSシステムの開発・研究を行っている。

平成7～10年度まで実施した第1段階の研究では、無線のデータリンクにポーリング方式の2.4GHz帯小電力スペクトラム拡散無線を活用した拡散帯域幅が26MHz以下の1チャンネル対応のもので、移動体の位置更新レートが1回/秒で約300台の処理能力を有する実験システムを開発した。^{[1][2][3][4][5]}

この技術を活用して、平成11年度には国土交通省航空局の技術協力依頼に基づいて、空港内の移動体管理とデータ通信ができる「空港内車両位置情報システム」を試作して新千歳空港に設置し、平成12年度と13年度に運用評価試験を実施して空港内を走行する移動体監視が効果的に行えることを確認した。^{[6][7][8]}

このような空港面ADSシステムは、将来的には大規模空港で使用することも想定されており、処理容量を大幅に拡大することが課題となっていた。

従来のデータリンク方式では、2.4GHz帯ISM無線バンド(Industrial,Scientific and Medical Band)の全帯域(2471～2497MHz)で1チャンネルしか確保できなかったが、平成11年10月から在来のISM無線帯域幅が約3倍に拡大されて、データリンクを3チャンネル化できるようになり、これを利用して通信容量の大幅な拡大が可能となった。

そこで、平成11～15年度までの5ヶ年計画で実施した第2段階の研究では、従来の時分割によるセル型のデータリンクと周波数分割した通信セルを併用してマルチチャンネル化を図った空港面ADSシステムの開発を目指して実験システムを試作し、平成14年度と平成15年度に新千歳空港において性能試験を実施した。その結果、マルチチャンネル化システムの開発で課題となる異なるチャンネル間での離脱・加入操作がスムーズに実現できるなど、マルチチャンネル化空港面ADSシステムの開発見通しが得られた。^{[9][11]}

本稿では、無線データリンクの中継局として空港内の複数の個所に設置した基地局の効率的な運用方式について報告する。

2.マルチチャンネル化システムの概要

従来の無線通信ネットワークでは、セル型データリンクを構築するため、ISM無線バンド1チャンネルを順次時分割制御することでセル間相互の干渉を防止していた。この方式では、時分割数が増えると、必要なデータ通信量に対して通信制御信号の割合が増加してデータ伝送効率が低下するため、時分割数は大幅に増やせない。また、同一時間帯に送信するセルを複数個設定しようとする、セル間相互の干渉がないように十分な距離を離す必要があるため、空港のような比較的狭い範囲で使用するシステムでは、この方法で通信容量を増加させることは難しい。

しかし、このようなセル型データリンクにおいて複数のチャンネルが確保できると、異なるチャンネルのセル間では相互の干渉がないことからセル設定の制約が緩和されることになり、チャンネル分割と時分割方式を適切に組み合わせることによってセル通信容量を大幅に増加させることが可能になる。

2.1 試作装置の構成

図1は、新ISMバンド(2400～2483.5MHz)に対応したマルチチャンネル化空港面ADS実験システムの構成図を示す。本システムは、階層構造を持ち、上位より管制局、基地局、移動局の3階層で構成される。

(1)管制局

システムの中核である管制局は、ファイルサーバ、スーパーオーガナイザ、チャンネルオーガナイザ、GPS

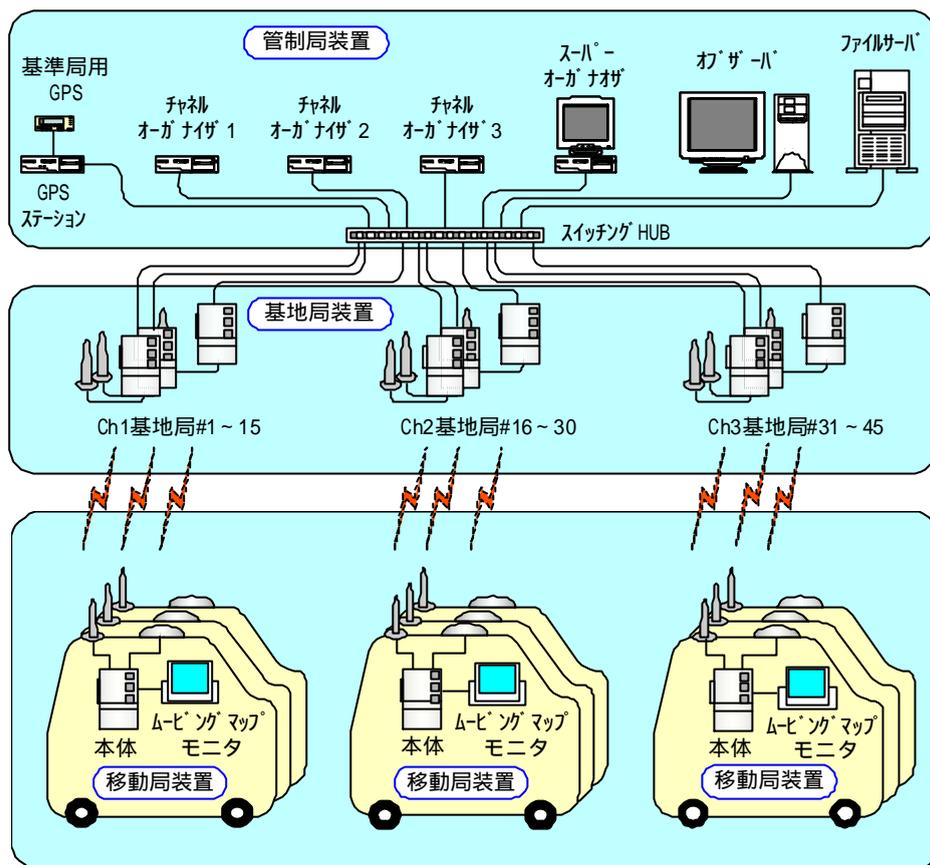


図1 マルチチャンネル化空港面ADS実験システム構成図

ステーション、オブザーバ及びHUBを含めたLAN機器で構成される。

スーパーオーガナイザは、各無線チャンネルの運用制御を行う。運用する基地局の設定、チャンネル運用条件の設定等を行うユーザーインターフェイスを持ち、全ての移動局と基地局をリアルタイムに管理する。

チャンネルオーガナイザは、無線チャンネル毎に設置され、所属する基地局の運用管理を行う。ここでの運用管理方法は、従来のシングルチャンネル方式と同じ基地局の順次切替え方式を基本としている。

(2) 基地局

基地局には、3チャンネル仕様の無線データ通信装置が内蔵されている。周波数チャンネルは、自由に切替え可能であるが、通常チャンネル固定で運用され、従来の基地局と同様の動作となる。基地局は、1チャンネルあたり15局まで設定可能である。

(3) 移動局

移動局は、基地局と同じ無線データ通信装置、移動体測位センサーとしてのDGPS受信機、自転車位置を表示するムービングマップモニター(タッチパネル式12インチSVGA液晶パネル)で構成される。運用時の周波

数チャンネルは、接続する基地局に対応して動的に切替えられる。

移動局は、基地局に加入しているときは従来と同じ動きをする。また、基地局サービスエリアを離脱・加入する場合の判定にGPSの位置情報を使用するのと同じである。ただし、移動する先が異なるチャンネルの場合は、チャンネル切替え動作を伴う。

表1は、無線データ通信装置無線部の要目を示す。

表1 無線データ通信装置無線部要目

無線周波数：2.4GHz帯	2400.0～2483.5MHz 2471.0～2497.0MHz
変調方式：	直接拡散方式
拡散帯域幅：	2.6MHz以下
周波数切替え機能：	2414MHz / 2442MHz / 2470MHz (中心周波数)
	*旧ISMバンドでの使用も可
空中線電力：	4.6mW/MHz
データ伝送速度：	1Mbps
復調方式：	DPSKコンボルバによる マッチドフィルタリング復調方式

3 .性能試験

「空港内車両位置情報システム」を設置して評価実績もあり、基地局の設置環境に恵まれている新千歳空港に試作したマルチチャンネル化空港面 A D S 実験システムを設置して性能試験を実施した。

実験では、使用する基地局数を 6 局とし、試作装置の基本性能を確認するため、各基地局を単独で運用した時の電波の覆域調査、設置した基地局 6 局を同時に運用してマルチチャンネル構成とした時のシステム性能調査を中心に実施した。そして、新千歳空港における各基地局の最適なチャンネル割り当てと基地局の効率的な運用方式について実験的検証を行った。

3 .1 従来の基地局運用方式

図 2 は、平成 14 年 7 月にマルチチャンネル化システムの基本性能試験を実施したときと同じ従来の基地局運用方式でのシステム運用時の航跡記録例を示す。

このときの基地局運用方式は、時間と周波数の 2 つの要素の組み合わせによるサービスエリアの設定を前提

とし、チャンネル内は同期(複数の基地局に対して順番にサービス権を与える順次切替え)方式、チャンネル間是非同期(複数の基地局が同時に連続稼働する切替え)方式で運用した。

図中の円は、各基地局を中心とするサービスエリアであり、半径は電波環境やセルの切替え操作の効率を考慮して任意の大きさに設定できる。また、各基地局は、設置場所の物理的な制約を除いてセルの切替え操作が効率的に実現できるように、基地局の中心位置を仮想位置にオフセットさせている。図中の 印は実際の設置位置を、 印はオフセットさせた各基地局の仮想設置位置を示す。

図 2 に示す各基地局に対するチャンネル割り当ては、従来の基地局運用方式における最適な組み合わせを示すものであり、同一チャンネルでの切替えや異なるチャンネル間での切替えを含めて離脱・加入操作がスムーズに行われていることを確認した。

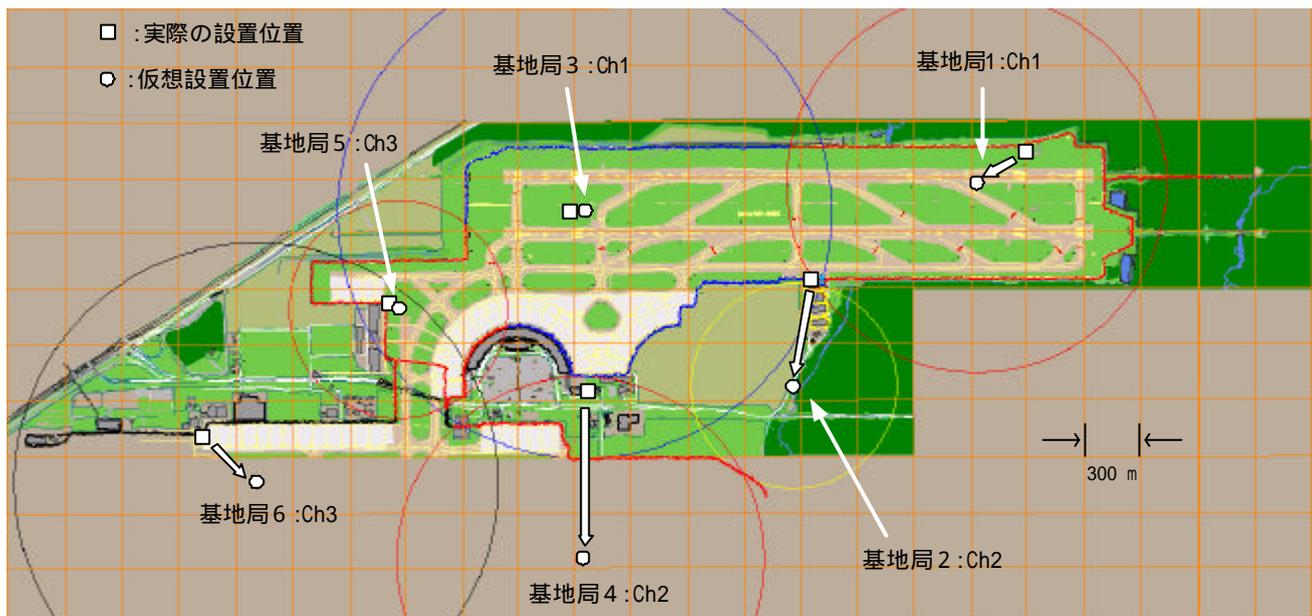


図 2 従来の基地局運用方式におけるシステム運用時の航跡記録例

3 .2 基地局サービスエリアの空間分離特性

平成 15 年 7 月の実験では、前年度確認した時間と周波数の 2 つの要素でのサービスエリアの設計から、さらに空間の要素を加えた 3 つの要素によるサービスエリアの設計と、その特徴を生かした制御系の動作確認に主眼を置いて実施した。

基地局サービスエリアの空間分離は、2 つの基地局を同時に連続サービスを行った場合でもサービスエリア間で干渉が発生しない距離を確保することが設定に

あたっての必要条件となる。

検証実験では、基地局 1 を基準として、距離の異なる 3 つの基地局(基地局 6、5、3)を基地局 1 と合わせて行った。このとき、2 つの基地局は同一チャンネルに設定し、非同期方式で運用した。そして、隣接するセル間での離脱・加入操作が所定の手順に沿って正常に行われるかどうかを検証した。

表 2 は、各基地局のチャンネル設定と運用方式(同期、または非同期方式)を示す。

表2 基地局のチャンネル設定と運用方式

	基地局1	基地局2	基地局3	基地局4	基地局5	基地局6
試行1	Ch1 (非同期)	Ch2 (同期)	Ch0 (同期)	Ch2 (同期)	Ch0 (同期)	Ch1 (非同期)
試行2	Ch0 (非同期)	Ch2 (同期)	Ch1 (同期)	Ch2 (同期)	Ch0 (非同期)	Ch1 (同期)
試行3	Ch1 (非同期)	Ch2 (同期)	Ch1 (非同期)	Ch2 (同期)	Ch0 (同期)	Ch0 (同期)

試行1では、基地局1と6をCh1の非同期方式で運用し干渉実験を行った。なお、基地局2と4はCh2の同期方式、基地局3と5はCh0の同期方式で運用した。この場合、基地局1と6の設置距離間隔は約4.5kmあって通信覆域外であることから異常な動作は確認できなかった。

試行2では、基地局1と5をCh0の非同期方式で運用し干渉実験を行った。この場合、基地局1と5の設置距離間隔は約3.2kmであり、通信覆域が重なる部分で干渉が発生する可能性が考えられたが、異常な動作は確認できなかった。これは、サービスエリアの切替えポイントで干渉源となる基地局に対するパワー比が十分取れてることと、対象となる2つの基地局の間に異なるチャンネルの基地局(ここでは基地局3:Ch1)が存在して1回チャンネル切替え動作が入るためと考えられる。

試行3では、基地局1と3をCh1の非同期方式で運用し干渉実験を行った。この場合、基地局1と3の設置距離間隔は約2.5kmであり、サービスエリアも隣接して通信覆域も半分以上が重なっているため、各サービスエリアの設計上の切替えポイントでの離脱・加入操作が正常に行われず観測された。

図3は、干渉による異常動作個所の航跡記録例を示す。

以上の実験結果から、空間的に基地局のサービスエリアを分離するには、基地局の設置距離間隔を5km以上確保することが望ましいが、間に異なるチャンネルの基地局を設定した場合、3km程度まで近づけても問題なく運用できるケースがあることを確認した。

3.3 開始同期方式

平成15年7月の実験では、平成14年7月の実験で確認した時間と周波数の2つの要素でのサービスエリ



図3 干渉による異常動作個所航跡記録例

アの設計から、さらに空間の要素を加えた3つの要素によるサービスエリアの設計と、その特徴を生かした制御系の動作確認に主眼を置いて実施した。

開始同期方式は、任意の複数の基地局をセットにして同時にサービスを開始する方式であり、セットされた基地局全てのサービスが終了した時点で、次の基地局セットのサービスを開始する。セットする基地局は、周波数の制約が無い場合、非常に柔軟な基地局サービスの組み合わせが可能となり、多数の基地局を制御する場合の効率的な基地局運用が期待できる。

表3は、今回の実験で確認した開始同期方式における各基地局のチャンネル設定と開始同期する基地局グループの組み合わせを示す。最初のグループ(グループ1)は、チャンネルの異なる3つの基地局を選定して、さらに距離(空間)で分離された基地局を加えて同時に4つの基地局をセットした。次のグループ(グループ2)では、残った2つの基地局をセットした。

図4は、新千歳空港内の場周道路を実験車両で1周

表3 開始同期方式の基地局チャンネル設定と基地局グループの組み合わせ

	基地局1	基地局2	基地局3	基地局4	基地局5	基地局6
グループ1	Ch1	Ch2	-	-	Ch0	Ch1
グループ2	-	-	Ch0	Ch1	-	-

したときの開始同期方式によるシステム運用時の航跡記録例を示す。航跡記録例を見て分かるように走行コース上における各サービスエリアの切替えポイントでは、同一チャンネルでの切替えや異なるチャンネル間での切替えを含めて離脱・加入操作がスムーズに行われていることを確認した。

図5は、航空機の運航が終了した夜の10時半以降に実施された消防車両の夜間走行訓練の航跡記録例を示す。この時の車両台数は、指揮・監督車1台、超大型化学消防車2台、給水車1台、高速化学消防車1台、

医療作業車1台、そして実験車両1台の計7台である。この場合も航跡記録例を見て分かるように、データ欠落も無く、各セルの切替えポイントで離脱・加入操作がスムーズに行われていることを確認した。

図6は、航跡表示モードとタグ表示モードの表示例を示す。タグ表示モードでは、稼動している移動局の情報を容易に確認できる表示機能であり、車両番号(車両のナンバー)、号車番号(1号車、2号車…)、及び無線機のコールサインや運転車名等のユーザーオプション情報を表示する。

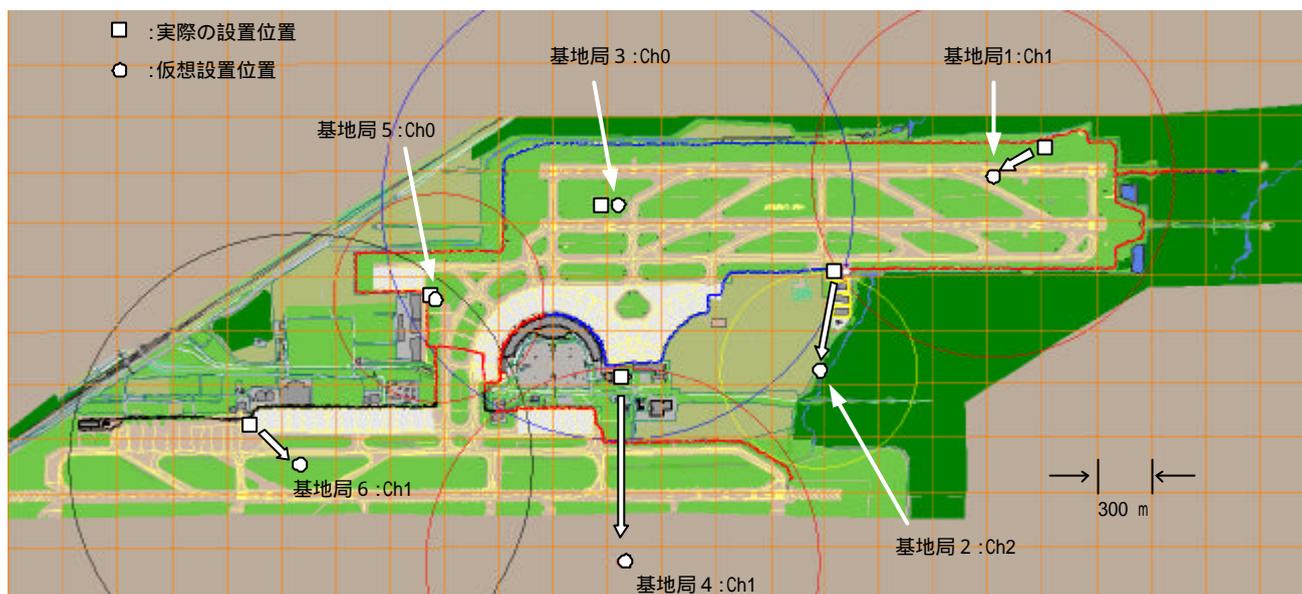


図4 開始同期方式システム運用航跡記録例

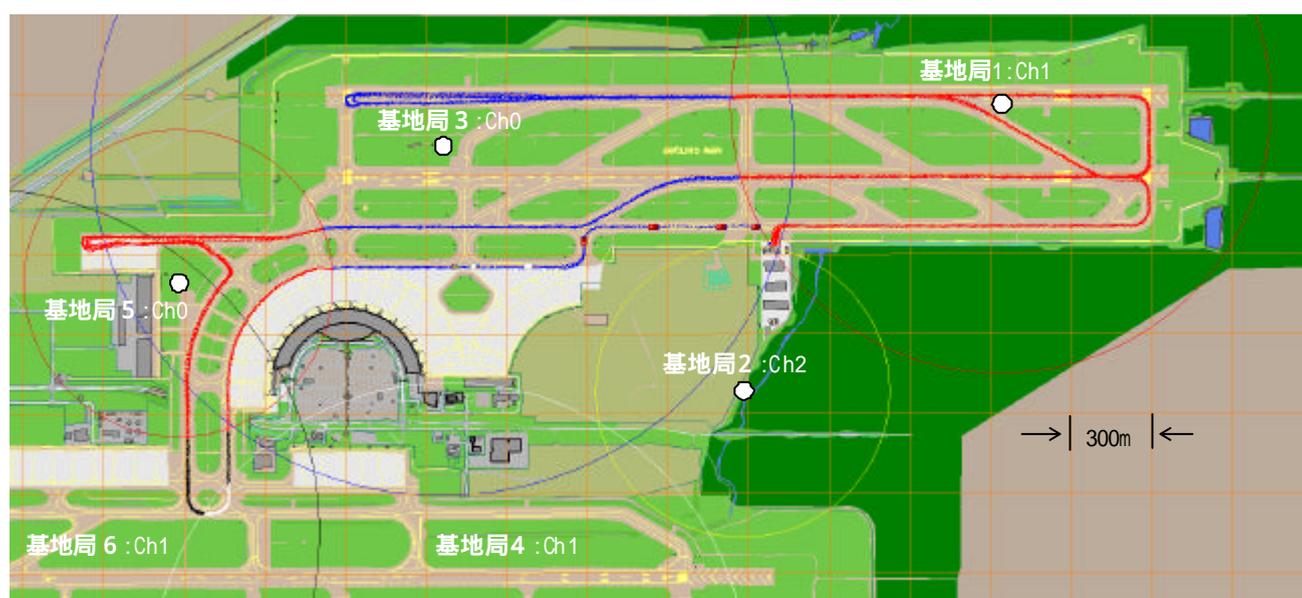
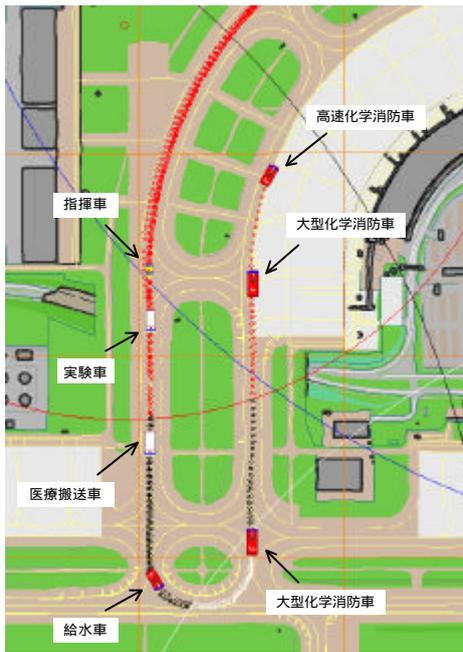
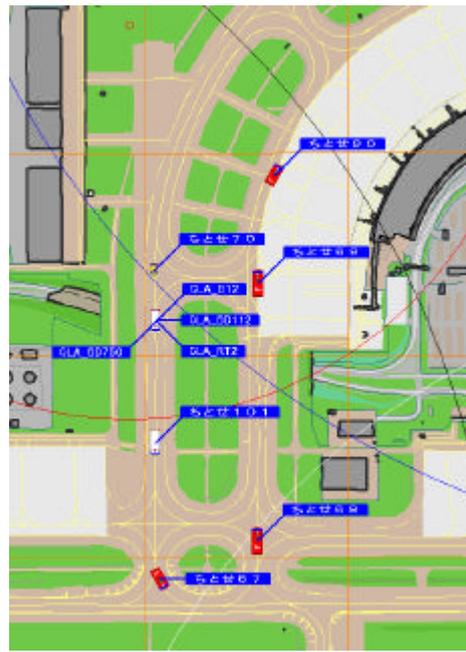


図5 消防車両夜間走行訓練航跡記録例(開始同期方式)



(a) 航跡表示例



(b) タグ表示例

図 6 航跡表示 & タグ表示例

5 . おわりに

試作したマルチチャンネル化空港面ADS実験システムの基地局運用方式に関して、従来の時分割と周波数の2つの要素に加えて、空間を加えた3つの要素によるサービスエリアの設計と、その特徴を生かした制御系の動作確認に主眼を置いて実験的検証を行った。

その結果、サービスエリアの空間分離については、基地局の設置距離間隔を5km以上確保することが望ましいが、間に異なるチャンネルの基地局を設定することで3km程度まで近づけられることを確認した。

また、基地局サービスエリアの空間分離特性の結果を踏まえて設定した開始同期方式では、複数の基地局をセットにして同時にサービス開始できるため、柔軟な基地局サービスの組み合わせが可能となり、従来のチャンネル間非同期方式に比べて干渉の発生確率も改善され、多数の基地局を制御する場合の効率的な運用を可能とする有効な方式であることを確認した。

今後は、試作したマルチチャンネル化空港面ADS実験システムとデジタルASDEとの接続、SSRモードS拡張スキッタなどのADS-Bとの接続を図り、航空機と車両が同一の画面上で監視できる統合化された空港面ADSシステムの開発を進める。^[10]

最後に、本研究を実施するにあたり、ご支援ご協力頂いた国土交通省東京航空局新千歳空港事務所ならびに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：“データリンクを利用した空港面監視システムについて”第29回電子航法研究所発表会概要、平成9年6月
- [2] 二瓶、田中：“空港面自動従属監視システムについて”第30回電子航法研究所発表会概要、平成10年6月
- [3] 二瓶、田中：“空港面自動従属監視システムについて”1998 信学ソサイエティ大会 B-2-6
- [4] 二瓶、田中：“空港面自動従属監視システムの性能評価実験”第31回電子航法研究所発表会概要、平成11年6月
- [5] 二瓶、田中：“空港面自動従属監視システムについて”日本航海学会誌、NAVIGATION 第142号 平成11年12月
- [6] 二瓶、田中：“空港内車両位置情報システムについて”第32回電子航法研究所発表会概要、平成12年6月
- [7] 二瓶、田中：“空港内車両位置情報システムの性能評価実験”第1回電子航法研究所発表会概要、平成13年6月
- [8] 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 pp17-24 2002.1
- [9] 二瓶：“マルチチャンネル化空港面ADSシステムの開発”2003電子情報通信学会総合大会 B-2-37 pp296 2003.3
- [10] 二瓶：“統合型空港面ADSシステムの開発”2003電子情報通信学会ソサイエティ大会 B-2-10 pp256 2003.9
- [11] 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