

10. ASDE デュアルサイト化に向けた干渉対策実験

航空システム部 ※加来 信之 小松原 健史

1. はじめに

東京国際空港の再拡張事業により新設される予定の滑走路は、図1に示すように、現在運用中の空港面探知レーダ（ASDE）の覆域外に整備されることになっているため、その滑走路をカバーする二番目のASDEが必要となった。

しかし同じ空港で2台のASDEを運用するための新たな電波取得は、昨今の逼迫した電波事情を考えると、相当に困難であると考えられるため、同一周波数で二つのASDEの運用を可能とする干渉除去技術の開発を行うことになった。いくつかの干渉除去方法を机上検討したが、複雑なフィールド環境で発生する電波伝搬に関する事象については机上検討では限界があるため、実際に実験用ASDEを設置し、実環境に近い状態で評価・検証する必要が生じた。そこで、仙台空港内に実験用ASDEを設置し、既存の電子航法研究所のASDEとの間で干渉実験を実施することとなった。

平成15年度は、実験用ASDEは受信機能のみとし、電子航法研究所のASDEによる干渉波の影響を調査した。平成16年度は、実験用ASDEの送信機能を稼働させ、実験用ASDEと電子航法研究所ASDEとの両局に対する相互の干渉実験を実施した。

2. ASDE の概要

ASDEは、空港面を監視するのが目的であるので、探知距離は他の航空管制用レーダに比べて非常に短い。空港内の航空機と車両の位置確認に用いるため、距離および方位方向の分解能は高い。ASDEは表1の定格表のように、分解能を高めるため幅20nsのパルスを、水平面ビーム幅0.3度のアンテナから、周波数24.5GHzで毎秒14,000回送信している。アンテナが毎秒1回転するため、14,000個のパルスで360度を監視することになる。目標からの反射信号を表示装置に表示したとき、0.5NM離れた位置において、方位方向には10m離れた二つの目標を、距離方

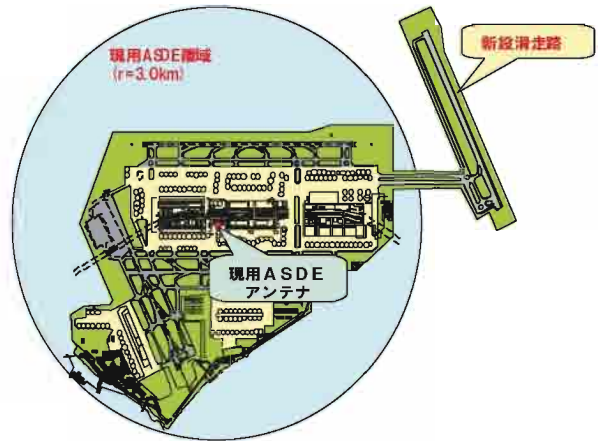


図1 東京国際空港の再拡張計画とASDE覆域

表1 ASDE 定格表

項目	定格等
送信周波数	24.25 ~ 24.75 GHz
アンテナ出力	30 kw (尖頭電力)
パルス幅	20 ns ± 5 ns
繰返し周波数	14,000 pps ± 10%
受信機雑音指数	5 dB 以下
水平ビーム幅	0.3°
偏波面	円偏波
アンテナ利得	45 dBi
アンテナ回転数	60 rpm ± 10%

向には放射線状に8m離れた二つの目標をそれぞれ識別できる分解能を有している。

図2は、ASDE画面の実例で、仙台空港に着陸したボーイング767が滑走路を走行しているときのものである。芝地など反射信号がある部分は白く、滑走路、誘導路などの反射信号がない部分は黒く表示されている。画面中央部分では、黒く表れている誘導路上に、反射信号が強い航空機が白く表示されている。

3. 干渉波抑圧方法

複数のレーダを近接した状況で運用するため

には、それぞれのレーダの周波数を変えて、電波干渉が生じないようにする手法が一般的な解決方法である。しかしASDEは、送信デバイスがマグネトロンで、分離可能な中心周波数を持ったマグネトロンを規定の公差以内で製造することは製造技術上困難であるため、同一周波数帯域を使用する手段で干渉問題を解決しなければならない。

同一周波数で干渉を防ぐ方法として、①送受信タイミングを制御し、他局が送信している間は受信しないようにして干渉を抑圧する方法、②送信周期を変化させて他局への干渉波を非同期化するスタガ機能と、スイープ間相関のない信号を干渉波として除去するデフルータ機能を併用する方法の2種類を開発し、干渉対策実験を実施した。

4. 実験設備

ASDEの干渉実験には二つのASDEが必要であるが、運用中の機材は実験に使用できないため、実験用として整備されている電子航法研究所岩沼分室の91型ASDE（ENRI-ASDE）を利用し、仙台空港にもう1台の干渉対策実験用の89型ASDE（CAB-ASDE）を仮設することにした。このASDEは、図3に示すように仙台空港北側のASR/SSRアンテナ鉄塔の脇に、ENRI-ASDEに正対するように設置した。ENRI-ASDEとCAB-ASDEとの直線距離は約1,014mである。

送受信タイミング処理では、二つのASDEの送信タイミングを同期させる必要があるが、ENRI-ASDEとCAB-ASDEとの間に信号回線を敷設でき

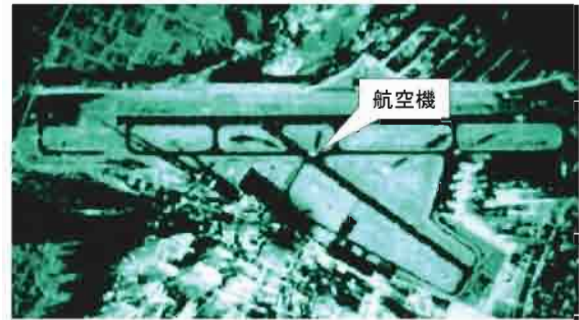


図2 ASDE表示画面

なかったため、CAB-ASDE側でENRI-ASDEのパルス信号を受信し、擬似的にENRI-ASDEのトリガ信号とアンテナ角度信号を作成した。そしてこの擬似トリガ信号を基に、CAB-ASDEの受信タイミングをENRI-ASDEに同期させた。図4にこれらトリガ関係の制御をおこなう信号変換装置の外観を示す。ENRI-ASDEの信号は、図右側上部に示す小型のホーンアンテナで受け、ASDEと同等の性能を有する受信機を用いて受信した。スタガ機能とデフルータ機能は、この信号変換装置の中に1枚のカードとして追加した。

5. 送受信タイミング処理による干渉波抑圧

現在運用しているASDEは71.4 μ sの繰返し時間で送信しており、その後半約1/2の時間はASDEの理論的な覆域である3NM以遠であるため、実際には調整用に受信信号をマスクしている。この受信信号をマスクしている時間に他のASDE局が送信すれば、覆域内にある反射物体からの反射信号、すなわち干渉波の大部分は抑圧



図3 実験用ASDEの設置状況



図4 信号変換装置の概観

されることになる。

現在のASDEの送信繰返し周期は $14,000\text{pps} \pm 10\%$ であるため、送信繰返し時間の許容される範囲は、 $64.9 \sim 79.4\mu\text{s}$ となる。この許容時間を2分割しても、 3NM を監視するために必要な $37.04\mu\text{s}$ を確保できることになる。デュアル化する場合の2局の送受信タイミングの一例を図5に示す。サイト1では送信後 $37.04\mu\text{s}$ から受信マスクをかけ、それと同時にサイト2で送信する。サイト2の送信パルスによる干渉波の大部分は、サイト1の受信マスクの設定時間内にサイト1に到達するため、これらの干渉波はサイト1では受信されない。同様に、サイト1からの干渉波も、サイト2では受信マスクにより抑圧される。

自局の反射波を表示した状態で干渉波を調査するのは困難なため、干渉波を観測する局側では送信せず受信波だけを表示する方法で干渉

実験を実施した。CAB-ASDEの送信を止め、ENRI-ASDEからの干渉波を表示させたPPI画面を図6に示す。これは8スキャンすなわち8秒間、シャッターを開いて撮ったものである。CAB-ASDEとENRI-ASDEのアンテナは互いに無関係で回転し、受信タイミングも互いに無関係にしたときの干渉波である。すなわち干渉対策を何も取らないときのものである。直接波と考えられる強い信号が、スパイラル曲線のように円弧を描きながら、徐々に外側から内側に向かって移動している。強い信号が外側から内側に向かって移動するのは、ENRI-ASDEの送信タイミングとCAB-ASDEの受信タイミングが多少異なるため、CAB-ASDEのトリガと干渉波の到達時間差が徐々に小さくなり、このような現象が発生しているものと考えられる。

図7に受信タイミングを半周期遅らせたとき、すなわち干渉対策を施したときのCAB-ASDEで受信した干渉波の実例を示す。この実例は、干渉波が1分毎に大きくなる瞬間を狙って撮影したもので、CAB-ASDEの北西側に設けられているASR/SSR鉄塔の方向に干渉波が現れている。この現象は、ENRI-ASDEからの送信波がASR/SSR鉄塔に当たり、その反射波がさらに遠方の反射物体に当たり戻ってきた反射波が再度ASR/SSR鉄塔で反射したものを受信したと考えられる。この方向に干渉波が現れるのは約1分間毎で、これはENRI-ASDEとCAB-ASDEのアンテナ回転数が微妙に異なり、ある時刻に両者のアンテナビームがASR/SSR鉄塔に向いたとき干渉波が強く現

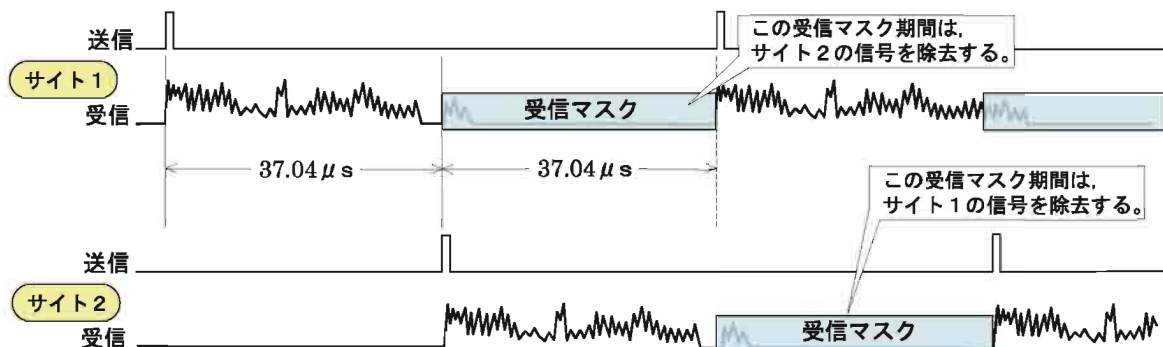


図5 デュアルASDEの送受信タイミング



図6 非同期での干渉波

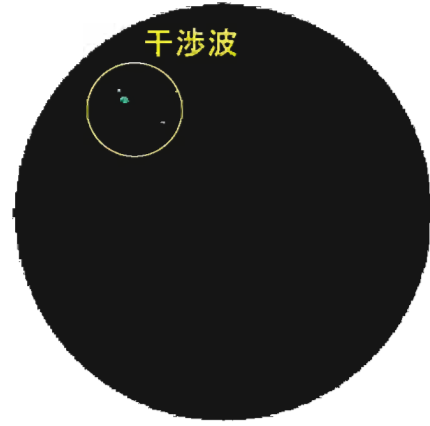


図7 トリガから半周期遅れでの干渉波

れ、その後徐々に両者のアンテナの向きが合致する方向が変わり、約1分後に再びASR/SSR 鉄塔に両者のアンテナが向くためと考えられる。CAB-ASDEでは、このように約1分間隔で同じような干渉波が繰り返されている。この繰り返し時間内に、どの程度干渉波が現れるか調べたところ、60 スキャン中7スキャンだけ干渉波が認められた。しかも、この干渉波はほとんど孤立点であり、帯を引くような干渉波は1スキャンのみであった。

6. スタガ・デフルータ機能による干渉波抑圧

ASDEの覆域外の反射物体からの干渉波は、タ

イミング調整では抑圧不可能である。このような遠方からの干渉波を抑圧するには、スタガ機能とデフルータ機能の組み合わせが有効である。図8にCAB-ASDEからスタガ送信し、ENRI-ASDEでは一定周期で送受信するときの送受信タイミングを示す。これは $0.2\mu\text{s}$ 、すなわち30m間隔で交互に送信タイミングをずらす2スタガ送信時の送受信タイミングである。CAB-ASDEは $78.0\mu\text{s}$ で送信した後、次の送信は $78.2\mu\text{s}$ で送信し、この送信タイミング間隔を繰り返す。これに対し、ENRI-ASDE側は $78.1\mu\text{s}$ の等間隔で送受信を行う。

同一の反射物体から反射された反射信号は、

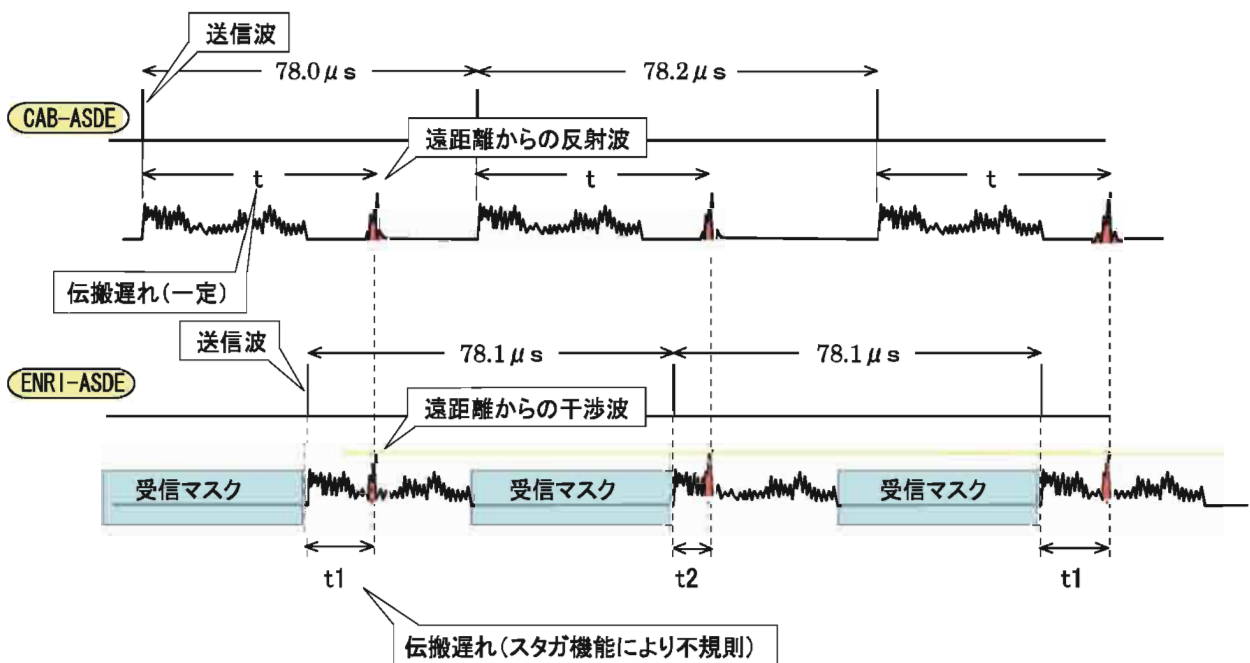


図8 スタガ時の干渉波の発生状況（2スタガ送信）

CAB-ASDE 側では一定の伝搬遅れで受信される。例えば、図に示した赤い遠方からの反射波は、常に送信トリガとの時間差が t となる。この反射波が ENRI-ASDE で受信されると、スタガ効果のため周期ごとに送信トリガとの時間差が変化する。この例では、CAB-ASDE が $78.0\mu\text{s}$ で送信するときは時間差は t_1 となり、 $78.2\mu\text{s}$ の場合では t_2 となる。

ASDE はアンテナ 1 回転で 14,000 パルス送信し、アンテナのビーム幅が 0.3 度であるため、小さな反射物体でも数十スイープ以上は反射信号を戻す。このため目標からの反射信号は、スイープ間で大きな相関が見込まれる。スイープ毎の信号を距離方向にレベル比較し、スイープ間で相関がとれない信号を干渉波として消去すれば、干渉波を抑圧することが可能となる。このような干渉波抑圧機能をデフルータと呼び、図9にデフルータ機能の概念図を示す。上段の信号は1スイープ前の受信信号を、中段は現在の受信信号を、そして下段の信号がデフルータの出力信号を表している。自身の送信パルスによる反射波は、スタガ時でも常に同一の距離に現れるが、干渉波はスタガ効果でスイープ毎に発生距離が変化する。この概念図では、1スイープ前の受信信号は送信トリガより t_1 遅れて干渉波を受信しているが、最新の受信信号の場合 t_2 遅れて受信している。自身の反射信号は同一距離で比較すると同等の信号レベルを有しているが、干渉波は他のスイープ信号のレベルと大きく異なることになる。レベル差が大きい場合、干渉波と認識しそれを消去すれば、干渉波を抑圧することが可能である。

図10にデフルータの構成図を示す。まず受信機からの受信ビデオ信号をA/D変換してデジタル化する。次にその信号をビデオメモリで1スイープ分記憶、すなわち1スイープ遅延させる。この遅延させた受信信号と最新の受信信号を、比較回路でレベル比較をおこない、干渉波と認識した場合その距離（レンジビン）の信号を消去する。その後D/A変換で再びアナログ信号に変換する。

デフルータ機能の効果を確認するため、干渉波が発生しやすいようにENRI-ASDEとCAB-ASDEを同期させ、さらに干渉波を見やすい場所に発

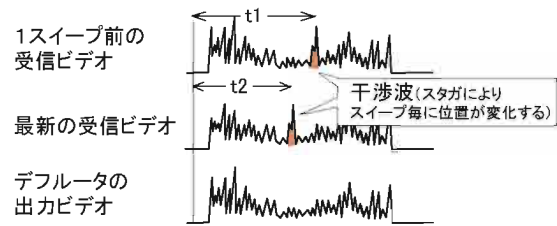


図9 デフルータ機能の概念図

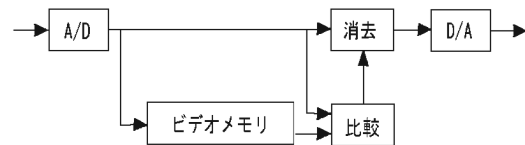


図10 デフルータの構成図

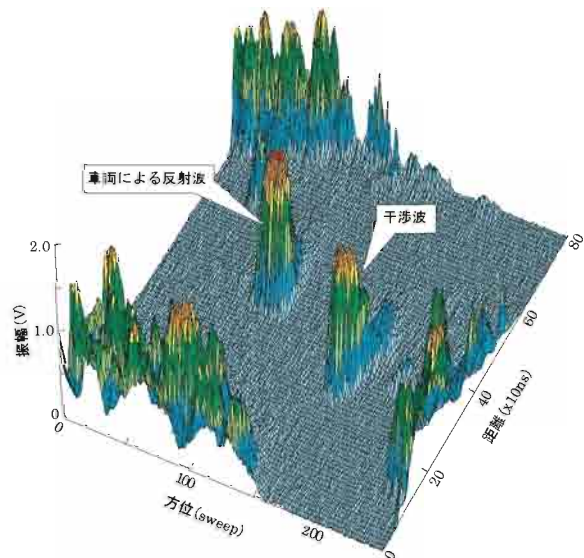


図11 車両の反射波と干渉波

生するようにCAB-ASDEのトリガをずらして干渉抑圧実験をおこなった。

干渉波は滑走路Bと誘導路B4との交差点に強制的に発生させた。干渉波と対比させるため、干渉波を発生させる場所の隣に車両（ランドクルーザ）を停車させたときのENRI-ASDEの受信信号を図11に示す。左側の信号が車両からの反射波、右側の信号が干渉波である。この干渉波はCAB-ASDEの直接波により発生したもので、その信号レベルの強さは車両の反射波に匹敵して

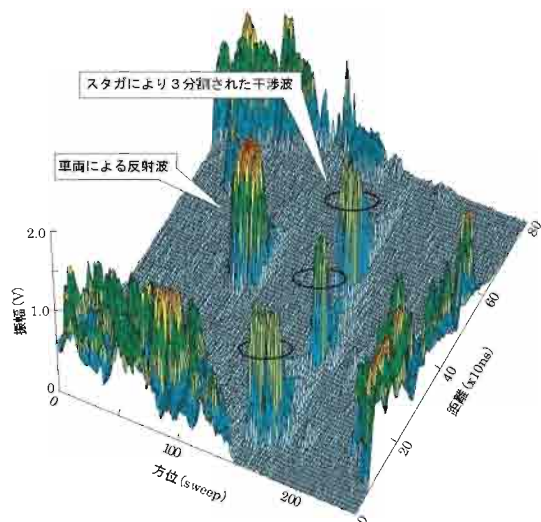


図12 スタガ機能を稼動させたとき

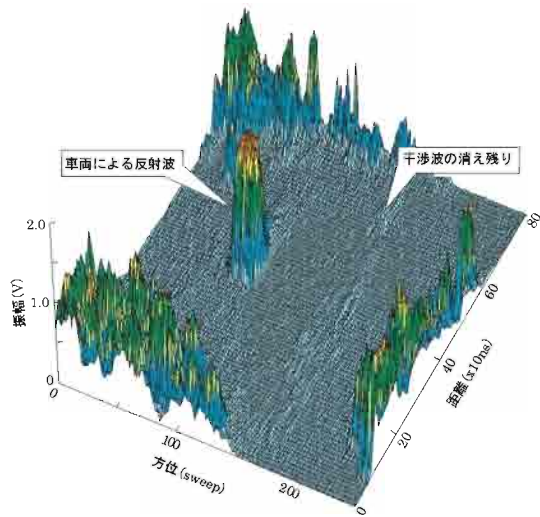


図13 デフルータによる干渉波抑圧

いる。

スタガ機能を稼動させたときの信号を図12に示す。図で明らかなように、ENRI-ASDE自らの反射信号は図11と同じ形態をとっているが、CAB-ASDEによる干渉波はスタガ機能により信号が分割されている。この例は60m間隔で交互にタイミングをずらす2スタガであるが、図で見ると3分割されている。これはCAB-ASDEのトリガを、CAB-ASDEサイトで受信したENRI-ASDE信号から作成しているため、その処理がときどき誤動作を起こし、タイミングが狂うためである。

スタガ機能でスイープ間の相関をなくした信号にデフルータ処理を行うと、図13のように干渉波を抑圧することが可能である。干渉波の消え残りが認められるが、この信号レベルでは表示装置上では確認できず問題は生じない。

7. まとめ

東京国際空港の再拡張事業により新設される予定の滑走路を監視するために、同一周波数で二つのASDEの運用を可能とする干渉除去技術の開発を行った。

同一周波数で干渉を防ぐ方法として、送受信タイミングを制御して干渉を抑圧する方法と、スタガ機能とデフルータ機能を用いる方法の2種類について干渉対策実験を実施した。

その結果、この二つの方法を同時に用いれば、東京国際空港において二つのASDEを運用できることを確認した。

参考文献

- (1) 加来, 北舘: " 準ミリ波レーダによる空港面監視システム", 電子情報通信学会技術報告 SANE97-40, 1997
- (2) 加来, 北舘: " 空港面探知レーダの航空機反射信号特性", 電子航法研究所報告, No. 88, 1997
- (3) 加来: " 空港面監視システムによる航空機検出の位置精度", 電子航法研究所報告, No. 101, 2003
- (4) 加来, 小松原: " ASDEデュアル化の干渉実験", 電子情報通信学会ソサイエティ大会, 2004, B-2-31
- (5) 加来, 小松原: " デフルータ機能によるASDE干渉波の抑圧", 電子情報通信学会総合大会, 2005, B-2-26