

日本無線のセンシング技術

Sensing Technology of JRC

菅原 博樹 Hiroki Sugawara	源田 正弘 Masahiro Genda	石内 豊 Yutaka Ishiuchi
平木 直哉 Naoya Hiraki	川口 優 Masaru Kawaguchi	高橋 明彦 Akihiko Takahashi

要 旨

本稿では、当社のコア技術の一つである「センシング技術」に関する具体的な取り組みについて述べる。当社は、モビリティ、インフラストラクチャ&セーフティー、ライフ&ヘルスケアの各市場において様々なセンサを提供している。当社のセンシング技術を応用した代表的な製品について、当社が保有する技術の概要、及び技術開発に対する当社の取り組みについて紹介する。更に、将来に向けて必要となるセンシング技術の方向性について述べる。

Abstract

This article describes the concrete tackles related to "sensing technology", which is one of JRC core technologies. JRC offers various sensors in each market of mobility, infrastructure & safety, and life & health care. Regarding the typical products that apply JRC sensing technology, we introduce the outline of our technology which JRC holds and JRC tackles to the technology development. Furthermore, the direction of sensing technology required for the future is described.

1. まえがき

当社は、レーダや衛星測位システムのような無線応用機器、超音波ソナーや非破壊診断装置のような超音波応用機器に適用される多種多様なセンシング技術を、モビリティ、インフラストラクチャ&セーフティー、ライフ&ヘルスケアの各市場において広く提供している。これらの市場は、陸、海、空の各フィールドを網羅している。センサの活用フィールド毎の分類を図1に示す。

技術、船舶レーダやVTSレーダに採用される固体化レーダ技術、不要波抑圧技術、目標追尾技術、波浪観測技術などがある。この他にも、医療診断装置に用いられる超音波ビームフォーミング技術、非破壊診断装置におけるUWBレーダ技術、超音波フォーカシング技術、POCT向けセンサにおける検体の高精度測定技術、衛星測位システムにおいてRTK技術がある。

ここでは、センシング技術を応用した当社製品（レーダ機器及び衛星測位機器）における当社の保有技術、技術開発に関する当社の取り組み、及び将来的な技術の方向性について紹介する。

- (1) 気象レーダ
- (2) 船舶レーダ
- (3) 海上交通管制システム（VTS）レーダ
- (4) ドローン衝突回避レーダ
- (5) GNSS（衛星測位システム）

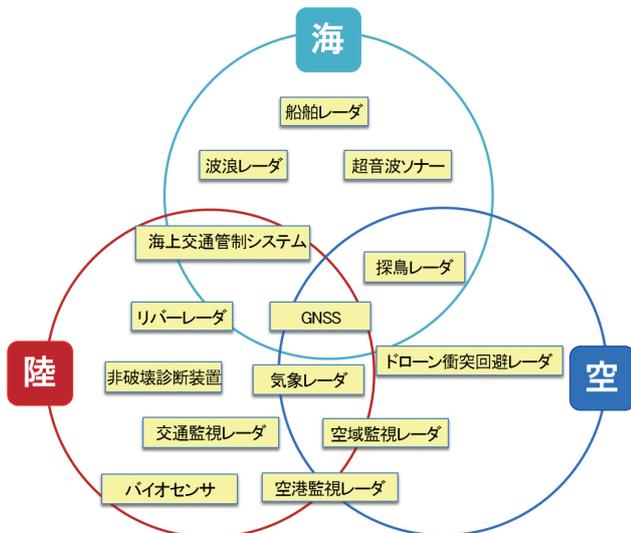


図1 センサの活用フィールド毎の分類
Fig.1 Classification of sensors by field

2. 気象レーダ

気象レーダは、回転するアンテナから電波を放射し、雨滴や雪片などで反射した電波を受信・分析して降水粒子の距離、方位、高度、量を観測（センシング）する装置である。近年、都市部における局地的豪雨、線状降水帯や猛烈な台風による災害が社会問題となっており、これらの災害を防ぐため、異常気象の実態把握と、雲解析モデルによる機構解明と観測予測精度の向上が求められる。この要である気象レーダには、異常気象をもたらす積乱雲の3次元立体観測情報を正確かつリアルタイムに取得することが求められる。

センシング技術の代表的なものとして、気象レーダに採用される二重偏波レーダ技術やフェーズドアレイアンテナ

最新のパラボラアンテナ式気象レーダは、垂直／水平面の電波を同時に送受信する二重偏波（MP：マルチパラメータ）機能により降雨減衰の影響を排除し、降雨強度の推定精度を向上させている。また、降水粒子の特徴の推定が可能である⁽¹⁾。

観測対象である積乱雲は、大気の状態が不安定な時に地表面の高温多湿の空気が上昇し、その空気が上空で冷却されて下降することにより生じる対流により発生し、垂直方向に発達する。積乱雲の発生から降雨開始までの時間は早くて約10分であるが、図2に示すようにパラボラアンテナ式MP気象レーダはアンテナの仰角を変えながら回転させて3次元立体観測を行うため、観測データの更新に約5分を要し、豪雨の早期検知や観測データの時間的連続性の維持が困難であった。また、パラボラアンテナの鋭い指向特性（ペンシルビーム）により、短時間で空間的な連続観測を行うことが困難であった（直径 2.2 mのX帯アンテナの場合、垂直面／水平面共にビーム幅は約1.2°）。

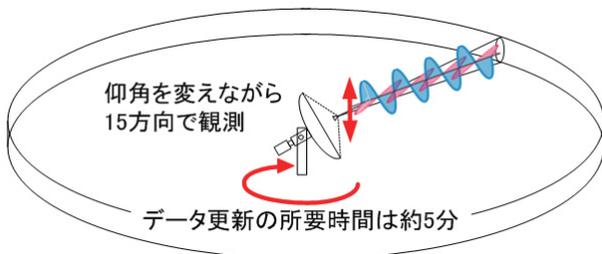


図2 パラボラアンテナ式MPレーダ観測イメージ
Fig.2 Multi parameter radar using a parabolic antenna observation

当社は、積乱雲に対し空間的／時間的に連続した3次元観測を行うため、X帯単偏波フェーズドアレイ気象レーダ⁽²⁾を2015年に開発し、実際の積乱雲観測による評価を継続している。

フェーズドアレイ気象レーダは、図3に示すようにアンテナを仰角方向に動かすことなく、アレイアンテナの各素子におけるレーダ信号の位相制御により電氣的に仰角方向のビームを変え、電子走査により観測を行う。ここで採用しているデジタルビームフォーミング処理は、アンテナの各素子が受信した信号をAD変換し、処理プロセッサ上で指向性を形成する技術である。この技術の採用により複数ビームの同時形成が可能となり、高度15 km、半径80 kmの広範囲における3次元立体観測をわずか30秒間で実現した。

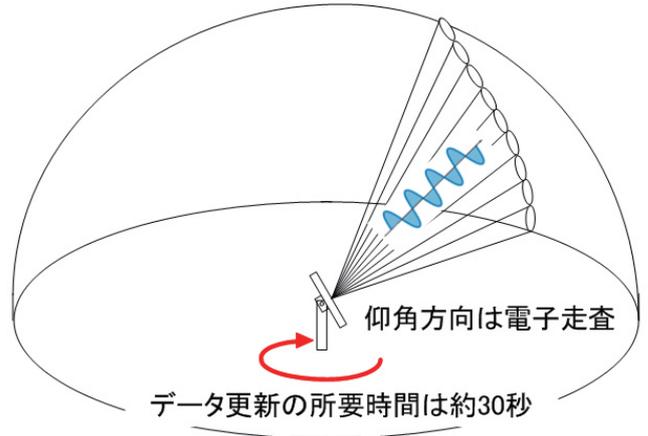


図3 単偏波フェーズドアレイレーダ観測イメージ
Fig.3 Phased array radar observation

図4は、積乱雲の中に直径数kmのメソサイクロンと呼ばれる「低気圧性の回転（メソサイクロン）」を立体的に捉えたものである。

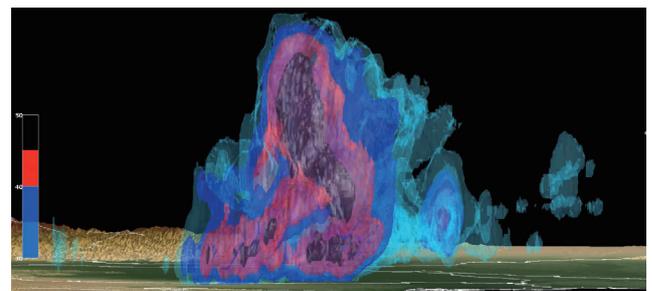


図4 メソサイクロン部観測事例
Fig.4 Mesocyclone observation example

広範囲に被害をもたらす線状降水帯や台風の3次元立体観測を行うためには観測可能範囲が広いC帯レーダを使用する必要があるため、C帯MPフェーズドアレイ気象レーダの開発を今後進める。開発に際しては、既存機器の換装を考慮し、高い電力効率、軽量化、回路の小型化、整備性向上との両立が必要となる。

「C帯MPフェーズドアレイ気象レーダによる広域精密観測」と「C帯による観測域の隙間となるエリアや都市部におけるX帯MPフェーズドアレイ気象レーダによる観測」を組み合わせることで、国土の大部分において、空間的／時間的に隙間のない積乱雲観測システムを構築することが可能となり、異常気象による災害の未然防止に大きく貢献する。

3. 船舶レーダ

船舶レーダは、電波により障害物を探知するセンサとして船舶の安全航行のために必要不可欠であり、技術の発展とともにその性能を向上させてきた。船舶レーダは送受信部を組み込んだ「空中線」と受信信号をレーダ映像として表示する「指示機」で構成される。センサとしての性能を左右する諸元は「送信周波数」「送信電力」「アンテナ指向

性」及び「受信機感度」である。探知用の電波として、分解能に優れたX帯と荒天時の探知に有利なS帯が一般的に使用される。また、受信信号からシークラッタ（海面反射波）や、他船から受ける干渉波などの不要信号を除去し、必要な探知信号のみを抽出する信号処理技術により、適切なレーダ映像を指示機に表示させる。図5にシークラッタ（海面反射波）を除去する信号処理の効果について示す。

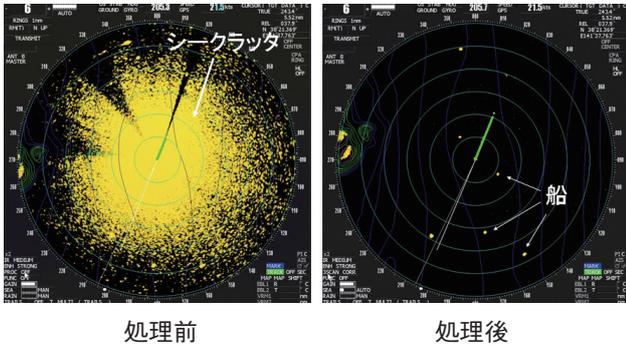


図5 シークラッタ（海面反射）を除去する信号処理の効果
Fig.5 Signal processing for sea-clutter rejection

船舶レーダは、搭載する船舶（用途）に応じ様々なタイプが製品化されている。小型漁船やプレジャーボート向けとしては図6に示すような近距離の探知性能を重視した小型で安価な製品が求められ、中大型漁船やワークボート向けとしては、近距離から遠距離までの広い範囲の探知性能に加え、目標追尾やチャート表示など多くの機能を備えた製品が求められる。また、漁労分野におけるニーズとして遠方の鳥の探知がある。垂直ビーム幅を狭くした高利得アンテナを使用する探鳥レーダは巻き網船市場において欠かせない製品となっている。本製品の例を図7に示す。



空中線 指示機
図6 小型レーダ JMA-1030シリーズ
Fig.6 Entry class marine radar



空中線 指示機
図7 探鳥レーダ（中型レーダ）JMR-5460-S
Fig.7 Bird detection radar

商船向けとしては、法的な搭載義務を満たすための性能要件であるIMO国際規格（IEC62288/62388）に適合し、かつ安価で保守性に優れた製品が求められる。レーダを含む商船向けの製品は、船内LAN経由で船内同士の通信を可能とする他、通信衛星を介した船陸間の通信（情報共有）やリモートメンテナンスサービスも可能とする。また、船舶の効率的な運航に資する波浪解析機能の搭載も可能である。商船向けレーダの例を図8に示す。



図8 商船向けレーダ（大型レーダ）JMR-9200シリーズ
Fig.8 High-end class marine radar

S帯船舶レーダでは、従来のマグネトロンに替わり高周波高出力のトランジスタを用いた固体化レーダが製品化されている。これは、マグネトロン交換を不要として運用コストを削減するとともに、コヒーレント処理を可能にした。コヒーレント処理とは、位相情報を用いてドップラフィルタ処理を行うことにより、シークラッタ内にある移動物標の検出精度を向上させるものである。

日本国内において、2019年6月の法改正によりX帯固体化レーダの運用が認められた。固体化レーダは、送信尖頭電力が低く、パルス幅が長く、パルス率が高いため、SART（レーダトランスポンダ）が応答しない事態や、電波干渉の影響が予想される。これらの課題を解決したX帯固体化レーダの安価な実現が求められる。

国土交通省や船舶の運航会社、船舶機器製造者を中心に、2025年の自動航行船の実現に向け、機器による自律的判断や遠隔操作に関する開発が進んでいる。これにともない、船舶レーダにおいては、探知性能向上、物標識別、機器操作の自動化による高度な見張り機能の実現と、船員や遠隔操作拠点への正確な情報の提供が求められる。

正確かつ精度の高い情報をレーダ単体で取得することは困難であり、他の情報（地図・海図、水深、海象・気象、AISなど）との統合及びデータ分析が必須である。このためにはAIの活用が不可欠である。当社はこの観点で技術開発を進め、船舶レーダのデジタル化、インテリジェント化を推進し、海事産業の発展に貢献していく。

4. 海上交通管制システム (VTS: Vessel Traffic Services)

海上交通管制システム（以下VTS）は、レーダ、AIS、VHF無線電話装置、VHF方向探知機、カメラなどを統合したシステムである。航行中あるいは港湾内の船舶に対し、航行の安全情報、他船の動静情報、危険区域情報などを提供し、船舶運航における安全確保及び効率化、海洋環境保全に寄与する。

VTSレーダは、船舶レーダ同様、従来のマグネトロンに替わり高周波高出力のトランジスタを用いた固体化が進んでいる。当社は、固体化送信機（図9参照）の電力効率を向上させるとともに大電力化と自然空冷方式を両立させ、交換を必要とする部品を減らし、保守性と信頼性を向上させた。



図9 200 W出力 X帯固体化送受信機
Fig.9 200 W Power X-band solid state TRX

更に、高利得、高分解能を実現する22 ft 長尺アンテナや、降雨の影響を受け難い円偏波アンテナを開発した。固体化送信機の特長であるコヒーレント処理により、従来のレーダでは得られなかった情報（速度、速度幅）の取得を可能とした。これらのデータを用いて物標探知能力、物標識別能力を向上させた。加えて、指示機への3次元表示機能（図10参照）の実装などにより、運用者の利便性を向上させた。

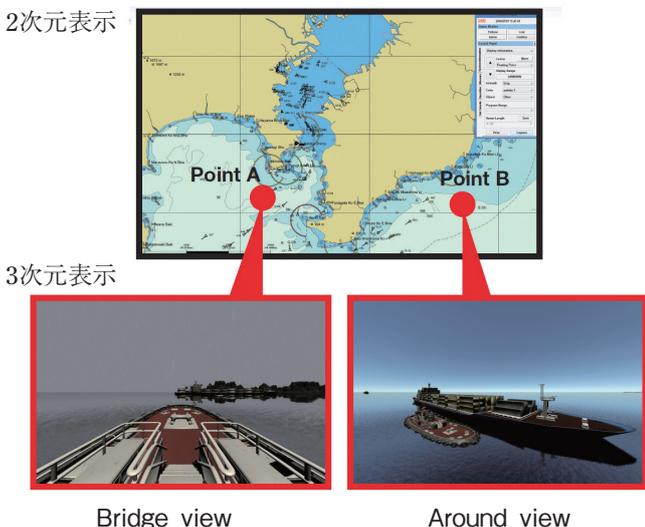


図10 3次元表示装置
Fig.10 3D display equipment

船舶の安全確保等を目的として船舶運航の情報化を進めることを目的とする「e-Navigation（船陸間通信ネットワーク）」についての議論が進められている。VTSの情報はe-Navigationにおいて船舶へ提供される。

VTSレーダには、物標探知能力の向上と物標識別機能の充実が求められ、その実現には、他の船舶のレーダ情報、海象・気象情報、AIS情報、カメラによる監視情報との統合が必要となる。これらの情報を蓄積し、AIなどにより高精度な物標識別や船舶進路予測を行い、VTS監視域における安全かつ最適な航路を導出する。これらを実現し、ユーザに寄り添った港湾管理環境を提供していく。

5. ドローン衝突回避レーダ

一般にドローンと呼ばれる小型無人航空機や、より大きなセンサなどを搭載できる中型無人航空機の運用数は増加しており、農業分野などにおいて利活用が広がっている。また、昨今では災害時の物資運搬や遭難者捜索、物流などのシーンにおける活用が大いに期待されている。

一方、無人航空機とドクターヘリなどの有人航空機のニアミスの実例*1が国内で報告されており、ドローンを安全に利用するうえで衝突回避技術の開発が喫緊の課題となっている。衝突回避技術は、無人航空機の実用化に必要とされる、「目視外飛行*2」及び「第三者上空飛行*3」の実現に欠かせない技術である。

当社は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の「ロボット・ドローンが活躍する省エネルギー社会の実現プロジェクト」に参加し、同機構並びに株式会社SUBARU、日本アビオニクス株式会社、三菱電機株式会社、株式会社自律制御システム研究所と共に、衝突回避技術の開発をしている。



図11 中型無人航空機
Fig.11 Medium-sized unmanned aerial vehicles

当社は、この技術開発において、図11のような中型無人航空機に搭載可能な小型・軽量の電波センサ（レーダ）（図12参照）を担当し、全方位を対象とする、主に遠方（約5 km先）の物体の探知を実現すべく開発を進めている。



寸法：直径 390 mm × 高さ 250 mm, 質量：5 kg

図12 電波センサ (レーダ)

Fig.12 Radio wave sensor (Radar)

2019年7月に、福島県、南相馬市、公益財団法人福島イノベーションコースト構想推進機構の協力のもと、福島浜通りロボット実証区域 広域飛行空域（福島県南相馬市）において、本装置を中型無人航空機に搭載した衝突回避システムによる自律的な衝突回避試験を世界で初めて実施した。

本試験において、前進飛行中の中型無人航空機が、相対速度100 km/hで対向する有人ヘリコプタを感知し自律的に衝突を回避する飛行試験を行い、当社が開発した電波センサにより有人ヘリコプタを適切に感知・識別し衝突を回避することを確認した。

なお、この成果は、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務及び助成事業の結果得られたものである

6. GNSS (衛星測位システム)

当社はセンシング技術として測距技術から発展した測位技術の開発への取り組みを続け、中でもGNSS方式に注力してきた。なお「GPS」とは米国が運用する衛星測位システムの固有名称であり、近年では各国でGPS以外の様々な衛星測位システムが運用されていることから、これら衛星測位システムを総称してGNSSと呼ぶ。

当社は船舶用航法装置の開発に長年携わってきた経験のもとGPSの将来性に早期から着目して開発を進め、1984年に日本初の船舶用GPS受信機、1990年には世界初のカーナビ向け車載用GPS受信機の開発に成功し、現在に至る。

GNSS方式は実用開始後30年以上が経過した現在においても他に代替となる方式がない先見性のあるシステムであり、その長い活用期間において、衛星インフラ側（システム運用側）、地表受信機側（ユーザ側）の両側において機能/性能向上に取り組んできた。

＜衛星インフラ側の機能/性能向上＞

- ・米国以外の国々における独自GNSSシステム構築
- ・新たな信号を追加することによる機能/性能向上
- ・補完システムの追加

＜地表受信機側の機能/性能向上＞

- ・測位精度の追求

- ・衛星インフラ側の機能/性能向上への対応
- ・受信感度の向上
- ・小型化/省電力化

地表受信機側の機能/性能向上として当社が取り組んできた内容について以下に述べる。

(1) 測位精度の追求

GNSSの基本原理は、衛星が送信する信号に重畳されている拡散コードの周波数/位相測定、搬送波の周波数/位相測定により、衛星と地表受信機間の距離（以下、擬似距離）の測定を行うものである。図13に示すように拡散コードの波長は約300 m、搬送波の波長は約0.2 mであり、搬送波により得られる擬似距離の方がより高精度である。

測位方式は、GNSS衛星からの拡散コード擬似距離を用いた単独測位方式（精度約5 m）を基本とし、衛星固有のシステム誤差や信号が電離層/対流圏を通過する際の伝搬遅延の実測値を外部から補正するDGPS方式（精度約3 m）に加え、近年では搬送波擬似距離を専ら用いるRTK方式（オープンスカイ条件では精度約3 cm、市街地では精度約30 cm）にも対応する。

また、外部から補正できない受信地点固有の受信環境による反射波は、アンテナ部、信号処理部、測位演算部各々の性能改善により抑圧する。更に、GNSSの測位時間は当初1秒を要していたが、高速移動体におけるモニタリング時の分解能を考慮し、近年では0.1秒まで短縮している。

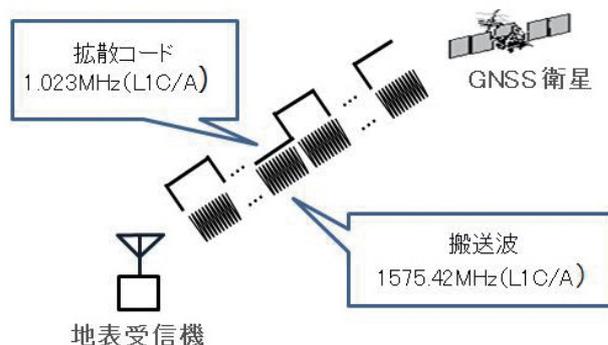


図13 測位に利用する信号

Fig.13 The signal used for positioning

(2) 衛星インフラ側の機能/性能向上への対応

米国のGPSに続き、主要各国において衛星測位システムが構築された（ロシアのGLONASS、欧州のGalileo、中国のBDS）。また近年では日本の準天頂衛星みちびき（QZSS）が運用を開始している。最新の測位システムは、これら複数システムの衛星を測位に利用できる「マルチシステム」に対応する。測位に使用する衛星の数が多いほど測位条件が良くなり、精度が向上するため、マルチシステムへ対応することのメリットは大きい。

(3) 受信感度の向上

GNSS信号の受信電力レベルは地表において-130 dBmと微弱であるが、当社は、受信環境がさらに悪化する都市部

や屋内（窓際）におけるGNSSの利用を想定し、受信電力レベル-160 dBmにおいて追尾可能とすべく高感度化を図った。この電力は自然界の熱雑音（約-110 dBm）より遙かに微弱な電力である。

(4) 小型／省電力化

半導体技術や集積化技術の進歩により、当社は地表受信機の高集積化を進めてきた。受信部のアナログ回路は当初ディスクリート部品で構成されていたが、回路ブロック毎のHIC化や市販ASSPの採用により小型化を図った。信号処理や測位演算を行うデジタル回路には、フルカスタマイズのASICと大容量メモリを同一パッケージ上に搭載したMCMを採用し、更なる高集積化を図った。また近年では、RF回路を含む全ての回路を同一チップ上に搭載したSoCも実現している。

更に、半導体プロセスの微細化、信号捕捉の高速化、省電力化も併せて実現した。

船舶の自動航行、自動車の自動運転、飛翔体のモニタリングなどを支える技術としてGNSS方式の社会的ニーズは高い。衛星インフラ側の機能進化に合わせ、当社は新たな衛星測位システムや信号構造に対応した地表受信機を開発し、測位の更なる高精度化／高速化、高精度測位の頻度向上を進める。

また、GNSSは測位情報と併せ、高精度の時刻情報を取得することができる。無線／有線を問わず、伝搬遅延が生じる遠隔地間において時刻の同期を図れるメリットは非常に大きい。取得される時刻情報の応用例としては、現時点では発振器の周波数補正や装置間のラフな時刻同期に留まっているが、より高精度な時刻同期技術を応用することにより、今後、IoTへの拡大、5Gなどの低遅延通信への活用につながる。

7. あとがき

当社のコア技術の一つであるセンシング技術を応用した代表的な製品とその技術方向性を示した。センシング技術は、デジタルトランスフォーメーションに取り組む当社にとって、データを収集するうえでも必要な技術であるといえる。今後は、様々な市場において、価値のあるセンシングデータの提供を目指す。

参考文献

- (1) 情報通信審議会 情報通信技術分科会 陸上無線通信委員会 気象レーダー作業班 X帯サブ・ワーキング・グループ 第二回資料「気レX2-3」資料 前坂 剛（国立研究開発法人防災科学研究所）
- (2) 短時間3次元観測を可能にするフェーズドアレイレーダの開発, 柏柳太郎, 佐藤治, 諸富和臣, 菅原博樹, 日本無線技報 No.68

*1 有人航空機のニアミス案件の実例

「航空機と無人航空機, 無人航空機同士の衝突回避策な

どについて（国土交通省航空局, 2016年11月8日）」の p16 参照。

*2 目視外飛行

無人航空機の操縦者が自分の目によって無人航空機の位置や姿勢及び航行の安全性を確認できない飛行のこと。長距離の物流やインフラ点検には必須であるが、実現には操縦者の目視に代わる安全措置の実施や、衝突回避技術の実装などが必要。

*3 第三者上空飛行

無人航空機の運航に関与しない第三者の上空を飛行すること。市街地などで物流を実施する場合などに必須だが、実現には高い安全性や信頼性を確立する必要がある。

用語一覧

- ASSP: Application Specific Standard Produce (特定用途向け汎用集積回路)
- AI: Artificial Intelligence (人工知能)
- AIS: Automatic Identification System (自動船舶認識装置)
- ASIC: (Application Specific Integrated Circuit) (特定用途向け集積回路)
- BDS: BeiDou Navigation Satellite System (中国の衛星測位システム)
- DGPS: Differential Global Positioning System (ディファレンシャルGPS)
- GLONASS: Global Navigation Satellite System (ロシアの衛星測位システム)
- GNSS: Global Navigation Satellite System (全球測位衛星システム, 衛星測位システムの総称)
- GPS: Global Positioning System (米国の衛星測位システム)
- HIC: Hybrid Integrated Circuit (ハイブリッド集積回路)
- IALA: International Association of Lighthouse Authorities (国際航路標識協会)
- IMO: International Maritime Organization (国際海事機関)
- LAN: Local Area Network (構内ネットワーク)
- MCM: Multi-Chip Module (マルチチップモジュール)
- MP: Multi Parameter (二重偏波)
- POCT: Point Of Care Testing (臨床現場即時検査)
- QZSS: Quasi-Zenith Satellite System (準天頂衛星システム)
- RTK: Real Time Kinematics (リアルタイムキネマティック)
- SART: Search and Rescue Radar Transponder (レーダトランスポンダ)
- SAW: Surface Acoustic Wave (弾性表面波)
- SoC: System on a Chip (システムオンチップ)
- UWB: Ultra Wide Band (広帯域無線)
- VTS: Vessel Traffic Services (海上交通管制)