

小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの研究開発

The research and development of high resolution SAR for light aircraft

代表研究責任者 村田 稔 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)

研究開発期間 平成 24 年度～平成 26 年度

【Abstract】

This paper describes some results of the research and development of high resolution SAR for light aircraft. It was confirmed that the small SAR, which was developed based on the technology of Pi-SAR2, achieved the following features and the targets of R&D.

- 1) It has the high performance similar to Pi-SAR2. On the other hand, its size and its weight are approximately 20 % of those of Pi-SAR2 and its power consumption is less than half of that of Pi-SAR2
- 2) It can be mounted on light aircrafts and helicopters, which have heavy vibration compared with the platform of Pi-SAR2. The combination of the mechanical stabilization system and the motion compensation for SAR image processing makes it possible.
- 3) Its observation plan can be easily set using GUI at short time and it can be automatically operated based on the plan. Furthermore, the SAR image can be processed and be superimposed over the map at realtime.

1 研究開発体制

- **代表研究責任者** 村田 稔 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
- **研究分担者**
 - 木村 恒一 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 藤村 卓史 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 戸塚 英治 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 笈原 勇 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 永田 英史 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 山下 敏明 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 今井 教尋 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 大室 統彦 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 青木 一彦 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 清野 義将 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)
 - 小野 清伸 (日本電気株式会社 電波・誘導事業部)

- **研究開発期間** 平成 24 年度～平成 26 年度
- **研究開発予算** 総額 2,585 百万円

(内訳)

平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度
943 百万円	945 百万円	697 百万円

2 研究開発課題の目的および意義

被災状況把握に有効とされる航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR2) を、より迅速かつ臨機応変に運用するための技術の研究開発・実証実験等を行うことを目的とする。

(1) 政策目標

独立行政法人情報通信研究機構 (NICT) が開発した航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR2) は、9GHz 帯のマイクロ波により、昼夜天候等にかかわらず、地表の状況を随時・臨機に観測が可能であり、被災状況の観測にその有用性が示されている。

一方で、本レーダーは安定した航空機軌道が必要であり、機材も比較的大きいことから、ビジネスジェットクラスの航空機搭載を前提としており、柔軟に利用できる実用的なシステムとは言い難い。

このような問題を解決し、より迅速かつ臨機応変に災害対応等を行えるようにするため、セスナ等の小型航空機にも搭載可能な小型・可搬型の航空機搭載合成開口レーダーを実現するための技術の確立を目標とする。

(2) 研究開発目標

我が国が開発した Pi-SAR2 と同等の性能を有しつつ、小型航空機 (セスナ 208B 相当) にも搭載が可能な小型 Pi-SAR2 を実現するための技術の開発を行う。また、本技術のへりに対する実装可能性についても検討を行う。

3 研究開発成果

3.1 機器小型化のためのシステム最適化技術

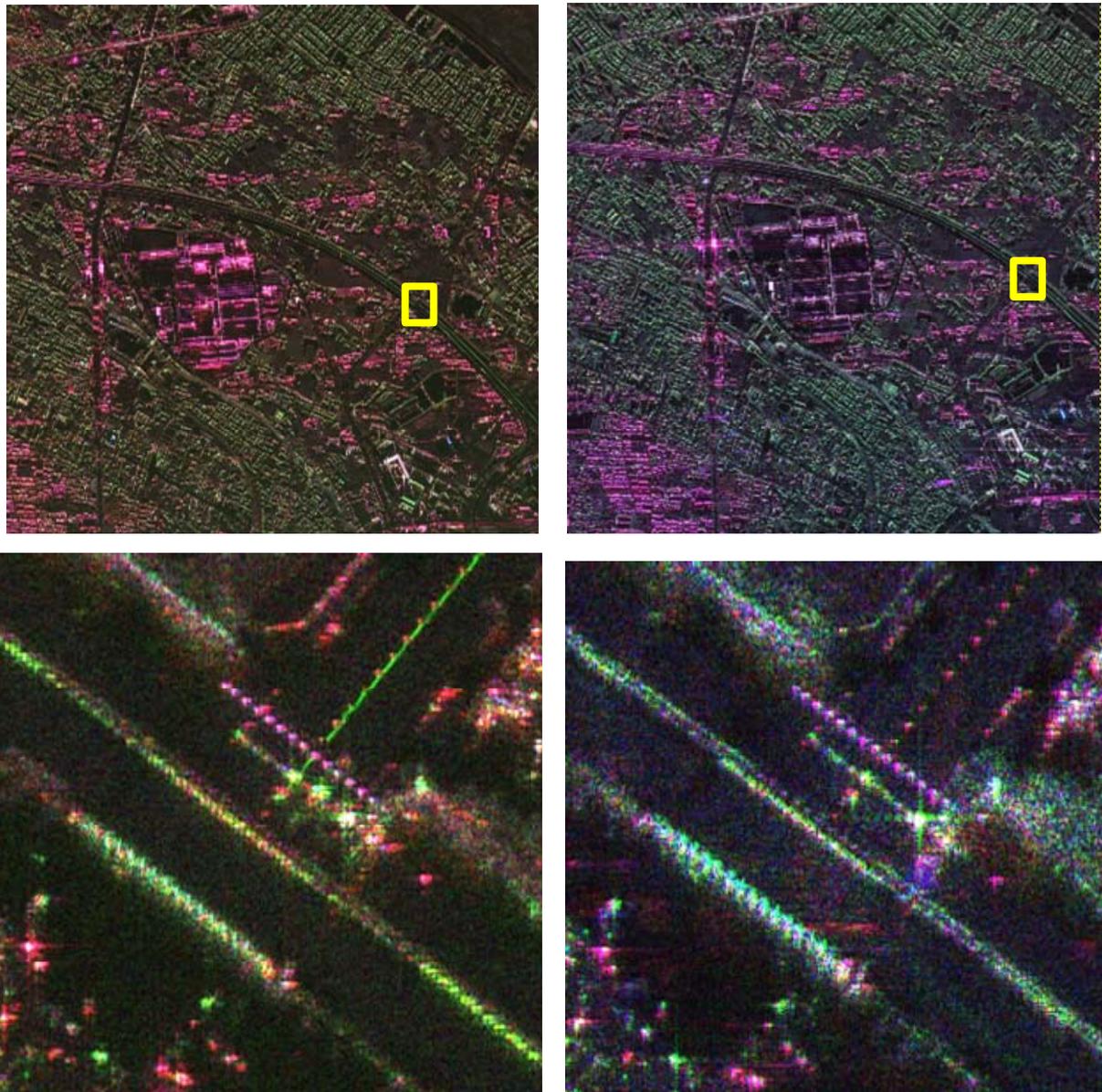
・現在の Pi-SAR2 を使用したフライト試験により様々な観測対象に応じたシステムパラメータ等の検討を行うとともに、この結果を基に、現在の Pi-SAR2 と同程度の性能を維持しつつ、機器の小型化や軽量化、省電力化を可能とする技術を確立する。なお、機体搭載時において、機器の体積や重量が現在の 20%程度、消費電力が現在の 50%程度となることを目安とする。

現在の Pi-SAR2 を使用したフライト試験を下記 3 回実施し、各種観測条件・観測ターゲットに対する実際のフライト観測評価を行い、小型化の課題抽出及び最適パラメータ抽出を行った。

- ・第 1 回 平成 24 年 11 月 5～6 日
- ・第 2 回 平成 24 年 12 月 12～13 日
- ・第 3 回 平成 25 年 8 月 21～22 日

Pi-SAR2 のフライト試験結果を基に、システムパラメータ設計を行い、小型のアンテナ部、高出力増幅部、SAR 主部、記録部、リアルタイム処理部を開発した。高密度実装技術等を用いて、Pi-SAR2 と同程度の性能を維持したまま、機器の小型化・軽量化・省電力化を可能とする技術を確立した。図 1、表 1

に示すように、Pi-SAR2 と同程度の性能の達成と、Pi-SAR2 の 20%程度への小型化・軽量化、Pi-SAR2 の 50%以下への省電力化を達成したことを確認した。



小型SAR撮像画像

Pi-SAR2撮像画像

図1 撮像画像（東京都府中市）
注）色合いの差は、画像表示の調整による

表 1 性能・サイズ・質量・電力

項目	Pi-SAR2	到達目標の目安	小型 SAR 達成値	
性能等	中心周波数	9.55/9.65GHz	同程度	9.45GHz (無線局調整結果)
	周波数帯域幅	500MHz		同左
	最高水平分解能	0.3m		同左
	高さ精度	2m		同左
	最大入射角	60度(左)		60度(左、右)
	雑音等価後方散乱係数	-27dB以下		同左(高度3000mにて)
	機能	ポラリメトリ、インターフェロメトリ 同時観測		同左(2台アンテナ構成時)
	観測モード	ストリップマップモード、スライディングスポットライトモード		同左
サイズ	<p>約 1.2 立方メートル</p> <p>■機外部 (アンテナ及び駆動部) 80×φ50cm×2式(ポッド除く)</p> <p>■機内部 (姿勢センサ) 28×16×9cm/16×16×16cm (ラック1) 55×125×66cm (ラック2) 55×105×79cm</p>	機外部は小型航空機(セスナ 208B 相当)に搭載可能 機器全体の体積は 20%程度に小型化	<p>約 0.21 立方 m (Pi-SAR2 の約 18%)</p> <p>機外部は小型航空機に搭載可能(セスナ 208B 相当のビーチ 200T で検証)</p>	
質量	<p>約 438kg (アンテナ及び駆動部) 40kg×2式(ポッド除く) (姿勢センサ) 7.5kg (ラック1及び2): 350kg</p>	20%程度に軽量化	約 102kg(約 23%)	
電力	約 5kW	50%程度に省電力化	約 1.8kW(約 36%)	

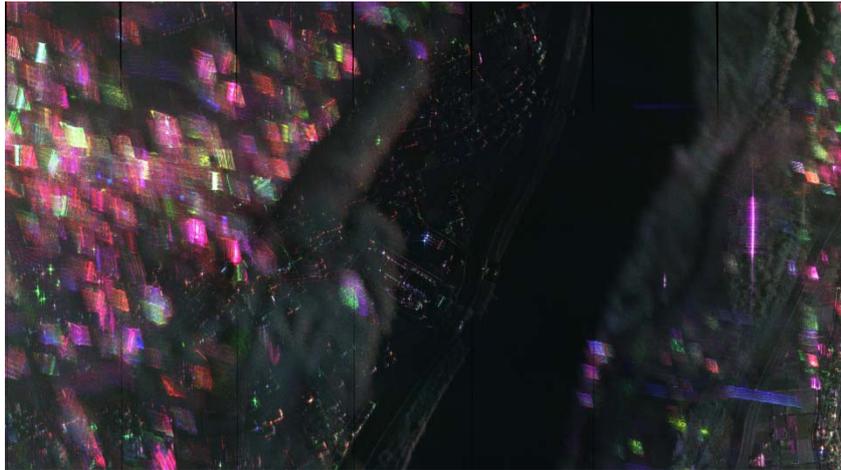
3. 2 航空軌道動揺補正技術

- ・制振機構と補正ソフトウェアを組み合わせることにより、各種小型航空機の振動動揺特性に対応できるマルチプラットフォーム対応空間安定技術を確立する。
- ・効率的な信号処理アルゴリズムを開発するとともに、姿勢センサのデータ等を活用し、短時間で高精度の補正が可能な画像補正技術を確立する。なお、空間安定技術及び画像補正技術を組み合わせることにより、瞬間的に $\pm 4^\circ / \text{sec}$ 程度の機体動揺(角速度)がある場合でも、Pi-SAR2と同程度の画質を確保できることを目安とする。

制振機構及び2軸ジンバルによるアンテナ駆動部と航空機動揺の画像補正処理ソフトウェアを組み合わせて開発し、ヘリを含む各種小型航空機の振動動揺特性に対応できるマルチプラットフォーム対応空間安定技術を確立した。

効率的な信号処理アルゴリズムを開発し、位置姿勢センサのデータを活用して、リアルタイム処理を実施することが可能な高精度の画像補正技術を確立した。

機械的な空間安定技術により、方位角方向に $\pm 4^\circ / \text{sec}$ を超える機体動揺に対し、アンテナ姿勢変動を $\pm 0.3^\circ$ 以下に抑制し、画像補正による航空機動揺補正処理技術を組み合わせて、Pi-SAR2と同程度の画質を確保した。図2に動揺の激しいヘリに搭載した場合の撮像画像を示す。航空軌道動揺補正技術を取り入れることで、ヘリの激しい動揺下でも鮮明なSAR画像が得られることを確認した。



(a) 航空軌道動揺補正なし



(b) 航空軌道動揺補正あり

図2 ヘリ搭載時の撮像画像(木曽川)

3. 3 マンマシンインタフェース技術

- ・GUI等の技術を用いて、地図上の観測エリアを指定するだけで、短時間（概ね30分以内）で航空機の高度及び速度、観測対象に応じた適切な観測パラメータ等を自動的に設定し、取得データ管理の高速・自動化やSAR観測・機器操作の簡易自動化を可能とする技術を確立する。
- ・干渉波処理等の一次処理や高精度動揺補正を行った高品質画像の連続処理、特定対象の地図上での位置情報の表示等を可能とするリアルタイム処理技術を確立する。

図3に示すように、GUIにより地図上で観測地点の指定を行い、当該観測における観測地点名、観測目的、観測対象、飛行高度、ビーム指向方向、飛行方向を設定することで、観測条件・観測対象に応じた適切な観測パラメータ等を自動的に設定し、取得データ管理の高速・自動化、SAR観測・機器操作を自動的に実行することが可能な技術を確立した。1観測点あたりの設定を3分以下で設定可能であり、短時間で自動的に観測立案が可能であることを確認した。また、作成した観測計画により、各部を自動制御し、各モードのSAR観測を行い、運用者が意図した通りの観測データを取得可能であることを確認した。

外来干渉波を除去する処理やアンテナパターンの補正等の一次処理、航空機動揺の高度精度動揺補正、さらにはオルソ補正等を行った高品質のSAR画像をリアルタイムに連続処理して、図4に示すように、再生したSAR画像の地図上での重畳表示を可能とするリアルタイム処理表示技術を確立した。地図重畳表示については、画像の拡大・縮小、背景地図との透過度の変更が可能であることを確認した。

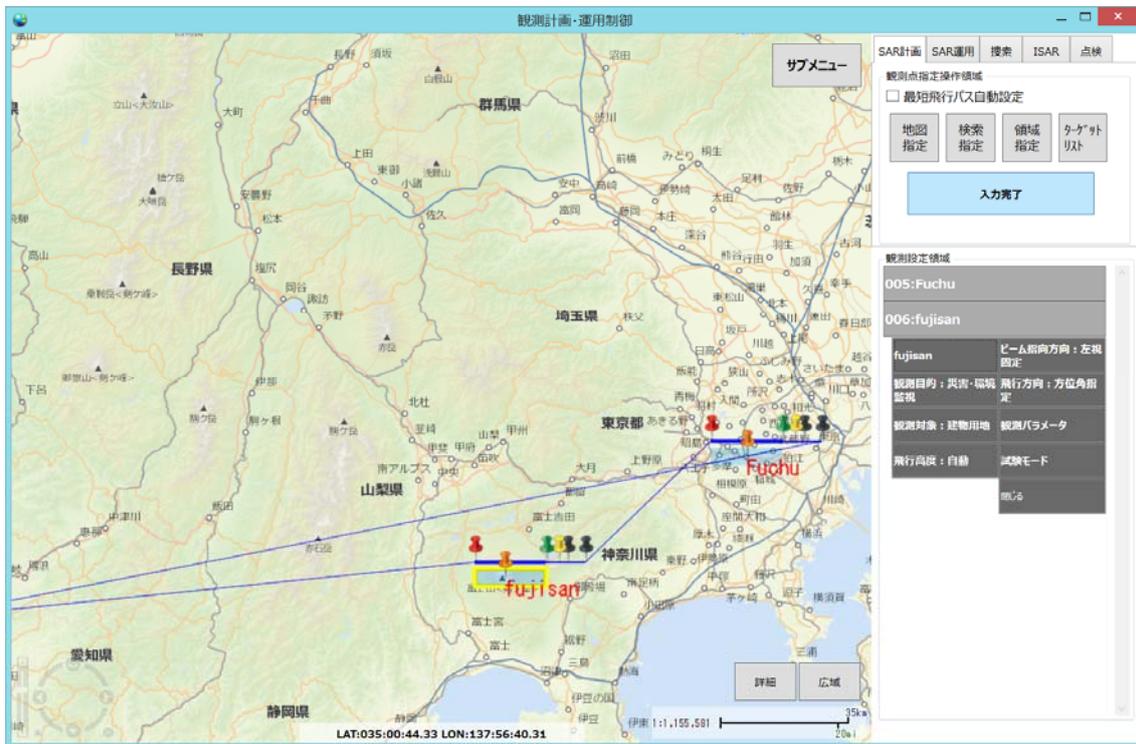


図3 観測計画立案画面



図4 リアルタイム表示画面

4 研究開発成果の社会展開のための活動実績

(1) 合同災害対策訓練への協力

東北6県の自治体(6県52市町村)及び関係機関(72機関)、自衛隊、米軍、オーストラリア軍による東北地方における合同災害対策訓練「みちのくALERT2014」において、本研究開発で開発した小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーによる撮像SAR画像(図5)を提供し、実際の災害対策訓練にて広域俯瞰情報提供手段として活用頂いた。

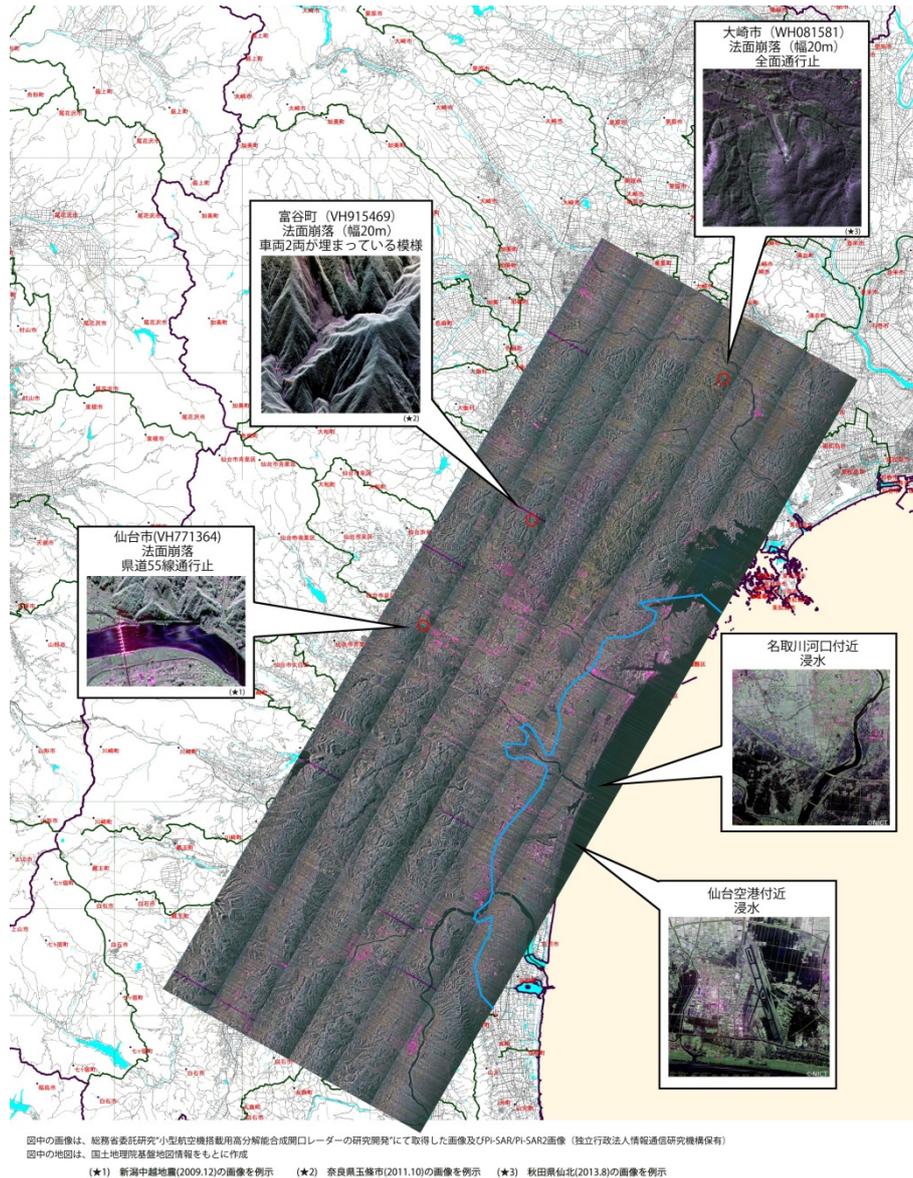


図5 みちのく ALERT に提供した情報

注)

- ・中央及び左上が今回の研究開発で撮像した小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの画像
- ・右上は今回の研究開発で撮像した Pi-SAR2 画像
- ・上記以外は NICT 殿提供の Pi-SAR2 災害画像例

(2) フォーラム活動

次世代安心・安全 ICT フォーラムにて発表を行い、小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの成果の普及活動につとめた。

(3) 展示会等

下記の国内外の展示会に出展し、小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの成果の普及につとめた。

- ・ APSAR2013 (国際学会併設の展示会)、平成 25 年 9 月 24～26 日、茨城県つくば市
- ・ 東京国際消防防災展 2013、平成 25 年 10 月 2～5 日、東京都江東区
- ・ C&C ユーザーフォーラム & iEXPO2014 (NEC 主催)、平成 26 年 11 月 20～21 日、東京都千代田

区

- ・第19回震災対策技術展、平成27年2月5～6日、神奈川県横浜市
- ・第3回国連防災世界会議（総務省殿ブース内）、平成27年3月14～18日、宮城県仙台市
- ・LIMA2015、平成27年3月17～21日、マレーシア・ランカウイ

（4）優れた人材の確保

研究開発の実施にあたっては、関連するセンサシステム技術、要素技術、画像処理技術等広範な専門家を事業部/研究所等、社内で幅広く登用するとともに、社外の有識者からも重要なポイントで適宜、助言・指導頂くことのできる体制として、「研究開発運営委員会」を組織し、7回に渡り、委員会を開催し、指導頂いた。研究開発運営委員会には大学・研究所の研究者、合成開口レーダーを使用する可能性がある官公庁や民間会社の方々に参画頂いた。

（5）若手人材の育成

若手人材育成の観点から大学の研究室との産学連携により、夏期休暇中のインターンシップの学生受け入れを行い、Pi-SAR2及び開発した小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの試験観測時の観測支援参加等を実施し、本プロジェクトへの学生の参加を通じて啓発活動・育成活動を実施した。

＜インターン実施期間＞

- ・平成25年8月19日～9月4日 3名
- ・平成26年8月25日～9月5日 2名

5 研究開発成果の社会展開のための計画

本研究開発成果に基づき、国内外の展示会への出展、各種フォーラムへの参加、学会発表・論文発表・報道発表、特許取得等と共に、社会展開活動を実施する予定。

展示会：平成27年度に2件以上の出展を行う。

学会・論文発表：既発表に加えて2件以上の学会・論文発表を行う。

特許取得：既出願の特許に加えて4件以上出願し、最終的に5件以上の特許取得を行う。

情報通信審議会情報通信技術分科会 航空・海上無線通信委員会における「9GHz帯航空機搭載型合成開口レーダーシステムの技術的条件」の検討に協力し、本研究開発成果の展開に努める。

6 査読付き誌上発表論文リスト

現時点でなし

7 査読付き口頭発表論文（印刷物を含む）リスト

[1] Takashi Fujimura, Kiyonobu Ono, Hidefumi Nagata, Tsunekazu Kimura and Minoru Murata, “A NEW SMALL AIRBORNE SAR BASED ON PI-SAR2”、IGARSS2013（平成 25 年 7 月 26 日）

[2] Takashi Fujimura, Kiyonobu Ono, Hidefumi Nagata, Hideharu Tozuka, Tsunekazu Kimura, Minoru Murata, Tomoko Ishii, Yoshitaka Oura and Masanori Miyawaki, “Experiment on Human and Vehicle Detection Using Pi-SAR2”、APSAR2013（平成 25 年 9 月 26 日）

[3] Kazuhiko Aoki, Yoshiho Yanagita, Kenji Tagami, Akira Koyashiki, Masatoshi Nakai, Motoaki Shimizu, Tsutomu Murayama, Hidehiko Kuroda, Toshiaki Yamashita, Tsunekazu Kimura, Minoru Murata, “INERTIAL STABILIZATION SYSTEM FOR SMALL AIRBORNE SAR”、IGARSS2014（平成 26 年 7 月 14 日）

[4] Takashi Fujimura, Kiyonobu Ono, Hidefumi Nagata, Isamu Oihara, Yoshimasa Seino, Kazuyoshi Taguchi, Norihiro Imai, Hiroki Miyagawa, Hideharu Tozuka, Kenji Tagami, Yoshiho Yanagita, Kazuhiko Aoki, Norihiko Omuro, Tsunekazu Kimura and Minoru Murata, “DEVELOPMENT STATUS OF A NEW SMALL AIRBORNE SAR BASED ON PI-SAR2”、IGARSS2014（平成 26 年 7 月 14 日）

8 その他の誌上発表リスト

現時点でなし

9 口頭発表リスト

[1] 村田稔、“航空機搭載合成開口レーダの小型化について”、次世代安心・安全 ICT フォーラム 平成 24 年度第 1 回センシング技術部会・企画部会合同会合（千代田区）（平成 24 年 12 月 25 日）

[2] 村田稔、“航空機搭載小型 SAR の開発”、災害・危機管理 ICS シンポジウム 2013（横浜市）（平成 25 年 2 月 8 日）

[3] 小屋敷晃、清水大晃、青木一彦、柳田美穂、中井雅俊、田上賢司、村山勉、黒田英彦、山下敏明、“小型航空機搭載合成開口レーダー用空間安定システムの設計”、2013 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会（福岡市）（平成 25 年 9 月 18 日）

[4] 青木一彦、柳田美穂、田上賢司、中井雅俊、小屋敷晃、清水大晃、村山勉、黒田英彦、山下敏明、“小型航空機搭載合成開口レーダー用空間安定システムの試作”、2013 年電子情報通信学会 ソサイエティ大会（福岡市）（平成 25 年 9 月 18 日）

[5] 村田稔、“航空機搭載 SAR の実用化に向けた取り組みについて”、災害・危機管理 ICT シンポジウム 2015 豪雨・火山噴火災害の観測と予測（横浜市）（平成 27 年 2 月 6 日）

[6] 大室統彦、藤村卓史、村田稔、“V/H 偏波共用平面アンテナ”、2015 年電子情報通信学会 総合大会（草津市）（平成 27 年 3 月 13 日）

10 出願特許リスト

- [1] 清水大晃、目標指向装置、日本、平成 25 年 3 月 25 日
- [2] 大室統彦、ラットレース、アンテナ装置およびラットレース回路の形成方法、PCT 国際出願、平成 25 年 5 月 28 日
- [3] 小野清伸、レーダ装置及びその制御方法、日本、平成 26 年 3 月 11 日
- [4] 大室統彦、平面アンテナ及びその製造方法、PCT 国際出願、平成 26 年 11 月 10 日
- [5] 青木一彦、空間安定装置及び空間安定方法、日本、平成 27 年 2 月 24 日

11 取得特許リスト

現時点で未取得

12 国際標準提案・獲得リスト

現時点でなし

13 参加国際標準会議リスト

現時点でなし

14 受賞リスト

現時点でなし

15 報道発表リスト

(1) 報道発表実績

現時点でなし

(2) 報道掲載実績

- [1]” NEC が航空機用映像レーダーの小型化実験”、十勝毎日新聞、平成 25 年 8 月 28 日
- [2]” NEC、小型航空機に搭載できる合成開口レーダーの実用化にめど”、日刊工業新聞、平成 25 年 10 月 23 日
- [3]” NEC、夜や噴煙でも地上観測可能な小型レーダー”、日経新聞、平成 27 年 1 月 6 日
- [4]” 悪天候や夜でもくっきり、NEC が分解能 30cm の小型レーダー”、日経テクノロジーOnline、平成 27 年 1 月 28 日
- [5]” 悪天候や夜でもくっきり 分解能 30cm の小型レーダー”、日経エレクトロニクス、平成 27 年 2 月 20 日
- [6]” 史上最大の救出～震災・緊急消防援助隊の記録～”、NHK 総合テレビ、平成 27 年 3 月 1 日
- [7]” NEC、独自技術を訴求”、日経産業新聞、平成 27 年 3 月 13 日

研究開発による成果数

	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	合計
査読付き誌上発表論文数	0 件 (0 件)			
査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)	0 件 (0 件)	2 件 (2 件)	2 件 (2 件)	4 件 (4 件)
その他の誌上発表数	0 件 (0 件)			
口 頭 発 表 数	2 件 (0 件)	2 件 (0 件)	2 件 (0 件)	6 件 (0 件)
特 許 出 願 数	1 件 (0 件)	2 件 (1 件)	2 件 (1 件)	5 件 (2 件)
特 許 取 得 数	0 件 (0 件)			
国 際 標 準 提 案 数	0 件 (0 件)			
国 際 標 準 獲 得 数	0 件 (0 件)			
受 賞 数	0 件 (0 件)			
報 道 発 表 数	0 件 (0 件)			
報 道 掲 載 数	0 件 (0 件)	2 件 (0 件)	5 件 (0 件)	7 件 (0 件)

注 1 : 各々の件数は国内分と海外分の合計値を記入。(括弧)内は、その内海外分のみを再掲。

注 2 : 「査読付き誌上発表論文数」には、定期的に刊行される論文誌や学会誌等、査読 (peer-review (論文投稿先の学会等で選出された当該分野の専門家である査読員により、当該論文の採録又は入選等の可否が新規性、信頼性、論理性等の観点より判定されたもの)) のある出版物に掲載された論文等 (Nature、Science、IEEE Transactions、電子情報通信学会論文誌等および査読のある小論文、研究速報、レター等を含む) を計上する。

注 3 : 「査読付き口頭発表論文数 (印刷物を含む)」には、学会の大会や研究会、国際会議等における口頭発表あるいはポスター発表のための査読のある資料集 (電子媒体含む) に掲載された論文等 (ICC、ECOC、OFC など、Conference、Workshop、Symposium 等での proceedings に掲載された論文形式のものなどとする。ただし、発表用のスライドなどは含まない。) を計上する。なお、口頭発表あるいはポスター発表のための査読のない資料集に掲載された論文等 (電子情報通信学会技術研究報告など) は、「口頭発表数」に分類する。

注 4 : 「その他の誌上発表数」には、専門誌、業界誌、機関誌等、査読のない出版物に掲載された記事等 (査読の有無に関わらず企業、公的研究機関及び大学等における紀要論文や技報を含む) を計上する。

注 5 : PCT 国際出願については出願を行った時点で、海外分 1 件として記入。(何カ国への出願でも 1 件として計上)。また、国内段階に移行した時点で、移行した国数分を計上。

注6：同一の論文等は複数項目に計上しないこと。例えば、同一の論文等を「査読付き口頭発表論文数（印刷物を含む）」および「口頭発表数」のそれぞれに計上しないこと。ただし、学会の大会や研究会、国際会議等で口頭発表を行ったのち、当該学会より推奨を受ける等により、改めて査読が行われて論文等に掲載された場合は除く。