

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

研究代表者

村田 稔 日本電気株式会社
Minoru Murata, NEC Corporation

研究分担者

木村恒一[†]、藤村卓史[†]、戸塚英治[†]、笈原勇[†]、永田英史[†]、山下敏明[†]、今井教尋[†]、大室統彦[†]、青木一彦[†]、清野義将[†]、小野清伸[†]

Tsunekazu Kimura, Takashi Fujimura, Hideharu Totsuka, Isamu Oihara, Hidefumi Nagata, Toshiaki Yamashita, Norihiro Imai, Norihiko Omuro, Kazuhiko Aoki, Yoshimasa Seino, Kiyonobu Ono[†]

[†]日本電気株式会社

[†]NEC Corporation

研究期間 平成 24 年度～平成 26 年度

概要

現在の航空機搭載合成開口レーダー (Pi-SAR2) と同等の性能 (分解能 30cm) を有しつつ、セсна等の小型航空機にも搭載可能な小型・可搬型航空機搭載用合成開口レーダーを実現するため、航空機搭載合成開口レーダーの小型化に向けたシステム最適化技術や航空軌道動揺補正技術等の研究開発を実施し、研究開発目標を達成すると共に、実際の災害状況把握に有効であることを確認した。

1. まえがき

マイクロ波を用いた合成開口レーダー (SAR) は、雲などの天候や昼夜を問わず、高い分解能の映像を得られるだけでなく、光とマイクロ波の散乱・反射特性の違いから、光学センサとは異なる識別能力 (多偏波機能による地表面の形状/材質把握、三次元機能による高さ分析) を有している。国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT) 殿が開発した高性能航空機搭載合成開口レーダー Pi-SAR2 は、30cm の高分解能で多偏波観測ができる等、高い観測性能を有し、平成 24 年の新燃岳や平成 26 年の御嶽山等の火山噴火、平成 24 年の東日本大震災等に際して、各種の被災状況把握にその有用性が示されている。

一方で、現在の Pi-SAR2 は、高精度観測のために安定した航空軌道が不可欠であり、アンテナや処理装置などの機材も比較的大きいため、ビジネスジェットクラスの航空機への搭載が前提となっている。加えて、SAR の研究目的に開発されたものであるため、観測を行うために専門的な技術を有する研究者の同乗も必要である。

このような課題に対処し、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、Pi-SAR2 の高機能・高性能を維持したまま、小型航空機に搭載可能で、かつ、研究者や専門家でも簡単に使えるようにする技術を確認し、実用化することを目的として、今回の「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」を実施した。

2. 研究開発内容及び成果

本研究開発では、Pi-SAR2 の開発で確立された技術を活用し、機器の小型化を実現するためのシステム最適化技術、航空軌道が不安定な条件下においても機体の動揺による誤差や誤りを訂正するための動揺補正技術、専門的な技術や知識を有しない者でも的確な観測が行えるようにするための操作性の向上や自動観測機能の充実、測定データの自動一次処理を実現させる技術等の要素技術を確立した上で、小型航空機にも搭載が可能な高分解能合成開口レーダーを開発し、実証実験を行った。

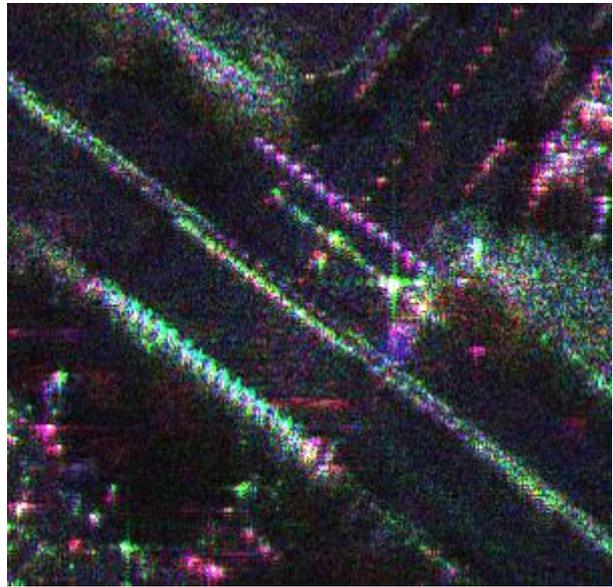
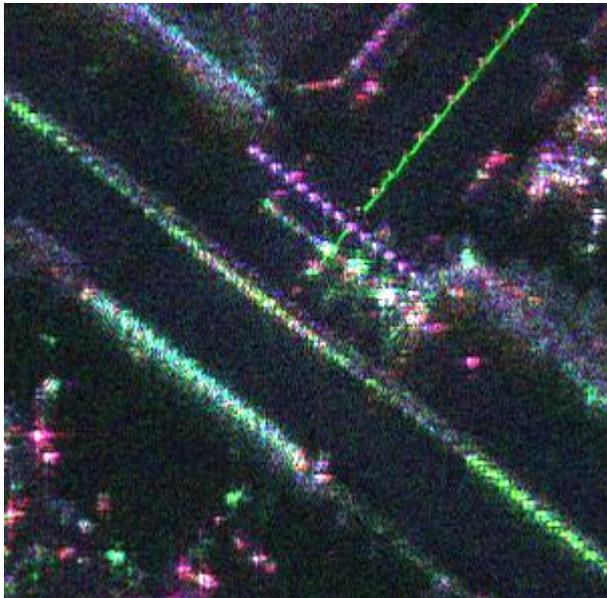
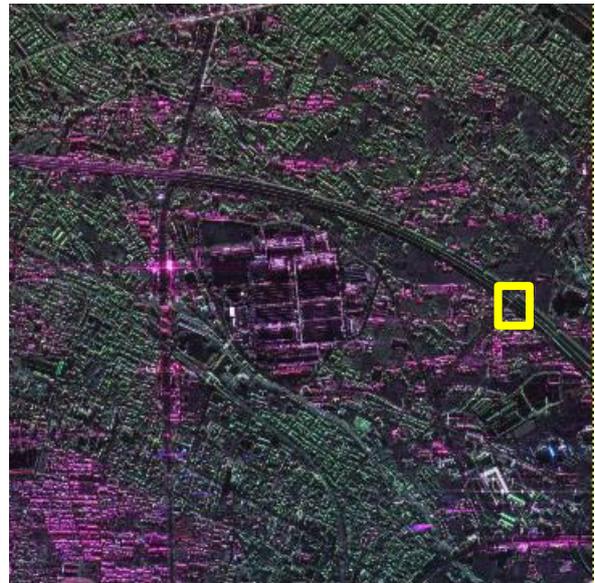
現在の Pi-SAR2 を使用したフライト試験を下記 3 回実施し、各種観測条件・観測ターゲットに対する実際のフライト観測評価を行い、小型化の課題抽出及び最適パラメータ抽出を行った。

- ・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認した。

2. 1 小型・軽量・低消費電力化

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。図 1 は Pi-SAR2 による撮像画像と今回開発した「小型 SAR」による撮像画像である。小型 SAR を図 2 に示す小型のプロペラ機 Beechcraft 200T に搭載して撮像を行い、Pi-SAR2 と遜色ない SAR 画像を得ることに成功した。



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)下段の画像は上段の黄枠部分の拡大

表1 性能・サイズ・質量・電力

項目	Pi-SAR2	小型 SAR
周波数帯(中心周波数)	X バンド (9.55/9.65GHz)	X バンド (9.45GHz)
最大送信帯域幅	500MHz	同左
偏波	フルポラリメトリ (HH、HV、VH、VV)	同左
最高水平分解能	30cm	30cm
質量	約 438kg	約 102kg (Pi-SAR2 の約 23%)
体積	約 1.2 立方 m	約 0.21 立方 m (Pi-SAR2 の約 18%)
消費電力	約 5kW	約 1.8kW (Pi-SAR2 の約 36%)
搭載プラットフォーム	ビジネスジェット機 (Gulf Stream II)	小型航空機 (Beechcraft 200T でフライト実証)



(提供:ダイヤモンドエアサービス)

(a) Beechcraft 200T



(b)アンテナ部

図2 Beechcraft 200T への搭載

2.2 航空軌道動揺補正技術

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わせ、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。

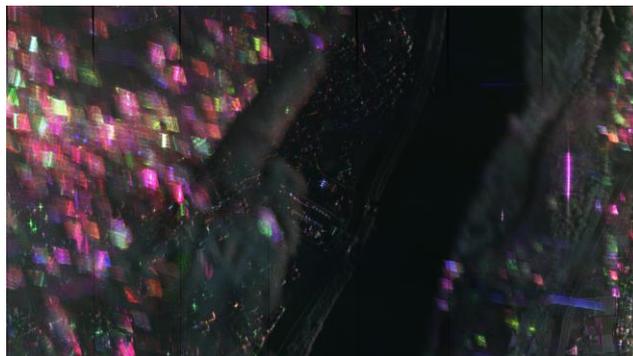
機械的な空間安定技術により、方位角方向に $\pm 4^\circ/\text{sec}$ を超える機体動揺に対し、アンテナ姿勢変動を $\pm 0.3^\circ$ 以下に抑制し、画像補正による航空機動揺補正処理技術を組み合わせ、Pi-SAR2と同程度の画質を確保した。最終的に図3に示すように動揺の激しいヘリコプターへの搭載検証も実施した。図4にヘリに搭載して得たSAR画像を示す。航空軌道動揺補正技術を使用することで、ヘリの激しい動揺下でも鮮明なSAR画像が得られることを確認した。



アンテナ部

(提供:セントラルヘリコプター)

図3 BK117 への搭載



(a) 航空軌道動揺補正なし



(b) 航空軌道動揺補正あり

図4 ヘリ搭載で得たSAR画像(木曾川)

2.3 マンマシンインタフェース技術

図5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でき、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は3分以下で可能であり、短時間で自動的に観測立案ができることを確認した。また、作成した観測計画により、小型SARの各部を自動制御し、各モードでSAR観測を行い、運用者が意図した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6・図7に示すように、再生したSAR画像と地図と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。



図5 観測計画立案画面

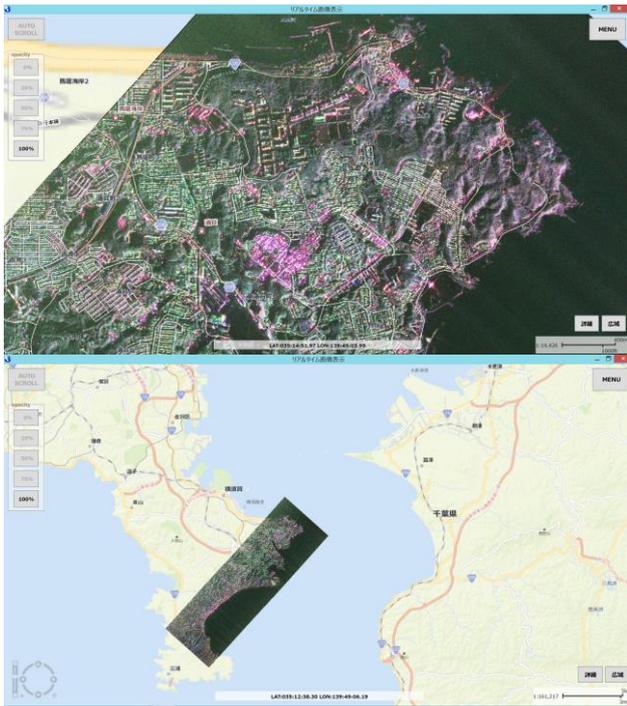


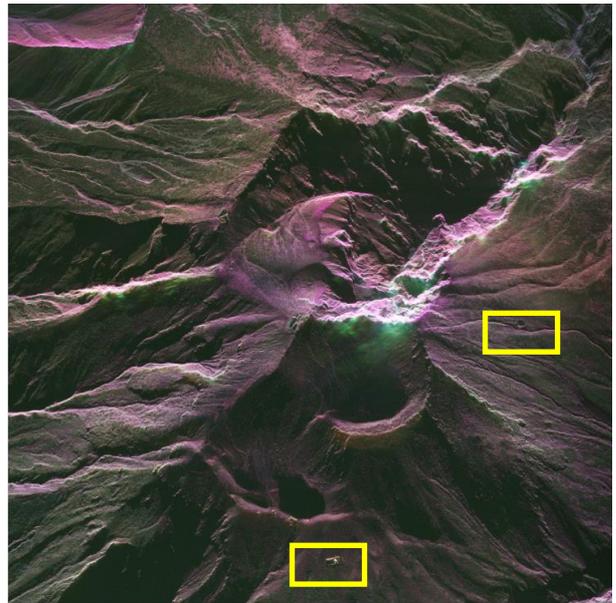
図 6 リアルタイム表示画面



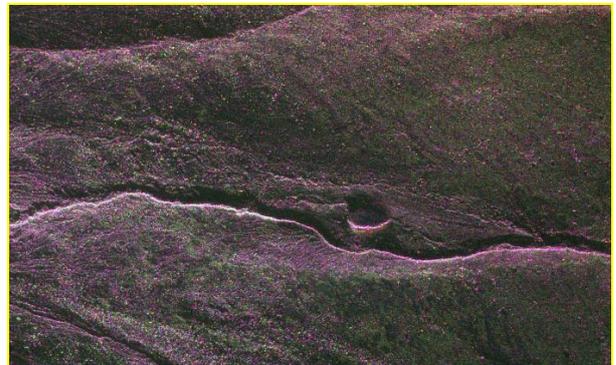
図 7 小型 SAR 運用中の実際のリアルタイム表示画面例

2. 4 災害の被災状況把握の実証

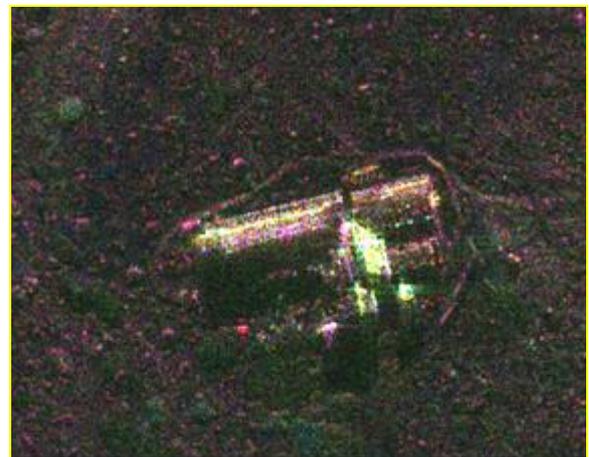
本研究開発の中で、フライト実証を行い、各種災害の被災状況への有効性を検証した。特に、被災状況を模擬するだけでなく、昨年の御嶽山噴火や白馬村の地震等の実際の災害を撮像し、被災状況把握に有効であることを確認した。例として、図 8 に御嶽山の撮像画像を示す。当日の天候は曇りで、上空からは全く山頂が見えない状況であったが、雲や噴火口からの噴煙を通して、噴火口の状況や、被災者の発生した山荘の状況等、御嶽山の状況を鮮明に確認できる。



(a)全景 (2km×2km)



(b)新しい噴火口



(c)二の池新館



(d)当日の上空からの光学写真

図 8 御嶽山撮像画像(平成 26 年 10 月 23 日)

3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発におけるフライト実証成果は、既に、災害対策訓練にも提供している。昨年度、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9)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。

このような災害対策訓練にも積極的に参加し、小型航空機搭載用高分解能合成開口レーダーの実用化に向けた展開を行うことで、安心安全社会の実現に寄与していく予定である。

また、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で進められている「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、本研究開発成果の実用化に向けた展開に努める予定である。

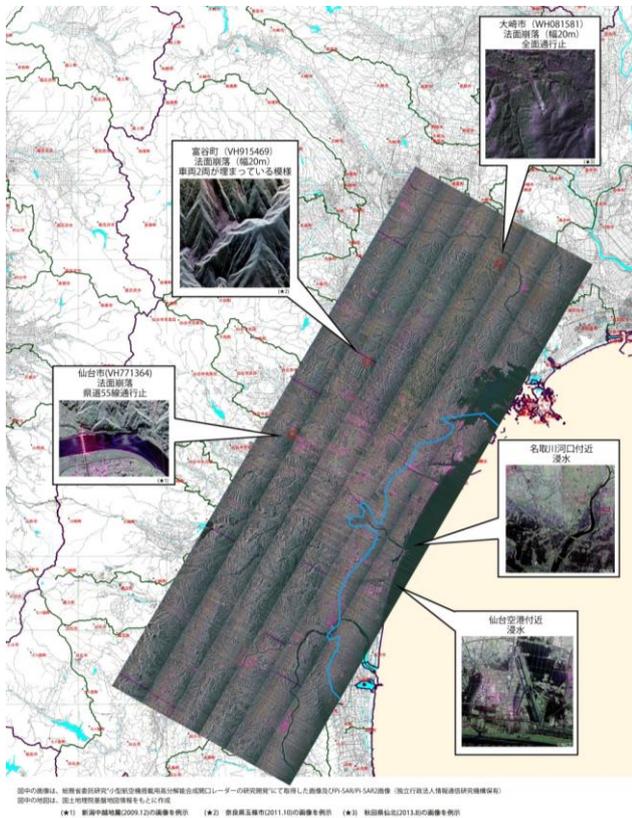


図9 みちのくALERTに提供した情報

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

4. むすび

本研究開発により、小型航空機に搭載可能で、発災時に災害状況を迅速かつ高精度に把握することができる高分解能合成開口レーダーを実現した。今後、航空機搭載合成開口レーダーの実運用・利活用の拡大・普及に向けて積極的に取り組んでいく予定である。

【査読付発表論文リスト】

[1] Takashi Fujimura, Kiyonobu Ono, Hidefumi Nagata, Tsunekazu Kimura and Minoru Murata, "A NEW SMALL AIRBORNE SAR BASED ON PI-SAR2", IGARSS2013 (2013年7月26日)

[2] 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 (2014年7月14日)

[3] Takashi Fujimura, Kiyonobu Ono, Hidefumi Nagata, Norihiko Omuro, Tsunekazu Kimura and Minoru Murata, "NEW SMALL AIRBORNE SAR BASED ON PI-SAR2", IGARSS2015 (2015年7月27日)

【受賞リスト】

[1] 藤村卓史、第26回電波功績賞一般社団法人電波産業会会長表彰、「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」、2015年6月16日

【報道掲載リスト】

[1]"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

[2]"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

[3]"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