

《様式B》

研究テーマ 「次世代農業ドローンのためのカバレッジ切り替え対応アクティブ統合アンテナ」

研究責任者 所属機関名 豊橋技術科学大学
官職又は役職 助教
氏 名 Maodudul Hasan メールアドレス hasan.maodudul.cq@tut.jp

共同研究者 所属機関名
官職又は役職
氏 名

(令和6年度募集) 第37回 助成研究 完了報告書

上記様式記載後

1. 実施内容および成果ならびに今後予想される効果の概要 (1,000字程度)

※ 産業技術として社会実装の可能性や特許出願 (予定も含む) の有無についてもご記載ください。

本研究では、農業分野におけるドローンを用いたセンシングおよび通信の高度化を目的とし、広範囲なカバレッジと高利得を両立可能なアンテナの開発を行った。東海地域は農産物や乳製品の主要生産地であり、収穫量の最適化や効率的な農業管理のために、ドローンを用いた遠隔監視・データ伝送技術の重要性が高まっている。このような用途においては、広いエリアをカバーするアンテナが求められる一方で、従来のアンテナでは電力半値幅 (HPBW) と利得との間にトレードオフが存在するという課題があった。

本研究ではこの課題を解決するため、PIN ダイオードを用いた寄生素子切替型のパッチアンテナを提案した。提案アンテナは複数の寄生素子を備え、それぞれの ON/OFF 制御により放射パターンを動的に変更することが可能である。具体的には、E 面および H 面においてビーム幅を個別に制御できる構造とし、測定の結果、E 面において 102° から 155° 、H 面において 95° から 142° まで HPBW を切り替え可能であることを確認した。

さらに、寄生パッチを用いた広ビームアンテナの設計指針を拡張し、PIN ダイオードを組み込むことでビーム幅の切替機能を付与した構造についても検討を行った。試作および測定の結果、5.8 GHz 帯において E 面 123° 、H 面 120° の広ビーム特性が得られ、提案手法の有効性を確認した。また、ドローンの移動に伴うアンテナ間の偏波不整合を低減するため、円偏波 (CP) アンテナの適用について検討を進めている。

本研究成果は、農業用ドローンにおける通信の安定化および広域センシングの実現に寄与するものであり、スマート農業分野における社会実装が期待される。現時点では特許出願には至っていないが、今後は発振回路との統合を含めた高機能化を進め、実用化および特許出願についても検討する予定である。

2. 実施内容および成果の説明（A 4で、5ページ以内）

1. 研究背景および目的

東海地域は農産物や乳製品の主要な生産拠点であり、農業の効率化および収穫量の最適化が重要な課題となっている。近年では、ドローンを活用した遠隔監視やデータ収集技術が注目されており、これらのシステムにおいて無線通信を担うアンテナの性能は極めて重要である。図 1 にドローンを用いた農業監視システムの概念図を示す。

特に、広範囲に分布するセンサーとの通信やリアルタイム映像伝送を安定して行うためには、適切なビームカバレッジを有するアンテナが求められる。しかしながら、従来のアンテナ設計においては、電力半値幅（HPBW）が狭い場合には高利得が得られる一方でカバレッジが限定され、HPBW を広げると利得が低下するというトレードオフが存在する。この問題は、広範囲な通信と安定したリンク品質の両立を困難にしている。

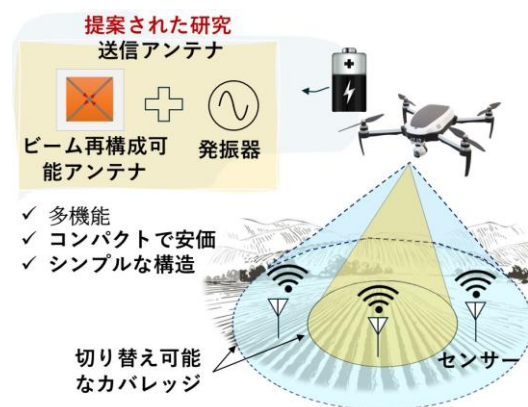


図 1 ドローンを用いた農業監視システムの概念図

本研究では、上記の課題を解決するため、ビーム幅を動的に制御可能なカバレッジ切替型アンテナの開発を目的とした。特に、受動素子を中心としたシンプルな構造により、コンパクトかつ低コストで実現可能なアンテナの設計・試作および評価を行った。

2. 提案アンテナの構成

本研究では、パッチアンテナと複数の寄生素子から構成されるカバレッジ切替型アンテナを提案した。提案構造では、4つの寄生素子を配置し、それぞれにPINダイオードを接続することで、素子の電氣的接続状態を制御可能とした。図 2 に提案アンテナの構造を示す。

具体的には、2つの寄生素子を E 面のビーム幅制御に、残りの 2つを H 面のビーム幅制御に対応させる構成とした。PINダイオードを ON 状態にすることで寄生素子が有効に動作し、放射パターンが

拡張される。一方、OFF 状態では寄生素子の影響が抑制され、より指向性の高いビームが得られる。このように、単一のアンテナ構造において複数のビーム特性を切り替えることが可能となり、通信環境や用途に応じた柔軟な運用が実現される。

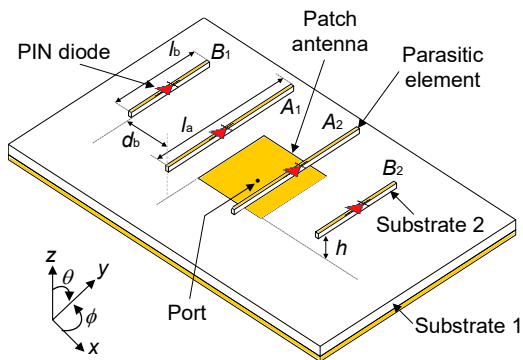


図2 提案アンテナ構造（寄生素子および PIN ダイオード配置）

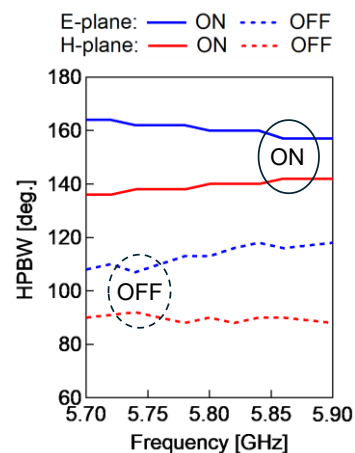


図3 スイッチングダイオードが放射パターンに及ぼす影響

3. 設計および解析

提案アンテナは、5.8 GHz 帯での動作を想定して設計を行った。設計にあたっては電磁界解析ソフトウェアを用いてアンテナ特性の最適化を行い、寄生素子の長さ、配置位置、および間隔がビーム幅に与える影響を詳細に検討した。図3にスイッチングダイオードが放射パターンに及ぼす影響を示す。

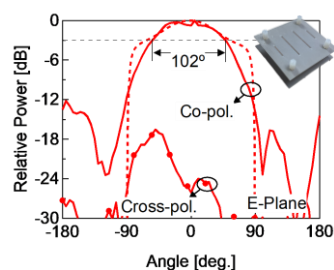
特に、寄生素子の配置による電磁結合の変化が放射パターンに与える影響を解析し、E面およびH面における独立したビーム制御が可能となるよう設計パラメータを調整した。また、PINダイオードのON/OFF状態を考慮したシミュレーションを行い、各動作モードにおける放射特性の変化を評価した。

4. 試作および測定結果

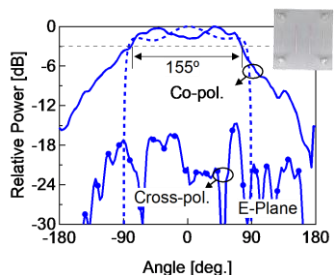
設計したアンテナの有効性を検証するため、試作機を作製し、電波暗室にて放射特性の測定を行った。図4および図5に、図2に示すアンテナのE面およびH面における測定結果およびシミュレーション結果の放射パターンを示す。測定の結果、提案アンテナはビーム幅の切替機能を有することが確認された。具体的には、E面において電力半値幅が102°から155°まで変化し、H面においては95°から142°まで制御可能であることを確認した。これにより、従来の固定ビームアンテナと比較して、通信カバレッジを状況に応じて柔軟に調整できることが示された。

さらに、寄生パッチを用いた広ビームアンテナ構造についても検討を行い、試作および測定を実施した。その結果、5.8 GHz 帯においてE面で123°、H面で120°の広ビーム特性が得られ、寄生素子

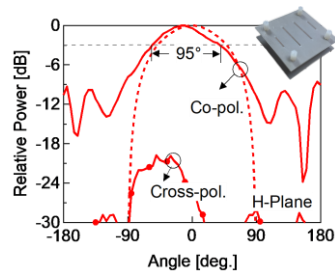
によるビーム拡張の有効性が確認された。



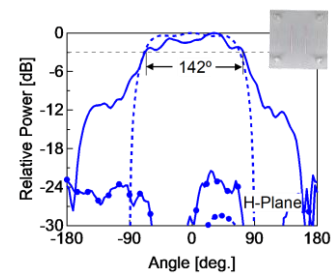
(c) Diode OFF



(d) Diode ON



(a) Diode OFF



(b) Diode ON

図4 E面の測定およびシミュレーション放射パターン

図5 H面の測定およびシミュレーション放射パターン

5. 考察

提案アンテナにおけるビーム幅制御は、寄生素子による電磁結合の変化に起因している。PIN ダイオードを用いたスイッチングにより、寄生素子の影響を動的に変化させることで、単一アンテナで複数の放射特性を実現できる点が本手法の特徴である。

また、E面およびH面のビーム幅を独立に制御可能としたことにより、従来の単一方向制御に比べて高い自由度を有する。このような柔軟性は、ドローンの運用環境や通信条件の変化に適応する上で有効であると考えられる。

6. 今後の展開

本研究で得られた成果は、農業用ドローンにおける通信の安定化および広域センシングへの応用が期待される。特に、通信カバレッジを動的に変更できる機能は、環境条件や用途に応じた効率的な運用を可能にする。

今後は、ドローンの移動や向きの変化に伴うアンテナ間の偏波不整合を低減するため、広範囲カバレッジを有する切替型アンテナの実現を目指す。また、その初期的なアプローチとして、ビーム切替機能および円偏波 (CP) 切替機能を有するアンテナの研究も進めている。図6にその試作アンテナを示し、関連成果は文献[2]にて報告した。さらに、当初の構想である発振回路との統合について

も、将来的な課題として取り組む予定である。

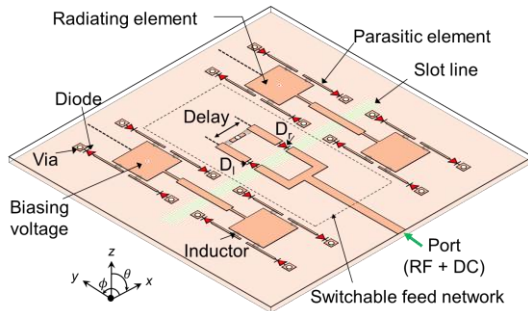


図 6 CP およびビーム切替アンテナの構造

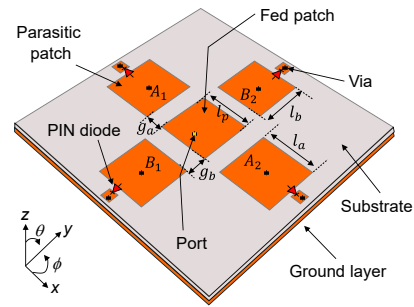


図 7 低背型カバレッジ切替アンテナの構造

さらに、本研究助成の期間中には、提案アンテナを基盤とした他の再構成可能アンテナについても検討を進めた。図 7 に、開発した別構成のアンテナおよび現在検討中のアンテナ構造を示す。これらの研究成果は、今後の学会発表および論文投稿へ展開する予定である。

さらに、本技術は農業分野にとどまらず、交通監視、災害救助、インフラ点検など幅広い分野への応用が期待される

7. 発表実績

本研究に関連して、以下の成果を発表した。

1. M. Hasan, E. Nishiyama, M. Tamura and I. Toyoda, "A Coverage-Reconfigurable Patch Antenna Using Switchable Parasitic Elements," *2025 Asia-Pacific Microwave Conference (APMC)*, Jeju, Korea, Republic of, 2025, pp. 1-3, doi: 10.1109/APMC65046.2025.11377797.
2. 園田廉, マオドウドウルハサン, 田村昌也, “寄生線路による円偏波再構成パッチアレーアンテナ,” 信学技報 SRW2025-154, vol.125, no.209, p.163 – 168, Nov. 2025.
3. 鈴木 陸久, 園田 廉, マオドウドウルハサン, 田村 昌也, “同一構造の位相シフタ・スイッチ回路を用いたリコンフィギュラブルアンテナ,” 2026 EICE 総合大会, 福岡, B-1B-30, Mar. 2026.