

修士（工学）藤田雅大提出の論文は「Relative Navigation and Guidance via Direction-Of-Arrival Estimation Method in Deep Space（Direction-Of-Arrival 推定手法を用いた深宇宙における相対航法および誘導）」と題し、英語で書かれ、本文 8 章と付録からなっている。

宇宙活動全体のすそ野が拡がりミッションが高度化する中、深宇宙探査においても複数機が自由に分離・結合するランデブ・ドッキング技術を活用するミッションが出現するものと考えられる。実際、我が国の宇宙計画においても、深宇宙ランデブ・ドッキングは獲得すべき将来技術の重要な項目の一つとして位置づけられている。

深宇宙においてランデブ・ドッキングを実現するためには、GPS 等の航法支援インフラのない環境で稼働可能な自律的な相対航法誘導技術が重要である。相対距離が近い場合には、カメラや LiDAR 等を用いた自律航法誘導手法が数多く提案され、一部実証もされている一方、従来手法が適用できないような中距離（数 100m～数 km）以遠のターゲット宇宙機に対する自律的な航法誘導手法は未確立である。

そこで本研究では電波を用いた相対航法誘導手法を提案している。ターゲット宇宙機が発するビーコンを、オブザーバ宇宙機に搭載されたアレイアンテナを用いて受信し、その到来方向を推定する。オブザーバ宇宙機は、得られた角度情報のみを用いてターゲット宇宙機の相対軌道をオンボードで推定し、必要に応じてマヌーバを行う。ビーコン到来方向の推定手法としては、アレイアンテナを用いた Direction-Of-Arrival (DOA) 推定手法を採用する。

本研究の目的は、上記の提案手法を、実ミッションへの適用の観点から検証し、実用的な手法として確立することである。

提案手法を検証するために、当研究ではまず Beamformer, MUSIC, ESPRIT という 3 種類の DOA 推定手法に基づき電波到来方向推定の数値シミュレーションを実施した。またフェーズドアレイアンテナの検証モデルを製作し、電波暗室で実験的に評価を行っている。これらの結果を基に、ハードウェアリソース・計算時間・精度等の観点で比較評価を行い、MUSIC と ESPRIT を複合したアルゴリズムと独自の分散アレイ配置の組み合わせにより精度と高速計算の両立を実現する手法を考案している。角度情報のみを用いた航法誘導手法については、測角情報のみでは本質的に不可観測の問題に対して、既知の増速（ ΔV ）を印加することにより可観測問題に転化する能動航法誘導の手法を提案し、その有効性を示している。さらに、提案する DOA 推定手法と測角航法誘導手法を統合する手法を、実ミッション設計例を提示しながら考察している。

第 1 章では、序論として、多数の超小型子機を用いたミッションの意義と、それを実現するために中距離での相対航法誘導技術の確立が必要であることを示している。またアレイアンテナによる DOA 推定手法を用いた相対航法誘導手法のコンセプトを示している。

第 2 章では、DOA 推定手法の原理を説明して定式化を行い、従来提案されている推定アルゴリズムおよびアレイアンテナを例示した上で、数値シミュレーションによる比較を行い、本研究で取り扱う DOA 推定アルゴリズムおよびアレイアンテナの特性を示している。

第 3 章では、技術実証として、16 素子のアレイアンテナおよび信号処理系を製作し、こ

れを用いて DOA 推定実験を行った。その結果、ハードウェアを用いた場合でも近似誤差および相互結合効果に起因する誤差を除去し、高い精度での推定が可能であることが示されている。

第 4 章では、DOA 推定手法を航法へ適用するにあたっての要求を整理し、その要求を満たすための工夫を 3 つ提案し、評価を行っている。分散配置アレイおよび計算コスト低減アルゴリズム、最適アレイ設計手法、そして通信系との共用システムである。これにより、低計算コストかつ高精度な DOA 推定系を構築できることを示している。

第 5 章では、測角情報のみを用いた航法において、マヌーバを実施することで観測性を向上できることを示し、最適なマヌーバを決定する手法を案出した。この特徴に基づき、観測性向上と準燃料最小化を両立する、低計算コストな誘導則を提案し、数値シミュレーションによる検証を行っている。

第 6 章では、初めに DOA 推定精度と航法誘導精度の関係を解析的に示している。また、5 章までの検討結果を統合し、DOA 推定手法を用いた相対航法誘導手法を構築し、事前設計から運用までの一連の流れを提示している。

第 7 章では、6 章で構築した手法のフィージビリティスタディとして、小天体サンプルリターンミッションを例にランデブーシミュレーションを実施し、提案する DOA 推定および航法誘導手法が有効であることを事例により示している。

第 8 章は、本論文の結論と今後の課題について述べている。

以上要するに、本論文は、深宇宙複数宇宙機ミッションに適用可能な電波による同時測角手法を考案し、その計算コストや精度の観点での実用性を示し、さらにその測角手法と適合する宇宙機間相対航法誘導手法を提示したものであり、宇宙工学・システム工学上貢献するところが多い。

よって、本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。