

氏名	うえだ よしかつ 上田 義勝
学位の種類	博士 (情報学)
学位記番号	情博第120号
学位授与の日付	平成16年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科通信情報システム専攻
学位論文題目	Study on High Performance System of Plasma Wave Receiver for Satellite / Rocket Observations (衛星/ロケット搭載用高性能プラズマ波動観測器に関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 松本 紘 教授 中村 行宏 教授 橋本 弘藏

論 文 内 容 の 要 旨

無衝突状態にある宇宙プラズマ中での科学衛星・ロケット観測において、プラズマ波動観測器は、そこでのエネルギー・運動量輸送過程に関する重要な情報を提供する。宇宙プラズマ物理素過程を敏感に反映しているプラズマ波動を計測することのできる「プラズマ波動観測器」に近年、注目が集まっている。本論文はこのプラズマ波動観測器の高度化を目的とし、デジタル技術・オンボードソフトウェア技術の導入を行い、実際のロケット実験においてその能力を検証した上で、将来ミッションに向けての新規観測技術の開発を行い、その成果をまとめた論文である。

本論文は、6章から構成されている。第1章では、これまで我が国で開発が行われてきた科学衛星ミッションにおけるプラズマ波動観測器の変遷について述べ、その技術開発過程を明らかにし、本論文における新規開発高度化プラズマ波動観測器の位置づけを行っている。

第2章においては、2000年に北極で行ったロケット実験用として、その開発に成功したプラズマ波動観測器 (PWA) のハードウェアについて述べている。リアルタイム波形圧縮処理などの高速オンボード処理を要求された本ハードウェアは、高速のCPU、DSPを同時に搭載した本格的なデジタル型プラズマ波動観測器であり、そのアナログ部・デジタル部の構成・特性について述べた上、波の位相速度を算出することのできる新規導入技術「インターフェロメトリ方式」について論じている。ここで開発したハードウェアはこれ以後の衛星・ロケットミッションにおけるプラズマ波動観測器のモデルとなるものである。

第3章では、第2章で述べたハードウェアを、オンボードで制御するソフトウェアを開発し、その制御フローおよびオンボードで処理する波形圧縮などについてまとめている。また、新たに導入したデジタルダウンコンバージョンチップを使ったソフトウェア制御による周波数掃引スペクトル受信器についても論じている。更に、高速CPUと高速DSPの両者の同期をとりながら、上述のオンボード処理を遅滞なく実行できるプログラムシーケンスについて、そのアルゴリズムを構築し、ロケット実験に搭載・動作をさせることに成功し、衛星・ロケット観測に特有のテレメータとのデータ同期手法・地上観測ソフトウェアについてもその開発結果をまとめている。

第4章では、ロケット実験の観測結果をもとに、開発したPWAの性能・機能評価を行い、目的通りの性能を示したことを明らかにしている。更に、その観測データの詳細な解析を行い、背景電場の測定及び北極カスプ周辺で低域混成波が励起されていることを発見し、インターフェロメトリ方式により、この低域混成波動の位相速度の導出にも成功している。導出された波動の位相速度は、線形理論解析における電子ビーム励起低域混成波の結果とよく一致し、電子ビームによってその波動が励起されている可能性を示している。

第5章では、新規開発となる「デジタル型波動-粒子相関計」についてその原理と性能をシミュレーションにより評価し、その結果を踏まえて概念設計を行っている。波動-粒子相関計は、波動と粒子を直接オンボードで相関をとることにより、そのエネルギー変換プロセスを、高時間分解能で抽出することのできる機械である。ここでは、まずプラズマ粒子計算機シ

ミュレーションを用いて、線形・非線形波動粒子相互作用の過程における、波動-粒子相関形の観測結果を評価し、粒子のバンチング・捕捉現象をエネルギー別に捉えることができることを示している。更に、この相関計の機能を一つのFPGAチップ内に実現することをコンセプトとして、実際に設計を行い、主要コンポーネントとなる部分についての回路シミュレーションを行って実現が可能であることを示し、実機搭載用の計測器設計として、LVDS高速通信インターフェース、耐放射線性ICを用いた回路設計を行い、計測器全体のブロックを構築している。

第6章では、本論文における研究成果をまとめて結論とした上で、本論文の成果が今後の宇宙観測ミッションにどのように活かされていくかについて論じている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、無衝突宇宙プラズマ中においてエネルギー・運動量輸送過程に重要な役割を果たす「プラズマ波動」を捉えるために、衛星・ロケットに搭載されるプラズマ波動観測器の高機能化を図ったものである。得られた主要な結果は以下の通りである。

1. 2000年に行われた北極ロケット実験において、後の衛星・ロケットミッションの典型形となる「高速CPU, DSPから構成されるデジタル型プラズマ波動観測器」を提唱し、その開発に成功した。
2. 上記デジタルプラズマ波動観測器において、キーテクノロジーとなるCPUとDSPの連携によるプラズマ波動観測器の制御とデータフロー制御について開発を行い、その制御の中核となるソフトウェアの開発に成功した。CPUとDSP間のデータ連携アルゴリズムの確立など、将来ミッションへとつながるものであり、高く評価できる。
3. 開発したデジタル型のプラズマ波動観測器で実際に観測されたデータの解析を行い、設計通りの性能が出ていることを確認している。また、その観測データの中から低域混成波を確認し、線形理論解析の結果を踏まえて、電子ビーム励起の低域混成波であることを示すことに成功した。このロケット実験で新規導入をはかった「インターフェロメトリ方式」の観測器から波の位相速度を求めることに成功し、線形理論から予測される電子ビーム励起低域混成波の位相速度と一致することを示している。これは新規開発の観測器から得られた事実が、観測波動の励起機構解明へとつながる情報を与えたという意味で、非常に重要な成果である。
4. デジタル型の波動-粒子相関計の性能確認のための計算機シミュレーションとそれに基づくハードウェアの概念設計を行い、FPGAチップの中にその主要コンポーネントを構築するという初めての試みを行い、主要部の回路シミュレーションなどを通して、チップ化されたデジタル型波動-粒子相関計が実現可能なことを示した。波動-粒子相関計は、定量的・高時間分解能で波動-粒子相互作用を解明するために必須の観測器であり、これを一つのチップの中に実現可能なことを示したこの結果は今後の宇宙観測に重要で価値が高い。

以上のように、本論文は、将来の衛星・ロケットミッションにおける高機能プラズマ波動観測器の実現に対し、非常に重要な知見・技術を提供しており、学術上きわめて大きい貢献をなすものである。またその技術は将来の観測器全般にわたる超小型化技術にもつながり、実際上も寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年2月23日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。