

水星磁気圏探査用プラズマ波動観測器

Plasma Wave Investigation for Mercury Magnetospheric Orbiter

豊村 崇[1], 上田 義勝[2], 小嶋 浩嗣[2], 松本 紘[2], 佐藤 義弘[3]

Takashi Toyomura[1], Yoshikatsu Ueda[2], Hirotsugu Kojima[3], Hiroshi Matsumoto[3], Yoshihiro Satou[4]

[1] 京大・工・電気電子, [2] 京大・宙空電波, [3] エスイーシステム

[1] Electrical and Electronic Engineering, Kyoto Univ, [2] RASC, Kyoto Univ, [3] RASC, Kyoto Univ., [4] SE System

現在、日欧協力による BepiColombo 国際水星探査計画が計画検討されており、2010年に探査機の打ち上げを予定している。このミッションでは、その磁気圏探査機 MMO に搭載されるプラズマ波動観測器のデータを用いて、水星近傍の太陽風中の電子温度を特定するという試みが提案されている。従来、電子温度の特定には、粒子観測装置によって得られる電子の速度分布データを用いていたが、波動データを用いることで、高時間分解能かつより精度の高い電子温度特定が可能であることが実証されている。波動データを用いて電子温度を特定するには、プラズマ電子による熱雑音のスペクトルを観測し、理論的に導いたスペクトルとの比較をプラズマ周波数付近において行う。しかし、従来の観測機ではこの熱雑音の観測を想定していなかったため、そのプリアンプではノイズレベルが高く、スペクトルの電子温度などのパラメータによって変化する周波数部分を十分に観測することができない。そこで、水星探査ミッションのプラズマ波動観測器に用いるプリアンプは、水星近傍の太陽風のプラズマ周波数とされる 100kHz 付近において低ノイズで、かつプラズマ波動観測器の交流電場観測周波数帯 10Hz ~ 3MHz をカバーできるような広帯域のものでなければならない。

これらのことを踏まえて設計したプリアンプは、初段に広帯域・低ノイズの素子として FET を用い、プリアンプに続くシステムを低ノイズ化する必要がないように、20dB の利得を持たせた。また、水星という過酷な条件の下で用いることを考慮し、2 段目オペアンプの出力から初段 FET へ負帰還をかけることによって、素子特性の温度変化や放射線劣化に対して安定化を図っている。この回路を実際に製作し、周波数特性とノイズの測定を行ったところ、10Hz ~ 3MHz に渡って様な利得と、100kHz 付近において熱雑音電圧スペクトルを十分観測できる程度の入力換算ノイズが実現されていることを確認した。また、プリアンプに利得を持たせたことで、2 つのプリアンプの出力を差動増幅する際の同相電圧除去比が低下することを懸念していたが、200Hz ~ 1MHz においては 50dB 以上確保できることを確認した。

一方、現実のプラズマ波動観測器の受信部には、アンテナの根元にある導電性シールドによって発生する容量と、衛星本体内部に発生する浮遊容量が存在するため、アンテナに誘起される電圧は減衰してプリアンプに入力されることになる。そこで、アンテナ誘起電圧に対するプリアンプ入力電圧の比を表す、ピックアップファクターを導入し、想定されるプラズマパラメータを基に水星近傍の各領域ごとのピックアップファクターを理論的に導き出した。その結果、太陽風や Magnetosheath、Plasma Sheet など、水星磁気圏探査機の観測領域においては、ピックアップファクターのプラズマ環境に対する依存性は見られず、アンテナ誘起電圧は同一の換算方法で求められることがわかった。また、現段階ではアンテナのシールド長が決定されていないため、その長さに依存する容量が変化した場合に、ピックアップファクターがどのように変化し、観測に影響を与えるのかについても検討を行った。アンテナの導電性シールドが長くなると、それに伴って発生する容量も大きくなり、ピックアップファクターの大幅な低下を引き起こす。このピックアップファクターの変化を考慮した上で、理論的に導き出した太陽風中の熱雑音電圧を開発したプリアンプの入力換算ノイズと比較した結果、シールド長が 0 ~ 2m であれば電子温度の特定が可能であることを改めて確認した。一方、シールド長によるピックアップファクターの変化を利用した受信部のシステムについても検討中である。プリアンプに利得を持たせたことで、大きな信号が飽和したり歪んだりする恐れがあるため、アンテナの導電性シールドによる容量が存在する箇所に実際にコンデンサを入れ、ピックアップファクターを低下させることを考えている。熱雑音電圧の観測は常時行うわけではないので、このコンデンサをスイッチによって接続したり切り離すことで感度の切り替えを行う。

本講演では、MMO に提案されているプラズマ波動観測器の仕様全般の紹介に加え、上述の低ノイズプリアンプとアンテナによる熱雑音レベルのピックアップの可能性について述べる。