

FPGA 化波動粒子相関計測器の試作及び性能評価

The development of the wave particle correlator designed on FPGA demonstration board

上田 義勝[1], 小嶋 浩嗣[1], 松本 紘[1], 斎藤 義文[2]

Yoshikatsu Ueda[1], Hirotsugu Kojima[2], Hiroshi Matsumoto[2], Yoshifumi Saito[3]

[1] 京大・宙空電波, [2] 宇宙研

[1] RASC, Kyoto Univ, [2] RASC, Kyoto Univ., [3] ISAS

<http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/>

波動粒子相関計測器は、科学衛星・ロケットによる宇宙空間中のプラズマ波動計測における応用技術として注目されている技術である。波動と粒子の相互作用を実機上で直接観測することにより、効率よく物理現象を発見し、詳細な観測を行うことができることと期待されている。宇宙物理においては、無衝突プラズマ中の粒子間のエネルギー輸送の役割という点で、共鳴波動粒子相互作用はとりわけ重要である。これらの相互作用は粒子のバンチングを引き起こし、粒子の分布関数に周期性の時間的な摂動を引き起こす。1971 年以降、このような相互作用を発見するために、この周期性をもつ摂動を観測することを目的とし、ロケットと衛星による実験が行われた。1979 年以降では、「粒子相関計測器 (particle correlator)」として知られているいくつかの関連した技術が用いられてきており、波動粒子相関計測器としては、WIND 衛星や FAST 衛星にも搭載されている。

波動粒子相関計測器の特徴は、波形データと粒子データを直接相関を取ることであり、そのために粒子の分布関数の摂動の大きさ、波形との位相差を得ることが可能であるので、波動と粒子の相互作用に関してより多くの情報を得ることが出来る点である。これまでの波動粒子相関計測器のターゲットは、極域のオーロラ領域や、太陽風中でのラングミュア波であったが、本研究の設計は、将来計画されている次期磁気圏尾部探査衛星を想定して行うものとする。過去の GEOTAIL 衛星やその他の衛星において、地球磁気圏尾部のプラズマシートなどで強いラングミュア波が観測されている。また、ESW などの静電的な非線形プラズマ波などが観測されており、波動と粒子との相互作用が頻繁に起こっているところで、高時間分解能での観測が非常に重要となる。こうした領域で、波動粒子相関計測器による観測は観測した領域でどのような波動の発展段階であるのかを知るためにも有意義である。次期ミッションにおいては、複数編隊衛星による観測を行う可能性が高く、そこから発生する大量の観測データに見合ったデータ伝送容量は見込めず、全時間の高時間分解能データを地上に送信することは事実上不可能である。従って、データを選別する指標としてこの波動粒子相関計測器を用いる事が非常に重要であると考えられる。

現在進められている次期磁気圏尾部探査衛星の計画では、GEOTAIL 衛星と同様に粒子観測機及びプラズマ波動観測機が搭載されている。波動粒子相関計測器では、粒子観測機から粒子データを逐次波動観測機に送信し、リアルタイムに波動との相関をとる。想定している尾部領域でのプラズマ周波数は数 kHz 程度と考えられるので、電界波形受信機のサンプリング周波数は 30kHz 程度であると想定される。また、粒子観測機の最大時間分解能は 8msec で設計されており、GEOTAIL 衛星の LEP (Low Energy Particle) の約 20 倍の感度が想定され、粒子カウント数は 1 ミリ秒当たり 100 ~ 1000 個のカウント数があると想定される。このように波動/粒子データ双方で、リアルタイムで非常に膨大なデータを処理する必要が出てくるため、本研究で設計する波動粒子相関計測器ではこれらの膨大なデータを高速に処理し、データ量を縮小させるため、CPU や FPGA 等のハードウェア上で高速処理を行う。実際の波動粒子相関計測器は、波動受信機の中の機能の一部として搭載する予定なので、観測の実際上重要となる、波形観測機、高周波スペクトル受信機や、波形圧縮ソフトウェアなどの機能をなるべく損なわない様、高速処理はもちろんのこと、小型で軽量の計測器として搭載できるように設計する事を考えなくてはならない。

これまでの研究では、過去の衛星観測データを元に、電磁粒子シミュレーションを使って実際の波動と粒子データの相互相関を取ること、物理現象に対する相関データの有用性を確認している。また、次期ミッション用の観測機の性能等の概念設計が行われているので、それと並行して実際の波動粒子相関計測器を設計した。現在は設計した波動粒子計測器をハードウェア記述言語を用いて記述し、計算機上でのシミュレーションおよび評価用 FPGA ボードにおいて実際に起動を行っている。また、評価ボードにおいてはアナログ波形データを 600kHz でサンプリングし、そのデータを擬似波形として実際に相関計測器を動かす作業を鋭意進め、性能評価を行っていく予定である。