

デジタル波動粒子相関計測器の特性と評価手法の検討

System Performance and Characteristics of Digital Wave Particle Correlator

上田 義勝[1]; 豊村 崇[2]; 小嶋 浩嗣[3]; 斎藤 義文[4]; 松本 紘[5]

Yoshikatsu Ueda[1]; Takashi Toyomura[2]; Hirotsugu Kojima[3]; Yoshifumi Saito[4]; Hiroshi Matsumoto[5]

[1] 京大・RISH; [2] 京大・工・電気電子; [3] 京大・RISH; [4] 宇宙研; [5] 京大・宙空電波

[1] RISH, Kyoto Univ; [2] Electrical and Electronic Engineering, Kyoto Univ; [3] RISH, Kyoto Univ.; [4] ISAS; [5] RASC, Kyoto Univ.

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

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、静電波と粒子との相関を取るだけでなく、磁場に垂直方向に振動する電磁波成分と粒子との相関も柔軟に観測できるシステムの開発を行う。

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。

2004 年度、試作評価用の波動粒子相関計測器を開発し、その動作と試作プログラムの動作を検証・確認を行った。開発した評価ボードには、波形データ用に 3 成分のアナログ信号入力を用意し、また、実際の粒子センサと接続が可能なコネクタを用意しているため、実機としての動作試験が可能である。また、静電波、電磁波成分との相関を取るためには背景磁場成分のデータも必要であるが、ボード上には疑似磁場成分用に 8bit の DIP スイッチを用意して疑似磁場データとして使用している。波形データは、背景磁場から投影成分を求めた後、デジタルフィルタを用意して波形信号をフィルタする事で、周波数成分ごとの相関値を取ることに成功した。また、粒子データはエネルギー成分と方向成分に分け、エネルギー成分毎の相関値を出力できる仕様としている。計測器の全ての動作プログラムはハードウェア記述言語で開発し、論理回路として FPGA 内に実現した。動作試験には、アナログ入力部から疑似波形信号を入力し、粒子データは FPGA 内部からの疑似粒子データを用いることで、磁場と平行方向の粒子と波形の相関値を取るプログラムを設計し、正常に動作する事を確認した。実際のプログラムの検証には実機としての衛星観測データか、計算機シミュレーションによるテストデータの作成が必要である。時間分解能、条件の詳細な変更からみて、計算機シミュレーションとの比較が優れている。そのため、本研究では開発した評価ボードに入力するデータを計算機シミュレーションによって作成し、本計測器の特性を評価する。また、評価によって得られた特性を元に、さらなる相関計測器の改良に努めていく。