

# <u>CALET: 全吸収型カロリメータ(TASC) 前置回路</u>

〇伊藤大二郎、鳥居祥二、清水雄輝、小澤俊介、森國城、村上浩之、 植山良貴(早大理工研)、片寄祐作(横浜国大)、田村忠久(神奈川大)

### <u>CALET計画</u>

CALET計画は、宇宙における高エネルギー現象の体系的解明 と暗黒物質の検出を目的とする宇宙線観測計画である。

国際宇宙ステーション(ISS)日本実験棟「きぼう」(JEM)曝露部 に宇宙線観測装置CALETを設置し、5年間の観測を行う予定 である。

現在、2013年の打ち上げ・運用開始を目指して観測機器の 構築や試験を行っている。

#### 観測対象とする宇宙線

	電子	1GeV - 10TeV				
	ガンマ線	10GeV – 10TeV				
	陽子·原子核	数10GeV - 1000TeV				
Cosmic Ray Sources						
AGN Land AGN						
SNR		International Space Station				

### 全吸収型カロリメータ(TASC)

CALETの主検出器部分は2種の複合カロリメータであり、 サンプリング型カロリメータ(IMC)と、全吸収型カロリメータ(TASC)からなる。

このうちTASCは無機シンチレータのPbWO4(PWO)層を6×2(X,Y方向)層分 積み上げた構造(厚み:27X0)をしている。

入射粒子とPWOとの相互作用によって起こる粒子シャワーを観測し、 入射粒子のエネルギーを決定する役割をもつカロリメータである。



CALETが観測対象とする宇宙線は1GeVから1000TeVのエネルギー領域に わたり、TASCにおいては1個から106個以上のシャワー粒子を測定する。

そのため、この領域をカバーするだけの広いダイナミックレンジをもつ アナログ信号処理回路が必要である。

	540	1	
Electronics	CHD		120

### <u>TASC信号読み出し回路</u>

PWOから入力される光パルス信号を増幅率の異なる4系統に分けて処理することで、 広いダイナミックレンジをもつフロントエンド回路を実現する。

各系統を1桁以上重ねているため、系統①の1MIP測定による全系統のCalibrationが可能となる。









### <u>CALET用 汎用型HIC</u>

#### ◆ TASC用CSAに必要なダイナミックレンジの見積

APD用(CSA1)

10<sup>-1</sup>~10<sup>3.5</sup>MIP程度 PD用(CSA2)

1MIPのAPD出力電荷≒5fCとすると CSAへの入力電荷に換算した値は 両方とも 0.5fC~15pC 程度

102~106.5MIP程度

上記のダイナミックレンジを持つCSAを使用する必要がある。 現在、CALET用の汎用タイプの低雑音ハイブリッドIC型CSA(HIC)を JAXAと共同で新規に開発中である。

今回、試作したHICに対する雑音・ダイナミックレンジなどの基礎的な 性能評価と、多数のHICに対する特性の統計的な分布を調べた。



### HIC性能評価用 試験装置

HICからの出力信号を増幅、波形整形し、 True RMS Meter(ノイズ測定)や波高分析器(出力波形測定)で測定。

#### HIC評価回路

HICを取り付けることでプリアンプとして使用できる試験用回路。

テスト信号や、半導体検出器からの信号をHICに入力することができる。 入力端にコンデンサ(ダミー容量)をつなぐことで、半導体検出器の 容量性雑音を模擬的に発生させることが可能である。

HIC後段にはPZC機能付き微分回路とバッファアンプが接続されている。 電源には雑音カット用のアクティブフィルターを備えている。

装置のCalibration

<sup>241</sup>Amを用いたガンマ線(60keV)ピークの測定により値を校正した。



#### 雑音測定

True RMS Meterを用いて雑音電圧のRMS偏差を測定した。 測定値は等価雑音電荷(ENC;CSA入力と等価な電荷量)、 または等価雑音エネルギー半値全幅(Si検出器入力と等価な) エネルギー)に換算した形で表した。

ダイナミックレンジ測定

Pulserを用いて数fC~100pC程度までのテストパルスを入力し、 出力の線形性を測定した。

出力オフセット測定

HIC出力に電圧計を接続して出力の直流オフセットを測定した。

消費電流測定



《上》 SIP-HIC評価回路

## 【HIC性能評価①】 <u>基礎特性評価(雑音・線形性)</u>

試作第1段階のSIP型HICに対して雑音やダイナミックレンジなどを測定し、 増幅器としての基礎的な性能評価を行った。

#### 雑音特性の評価

読み出し回路中の雑音の大部分は、検出器およびCSAで発生する (外来雑音を除く)。

一般に、雑音の支配的な成分は以下の3種類であることが知られている。

(i)負帰還抵抗で発生する熱雑音 (ii)半導体検出器の接合容量による雑音 (iii)半導体検出器の暗電流による雑音

回路中の雑音レベルが、観測領域の最小値である0.5fC以下程度 である必要があるため、HICに対する雑音測定を行った。

PD、APDの接合容量は200~300pF(バイアス電圧印加時)程度で、 測定の結果(下左図)、雑音レベルは0.17~0.34fC程度であり、 観測領域に比べて十分に小さいことがわかった。

#### 線形性の評価

HICをTASC読み出しに用いる際は、ダイナミック レンジを広げるために負帰還容量を並列に外付け して増加させ、増幅率を下げた状態で使用する。

#### 增幅率 A = -1/Cf

オリジナルの状態(Cf=1pF)では3pCまでの線形性 しか保証されないため、Ct > 5pFとする必要がある。 実際はマージンを含め、<u>Cf = 15pF</u>とし、45pCまで の線形性を持たせるように設定した。

テストパルス入力の大きさを線形的に 増加させていき、出力の線形性を測定した。

その結果、期待通りの ダイナミックレンジを持つことが確認された (下右図)。

## 【HIC性能評価②】 <u>特性の分布調査</u>

CALET実機に搭載するHICの数は400個程度にのぼる。

HICを量産した場合の性能の一様性や不良品率を見積もるため、試作第2段階のDIP型HIC100個に対する 雑音・消費電流・出力オフセットの測定を行い、統計的な分布を調査した。

#### その結果、明確な不良品は見つからなかった。また、以下のような特性の分布を得た。





#### また、-20~+50℃の範囲での雑音の温度変化(下中図)は 最大で3×10-4fC/°C程度のわずかな変化があることが測定された。 (その際、HICの動作自体にも異常はみられなかった。)





◆ TASCでは1個~106個までのシャワー粒子を測定するため、これをカバーする広いダイナミックレンジを持つ フロントエンド回路が必要である。実際には、シンチレータ(PWO)からの光パルス信号を、ゲインの異なる4系統に わけて処理することで広ダイナミックレンジ回路を実現する。

- ◆ JAXAと共同開発中の汎用型HICをCALETに最適化して使用する。試作したHICに対して雑音レベルや ダイナミックレンジといった基礎的な特性評価を行い、TASCフロントエンド回路における性能要求を満たしていることを 確認した。※消費電力削減のため、+12V電源の電流値を数mAに減らす構成での雑音増加は50%程度であった。
- ◆ 今後は、セラミック基板に実装された搭載用HICプロトタイプを製作し、性能試験・耐久試験を行う予定である。 その後、全ての実機搭載用HICの製造段階に入る。