

全天型デブリ/ダスト検出器の構成素子の応答

藤井雅之¹、宮地 孝¹、南 繁行²、大西俊之²、武智誠次²、岩井岳夫³、野上謙一⁴、大橋英雄⁵、柴田裕実⁶、Eberhard Grün⁷、Ralf Srama⁷、岡田長也⁸

¹早大学術院、²大阪市大院・工、³東大院・工、⁴獨協医大・物理、⁵東京海洋大・海洋科学、⁶京大院・工、⁷Max-Planck Institut für Kernphysik (Heidelberg)、⁸本多電子(株)

Response of a pentagonal element as a constituent of 4 π debris/dust detector

Masayuki Fujii¹, Takashi Miyachi¹, Shigeyuki Minami², Toshiyuki Onishi², Seiji Takechi², Takeo Iwai³, Ken-ichi Nogami⁴, Hideo Ohashi⁵, Hiromi Shibata⁶, Eberhard Grun⁷, Ralf Srama⁷, Nagaya Okada⁸

¹Waseda University, Shinjuku-ku, Tokyo 169-8555. ²Osaka City University, Sumiyoshi-ku, Osaka 558-8585. ³University of Tokyo, Tokai, Ibaraki 319-1106, ⁴Dokkyo Medical University, Mibu, Tochigi 321-0293. ⁵Tokyo University of Marine Science and Technology, Minato-ku, Tokyo 108-8477. ⁶Kyoto University, Sakyo-ku, Kyoto 606-8501. ⁷Max-Planck-Institut für Kern Physik, 69117 Heidelberg. ⁸Honda Electronics Co., Ltd., Toyohashi, Aichi 441-3193.

Abstract: Detector characteristics of a piezoelectric PZT element were studied by bombarding hypervelocity iron particles in the velocity ranging from 10 km/s to 55 km/s. The rise time of the output form decreased as a function of velocity during collision. The amplitude seemed increasing with the velocity above 30 km/s. The sensitivity depended on the incident angle. An effect of cross-talk was not significantly observed in the dodecahedral structure. The PZT element was promising as a detector that was open to 4 π solid angle and operated in real time.

背景

宇宙環境の安全な活動を実施する上で、環境監視機器は重要である。監視対象の一つとして宇宙デブリの問題がある。実質的危機状態は比較的サイズの大きいものによって齎されるであろう。予防措置を考慮するなら、相対的に存在頻度の高い微小粒子を監視することは一つの方法といえる。また危機を早期あるいは同時に認識できるように、リアルタイム

計測が必須といえよう。

宇宙ダストの測定も観測対象の一つとなる。これまで BepiColombo MMO に搭載可能な機器を開発してきた。この開発で蓄積された能力を有効に応用することは有意義といえる。

検出器が微粒子到来方向を認識する能力を有するなら、科学的なデータ集積で有意義である。安全監視の視点から全天型が望ましい。形状として球形が理想的であろう。実質的で

少規模な形状として、正十二面体を採用した。その枠構造を図 1 に示す。その一つ面は正五角形の素子となる。

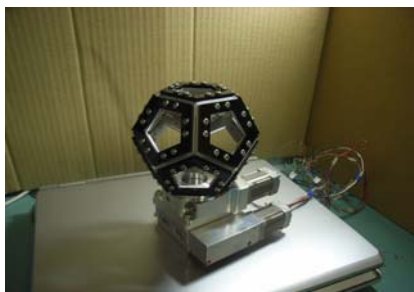


Fig.1. Frame of the dodecahedral 4π detector.

素子材質として、圧電性ジルコン酸チタン酸鉛(PZT)とした。この材料はセラミックであり、高い温度でも圧電性が維持される。圧電性の特性はバイアス電圧を供給しなくても“活性”材料の如く振舞う。また低感度の放射線検出器の材質として研究されていて、他分野の成果が期待できる[1]。

正五角形の PZT 素子サイズは材料の形状で制限される。ここでは直径 40 mm のロッドから製作された。厚さは 1 mm あった。

PZT は強誘電物質なので、高い静電容量をもつ。従って、信号処理に適した電子回路が必要となる。現時点で、10 nF 程度の静電容量素子に対して、100 ns 程度の反応時間を有する回路を開発し信号取得ができた。

小論は現在採りうる条件下で、5 角形素子の応答を測定した。ここでは高速衝突 (> 10 km/s) を対象とした中間結果を報告する。これらを総合して、全天型でリアルタイム計測可能な検出器について考察する。

実験と議論

超高速微粒子は Max-Planck Institut für

Kernphysik (Heidelberg)の加速器で供給された鉄粒子を使用した。サンプルの一部について速度と質量を図 2 に示す。

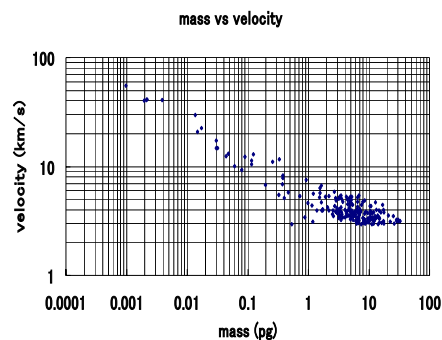


Fig.2. Iron samples used in the experiment.

測定原理については資料に示したので割愛する[2]。



Fig.3. Electrodes on the pentagonal element.



Fig. 4. Two elements to measure possible effects of cross talk.

素子の一面を図 3 に示す。五角形の辺は 23 mm である。面上で中心部の五角形電極と周辺の 5 個の細い電極から構成される。周辺電極は衝突位置を決定するために導入した。これにより、素子端における衝突を区別する。

構造体をとるので、素子相互の干渉を調べた。この測定では隣接した二面に素子をおいた(図 4)。枠をばねで吊るした(図 5)。一面に微粒子を衝突させて、他の面の素子信号を観察する方法をとった。



Fig.5. Frame is suspended by two springs.

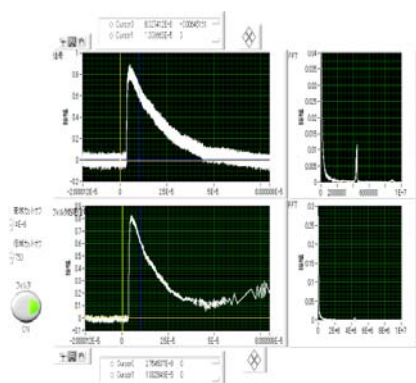


Fig.6. Typical output form (top, left).

Noise components are localized at 4 MHz (top, right). Components above 3 MHz are removed (bottom, left).

出力信号の一例を図 6 に示す。この例では 4 MHz を超える周波数のノイズが混入しているので除去した。ここで、立上り部分が測定対象となる。事象ごと立上時間と振幅を測定した。微粒子速度が 10 km/s をこえるものでその質量が同時に計測できたものを選択した(約 60 サンプル)。さらに出力振幅が 50 mV

以上のものを図 7 にプロットした。測定誤差として、 $\pm 0.5 \mu\text{s}$ 程度と評価した。速度については 50 km/s の表示辺りで、5 km/s 程度である。衝突位置に関する選択をしていない。

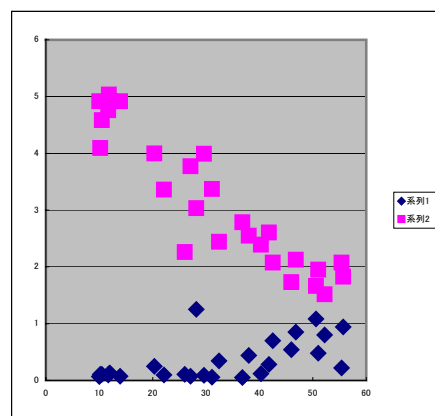


Fig.7. Rise time vs velocity during collision is shown (top group, vertical scale in μs). The amplitudes are plotted as a function of velocity (bottom groups, vertical scale in volt). The horizontal scale is in km/s.

この図から、立上時間が概ね速度とともに減少していることが分かる。このことは小容量の素子の実験結果と一致する。ただし数値は大きい[3]。

速度 50 km/s 近傍から立上時間が飽和する傾向が見られる。この特徴は今後にかかれた課題であろう。

ここで注目することは、速度が 30 km/s をこえると、速度とともに振幅が増加する(図 7)。未だサンプル数が少なくはっきりしない。このことも今後の課題といえる。

中心電極とそれぞれ二つの細い電極からの信号を用いて衝突位置が一義的に決定できる。衝突位置を素子表面上にプロットした(図 8)。衝突点の分布はほぼ微粒子の分布を再現している。この分布から端面の補正を省略した。

このように、表面の電極構成を工夫すれば、測定データの質的向上が期待される。

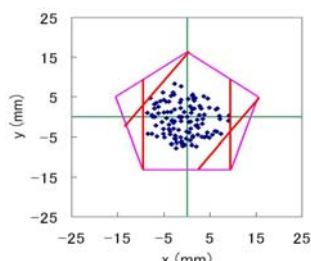


Fig.8. Distribution of collision points on the pentagonal element.

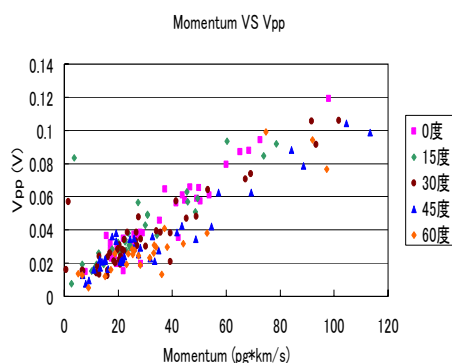


Fig.9. Sensitivities are plotted as a function of incident angles.

入射角度依存性を調べた。回転による位置の変位をさけるために、素子は 20 mm x 20 mm の断面とし、4 端に細い電極を施した。素子は回転機構上の枠に吊るされた。ビームとの位置関係が角度に依存しないように位置変位を水平方向の移動で補正した。角度を変えて、出力電圧(V_{pp})を運動量の関数で表す(図 9)。この図から、素子感度($V_{pp}/$ 運動量で定義)が入射角度に依存することがわかった。しかし、方向性に鈍感であるから、実質的に広い

開口部をもつことになる。

構造体の効果について述べる。対称的配置なので図 4 に示したように二個の素子を用いてテストした。一つを照射し、他の一つに発生する信号を有無を観測した。信号の伝播時間で予測される領域には雑音信号と区別される信号を確認できなかった。この結果クロストークの影響は否定的であった。

要約

以上の結果を以下のようにまとめた。

1. 増幅器の開発の方向は肯定的である。素子と増幅器を一体化し、個々に校正する。
2. 波形解析法は有効である。
3. 振幅は高速で速度と相関するか？ 今後の課題である。
4. 10 km/s 以上の領域では立上時間は速度と相関する。振幅 vs 運動量の実験式を構築できなかった。
5. 50 km/s 以上では立上時間が飽和するように見える。今後の課題である。
6. 入射角依存性は大きくない。
7. 広い視野をとりうる。
8. クロストークは問題ない。
9. PZT 素子を基礎とするリアルタイムで全天型検出器は可能と結論する。

参考文献

- [1] T.Miyachi et al., Nucl. Instr. and Meth. **A568**(2006)760.
- [2] T.Miyachi et al., J. Appl. Phys. **98**(2005)014110.
- [3] T.Miyachi et al., Appl. Phys. Lett.