

圧電性PZT素子の 衝突検出器としての特性

(温度特性について)

2009年10月10日

中村真季*, 小林正規**, 杉田精司*

*東大新領域

**千葉工大

目次

- 1.宇宙塵検出器
- 2.研究目的
- 3.過去の実験のデータ解析と実施した実験
- 4.まとめ

宇宙塵計測

宇宙塵は起源や進化過程によって異なる空間分布、サイズ分布を群に分類できる。

宇宙塵群の混在した状態から、逆にそれぞれの宇宙塵の起源や、その進化を推定するため、様々な側面から宇宙塵を分類することが必要。

例) 宇宙塵空間分布マップ

□可視光・赤外線による遠方宇宙の観測における黄道光による障害を取り除くために有用な情報の提供。

□太陽系とは進化レベルや物質分布の異なる他の惑星系を光学観測する際のレファレンスデータにもなる可能性。

→宇宙塵計測が必要

宇宙塵検出器搭載衛星

Research Strategies	Missions/Spacecraft
Active In-situ Cosmic Dust Measurements in the Interplanetary Space (9)	<ul style="list-style-type: none">●Galileo (Jupiter)●Ulysses (Solar System Halo)●Cassini (Saturn)●<i>Nozomi (Mars)</i>●STARDUST (Comet)●CONTOUR (Comets)●Rosetta (Comet and NEOs)●Deep Impact (Comet)●<i>ISAS Mercury Orbiter (Mercury)</i>
Major Passive In-situ Cosmic Dust Collections and Post Flight Analyses in LEO (4)	<ul style="list-style-type: none">●<i>SFU-PFA</i>●Mir-MEEP/ODC●HST-PFA #3●<i>ISS-JEM-EF-SEDA/MPAC</i>
Parent Body Sample Returns (2)	<ul style="list-style-type: none">●STARDUST●<i>MUSES-C</i>

0.3~18AUの範囲で観測をおこなえているが、その統計精度については低い。

なぜ内惑星の宇宙塵に関するデータが少ない？

- 太陽付近の宇宙塵の観測は地球付近のダスト微粒子によってわかりにくい。
- 太陽方向へ観測機を向けての観測になるため、太陽からのノイズの影響のためデータ取得が難しくデータが少ない。

→ その場計測が必要

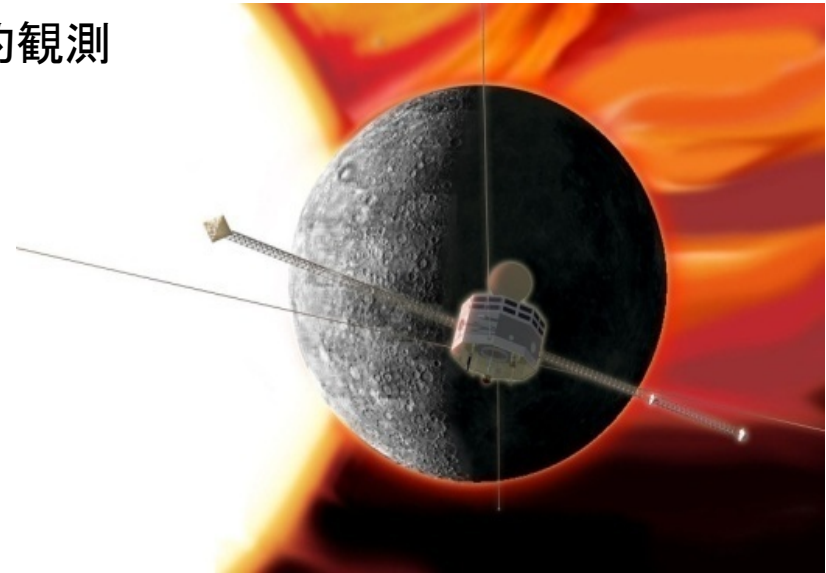
Bepi Colombo計画について

「Bepi Colombo 国際水星探査計画」

- ・水星の内部・表層・大気・磁気圏にわたる総合的観測
- ・水星の現在と過去を明らかにすることが目的。

Bepi Colombo ミッション概要

打ち上げ	2014年
探査場所到着	2020年
探査場所	水星周回軌道上
探査期間	約一年間



宇宙塵とは…

- ・大きさ: $10\ \mu\text{m}$ 以下 速度: $2\sim 50\text{km/s}$ の固体微粒子
- ・太陽系内の天体の源のひとつと考えられている。
- 宇宙塵の挙動を知る事で太陽系の進化を理解

しかし、内惑星の宇宙塵に関するデータは少ない。

Bepi Colombo搭載用宇宙塵検出器

→ 圧電性PZT素子を宇宙塵検出器として採用

圧電性PZT

- 圧縮や引っ張りの歪み(体積変化分)に応じて電圧を発生
- 高誘電率、圧電性が比較的大きい
- キュリー点が高く、圧電性の温度依存性が小さい
- 形状: セラミック 放射線に強い。
- 軽量、安価、形状の自由がきく。

少ないリソースで実現可能

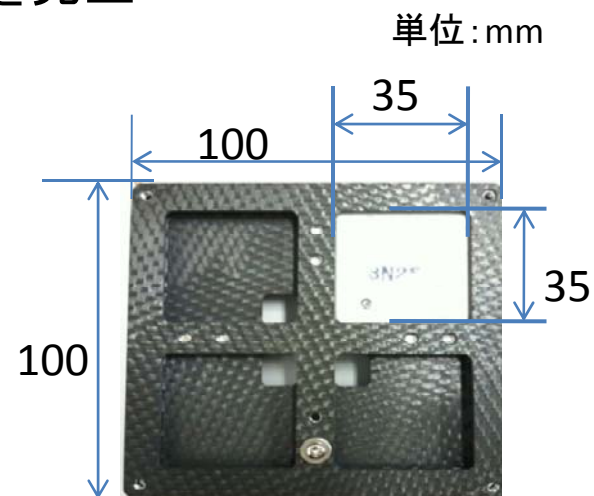
圧電性PZT素子型宇宙塵検出器

検出器サイズ 35mm × 35mmを4枚

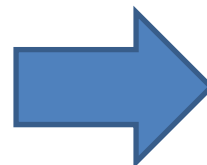
環境温度 -140°C ~ +170°C

検出頻度(予測) 1日1個程度

搭載位置 衛星のサイドパネル



宇宙塵検出器



温度特性

実験目的

宇宙塵検出器は水星近傍を周回するため、ミッション中は -140°C ~ $+170^{\circ}\text{C}$ の過酷な環境下に曝される。

→温度特性を評価する必要がある

そこで...

(1)静電加速器を使用した超高速衝突実験のデータ解析

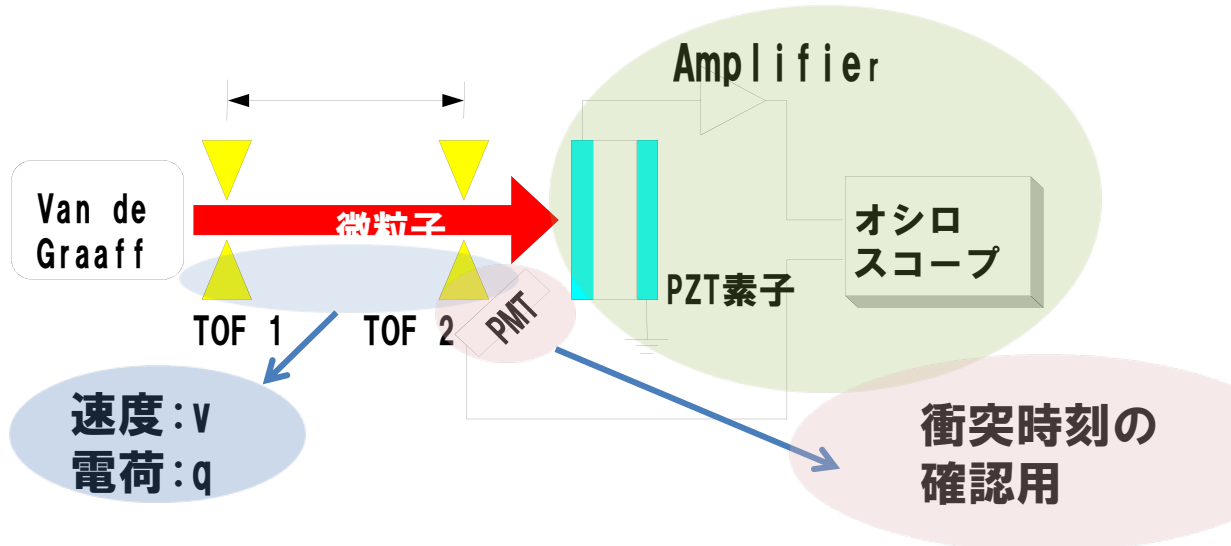
(2)鋼球を使った自由落下衝突実験

を行い、温度特性を検証する。

鋼球実験と加速器実験の関係を調べることにより、観測データから宇宙塵を想定している衝突微粒子の物理量(運動量等)を導く方法を検討する。

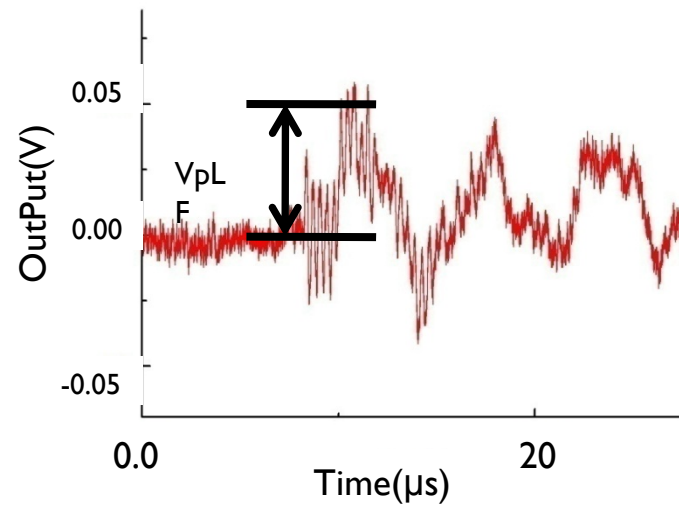
鋼球実験のメリット：簡便に広い温度範囲及び運動量で実験可能

静電加速器によるセンサー温度依存性に関する実験

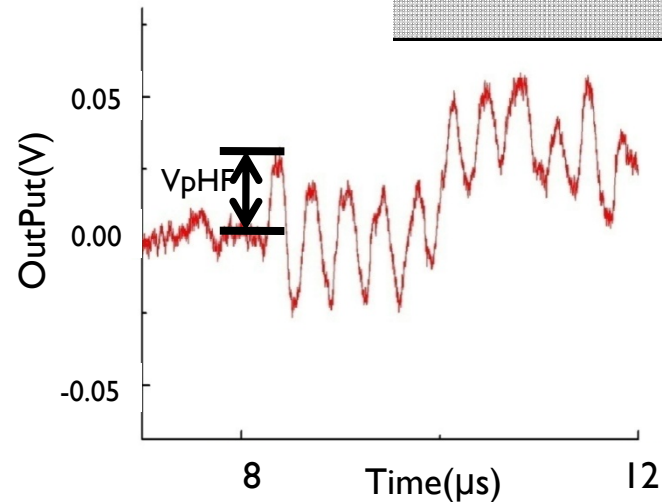


測定条件

温度	RT(room temp) 100°C 150°C RTAH(after heating)
微粒子サイズ	0.1~1 μm
速度	2~50 km/s
微粒子素材	鉄
PZT素子サイズ	円形 直径 20 mm 厚み 1.0 mm



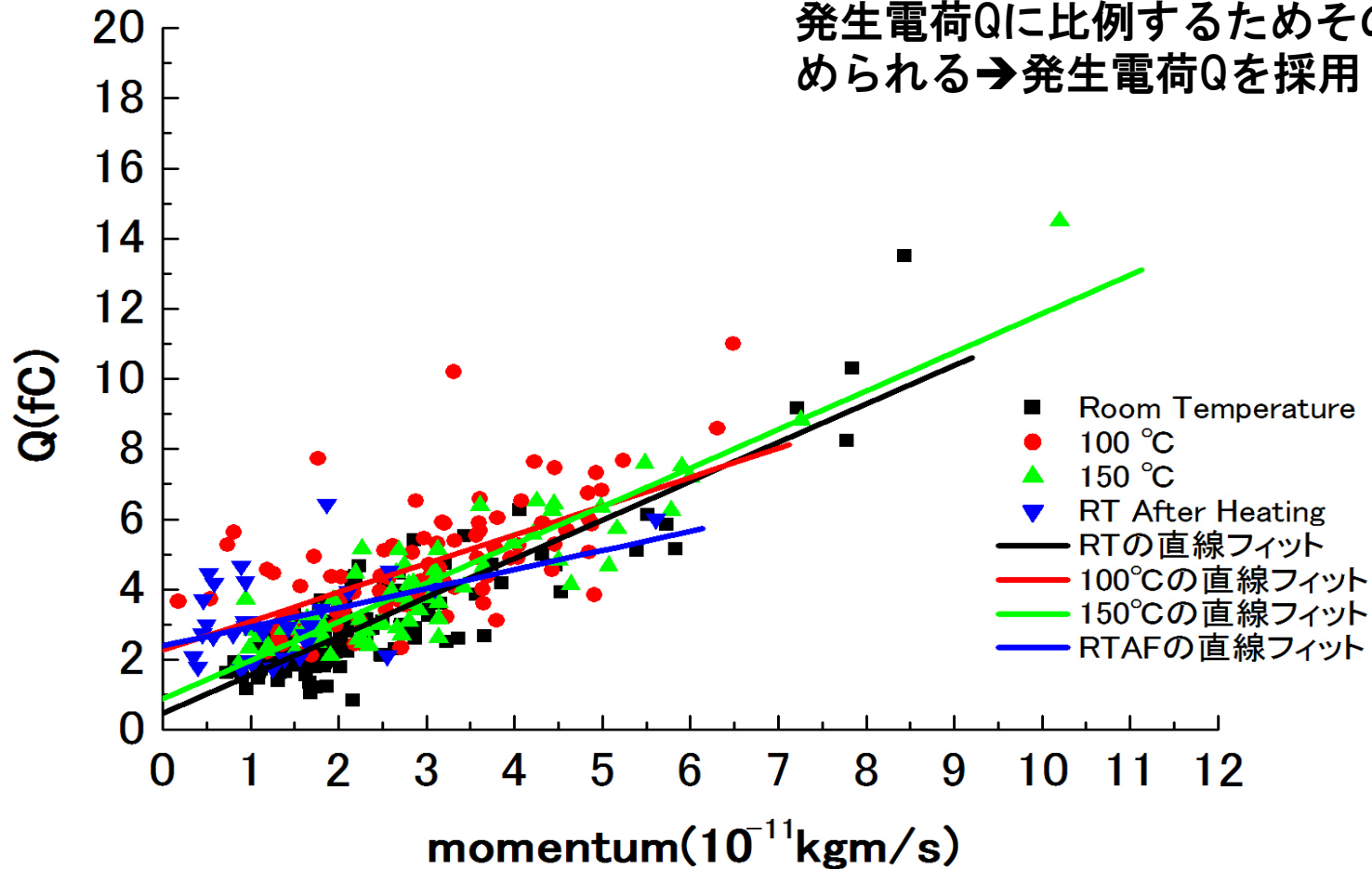
低周波成分の信号



高周波成分の信号

高周波成分の最初のピークでの 発生電荷Qと運動量

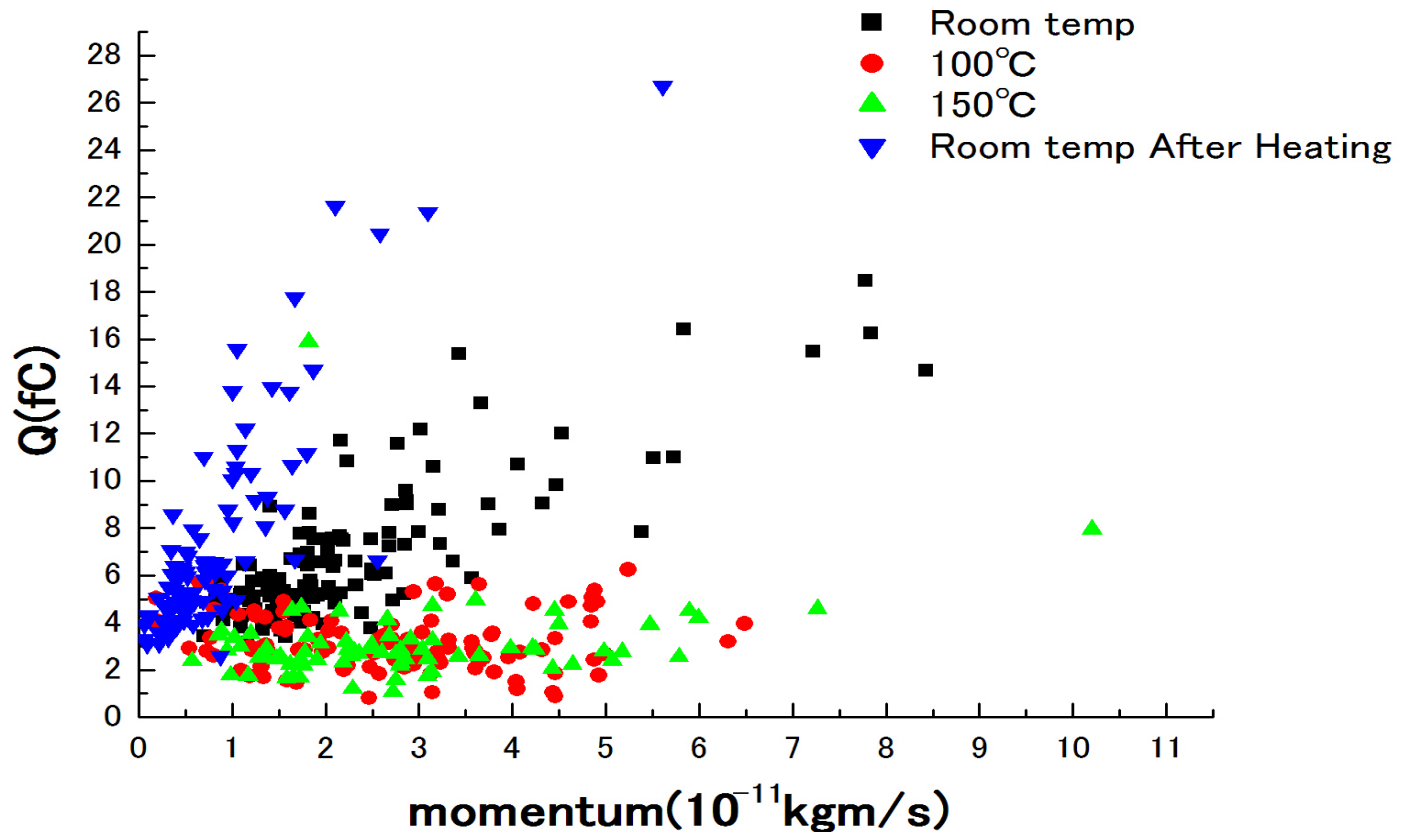
CSA出力は検出器の静電容量に依存せず、
発生電荷Qに比例するためその大きさが求
められる→発生電荷Qを採用



高周波に着目したグラフ。

RT~150°Cの範囲ではほぼ同様な直線上にあり温度依存性は小さい。

低周波成分の最初のピークでの 発生電荷Qと運動量



低周波に着目したグラフ

各温度での発生電荷と運動量との相関はあるものの、
ばらつきが大きい。

加速器実験におけるセンサー出力の 温度依存性のまとめ

•【高周波成分】

発生電荷と運動量の関係は温度に依存せず比例関係

•【低周波成分】

➤ 温度依存がみられる

➤ 同じ室温にもかかわらず加熱前後でセンサー出力が異なる

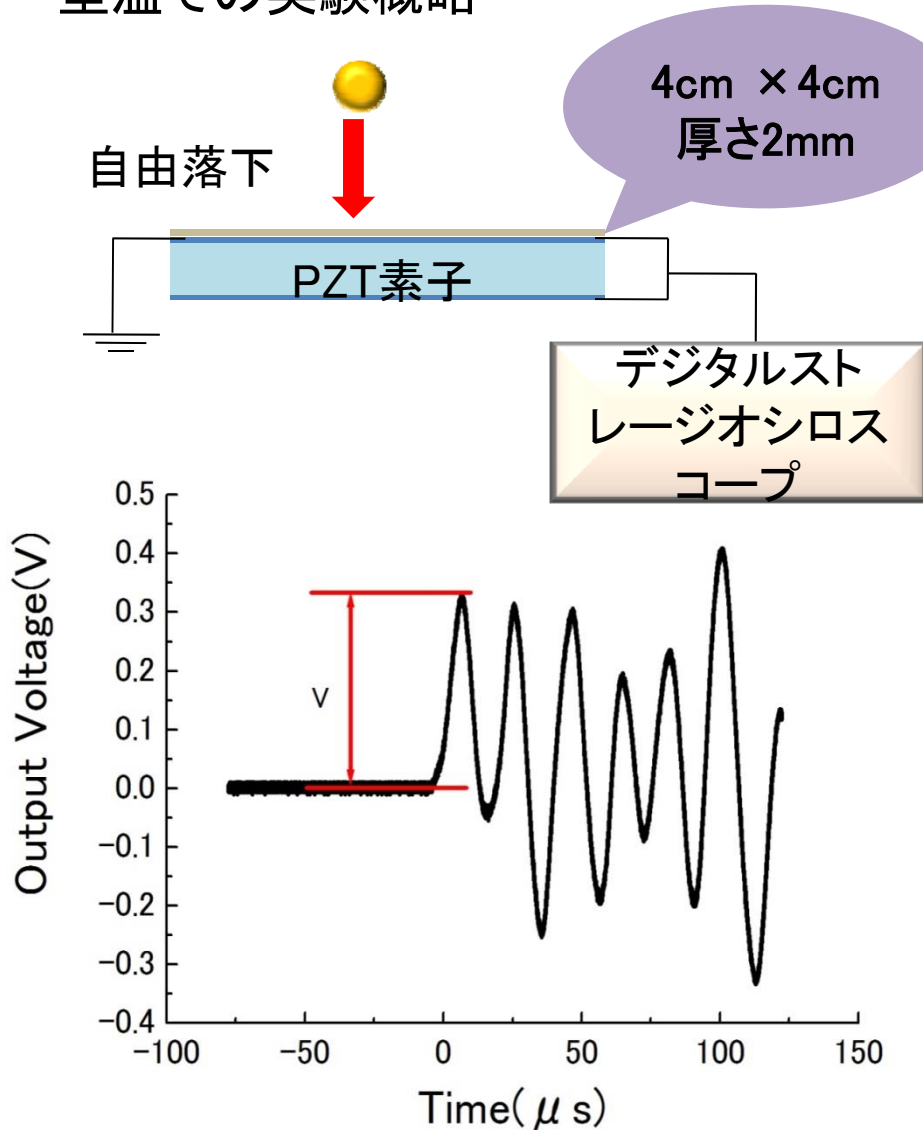
宇宙塵検出器が対象とする運動量範囲のなかでも
加速器実験でカバーできない領域がある

衝突実験1 → 室温での自由落下による実験を行い、加速器実験との
関係を検証

衝突実験2 → 自由落下による実験での温度特性の検証

衝突実験1

室温での実験概略



使用鋼球素材:SUS

直径(mm)	質量(kg)
0.5	5.2×10^{-7}
1.0	4.1×10^{-6}
2.0	3.3×10^{-5}
5.0	5.1×10^{-4}

落下高さ(cm)	衝突時の速度(m/s)
1	0.44
10	1.4
100	4.4

PZT素子



表

接地側電極の上に
白色塗料を塗布



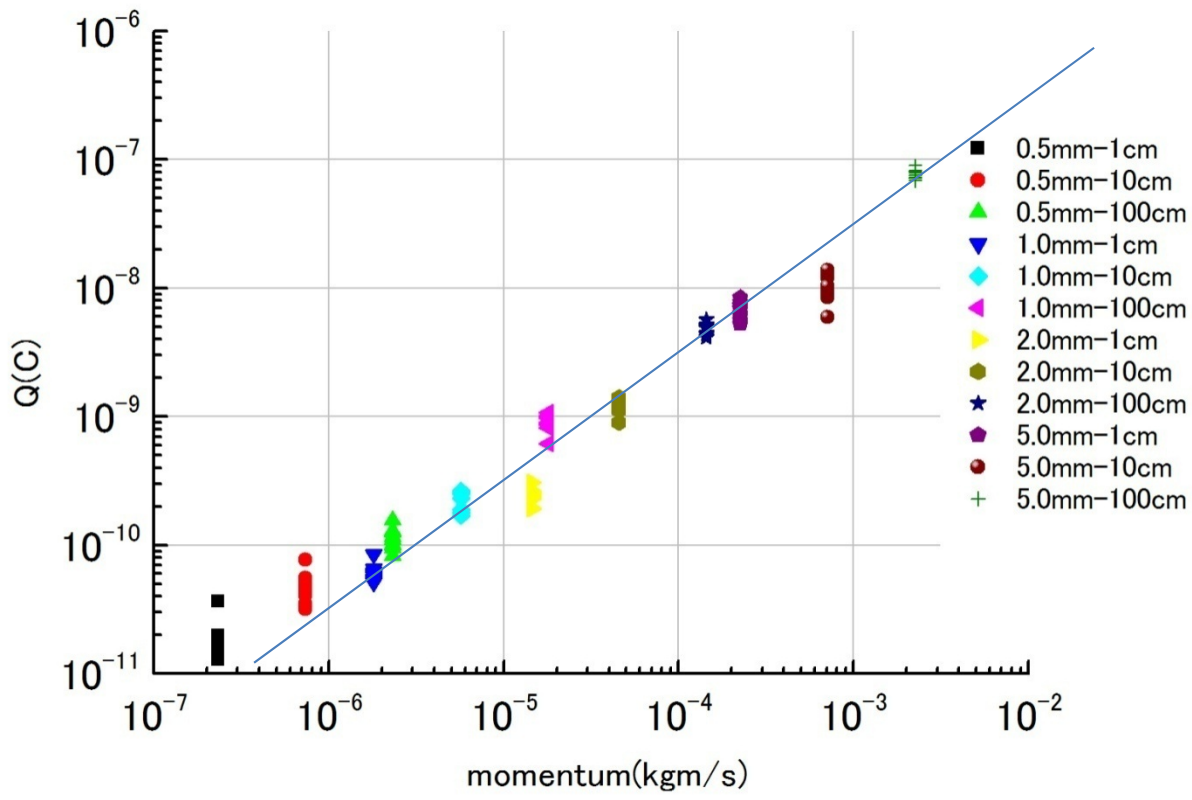
裏

出力電極(銀膜)露出

発生電荷Q(C)=出力電圧(V)×PZTの静電容量C(F)

衝突実験1

発生電荷Qと運動量の関係

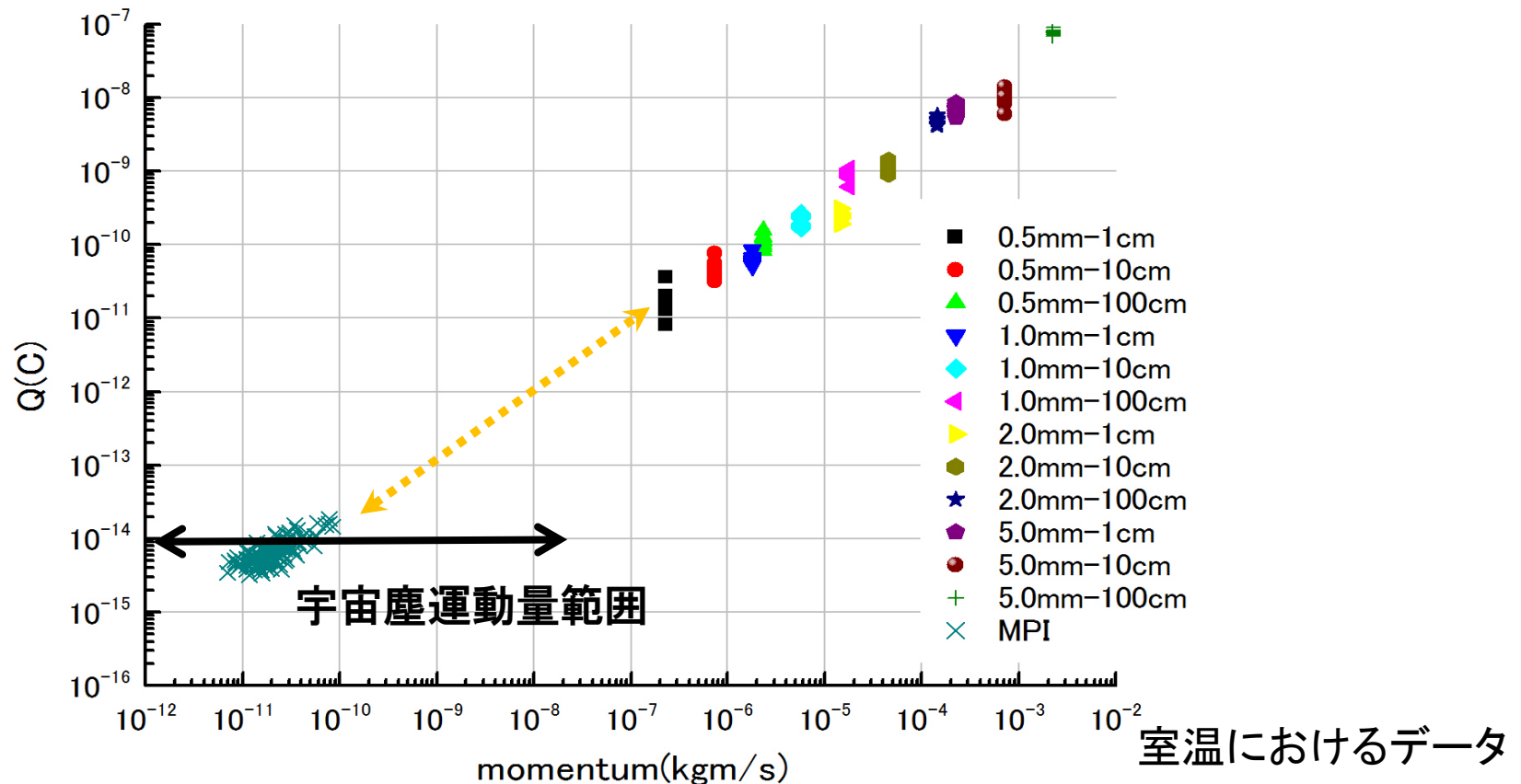


測定条件

温度	室温(23.2 °C)
鋼球直径 (mm)	0.5
	1.0
	2.0
	5.0
鋼球質量(kg)	5.236×10^{-7}
	4.063×10^{-6}
	3.255×10^{-5}
	5.085×10^{-4}
落下高(m)さ	0.01
	0.1
	1.0
静電容量C(F)	8.467×10^{-9}

衝突実験1

加速器の実験結果と自由落下の実験結果の関係



加速器実験の結果と自由落下での衝突実験の結果、強い相関があるとみなせる

衝突実験2

自由落下実験による温度依存性の測定

高温でのセットアップ



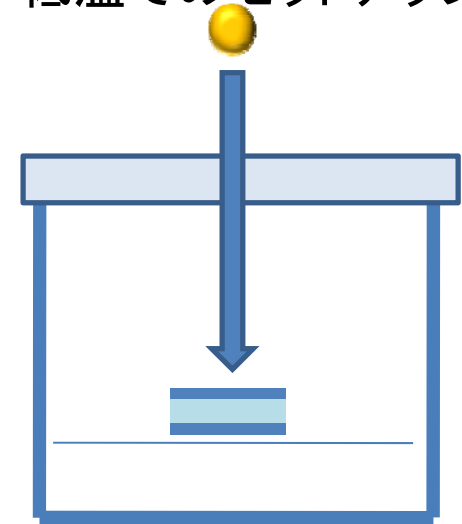
電気オーブン

室温(23 °C)、100°C、150°C、
175°C、200°C

測定条件

測定条件	
温度	各温度
鋼球直径	2 mm
鋼球質量	3.3×10^{-5} kg
落下高さ	0.30 m
衝突時速度	2.4 m/s
運動量	7.9×10^{-5} kgm/s

低温でのセットアップ



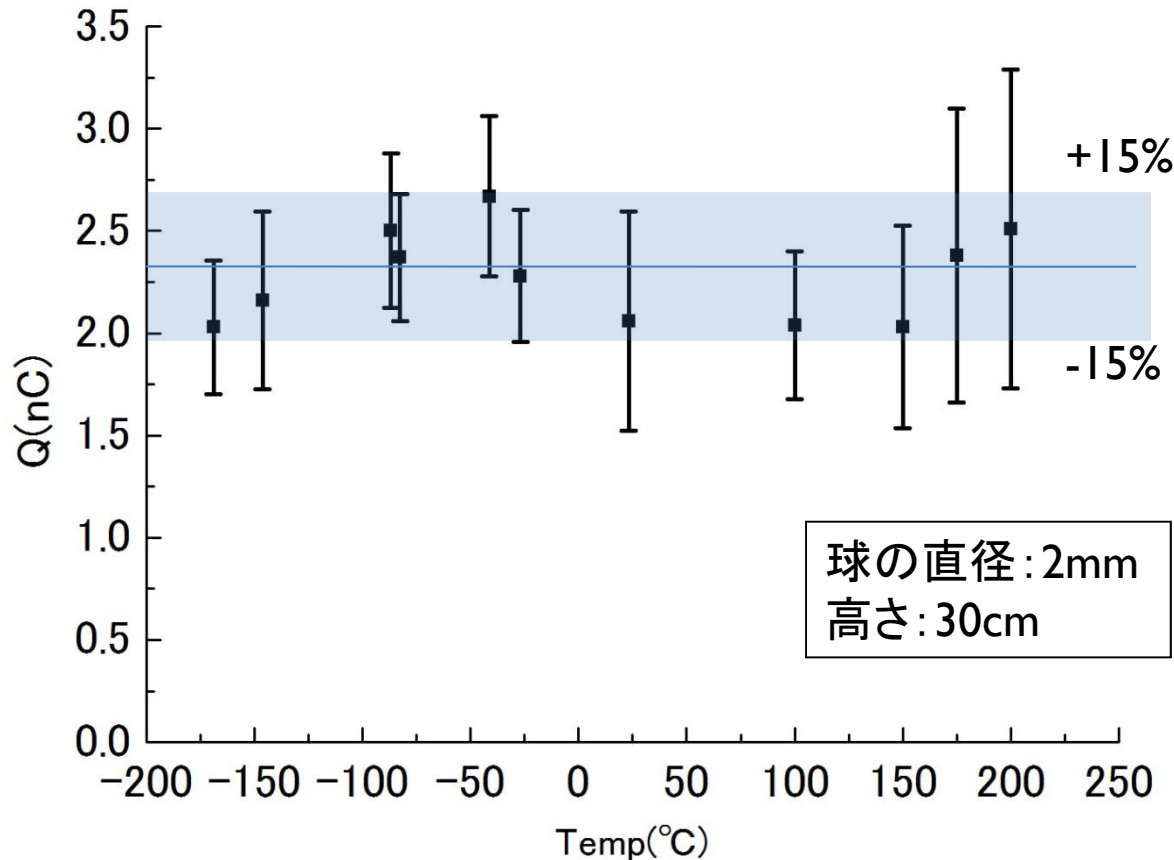
液体窒素及びドライアイス

-169 °C、-146 °C、-87 °C、
-83 °C、-41 °C、-27 °C

センサー温度は熱電対で測定

衝突実験2

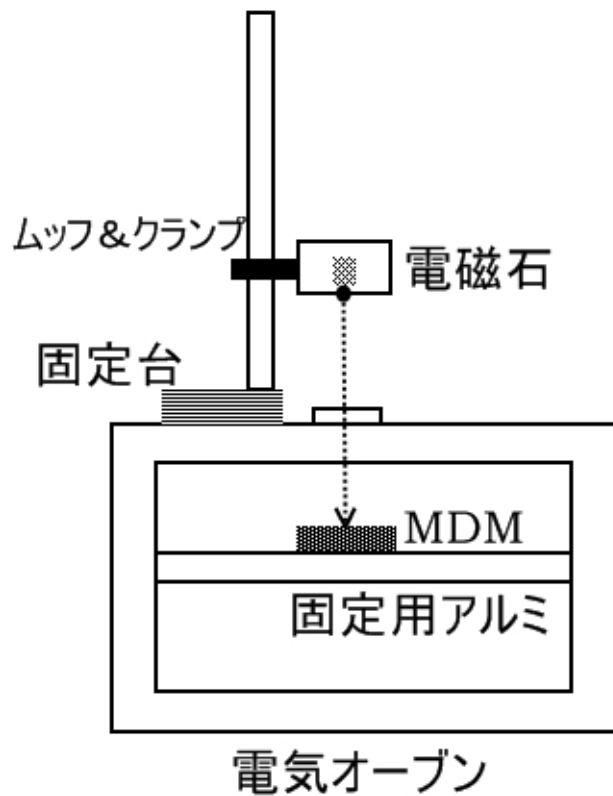
発生電荷Qの温度依存性



測定条件	
温度	各温度
鋼球直径	2.0 mm
鋼球質量	3.3×10^{-5} kg
落下高さ	0.30 m
衝突時速度	2.4 m/s
運動量	7.9×10^{-5} kgm/s

温度に対するQの変化量は±15%程度の範囲に収まっており、
-169 °C ~ +200 °Cの温度変動によるPZTセンサー性能への影響は
限定的である。

衝突実験2.1 精度を上げるための改良



前回との変更点

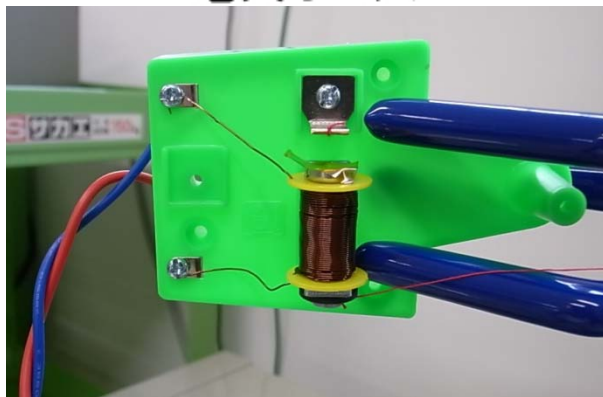
- 落下方法:ピンセット→電磁石(手ぶれの影響を排除)
- 統計を高めた(15回→60回)
- 衝突位置のばらつきを小さくした
- PZT素子の変更(フライトモデル)

測定条件

温度	24,50,75,100,125,150,175,200 °C
鋼球直径	2 mm
鋼球質量	3.3×10^{-5} kg
落下高さ	0.30 m
衝突時速度	2.4 m/s
運動量	7.9×10^{-5} kgm/s

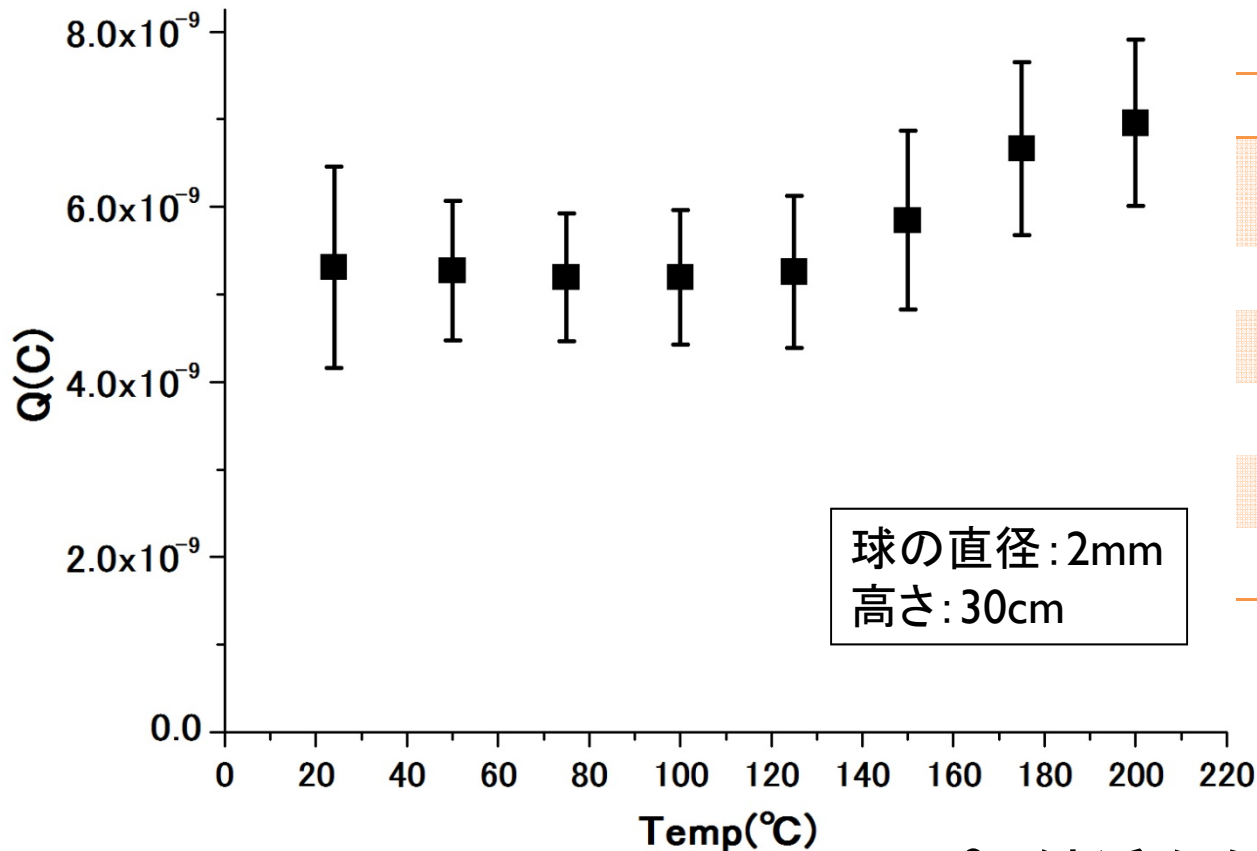


使用したセンサー



衝突実験2.1

温度依存性(高温部)



球の直径: 2mm
高さ: 30cm

測定条件	
温度	24, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200 °C
鋼球直径	2 mm
鋼球質量	3.3 × 10 ⁻⁵ kg
落下高さ	0.30 m
衝突時速度	2.4 m/s
運動量	7.9 × 10 ⁻⁵ kgm/s

150°C付近からの発生電荷Qの上昇

◆ 圧電定数の上昇

◆ 相転移が始っている可能性

温度依存特性の実験結果と考察

【結果】

- ◆ 圧電波形の高周波成分を取得することにより、水星周回軌道の高温部における温度変化では、温度に依存することなく宇宙塵の有する運動量の評価が可能であることを示した
- ◆ PZT圧電素子と種々の微粒子(鋼球及び微粒子)との衝突実験により、広い範囲にわたって運動量($10^{-11} \sim 10^{-2}$ kgm/s)と電荷量が、線形関係を示すことが明らかになった。
- ◆ $-169^{\circ}\text{C} \sim +200^{\circ}\text{C}$ の温度範囲での鋼球の衝突実験により、温度に対する発生電荷Qの変化量は $\pm 15\%$ 程度の範囲に収まっており、温度変動によるPZTセンサーの性能への影響は限定的であるということが確認された。(広いダイナミックレンジを取るので 15% 程度のばらつきは許容範囲である。)

(自由落下改良後の結果)

精度を高めた結果室温から高温部にかけては温度依存性が定量的に評価できた。

- 室温(24°C)から 200°C までの温度依存性を調べたところ、 150°C 以上で発生電荷Qが増加し始める。
 - 圧電定数の上昇
 - 相転移が始っている可能性(キュリー一点の半分以上)
しかしこの二つについては現段階では不明