

前置き: 今回のCPS交換プログラムでやったこと

- IKAROSダスト計測器ALADDINの較正実験
- 衝突電離型ダスト計測器IIDの較正実験
- ALADDINとHeliosのダストフラックス計測結果についてEberhard Grün氏と議論
- 圧電素子における衝突電離プラズマの観測

前置き: 今回のCPS交換プログラムでやったこと

- IKAROSダスト計測器ALADDINの較正実験
- 衝突電離型ダスト計測器IIDの較正実験
- ALADDINとHeliosのダストフラックス計測結果についてEberhard Grün氏と議論
- 圧電素子における衝突電離プラズマの観測

圧電素子と衝突プラズマ計測による
ハイブリッドダスト計測器の可能性
~質量・速度推定の高精度化~

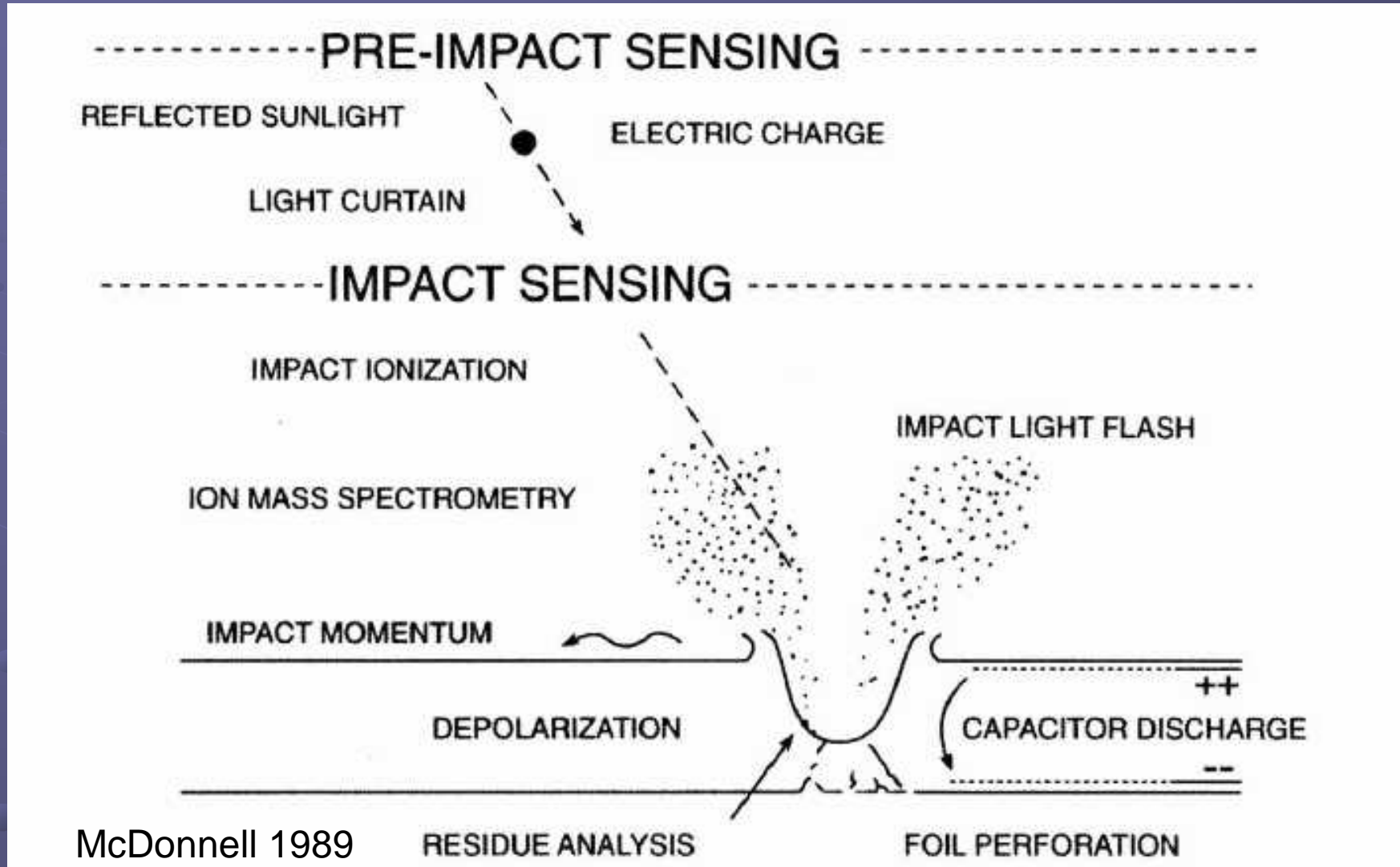
平井 隆之

総合研究大学院大学 宇宙科学専攻

5年一貫制博士3年

ダストその場計測とは？

- 惑星間塵、星間塵の粒子一粒一粒と計測器の相互作用に由来する物理現象の観測からダストの物理的特性を測定、推定する。
黄道光観測などリモート観測



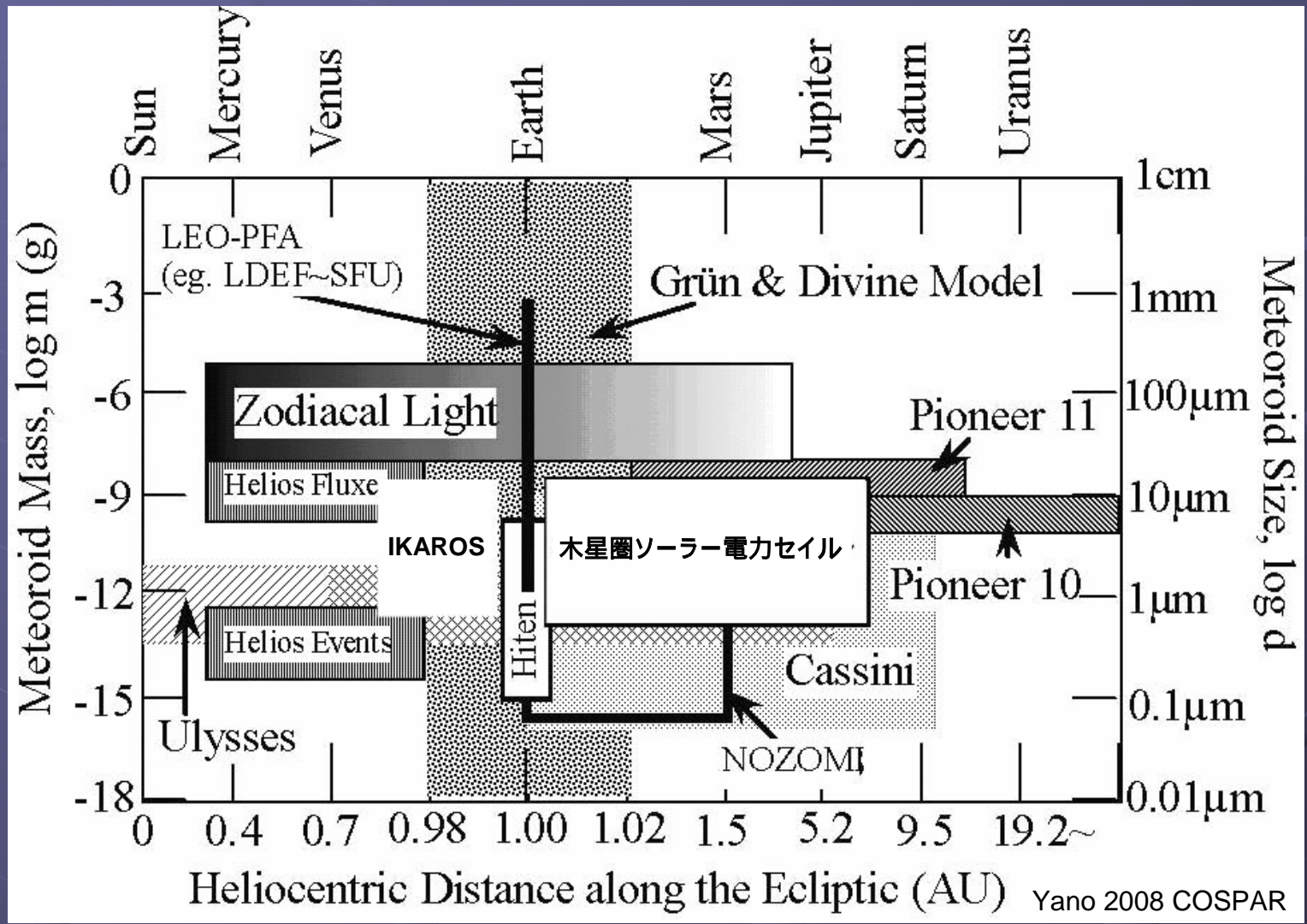
ダストの超高速衝突に伴う様々な物理現象を計測する。

ダストその場計測の科学的意義

- 太陽系内ダストの空間密度の決定
 - 中心星とダスト円盤の相互作用に関する知見、物質循環のソース(小天体)とシンク、(太陽)系の年代による変化。光学観測ではソースが一緒くた。その場計測ならば起源により迫れる。
- ローカルな天体活動の観測
 - エンセラダスの海塩粒子、木星の高速ダスト流検出、彗星等の現在の活動、Circumsolar ring
- 星間塵の直接分析系外の情報
 - Ulysses(速度、Flux), Stardustエアロゲル(未確認), MPI-Kグループ TOF-MS(将来)

これらはリモート観測では実現できない

ダストその場計測の歴史



ダスト計測器の測定原理

- それぞれの測定原理ごとに得手不得手がある。測定精度、感度、ダスト物理量の推定可能項目
- 代表的3タイプ
衝突電離型、圧電検出型、捕集型

衝突電離型

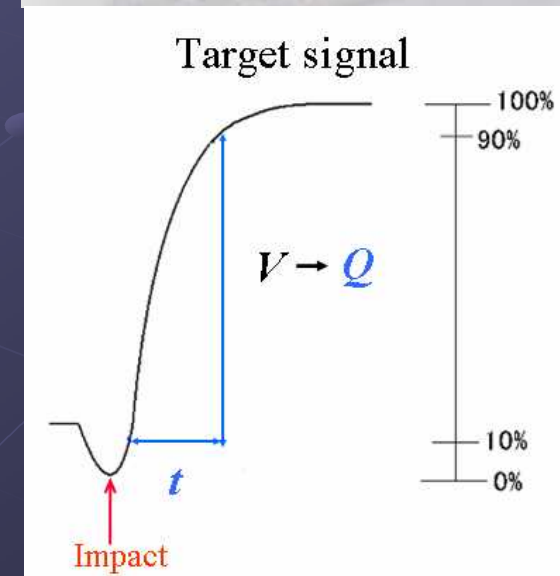
● 原理

金属板 (e.g. Au) ターゲット。

ダスト衝突で発生するプラズマを、電場によりイオンと電子に分離、電極に誘起される信号から衝突ダストの速度、質量、組成を計測、推定する。

$$Q_i = cm^\alpha v^\beta \quad (\text{実験的に } \alpha \approx 1)$$

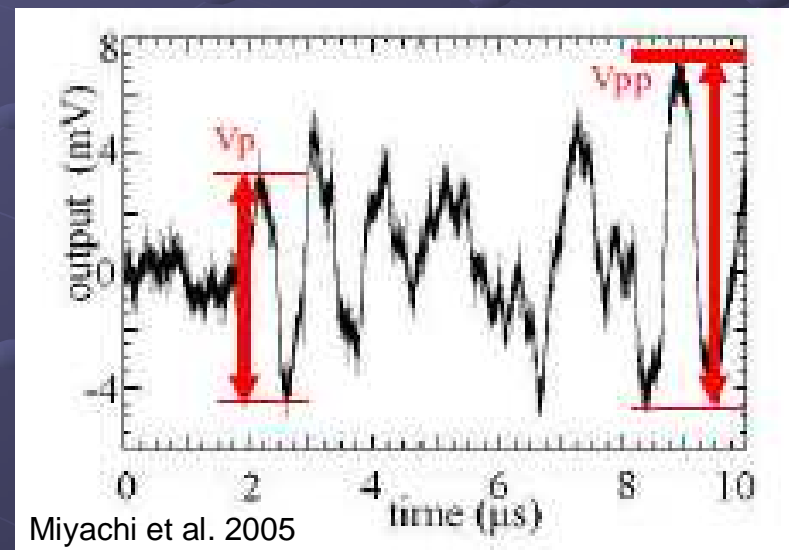
$$t = c' v^\gamma$$



圧電検出型

● 原理

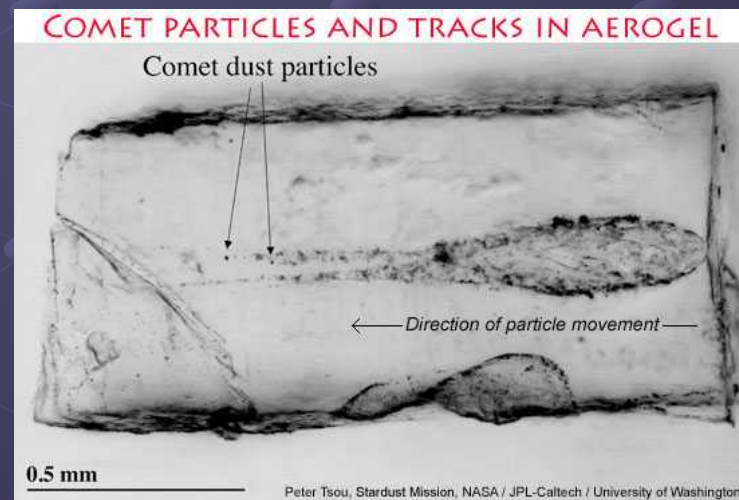
圧電素子 (PZT, PVDFポリフッ化ビニリデン等) をターゲットに貼り付けもしくはターゲットそのものに用いる。ダスト衝突 (圧力) によって発生した分極 (表面電荷) を電圧値として計測。電圧値、シグナルの立ち上がり時間からダストの速度、質量を推定。



捕集型

● 原理

低密度の物質(シリカエアロゲル)をターゲットとして用い、ダストをできるだけ破壊・溶融させずに捕獲する。残留物質の化学組成分析、トラック長・貫入口径から衝突エネルギー等推定。



何が足りていないか？

- 速度・質量の測定精度を改善
- 捕集型でのリアルタイム計測

これからのダストその場計測

- それぞれの測定原理ごとに測定精度の向上
- それぞれの測定原理を組み合わせた計測器の開発
- より本物のダストに近い組成、構造の模擬微粒子の開発(地上較正実験)
- 較正則の見直し(経験則に拠らない)

これからのダストその場計測

- それぞれの測定原理ごとに測定精度の向上
- それぞれの測定原理を組み合わせた計測器の開発
- より本物のダストに近い組成、構造の模擬微粒子の開発(地上校正実験)
- 校正則の見直し(経験則に拠らない)

ハイブリッド計測器の例

● 過去のハイブリッド計測器開発

- エアロゲル + 衝突発光計測 (Yano & Kitazawa, 1998)
サンプルリターン後の衝突痕・残留物質分析 + 衝突時刻計測・衝突エネルギー推定。
- PZT+TOF-MS-IID (Ohashi et al., 2008)
圧電検出による速度・質量推定 + TOF-MSによるイオン計測

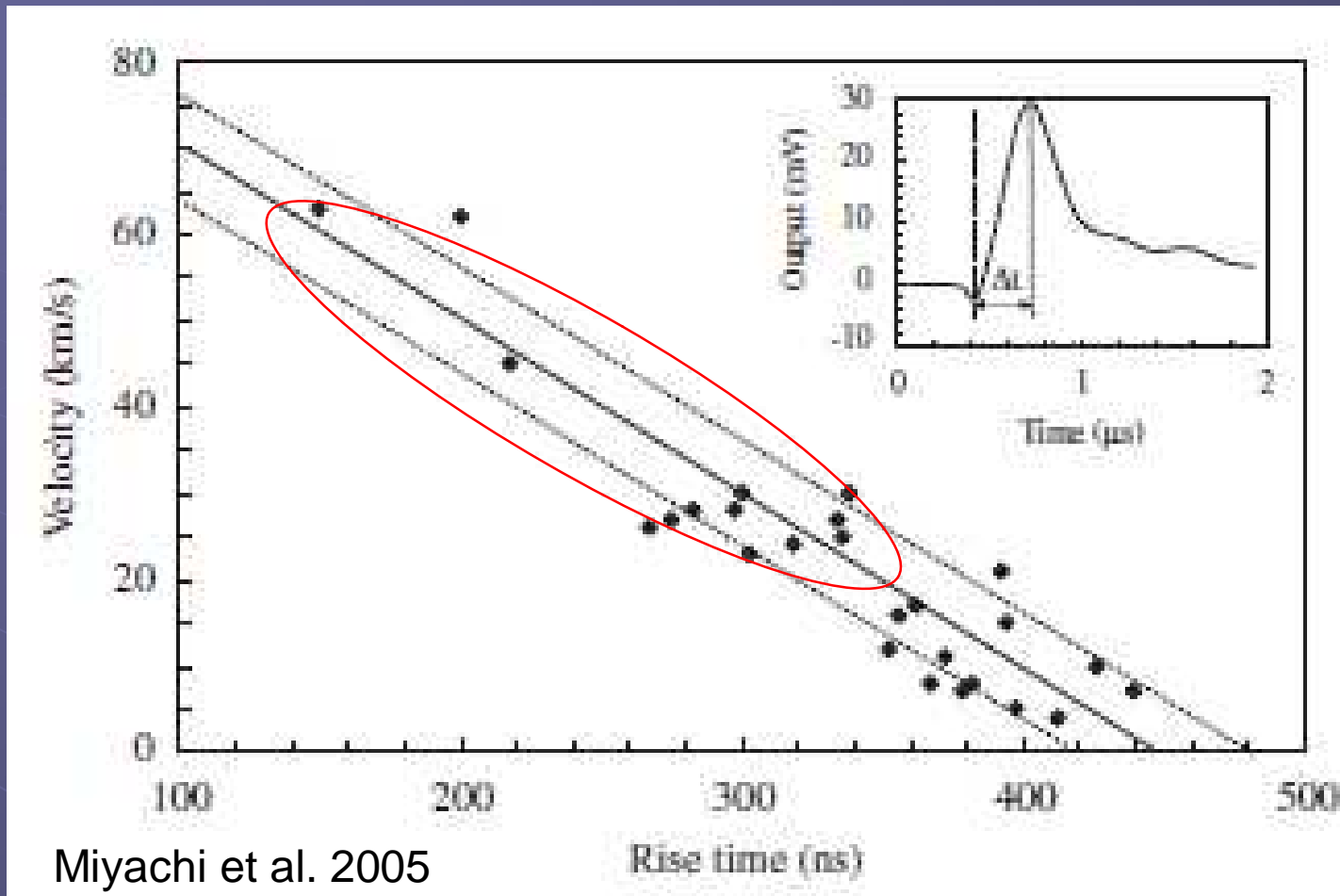
今回考えてみた新しいハイブリッド計測器

- PZT素子をターゲットとした衝突電離型計測器(IID)

Ohashi et al. 2008との違い

PZT上で発生したプラズマ電荷の総量は計測していない。

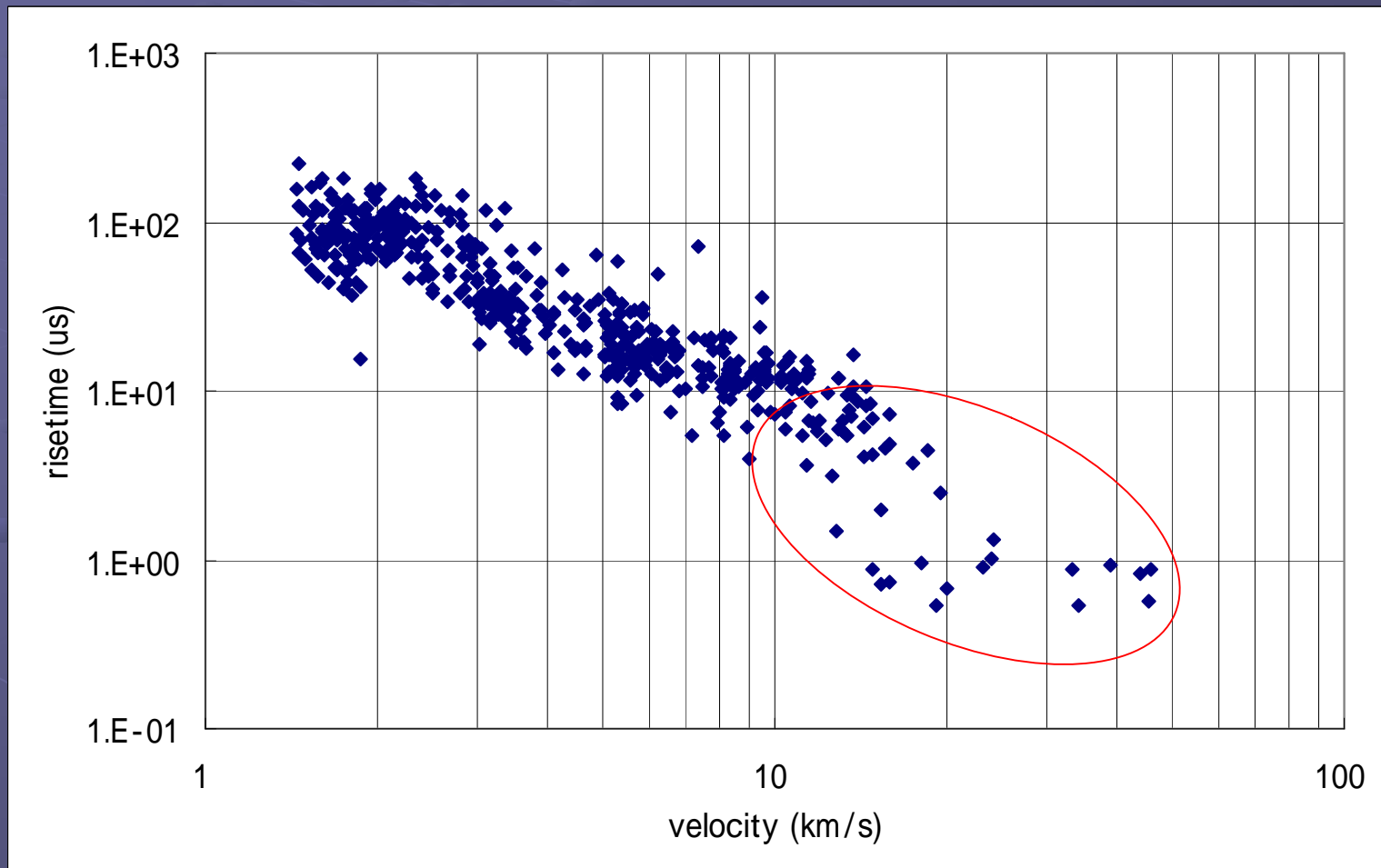
背景1 PZTによる速度推定



速度推定は6km/s以上に限定。

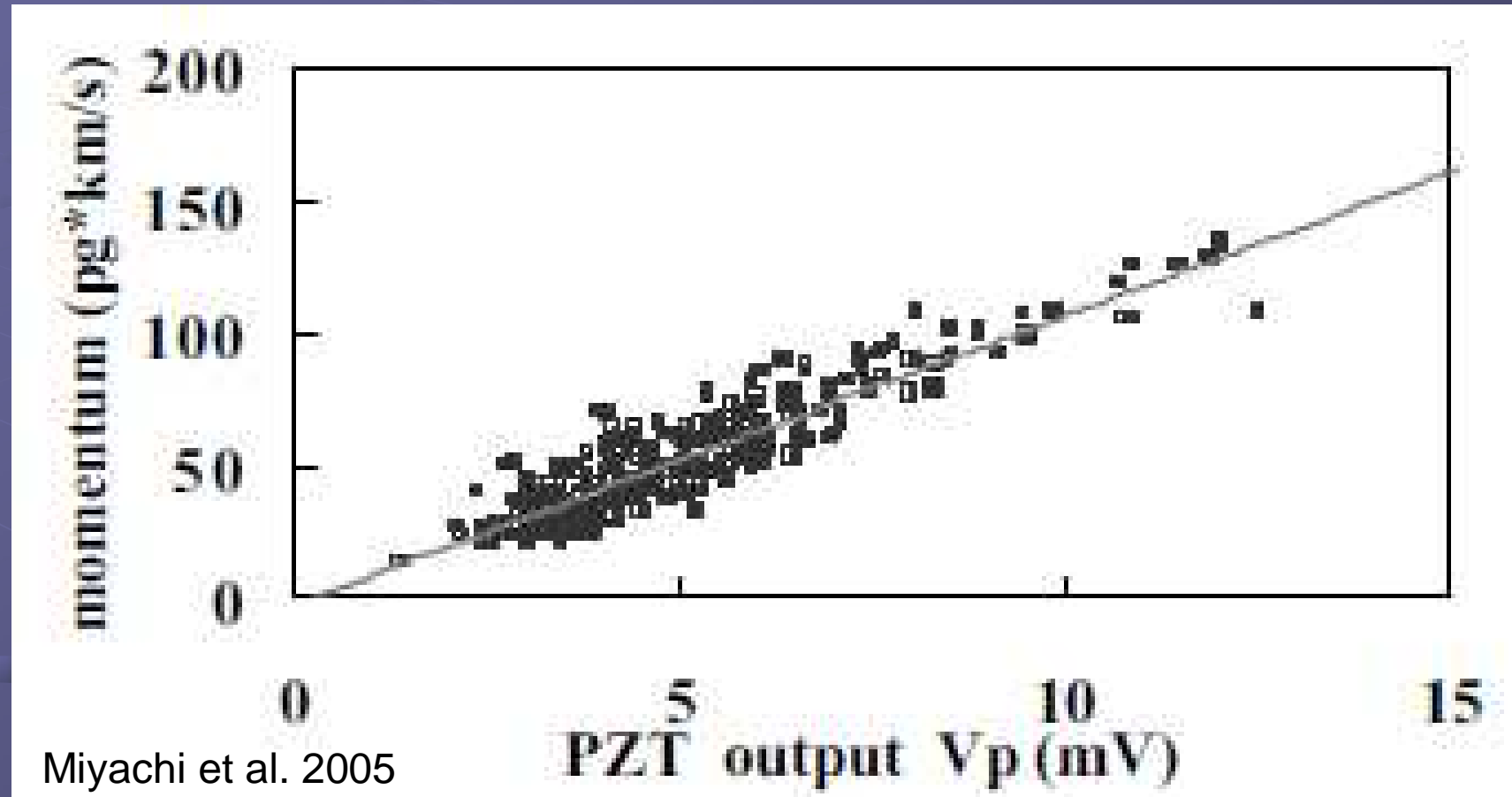
速度推定エラーファクター1 =6km/s 高速ほど高精度

背景2 IIDによる速度推定



高速ほど精度が粗い

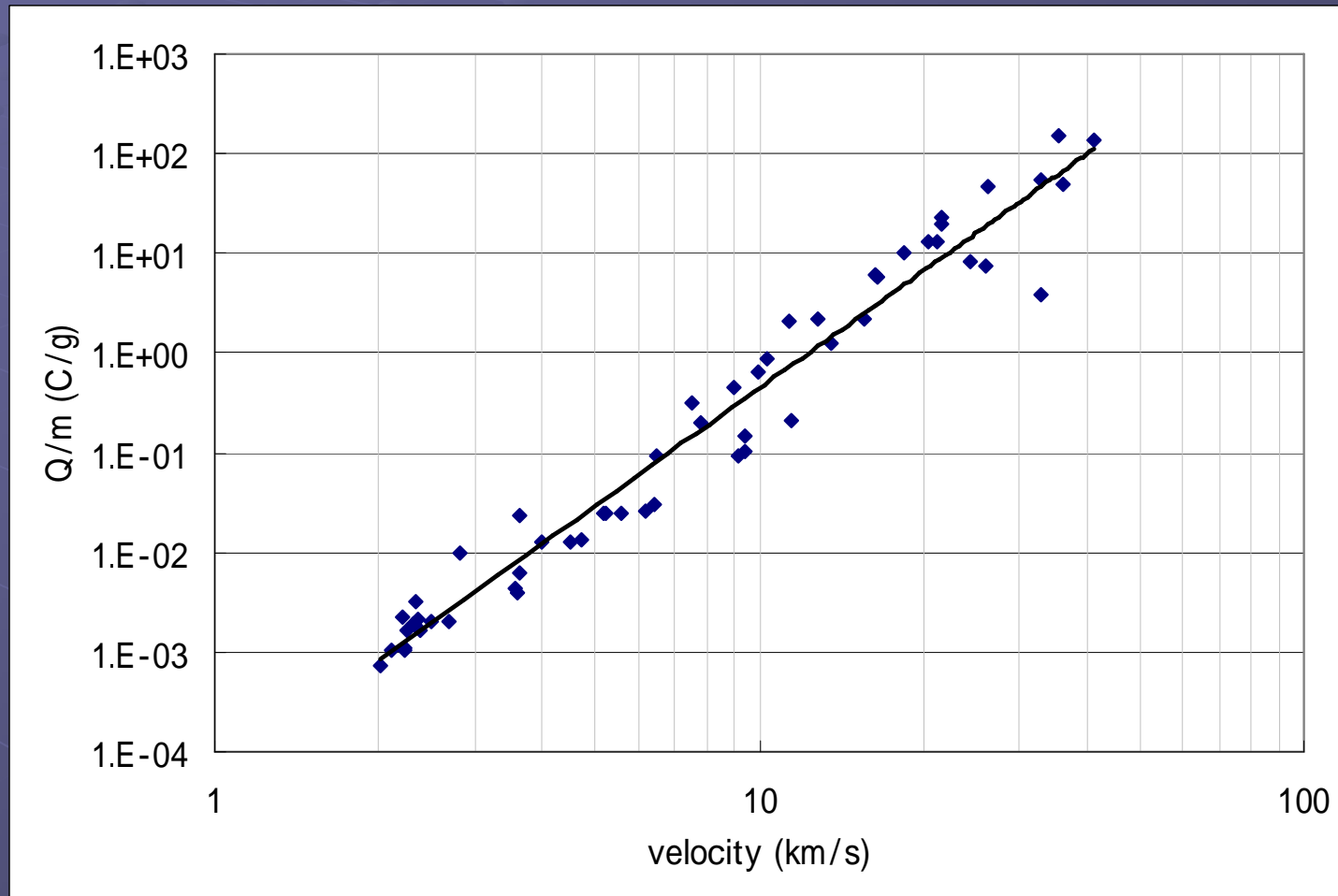
背景3 PZTによる質量推定



質量推定は6km/s未満に限定 (Miyachi et al. 2005)。

運動量推定エラーファクター1 : 10 pg*km/s 質量推定エラーファクター10/P

背景4 IIDによる質量推定



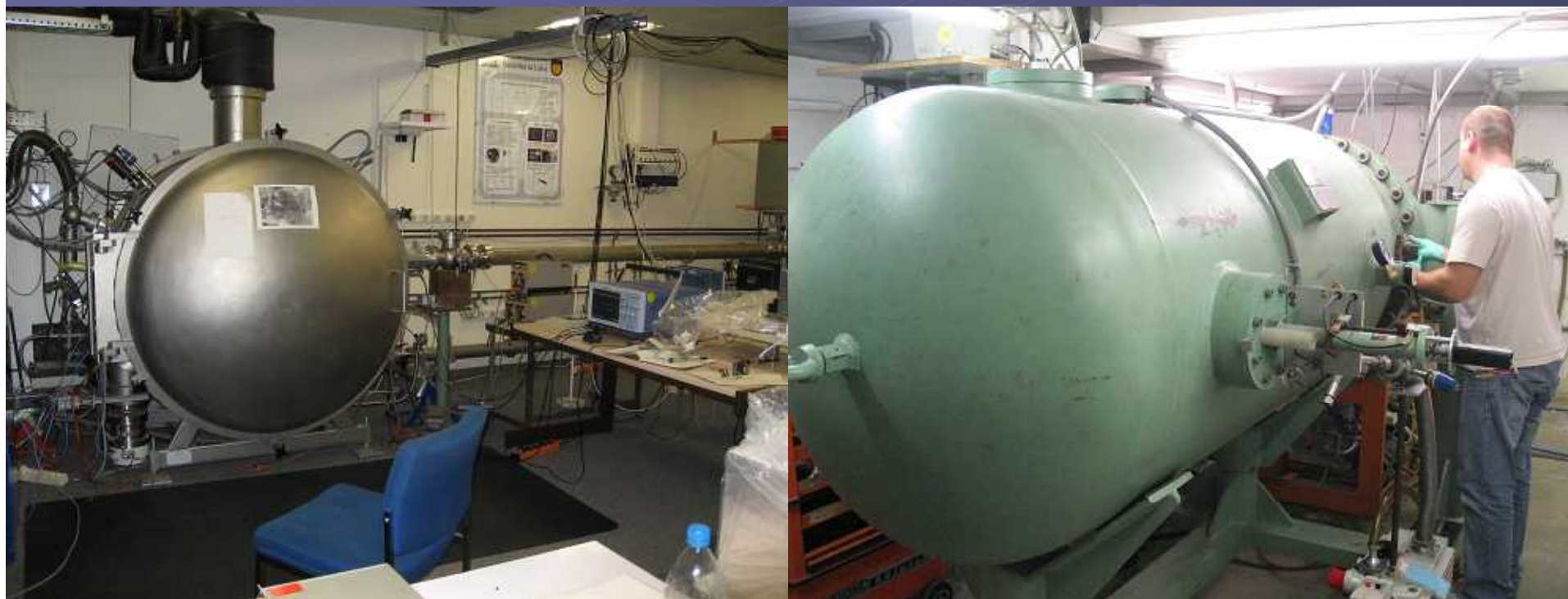
● 広い速度範囲 (数km/s ~ 数十km/s以上) で質量推定可能。

- PZTとIIDを組み合わせれば単体で計測するよりも高い精度で速度、質量を推定できるのでは？

ダスト衝突模擬実験

- PZTから発生する衝突プラズマの電荷量はどれくらいなのか？
- 単結晶の金属板を用いた通常の衝突電離型と同じ相関 $Q/m \sim v$ を示すのか？

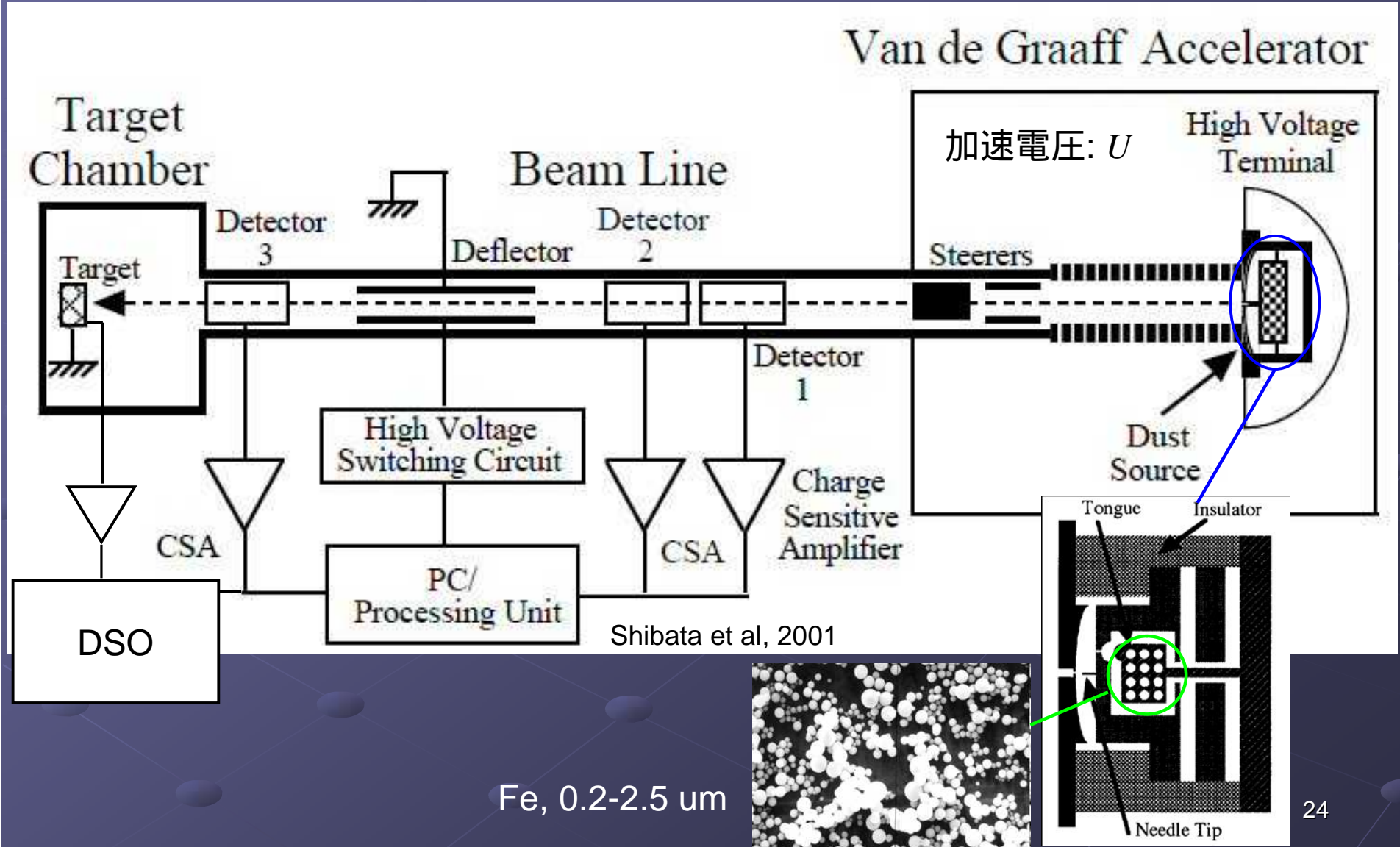
ダスト衝突模擬実験



Van de Graaff Accelerator@Max Planck Institute for Nuclear Physics,
Heidelberg, Germany

日本のVan de Graaffに比べより細かい粒子が使用可能(ダスト加速専用の強み)

ダスト衝突模擬実験



微粒子の速度と質量

$$v = \frac{L}{t}$$

速度: v

電極間距離: L

飛行時間: t

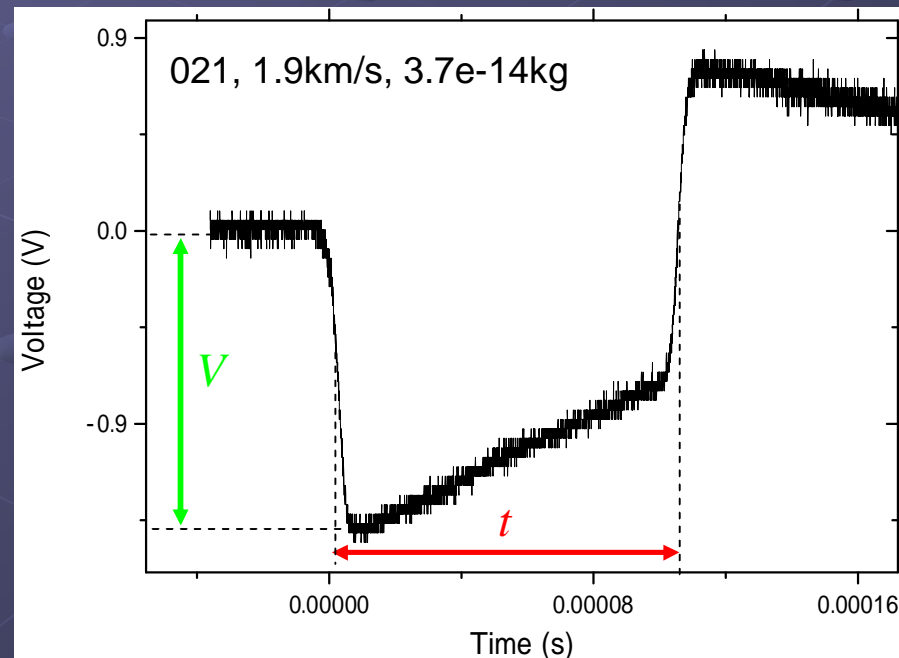
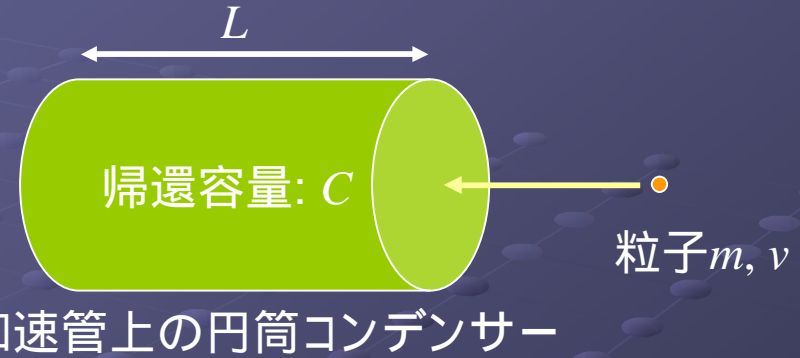
$$\frac{mv^2}{2} = qU$$

質量: m

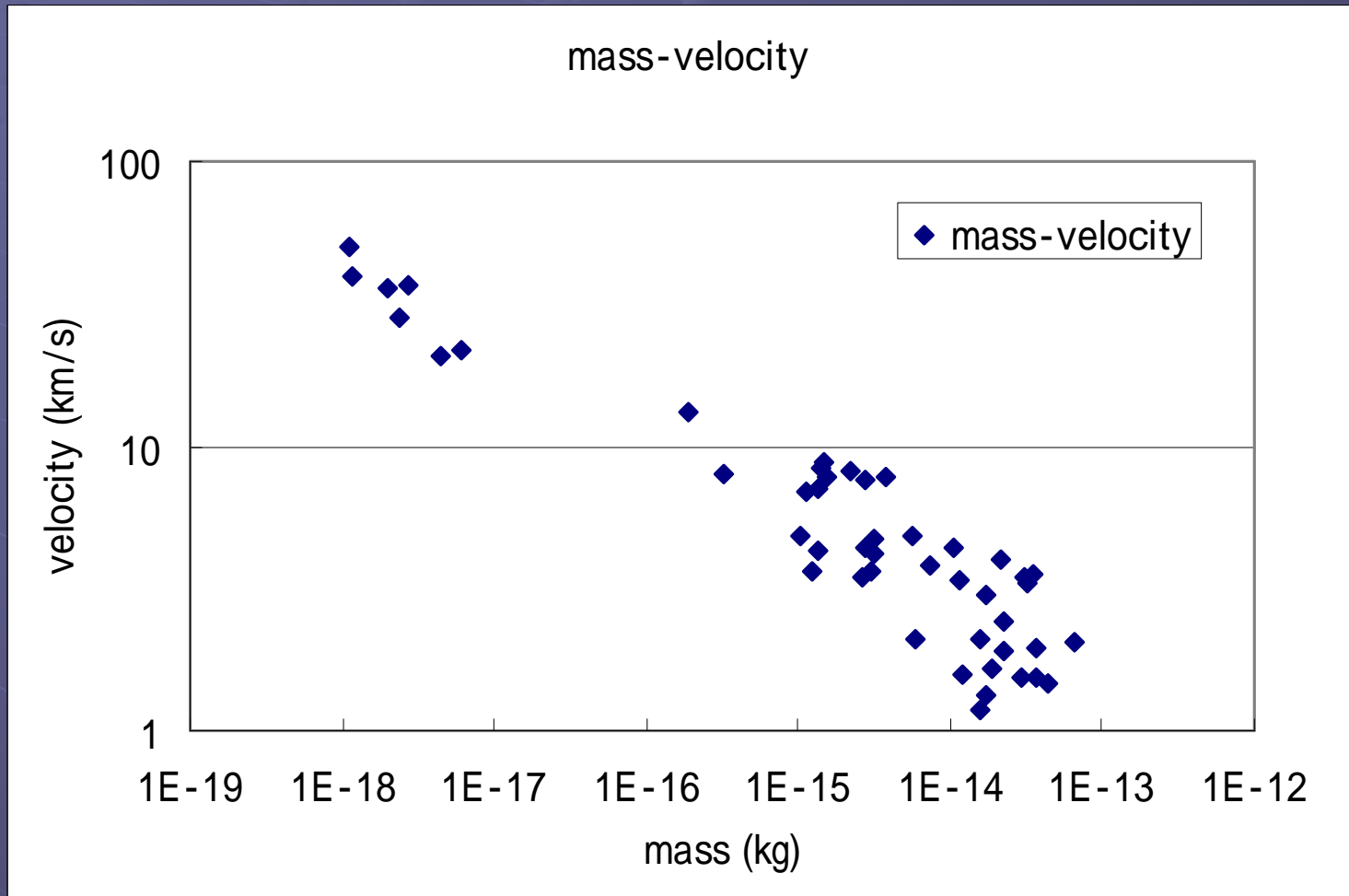
誘起電圧: V

帯電電荷: q

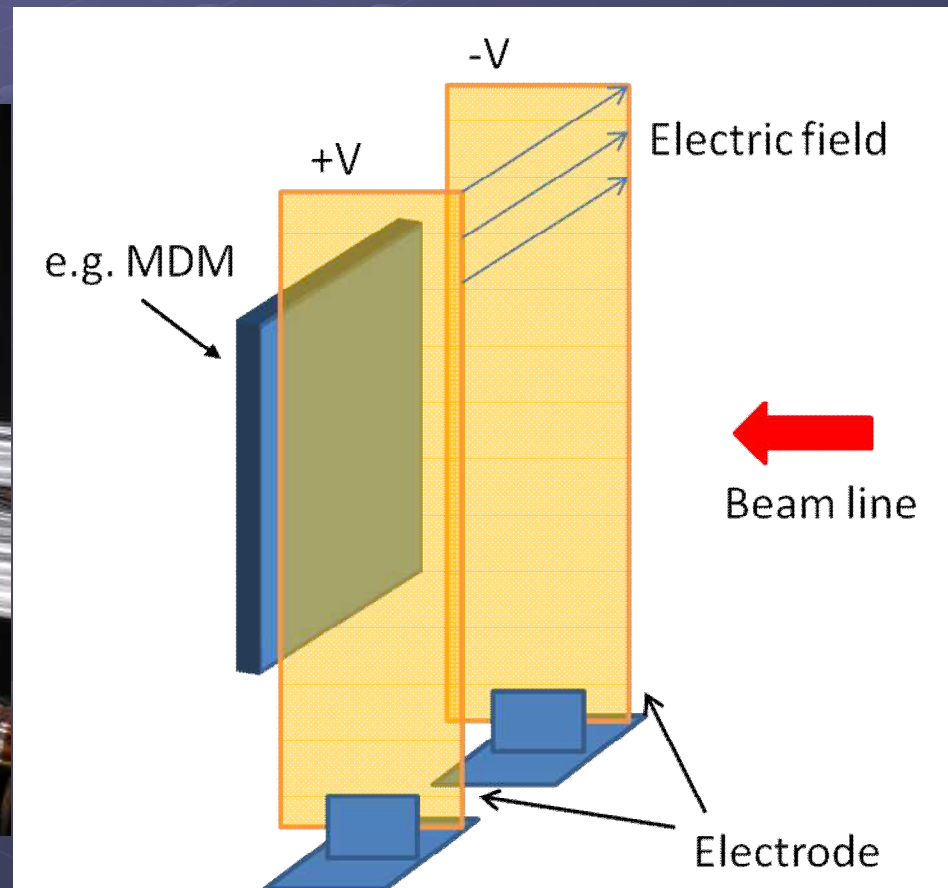
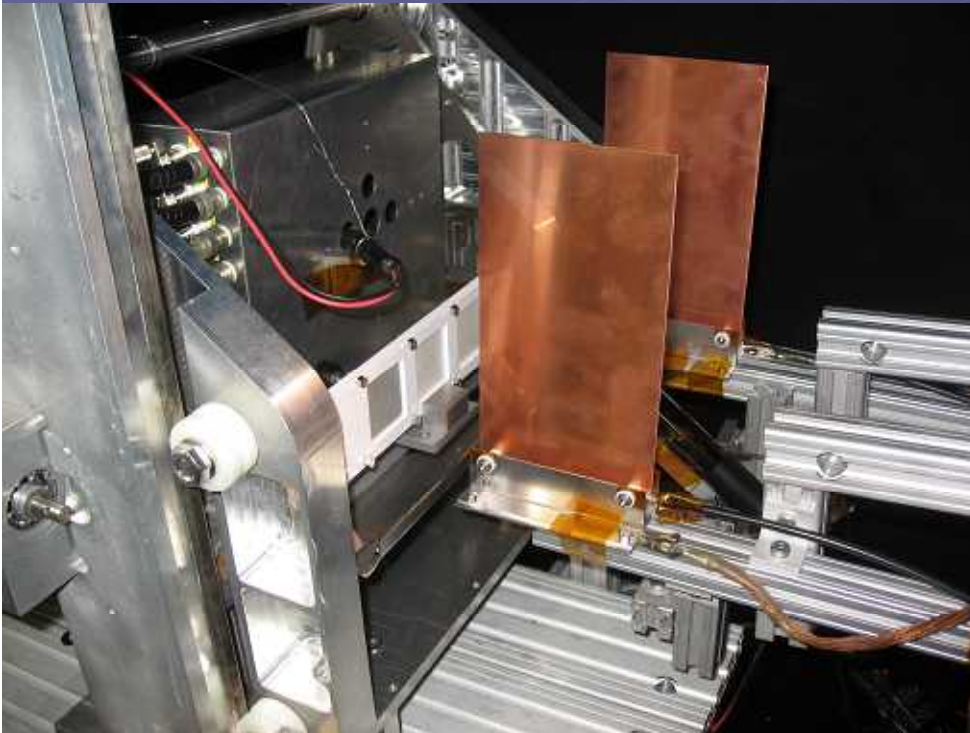
加速電圧: U



粒子の速度・質量分布



チェンバー内セッティング



- PZT素子

4cm角, 四方に銀電極 (写真明るい緑色部分)

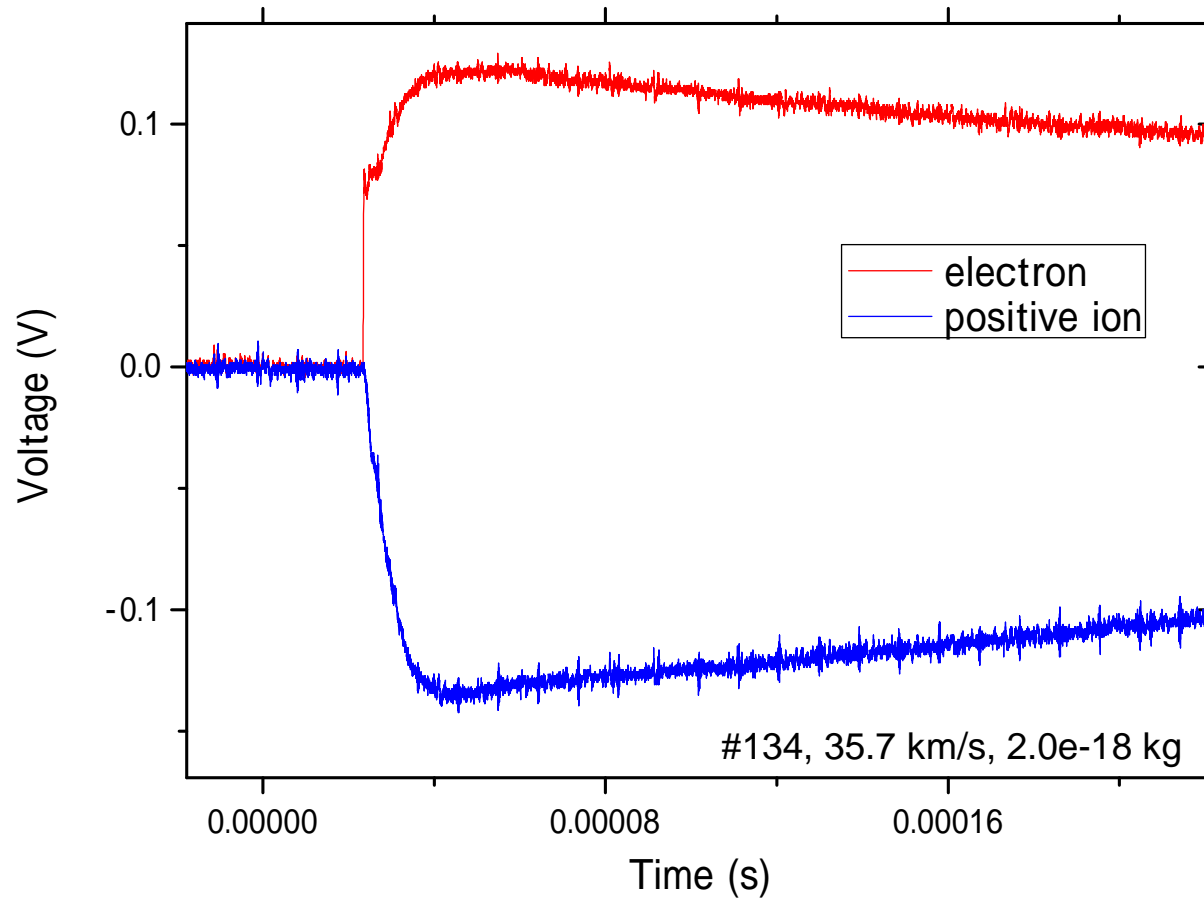


- Cu電極板

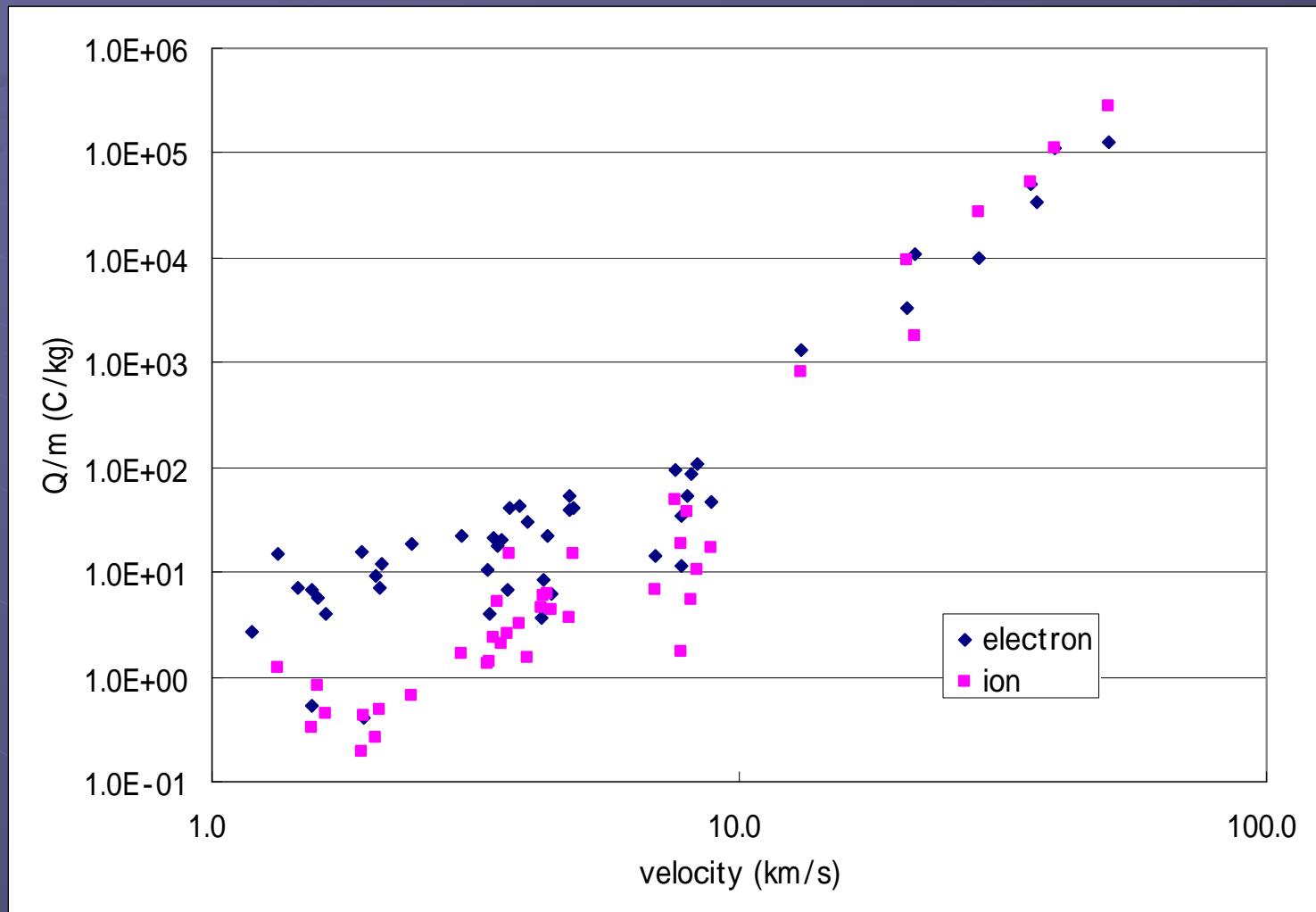
10 cm × 17 cm, 2枚, 印加電圧 ± 400V

Simionシミュレーションから暫定的に決定

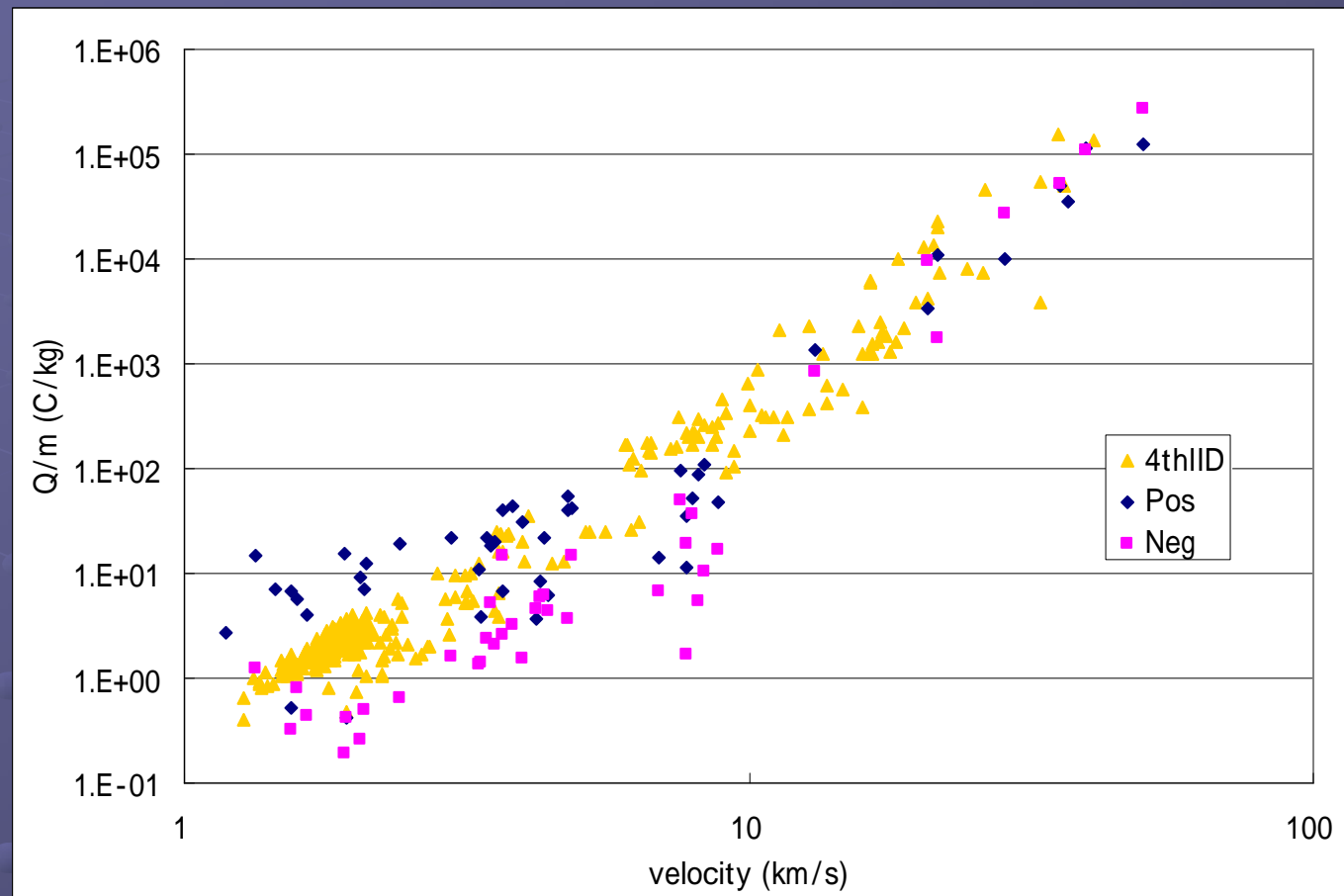
シグナルー例



PZTからの衝突プラズマ電荷量

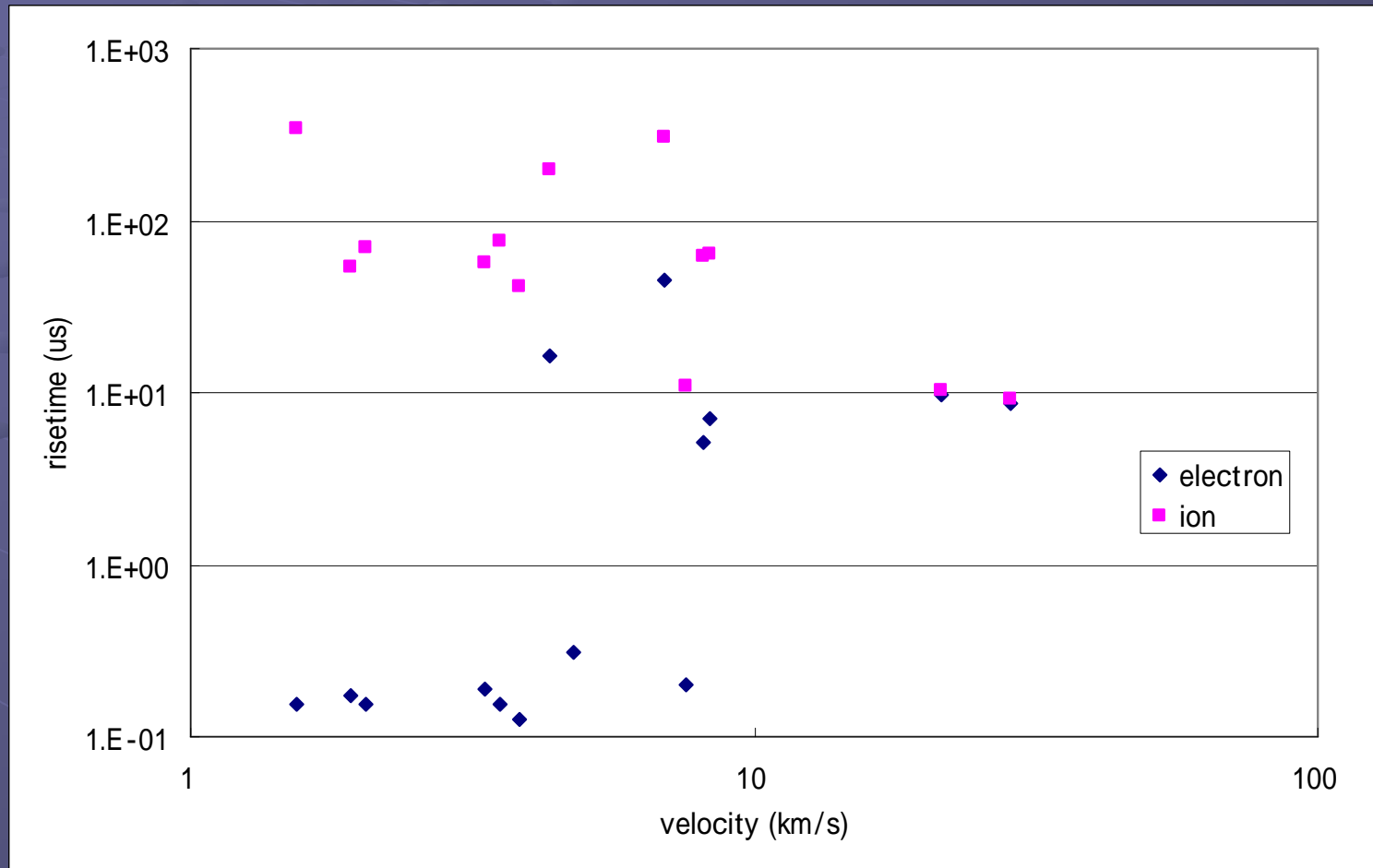


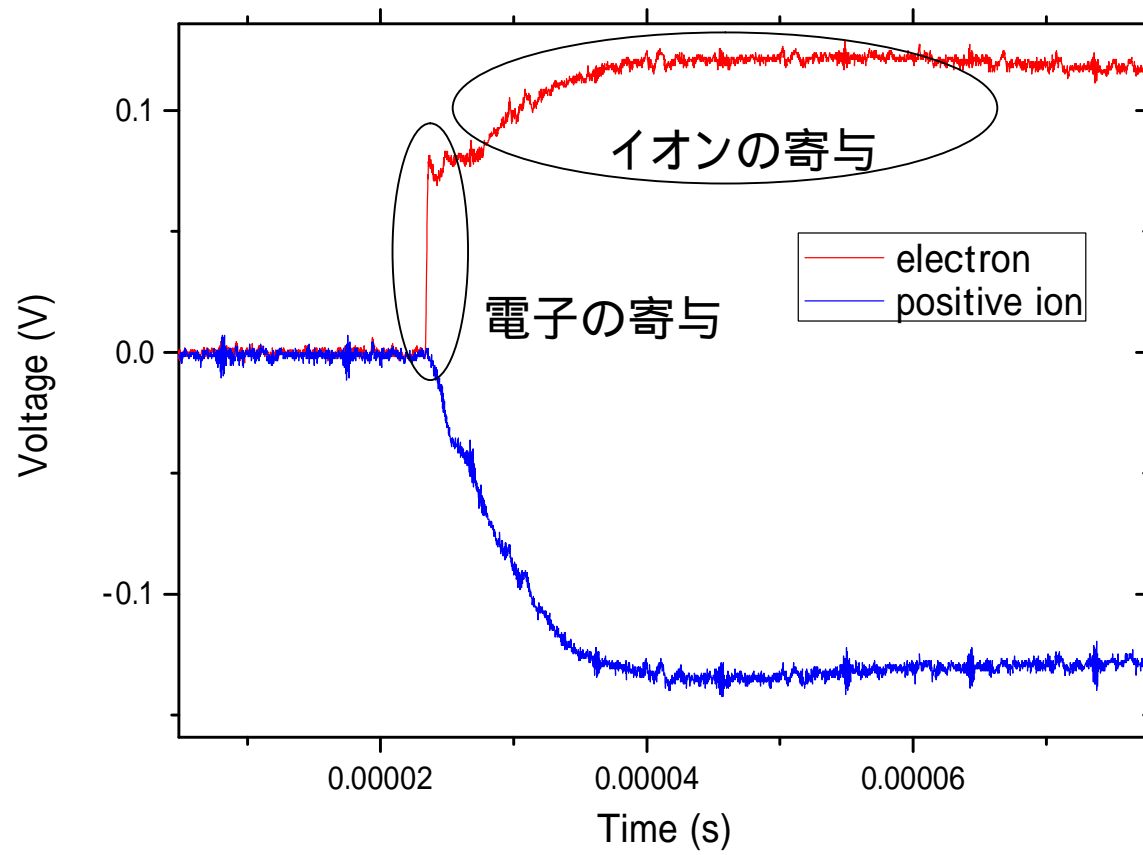
PZTからの衝突プラズマ電荷量



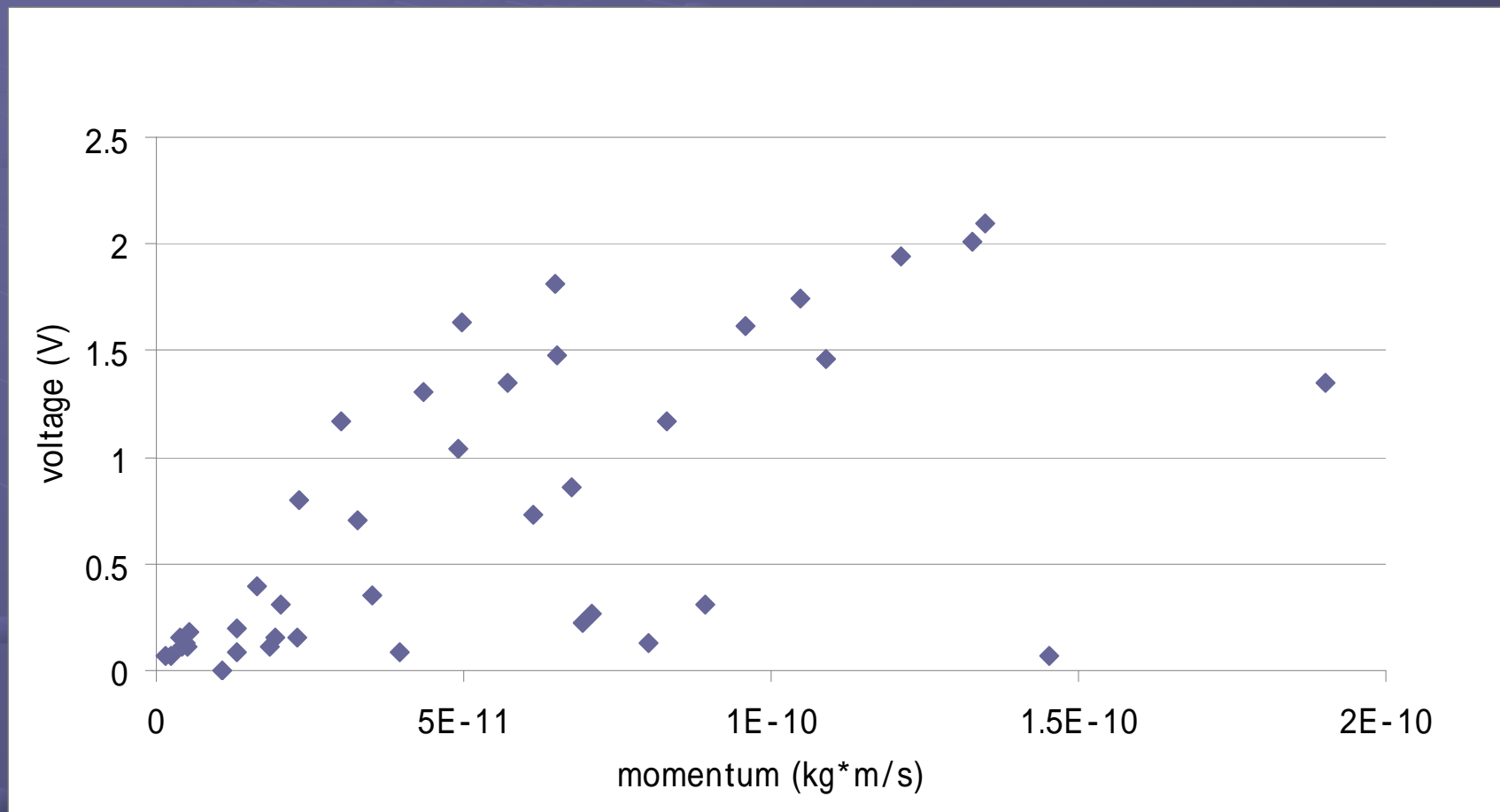
IIDと同程度の電荷量が得られた。電荷収集の電極配置は全く違う。

PZT衝突プラズマシグナルの立ち上がり時間





PZTの分極電圧



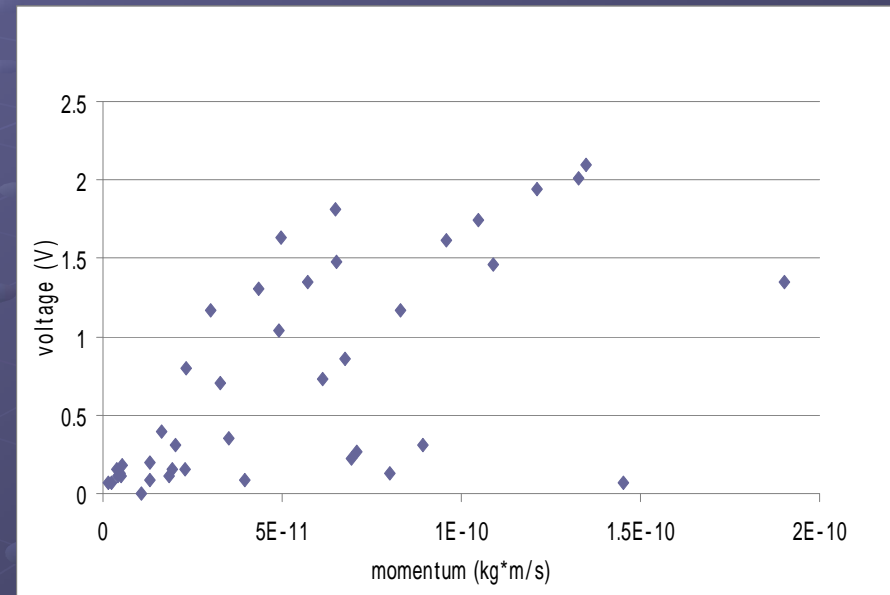
Miyachi et al. 2005に比べ相関が悪い。取得データの速度範囲は1km/s~7km/sがほとんど。

PZTの電極構成の影響

Miyachi2005に比べ精度が悪い。
電極のコンフィギュレーションの違い

今回
PZT素子の四辺にAg電極

Miyachi2005
PZT素子全面にAg電極



まとめ

- PZT素子でも、十分な量の衝突プラズマが発生
- PZTからの衝突プラズマ量は通常の衝突電離型と同様の相関 $Q/m \quad v$ を示した。



PZTでも6km/s以上で質量推定できそう。

- ±それぞれの電極は必ずしもイオンだけ電子だけの寄与を見ているわけではないかもしれない。



イオンと電子の寄与を分離してシグナル解析しなければならない