

Effects of a light reflecting layer to the response of piezoelectric PZT

中村真季

東京大学 新領域創成科学研究科

複雑理工学専攻 博士2年

Keyword

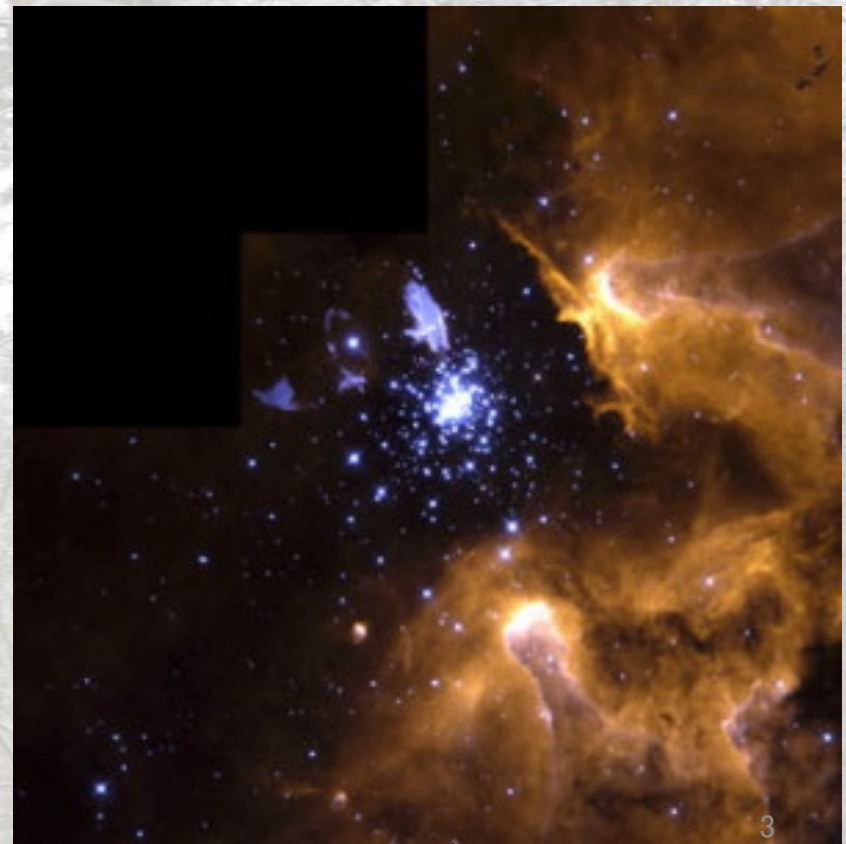
宇宙塵 その場計測 宇宙塵検出器 PZT素子

Keyword 宇宙塵 その場計測 宇宙塵検出器 PZT素子

⌘ 太陽系に存在する宇宙塵の供給源

⌘ 宇宙塵の流動

「どこから来て、どこへ行く」



Keyword 宇宙塵 その場計測 宇宙塵検出器 PZT素子

1960年代から探査機を用いた宇宙塵観測が始まる

その場計測

貫通型

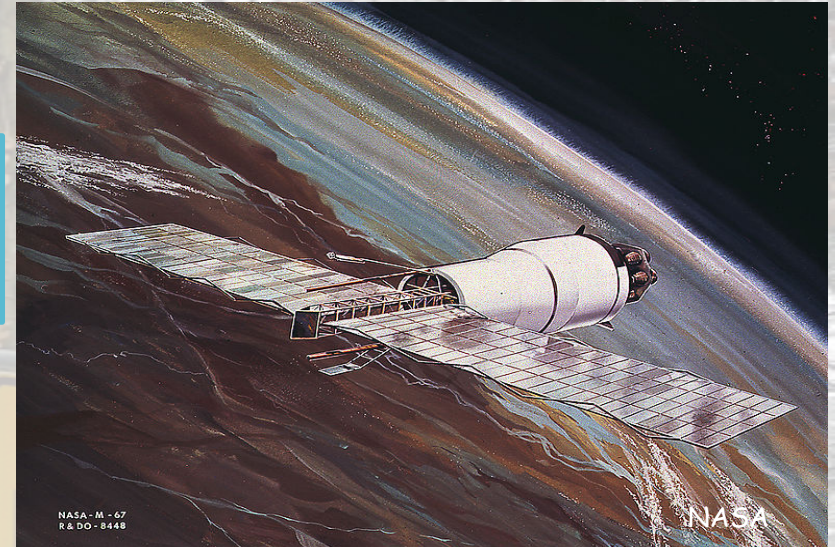
Beer can
アルミニウムシート
銅ベリリウムシート

衝突電離型

組成分析
空間分布

圧電素子型

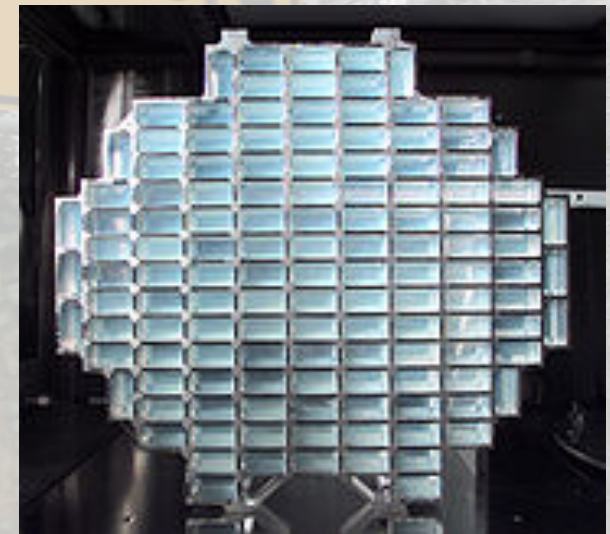
PVDF
PZT



アルミニウムシート型検出器/Pgasus

捕集型

エアロジェル等



Keyword 宇宙塵 その場計測 宇宙塵検出器

PZT素子

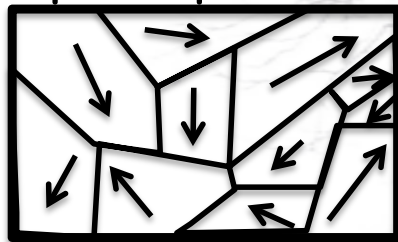
※チタン酸ジルコン酸鉛 (lead zirconate titanate, PZT)

※組成式: $Pb(Zr_x, Ti_{1-x})O_3$

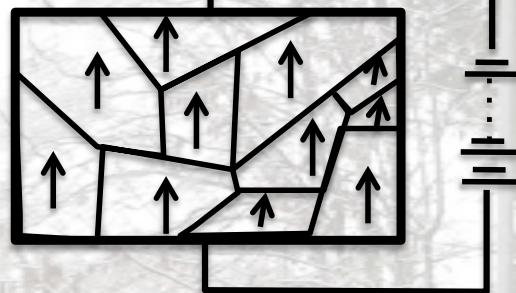
※高誘電率および高圧電性、強誘電性をもつセラミック

※宇宙空間で適応できる

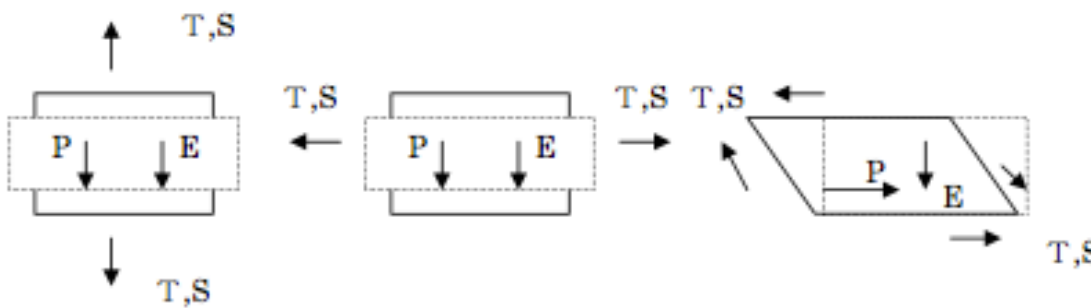
The principle of PZT element.



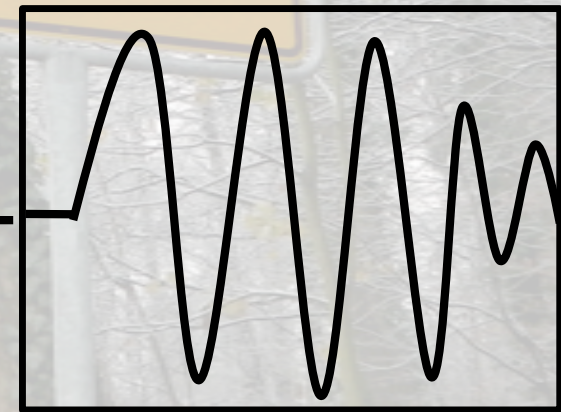
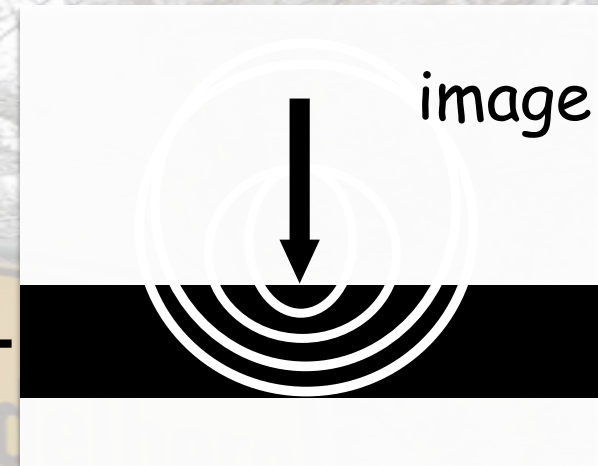
Before polarization



After polarization



longitudinal mode transverse mode thickness-shear mode



SCOPE

もくじ

⌘ 目的

⌘ PZTを用いた検出器の紹介

⌘ 現在までの研究

⌘ 本発表における目的及び実験結果

⌘ まとめ、今後の展望

目標

低速度から高速度衝突の広範囲速度レンジにおいて
測定可能な検出器の開発

日本では2002年にPZT素子に直接粒子を照射する実験が始まる(Miyachi,2002)
PZT素子は 10^{-17} kgの微粒子衝突ですら感知できる

粒子の速度が低速でも測定可能では？

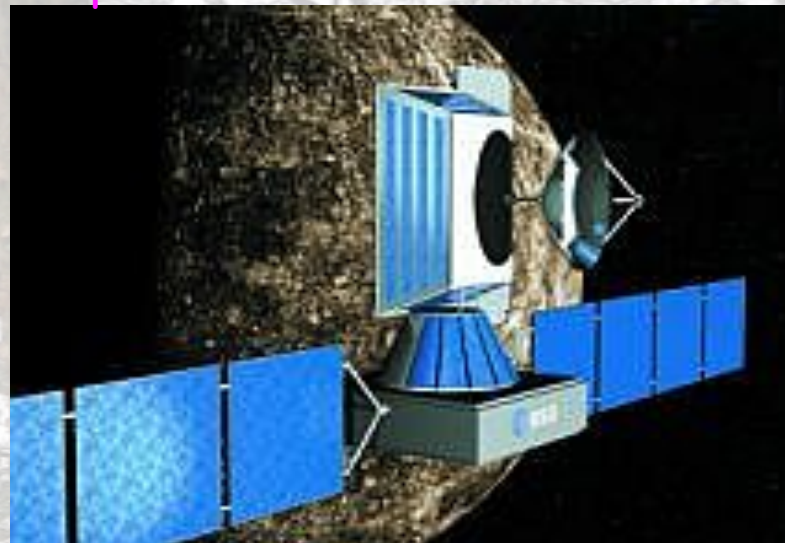
現在我々は高速度衝突における研究と共に低速度衝突にも着目

惑星間塵等の高速度の塵のみならず様々な塵の検出が可能になる

PZT素子検出器を用いた探査機

BepiColombo mission

Rosetta mission



1999 Acoustic sensor

/Stardust



Credit by ESA



Credit by ESA & JAXA

1985 DIDSY /Giotto

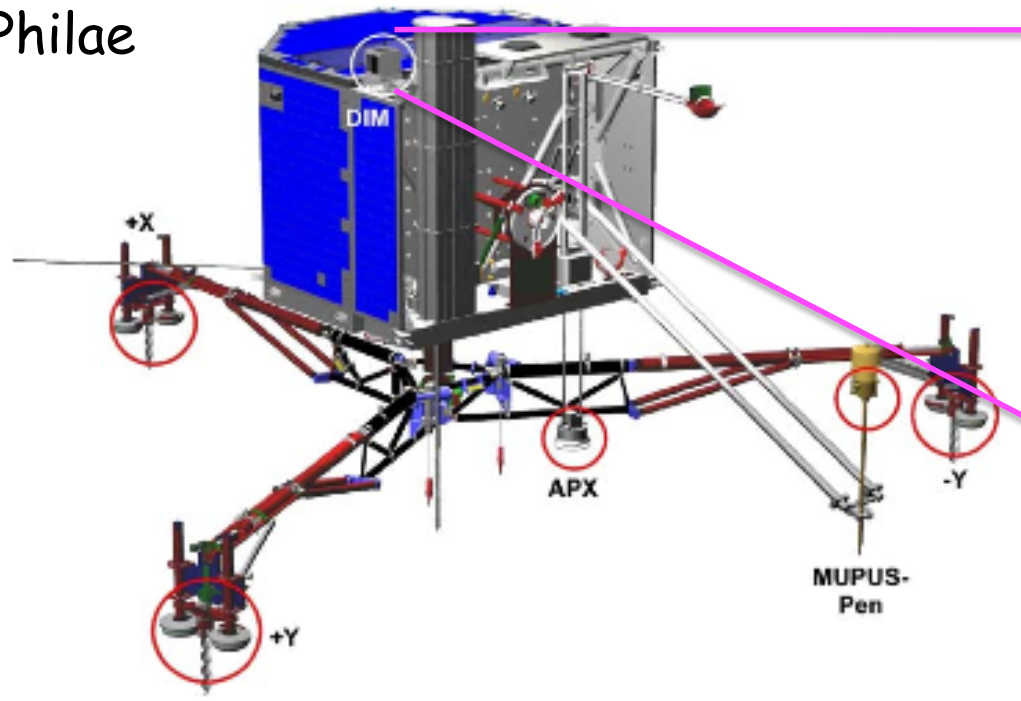
1999 Acoustic sensor/Stardust

DIM-SESAMI Rosetta mission

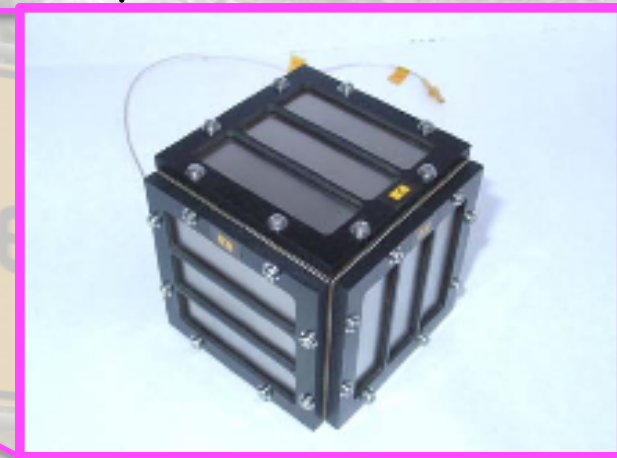
2004年3月2日, アリアン5にて打上げ

2014年に小惑星67P/Churyumov-Gerasimenkoに到着し, 着陸船(Philae)投入

Philae



Dust Impact Monitor : DIM



Dimensions : $71.5 \times 71.5 \times 69.0 \text{ mm}^3$

検出可能領域

エネルギー : $2 \times 10^{-11} - 2 \times 10^{-7} \text{ J}$

質量 : $6 \times 10^{-10} - 8 \times 10^{-4} \text{ kg}$

速度 : $0.025 - 0.25 \text{ m/sec}$

注意 : 密度が 1000 kg/m^3 の時

(K.J.SEIDENSTICKER et al., 2006)

Discussion with Dr. Krüger

DIMの開発担当している方

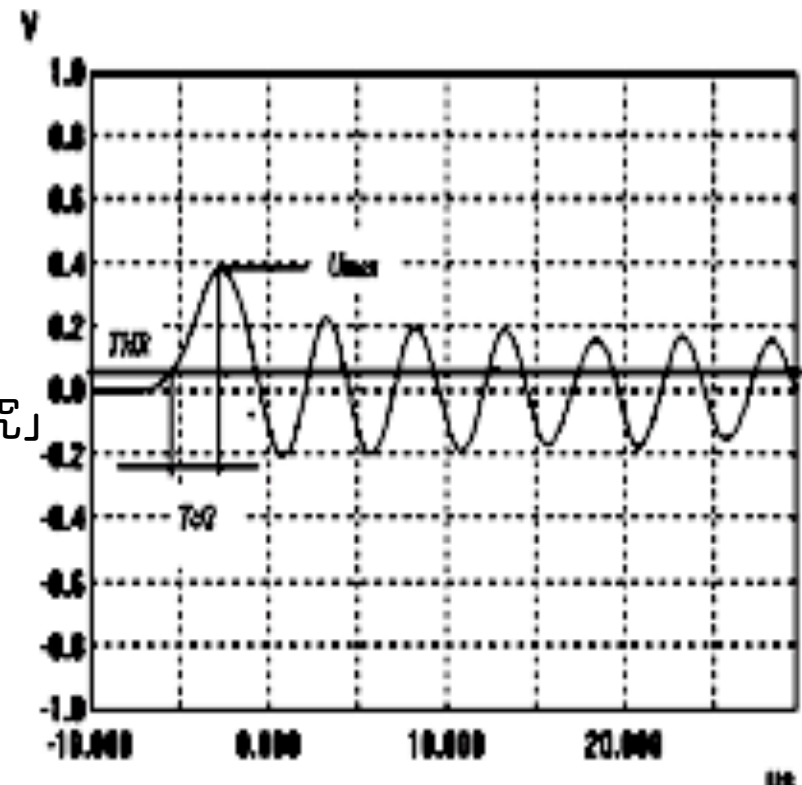
Hertz' theory を参照にして行っている
主に低速領域の実験を行っている
今後、彼等は温度依存の実験に取りかかる予定

修論にて「自由落下衝突における温度依存の研究」
を行っていたため、これについて議論をする

Krügerさん：PZT素子型検出器に関しては低速領域
我々：高速領域を標的にした検出器を開発



様々な速度レンジに対応できる検出器の開発を目指す



球を自由落下させた時の波形例

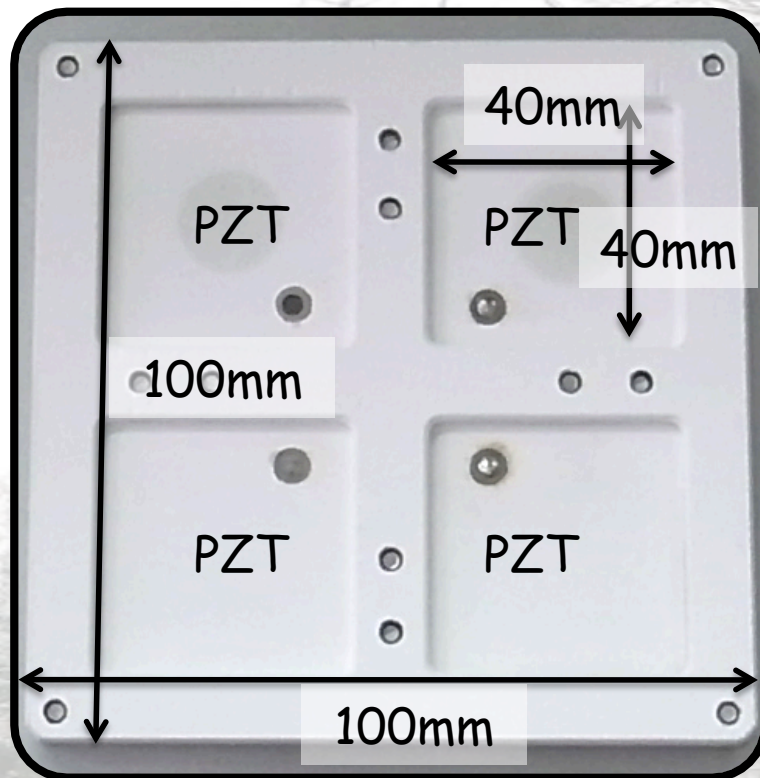
mass 4 mg
velocity 0.44 m/sec
energy 4×10^{-7} J

Mercury Dust Monitor

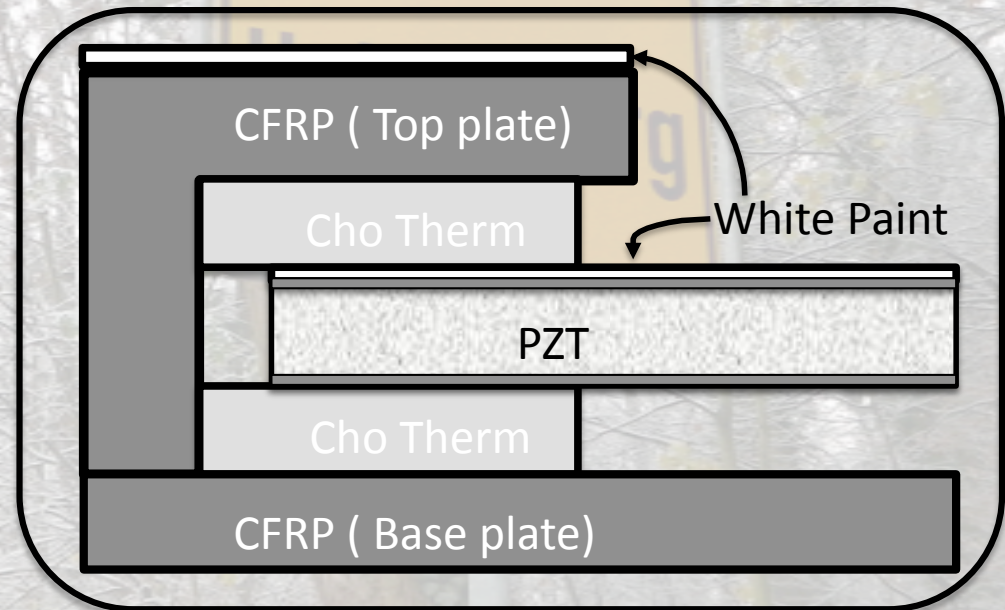
What is MDM?

- The Mercury Dust Monitor (MDM) to be onboard the BepiColombo Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO).
- A matrix of cosmic dust impact sensors comprised piezoelectric sensors made of lead zirconate titanate (PZT) ceramics.

MDMの構造

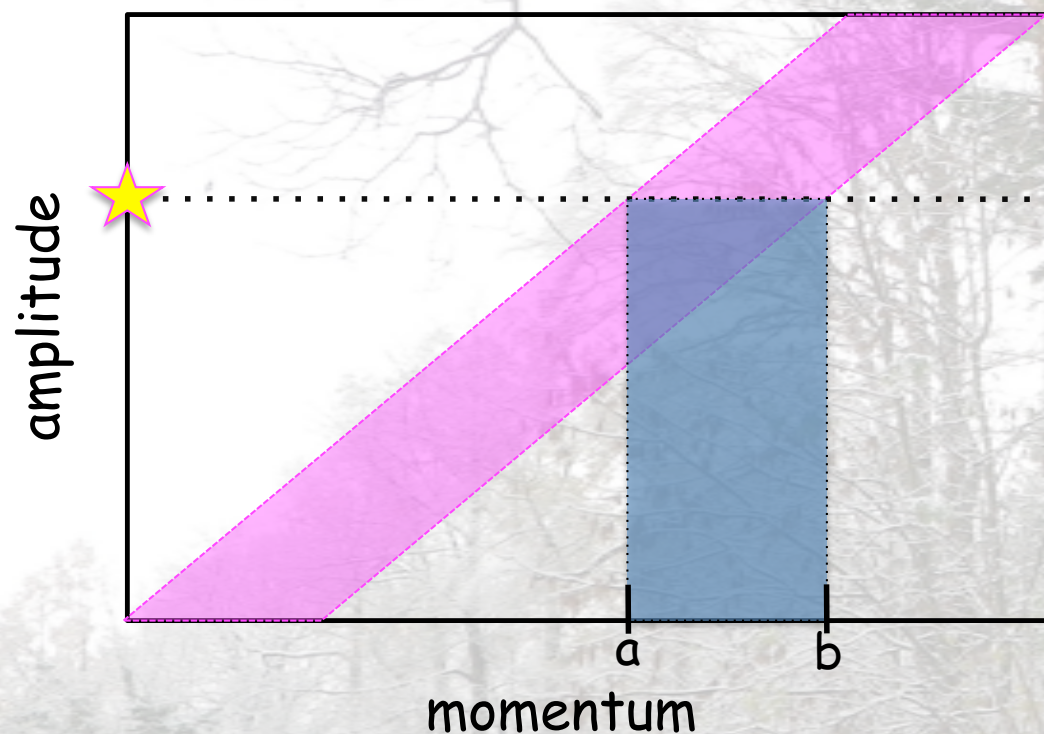


MDM



MDM cross-section view

何をしたいか@MDMの最終目標



MDMからのデータより

⌘ 個数

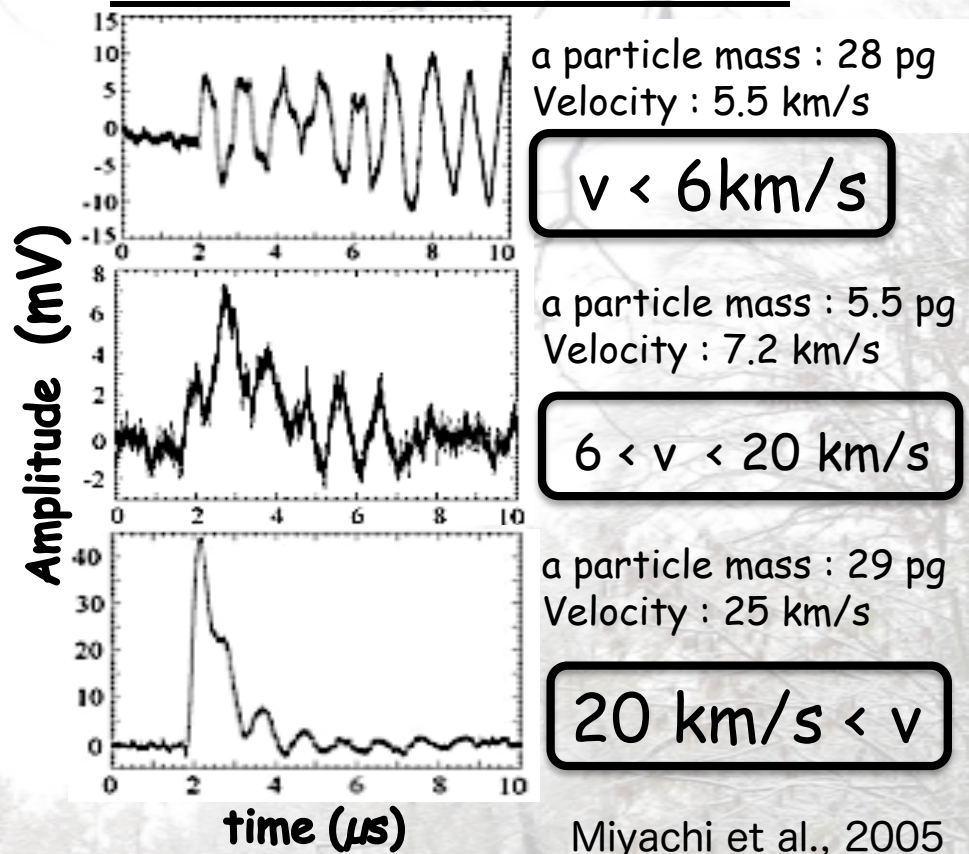
⌘ 運動量

この2つの決定が目標

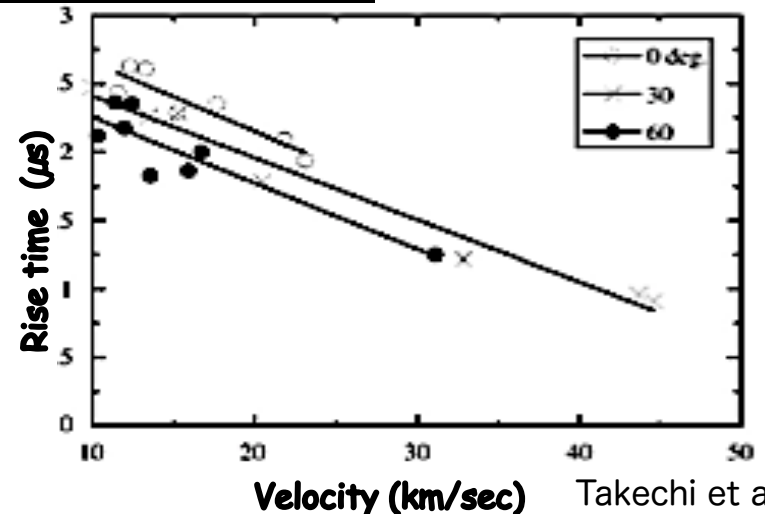
搭載するPZT素子の形状は決定済み

現在までの知見

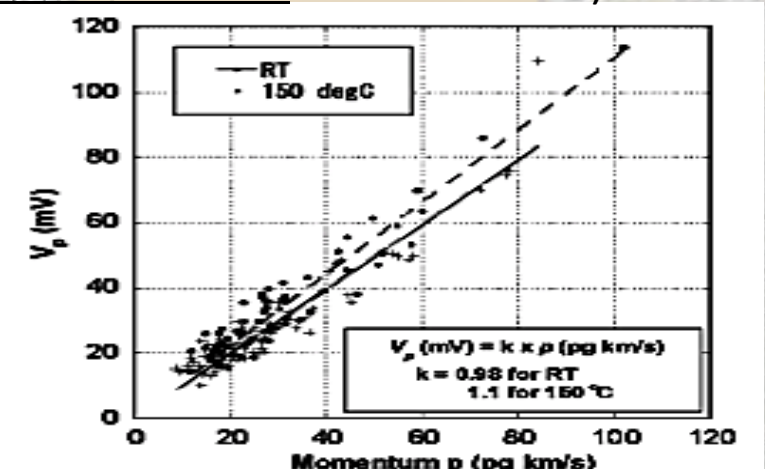
衝突速度依存がある



衝突角度依存がある



温度依存がない(室温~200°C)

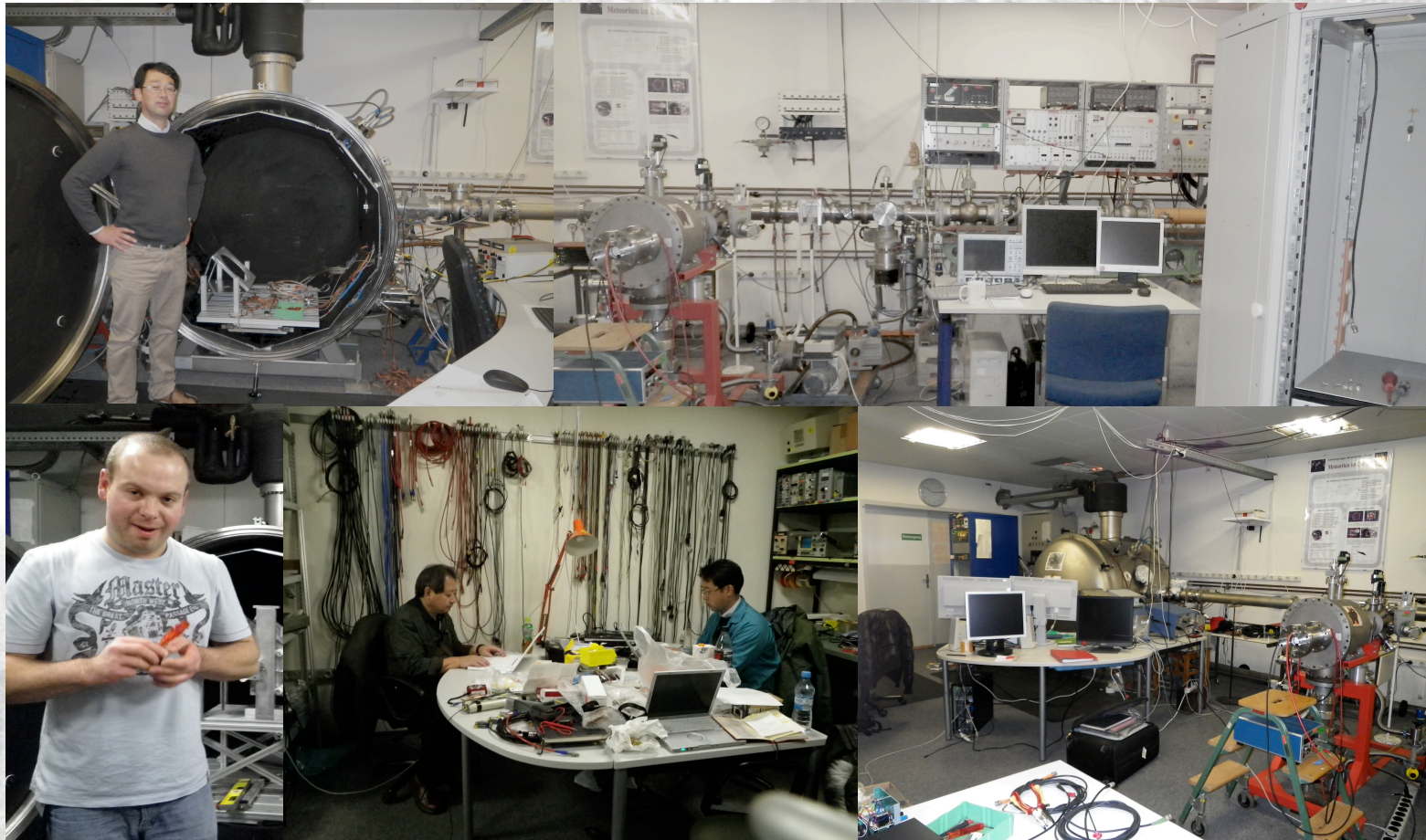


	個数	飛来方向	運動量	衝突速度	質量	電荷量	密度
可否	◎	▲	○	△	△	注	注

今回の発表で取り上げた問題

⌘ 白色塗料のしきい値の確定

⌘ 衝突位置依存による出力変化



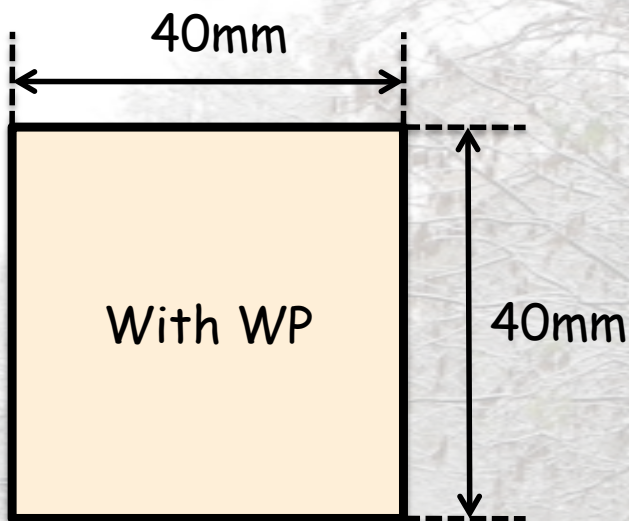
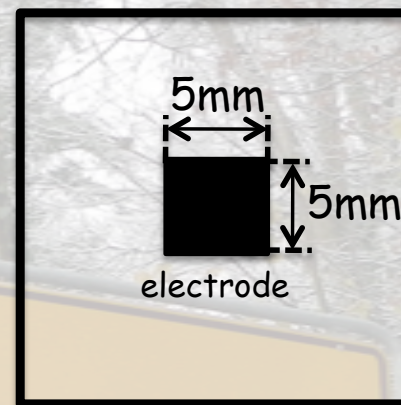
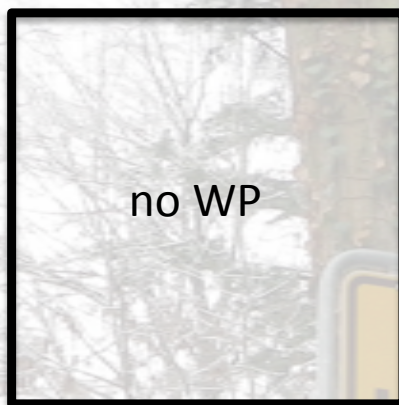
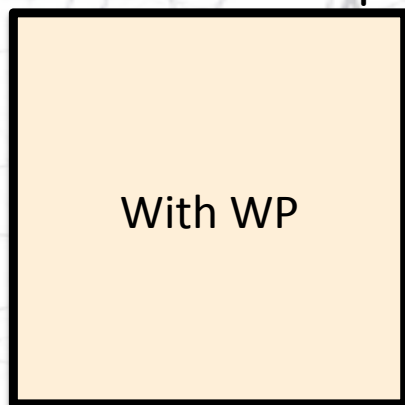
白色塗料のしきい値

Heidelberg

実験に使用した素子

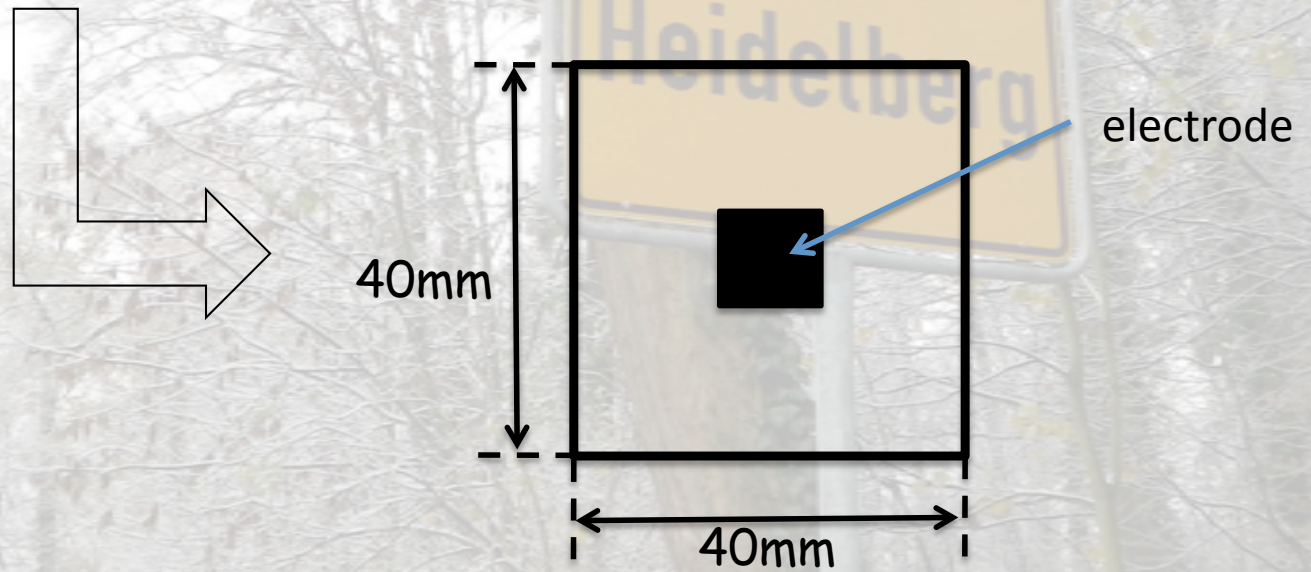
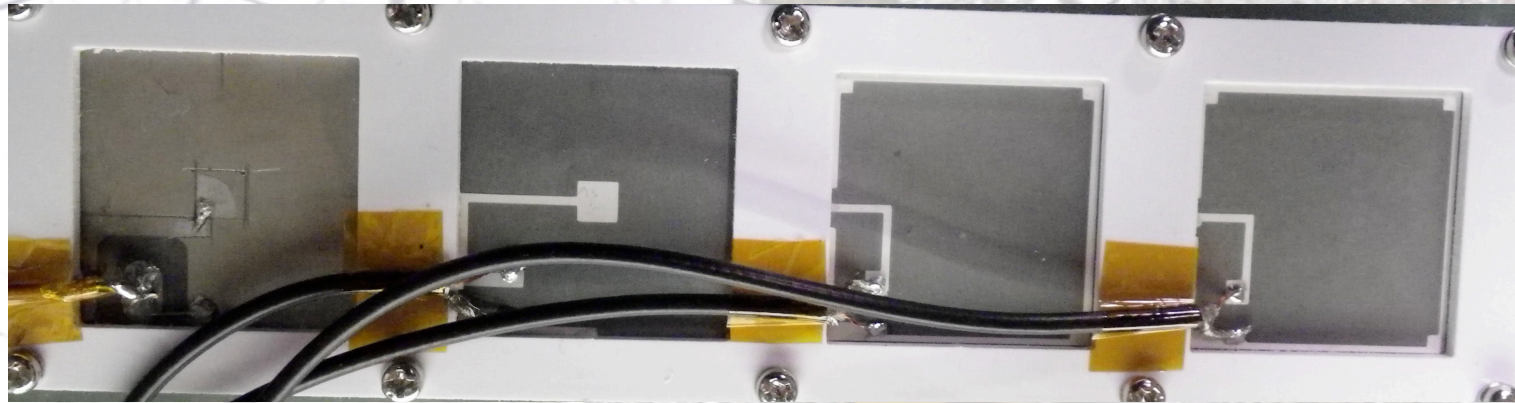
impact area

back side

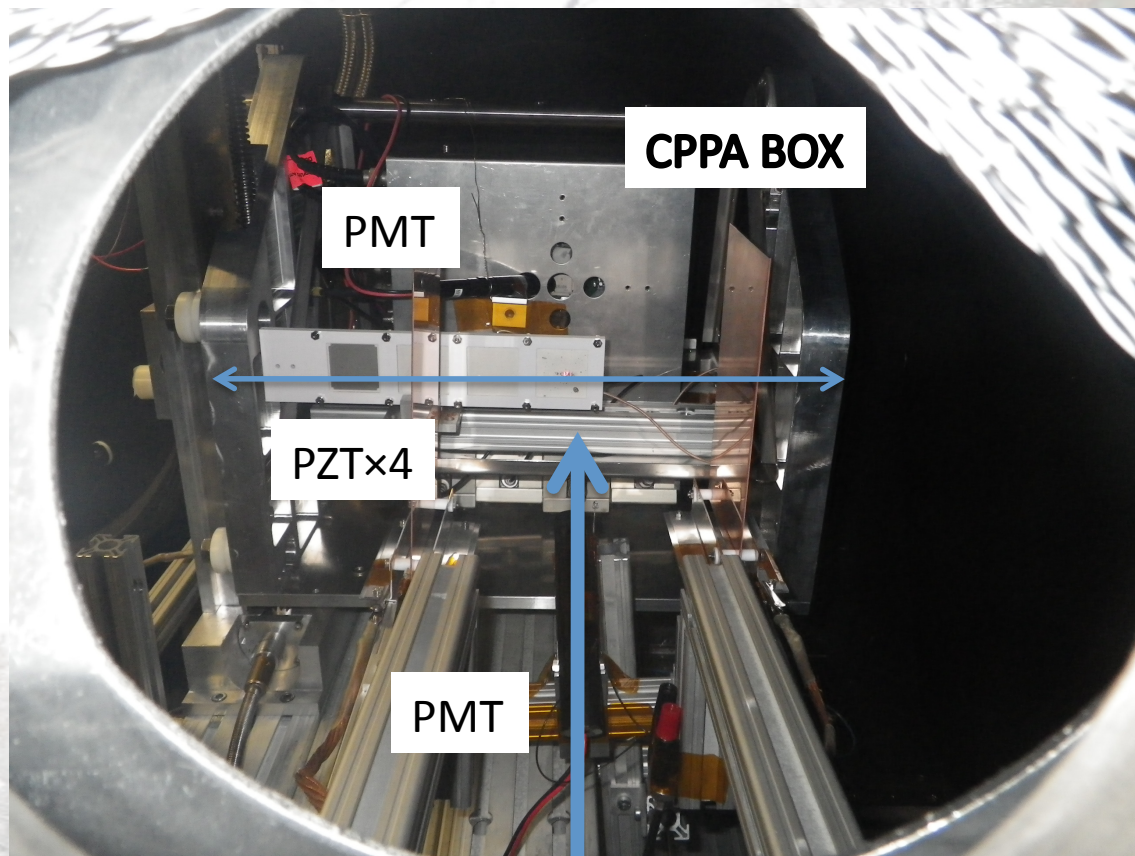


WP thickness : $\approx 60 \mu\text{m}$
銀電極 : $5 \mu\text{m}$
PZT thickness : 2 mm

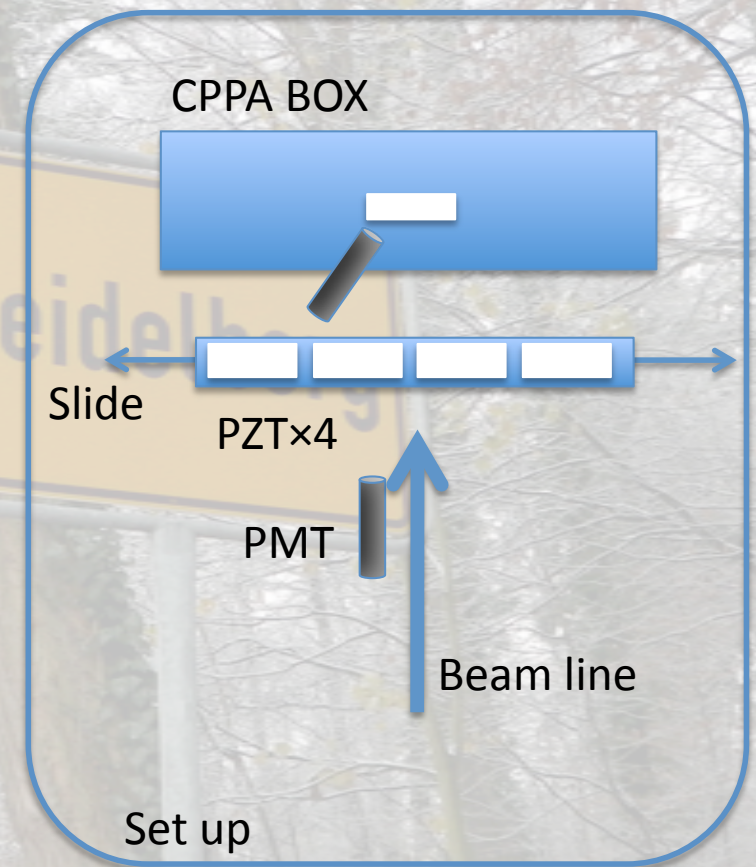
実験に使用した素子



Set up method



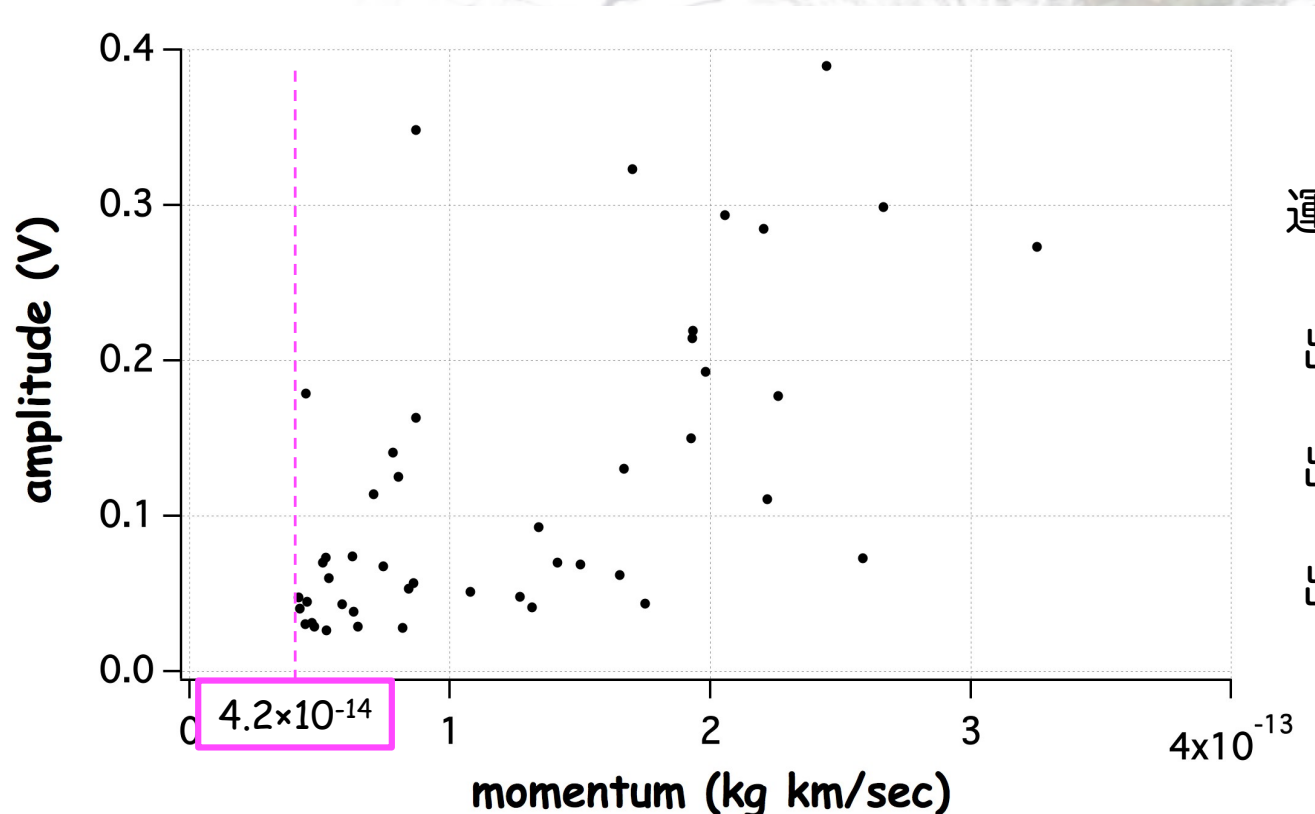
Beam line



白色塗料のしきい値 結果

白色塗料を塗ったときのしきい値決定

- HITの実験値



運動量 : 3.5×10^{-14} kg km/sec

出力があった最小運動量

4.2×10^{-14} kg km/sec

出力があった最小粒子質量

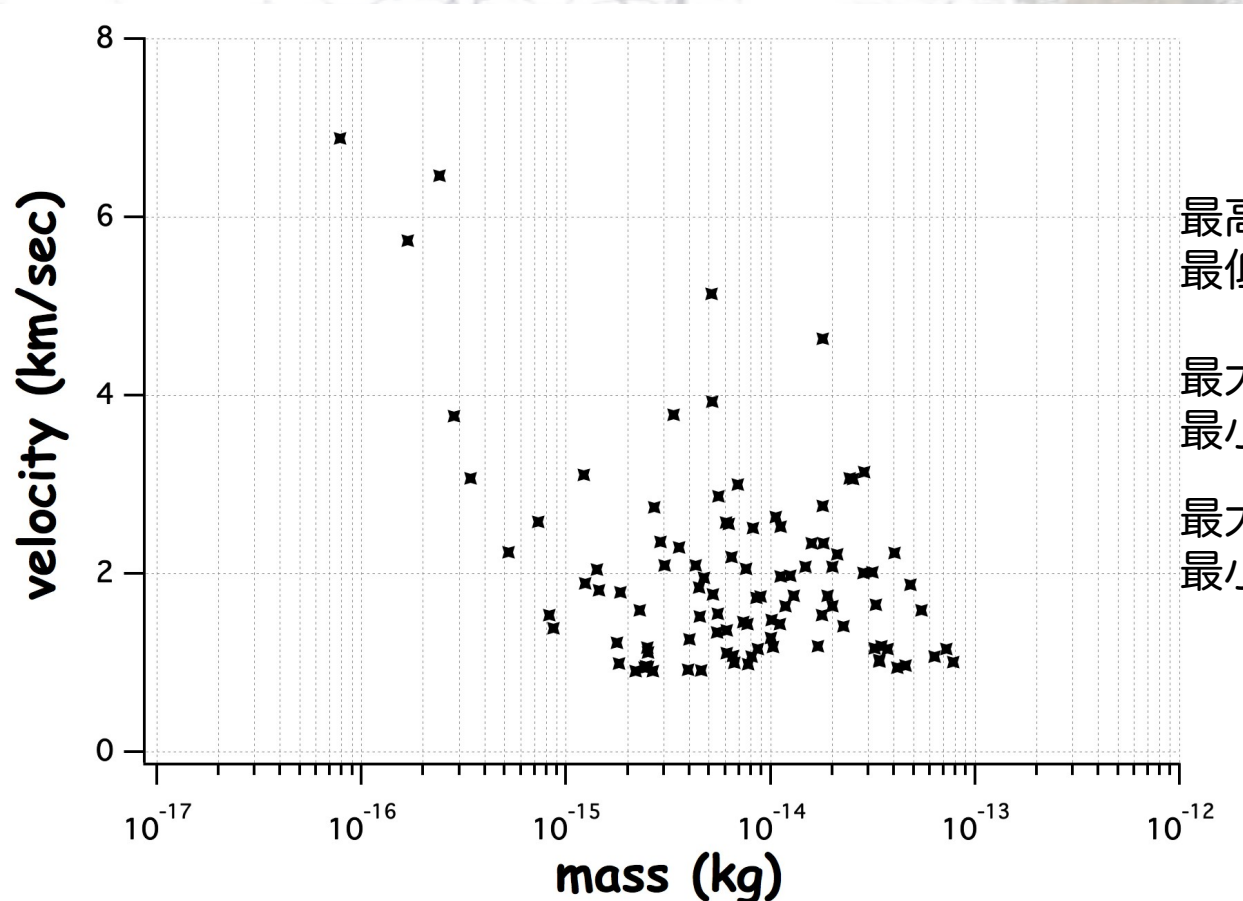
1.36×10^{-14} kg

出力があった粒子速度範囲

1.91 - 3.11 km/sec

運動量が大きくても粒子質量がある一定以下だと検出ができないのではないかな？
粒子質量が小さく、高速度での実験が必要→MPI (MDMの場合は20km/sec 以上)

PZTD測定時の粒子出力情報



最高速度 : 6.88 km/sec
最低速度 : 0.90 km/sec

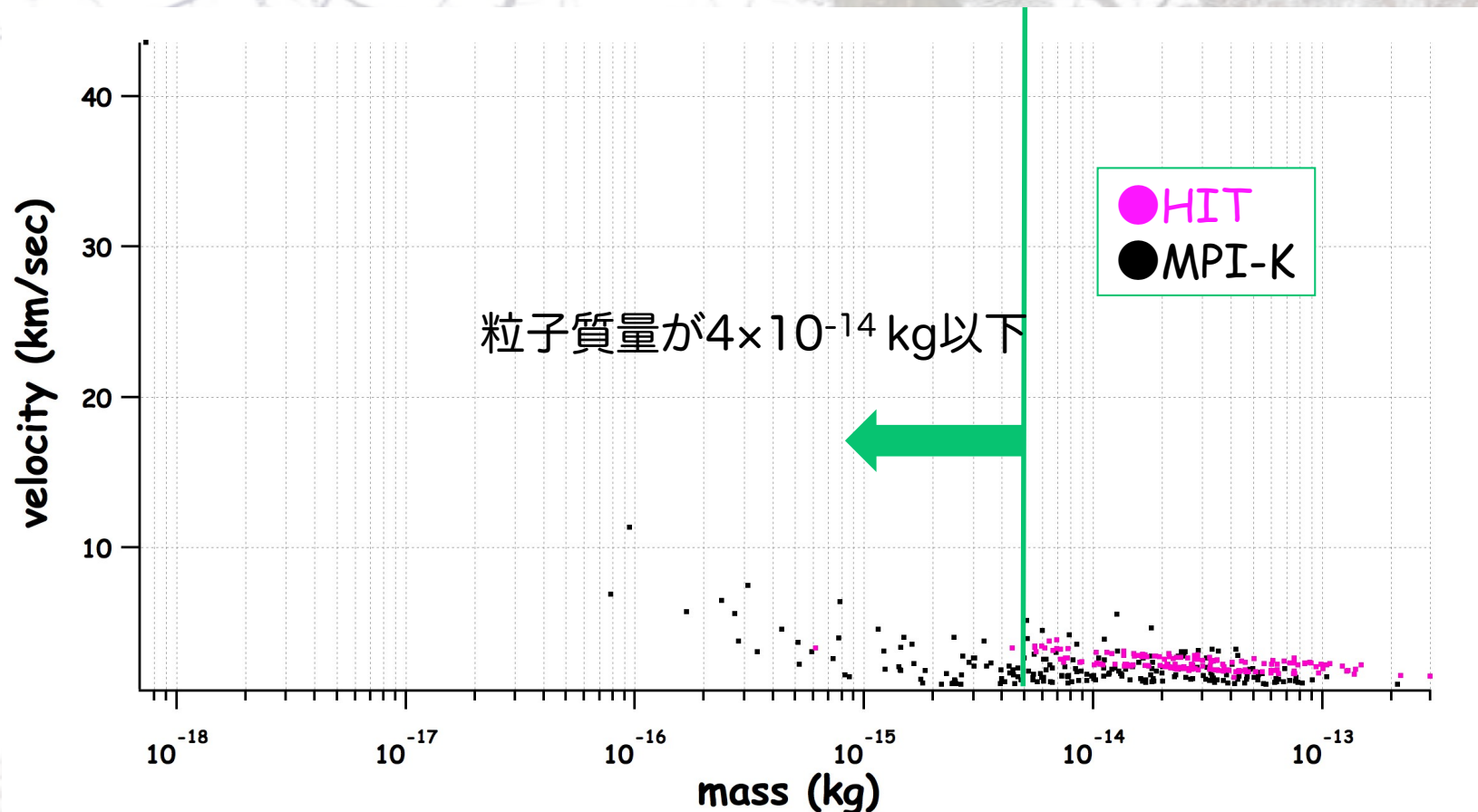
最大質量 : 7.84×10^{-14} kg @1km/sec
最小質量 : 7.87×10^{-17} kg @6.88 km/sec

最大運動量 : 9.05×10^{-14} kg km/sec
最小運動量 : 5.42×10^{-16} kg km/sec

PMTも反応するものの出力波形が見えない

HIT
運動量 : 4.2×10^{-14} kg km/sec以下は出力無し

白色塗料の検出しきい値



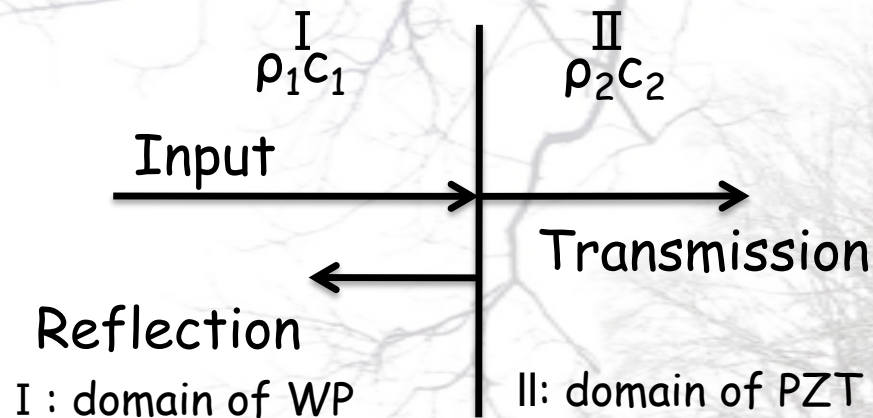
粒子質量が 4×10^{-14} kg以下，運動量 4.2×10^{-14} kg km/sec(速度1km/sec) 以上での出力確認を行ったが，白色塗料を塗布した場合検出ができなかった

粒子質量： 1.4×10^{-14} kg(@ 3km/sec)以上

粒子運動量 4×10^{-14} kg km/sec以上

basic concept

境界面における反射と透過



* ρc : specific acoustic resistance

propagation velocity

$$c = \sqrt{\frac{M}{\rho}}$$

c : velocity
 M : Elastic modulus
 ρ : Density

Particle velocity

Reflection : 0.830
Transmission : 0.170

Energy

Reflection : 0.688
Transmission : 0.312

$$\frac{u_r}{u_i} = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$

$$\frac{u_t}{u_i} = \frac{2\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$

$$\frac{P_r}{P_i} = \frac{\rho_2 c_2 - \rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$

$$\frac{P_t}{P_i} = \frac{2\rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$$

$$R = \left(\frac{U_r}{U_i}\right)^2 = \left(\frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}\right)^2$$

$$\tau = \left(\frac{P_t}{P_i}\right)\left(\frac{U_t}{U_i}\right) = \frac{4\rho_1 c_1 \rho_2 c_2}{(\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2)^2}$$

effect of white paint

Amplitude of PZT without white paint

Condition

particle velocity : *** km/s

particle mass : D kg

momentum : M kg km/s

Amplitude :

X mV

Amplitude of PZT with white paint

Condition

particle velocity : *** km/s

particle mass : D kg

momentum : M kg km/s

Amplitude:

Y mV

Transmission of experiments

$$\frac{Y}{X} = Z$$

X : Amplitude (P-P) : 415 mV

Average of momentum : 2.20×10^{-13} kg km/sec

Y : Amplitude (P-P) : 285 mV

Average of momentum : 2.20×10^{-13} kg km/sec

$$\underline{\underline{Z = 0.68675}}$$

about 70%

白色塗料がない時の70%の出力

Conclusion of experiments

Sep 2010 HITにおいての実験値から求められたしきい値

PAT A

threshold

momentum : about $1.75 \cdot 10^{-14}$ kg km/sec

mass : about $7.44 \cdot 10^{-15}$ kg

(Velocity : about 1.44 km/sec)

PAT D with white paint

threshold

momentum : about $4.20 \cdot 10^{-14}$ kg km/sec

mass : about $1.36 \cdot 10^{-14}$ kg

(Velocity : about 1.91 km/sec)

NOV 2010 MPIにおいての実験値から求められたしきい値

PAT A

threshold

momentum : about $1.25 \cdot 10^{-15}$ kg km/sec

mass : about $8.72 \cdot 10^{-16}$ kg

(Velocity : about 1.43 km/sec)

白色塗料を塗布時の出力

$$\underline{Z = 0.68675}$$

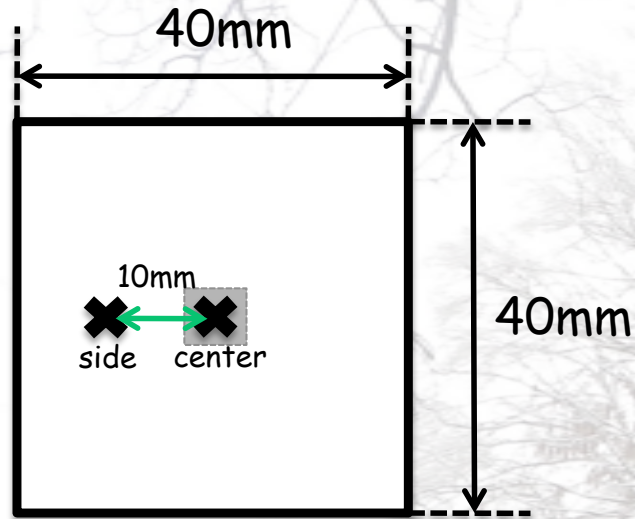
about 70%

(白色塗料無しの時の出力を1とする)

衝突位置依存



PZTA dependent on position

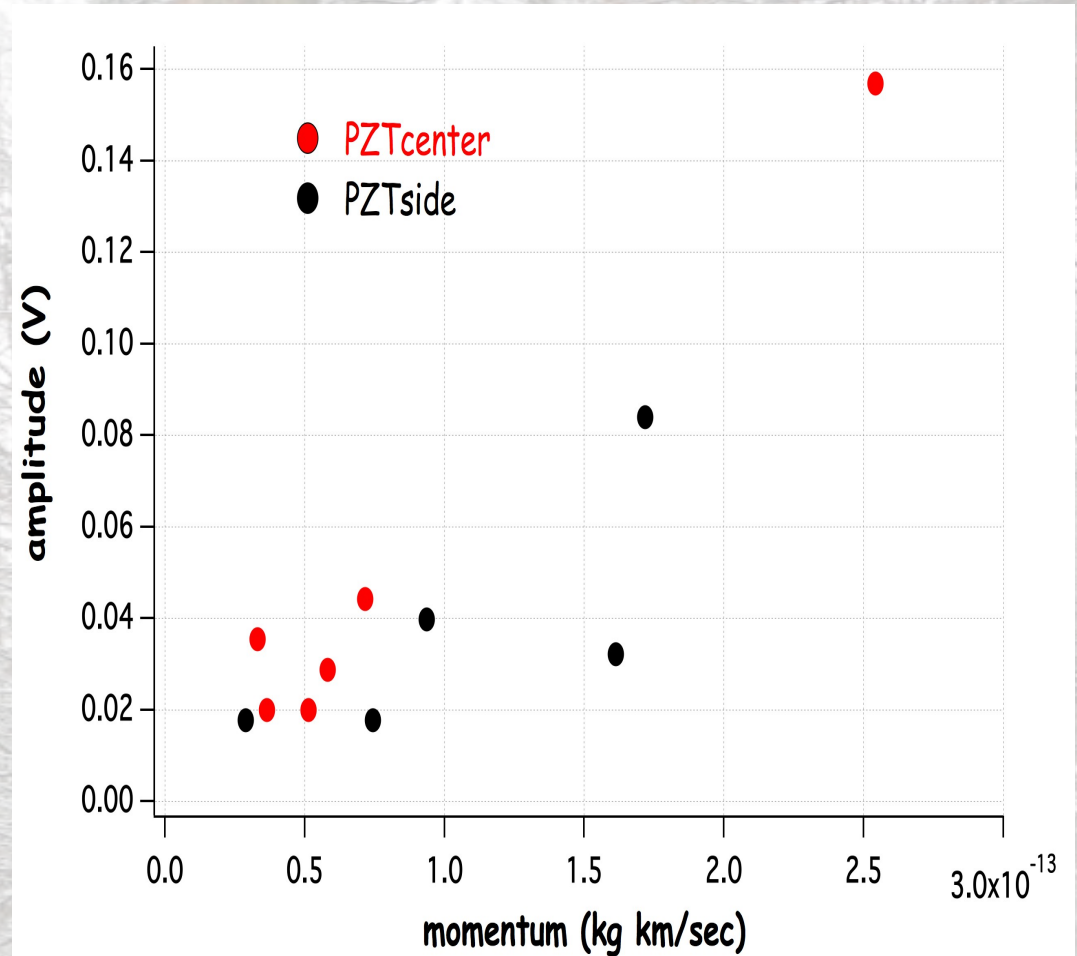


Center

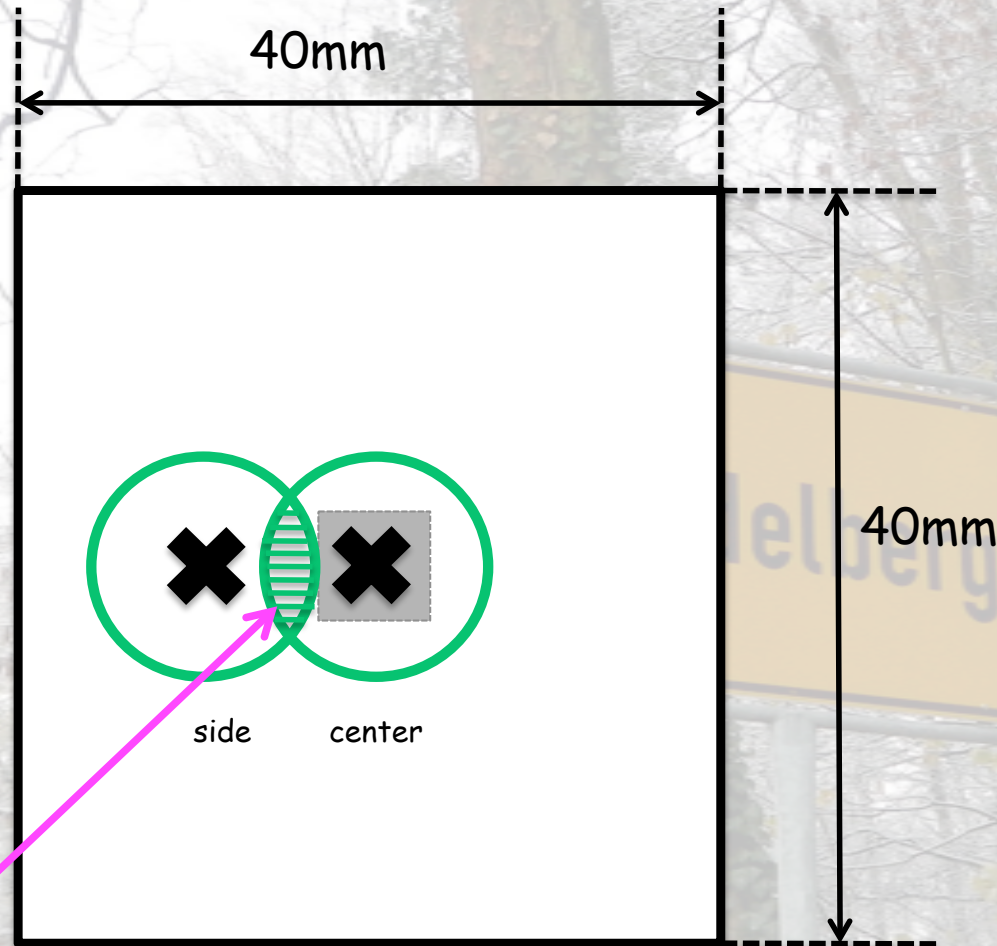
出力と運動量に相関が見られる
出力電圧 : 0.02-0.16 V

Side

出力がばらつく
出力電圧 : 0.02~0.08V



問題がありました

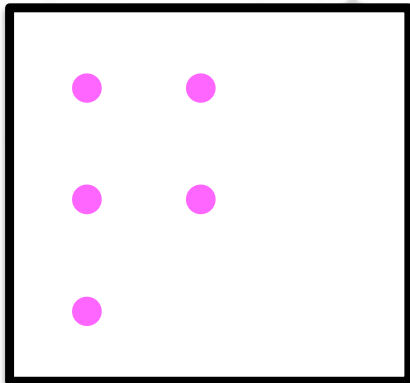


ビーム照射範囲が $\phi 10\text{mm}$
照射位置centerとsideの距離が10mm
どちらとも同じ範囲での衝突の可能性

電極にしか当たらない条件でのデータ と 必ず電極から外れる条件でのデータの比較

①実験時にコリメーター導入

②出力波形から衝突位置を割り出す



PZTの前にマスクを置き
照射した所にのみ穴をあける

コリメーター作成済み
3月東海村での実験予定だったが
地震の影響で実験が延期された

①のコリメータを導入して...

Nd:YAG レーザを用いて
衝突位置依存確認実験実施

NEXT PAGE



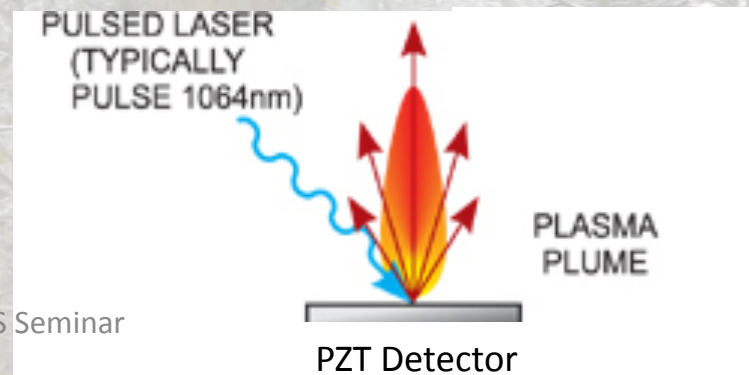
レーザーを使った微粒子衝突模擬実験

レーザーによる応力発生原理

- 慣性核融合の分野, または惑星の成因や惑星内部の状態の理解のために, 衝撃波を発生させるためにレーザーを直接ターゲットに照射して圧力を発生させる方法がある。
- 照射強度の強いパルスレーザーを固体試料に照射
 - 固体表面で電子・熱的・光化学的エネルギーに変換
 - 中性粒子・電子・プラズマなどのプルームが短時間の間に爆発的に放出されるパルスレーザーアブレーションといわれる現象
 - アブレーション圧力の発生
- アブレーション圧力の経験式
 - $P=0.86(I/\lambda)^{2/3}$ (Benuzzi et al. 1996)
 - P は圧力[Mbar], I はレーザー集光強度[$10^{14}\text{W}/\text{cm}^2$], λ はレーザー波長[μm]

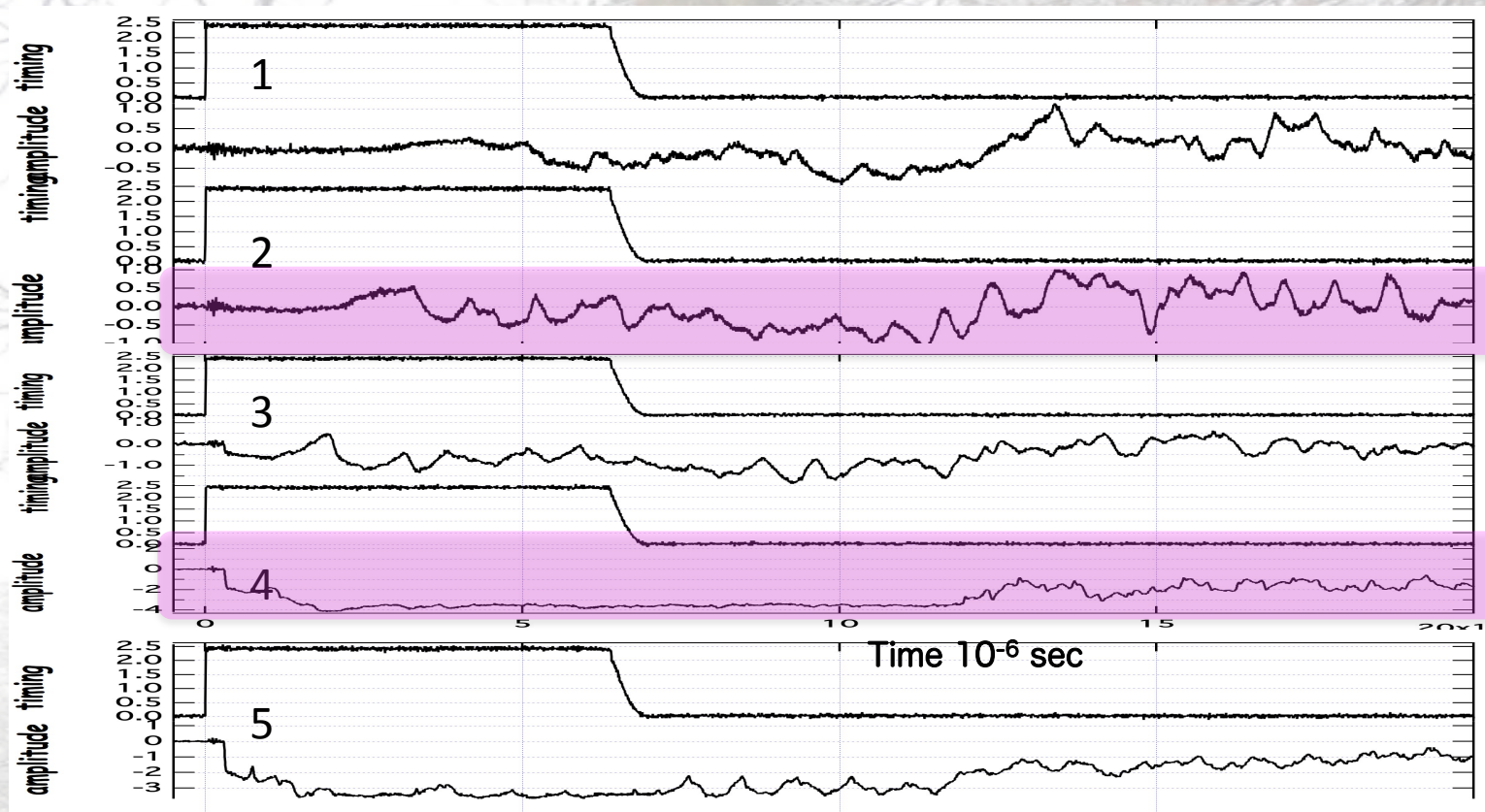
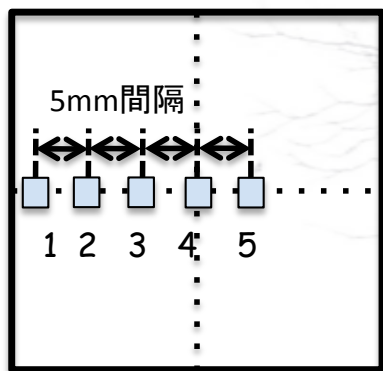
我々の実験のセットアップ

- YAGレーザー1064nm, パルス幅は6-8nsec, 最大27mJ。
- レンズで集光してアブレーションをさせた。スポット径は数百 μm 。
- PZT検出器表面にレーザーをアブレーションさせ, 高速微粒子衝突による応力を模擬した。
- レーザーエネルギーが10mJのとき, 約0.2kbarの応力発生。
- 実際の微粒子衝突を模擬するには, より小さなスポット径と短いパルスのレーザーが必要。
- とりあえずの簡便な方法としてはよいのでは。



Nd:YAGレーザーで照射した時の出力波形です

レーザー出力：約15mJ



定性的ながらもこのレーザーの解析から
粒子照射実験で必ず電極から外れ条件での取得したデータは、
上記の4番以外の波形を示している事が確認できた
微粒子照射時の詳細な解析には未だ至っていない

まとめ

現在まで運動量のみに着目していたが今回の実験で質量が大きく寄与する分かった
MDMとして、微粒子の運動量だけでなく、質量にもしきい値がある事が判明
今後白色塗料を塗布して観測する場合の重要参照データとなる

PZT without white paint

threshold

momentum : about $1.25 \cdot 10^{-15}$ kg km/sec

mass : about $8.72 \cdot 10^{-16}$ kg

(Velocity : about 1.43 km/sec)

PZT with white paint

threshold

momentum : about $4.20 \cdot 10^{-14}$ kg km/sec

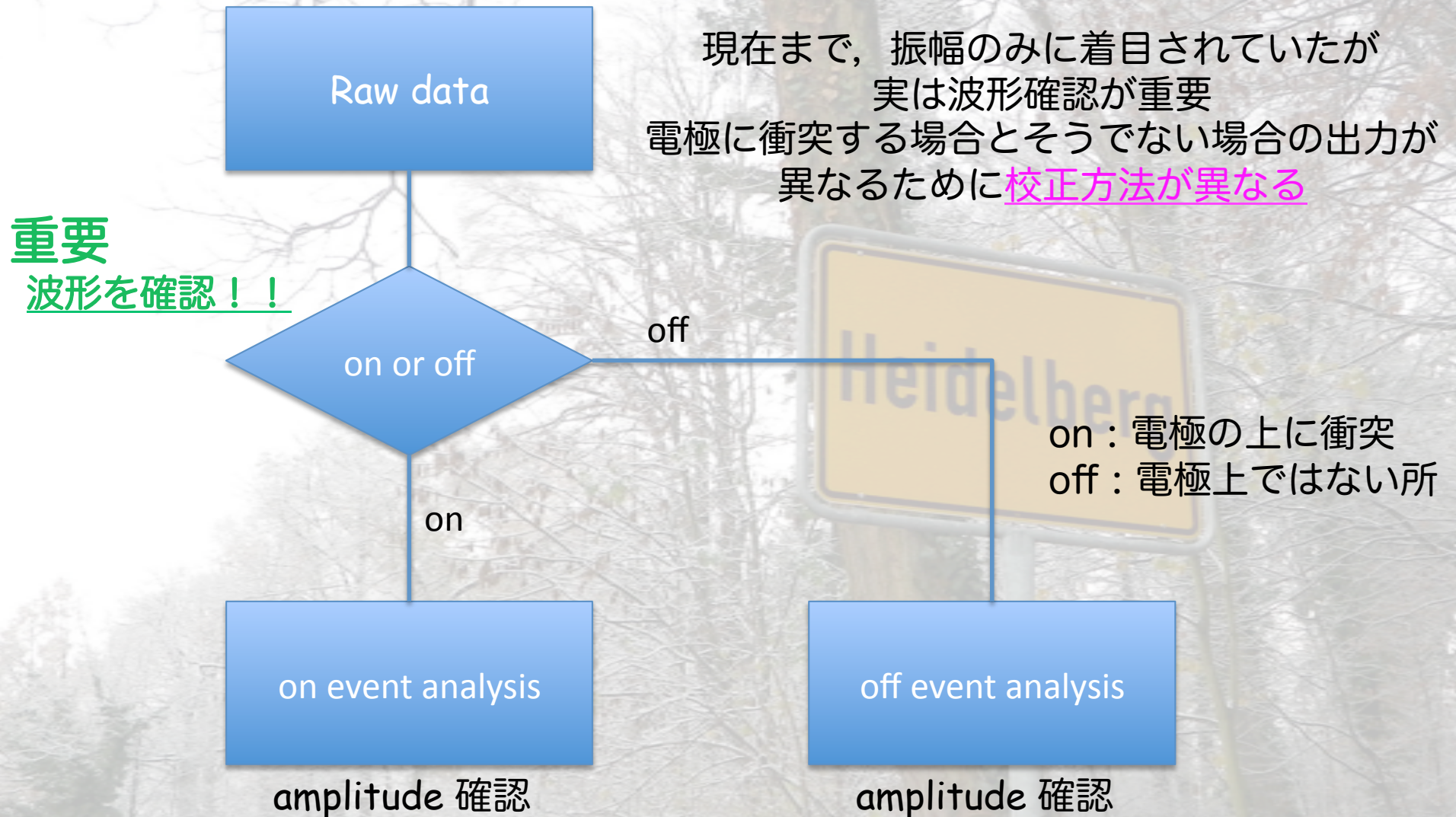
mass : about $1.36 \cdot 10^{-14}$ kg

(Velocity : about 1.91 km/sec)

衝突位置による出力波形変化がある事がわかる

レーザー照射における衝突位置依存を計測した事から
衝突位置による出力波形変化がある事がわかった。
レーザー実験の結果から定性的ながらも解析すると、
電極から外れたイベントは、4番以外の特徴を持たない波形である。
実験データ解析の新たなフローチャートが出来る

MDMデータの解析方法



今後の展望

- 衝突位置依存による出力波形変化
- 微粒子衝突実験とレーザー実験の相関をとる
- 新しい電極の可能性を探る
PZTの新しい電極やPZT素子8層
- PZT素子と増幅器の最適化
- PZT内の衝突エネルギーの伝搬の解析