

第28回Grain Formation Workshop, 平成22年度銀河のダスト研究会

PZT素子型宇宙塵検出機 開発・特性評価

東京大学 新領域創成科学研究科
中村真季

Photo 2010年05月16日 18:02撮影 月と水星

Undiscovered cosmic dust within the orbit of Mercury

Why are we going to find it?

☆Cosmic dust environment near Mercury is little-known.
It object is in-situ measurement of dust environment
in the around orbit of Mercury.

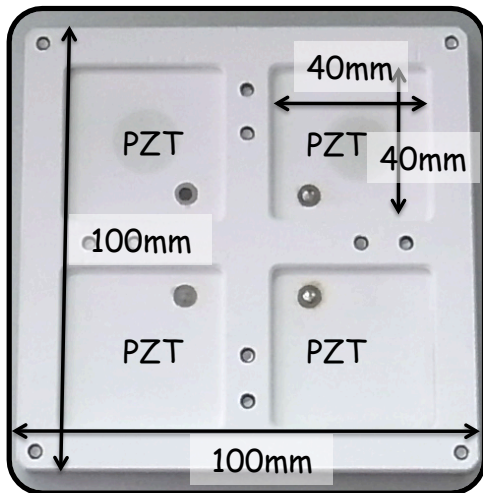
We have only few data of Mercury orbit with Helios spacecraft
If we observe the dust environment in the vicinity of Mercury, We may turn
out to be ...

- Mercury has a ring.
- A part of Mercury's atmosphere is generated via dust impact.
(To what extent the impact participates in producing mechanisms of Mercury's atmosphere.)
- In-site measurement reveals valuable information about the space weathering on the surface of Mercury.
- etc...

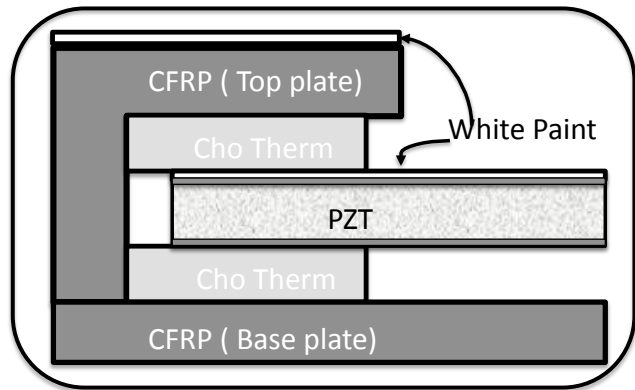
Mercury Dust Monitor

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.



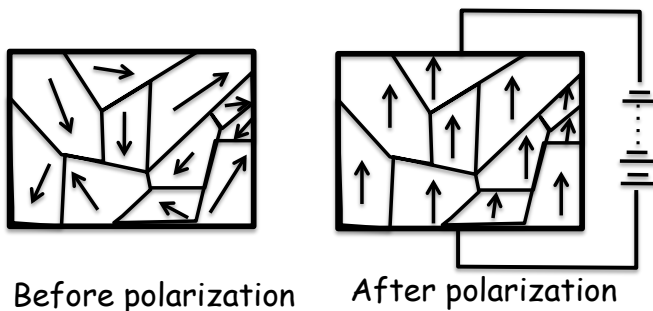
MDM



MDM cross-section view

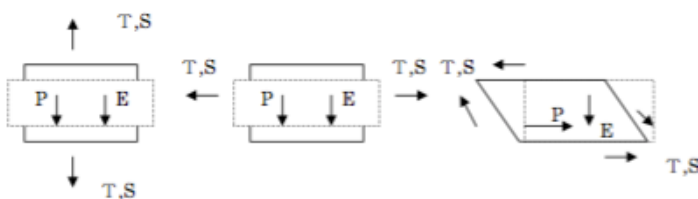
Mercury Dust Monitor

The principle of PZT element.

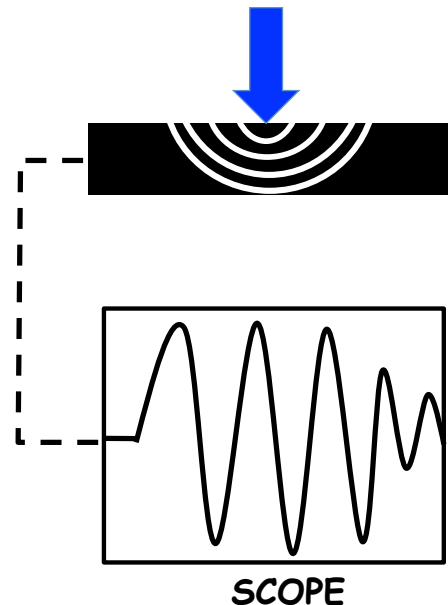


Before polarization

After polarization



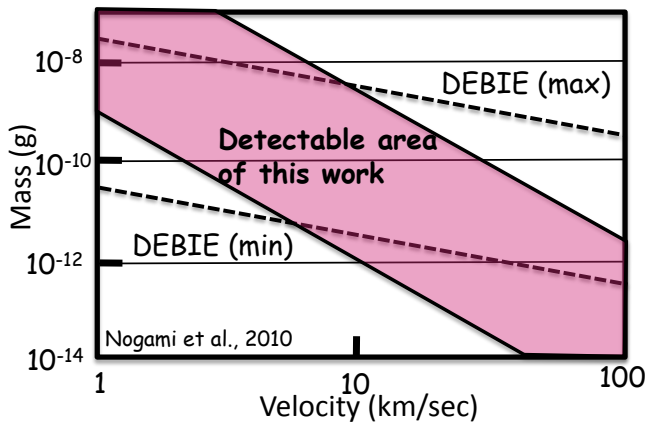
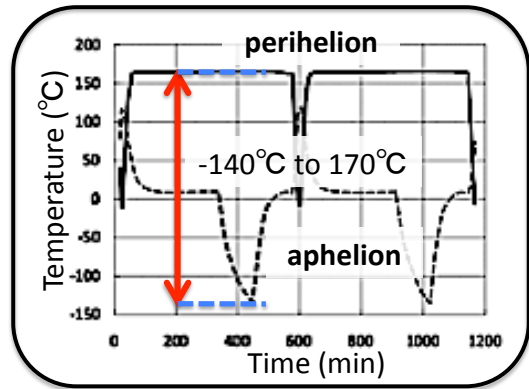
longitudinal mode transverse mode thickness-shear mode



The sensors generate electric signals by a compression a strain and tensile strain.

Mercury Dust Monitor

- ◇ Simple configuration
- ◇ Light weight
- ◇ Low power consumption
- ◇ High thermal endurance



PZTを用いた検出器搭載人工衛星
音響素子

- ◇ Pioneer 8 and 9 (to comet Halley)
- ◇ Giotto (to comet Halley)

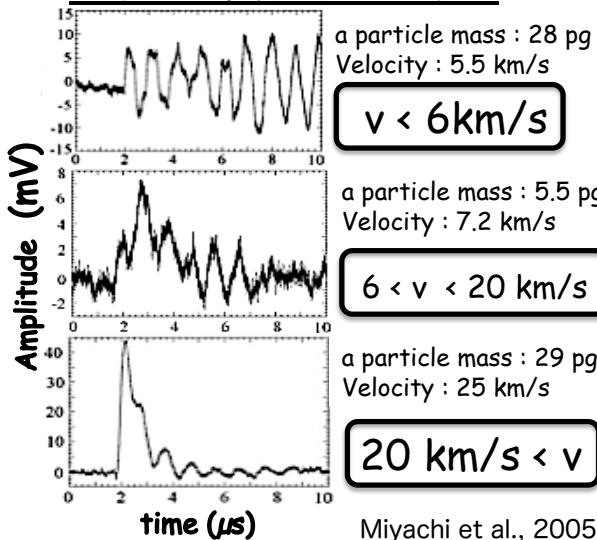
直接衝突

- ⌘ Rosetta laundrer DIM (to comet)
- ⌘ BepiColombo MMO (to Mercury)

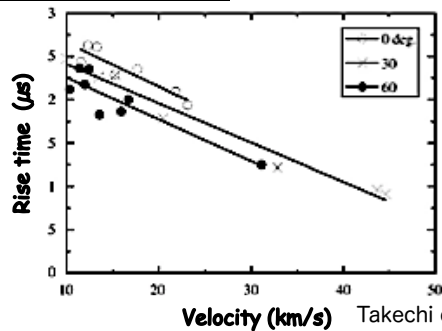
free fall(0.44 to 4.4 m/s, 5.2×10^{-7} to 5×10^{-4} kg)実験によっても測定(感知)可能.

現在までの知見

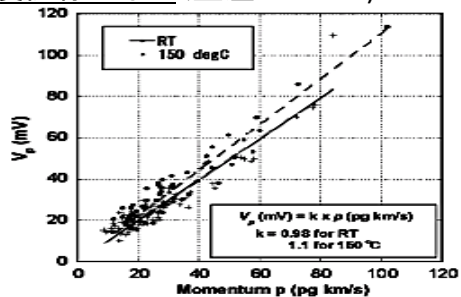
衝突速度依存がある



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	○	○	○	△	△	△	×

検討中の課題

白色塗料を塗布した時の出力波形の変化

水星探査では熱対策の為、白色塗料を塗布する。

白色塗料 高耐熱複合材料 RTM成形用ポリイミド樹脂

塗布厚み: 150 μ m

➡ 低速(1~6 km/s)において白色塗料を塗布した素子に照射し出力波形の確認

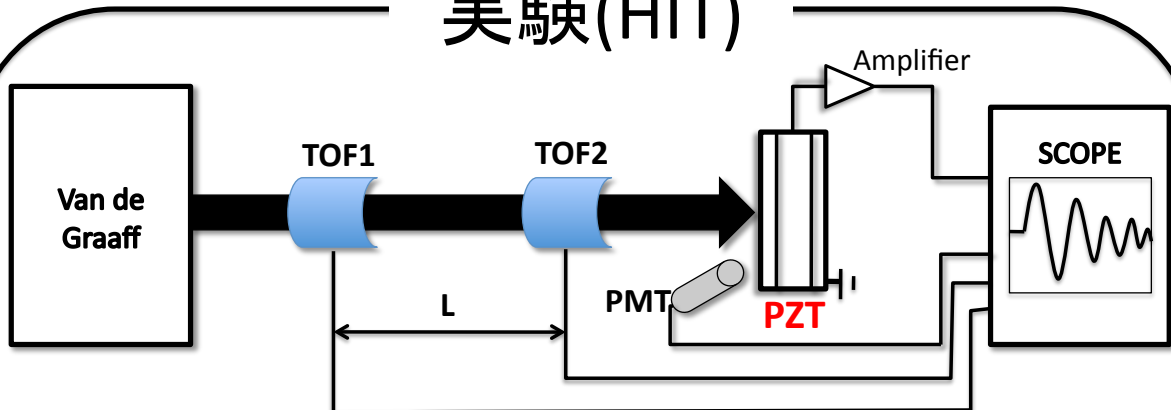
白色塗料が及ぼす影響(実験考察)

- 白色塗料がない素子使用の実験
 - 白色塗料がある素子使用の実験
- 上記の二つの実験のデータより白色塗料塗布時に及ぼす影響の調査方法検討

PZTの衝突位置依存, 電極位置、温度依存等

➡ Coming soon...

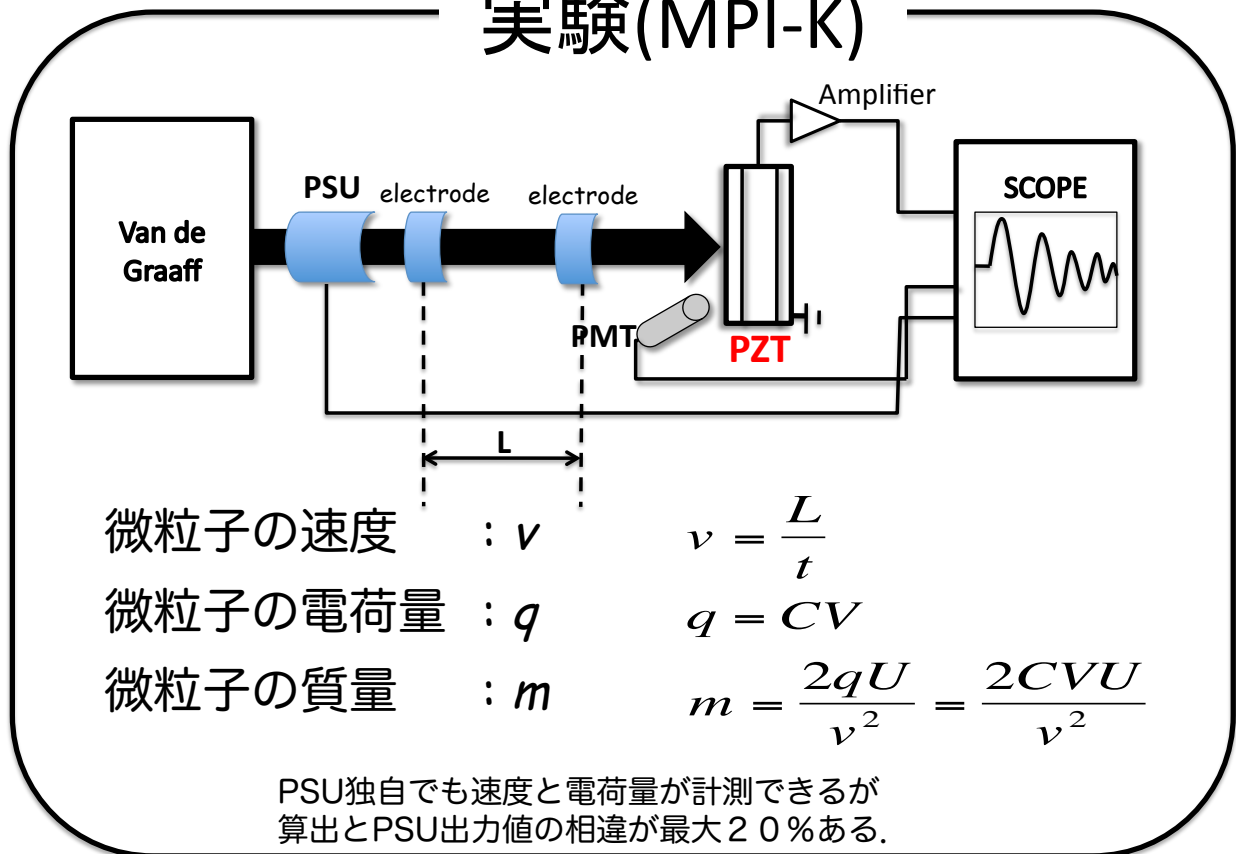
実験(HIT)



$$\begin{aligned} \text{微粒子の速度} & : v & v &= \frac{L}{t} \\ \text{微粒子の電荷量} & : q & q &= CV \\ \text{微粒子の質量} & : m & m &= \frac{2qU}{v^2} = \frac{2CVU}{v^2} \end{aligned}$$

静電容量C: 静電電極に接続された増幅器の帰還容量
出力電圧V: TOF2から検出
加速電圧U: 静電加速器の加速電圧

実験(MPI-K)

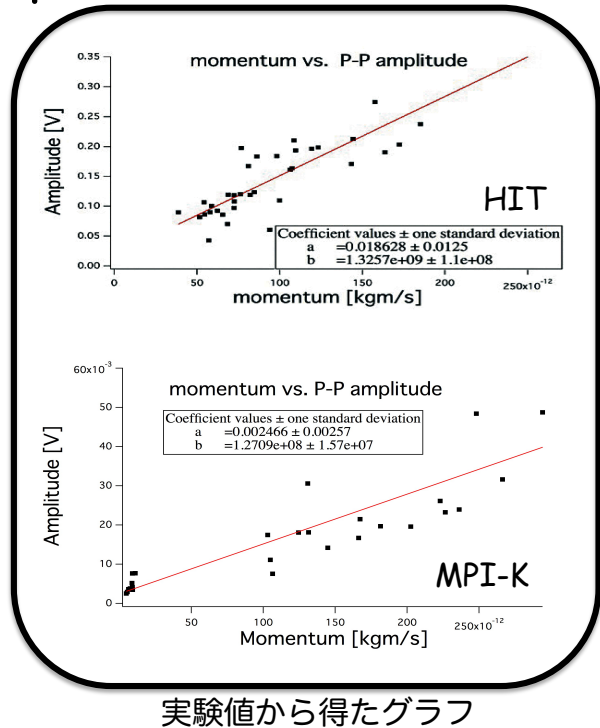
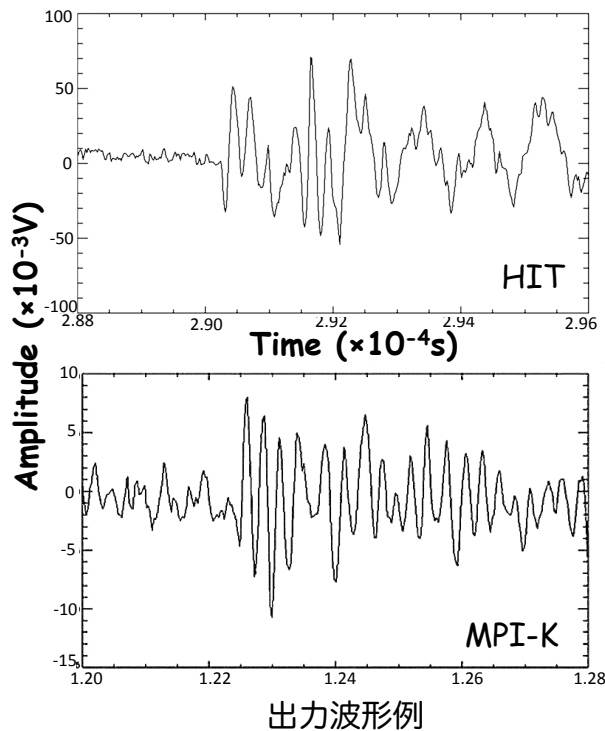


Experimental conditions

We performed experiments HIT and MPI-K under the following conditions

- PZT element with the refractor.
- Projectile : Fe and Ag
- Speed ranging : 1 to 6 km/s.

HIT and MPI-k experimental data



白色塗料を塗布した状態でも出力電圧と運動量は相関をもつ。

白色塗料による影響

White paint

Material : polyimid resin
 Thickness : $\sim 150 \mu\text{m}$
 Density : $1.3 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$
 Elastic modulus : $2.68 \cdot 10^9 \text{ Pa}$

PZT

Thickness : 2 mm
 Density : $7.8 \cdot 10^2 \text{ kg/m}^3$
 longitudinal wave : about 5 km/s
 transverse wave : about 3 km/s

白色塗料による影響

propagation velocity

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

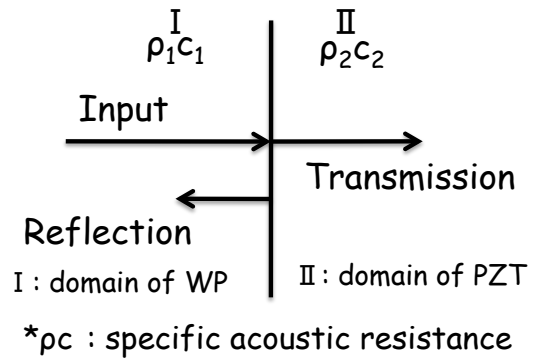
(c : velocity
 M : Elastic modulus
 ρ : Density)

$$c_w = 1.4 \text{ km/s}$$

$$c_p = 5.0 \text{ km/s}$$

basic concept

境界面における反射と透過



粒子速度の伝搬のみ考えた場合

Reflection $\frac{u_r}{u_i} = \frac{\rho_1 c_1 - \rho_2 c_2}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$ Transmission $\frac{u_t}{u_i} = \frac{2\rho_1 c_1}{\rho_1 c_1 + \rho_2 c_2}$

u : particle velocity

$$\text{Reflection} : 0.34$$

$$\text{Transmission} : 0.64$$

白色塗料による影響(考察中)

$$\text{Reflection} : 0.34$$

$$\text{Transmission} : 0.64$$

Amplitude of PZT without white paint

Condition
 particle velocity : v km/s
 particle mass : *** g

Amplitude

X mV

Amplitude of PZT with white paint

Condition
 particle velocity : v km/s
 particle mass : *** kg

Amplitude

Y mV

Transmission of experiments

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

Conclusions

1. 白色塗料の塗布により出力電圧が減少するが、出力電圧と運動量の相関は保たれる。
2. 白色塗料による影響評価の確立

near future

1. 白色塗料有無のみの違いでその他は同一環境で実験を行い具体的な数値の算出
(2010年9月・11月実験)
2. 白色塗料を塗布した状態での温度依存性の確認
3. PZTの超高速衝突時における物性値の算出