

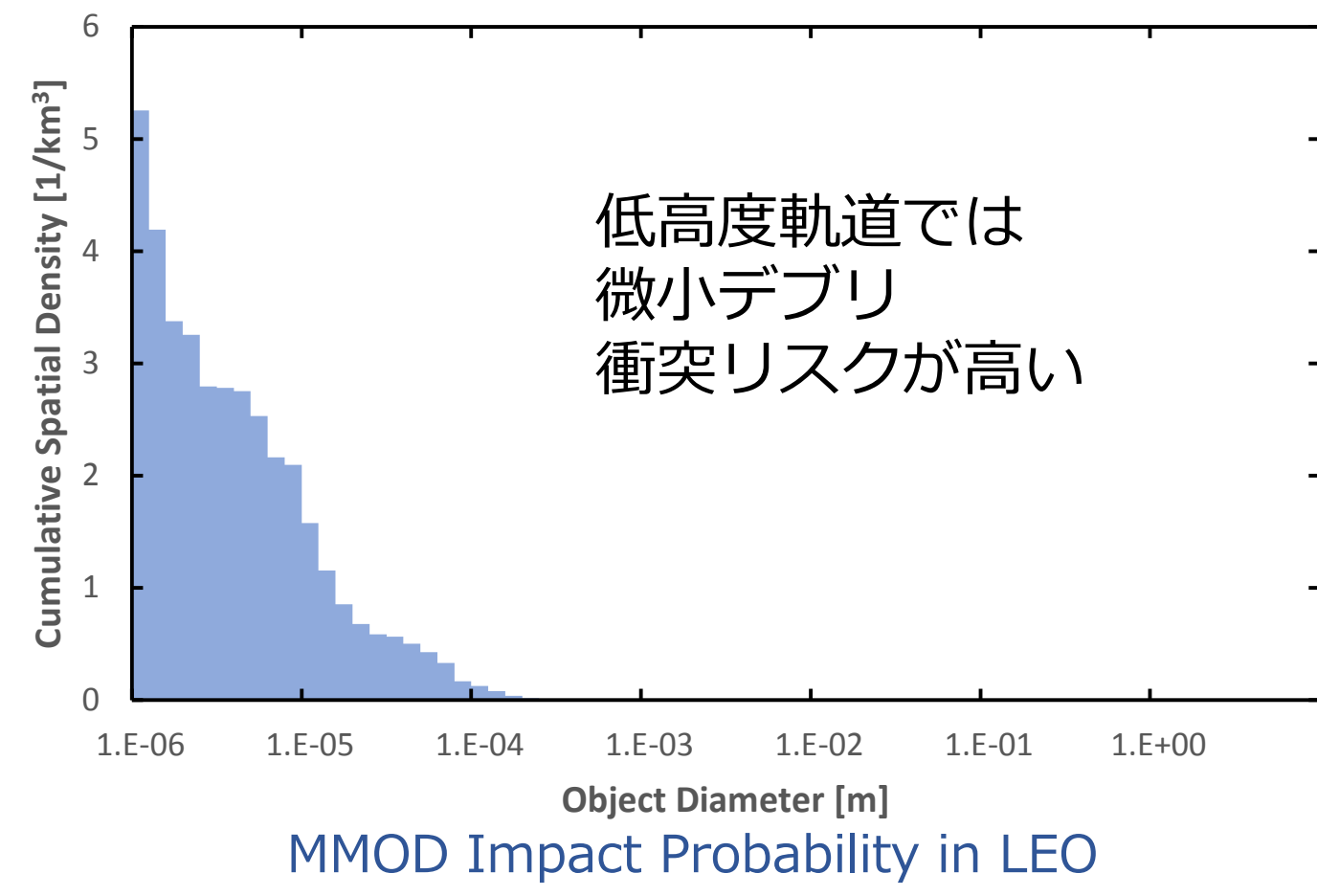


たんぽぽ捕集パネルを用いた 微小デブリ分布妥当性評価の準備状況

東出 真澄 (JAXA) 栗原 愛美, 尾田 佳至朗, 新井 和吉 (法政大) 田端 誠 (千葉大) 北澤 幸人 (IHI/JAXA/ISAS)
矢野 創 (JAXA/ISAS) 山岸 明彦 (東薬大)



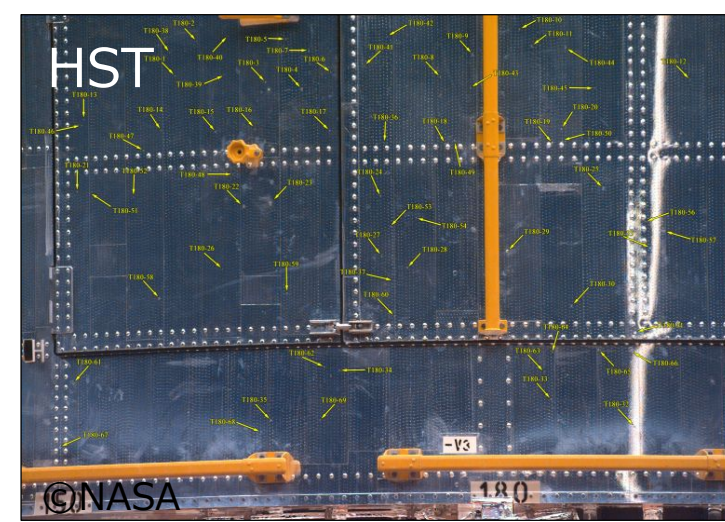
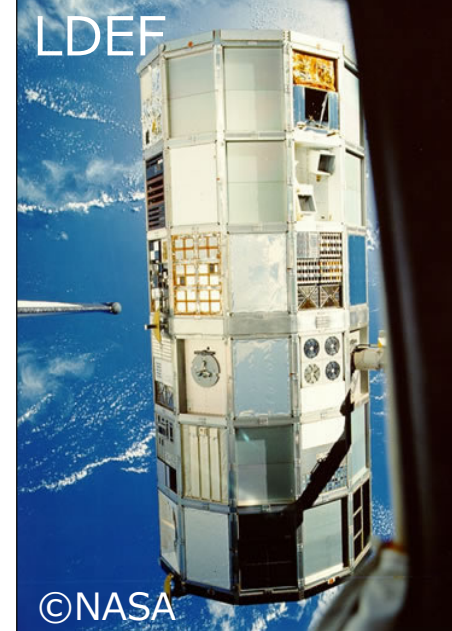
1. 研究背景・目的



低高度軌道の人工衛星に対する
平均デブリ衝突速度は約10km/s
→ 人工衛星にとっては、微小デブリ衝突が
致命的損傷になり得る
微小デブリ個々の軌道は観測できない
→ デブリ環境モデルを使って
衝突リスク評価が行われている

デブリ環境モデルは過去の軌道上計測データを参考にして作られている

- MASTER-2009で使用された軌道上計測データ
- LDEF (NASA) 1984-1989
- EuReCa (ESA) 1992-1993
- HST (NASA/ESA) 1989-1993 等



継続的に微小デブリ分布データを取得し、
デブリ環境モデルの妥当性を
定期的に評価する必要がある

研究目的

たんぽぽ捕集パネルに生じた微小デブリ衝突痕を用いて、デブリ環境モデルの妥当性を評価

●たんぽぽ捕集パネル

- アルミケースにエアロゲルが装填
- エアロゲルとアルミケースの曝露面積比は6:4
- きぼう曝露部に設置されたExHAMのうち
3面にパネルを配置
- 1年間曝露後パネルを交換し、3年間データを取得



デブリ環境モデルによる
捕集パネルへの
粒子衝突頻度解析

フライト品の解析

捕集パネル材に対する
衝突痕と衝突デブリの
キャリブレーション式

捕集パネルに生じた
デブリ衝突痕の解析

環境モデルと
実測値を比較

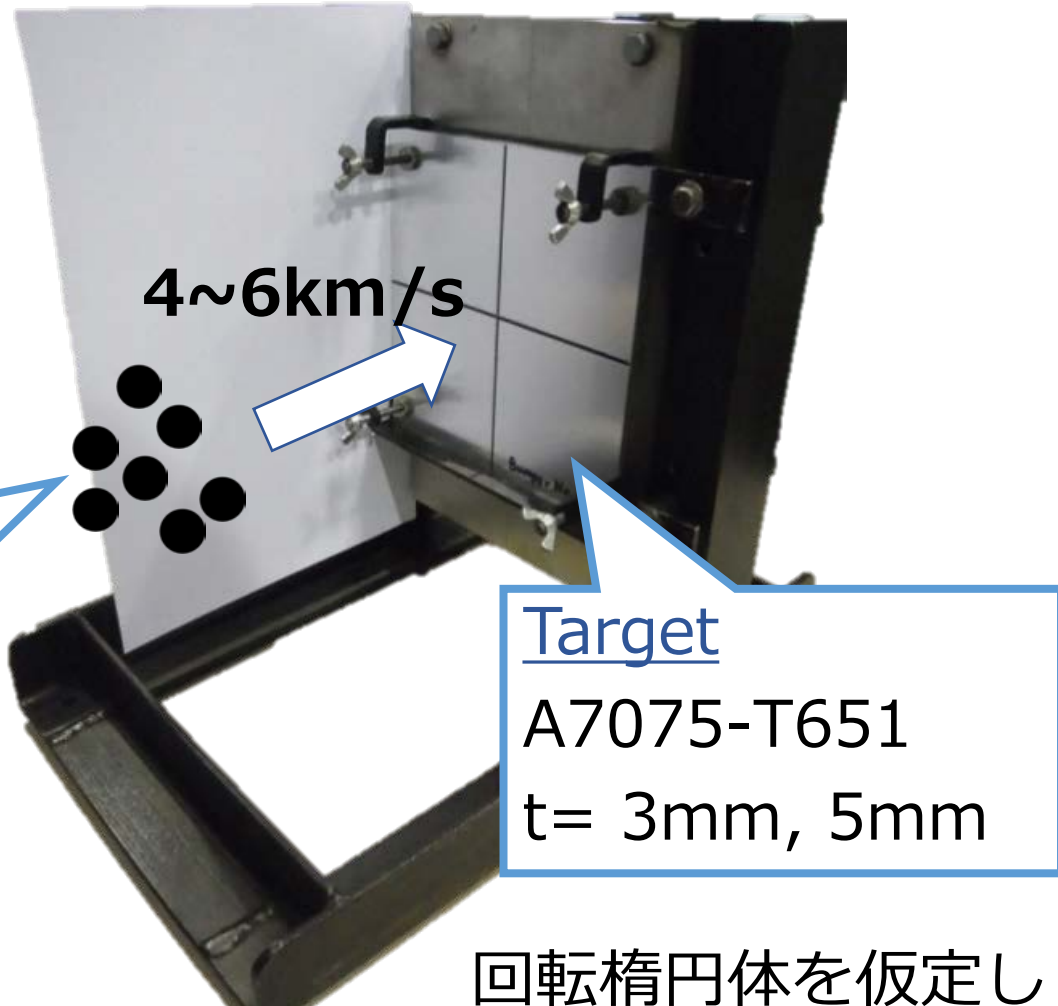
3. 捕集パネルのキャリブレーション試験

捕集パネルはエアロゲルとアルミケースで
構成され、その両方にデブリは衝突し得る

他のテーマでは使用されない
アルミケースの衝突痕は
優先的に解析できる

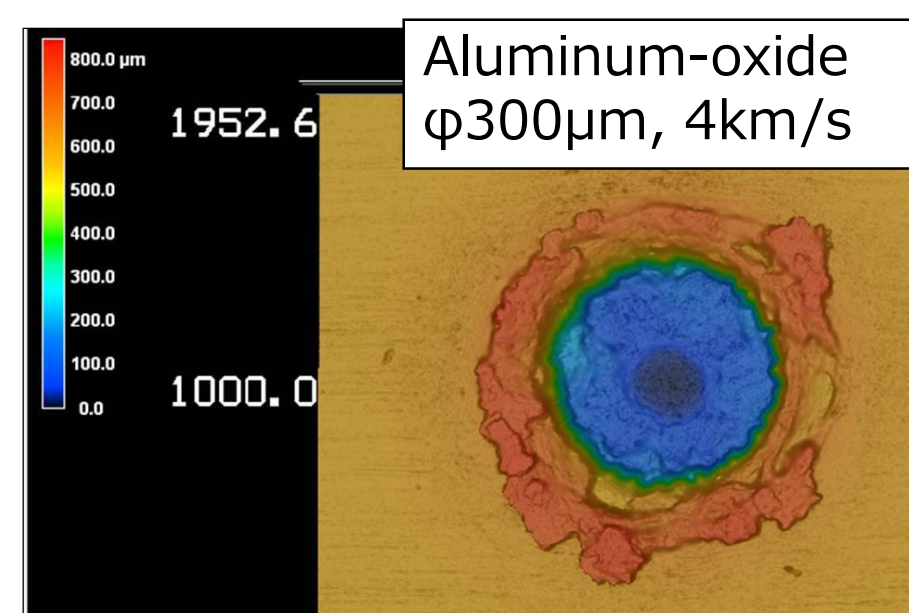
→ アルミケース材の
キャリブレーションをまず実施

Projectile
Aluminum,
Aluminum-oxide,
Stainless steel
φ100~500μm

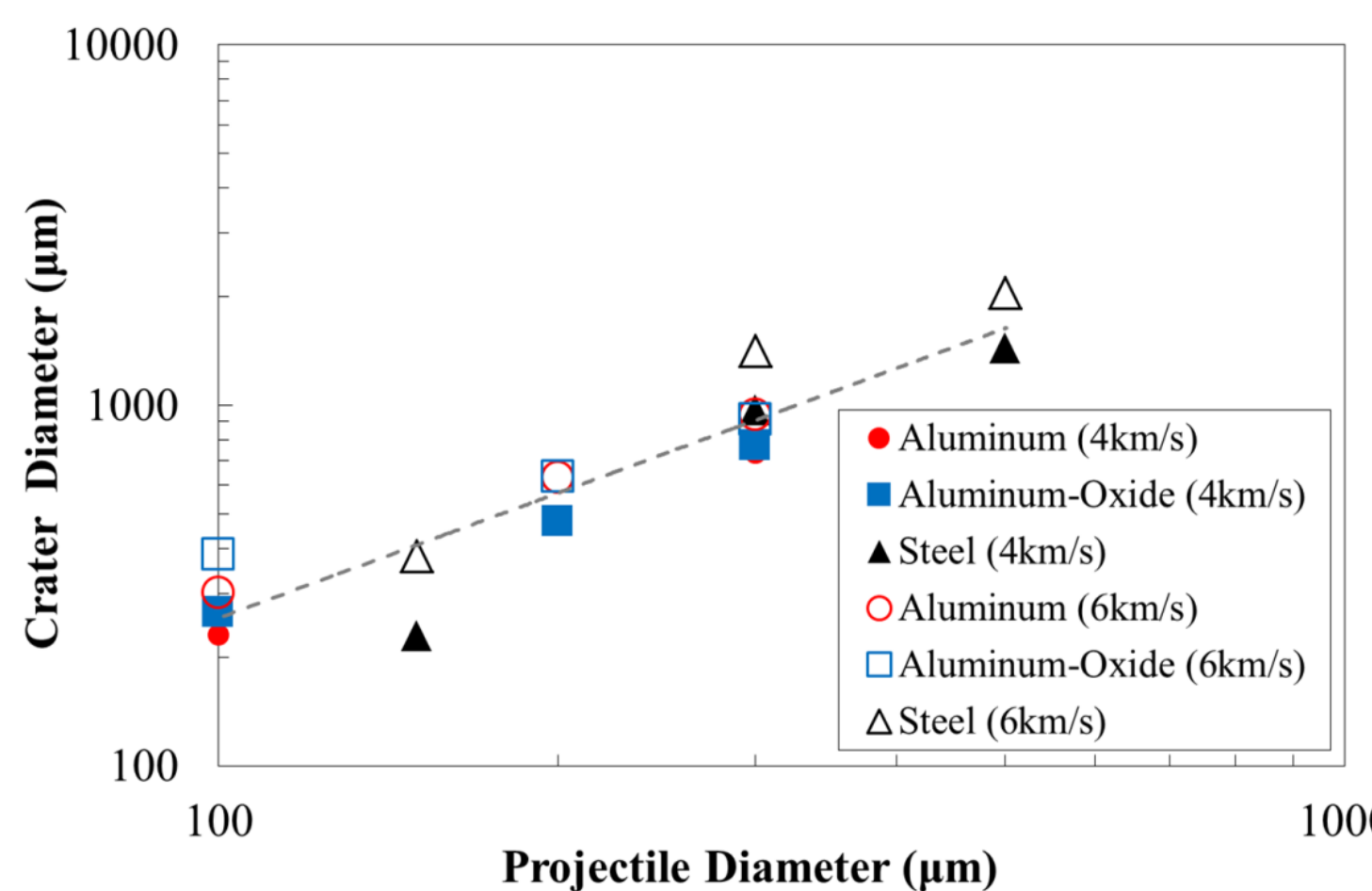
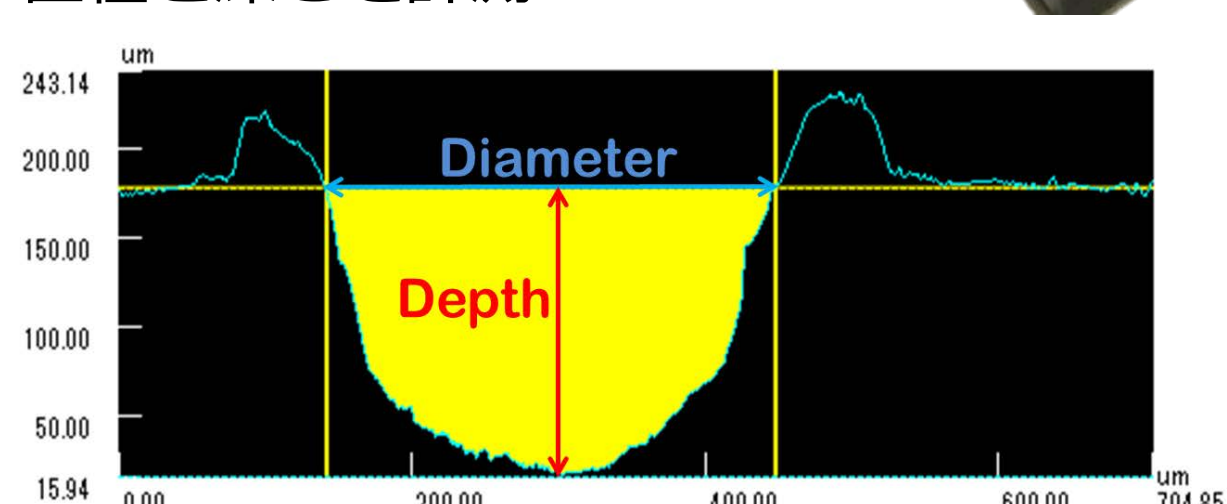


回転楕円体を仮定し
体積を算出
As the crater

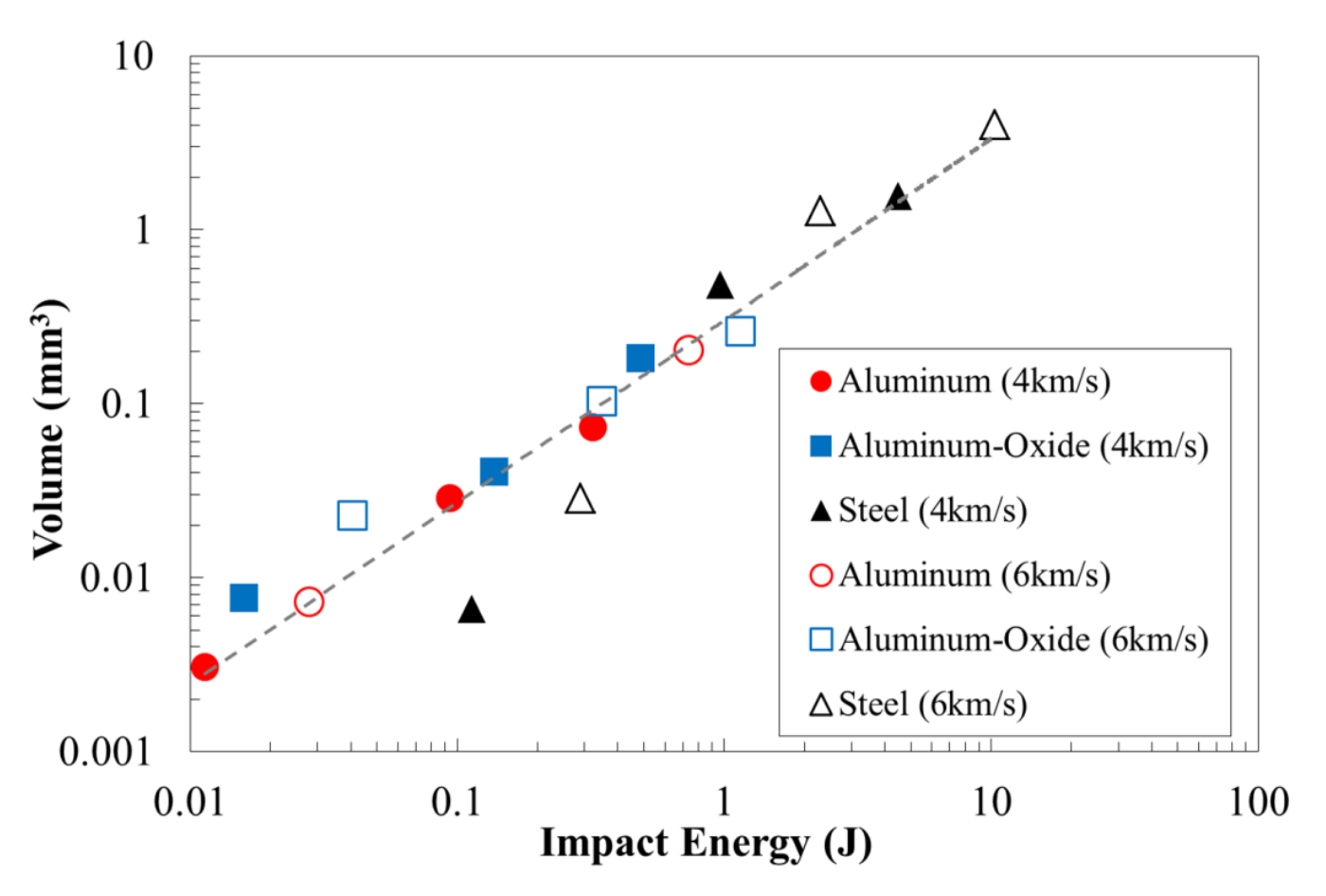
$$Volume = \frac{1}{6} \pi P d^2$$



直径と深さを計測



デブリの材質・衝突速度によらず
クレータ直径とデブリ直径は相関



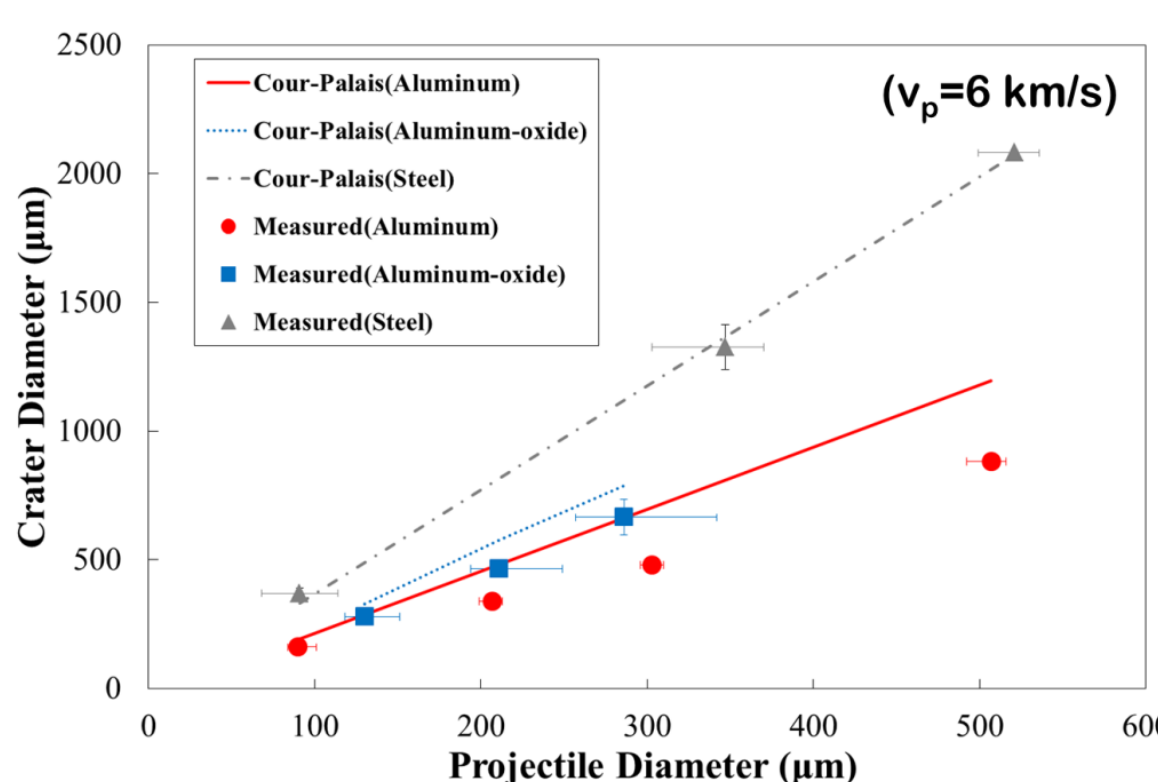
クレータ体積は衝突エネルギーと相関関係

●Cour-Palais式との比較

Ref. Cour-Palais, B.G., Int. J. impact Eng, 1987.

$$\frac{\rho_p}{\rho_t} < 1.5: P = 5.24 d_p^{18} H^{-0.25} \left(\frac{\rho_p}{\rho_t} \right)^{0.5} \left(\frac{v_p}{C_t} \right)^{\frac{2}{3}}$$
$$\frac{\rho_p}{\rho_t} \geq 1.5: P = 5.24 d_p^{18} H^{-0.25} \left(\frac{\rho_p}{\rho_t} \right)^{0.67} \left(\frac{v_p}{C_t} \right)^{\frac{2}{3}}$$

d_p : 飛翔体直径 (cm)
 v_p : 衝突速度 (km/s)
 C_t : ターゲット音速 (km/s)
 H : ターゲットのブリネル硬さ
 P : クレータ深さ (cm)
 ρ_p : 飛翔体密度 (g/cm³)
 ρ_t : ターゲット密度 (g/cm³)



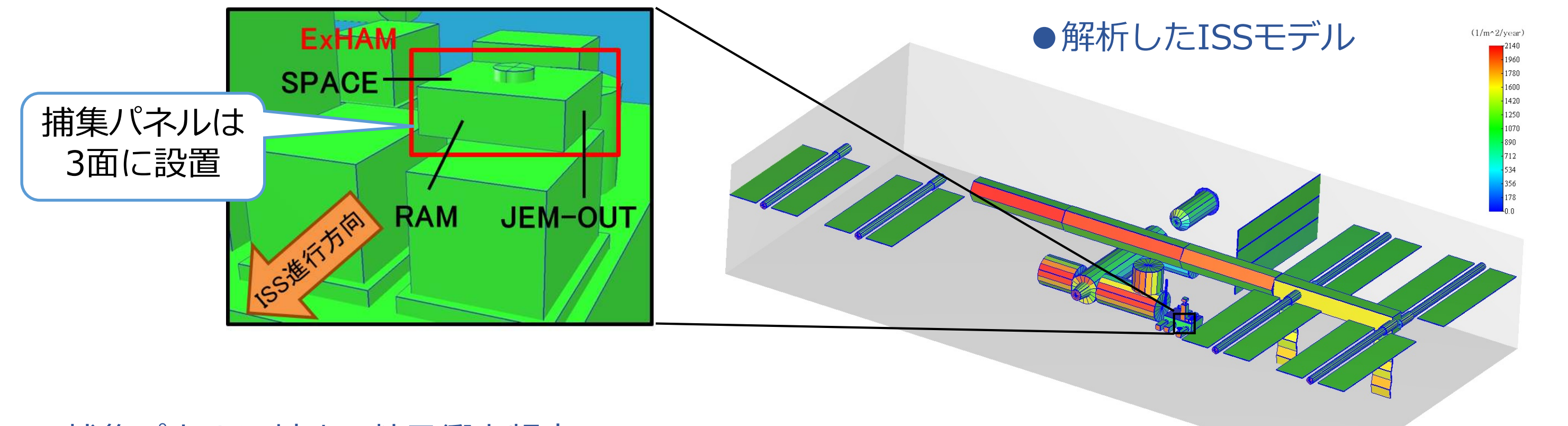
Cour-Palais式で推定されたクレータ深さより、実際のクレータは浅い傾向
→ たんぽぽ捕集パネルの微小デブリには、Cour-Palais式を適用できない

2. 捕集パネルの衝突頻度解析

デブリ環境モデル	MASTER-2009 (ESA)
メテオロイドモデル	Seasonal met. (Jennikens)
計算期間	1 Jan 2015 ~ 31 Dec 2015
軌道長半径	6,800km (高度約400km)
離心率	0°
軌道傾斜角	51.6°

“Turandot”を使って衝突頻度解析を実施

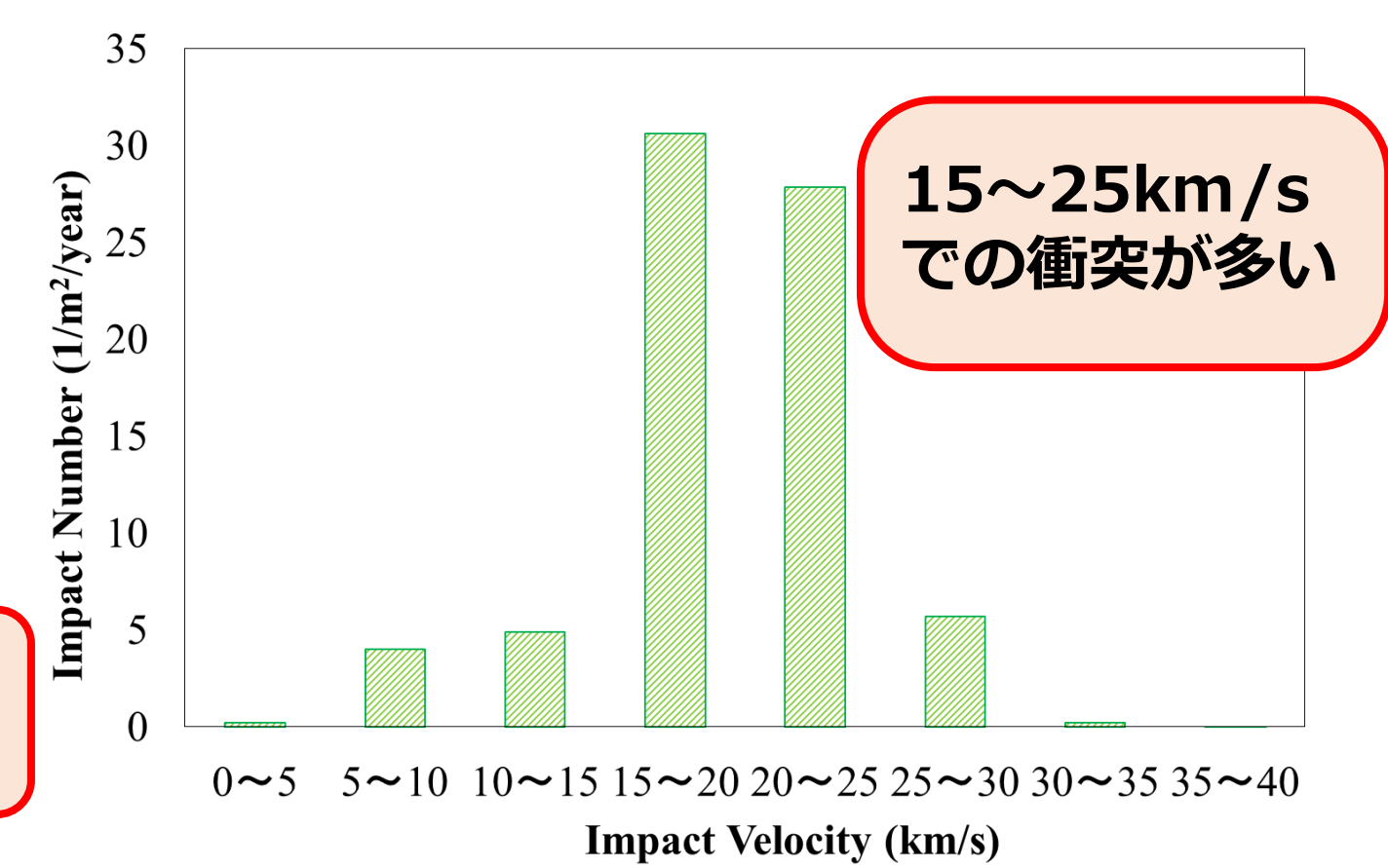
- JAXA開発のデブリ衝突リスク評価ツール
- 宇宙構造物の3次元モデルと
デブリ環境モデルを組み合わせ
衝突頻度を算出
- 構造物による遮蔽を考慮可能



●捕集パネルに対する粒子衝突頻度
※曝露面積 = 10,000mm²×4個

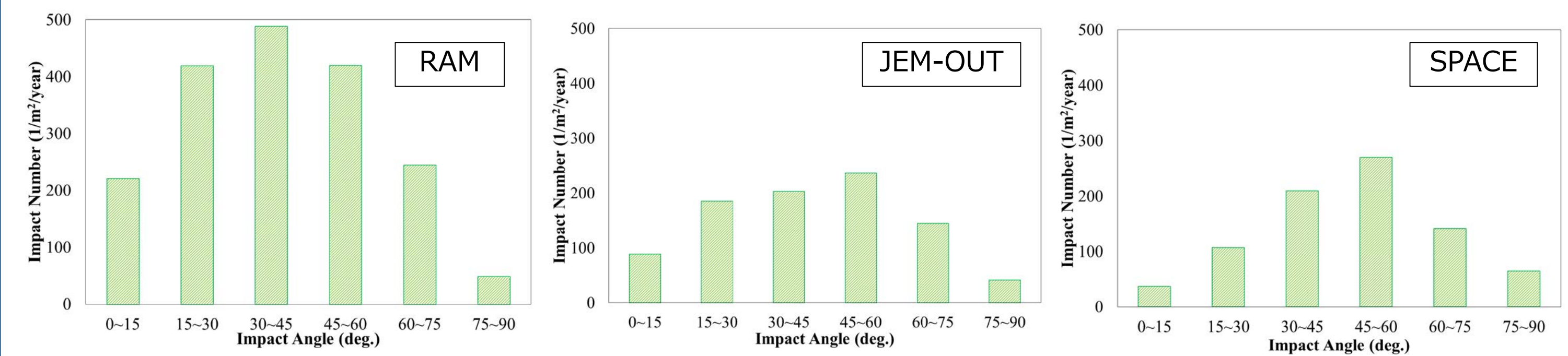
粒子直径	RAM	JEM-OUT	SPACE
100μm≤	0.1	0.1	0.1
10μm≤	7.8	3.2	6.0
1μm≤	31.7	16.2	27.2

●RAM面に対する衝突速度分布



15~25km/s
での衝突が多い

●衝突角度分布



衝突角度30°~60°の範囲について、事前にキャリブレーションを行っておく必要がある

4. 数値解析によるキャリブレーション

衝突頻度の高い15~25km/sは地上試験での実現が非常に困難

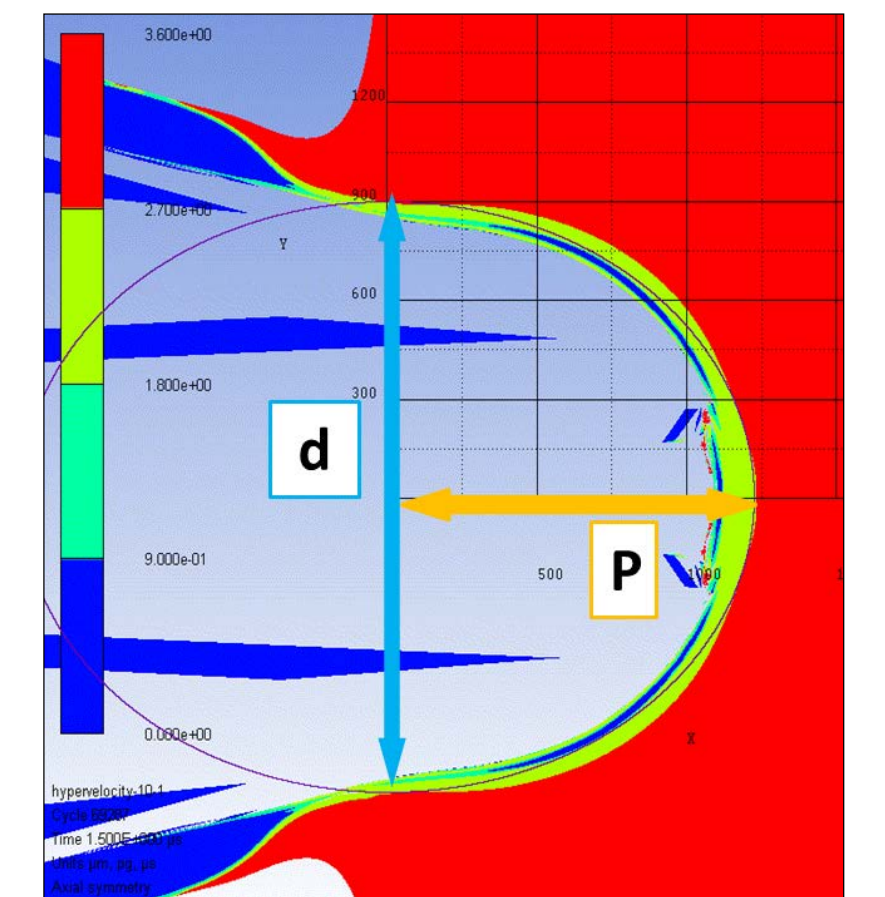
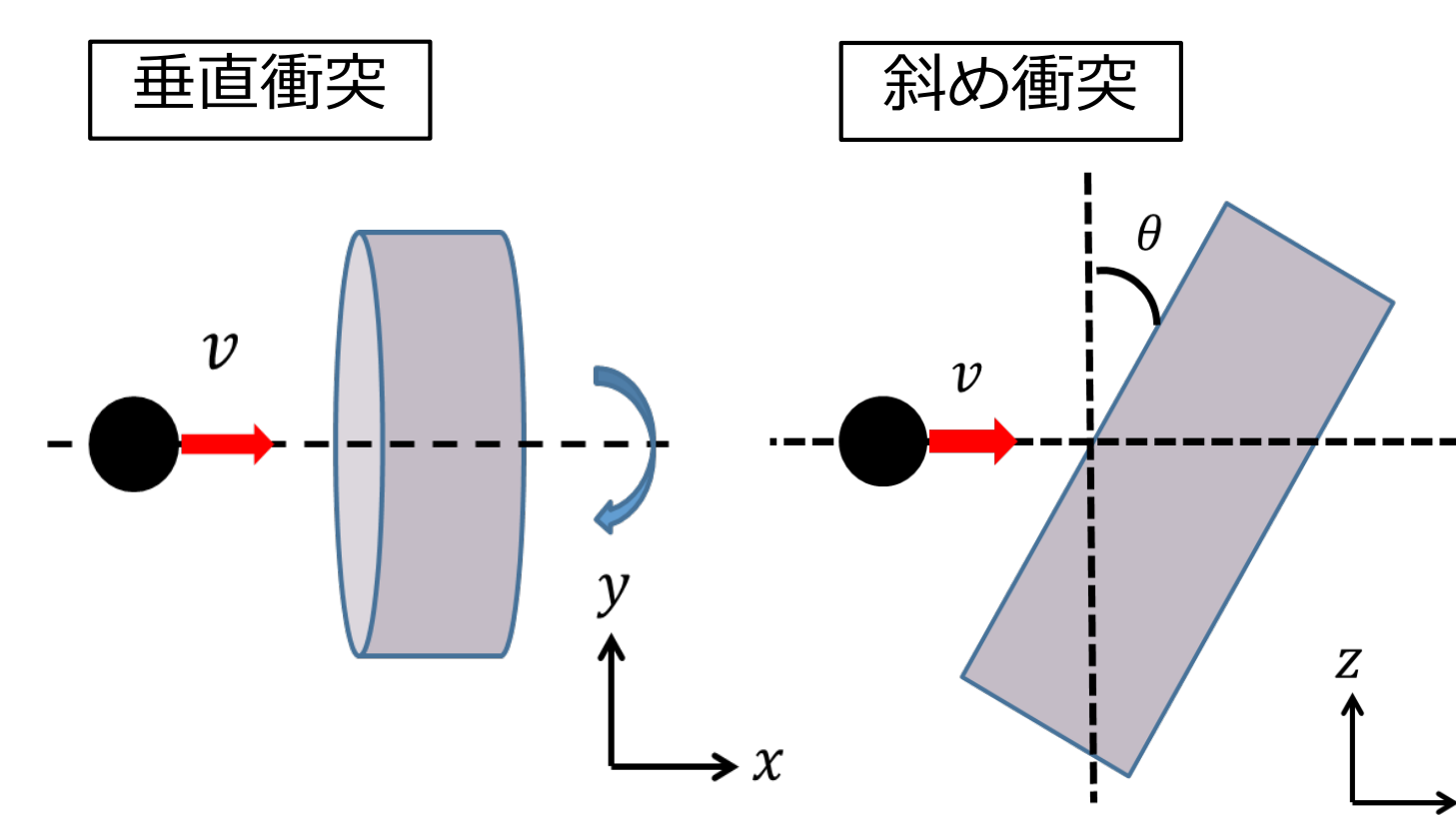
→ 超速度領域はANSYS社の衝突解析コード“AUTODYN”を用いて数値解析

●数値解析モデル

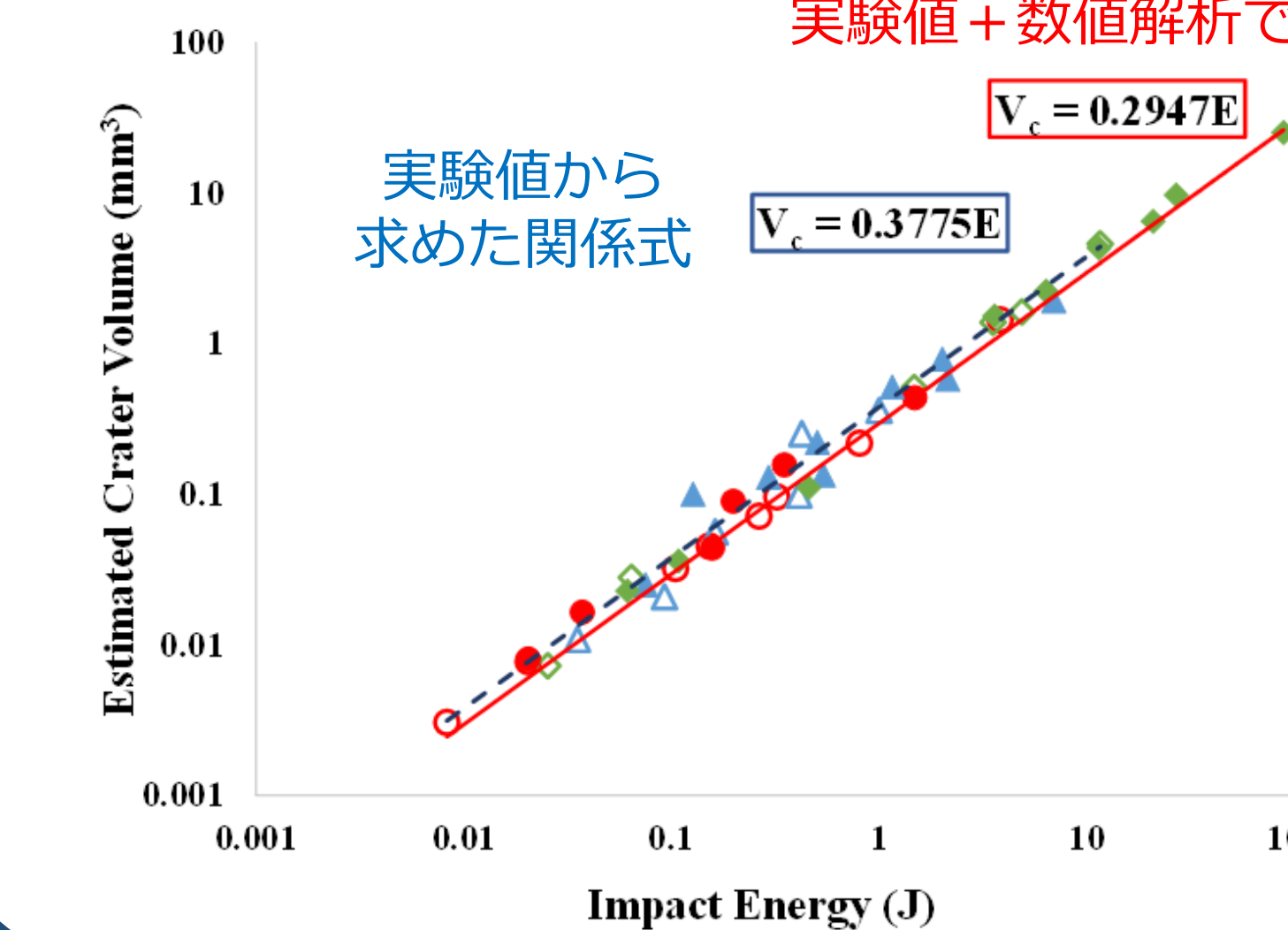
- Lagrange-Lagrange解析
- 垂直衝突は二次元軸対称モデル
- 斜め衝突は三次元モデル

●クレータ形状の定義

密度 2.7 g/cm³をクレータの境界と仮定



●解析結果 (垂直衝突)



実験値 + 数値解析で求めた関係式

$$V_c = 0.2947E$$

実験値から
求めた関係式

$$V_c = 0.3775E$$

数値解析の結果でも
クレータ体積は
衝突エネルギーと強い相関

衝突エネルギーが
10J以上の領域では、
傾きが異なるようにも
見える

5. まとめ

たんぽぽ捕集パネルを用いたデブリ環境モデル妥当性評価の準備として、以下を実施した

- Turandotを用いて、捕集パネルに衝突する粒子の数・衝突速度・衝突角度を
デブリ環境モデルから推定した
- 垂直衝突に対し、衝突試験と数値解析によって
アルミケースに生じたクレータ体積とデブリ衝突エネルギーの関係式を得た

今後は、以下に取り組む予定である

- Turandotを用いた、衝突方位の推定
- 衝突角度を含んだキャリブレーション式の構築
- エアロゲルのキャリブレーション
- 微小な衝突痕の計測・分析方法について検討