Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-25

多孔質小惑星の斜め衝突における角運動量輸送効率の標的強度依存性

大西, 彩華 ； 保井, みなみ ； 荒川, 政彦 ； 大川, 初音 ； 柿木, 玲亜 ； 豊嶋, 遥名 ； 澤, みゆう ； 菊川, 涼介 ； 大坪, 晴太郎 ； 大橋, 拓磨

(Citation)
神大「知の種」

(Issue Date)
2026

(Resource Type)
conference poster

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/0100505675

KOBE UNIVERSITY

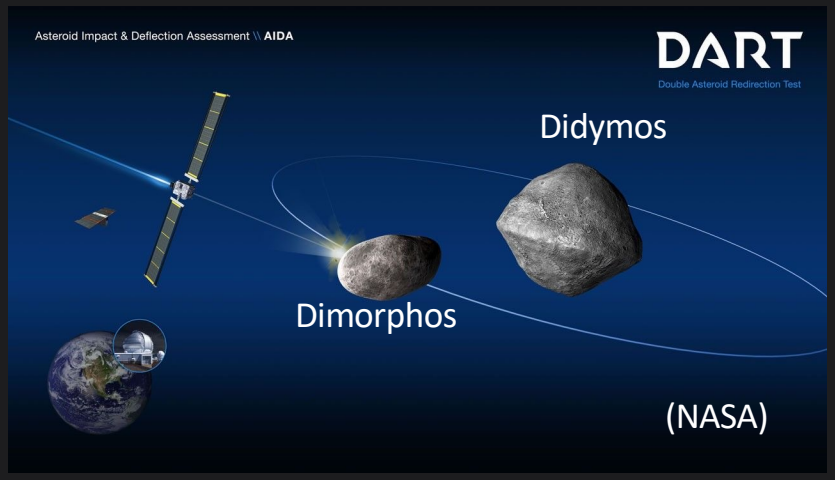
多孔質小惑星の斜め衝突における角運動量輸送効率の標的強度依存性

大西彩華, 保井みなみ, 荒川政彦, 大川初音, 柿木玲亜,

豊嶋遥名, 澤みゆう, 菊川涼介, 大坪晴太郎, 大橋拓磨

神戸大学 大学院理学研究科

DART



衝突直前のDimorphos表面 ▼

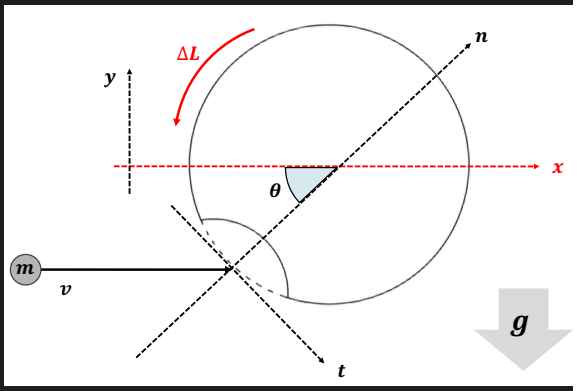


- DART (Double Asteroid Redirection Test, NASA, 2022)
  - 軌道偏向ミッション
  - 標的：二重小惑星Didymosの衛星Dimorphos
  - 公転周期の短縮は予想では7分程度 (Chang et al., 2018)
    - ✓ 実際は**33.24 min短縮** (Chabot et al., 2024)

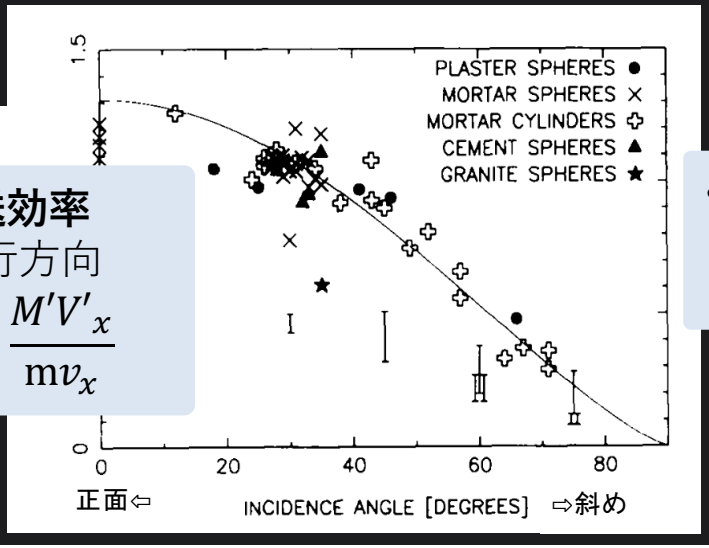
- RyuguやBennuと同様の**ラブルパイル構造**
  - エジェクタ噴出の反作用が大きな運動量をDimorphosに与えていた？
  - 凝集力は数Pa未満(Raducan et al., 2024)

先行研究

- **Yanagisawa et al., 1991**
  - 弾丸：鉛，アルミ
  - **標的：石膏，セメント，花崗岩，モルタル（球），モルタル（円柱）**
  - 衝突速度：0.3-1.2 km/s



- $A(\cos\theta)^{\gamma}$でフィッティングできる
- クレーターが深くなると，輸送効率が上がる

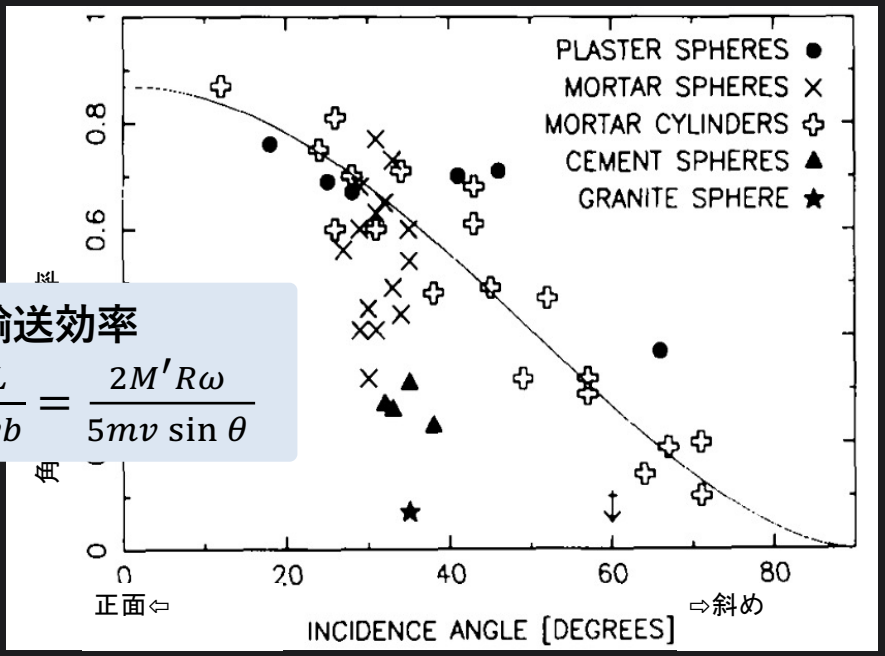


- **運動量輸送効率**
  - 弾丸進行方向

$$\xi = \frac{M'V'_x}{mv_x}$$

- **角運動量輸送効率**

$$\zeta_L = \frac{\Delta L}{mvb} = \frac{2M'R\omega}{5mv\sin\theta}$$



- DARTの手法を他のNEOにも応用していくためには
  様々な実験条件/標的に対して，衝突による軌道の変化を調べることが重要
  - 先行研究では，一枚岩の小惑星を模擬した高強度の標的に対して衝突実験が行われている
  - MPa未満の低強度の標的に対する衝突実験はほとんど行われていない

目的

多孔質かつ低強度な標的に斜め衝突実験を行い、衝突における運動量輸送効率，角運動量輸送効率について，標的**強度依存性**を調べる

標的

- 100μm石英砂：石膏＝f：1　（質量比）
- 直径6cm
- 糸でつるして衝突させるため、クリップを埋め込む



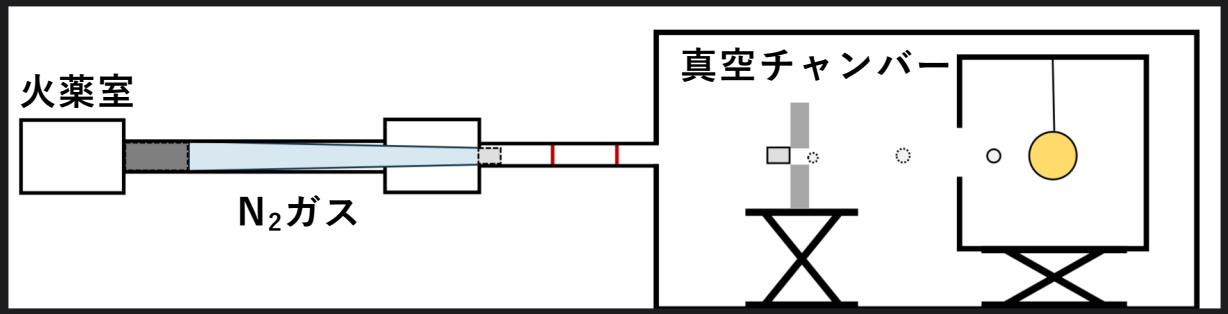
- 同試料でブラジリアン試験（圧縮引っ張り試験）を行い，引張破壊強度を計測

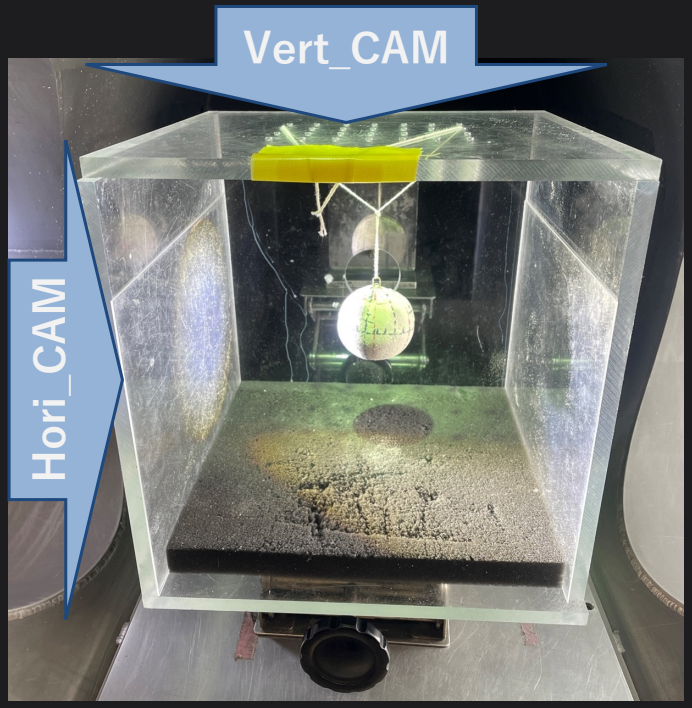
f	0	2	3	6	20
引張破壊強度[kPa]	2127±30	1017±49	713±50	352±24	52±6
空隙率 [%]	51.1±0.4	28.1±1.8	29.8±0.3	39.1±1.5	43.0±0.7

衝突実験

@横型二段式軽ガス銃（神戸大学）

- 2方向から高速度カメラで撮影（10^5 fps）



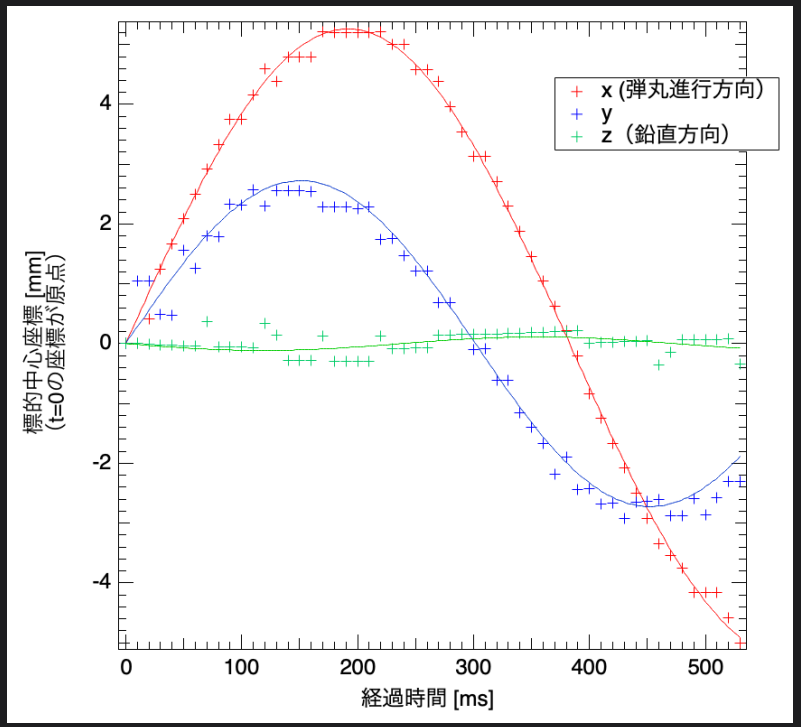


- 実験条件

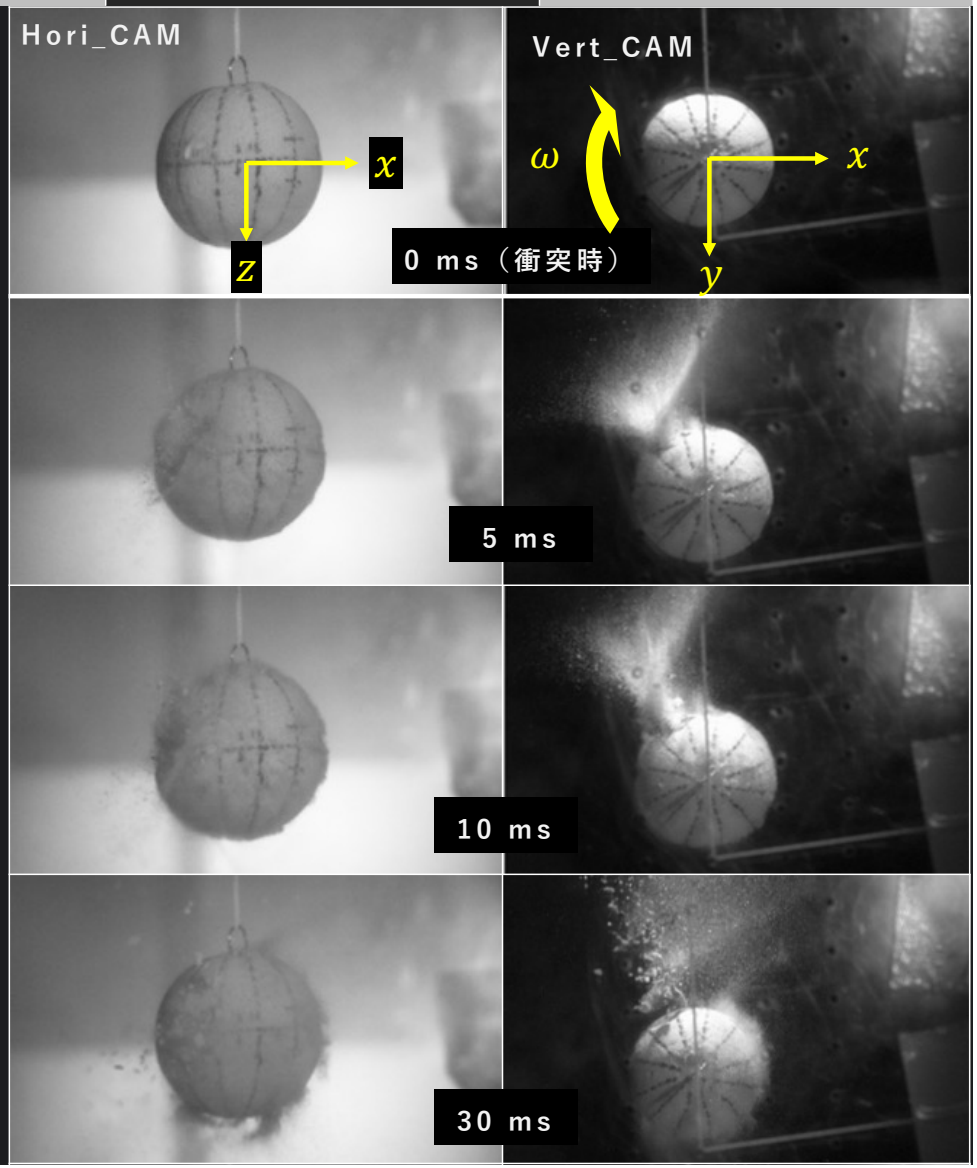
弾丸	ポリカーボネート球（直径：2mm, 質量：4.9mg）
衝突速度	1.07~1.28km/s
衝突角度	2°　（正面）～73°　（斜め）
真空度	23~58Pa

衝突の様子

- 52kPa (f=20)
- 衝突角度：54.0°

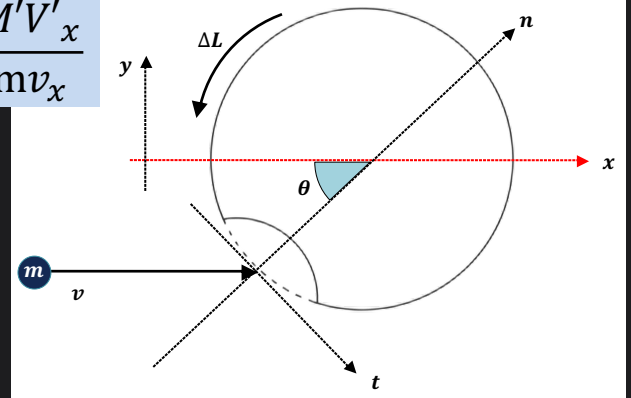


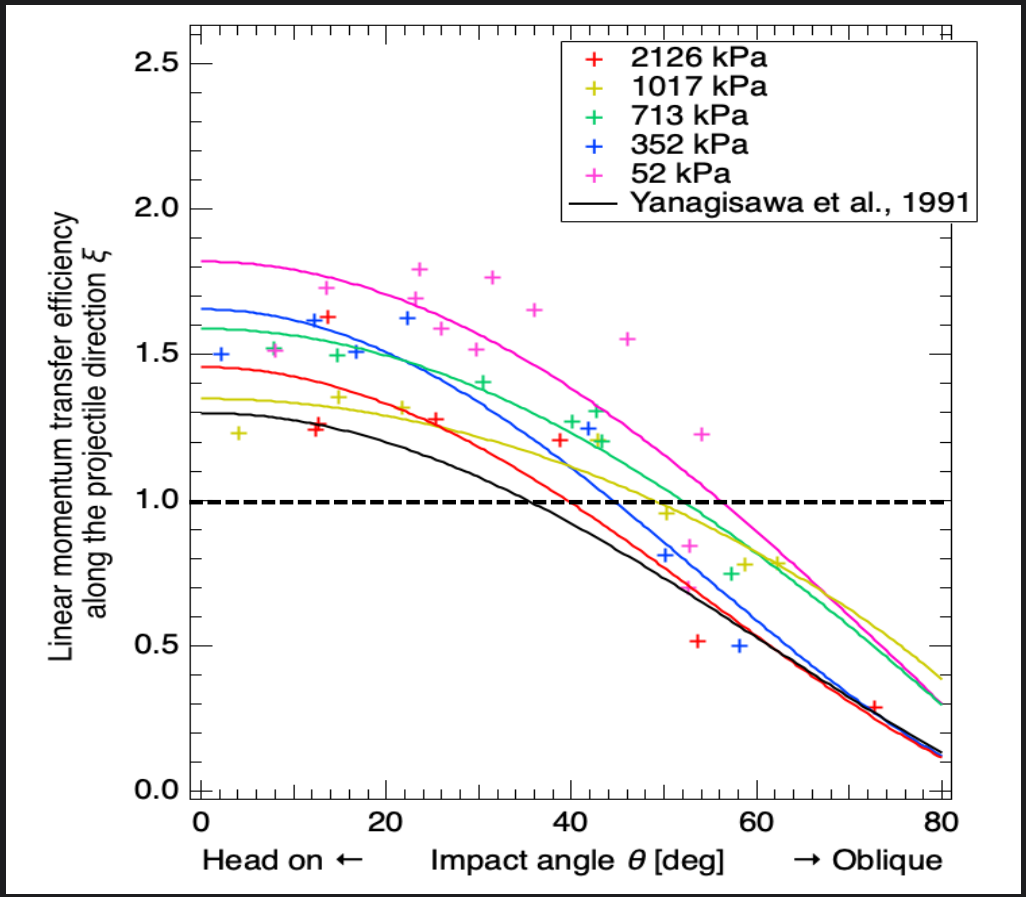
- 球標的の中心座標を3次元で追跡
- 位置-時間グラフをsinカーブで近似
- t=0における傾きを標的の初速($V'_{x,y,z}$)とする



運動量輸送効率（弾丸進行方向）ξ

$$\xi = \frac{M'V'_x}{mv_x}$$

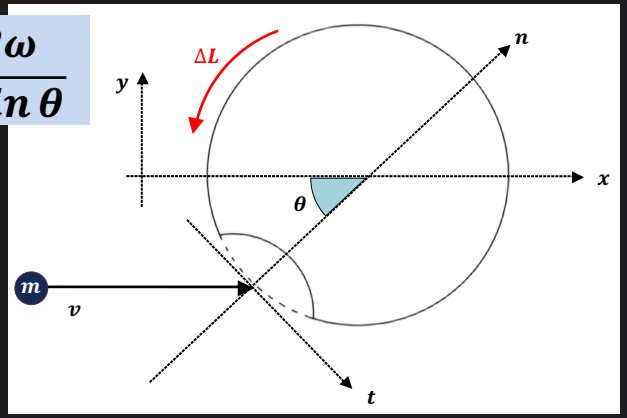


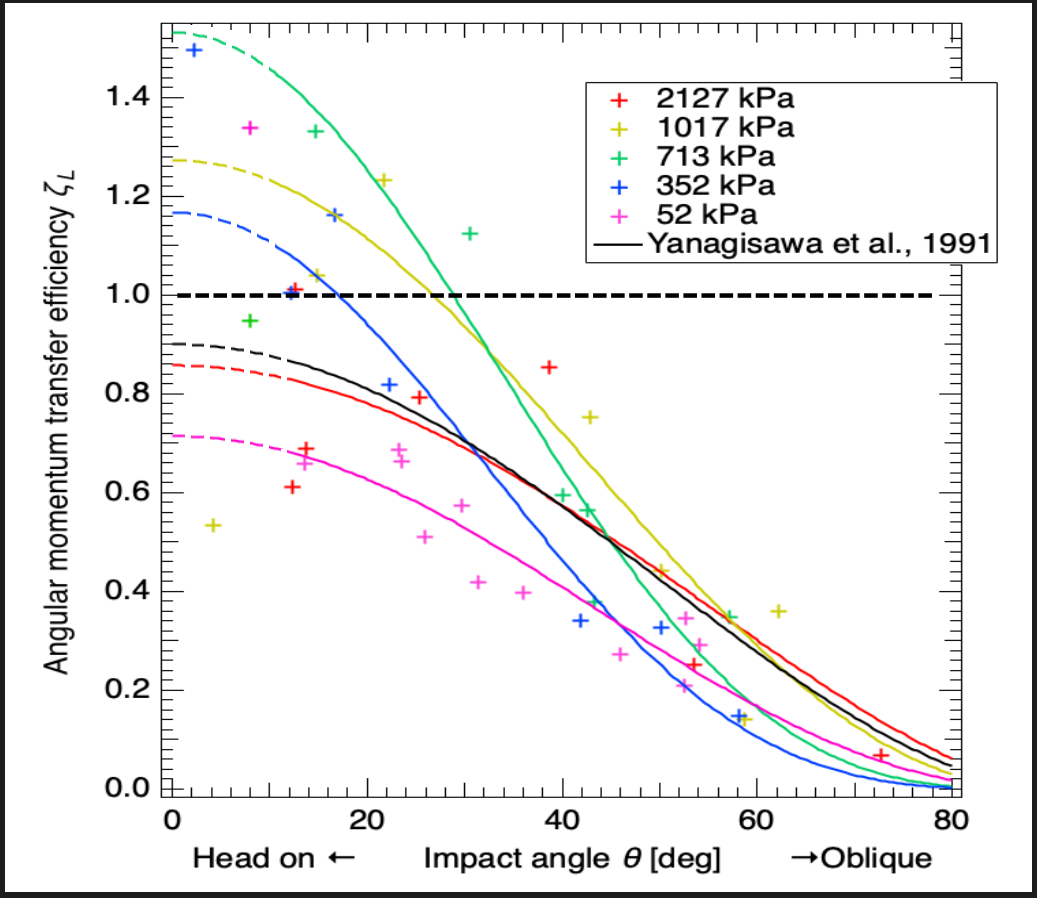


- 斜め衝突に近づくにつれて0に収束
  - 弾丸が運動量をもっている
  - エジェクタ量が少ない
- 低強度標的は加速しやすい
  - 高強度標的よりエジェクタ量が多く，噴出の反作用で加速
- $\xi = A(\cos\theta)^{\gamma}$ (Yanagisawa et al, 1991)

角運動量輸送効率ζ_L

$$\zeta_L = \frac{\Delta L}{mvb} = \frac{2M'R\omega}{5mv\sin\theta}$$

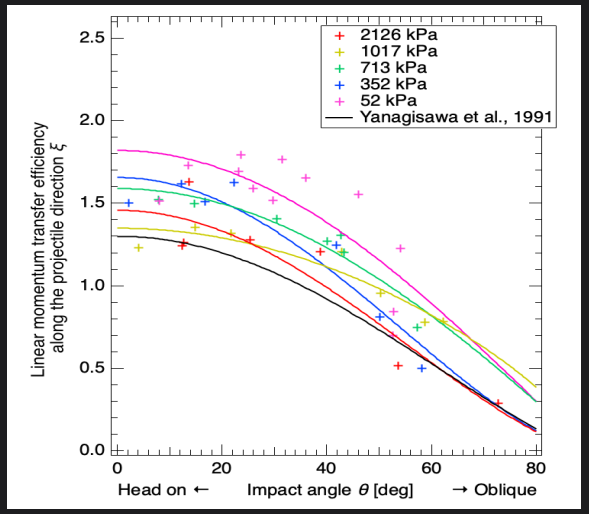


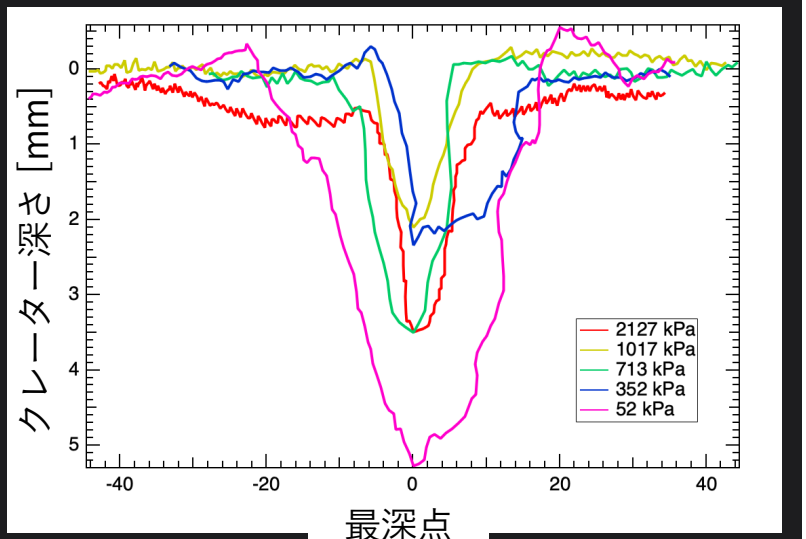


- 斜め衝突では0に収束
- $\zeta_L = B(\cos\theta)^{\gamma}$ (Yanagisawa et al, 1991)
  - （フィッティングには$\theta > 10°$のみ使用）
- **713kPaの標的が輸送効率最大**

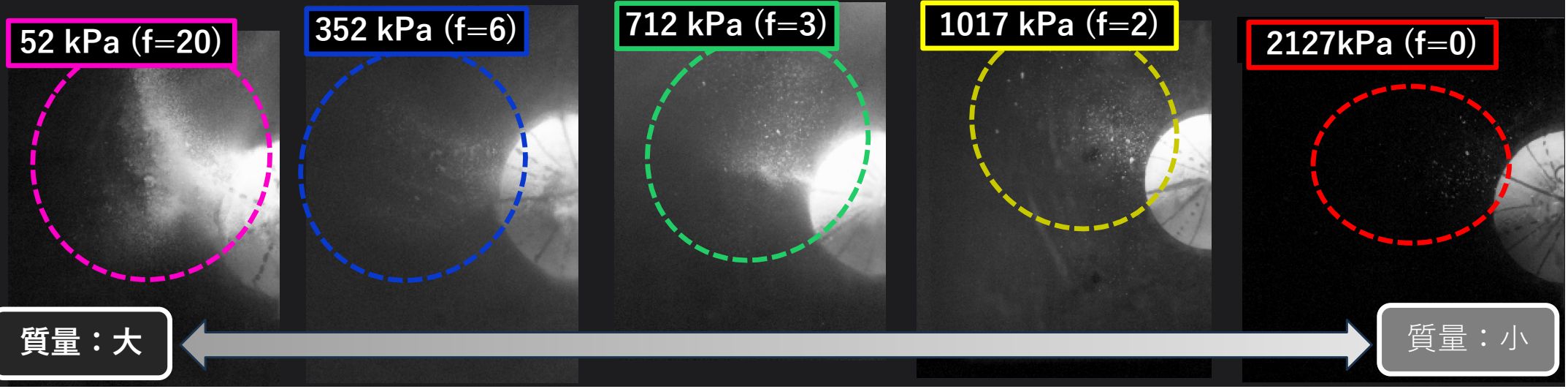
運動量輸送効率ξ

- エジェクタ噴出の反作用による
  運動量変化
  - **エジェクタ質量**



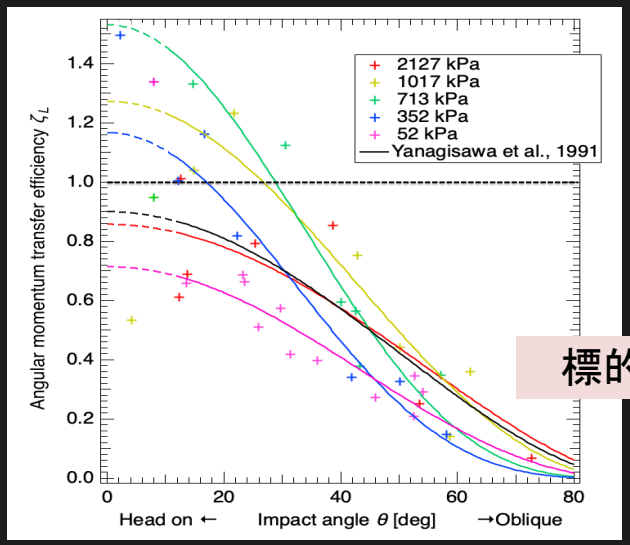


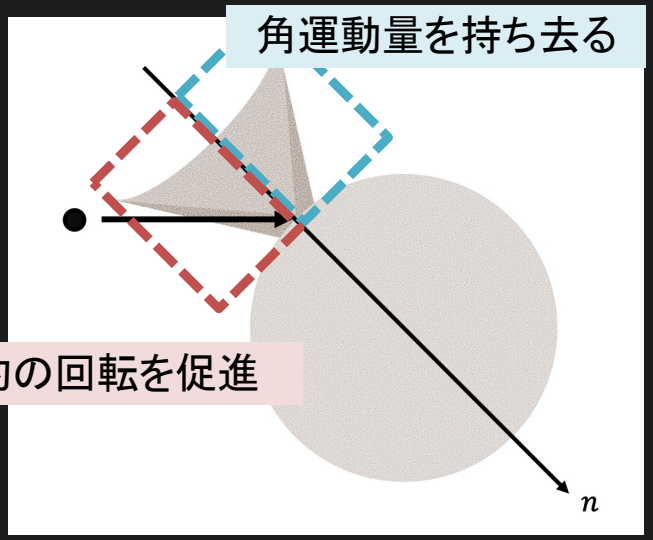
- θ~13°の衝突で比較（衝突から10ms経過後）



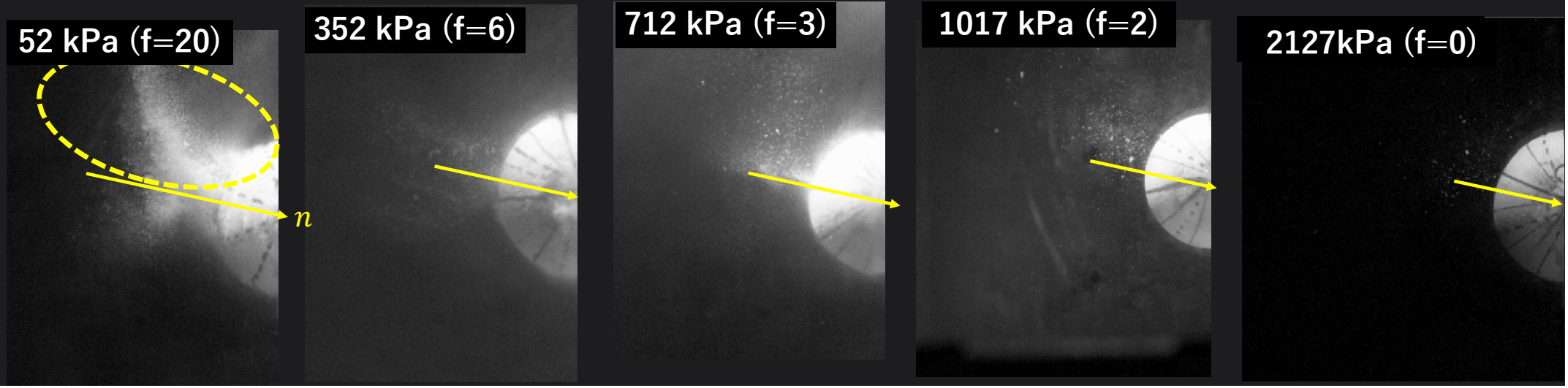
角運動量輸送効率ζ_L

- エジェクタ噴出の反作用による
  角運動量変化
  - **エジェクタ質量**
  - **噴出方向**





- θ~13°の衝突で比較（衝突から10ms経過後）



まとめ

- 多孔質かつ低強度な標的に斜め衝突実験を実施し、運動量輸送効率および角運動量輸送効率を測定
  - 強度は2126~52 kPaで5種類

- 運動量輸送効率（弾丸進行方向）：強度が下がると増加
  - 低強度標的の方がエジェクタ量が多く, 噴出の反作用で加速されやすい

- **角運動量輸送効率：中強度（713kPa)標的が最大, 低強度・高強度ではともに減少**
  - 高強度標的：エジェクタ量が少ない
  - 低強度標的：エジェクタが標的の回転と同じ向きに噴出し, 運動量を持ち去る
  - **中強度標的：一定のエジェクタ量があり, エジェクタ噴出の反動で回転か促進される**