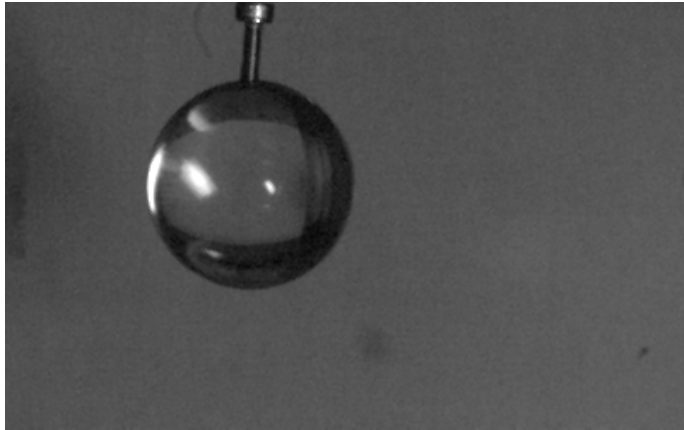


PERC/Chitechの高速衝突実験室の紹介



黒澤 耕介, 松井 孝典

千葉工業大学 惑星探査研究センター

「日本における超高速衝突実験の現状と将来展望」研究会 於 宇宙科学研究所 2013 12/20

話の流れ

前半: PERCに新設された衝突実験施設の紹介

1. 主な仕様
2. 計測機器群の紹介
3. サボ分離開発状況
4. iSALE shock physics codeの導入

後半: Impact jetting発生 of 超高速撮像計測

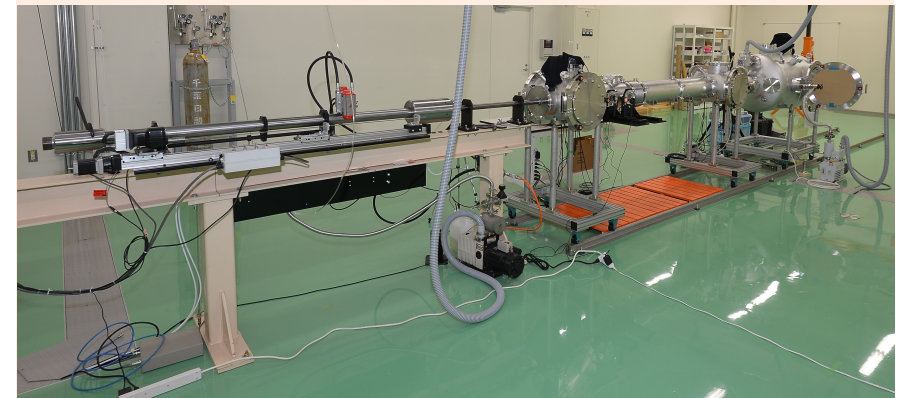
1. 斜め衝突後の衝突体の運動の重要性
2. 超高速撮像実験
3. "Downrange jet"速度の衝突速度依存性

新型二段式軽ガス銃の主な仕様

- ☆ 銃身は4.6 mmφ (i.e., 飛ばせる弾丸の最大径)
- ☆ 高速衝突に特化
 - a. 水素の浸蝕に強い超硬金属の採用
 - b. 水圧ピストンによる組み立て
 - c. 自動銃身清掃装置
- ☆ ライフル溝による回転弾丸
 - a. 安定した弾道
 - b. 遠心力を利用したサボ分離
- ☆ 大容量体積をもつ下流真空チャンバー (~500 L)
(cf., 水素ガス管の体積は~0.3 L)

新型二段式軽ガス銃の外観

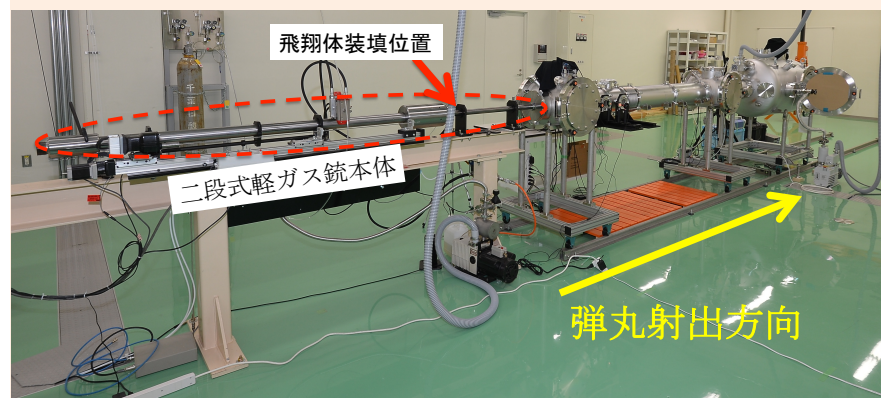
全体像



PAI社製(ISASの銃の弟にあたる)

新型二段式軽ガス銃の外観

全体像

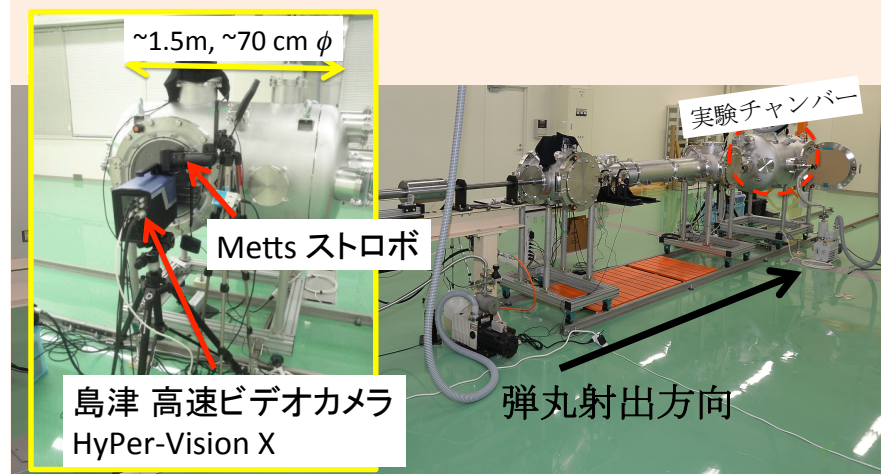


新型二段式軽ガス銃の外観

全体像



新型二段式軽ガス銃の外観

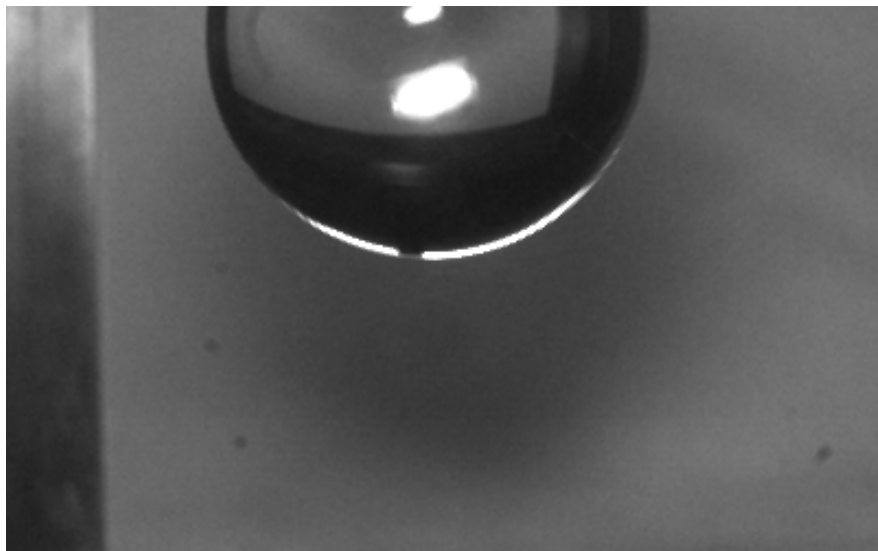


PAI社製(ISASの銃の弟にあたる)

計測機器類

衝突蒸発/化学反応計測に適した3大機器

1. 島津製作所 HPV-X (高速ビデオカメラ)
☆最高で100 ns/frameの世界最高速ビデオカメラ
※現状では世界で二台しか出荷されていない(もう一台はISAS)
2. 浜松ホトニクス C7700 (時間分解型高速分光計)
☆時間、波長、カウントの3次元分光データ
3. ファイファ QMG220 (四重極質量分析計)
☆衝突蒸発気体を直接化学分析



Polycarbonate (4.6 mmφ) -> アクリル球(50 mmφ)

計測機器類

衝突蒸発/化学反応計測に適した3大機器

1. 島津製作所 HPV-X (高速ビデオカメラ)

☆最高で100 ns/frameの世界最高速ビデオカメラ

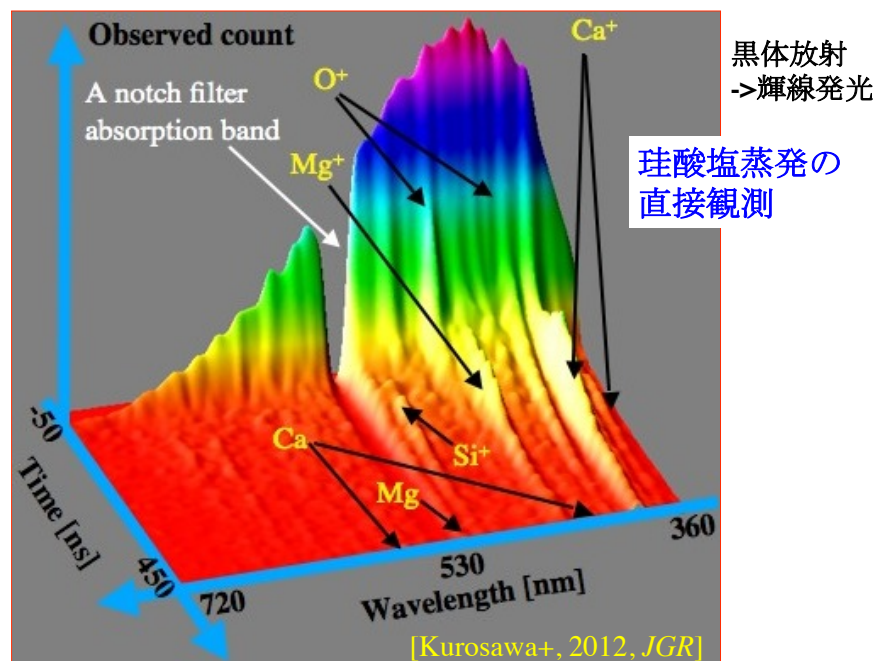
※現状では世界で二台しか出荷されていない(もう一台はISAS)

2. 浜松ホトニクス C7700 (時間分解型高速分光計)

☆時間、波長、カウントの3次元分光データ

3. ファイファーマ QMG220 (四重極質量分析計)

☆衝突蒸発気体を直接化学分析



計測機器類

衝突蒸発/化学反応計測に適した3大機器

1. 島津製作所 HPV-X (高速ビデオカメラ)

☆最高で100 ns/frameの世界最高速ビデオカメラ

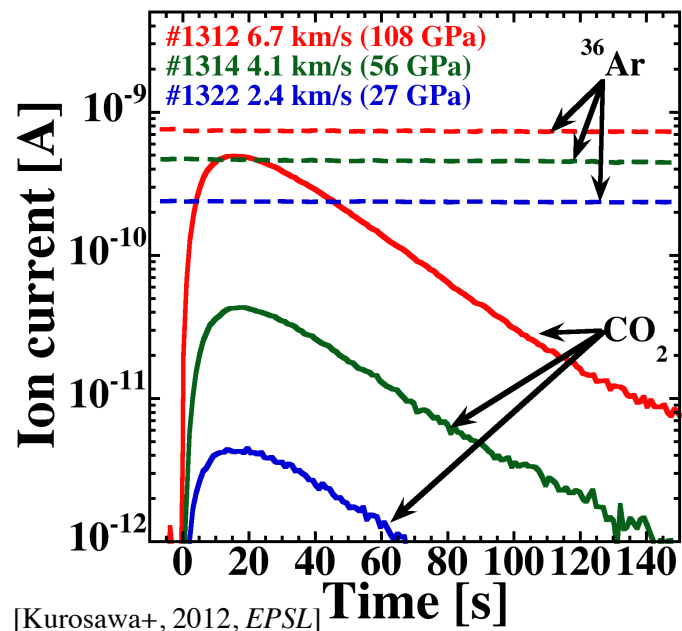
※現状では世界で二台しか出荷されていない(もう一台はISAS)

2. 浜松ホトニクス C7700 (時間分解型高速分光計)

☆時間、波長、カウントの3次元分光データ

3. ファイファーマ QMG220 (四重極質量分析計)

☆衝突蒸発気体を直接化学分析



サバ分離開発状況



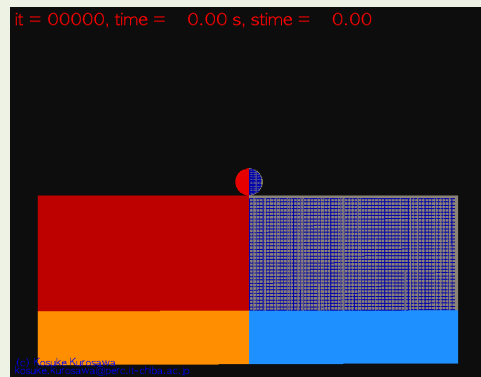
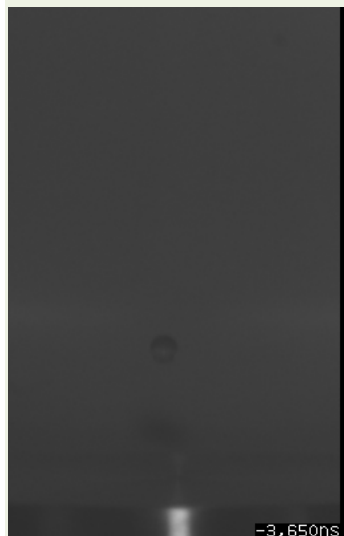
iSALE shock physics codeの導入

iSALE: Impact-SALE (Simplified Arbitrary Lagrangian Eulerian)

流体運動 & 応力場に対する応答
 (ANEOS or Tillotson EOS, 強度, 空隙)

ポリカ球 -> Al円板(2cm 厚), 7.3 km/s

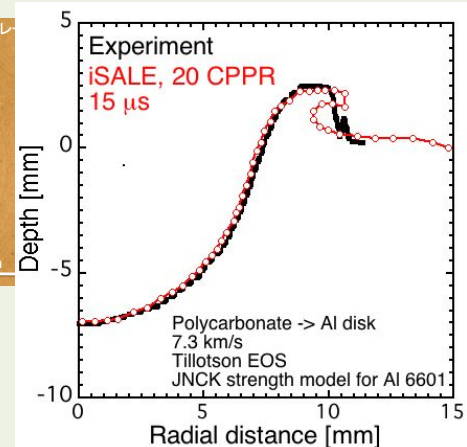
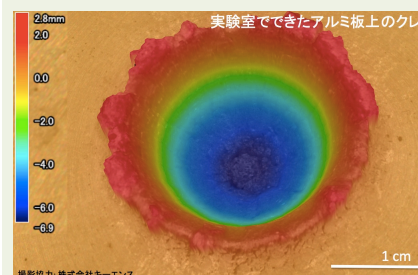
It = 00000, time = 0.00 s, stime = 0.00



iSALE shock physics codeの導入

iSALE: Impact-SALE (Simplified Arbitrary Lagrangian Eulerian)

[Amsden et al., 1980]



話の流れ

前半: PERCに新設された衝突実験施設の紹介

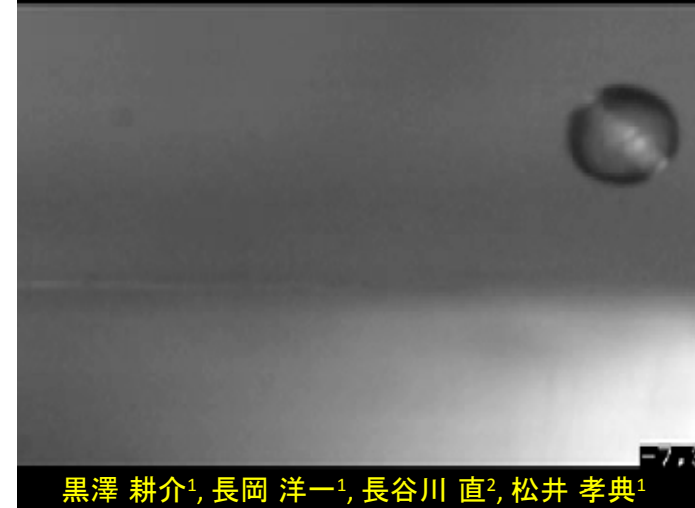
1. 主な仕様
2. 計測機器群の紹介
3. iSALE shock physics codeの導入

後半: Impact jetting発生時の超高速撮像計測

1. 斜め衝突後の衝突体の運動の重要性
2. 超高速撮像実験
3. "Downrange jet"速度の衝突速度依存性

Impact jetting発生過程の超高速撮像計測

ポリカーボネイト球 -> ポリカーボネイト板, 45度衝突



黒澤 耕介¹, 長岡 洋一¹, 長谷川 直², 松井 孝典¹

¹千葉工大 惑星探査研, ²ISAS/JAXA

斜め天体衝突

天然の隕石衝突は45°を中心とする斜め衝突

[Shoemaker, 1962]

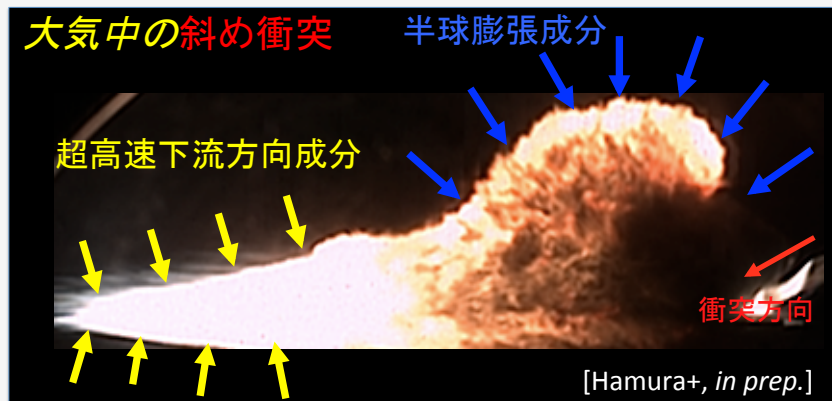
斜め衝突と惑星科学

- ☆ 月の起源 [e.g., Melosh & Sonnet, 1986]
- ☆ Multiple Tunguska eventsの発生 [Schultz & Gault, 1990]
- ☆ 金星のクレータに見られるRun-out flow の起源 [Sugita & Schultz, 2002]
- ☆ 大気を持つ惑星では強烈な熱輻射源 [Sugita & Schultz, 2003]
- ☆ 大気散逸効率の劇的な向上 [Shuvalov, 2009]
- ☆ 周辺大気との化学反応による生命前駆物質合成 [Kurosawa+, 2013]

斜め衝突の衝撃圧縮段階 -> 実験でも理論でも未踏領域

※最近2-D衝突流体計算が試みられ始めた [Johnson & Melosh, 2013]

斜め衝突後に2成分あり [Schultz & Gault, 1990]



× 衝突速度と同等の速度で下流へ飛び去る。 [Schultz & Gault, 1990]

× 衝突速度の~2倍で地表面に沿って飛び去る。 [Hamura+, in prep.]

斜め衝突後に2成分あり [Schultz & Gault, 1990]



本研究の目的

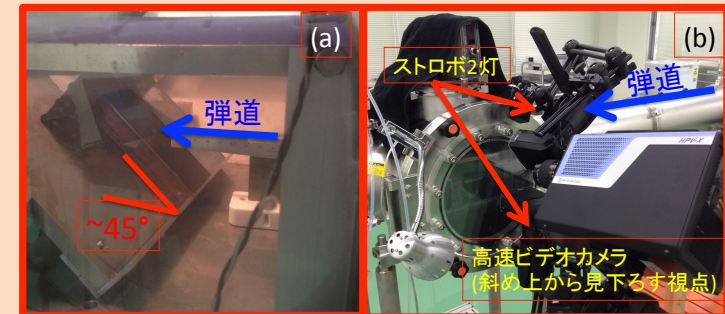
真空中での斜め衝突の超高速撮像(100 ns/frame)
衝突体の加速機構を明らかにする。

※実験室における接触・圧縮段階の特徴時間

$$t = D_{\text{projectile}} / v_{\text{impact}} = (0.5 - 1) \mu\text{s}$$

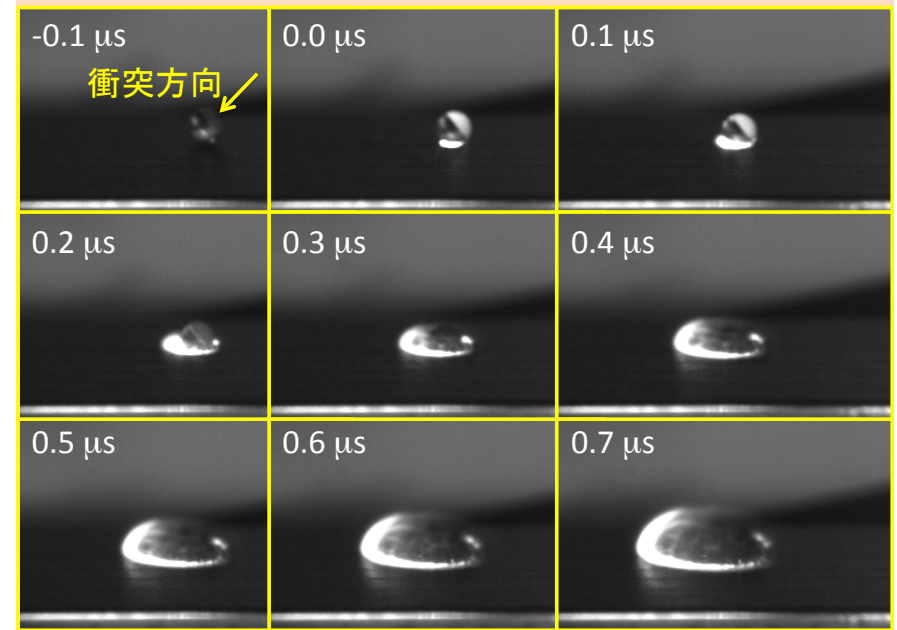
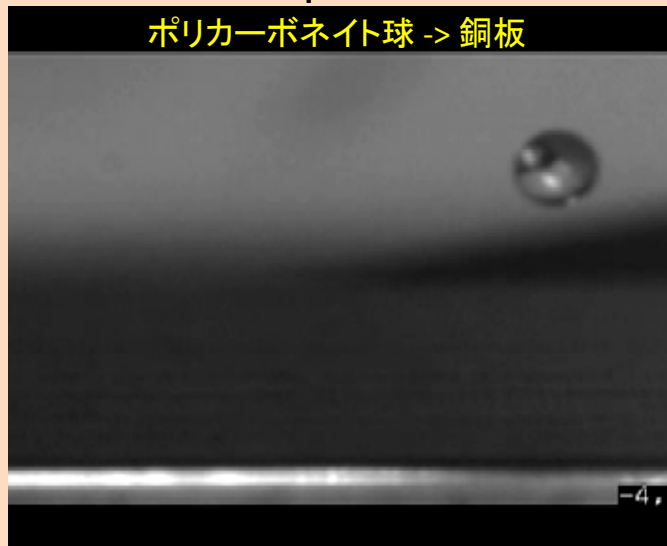
斜め衝突実験@PERC

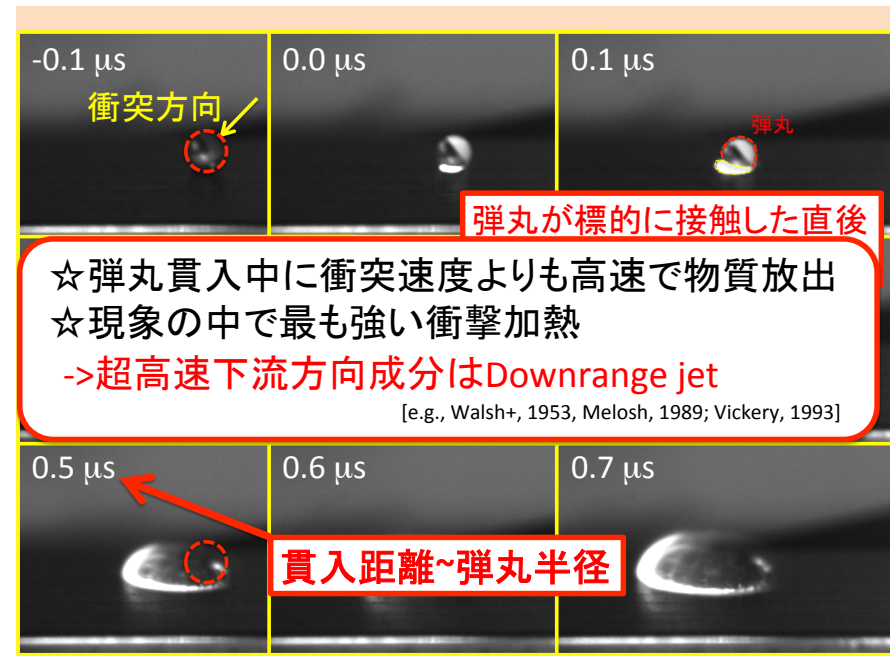
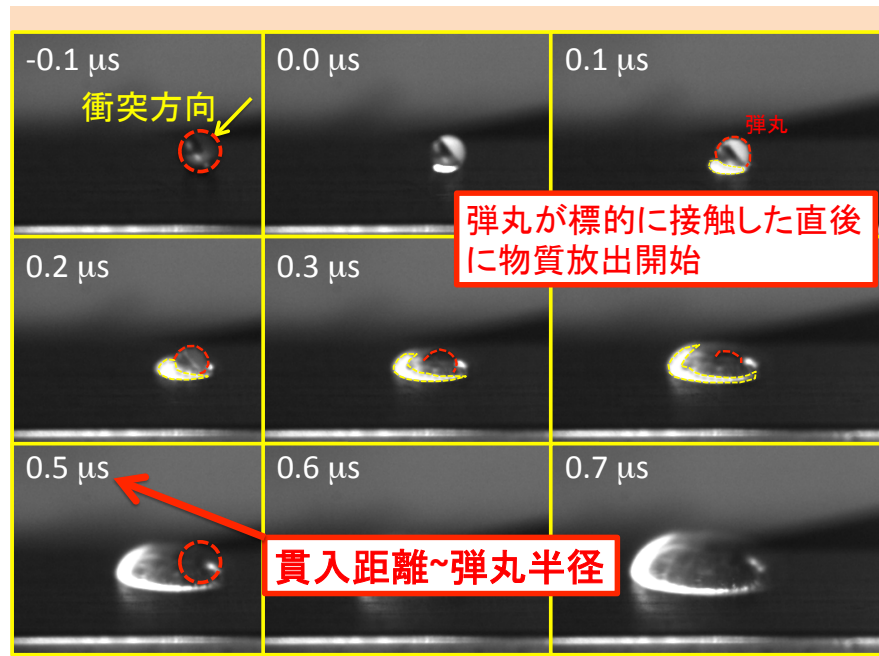
弾丸: ポリカーボネイト球 (4.6 mm ϕ)
標的: 銅板, ポリカーボネイト板, アルミ板 (2 cm厚)
真空度: <100 Pa
衝突速度: 2.8 – 6.9 km/s
衝突角度: $\sim 45^\circ$
撮像速度: 100 ns/frame << 弾丸貫入特徴時間



実験結果, $V_{\text{impact}} = 6.8 \text{ km/s}$

ポリカーボネイト球 -> 銅板



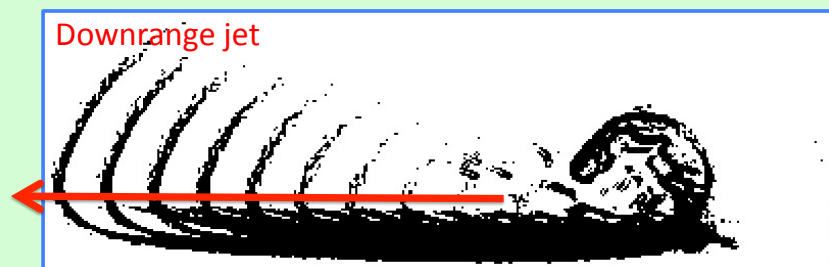


Jetting画像解析

Image Jによる画像処理で先端位置の変化を読み取る。

- 実測画像からShot前の画像データを差し引く。
- 背景部分のカウント値の最大値を取得する。
- 背景カウントの最大値を閾値として二値化する。

※自発光が強い領域を抜き出すことに相当



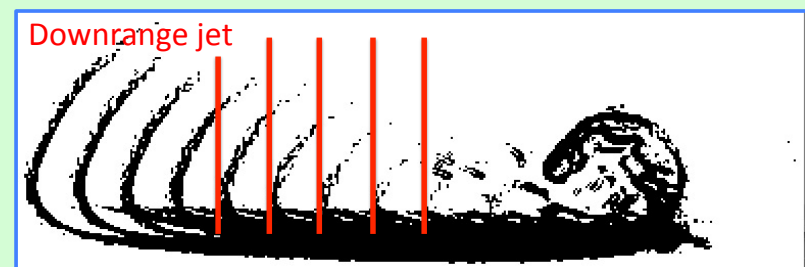
進行方向

Jetting画像解析

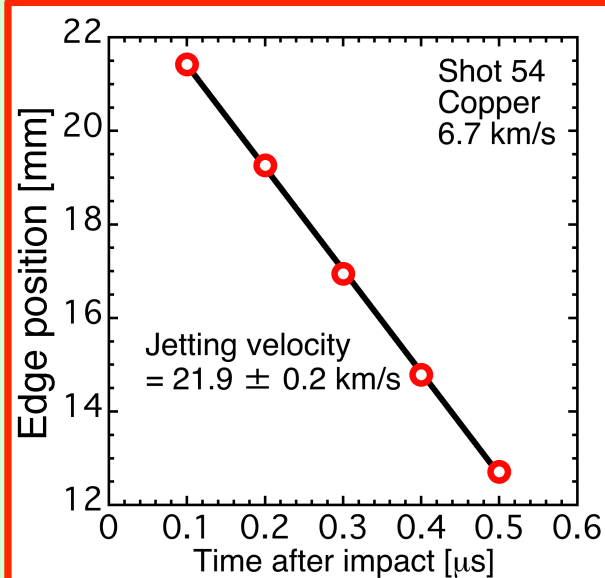
Image Jによる画像処理で先端位置の変化を読み取る。

- 実測画像からShot前の画像データを差し引く。
- 背景部分のカウント値の最大値を取得する。
- 背景カウントの最大値を閾値として二値化する。

※自発光が強い領域を抜き出すことに相当



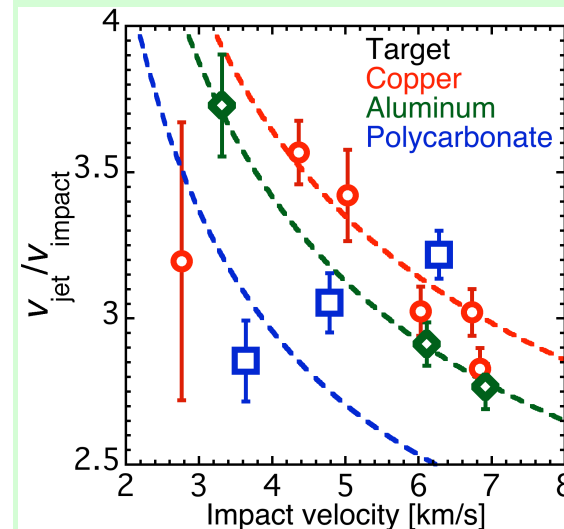
Jetting画像解析



を読み取る。
差し引く。
導する。
値化する。
に相当



Jetting速度比 vs 衝突速度



☆ 衝突速度の
~3倍まで加速!

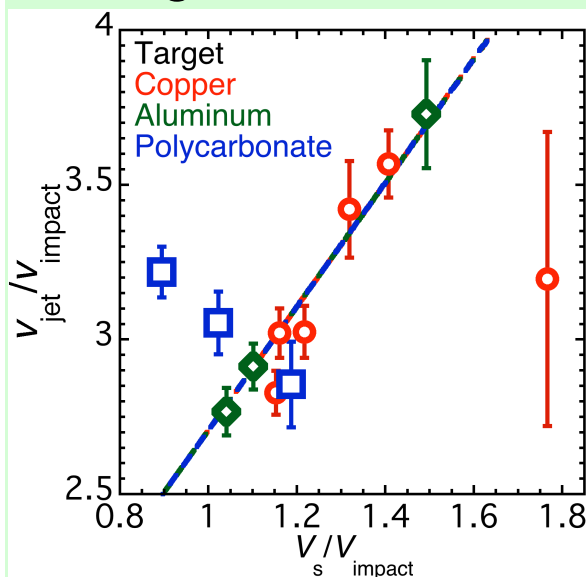
☆ Jetting質量の
上限値は~ $0.1M_p$

※ エネルギー保存則を
破らないようにするため

☆ ポリカ標的の場合
異なる傾向

点線: 衝撃波速度 + 接触点移動速度 + 衝突速度の並進成分

Jetting速度比 vs 規格化衝撃波速度



☆ 物質依存性が
消える。
(Cu, Al)

☆ $V_s/V_{imp} < 1$ で
傾向が変わる?

※ 実際は弾丸前面に
衝撃波面が張り付く。
->理論モデルを
改訂する必要

惑星科学的応用

Impact Jettingは球が衝突する場合に、
いつでも起こりうる現象 [Melosh & Sonett, 1986]

☆ 低速度衝突でのメルト生成 [e.g., Kieffer, 1980]

☆ 月の起源 [Melosh & Sonett, 1986]

☆ テクタイトの生成 [Vickery, 1993]

☆ Super-Earthからの大気散逸 [黒澤ら, 月惑星シンポ]

定量的予測には実験に基づいた理論モデルが必要。

※ 本研究以前はSchultzによる非公表データのみだった。

PERC/Chitechではコントロール実験結果を量産可能!

まとめ

斜め衝突の超高速撮像: Impact jettingの直接撮像

☆ 先行研究で報告されていた超高速下流方向成分の起源は斜め衝突のDownrange jet。

☆ Jetting速度は衝突速度の2.5~3.5倍に達する。

☆ Jetting質量の上限値は衝突体質量の<10 wt%。

今後は実験に基づいたJetting理論モデルの構築を目指す。

Special thanks ♪ 門野敏彦氏, 杉田精司氏, 川合信明氏, 荒川政彦氏, 中村昭子氏