

Dec. 22, 2010

レーザーを使った超高速度衝突実験について
Hypervelocity impact experiments using high-power laser

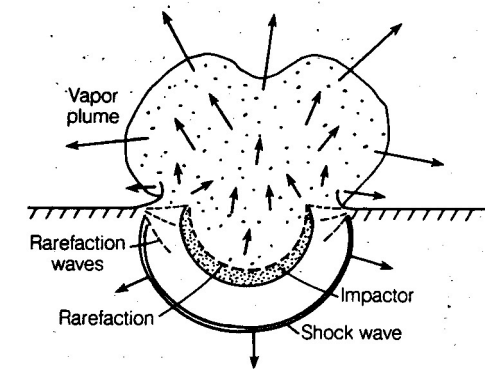
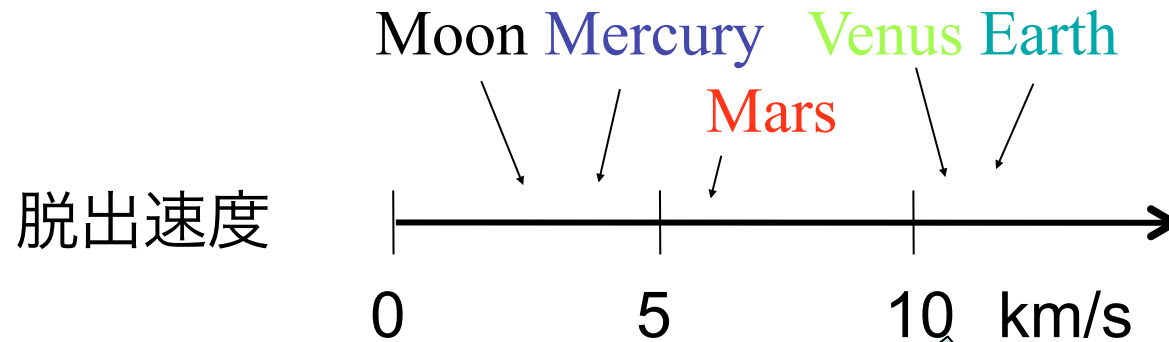
門野敏彦

大阪大学レーザーエネルギー学研究センター

- 10 km/s 以上での衝突実験
- 衝突により発生した蒸気雲からの
X線を観測

なぜ $> 10 \text{ km/s}$?

10 km/s以上での隕石衝突は
少なくとも金星と地球表面では、
必ず起こった



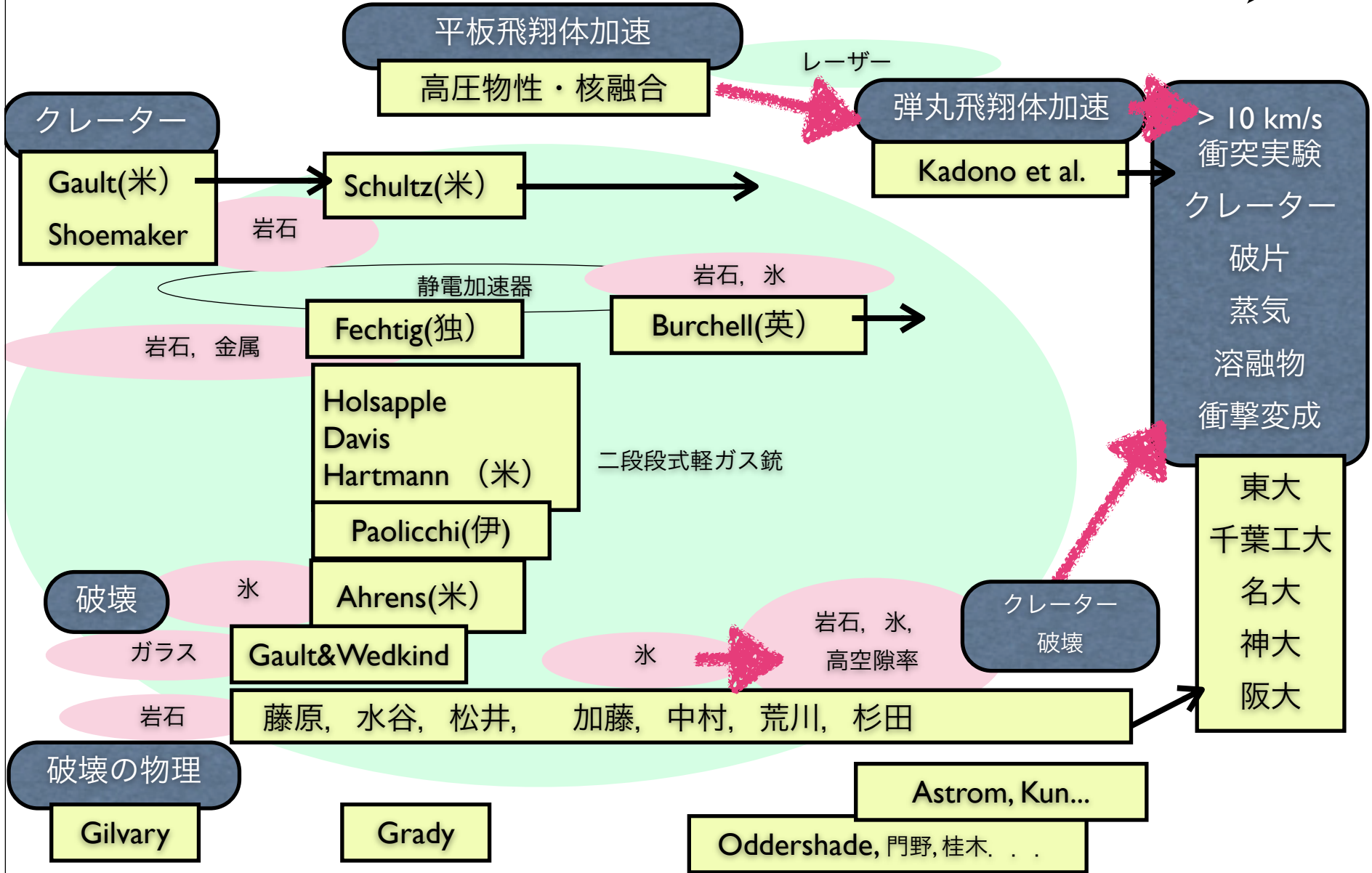
Melosh 1989

珪酸塩岩も蒸発すると考えられている
→大気・海洋・生命の起源と進化

However,
過去の衝突実験で使われた
Air guns, Explosive guns, Two-stage light-gas guns...
 $> \sim 10 \text{ km/s}$ に飛翔体を加速することが難しい。

衝突クレーター・破壊実験

年：60年代 70-80年代 90年代 00年代 10年代



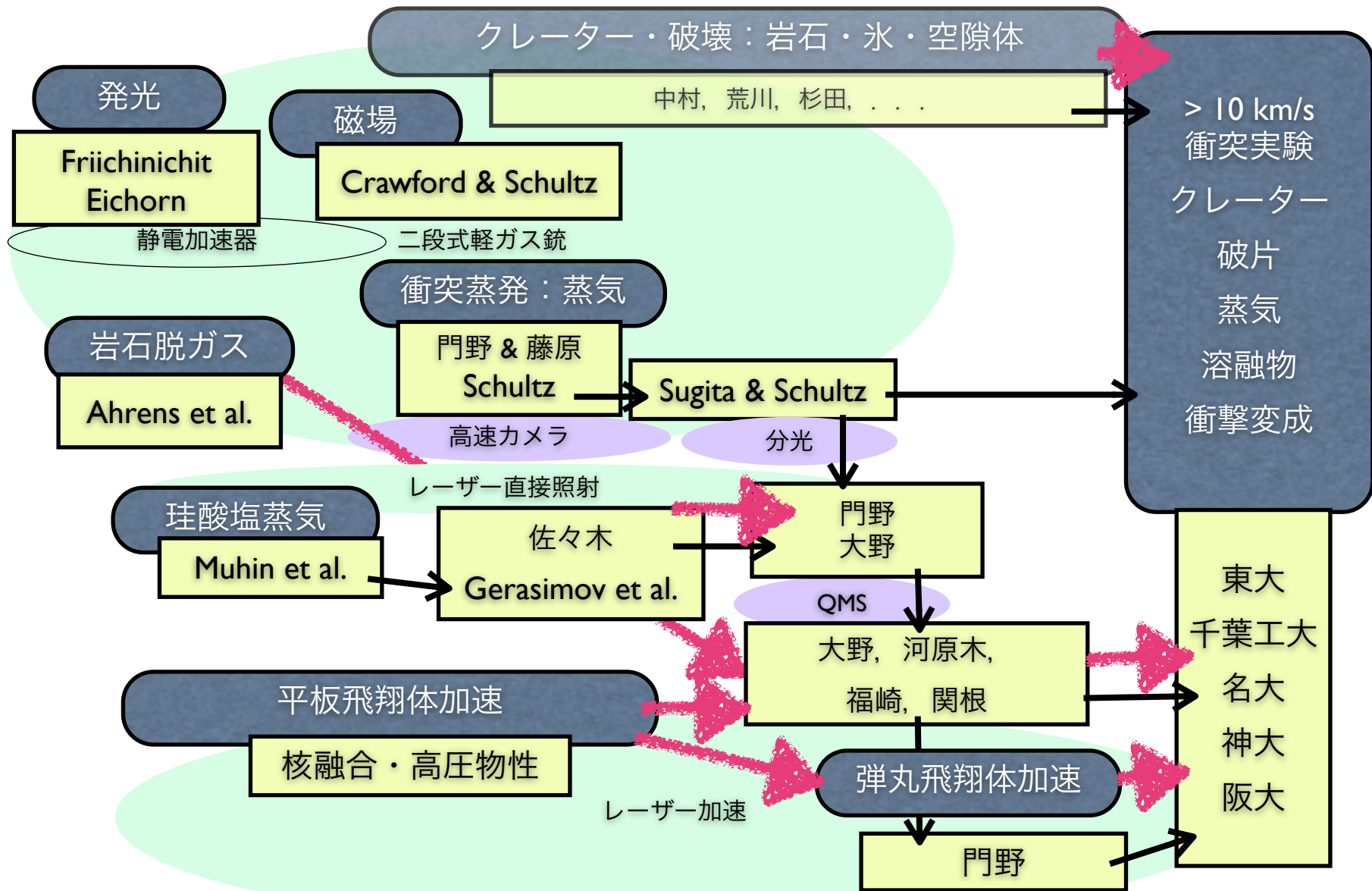
衝突蒸発実験

年：60-80年代

90年代

00年代

10年代



High-power laser

激光 XII号レーザー (12 beams)

大阪大学

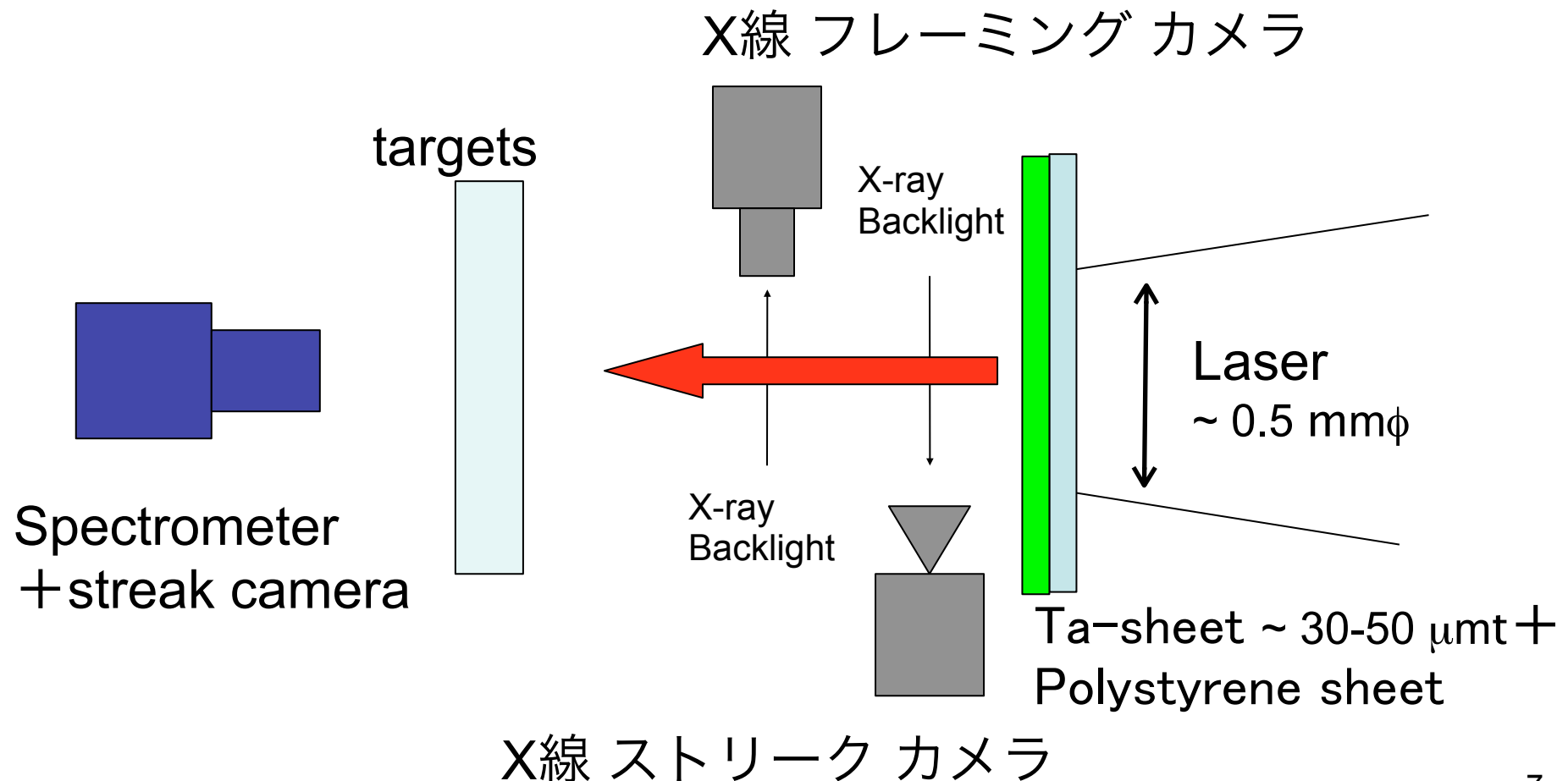


平板飛翔体：タンタル $\sim 50\mu\text{m}$ t, $\sim 0.8\text{mm}\Phi$

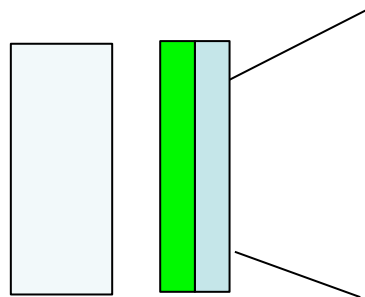
弾丸飛翔体：アルミ・ダイヤモンド・ガラス・金球
($\sim 0.1\text{-}0.3\text{ mm}\phi$)を加速

Experiment 1: Ta sheet flyers

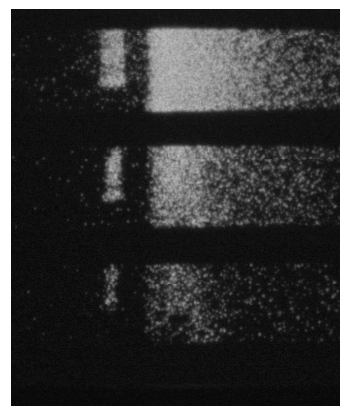
- GXII-HIPER



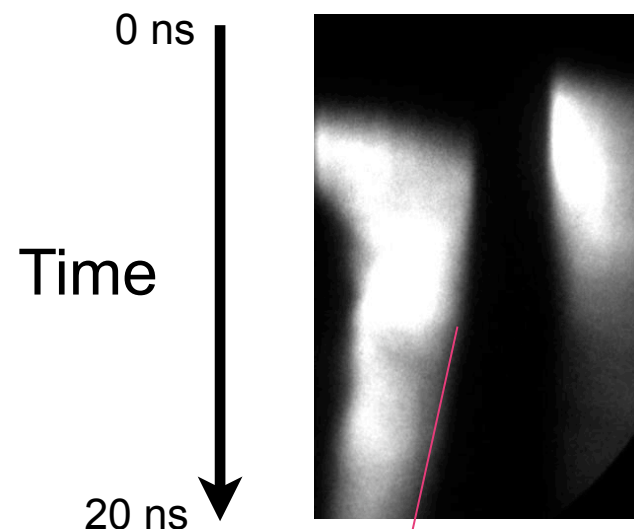
結果 1-1: 加速過程



- Ta flyer(#32086): 50 μm t
Laser energy ~ 4 kJ
 ~ 500 $\mu\text{m}\Phi$, ω , 20 ns

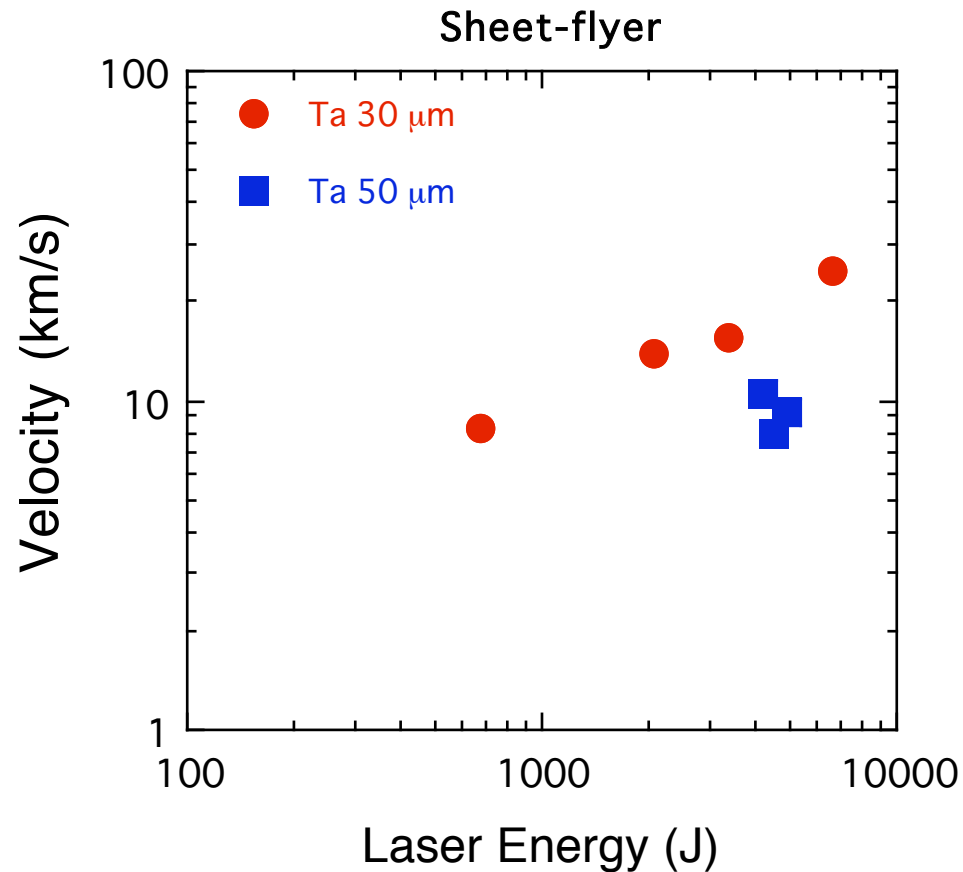


9.1 ± 0.9 km/s



10.4 ± 0.6 km/s

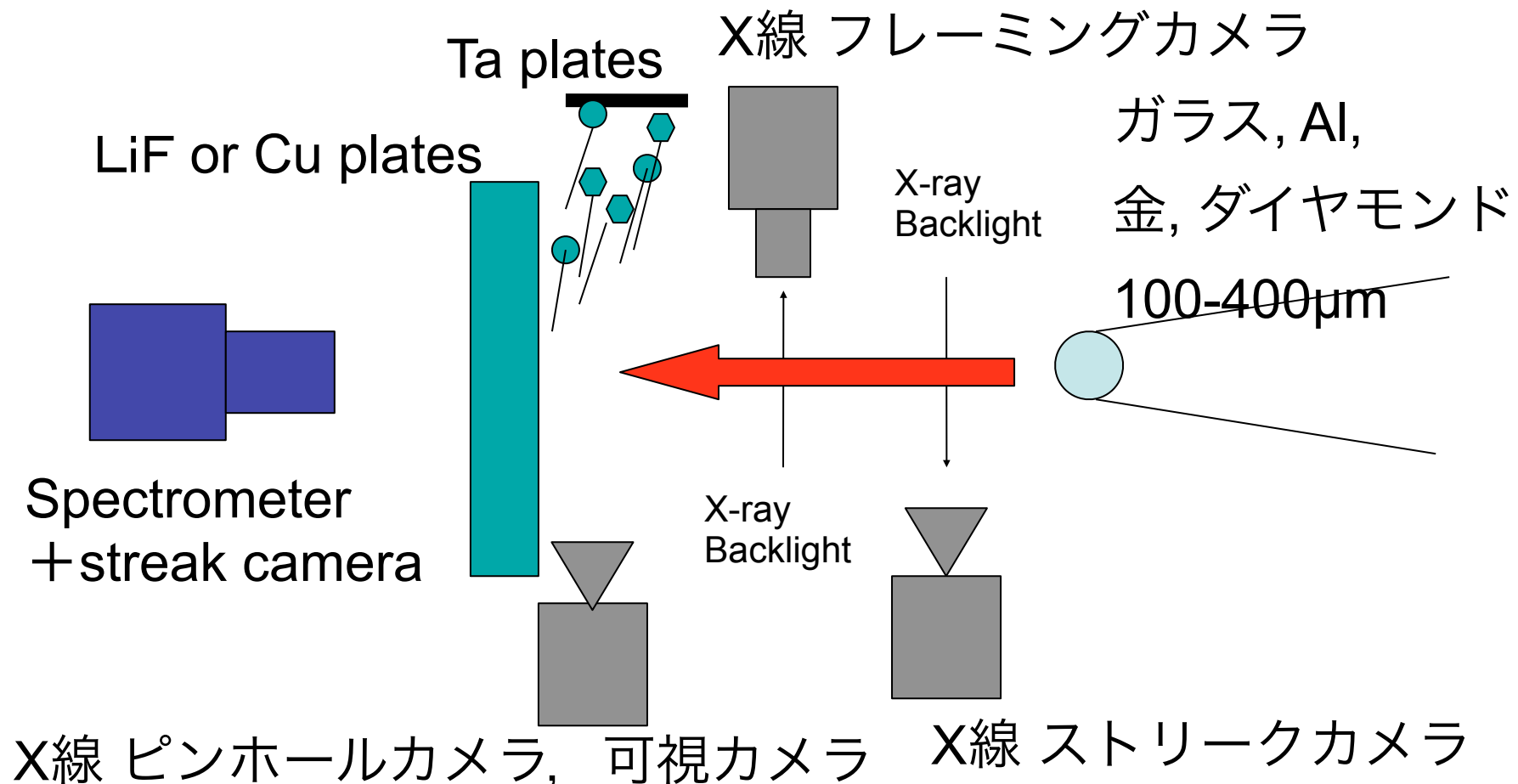
結果 1-2. 飛翔体速度



- Ta シート飛翔体は ~ 10 km/s以上に加速されている

Experiment 2: Spheres

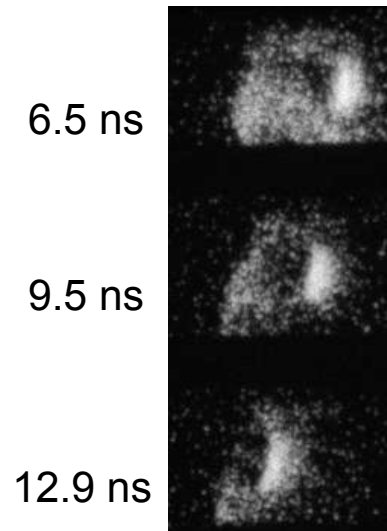
- GXII-HIPER



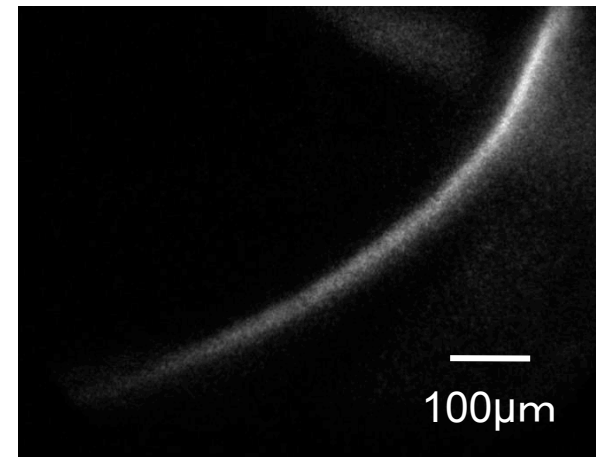
結果2-1: 加速

#31634 (Al 96 $\mu\text{m}\Phi$)

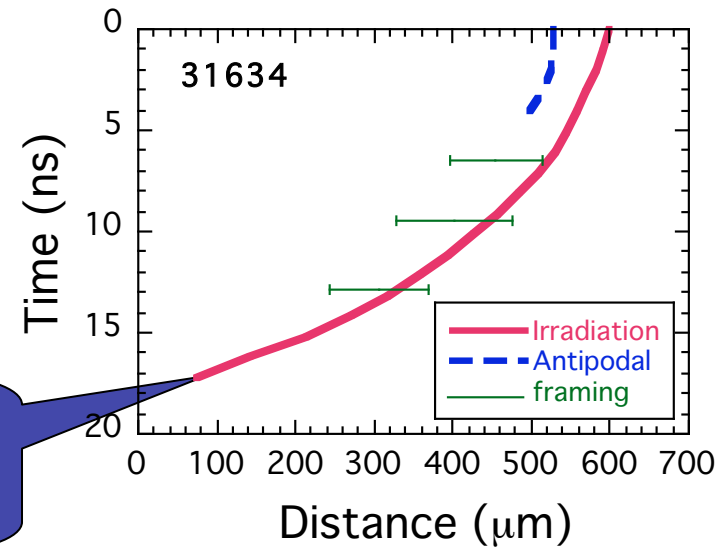
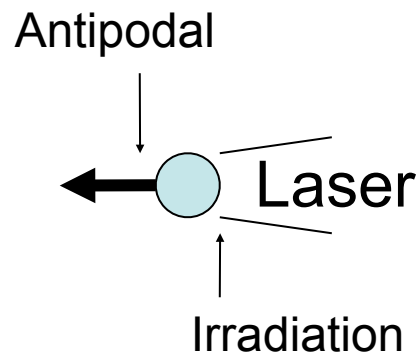
Framing camera



Streak camera



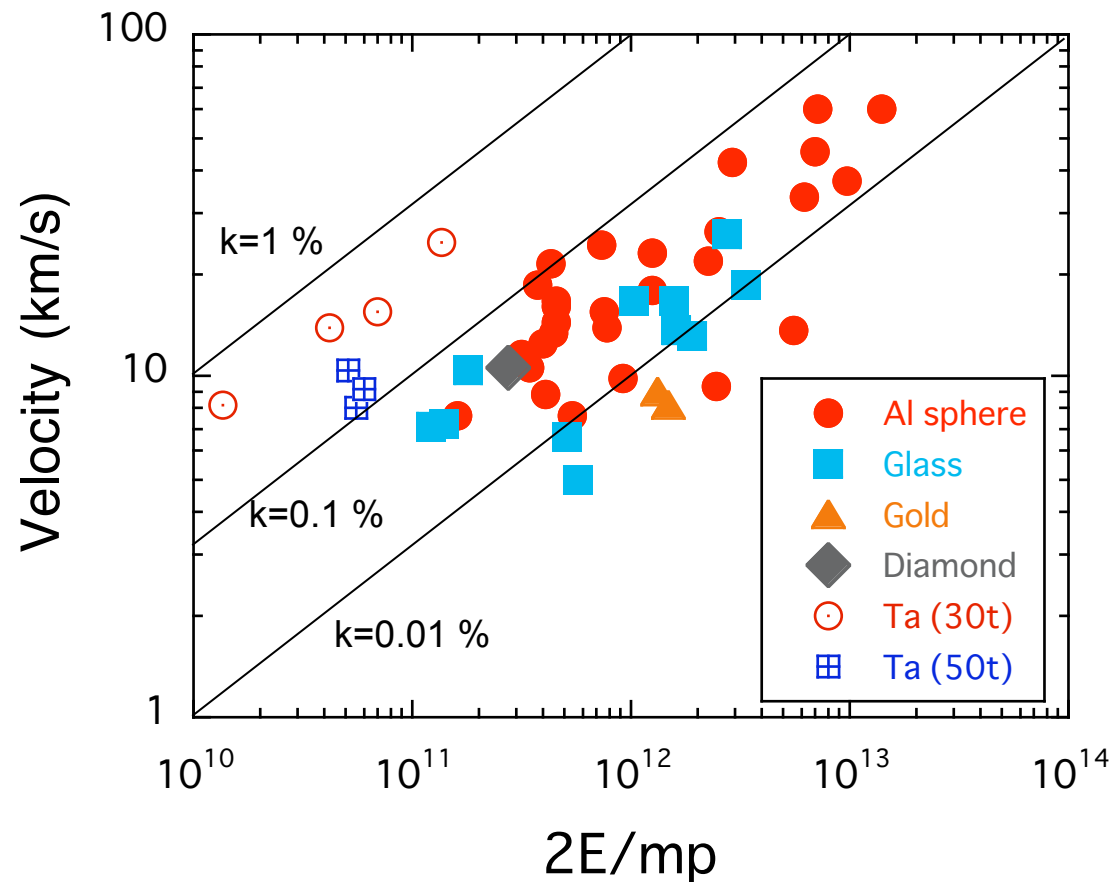
Time



速度
~ 60 km/s

結果 2-2: Velocity vs 2E/mp

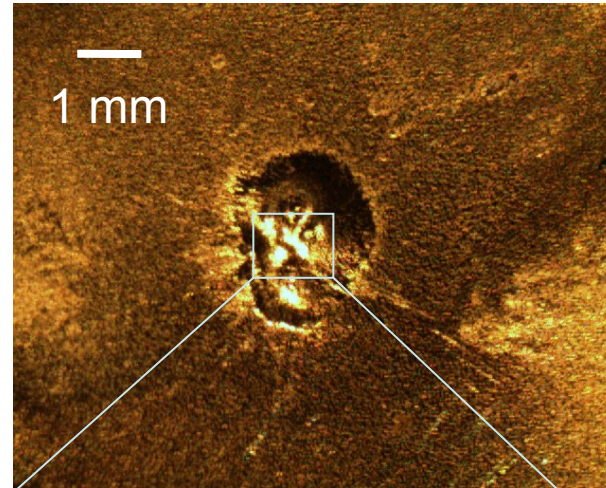
(速度 vs レーザーエネルギーE/飛行体質量mp)



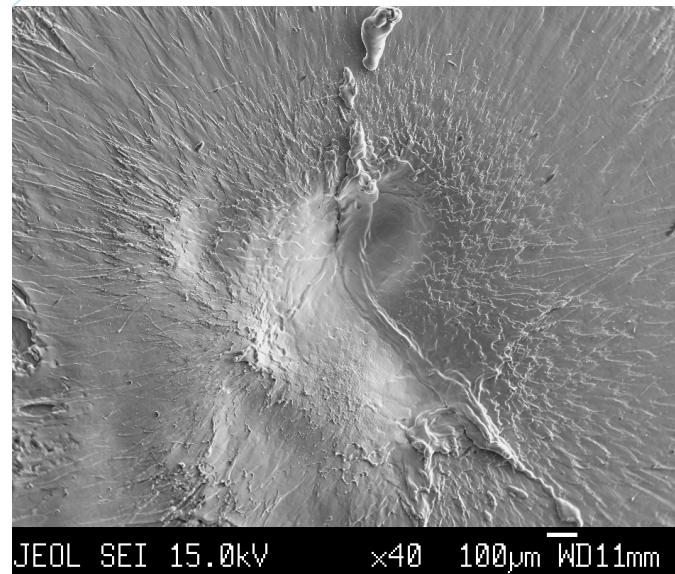
- エネルギー変換効率 k (運動 / レーザー エネルギー) $< \sim 0.1\%$
- Al 飛行体はガラスや金より効率がよさそう
- シート飛行体の方が球よりも効率がよさそう

結果 2-3. クレーター

- #31634
Crater on Cu plate
projectile: Al 0.1 mm ϕ
@60 km/s



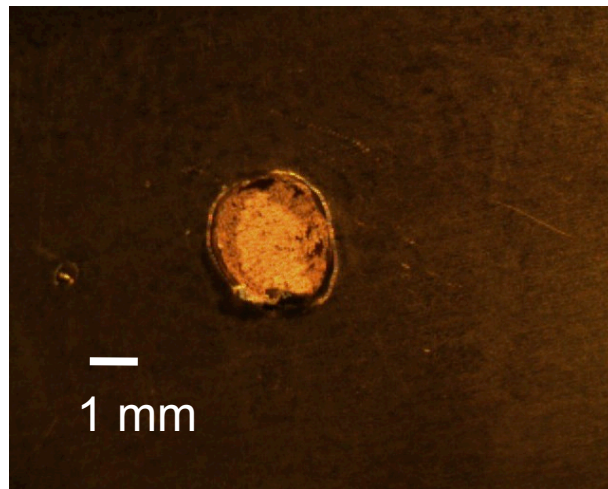
SEM



Result 2.1. Crater

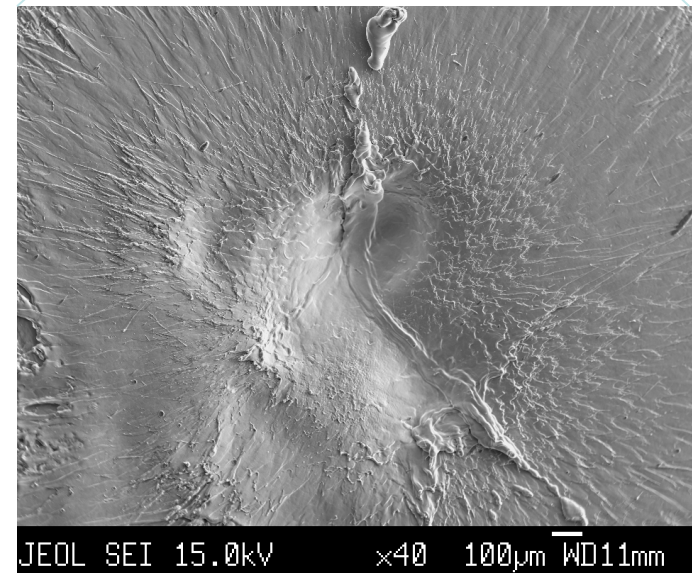
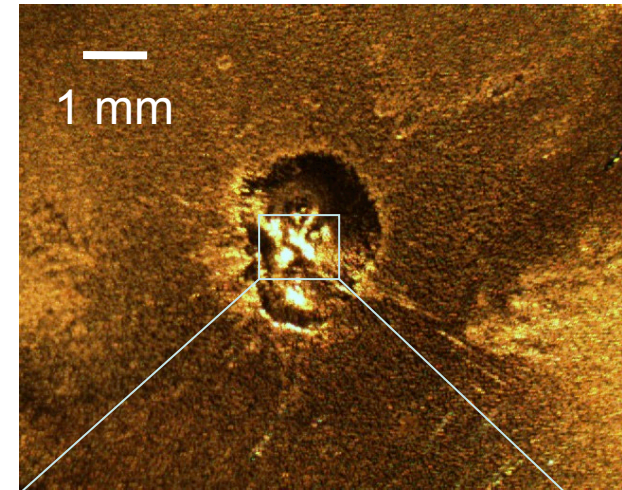
- #31634
Crater Cu plate

rear (spallation)



front

SEM

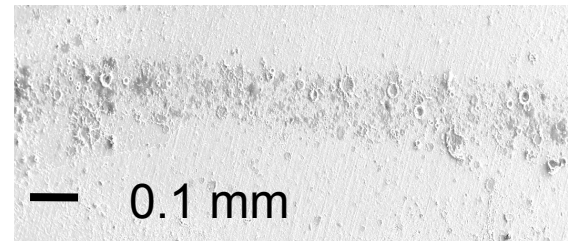


Result 2.2. Ejacta

- #31634

Ejecta: Ta plate

Scanning Electron Microscope image



Elemental mapping (Cu)

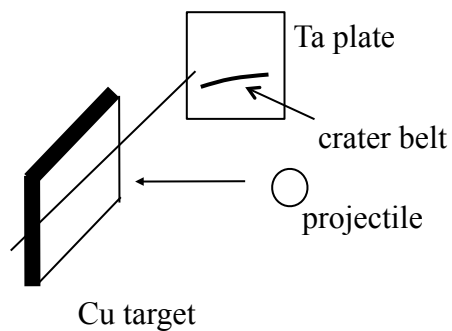
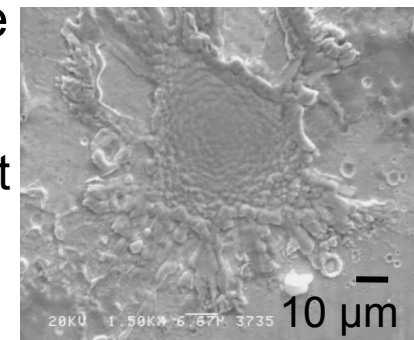


(Al)

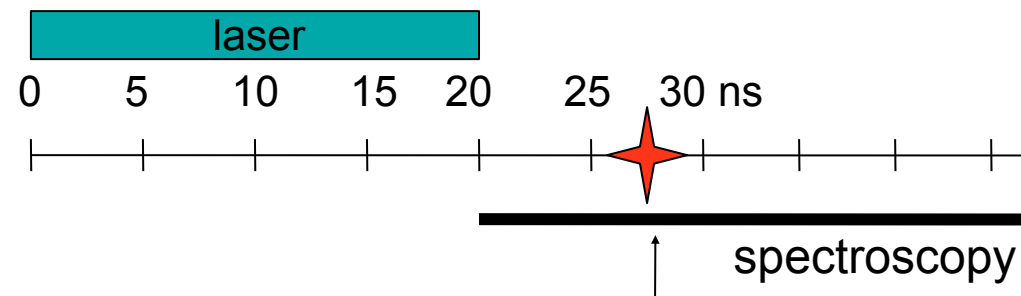


Magnified SEM image

It looks that droplets impact



Impact time at LiF (#31634)



Velocity ~ 20 km/s

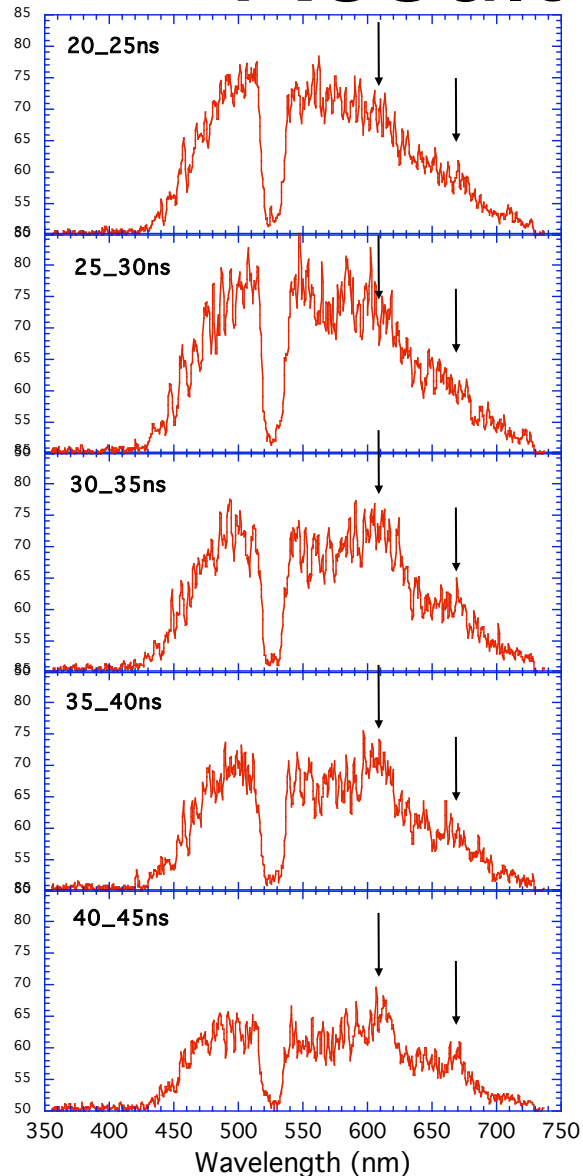
Impact

The distance between the initial position of the projectile and LiF plate = $500\mu\text{m}$

→ Impact time $\sim 25\text{-}30$ ns

Consistent with the appearance of Li lines after ~ 30 ns.

Result 3: Spectroscopy



#31492

Al cylinder: Diameter&length 100 μ m

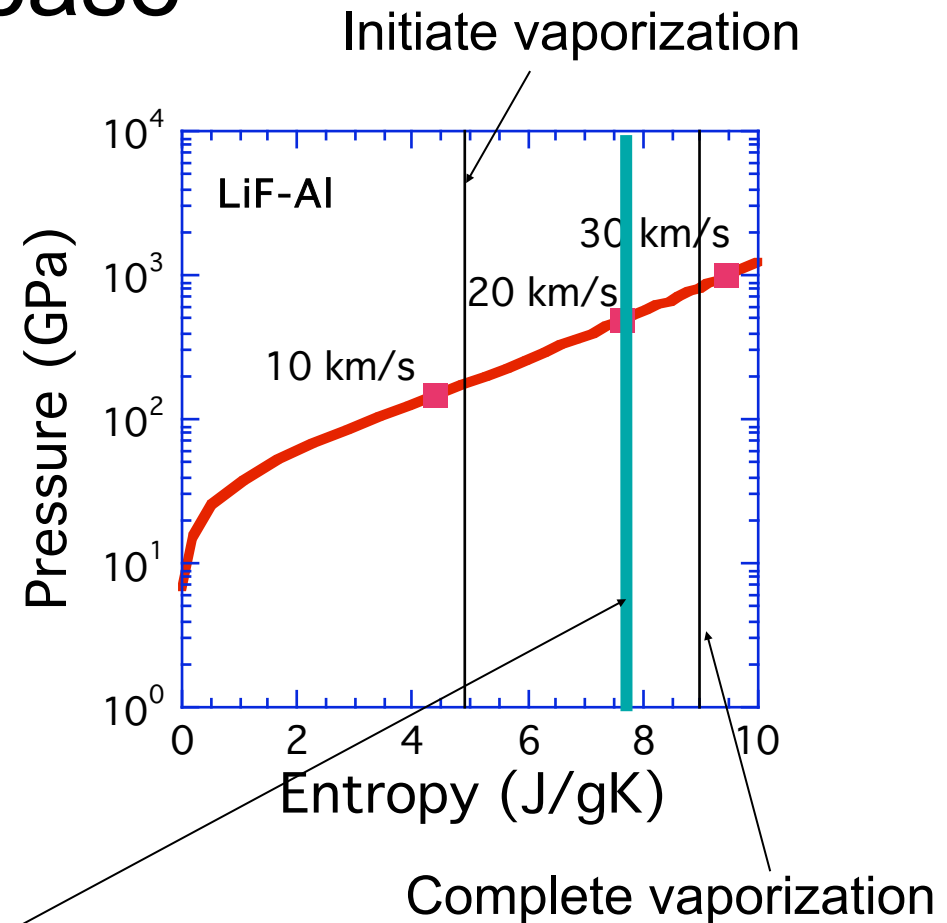
Velocity 20 km/s

The measurement of spectroscopy starts at 20 ns after the beginning of laser irradiation, with an interval of 5 ns

- During “20-25 ns”, there are no lines at ~ 610 & 670 nm.
- After ~ 30 ns, the lines appear at ~ 610 & 670 nm (The lines of Li gas?)

The entropy increase with impact and adiabatic release <calculation>

- LiF vaporizes at impact velocity larger than 10 km/s.



- At #31492, ~20 km/s → LiF vaporizes.

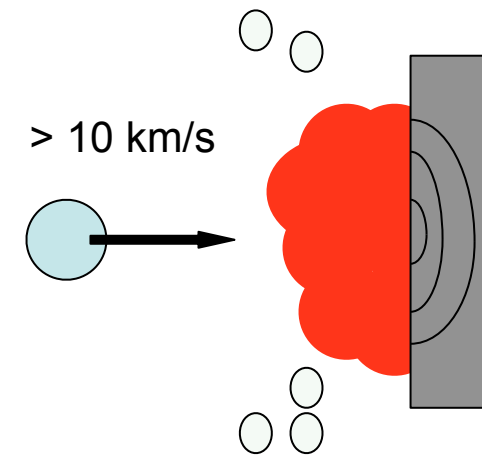
Consistent with the result of spectroscopy ¹⁸

未踏領域の扉が開いた

Kadono et al.

☆ 珪酸塩岩 (e.g., 玄武岩など)

鉱物 (e.g., オリビンなど) を
使った衝突実験が進行中



- クレーター：基本的地質過程→サイズ (神大)
- 放出破片：惑星系円盤の塵生成→サイズ・速度分布 (神大)
- 蒸気：大気・海洋・生命の起源と進化, 月形成
→珪酸塩岩蒸気の物理・化学状態<分光> (東大)
→硫酸塩岩蒸気の組成<ガス分析> (千葉工大)

X線観測

- 熔融物・衝撃鉱物回収：地質記録との比較 (阪大, 神大)

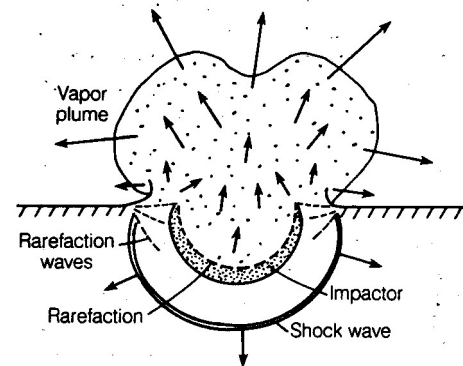
...

なぜ X線?

衝突によって発生する蒸気雲は プラズマ化している

(e.g., Kurosawa et al. 2010 GRL in press)

- プラズマ→制動輻射→X線
- ✓ 衝突速度が大きくなるとX線が強くなると
予想される

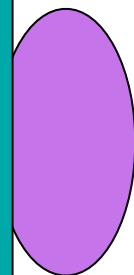


Melosh 1989

Experiments : X線

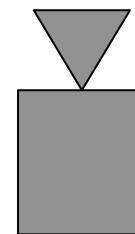
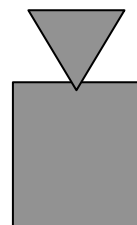
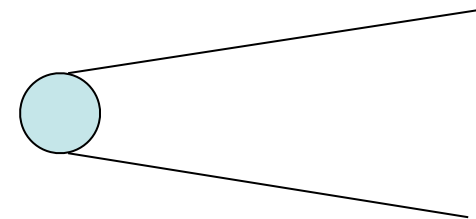
- GXII-HIPER

かんらん岩
玄武岩
シリカ焼結体
石膏



X-ray
Backlight

ガラス, Al,
金, ダイヤモンド
100-300 μ m

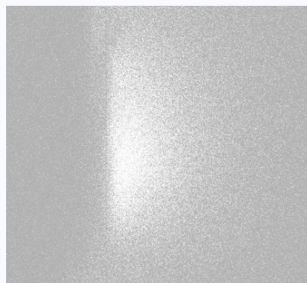


X線 ピンホールカメラ, 可視カメラ X線 ストリークカメラ

結果

X線ピンホールカメラ

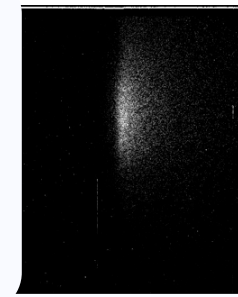
- 衝突による発光のエネルギー



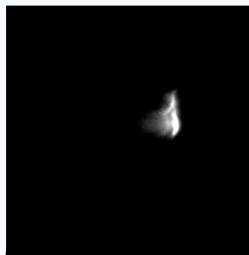
#33752
かんらん岩



#33769
かんらん岩



#33770
シリカ焼結体



金ガラス球
←直接照射

蒸気雲からのX線エネルギー

- 制動輻射を仮定して
 - ➡ 金にレーザー照射した場合の光量を見積
(プラズマ温度, 電子密度, イオン密度から)
 - ➡ 金の時と衝突の時のカウント数を比較
 - ➡ 衝突の時の光量を推定
 - ➡ 弾丸の運動エネルギーとの比 $\sim 10^{-3}$

おまけ：系外惑星のLHBの光が 地球から見えるか？

e.g., 30光年(=10 pc), LHBで 2×10^5 kg/m²が一億年で降ってくる」とすると

- X線(~ 1 keV)@地球：1年に光子~30個/m²
(光は制動輻射で出るとした)

おまけ：月面では？

3.8×10^8 m, 衝突速度20 km/s とすると

- 一回の衝突で出るX線(~ 1 keV)=光子の個数 (光は制動輻射で出るとした)

天体サイズ	1 m	10 cm	1 cm	1 mm
1 m ² あたり	3×10^{10}	3×10^6	300	0.03
20×20 cm	1×10^9	1×10^5	10	0.001

まとめ

- 激光XII号レーザーを使って,
Ta sheets (直径~ 0.5 mm, 厚さ30-50 μm)
Al, ガラス, 金, ダイヤ粒子 (直径0.1-0.3 mm)
を 10 km/s以上に加速
- X線ピンホールカメラによる発光の観測
- エネルギー変換効率 (光/弾丸運動エネルギー)
~ 10^{-3}
- 月面天体衝突の観測可能 ($> \sim 1 \text{ cm}$)
- 系外惑星での衝突の観測は難しそう

Thank you

謝辞：実験でお世話になった方

- 重森啓介, 弘中陽一郎, 佐野孝好, 大谷一人, 渡利威士, 城下明之, 藤原隆史, 持山智浩, 長友英夫, 藤岡慎介, 疇地宏

レーザー研：レーザー部, ターゲット部, 計測部

- 境家達弘, 永木恵太
- 尾崎典雅, 宮西宏併
- 杉田精司, 黒澤耕介, 関根康人, 羽村大雅, 長勇一郎, 西上原航
- 大野宗祐, 松井孝典
- 荒川政彦, 土肥弘嗣, 高沢晋, 桂武邦, 中村昭子

研究一般に関しては, 他多くの方にお世話になりました.