第12回宇宙環境シンポジウム

「九州工業大学における超高速衝突研究の18年の歩み」

２０１５年１１月１７日

九州工業大学
イノベーション推進機構　産学連携・URA領域　領域長（併任）
工学研究院　機械知能工学系　宇宙工学部門　教授
赤星　保浩

謝辞

本研究の一部は

- 宇宙航空研究開発機構との共同研究（2009, 2013-2014年度）
- IHIとの受託研究（2005, 2007-2015年度）
- 科学研究費基盤研究（A）（No. 13305065, 2001-2004年度）
- 科学研究費基盤研究（若手B）（No. 18760608, 2006-2008年度）
- 科学研究費基盤研究（C）（No. 21560819, 2009-2011年度）
- 科学研究費基盤研究（B）（No. 24360351, 2012-2016年度）

の支援のもと実施したことを記し，謝意を表します．

また、１９９０年度からの計算力学研究室卒業生ならびに在学生の精力的な研究活動に対して、感謝致します．

さらに、東北大学の高山名誉教授、岩手医科大学の佐藤教授、九州大学の花田教授、IHIの北澤氏などこれまでご支援頂いた多くの方に謝意を表します。

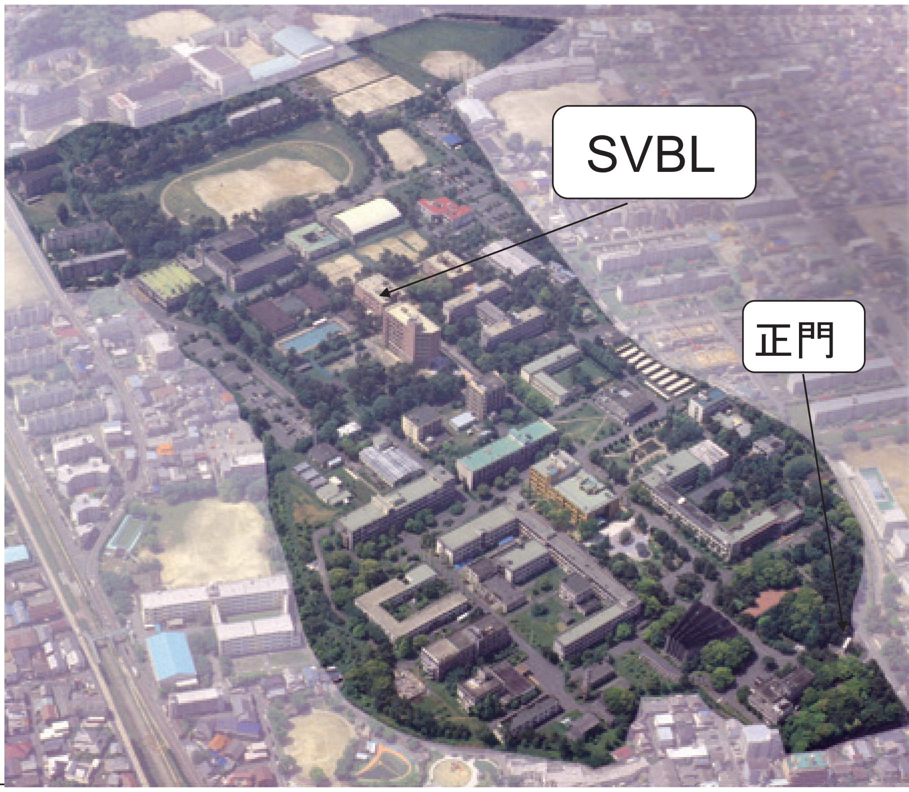
講演内容

1. はじめに
2. Whipple Bumperの性能向上
3. 超高速衝突誘起放電
4. ISO11227(イジェクタ実験)の制定
5. 超高速衝突技術の応用
6. おわりに

第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

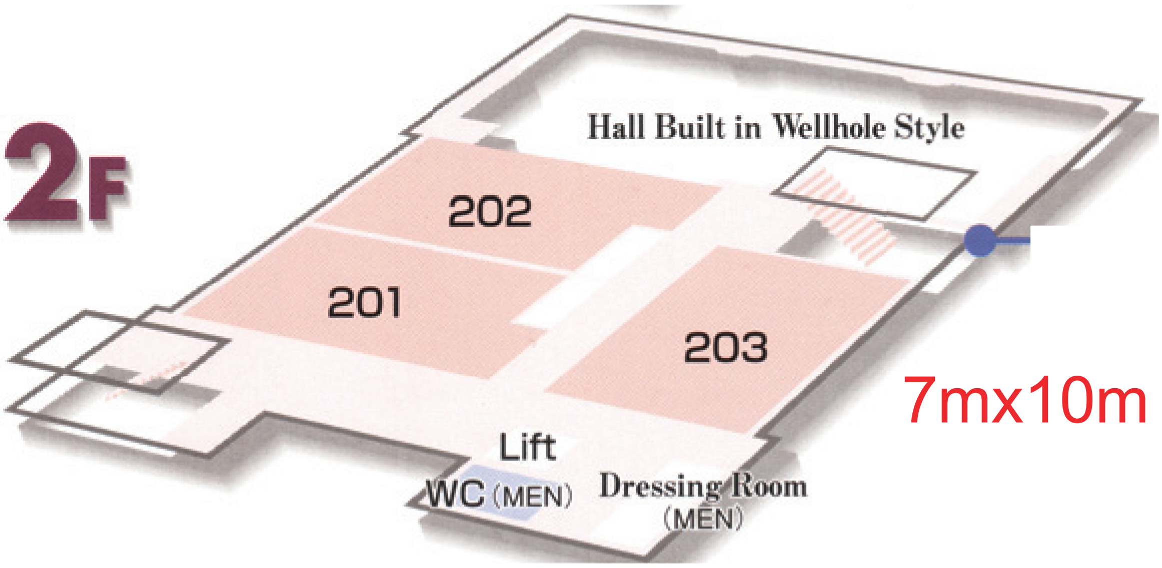
九工大着任後

1990 宇宙構造物の振動制御
1991 核融合ロケット
1992 太陽発電衛星、分子動力学
1993 軌道エレベータ
1994 宇宙ごみの衝突シミュレーション
1996 原子力用圧力容器の脆化
1997 超高速衝突実験(宇宙ごみ問題)
2002 自動車衝突安全
2004 自動車用鋼板のリサイクル
2005 ジェットエンジンにおける衝突問題
2008 イジェクタの超高速衝突実験手順の国際規格化
2011 地球近傍小惑星の衝突回避



第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

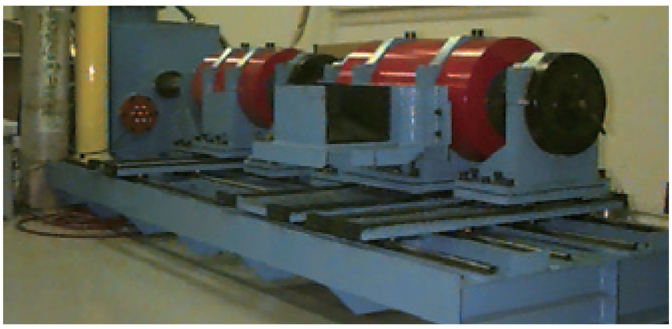
SVBL(サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー)

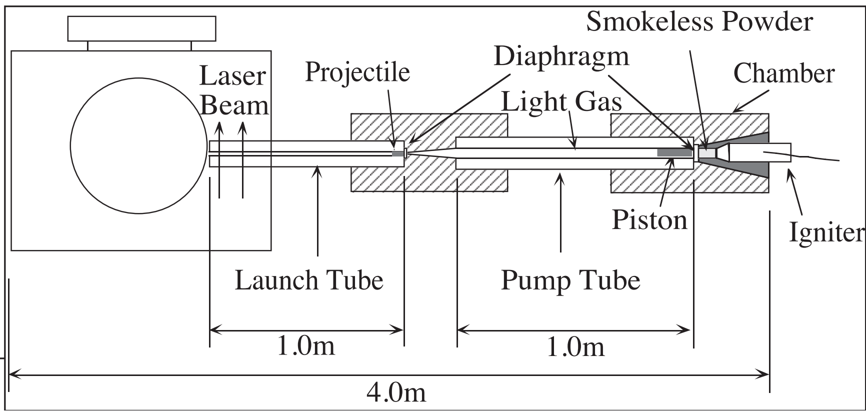


7mx10m

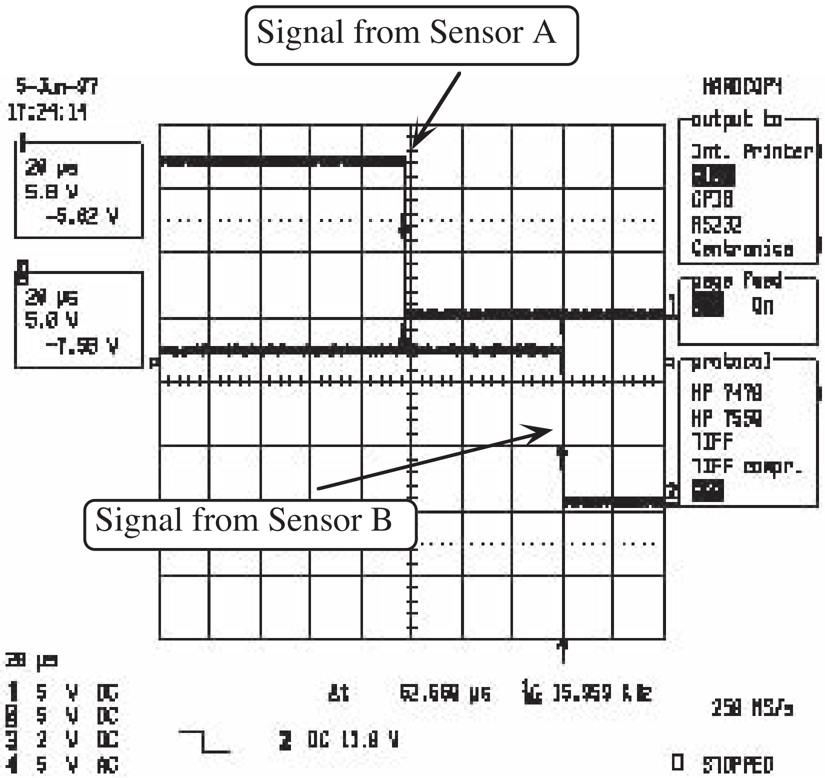
二段式軽ガス銃は1997年2月に2階の203号室に設置され、2003年3月までここで稼働していた。

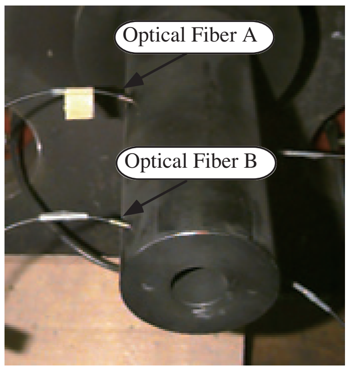
大沢商会納品　三和技研製
二段式軽ガス銃(25mm/5mm)

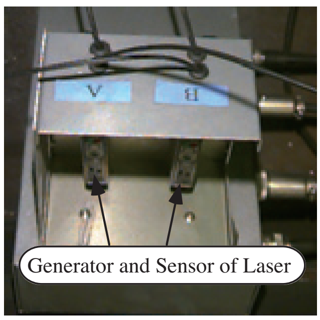




Smokeless Powder(NY-500)	100g
Size of Diaphragm 1 (SUS304)	ϕ75mm x 1.5mm
Size of Diaphragm 2 (SUS304)	ϕ50mm x 1.5mm
Size and Mass of Piston (Polyethylene)	ϕ25mm x 60mm and 23.0g
Pressure of He-Gas	0.74MPa
Size and Mass of Projectile (Aluminum)	ϕ5 mmx 20mm and 1.0g
Size of Front Wall (A2024-T3)	200mm x 200mm x 8mm
Size of Rear Wall (A2024-T3)	200mm x 200mm x 3mm
Distance Between Front and Rear Wall	99.5mm

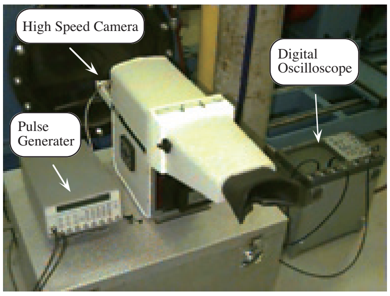


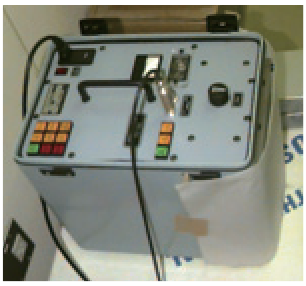




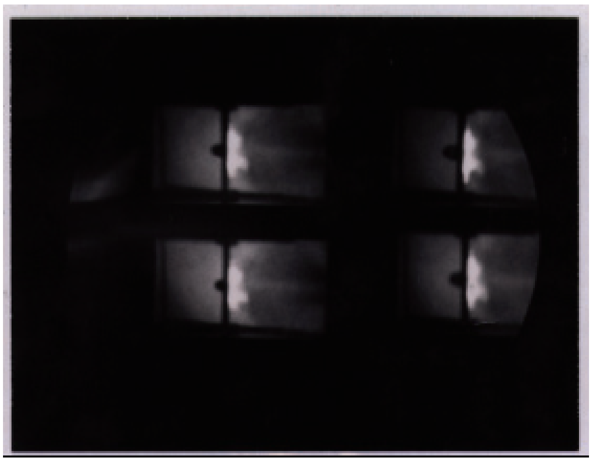
衝突速度：1.59km/s

IMACON792での撮影



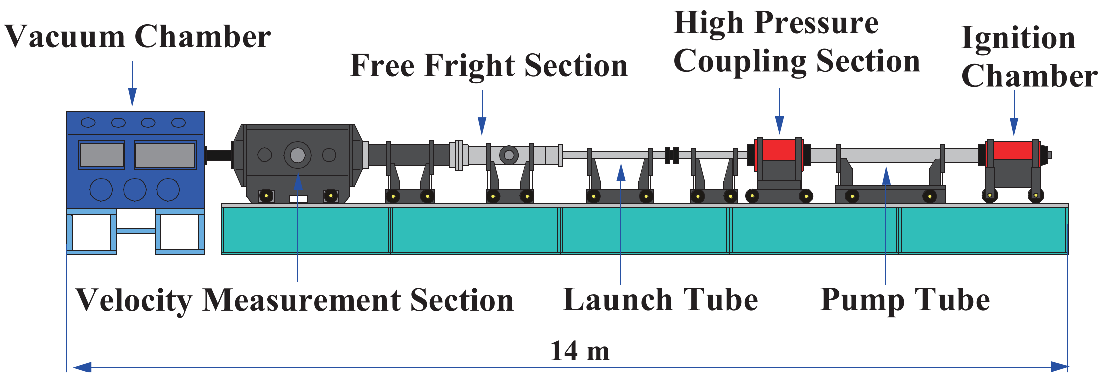


Delay Time for Flash (μsec)	90
Delay Time for Imacon (μsec)	110
Framing Rate (frames/sec)	5 x`10^5



大型二段式軽ガス銃

2002年に東北大学から九工大に移設し、2003年6月から稼働



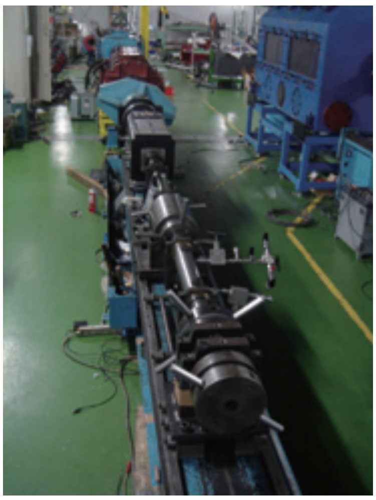
全長	圧縮管		発射管	
	内径	長さ	内径	長さ
[m]	[mm]	[m]	[mm]	[m]
14	60	3.1	14	2.6

超高速衝突実験室は2011年7月からは超高速衝突試験センターと呼称

2003年3月に既存の二段式軽ガス銃ならびに
東北大学から移設した二段式軽ガス銃を設置

第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

九州工大に設置している軽ガス銃



Small Gun (5/20)

Large Gun (5, 14, 30/60)

講演内容

1. はじめに
2. Whipple Bumperの性能向上
3. 超高速衝突誘起放電
4. ISO11227(イジェクタ実験)の制定
5. 超高速衝突技術の応用
6. おわりに

超高速衝突による破壊力

0.01cm以下　＝　表面損傷

0.1cm以下　＝　局所的損傷

0.3cmのアルミ球（10km /sec）　＝　　ボーリング球（時速100km）

1cmアルミ球（10 km /sec）　＝　　200kgの金庫（時速100km）

©NASA

Whipple Bumper

Projectile

diameter: d (cm)

density: ρ_p (g/cc)

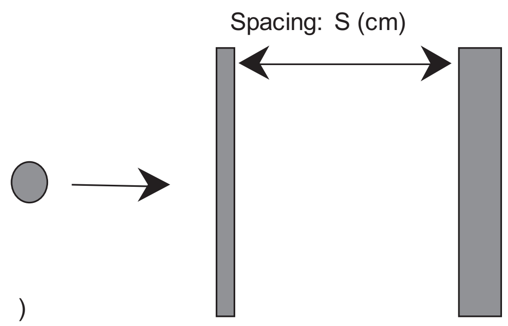
mass: M (g)

velocity: V (km)

angle from normal: θ(deg)

norm. vel : V_n (km/s)

$V_n = V \cos \theta$



Bumper

Thickness: t_b (cm)

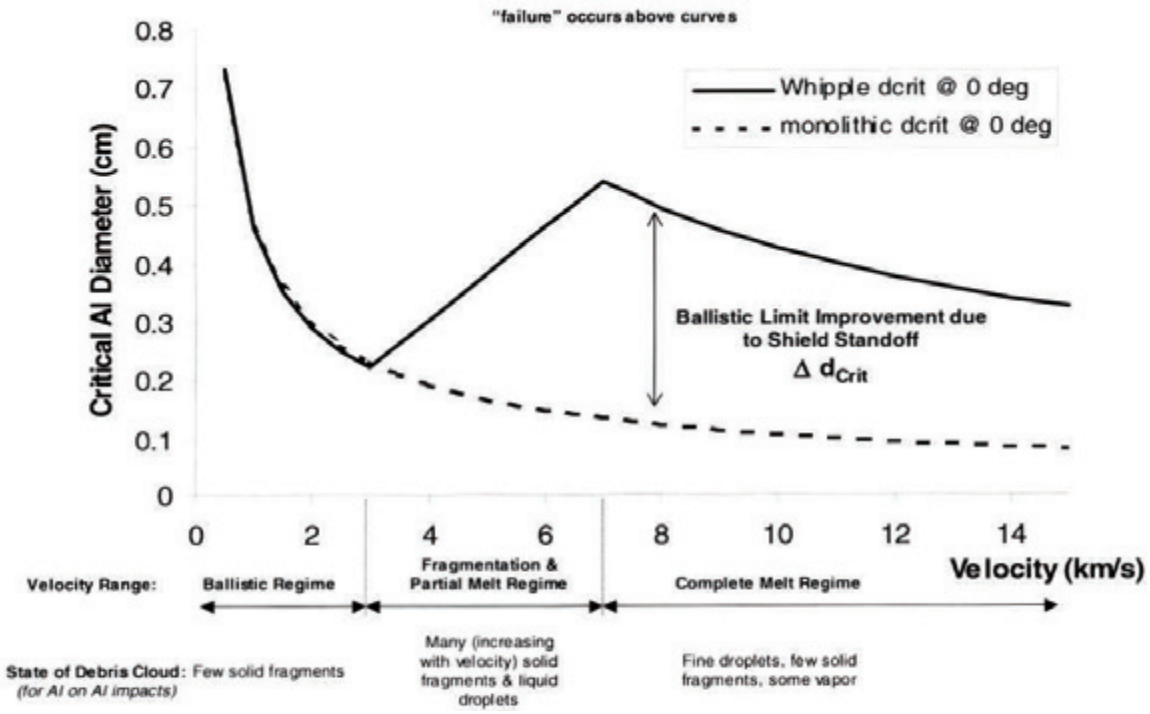
density: ρ_b (g/cc)

Rear wall

Thickness: t_W (cm)

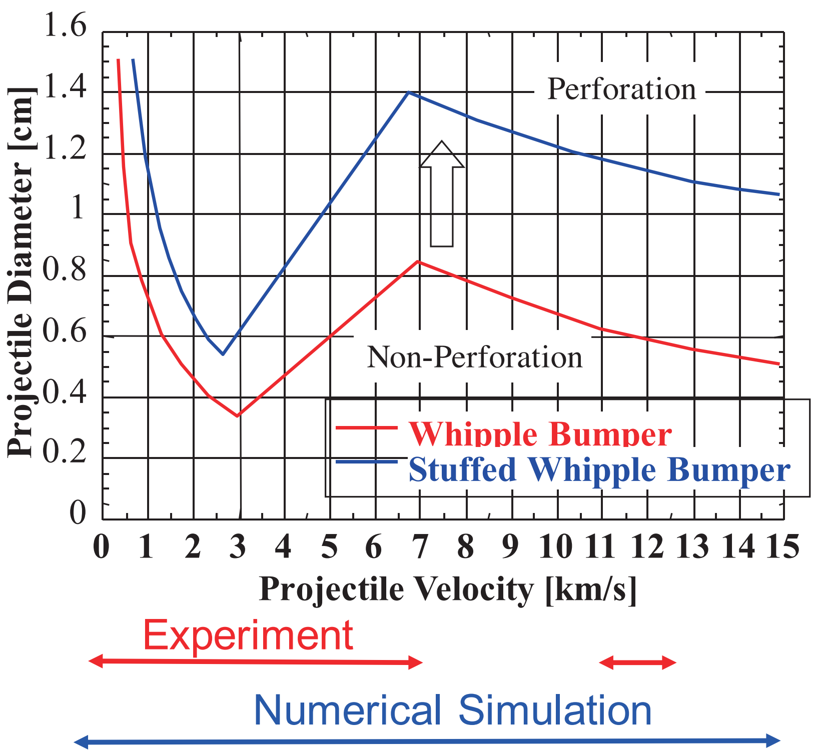
yield strength: σ (ksi)

Ballistic Limit Curve

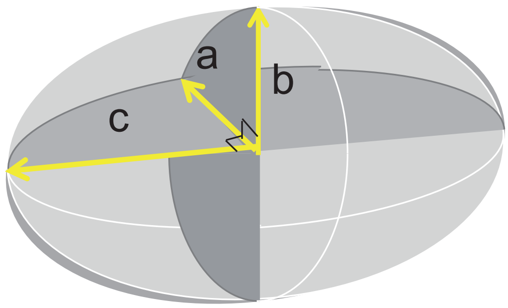


2009年6月13日
NHK サイエンスゼロ

Ballistic Limit Curve of JEM(Kibo)



回転楕円体の定義



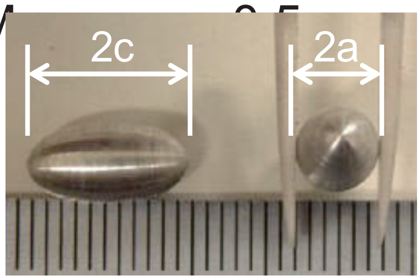
a=b

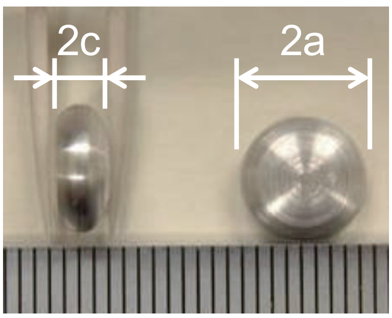
アスペクト比：f=c/a

Ellipsoidal Projectiles

Material: Al2024-T4

M





Sphere
f=1.0
a=b=c=7.00mm

Prolate Ellipsoid
f=2.0
a=b=5.56mm
c=11.12mm

Oblate Ellipsoid
f=0.5
a=b=8.84mm
c=4.42mm

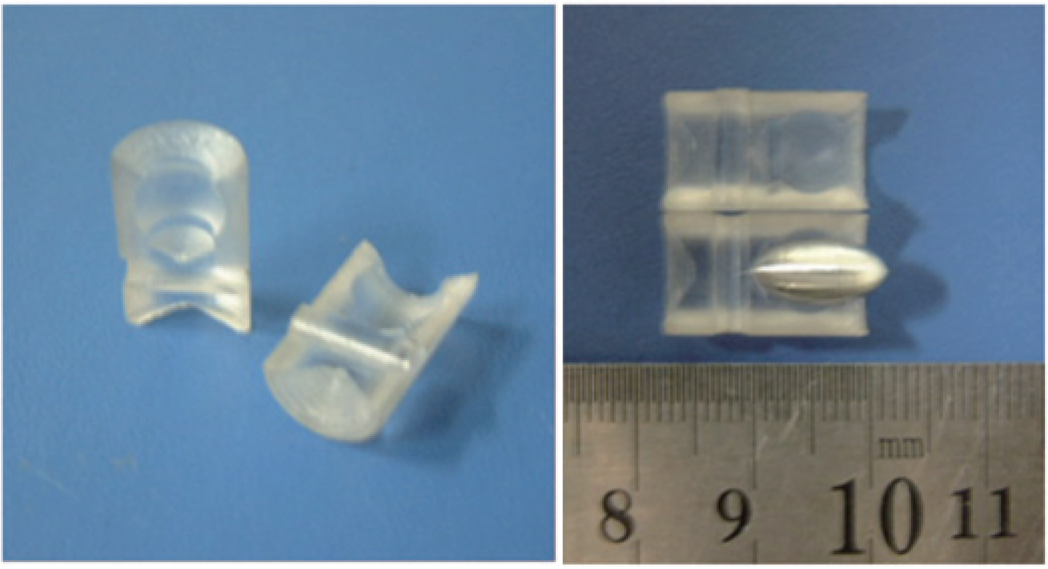


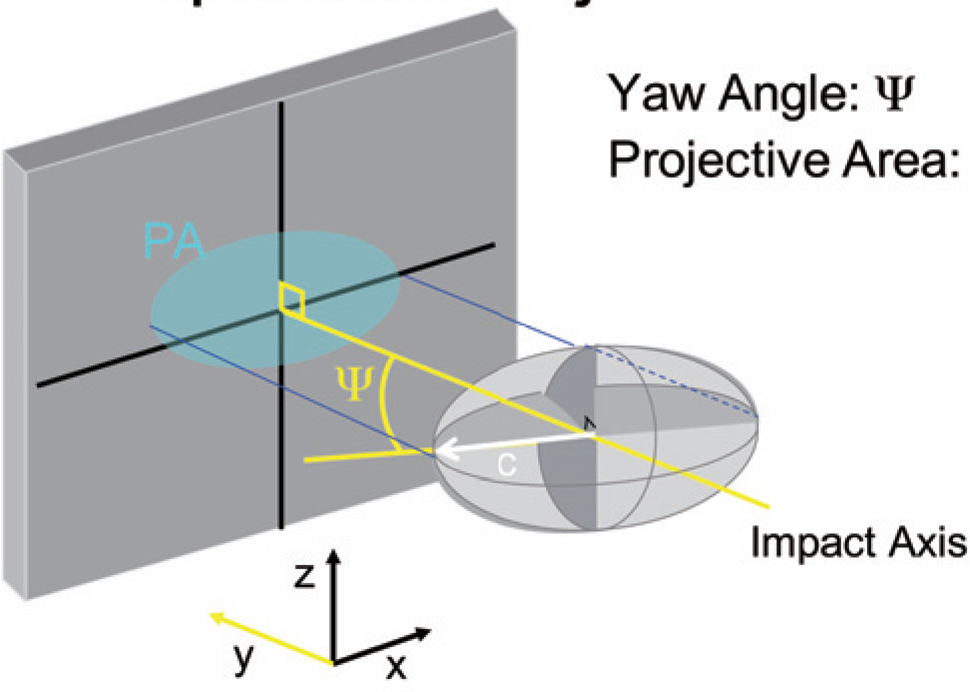
Fig. Shape of Current Sabot and Ellipsoidal Projectile
(a=5.560mm, c=11.778mm)

Aspect Ratio : 2.12

第１２回宇宙環境シンポジウム＠北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

Ellipsoidal Projectiles

Yaw Angle: Ψ
Projective Area: PA



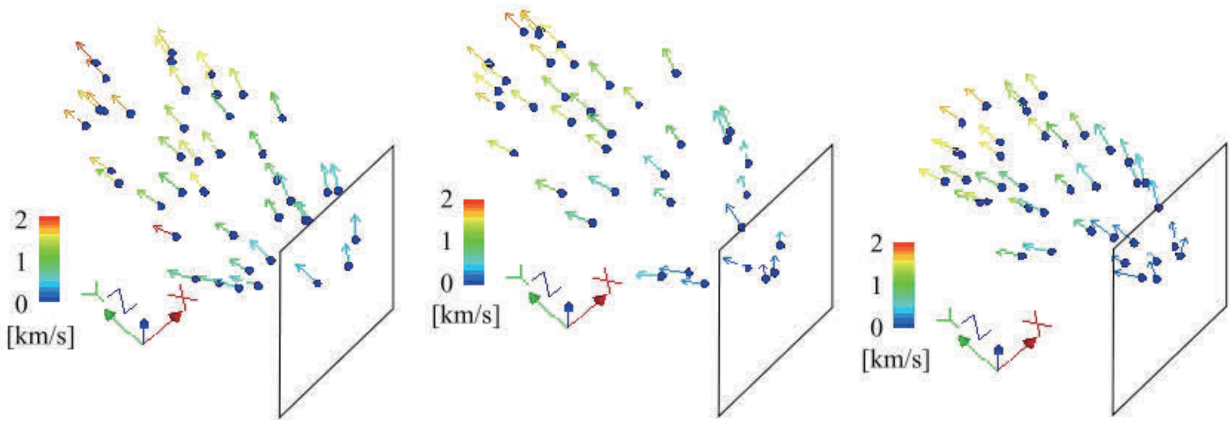
Experimental Results

Experiment No.		Aspect Ratio: f	Yaw Angle: Ψ[deg]	Projective Area: PA[mm^2]	Impact Velocity: V_p[km/sec]
KTS 03	237	1.0	-	154	2.16
	257	2.0	67.5	183	2.18
LTS 04	094		35.0	137	2.11
	096		30.0	128	2.01
	097	0.5	22.5	232	2.07
	098		67.5	147	2.13

Target: Al6061-T6 Plate, 2mm in Thickness

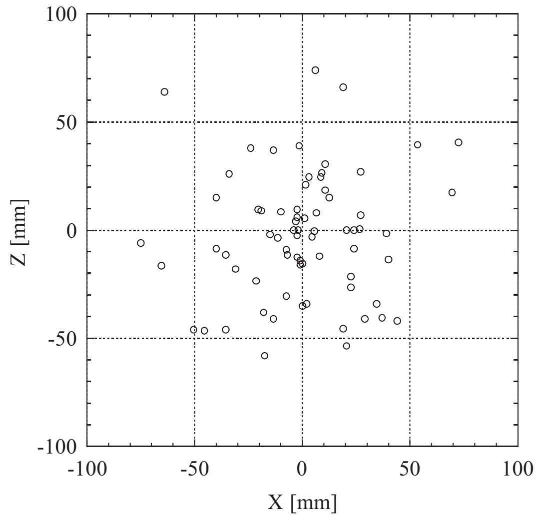
第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

Velocity Distribution

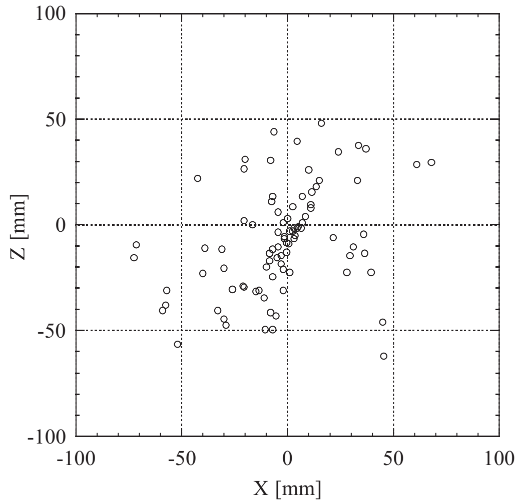


Sphere (PA=154) f=2.0 (PA=183) f=2.0 (PA=128)

破片の飛散状況



Sphere (PA=154)



f=2.0 (PA=183)

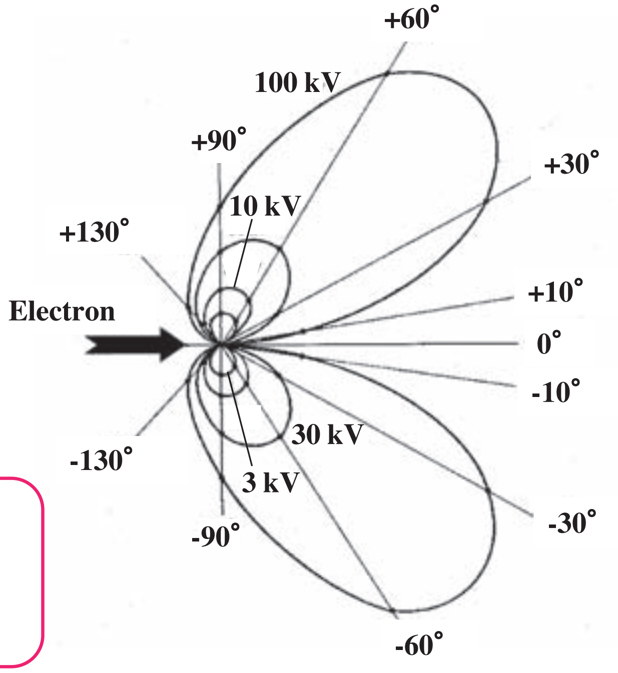
ターゲットから100mmの位置の仮想断面に破片を集めた場合

制動X線の放射角度依存性

制動X線は電子加速方向の
逆方向には発生し難い

特性X線の発生は
角度に依存しないため
電子加速の逆方向には
特性X線のみの単色性の
高いX線が得られる

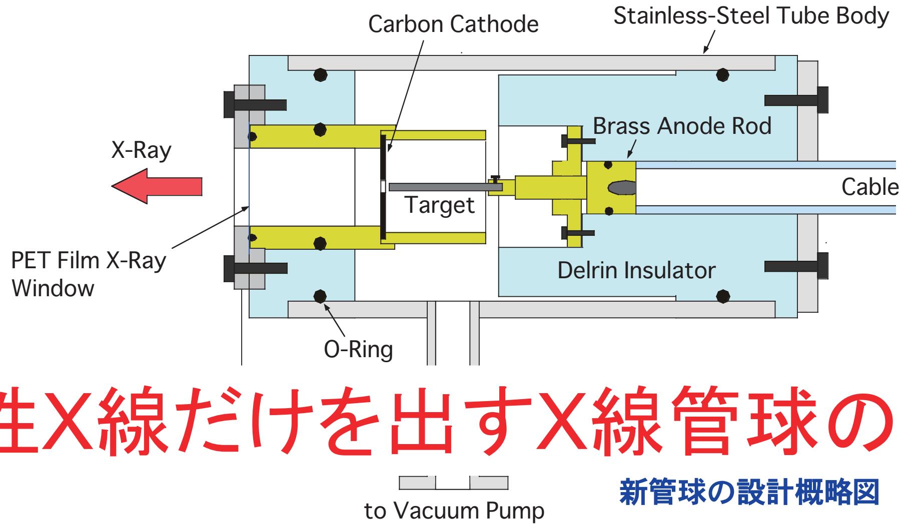
新管球はX線照射方向と
電子加速方向が逆方向の
構造となるよう設計を行う



制動X線の放射角度分布

新フラッシュX線管球の設計

ターゲット-カソード（T-C）間の間隔を調整可能な構造とし
陰極には厚さ 2 [mm] のカーボン
ターゲットには直径 3 [mm] のモリブデンを使用した



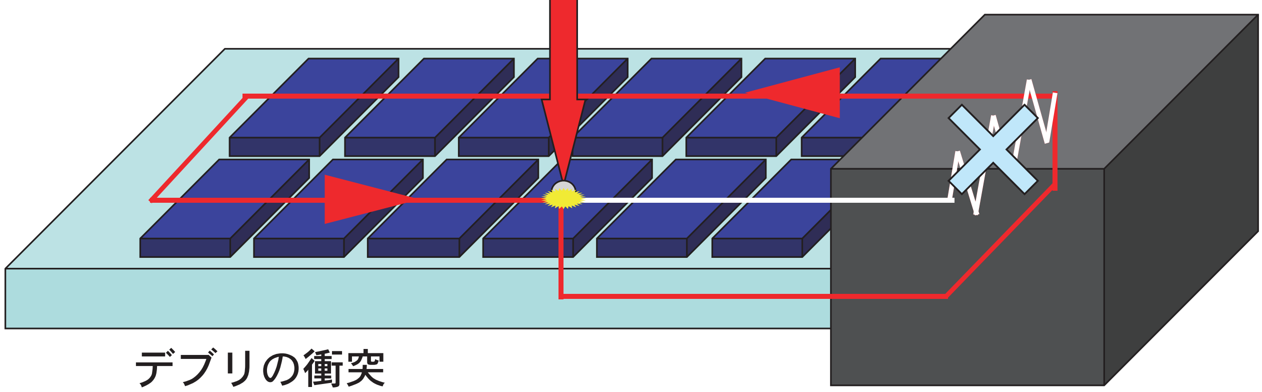
特性X線だけを出すX線管球の開発

新管球の設計概略図

講演内容

1. はじめに
2. Whipple Bumperの性能向上
3. 超高速衝突誘起放電
4. ISO11227(イジェクタ実験)の制定
5. 超高速衝突技術の応用
6. おわりに

超高速衝突誘起放電の発生シナリオ



デブリの衝突

↓

放電の発生 (Primary Arc; PA)

↓

一時的持続放電 (Temporary Sustained Arc; TSA)

↓

恒久的持続放電 (Permanent Sustained Arc; PSA)

↓

太陽電池アレイ発電能力の喪失

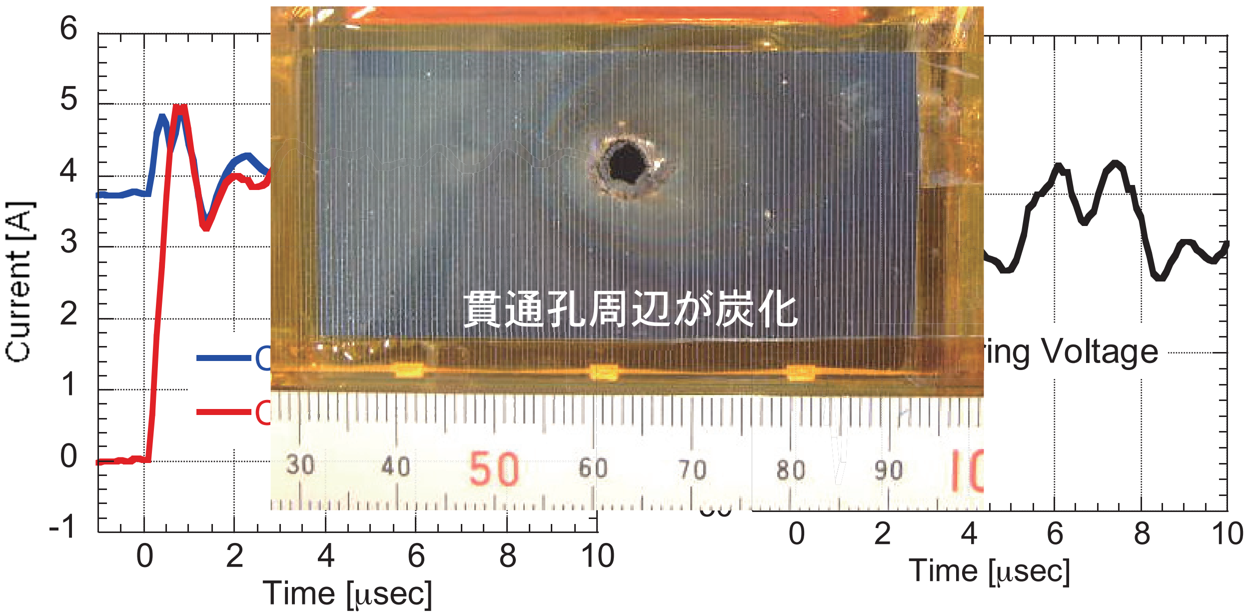
Permanent Sustained Arc (PSA)

恒久的な短絡経路の形成

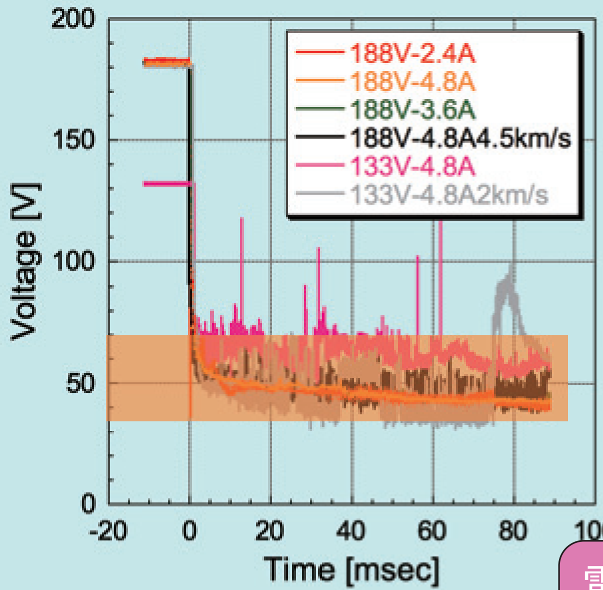
飛翔体直径：3mm

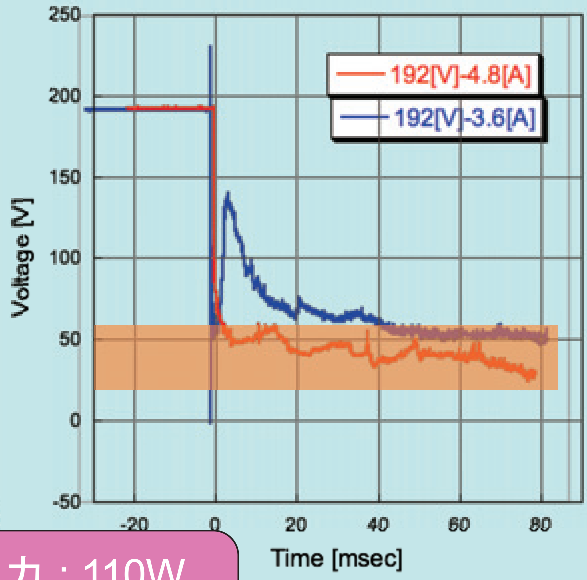
衝突速度 ：4km/s

印可電圧 ：192V



PSA閾値の検討





40～70V

電力：110W
電流1.6A

NASA Orbital Quarterly News Vol.18, Issue4, Oct.2014

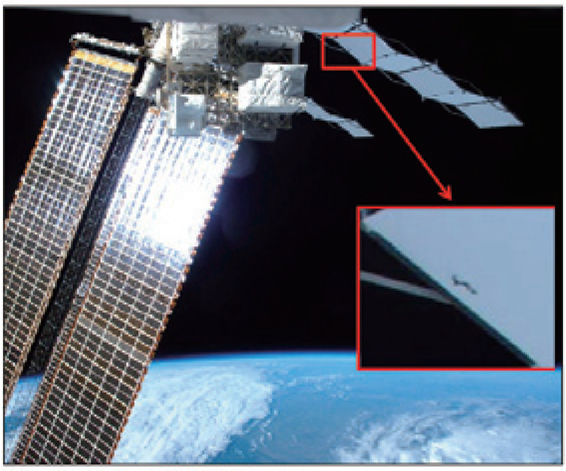


Figure 1. Location of P4 PVR damage.

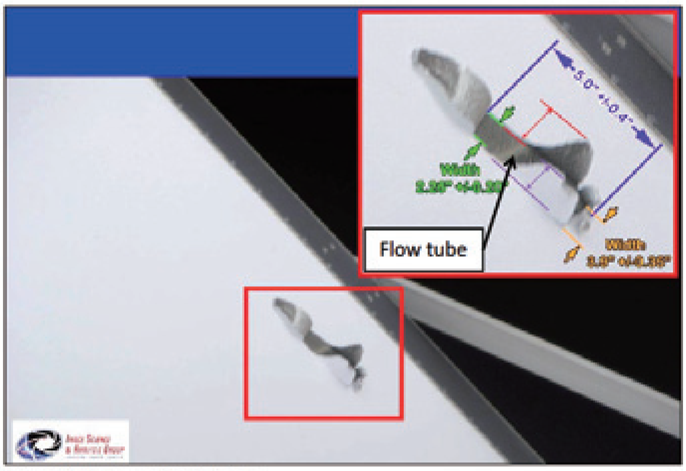


Figure 2. Close-up of exit damage.

Recent Impact Damage Observed on International Space Station

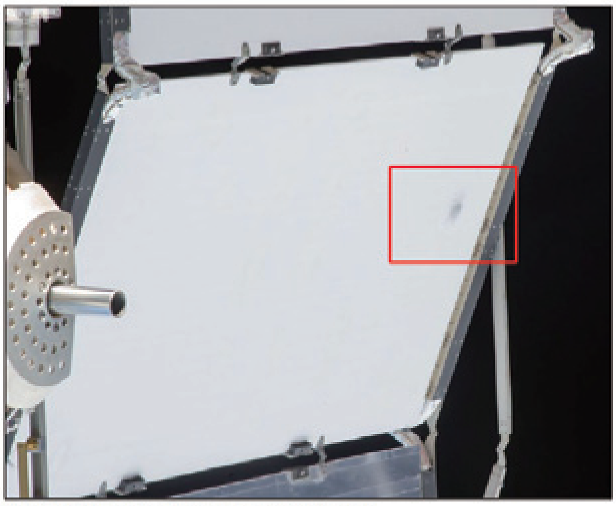


Figure 3. Damage on opposite side of panel.

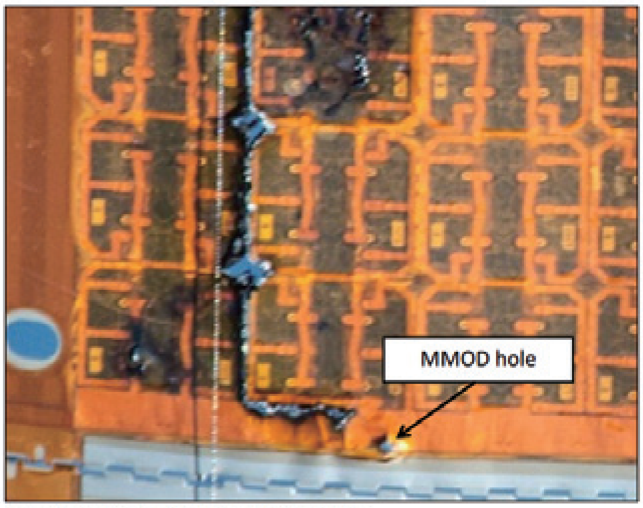


Figure 4. Back of ISS Solar Array 3A, panel 58.

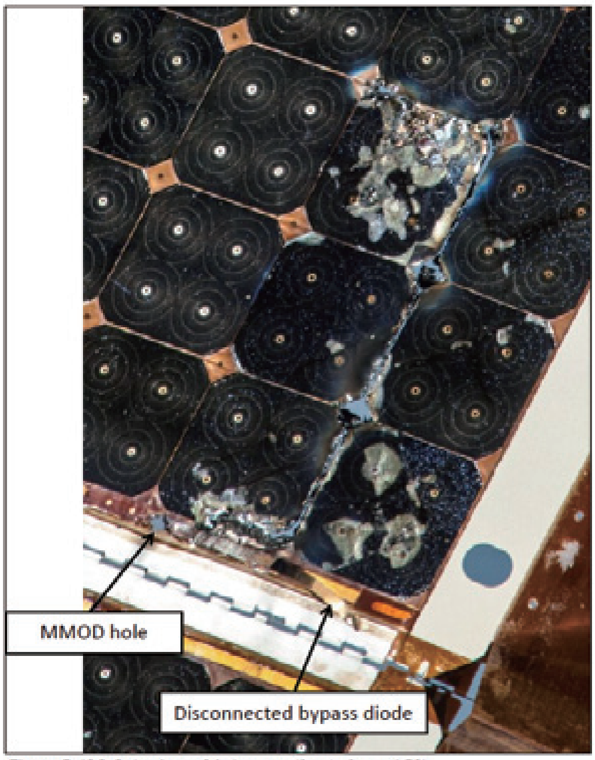


Figure 5. ISS Solar Array 3A damage (front of panel 58).

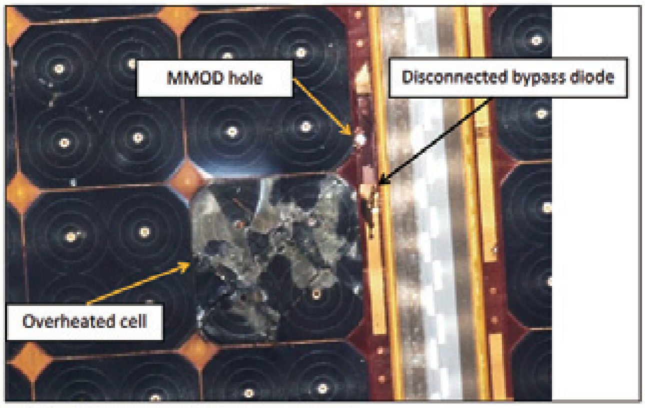


Figure 6. ISS Solar Array 2A, panel 66 damage.

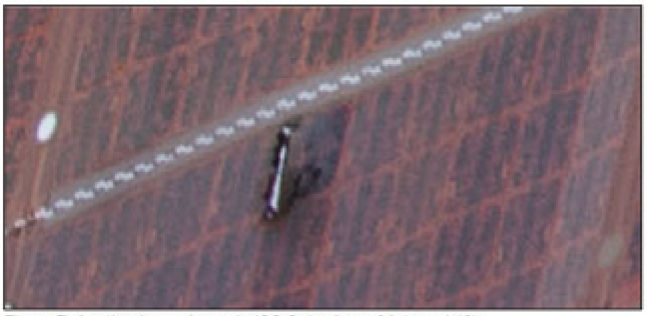


Figure 7. Another burned area in ISS Solar Array 3A (panel 42).

講演内容

1．はじめに

2．Whipple Bumperの性能向上

3．超高速衝突誘起放電

4．ISO11227(イジェクタ実験)の制定

5．超高速衝突技術の応用

6．おわりに

第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

ISO11227の規格制定について

2008年度　ISO/TC20/SC14/ODCWGに参加

2009年度　較正実験

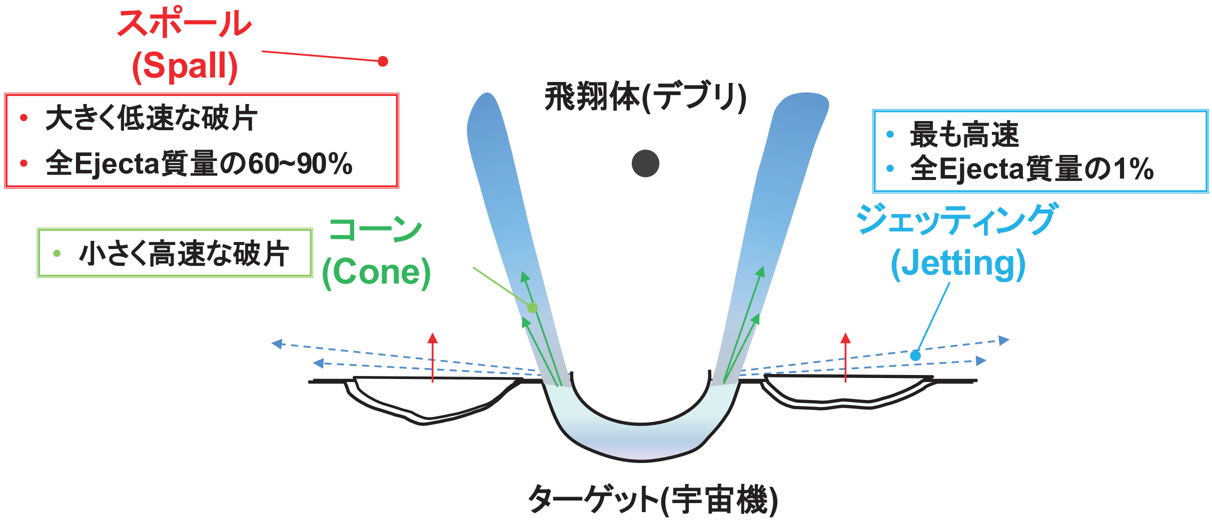
2010年度　宇宙用材料の実験

2011年度　再現性(異なる施設)、
繰返し性(同じ施設)確認実験

Ejecta

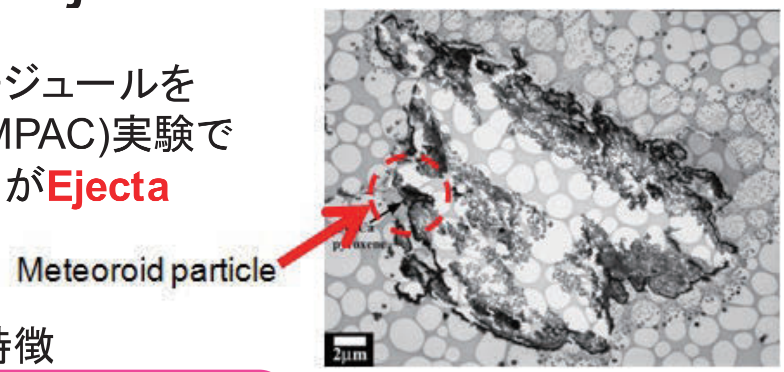
宇宙機にデブリやメテオロイド，もしくは
デブリ同士が衝突して発生する**2次デブリ**

Ejecta 質量 ≫ 飛翔体 質量



Ejecta

JAXAがISSのロシアモジュールを
利用した微粒子捕獲(MPAC)実験で
捕獲された粒子の一つが**Ejecta**



捕獲物の切片のTEM画像
(IHI北澤氏提供)

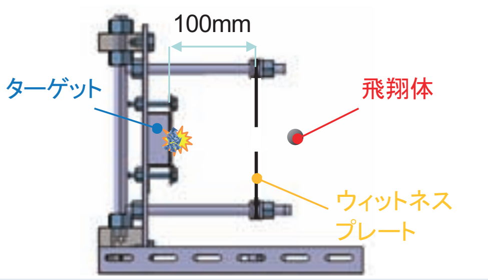
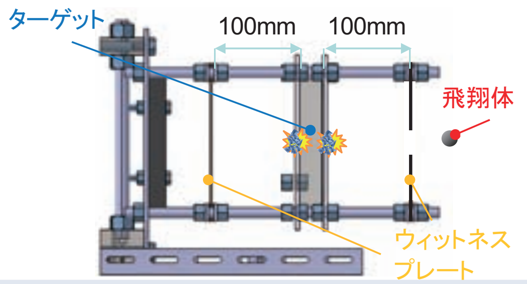
捕獲物の特徴

◆酸化銀と硫化銀の混合物
◆数十～数百ｎｍの微粒子の集合体
◆直径１μm程度の石質粒子を含んでいる

メテオロイドと宇宙機外表面に衝突
して発生した**二次デブリ**と推定

ペイント材の可能性

実験条件

	較正実験	宇宙用材料を用いた一般実験
外観		
ターゲット	合成石英 大きさ:　50 mm× 50 mm×20 mm	①太陽電池アレイクーポン 大きさ:　100 mm× 100 mm×25 mm ②CFRPアルミニウムハニカム 大きさ:　100 mm× 150 mm×25 mm ③アルミニウムハニカム 大きさ:　100 mm× 150 mm×25 mm
飛翔体	材質:　アルミニウム (A2017) 大きさ:　直径1 mm 質量:　1.6mg 衝突速度:　5 km/sec	
ウィットネスプレート	材質:　銅(JIS H3100 C1100-1/4H)，機械研磨 大きさ:　高さ180 mm×幅150 mm×厚さ2 mm，前方：中心穴直径30mm，後方：無	

「超高速衝突時に宇宙船材料の噴出物を評価するための試験手順」を国際標準化しました

規格詳細情報 - ISO 11227:2012

規格番号 ISO 11227:2012
標題 Space systems -- Test procedure to evaluate spacecraft material ejecta upon hypervelocity impact
標題仮訳 宇宙システムー超高速度衝突時の宇宙船材料の噴出物を評価するための試験手順
状態 有効
規格概要
発行年月日 2012-09-11
対応JIS規格
TC ISO/TC 20/SC 14
ICS 49.140
邦訳版 邦訳版なし
備考 PDFには、カラー写真が含まれます。
この規格はE-book formatでも入手いただけます。

2012年9月11日に発行

	商品	標準価格	ページ数	ファイルサイズ	
ご提供商品	原本PDFダウンロード	10,206円 (本体価格9,720円)	23	1,458 KB	買物かごへ
	原本冊子	10,206円 (本体価格9,720円)	23		買物かごへ

ISO11227の規格制定について

2008年度　ISO/TC20/SC14/ODCWGに参加

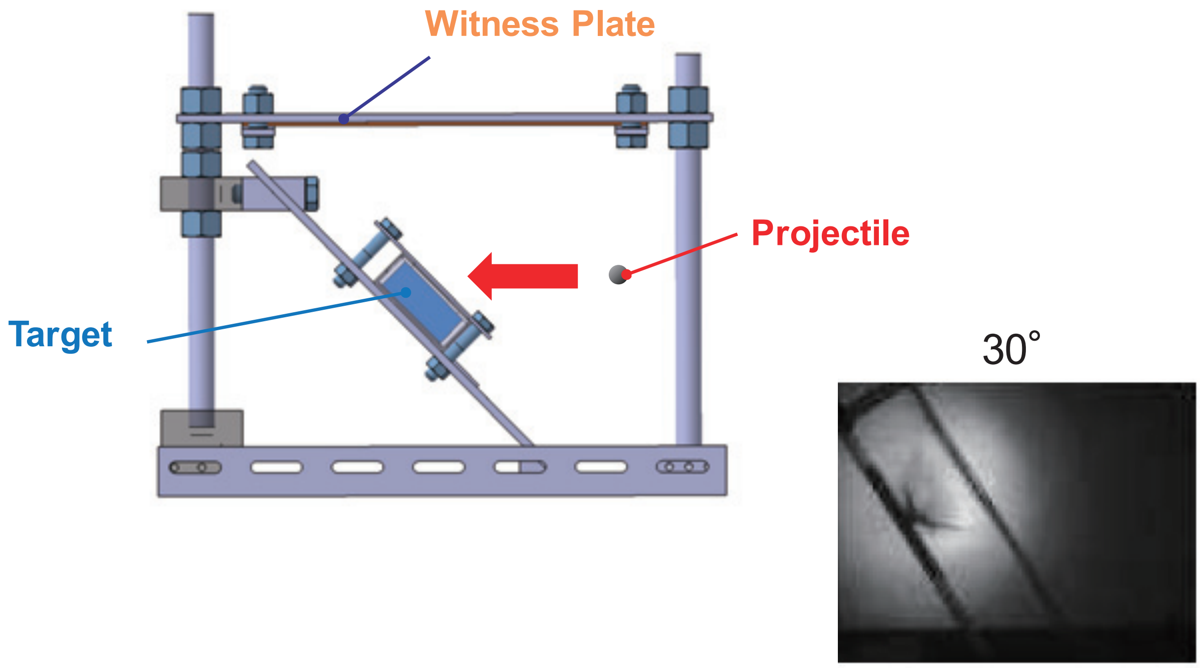
2009年度　較正実験

2010年度　宇宙用材料の実験

2011年度　再現性（異なる施設）、
繰返し性（同じ施設）確認実験

2012年度　9月11日、ISO11227発行
斜め衝突実験の検討

斜め衝突

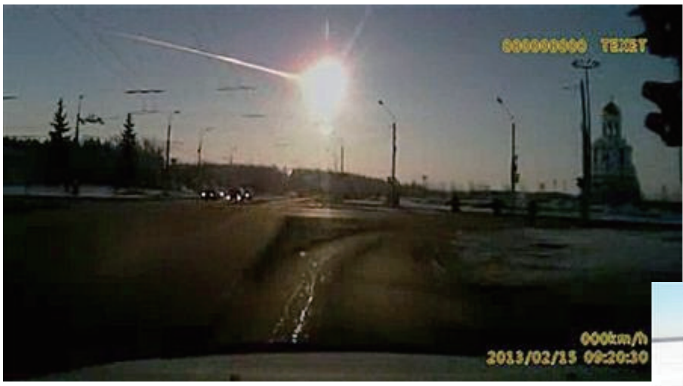


講演内容

1. はじめに
2. Whipple Bumperの性能向上
3. 超高速衝突誘起放電
4. ISO11227(イジェクタ実験)の制定
5. 超高速衝突技術の応用
6. おわりに

第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

ロシアでの小天体空中爆発

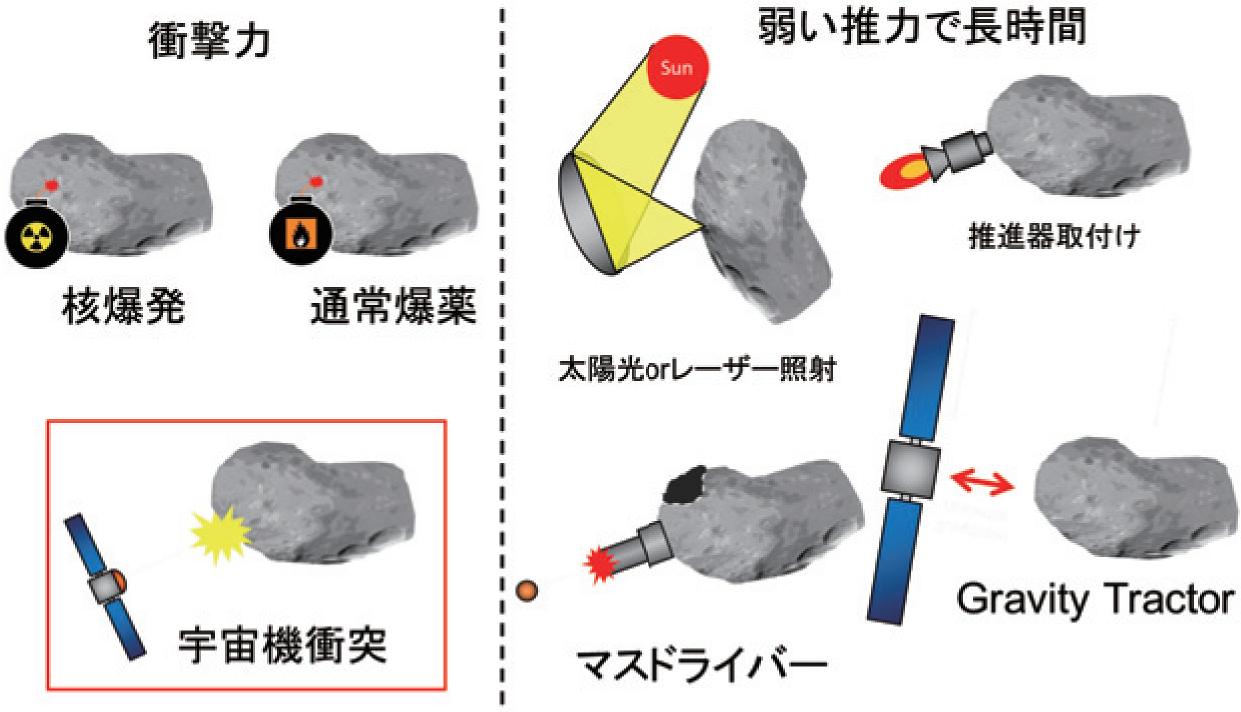


2013/2/15午前9時半頃
チェリャビンスク(ロシア)
直径約17 m, 重さ約1万トンの
天体が空中爆発

負傷者 1200人超
損壊した建物 約4500棟

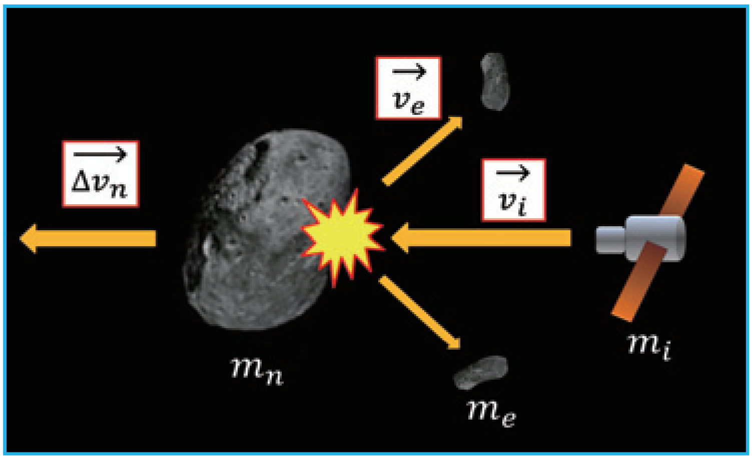
広島型原爆20倍のエネルギ

さまざまなNEO地球衝突回避策



宇宙機衝突による衝突回避

$$m_n \overrightarrow{\Delta v_n} = m_i \overrightarrow{v_i} - \Sigma m_e \overrightarrow{v_e} = \beta m_i \overrightarrow{v_i}$$

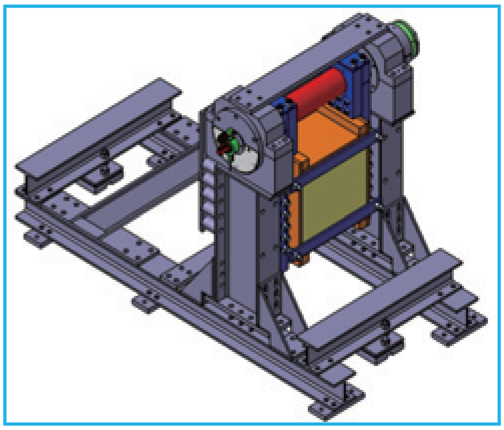


$$\beta = \frac{\text{ターゲットの運動量}}{\text{飛翔体の運動量}}$$

飛翔体の運動量に対して，ターゲットがどの程度の運動量を得られるのかを実験で調べる必要がある．

振子型ターゲット固定具により、運動量変化を計測

二段式軽ガス銃



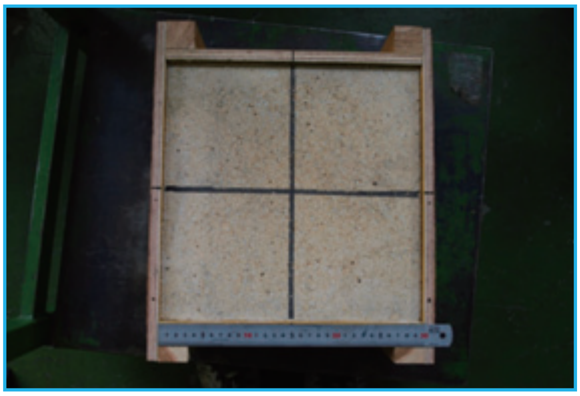
振子型試験機

二段式軽ガス銃を用いて飛翔体を発射し，振子型試験機に取り付けたターゲットに衝突させる．

実験条件

飛翔体
アルミ球 (A2017)
質量 : 4 [g]
直径 : 14 [mm]

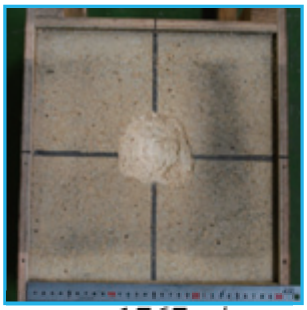
ターゲット
耐火レンガ
質量 : 約29 [kg]
密度 : 約2.3 [g/cm^3]
サイズ : 300×300×140 [mm]



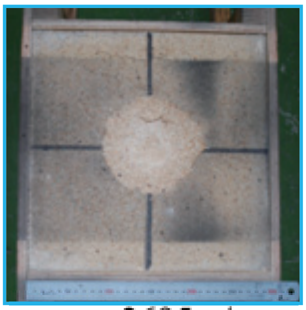
第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

実験結果

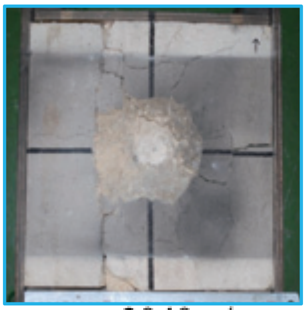
v = 1640m/s



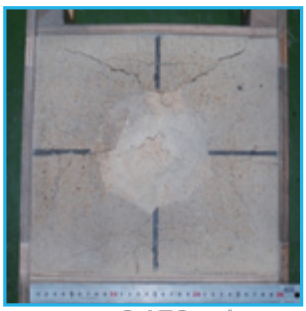
v = 1767m/s



v = 2695m/s



v = 3040m/s

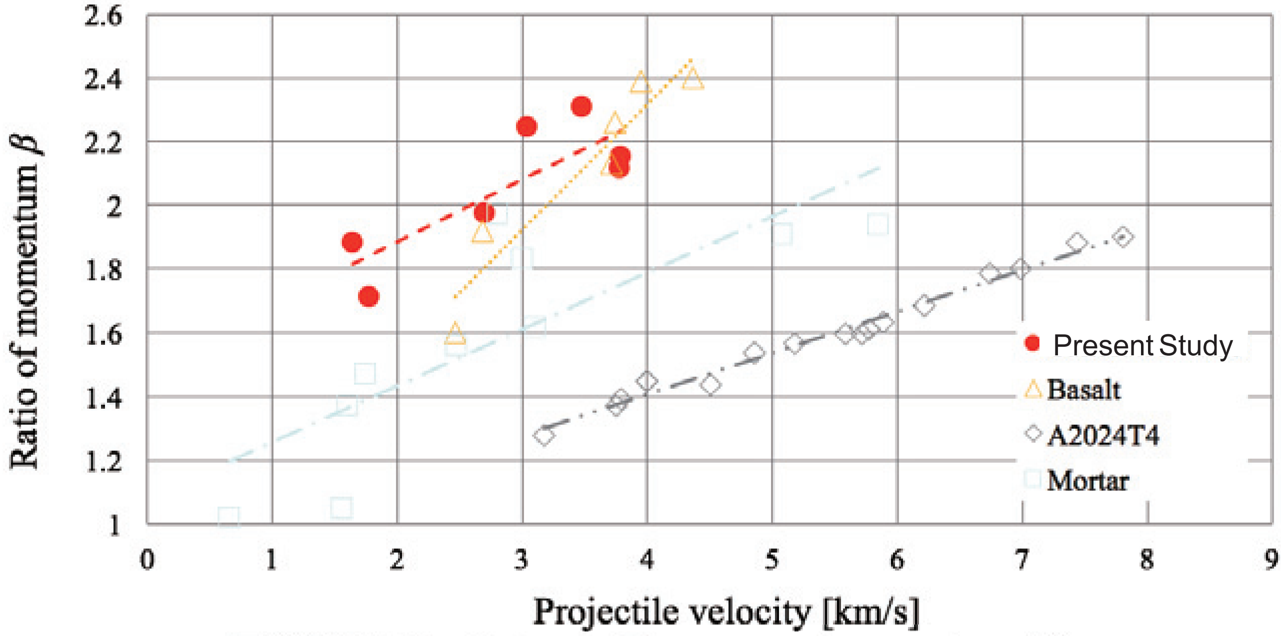


v = 3472m/s

v = 3773m/s

v = 3787m/s

超高速衝突による運動量変化量



飛翔体速度によるβのスケーリング

講演内容

1. はじめに
2. Whipple Bumperの性能向上
3. 超高速衝突誘起放電
4. ISO11227(イジェクタ実験)の制定
5. 超高速衝突技術の応用
6. おわりに

九州工業大学では1997年3月から

(1) 二次デブリ雲の挙動解析

(2) 衝突誘起放電

(3) ISO11227の制定

(4) 小惑星の地球への衝突回避

という研究に取組んできました。引き続き、ご支援等よろしくお願いします。

第１２回宇宙環境シンポジウム@北九州国際会議場(2015. 11. 16-18)

ご静聴ありがとうございました