

# スペースデブリ衝突の空気漏れ貫通穴を 暗闇でも位置表示させる試み ～ 光化学物質を用いて ～

榎原 幹十郎（東北大学 航空宇宙工学専攻）

2013年12月19日

「日本における超高速衝突実験の現状と将来展望」研究会

# 発表内容

- 研究内容の紹介
- JAXA/ISAS 二段軽ガス銃実験
- 東北大学・流体科学研究所 一段式火薬銃実験

## ～研究内容～

- 宇宙デブリ高速衝突試験結果の報告（白木ら，日本航空宇宙学会誌，1996）
- JEM与圧部構造の宇宙デブリ防御性能に関する性能評価シミュレーション（白木ら，日本航空宇宙学会論文集，1999）

現存デブリバンパで防御可能なのは約1cm大まで1cm  
～10cmのサイズのデブリは貫通を免れない



バンパー強度向上によるデブリ防護には限界がある



与圧部に小さな貫通穴が生じる場合を想定する



空気漏れ穴の位置情報をクルーに与え，  
迅速な修復作業に役立つシステムの構築

# ～実験研究内容～

衝撃によって電気系統がダウンする可能性がある



電源喪失の**暗闇の中で空気漏れ穴**を探さなければならない  
(センサとPCを用いた衝撃位置同定システム等は使えない)

- 急激な温度・圧力上昇をトリガーとして発光・蓄光する「メカノクロミズム金属錯体」を用いる.
- 与圧壁内側の貫通・空気漏れ穴周辺を蓄光効果により長時間発光させ続ける.

## 衝突実験装置利用の目的

- 提案する貫通穴表示システムを実証する為に、デブリ衝突を模擬した超高速衝突実験は欠かせない.
- 実験を通して、貫通穴を表示の可能性を示す.

# ～実験研究内容～

## メカノクロミズム金属錯体とは

- 急激な温度・圧力上昇をトリガーとして発光を始め、蓄光効果により発光し続ける.
- メカノクロミズム金属錯体は粉末物質であるため、宇宙構造にとって重量増にならない利点がある.
- 近年、発見・創生された新規物質であり、応用活用のポテンシャルは高い.
- 一方、創生されたばかりなので、超高速変形に対する詳細特性は分かっていない.

# 本研究の位置づけ

## 現在の宇宙ステーションの内部構成

- ◆ 過密な機器配置により，圧力壁は露出していない．
- ◆ スペースクルーが簡単に漏洩穴発見に動き回れるように，与圧壁回りが設計されていない

### ＜人命救助・デブリ対策の欠如＞

しかし，人命に関わる空気漏れ穴表示・補修法が確立すれば，人命救助を念頭に置いた設計をすべきである．

本研究は，現在の宇宙ステーション適用を目指した即物的な研究ではない．将来のあるべき有人宇宙活動の居住設計指針を見据えた研究である．

# 光化学物質の要求

与圧部に小さな貫通穴が生じる場合を想定する



空気漏れ穴の位置情報をクルーに与え、  
迅速な修復作業に役立つシステムの構築

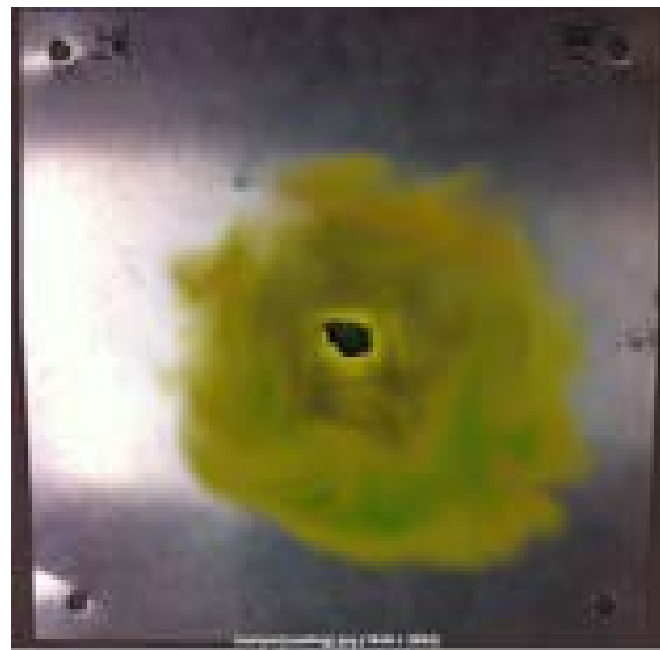
光化学物質に求められる性質

- ◆ 可視領域で発光すること
- ◆ 可視領域よりも短波長の光を吸収しないこと
- ◆ マトリックスとなじみやすく安定に存在するように疎水処理を施していること

# 想定される実験結果



メカノクロミズム金属錯体  
無しの衝突試験結果  
(高温で焦げるのみ)

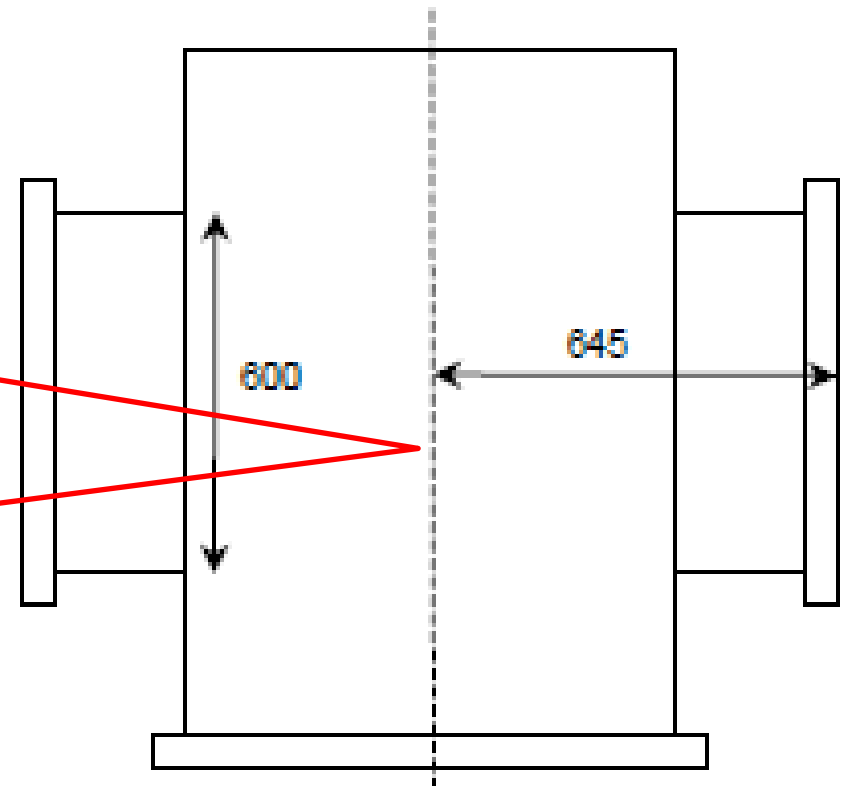
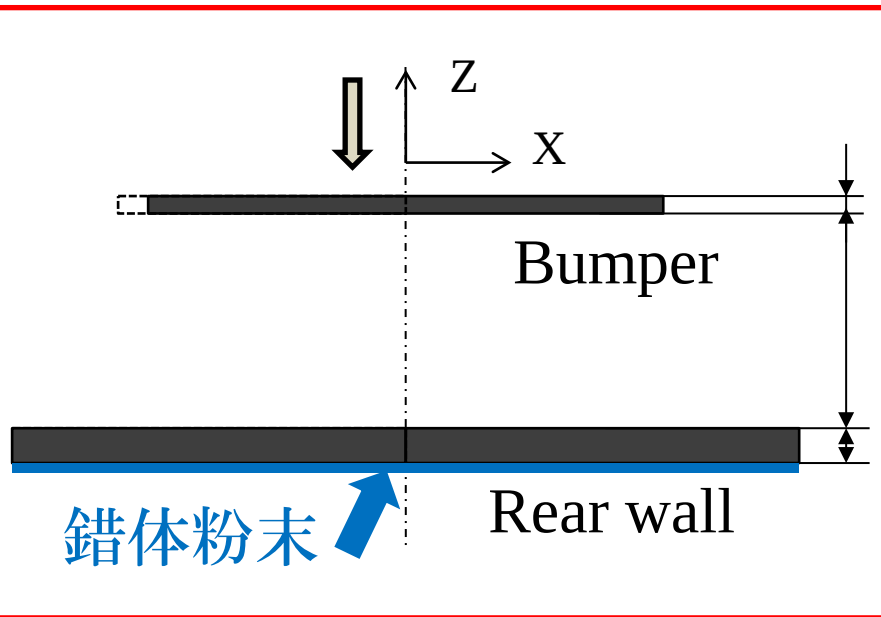
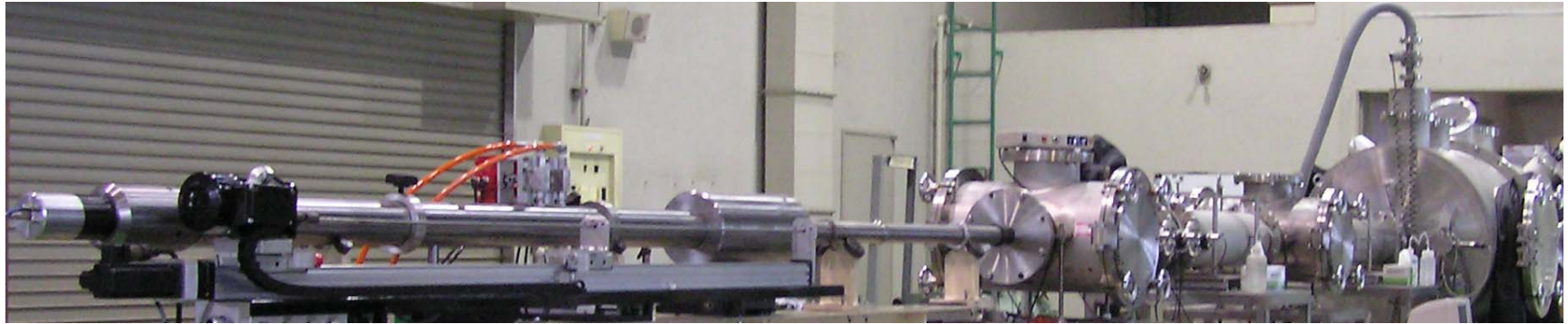


メカノクロミズム金属錯体  
有りの衝突試験予想  
(衝突穴回りが発光する)

発光し続ければ、暗闇でもデブリ貫通穴(空気漏れ穴)が検知でき、塞ぐ為の対処ができる.

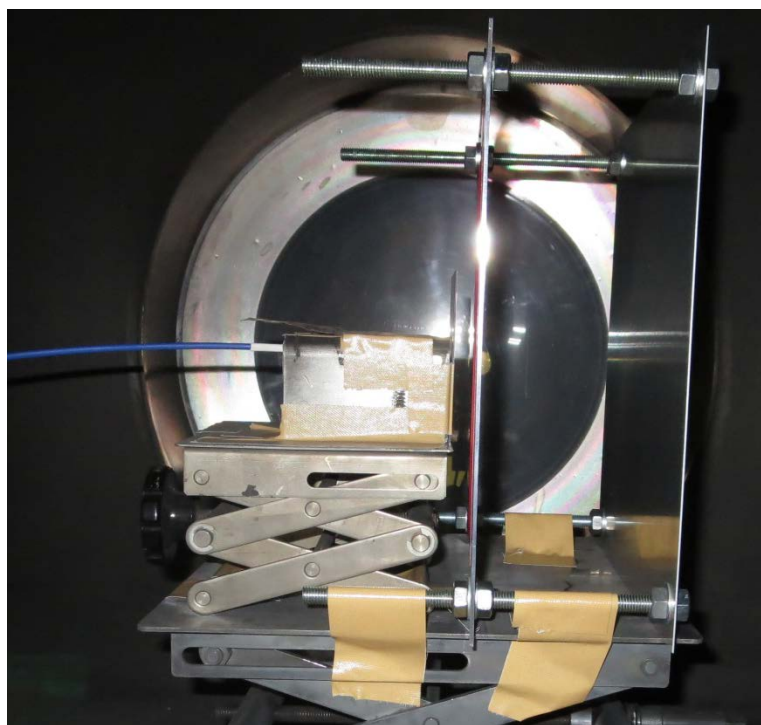
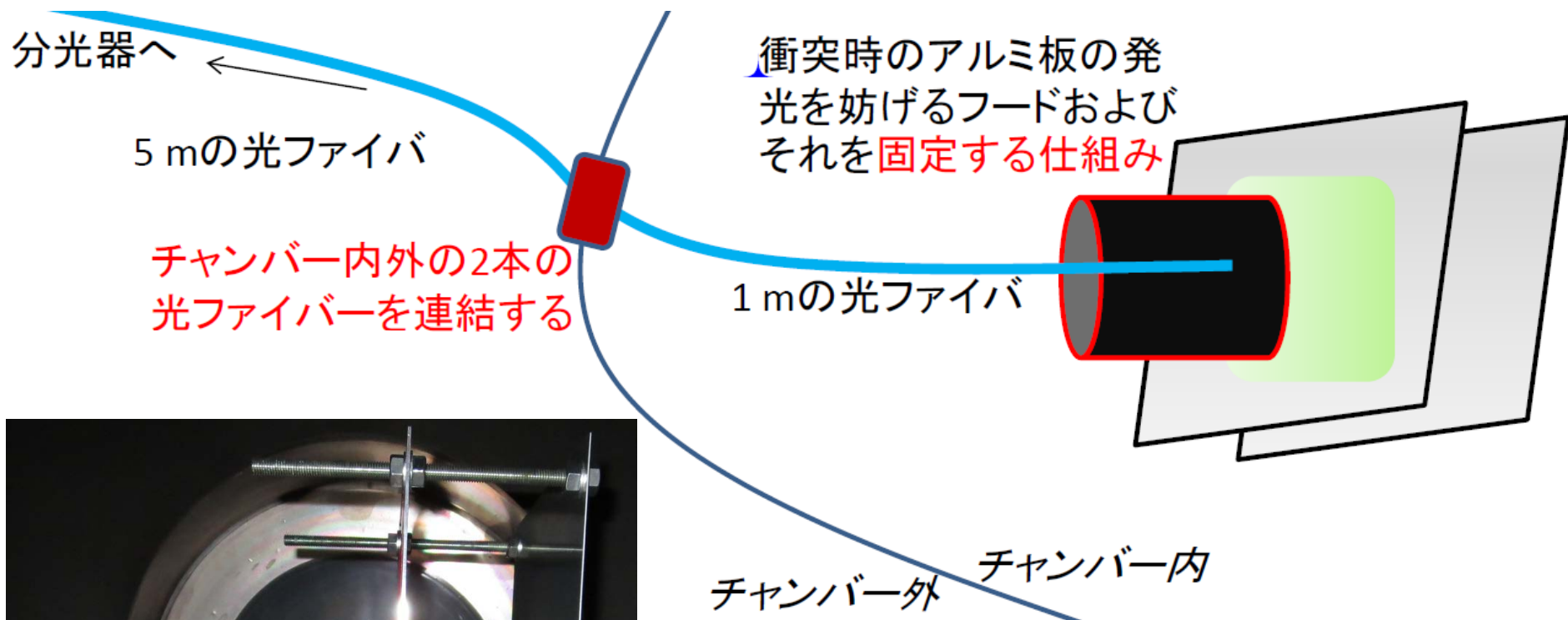
JAXA/ISAS（宇宙科学研究所）での実験

# 実験概要



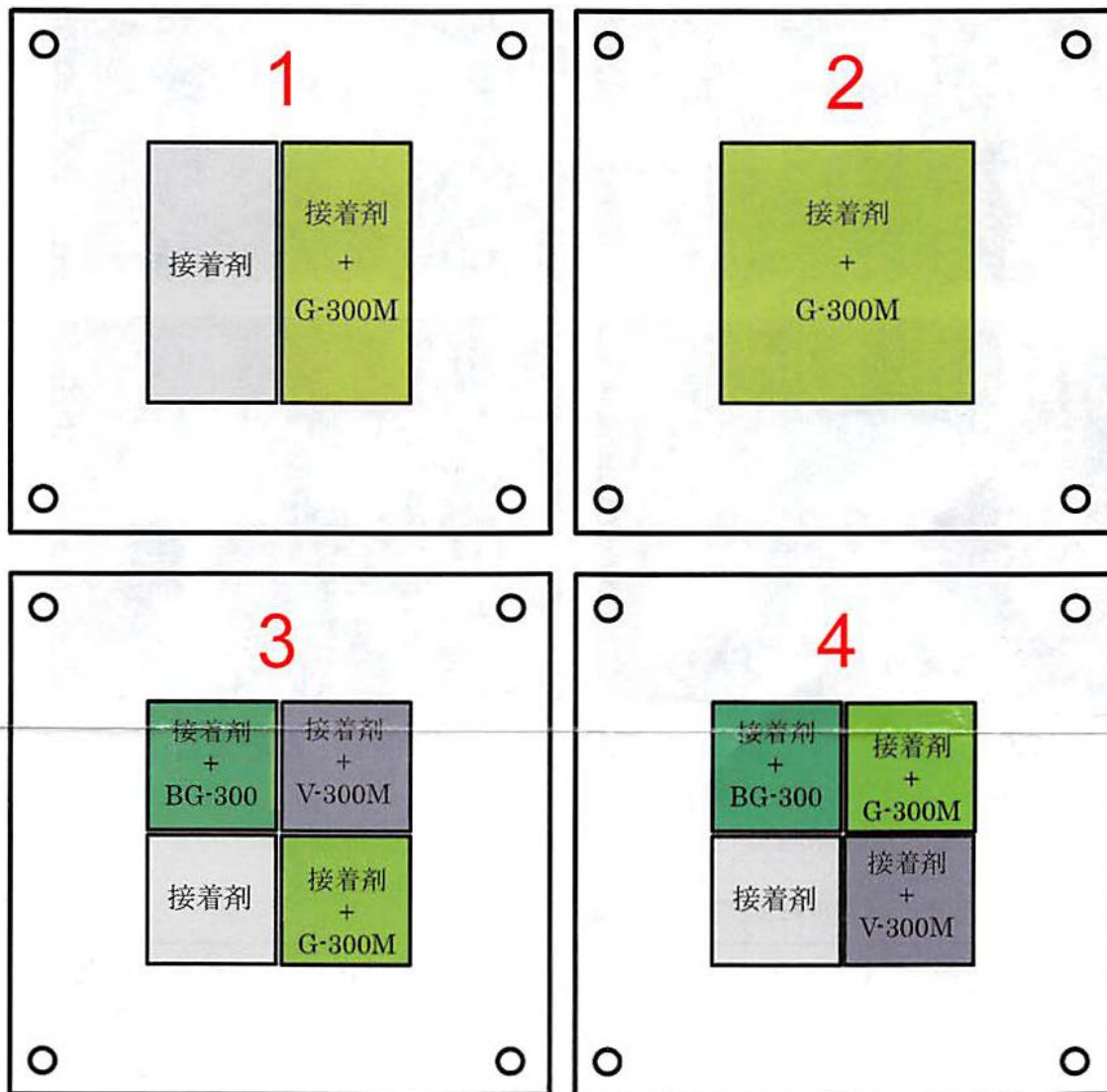
チャンバー内の実験構成

# 光ファイバを使った真空中での直接観測



チャンバー内  
の写真

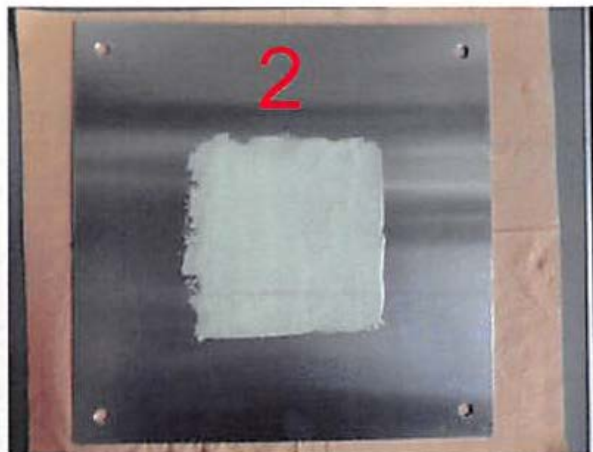
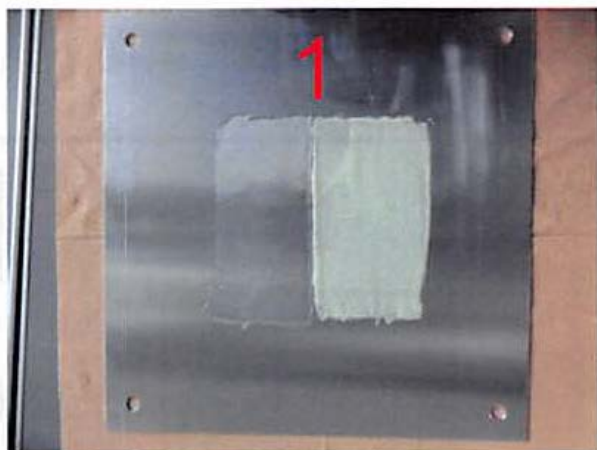
# 試料塗布の種類



3種類の光錯体物質の実験を行った.

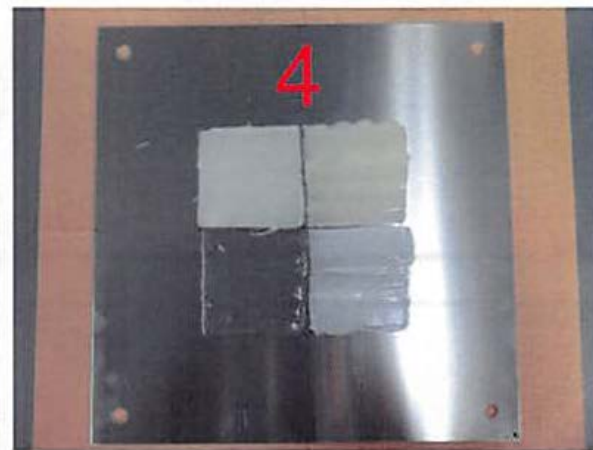
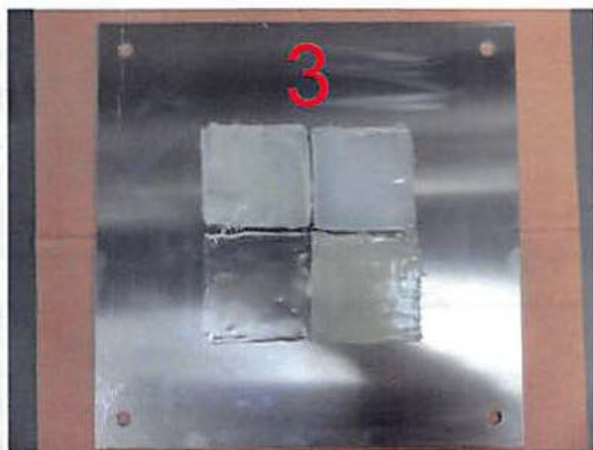
接着剤のみの場合も含め, 比較実験を行った.

# 実際の試料塗布



1セクション(1/4分割)  
辺り

試料: 3.00 – 3.09 g



接着剤: 3.02 – 3.58 g

# 接着剤に対する知見

使用想定環境は、与圧部の中であり、気圧がある。しかし、実験では真空中での衝突実験なので、接着剤にも知見が必要である。着実に知見を積み重ねた。



衝突による衝撃で剥離した



乾燥が不十分で膨れた

東北大学・流体科学研究所での実験

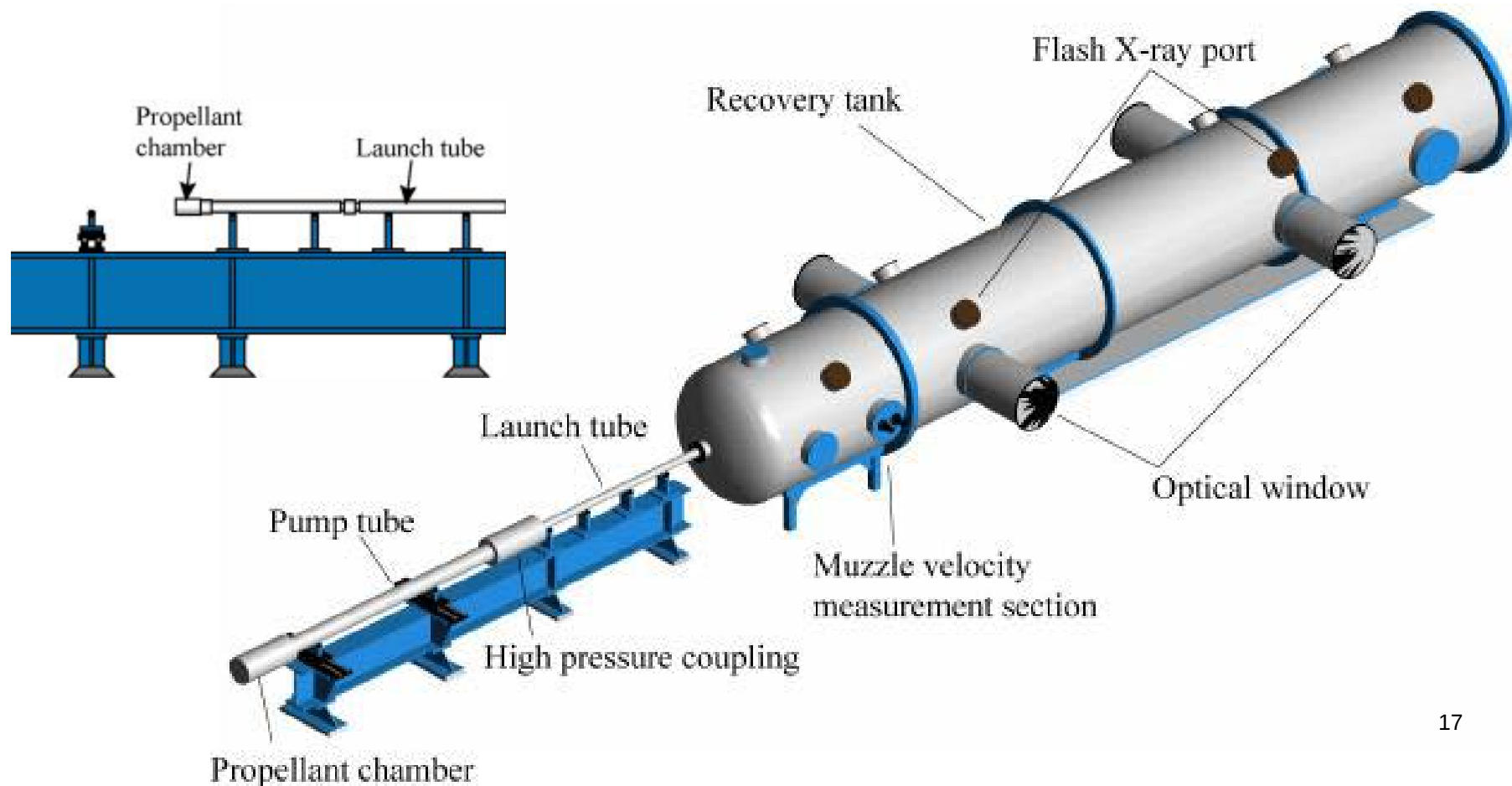
# 東北大学・流体科学研究所

## 東北大学・流体科学研究所 一段式火薬銃

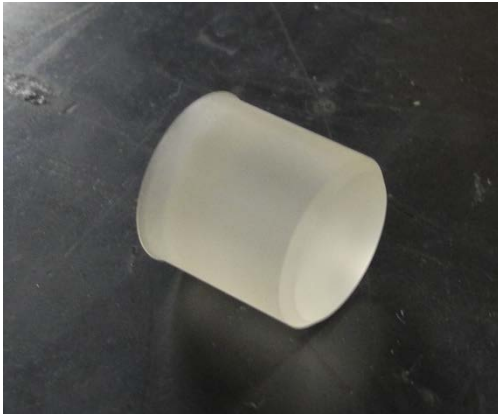


# 実験装置

火薬銃，軽ガス銃として使用可能

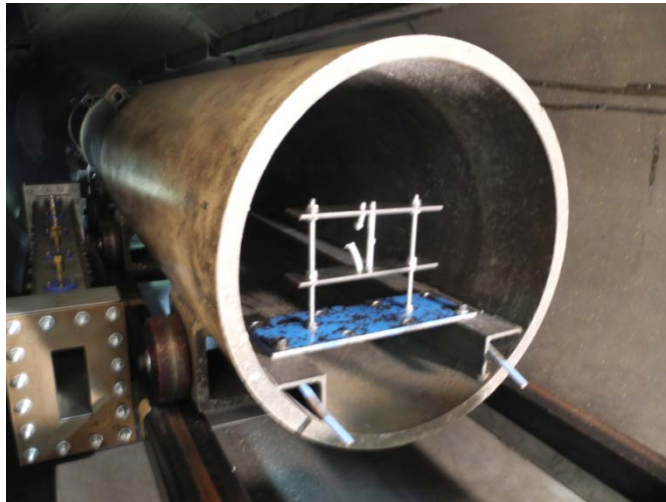


# プロジェクタイトとチャンバー内部



プロジェクタイト

プロジェクタイトの一例  
形状 円柱15 mm( $\Phi 15$ )  
材質 ポリカーボネート  
サボ分離機構なし  
(希望すれば, サボ可能)

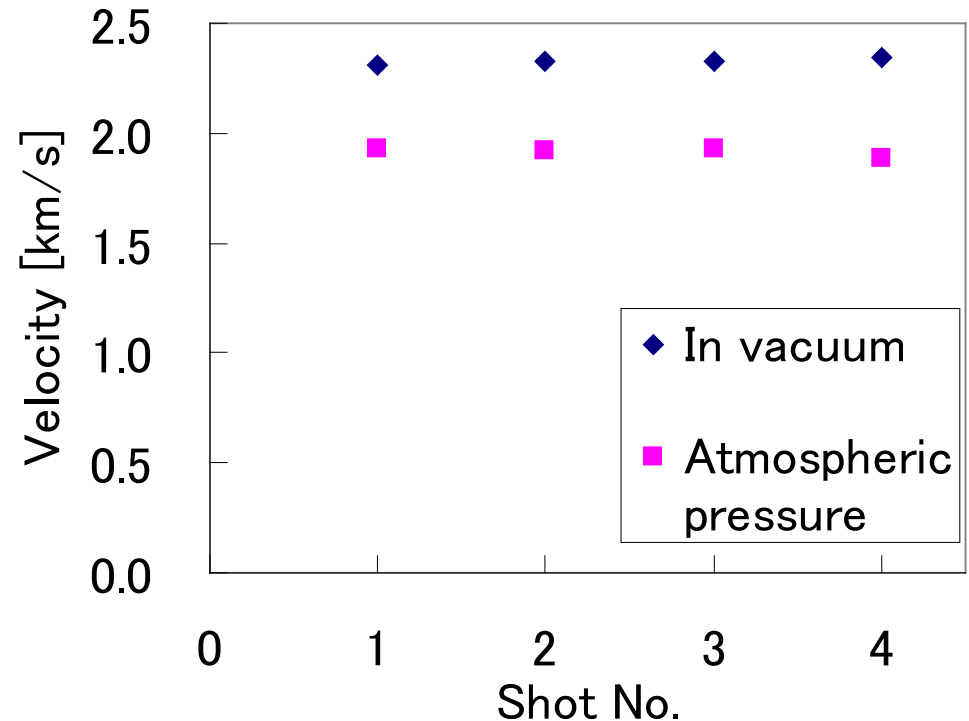
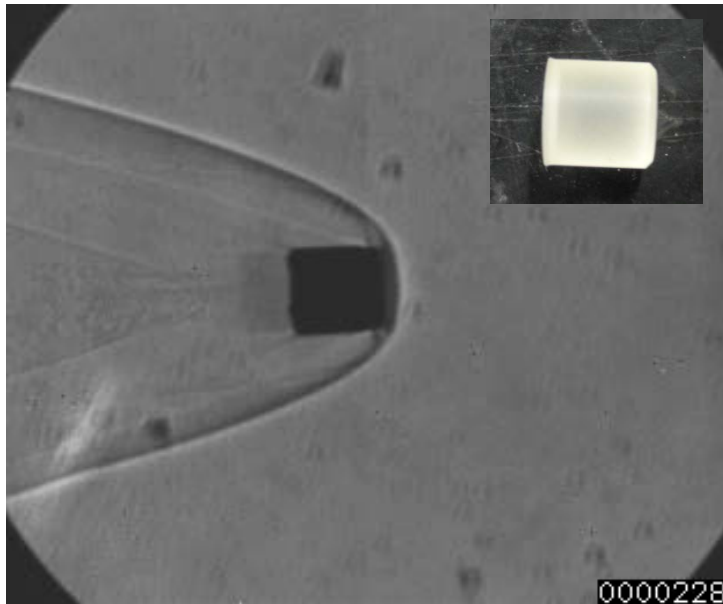


チャンバー内部

チャンバー直径: 1.66m

チャンバー内部に直接アクセス  
できるため, 実験装置の設置  
が容易である.

# プロジェクトイル飛行条件



真空引きをしない実験も可能である。  
衝撃波が生じて、空気摩擦による  
プロジェクトイルの変形は見られない

速度: 2.3 km/s(真空中)

速度変化なしで安定

# まとめ1 (研究の紹介：研究目的)

1. 近年創生されたばかりの「メカノクロミズム金属錯体」が予期した通り衝突貫通穴周辺で、**効果的に長時間発光**するか見極める。**提案する貫通穴表示システムの現実性の検証**を行う。
2. 衝突実験から得られるデータより、急激な温度・圧力上昇に適した**錯体分子設計にフィードバック**できる。メカノクロミズム金属錯体を改良している。
3. 衝突実験から得られるひずみ分布、塗料の剥落状況をつき合わせて、メカノクロミズム金属錯体の**粉末塗布に関して最適方法を試行錯誤した**。
4. 真空チャンバー内に光ファイバーを取り回し、バンパー裏に塗布した光化学物質の**直接スペクトル計測**が可能になった。

## まとめ2 期待される波及効果

衝突防護ではなく、衝突後の修復を念頭に置いた本研究は、スペースデブリ衝突研究の**新たな研究領域を開拓する学術的特色**を持つ。

将来の月面基地での隕石・宇宙塵衝突の修復作業にも有効活用されるだろう。**将来に渡り活用されれば、宇宙開発・研究への意義がある。**

航空タービンや風力発電翼などのバードストライク問題にも活用できる。高精度装置での衝突位置推定をせずに済み、大幅なコスト削減ができる。**幅広い分野で適用事例・発展研究に繋がる。**