



TOHOKU
UNIVERSITY

東北大学における 弾道飛行装置を用いた 実験研究について

東北大学 大学院 工学研究科 航空宇宙工学専攻
シミュレーション科学講座 実験空気力学分野
沼田 大樹

Corresponding to ; numata.daiju@aero.mech.tohoku.ac.jp



流体科学研究所 衝撃波関連施設について - 施設の概要 -



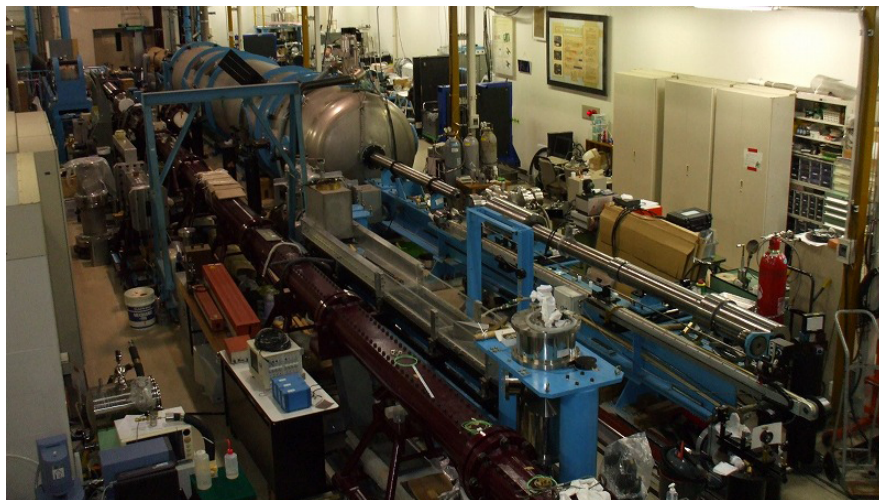
TOHOKU
UNIVERSITY

流体科学研究所 衝撃波関連施設



衝撃波関連施設(東北大学 流体科学研究所)
(<http://tech.ifs.tohoku.ac.jp/shockwave/index.html>)

- 流体科学研究所 学際衝撃波研究分野(高山先生)がベースとなり設立
- 現在までに培われてきた高度な衝撃波計測技術を用いた衝撃波研究環境を、幅広い研究者に提供することを目的とする



衝撃波関連施設の様子(東北大学 流体科学研究所)
(<http://tech.ifs.tohoku.ac.jp/shockwave/index.html>)

- 保有および公開されている設備
 - ◆ 大型衝撃波管
 - ◆ 大型矩形衝撃波管
 - ◆ 弾道飛行装置
 - ◆ 斜め二段式軽ガス銃
- 上記設備に関する計測技術・計測装置
 - ◆ 光学可視化計測
 - ◆ 他



TOHOKU
UNIVERSITY

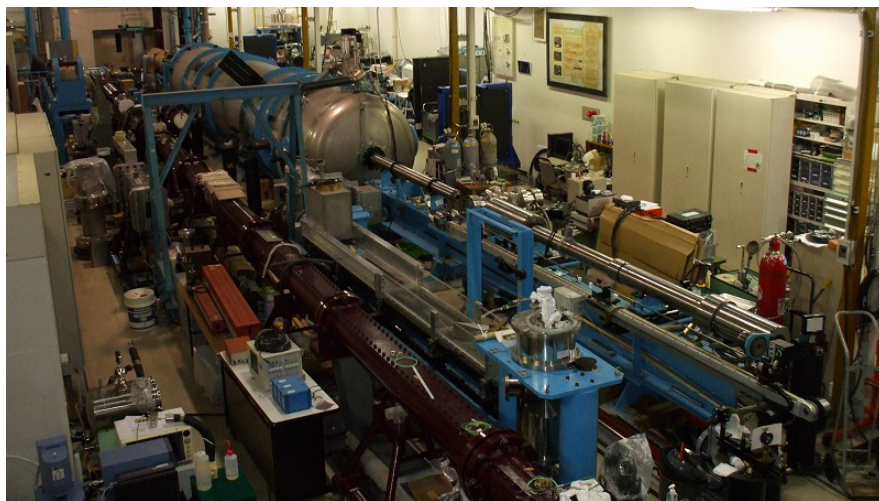
流体科学研究所 衝撃波関連施設



衝撃波関連設備(東北大学 流体科学研究所)
(<http://tech.ifs.tohoku.ac.jp/shockwave/index.html>)

■ 現在の運営体制

- ◆ 衝撃波関連施設共同利用委員会が、学外を含めた研究者に対して年に2回利用申請を受け付け、設備利用の可否および利用時期・利用期間を決定
- ◆ おおむね利用可能期間は1週間～2週間程度



衝撃波関連設備の様子(東北大学 流体科学研究所)
(<http://tech.ifs.tohoku.ac.jp/shockwave/index.html>)

■ 運営スタッフ

- ◆ 教育研究支援者 1名
→ 実験補助、施設運営
- ◆ 技術職員(常勤) 1名
(ただし他施設と兼務)
→ 実験補助、施設運営
- ◆ 技術職員(非常勤) 2名
→ 材料加工および実験補助

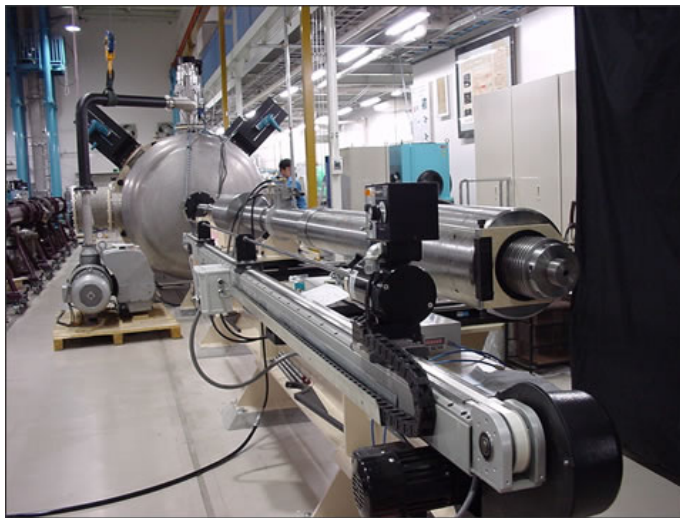
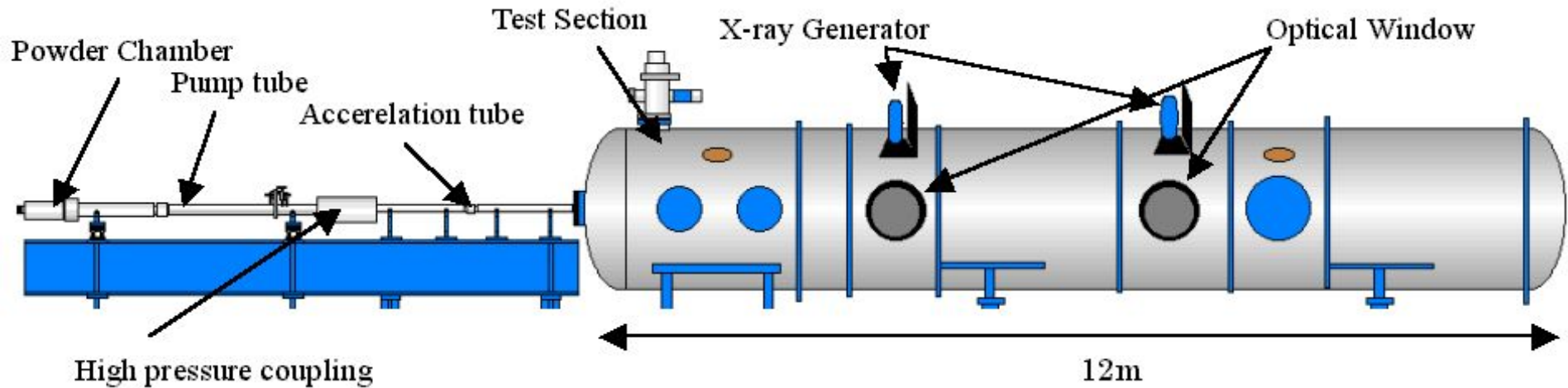


流体科学研究所 衝撃波関連施設について - 弾道飛行装置 -



実験装置 -弾道飛行装置-

TOHOKU UNIVERSITY



Ballistic Range at IFS, Tohoku University
(<http://www.nobby-tech.co.jp/result>)

Specification of the Ballistic Range
at IFS, Tohoku University

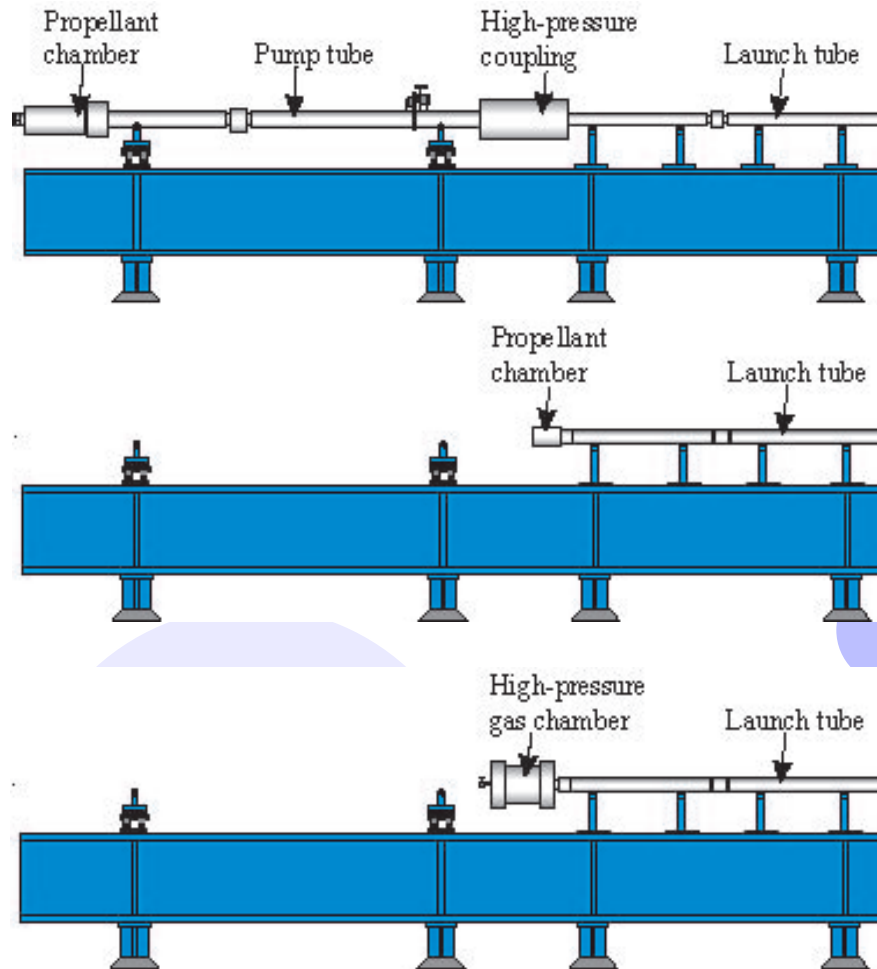
Pump tube	i.d. :	51 mm
	length :	3.4 m
Launch tube	i.d. :	15 mm
	length :	3 m
Test section	i.d. :	1.66 m
	length :	12 m

加速管は内径が15mm
のものと51mmのものが
利用可能



実験装置 -弾道飛行装置-

TOHOKU
UNIVERSITY



二段式軽ガス銃

2.5-8.0 km/s

(加速管内径15mmの場合のみ)

一段式火薬銃

0.5-2.5 km/s

一段式軽ガス銃

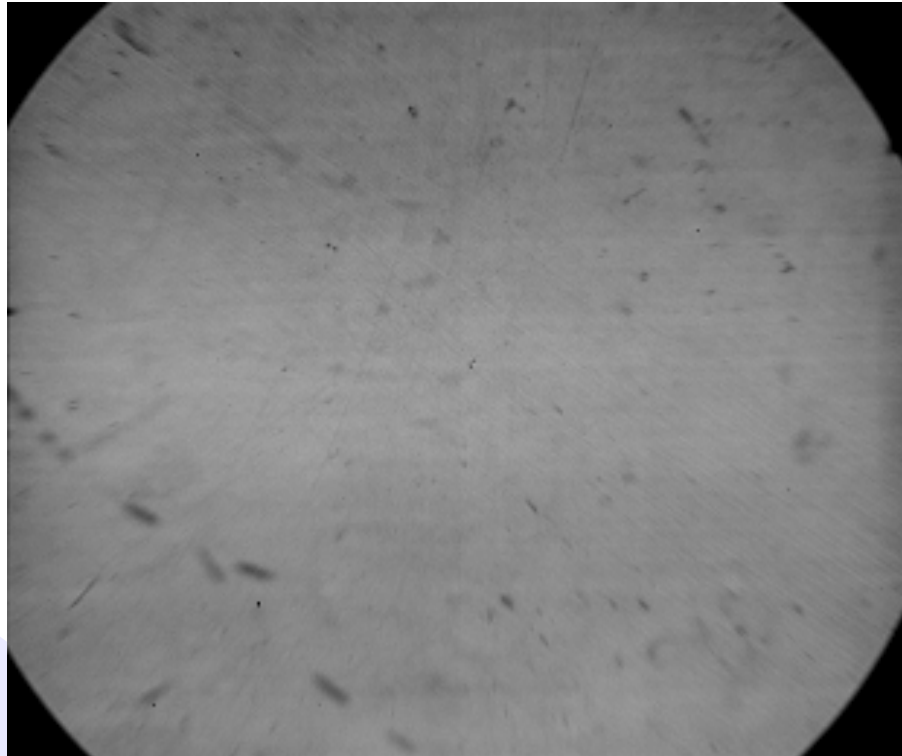
0.2-0.6 km/s

- **Launch tube**より上流側の構造を付け替えることにより、容易に運用形態を変更可能



TOHOKU
UNIVERSITY

実験装置 -弾道飛行装置-



飛行体速度 (試験部圧 10 kPa) : 7.24 km/s (ブラスト管出口速度)

6.5 km/s (後部可視化窓(管出口より5.5 m地点))

飛行体重量 : 6.21 g (サボ+飛行体)

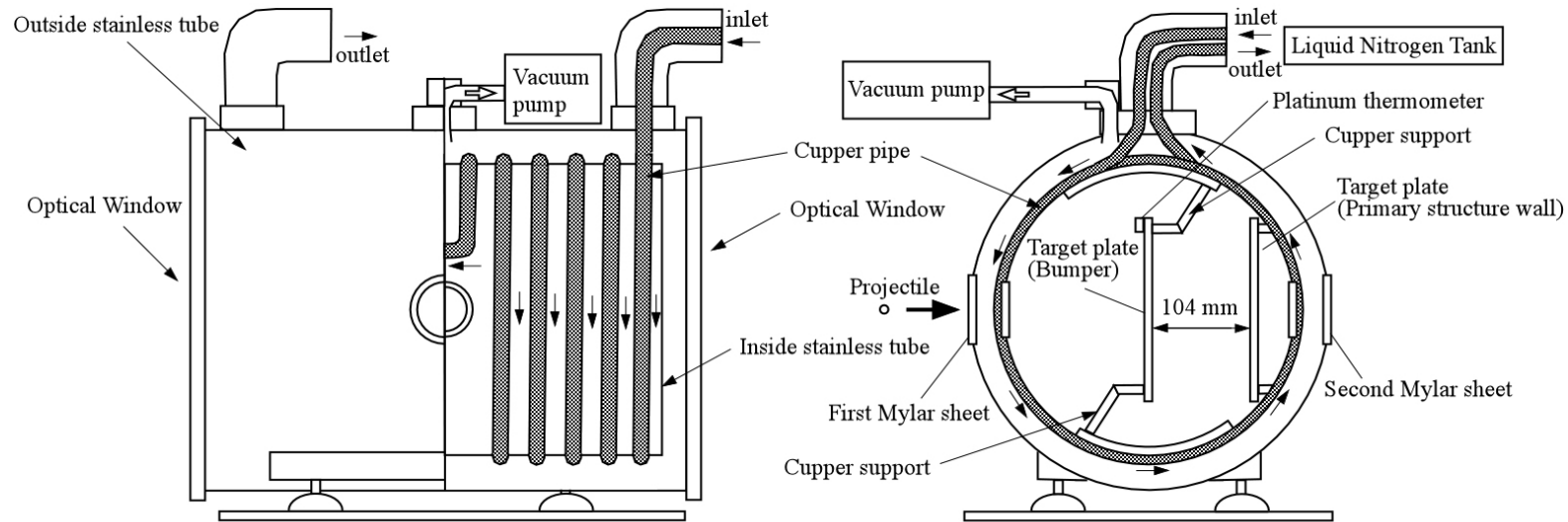
1.24 g (球状飛行体($\phi=9.52$ mm))



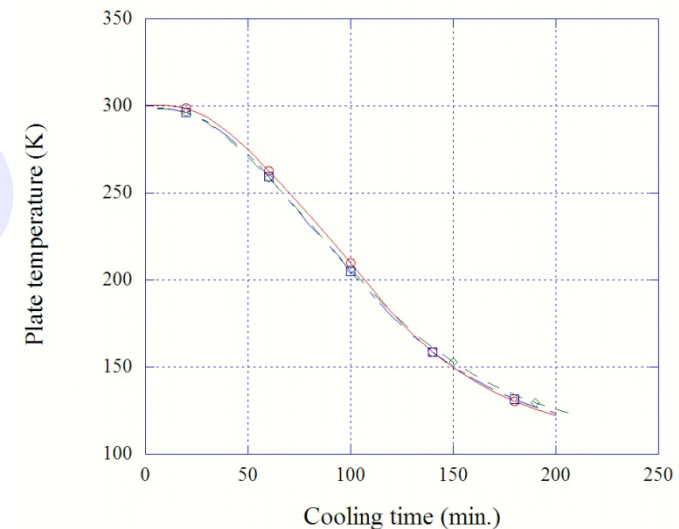
流体科学研究所 衝撃波関連施設について - 弾道飛行装置による研究例 -



研究例その1 -液体窒素回流型低温試験槽-



- 高速衝突現象に及ぼす試験環境温度の影響を調べるために制作
- 二重ステンレス管構造
- 内部ステンレス管外側の配管を循環する液体窒素との熱交換で試験片を冷却
- 冷却時間は室温から 120 Kまで200 分 (AL5052-H34の場合)
- 試験片サイズや素材により冷却時間, 最大到達試験温度が変化する

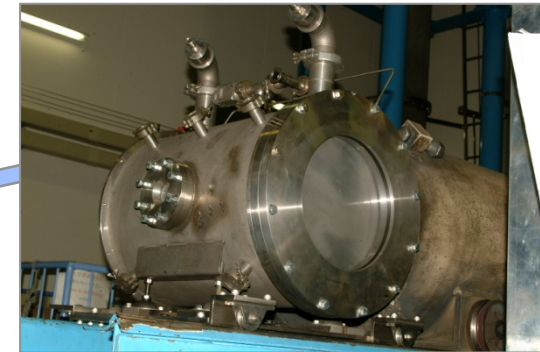
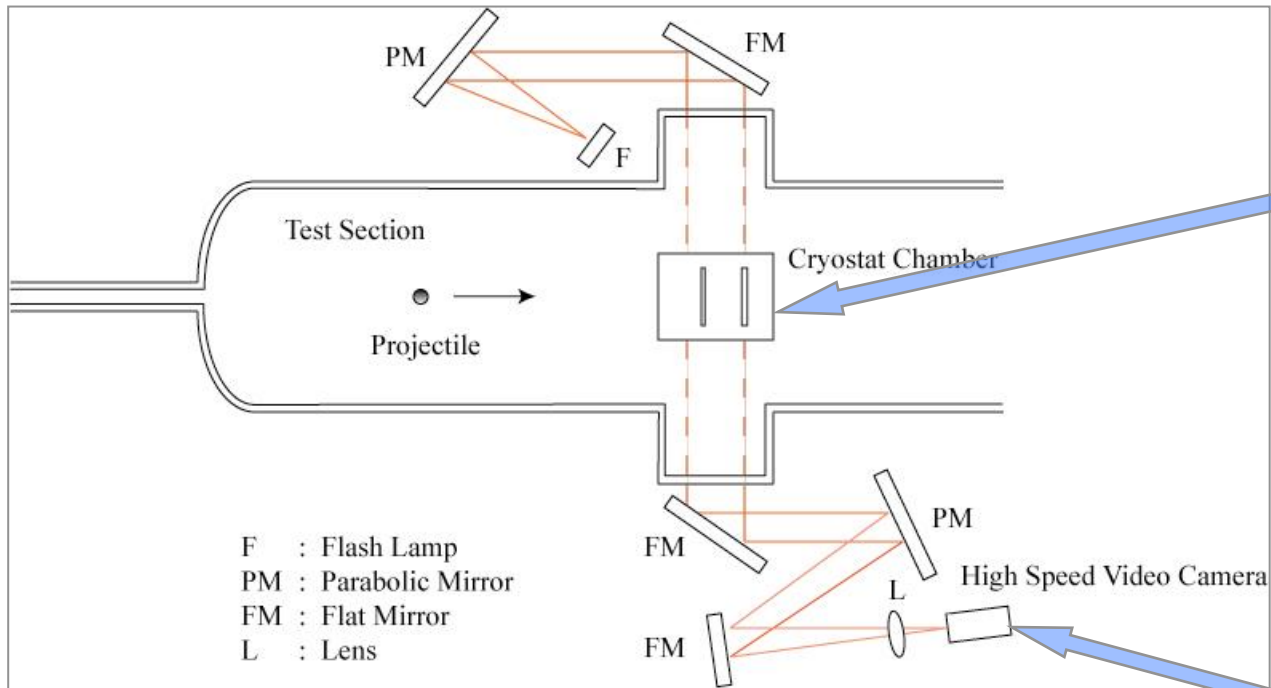


A Typical Correlation between the Target Plate Temperature and Elapsed Time (AL5052-H34)



実験条件 -可視化光学系 (影写真法)-

TOHOKU
UNIVERSITY



- 光源 :
フラッシュランプ
- 撮像装置 :
Hyper Vision
(HPV-1, 株式会社島津製作所)

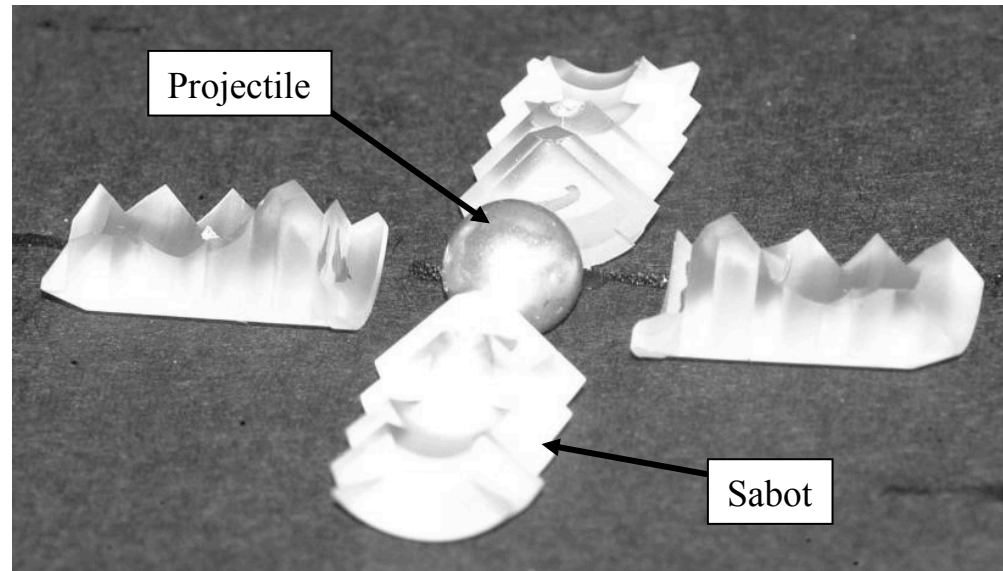
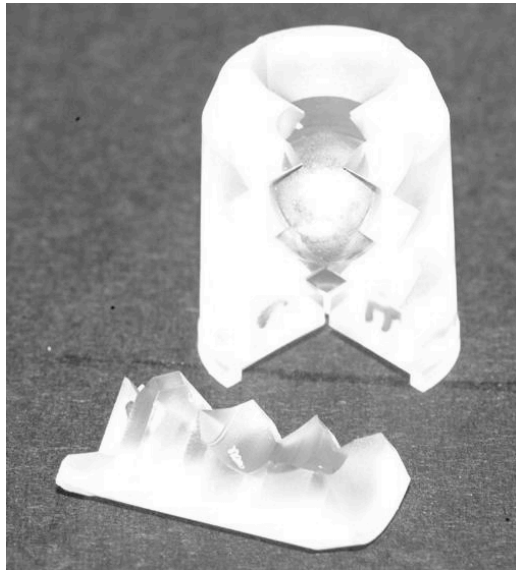
- コマ間隔 :
4 μ s ($V < 1.7$ km/s)
2 μ s ($V > 2.4$ km/s)
- 露光時間 :
250 ns

HyperVision™, HPV-1, Shimadzu Corp.
(<http://www.shimadzu.co.jp/news/press/050323.html>)



TOHOKU
UNIVERSITY

実験条件 -衝突飛行体及びチャンバー内圧力条件-



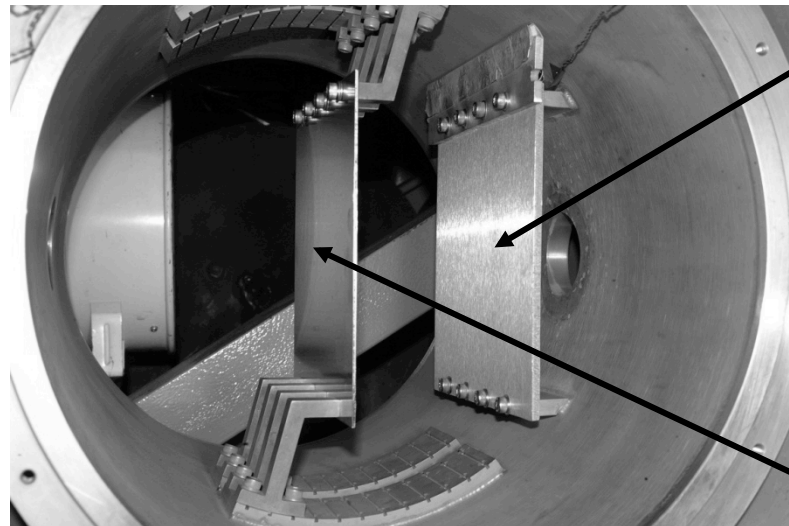
	Inside pressure condition	Test gas
Liquid nitrogen flow-type cryostat chamber	1 Pa	Air
Two-stage light gas gun test section	50,000 Pa	Air

- Projectile
Al 2017-T4, spherical
 $\phi = 5/16$ inch. (7.938 mm)
Mass : 0.73g
- Sabot (4-parts type)
Polycarbonate, cylindrical
 $\phi = 15$ mm, $l = 18$ mm
Mass : 3.02g



TOHOKU UNIVERSITY

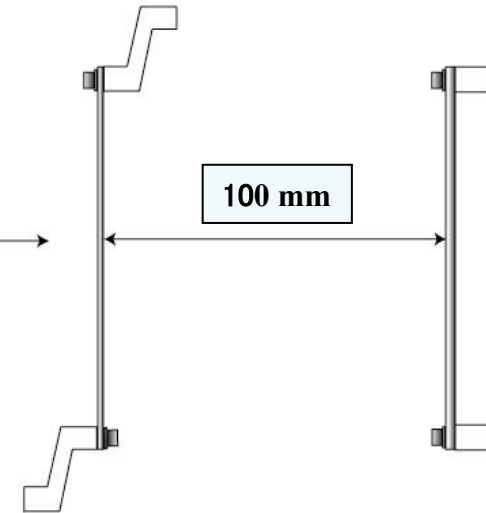
実験条件 -試験板の材質・寸法及び設置条件-



Rear target plate
(Main structure wall)

Frontal target plate
(Bumper shield)

Projectile



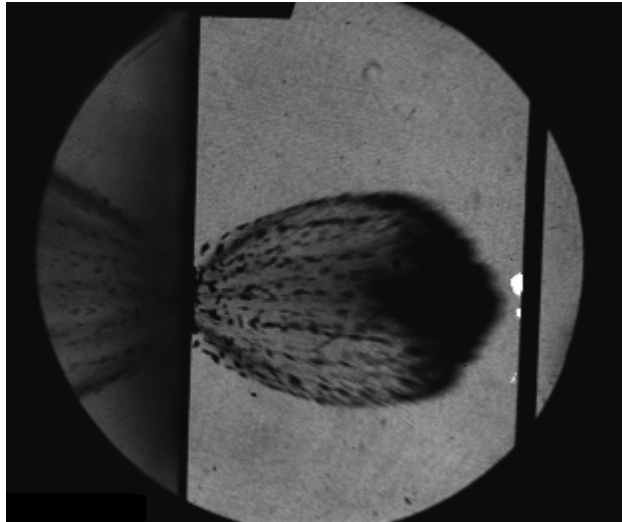
衝突速度	1.0 km/s ~ 6.0 km/s
試験板温度	常温環境 (298 K) 低温環境 (123 K)

	Bumper shield	Primary structure wall
Case 1	Al 5052 H34 (200mm×200mm×2mm)	Al 2024 T3 (200mm×200mm×5mm)
Case 2	Al 6061 T6 (200mm×200mm×2mm)	Al 2024 T3 (200mm×200mm×5mm)
Case 3	CFRP (100mm×100mm×3mm)	Al 2024 T3 (200mm×200mm×5mm)

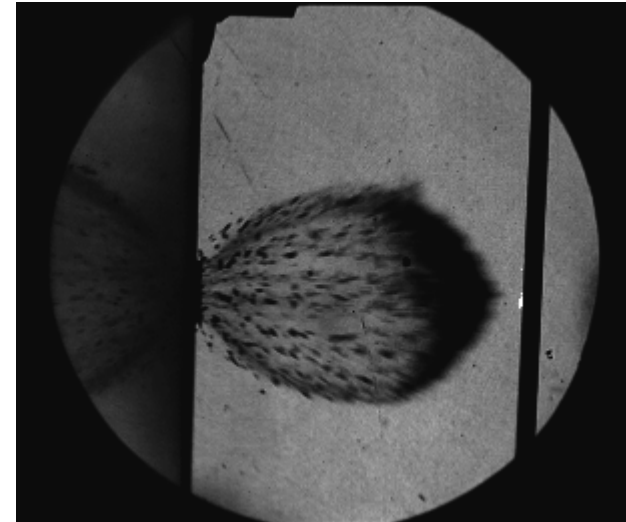


実験結果 - デブリ雲形状に及ぼす試験板温度の影響 -

D. Numata, K. Ohtani, M. Anyoji, K. Takayama, M. Sun,
"Experimental study of hypervelocity impacts at low temperatures",
Shock Waves, volume 18, pp.169-183, 2008.



Room temperature case (295 K)



Low temperature case (116 K)

衝突速度 = 3.7 ± 0.03 km/s

デブリ雲外部形状は試験板温度の影響を大きくは受けていない

■ Francesconi [2006] は低温でのデブリ雲形状の異常性を報告

- ◆ Francesconi の試験では、飛行体直径に対する板厚の割合が本実験より数倍大きい (t_b / d_p が大きい)

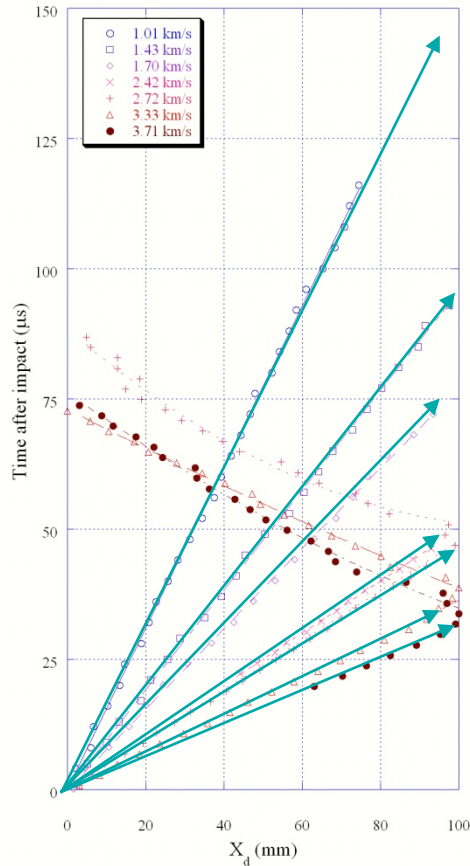
板厚と飛行体直径の比 t_b / d_p に応じて、デブリ雲外部構造に及ぼす試験板温度の影響が変化する可能性



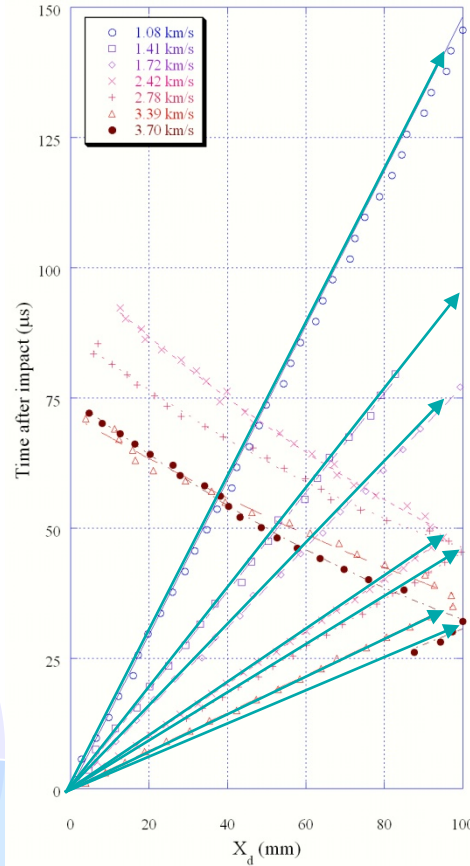
実験結果 -デブリ雲の飛散速度に及ぼす板温度の影響-

TOHOKU UNIVERSITY

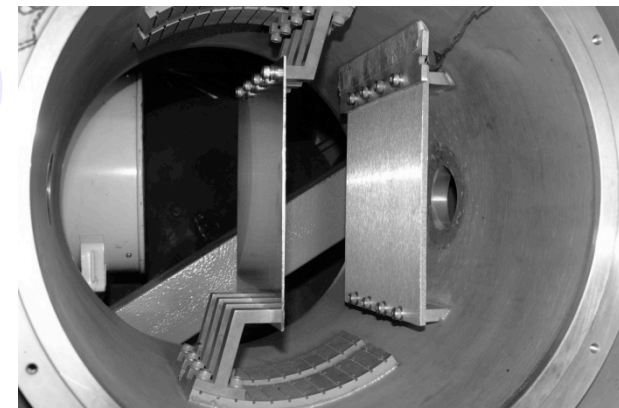
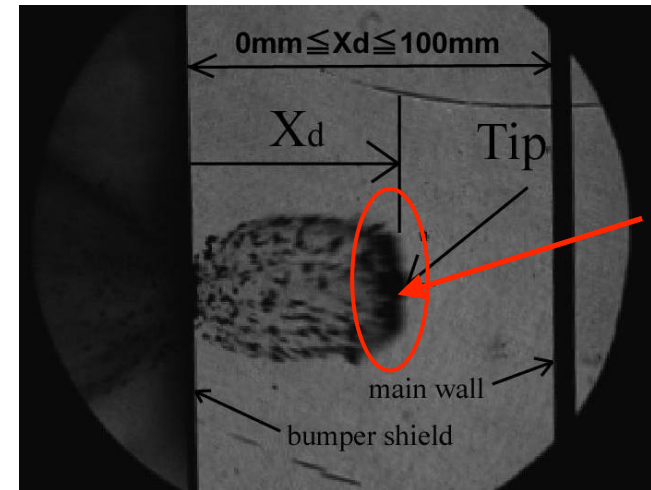
D. Numata, K. Ohtani, M. Anyoji, K. Takayama, M. Sun, "Experimental study of hypervelocity impacts at low temperatures", *Shock Waves*, volume 18, pp.169-183, 2008.



Room temperature case



Low temperature case

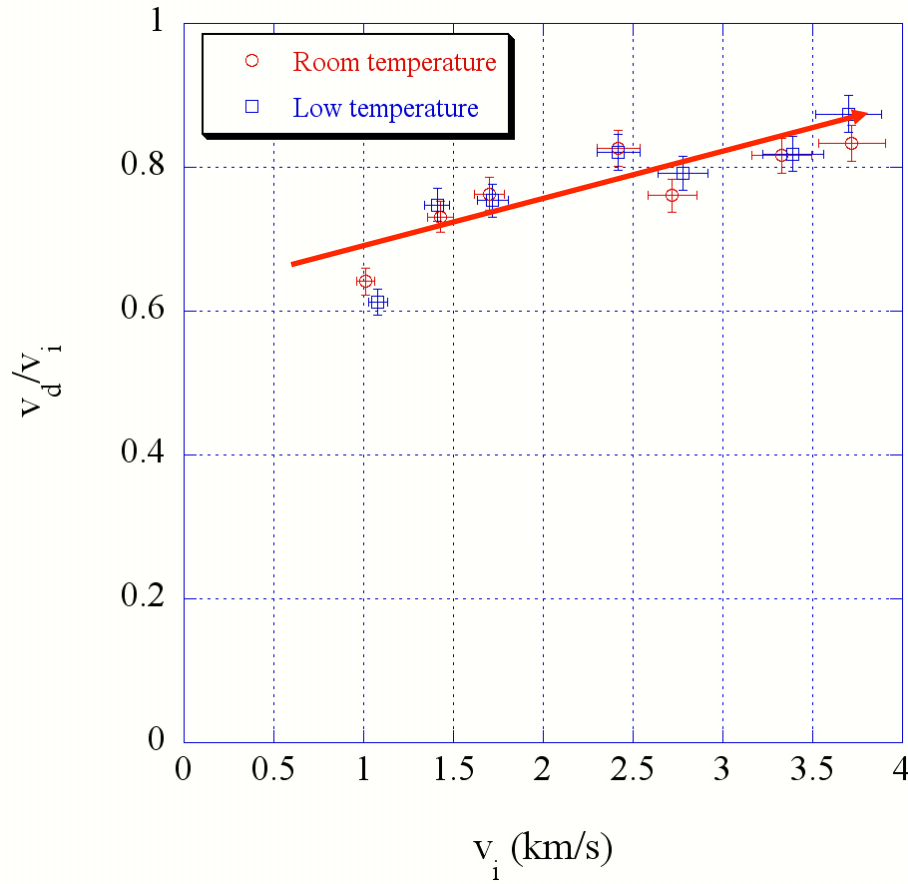


デブリ雲は主壁への衝突まで一定速度で飛散する

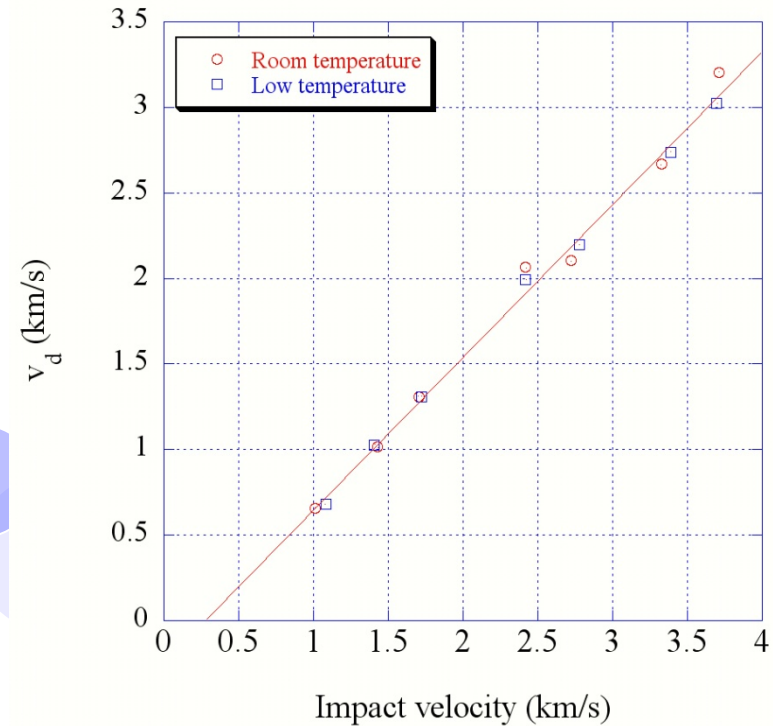


実験結果 -デブリ雲の飛散速度に及ぼす板温度の影響-

D. Numata, K. Ohtani, M. Anyoji, K. Takayama, M. Sun, "Experimental study of hypervelocity impacts at low temperatures", *Shock Waves*, volume 18, pp.169-183, 2008.



衝突速度と減速率の関係



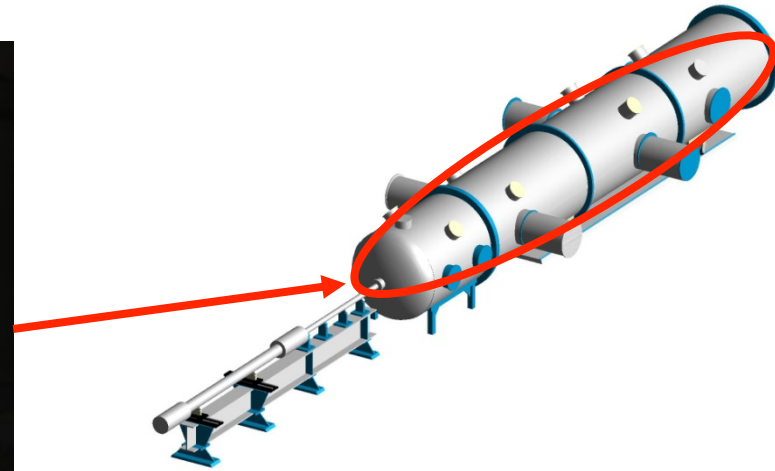
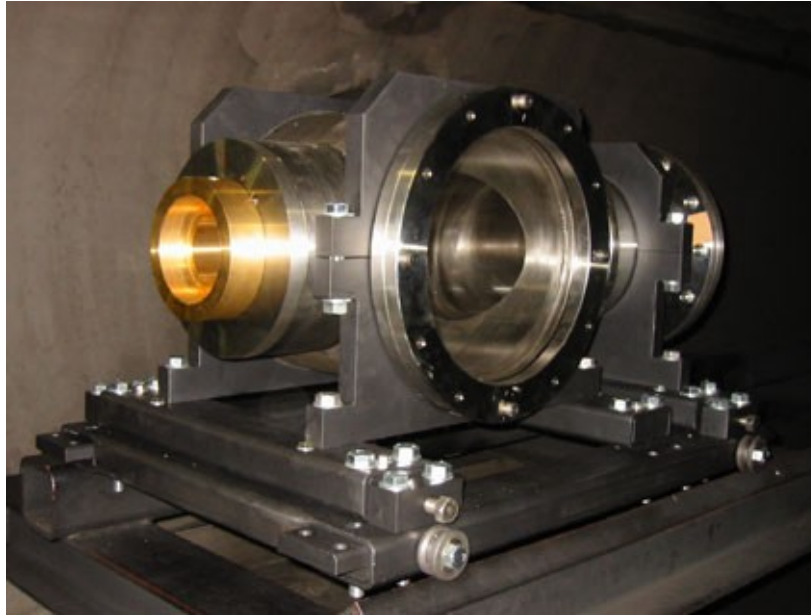
衝突速度とデブリ雲先頭部速度の関係

デブリ雲の先頭部速度には試験板温度の影響は見られない



TOHOKU
UNIVERSITY

研究例その2 -水中突入実験用試験槽-

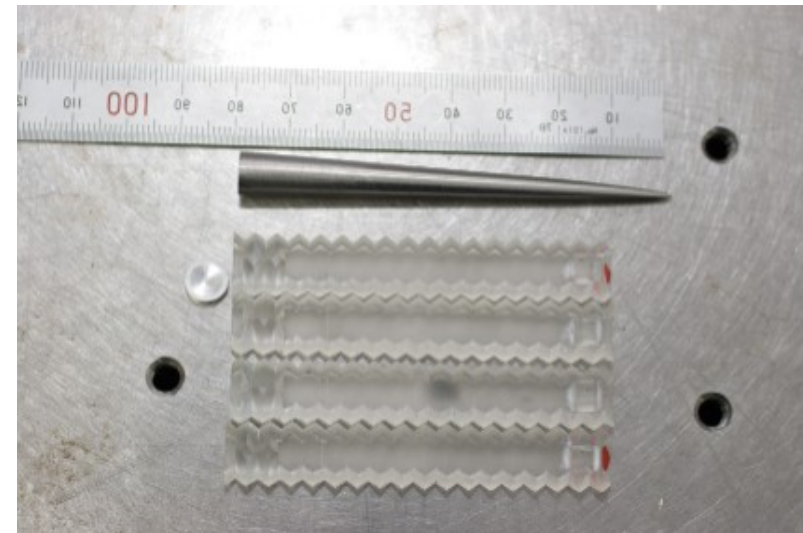


- 水中を移動する物体周りの現象を調べるために作成
- ステンレス構造
- 専用台座の上に固定
- チャンバー内に試験液体(水)を充填し、飛行体をチャンバー内に突入させる
- チャンバー入り口および出口は隔膜により仕切られている



TOHOKU
UNIVERSITY

実験装置 -水中突入実験用試験槽・試験例-



飛行体速度 : 409 m/s
コマ間隔 : 16 μ s 露光時間 : 4 μ s

水中突入物体周りのキャビテーション気泡の生成および消滅を可視化できている



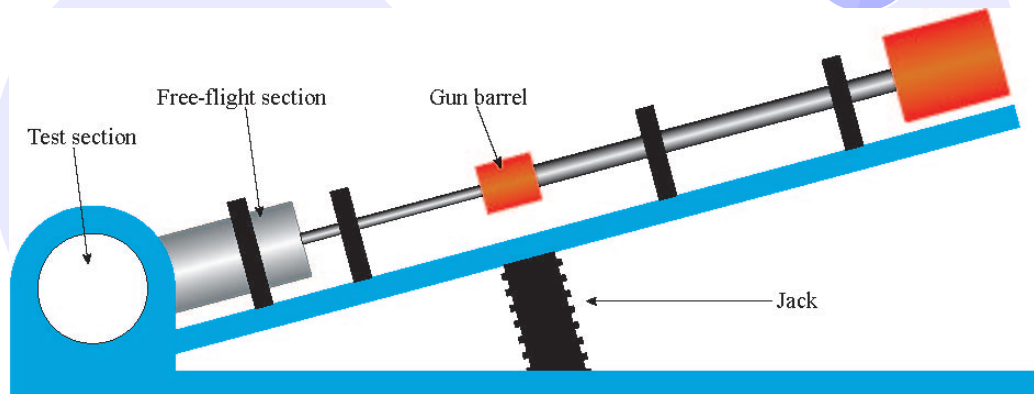
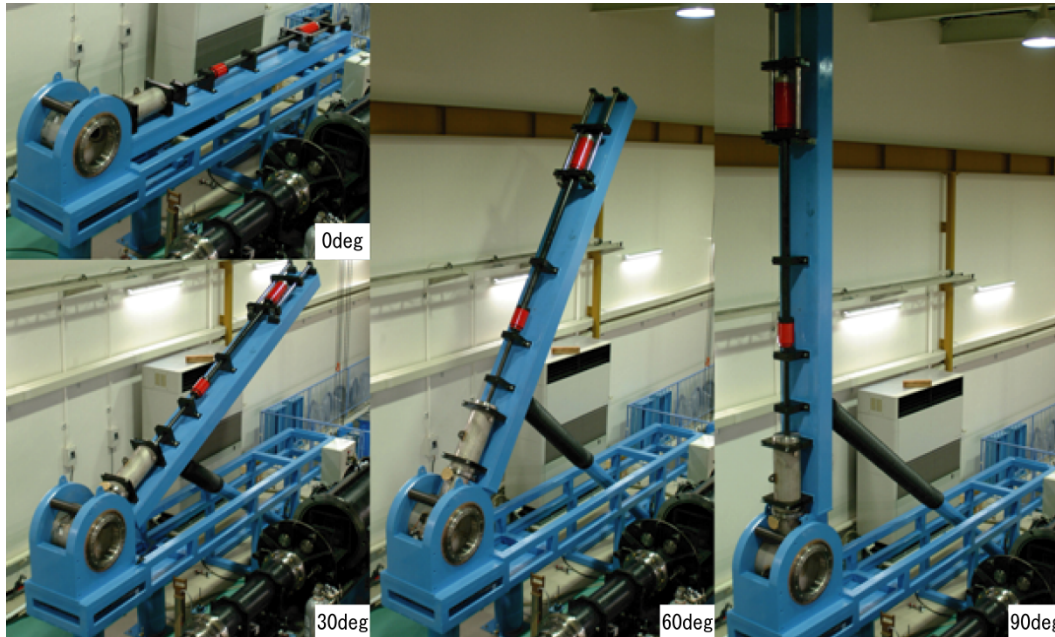
流体科学研究所 衝撃波関連施設について

－ 斜め二段式軽ガス銃 －



TOHOKU
UNIVERSITY

実験装置 -斜め二段式軽ガス銃-

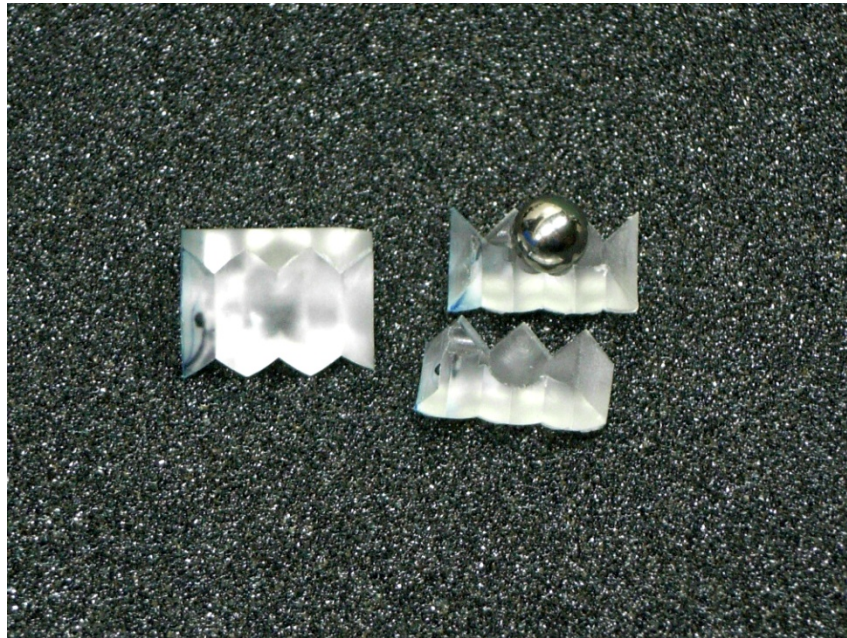


- 物体への任意角度での衝突実験を行うために篠原らが制作
- 従来は横撃ち限定であったが、流体研の菊池崇将博士が中心となり徹底的な整備を行い、斜め撃ちも可能とした
- 現在は水中への隕石衝突現象の解明を目指した飛行体の水中突入実験を実施中
- 一段式ガス銃、一段式火薬銃および二段式軽ガス銃として用いることが可能
- 加速管内径は10mm
- 最大速度は二段ガンモードで6.5km/s程度(ただし横撃ちの場合)

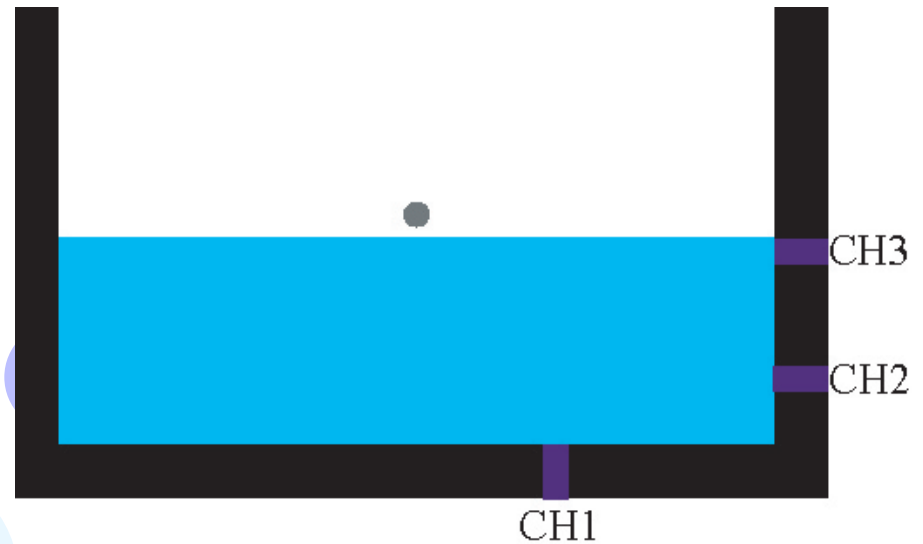


実験装置 -飛行体および水槽-

TOHOKU
UNIVERSITY



5 mm SUS球

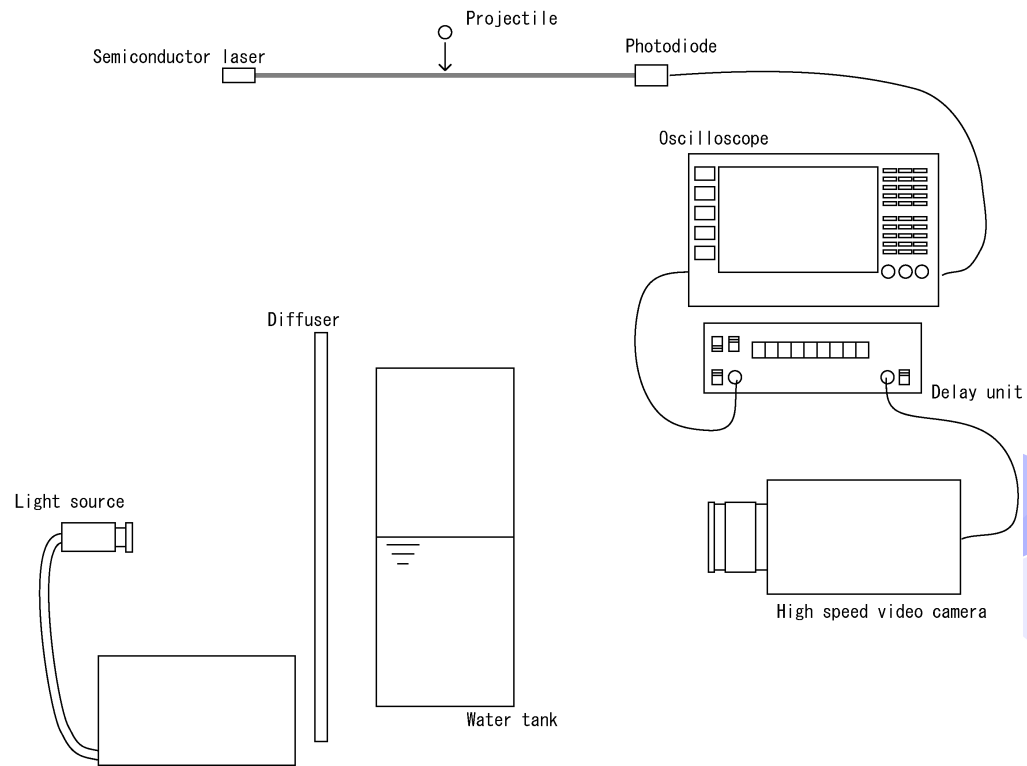


320W x 280H x 100D

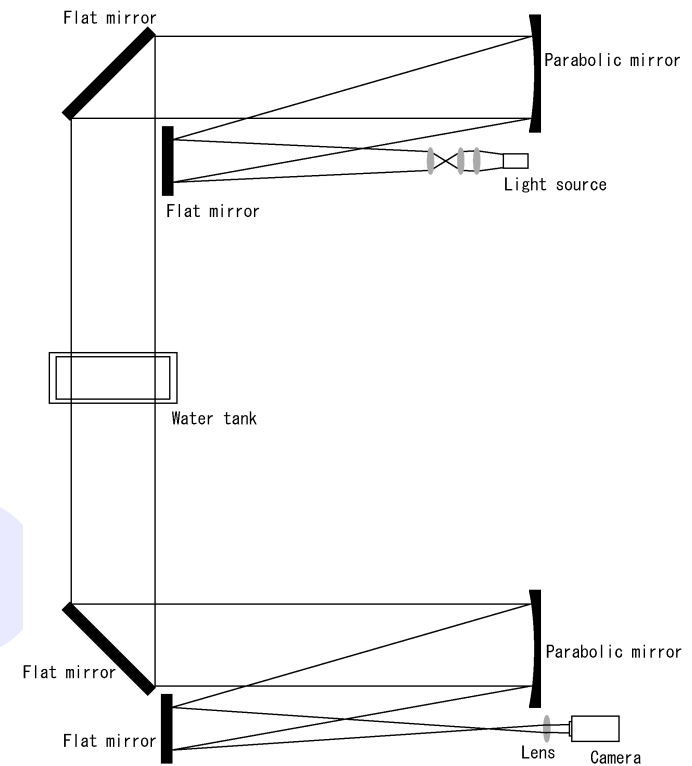


実験装置 -光学系-

TOHOKU
UNIVERSITY



直接撮影



影写真法



まとめ

TOHOKU
UNIVERSITY

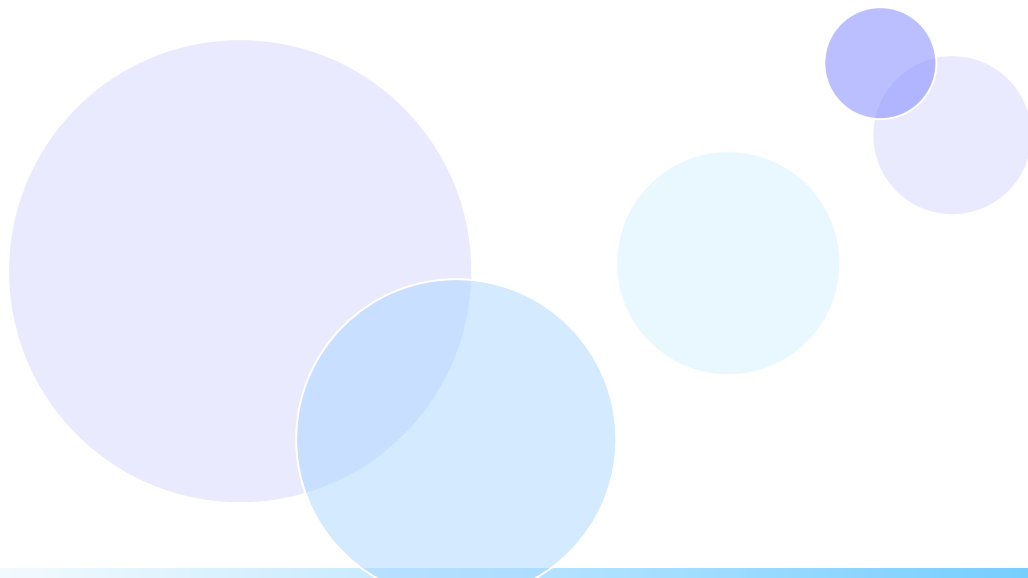
- 衝撃波関連施設に設置された弾道飛行装置は、さまざまな目的に使用可能な汎用性がある
- 衝撃波研究で培った光学可視化技術を中心とした計測法を用いて、さまざまな実験研究が可能である

衝撃波関連施設は共同利用設備として日本全国に開かれているので、興味を持たれた方は、施設へと問い合わせを行って利用の検討を行っていただきたい

衝撃波関連施設 (東北大学 流体科学研究所)
<http://tech.ifs.tohoku.ac.jp/shockwave/index.html>



東日本大震災による施設の被害





TOHOKU
UNIVERSITY

東日本大震災による衝撃波関連施設の被害



- 大型衝撃波管などの土台部分が揺れで一部移動するなどしたが、致命的な損傷は免れる
- 光学可視化用ミラーなどが破損
- 建屋そのものへの損害は”比較的”軽微
- 現在は復旧し運用再開

※ 写真は青葉山