

平成23年12月12日

「日本における超高速衝突実験の現状と将来展望」

於 神戸大学惑星科学研究センター

# 飛翔体衝突によるCFRPの3次元変形 挙動の計測

— 材料の静的特性との関連性を求めて —



名古屋大学

大学院工学研究科  
化学・生物工学専攻



工学研究科附属  
複合材工学研究センター



田邊 靖博

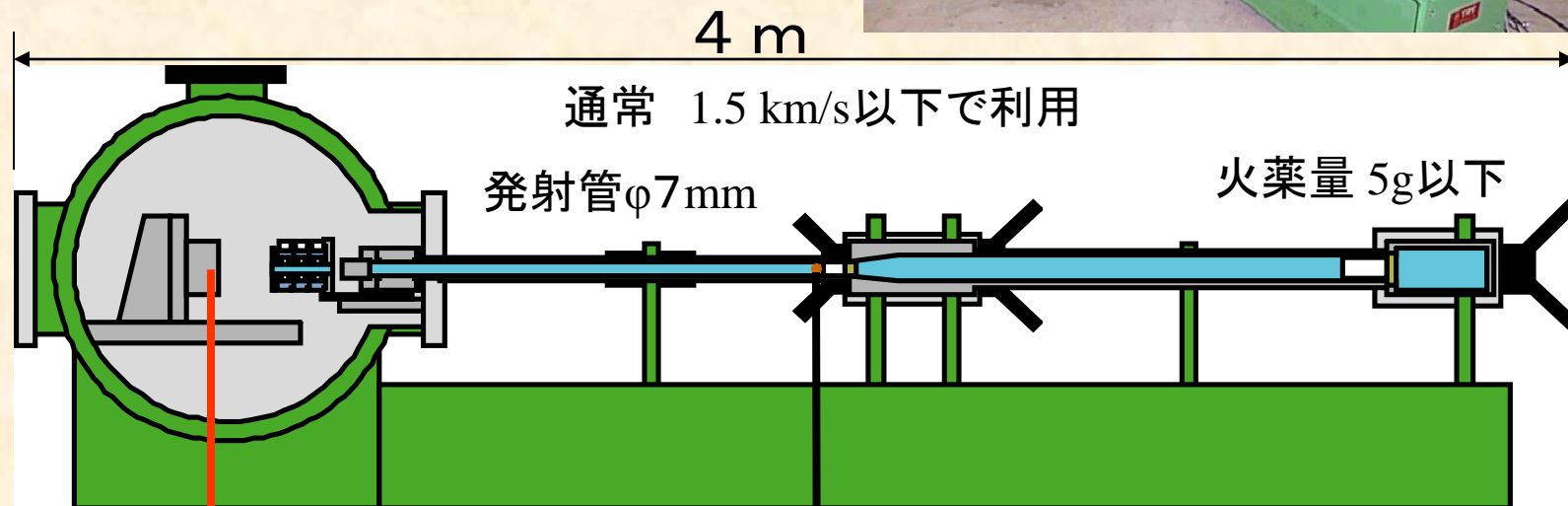
## 話の内容

- 装置(2段式軽ガス加速装置) p. 2  
衝突速度 700~1800m/s
- 内部応力と内部歪計測 p. 3- 6
- エネルギー吸収能と繊維配置との関係 p. 7 - 8
- 現時点の現象論的まとめ p. 9
- 変形の定量的計測 p. 14-18  
衝突速度 180m/s

# 実験装置



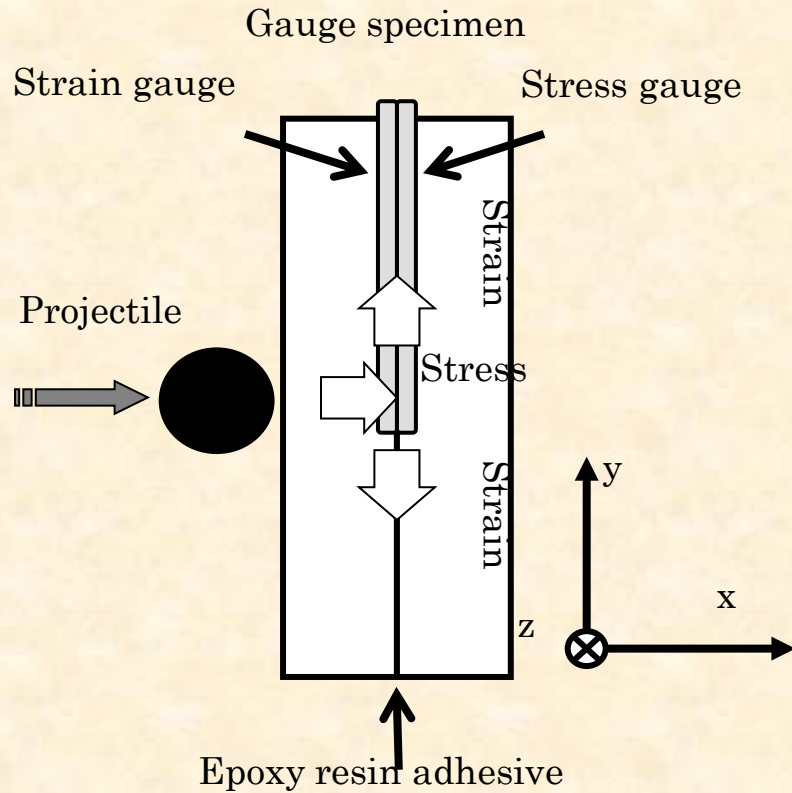
## 2段式軽ガス加速装置



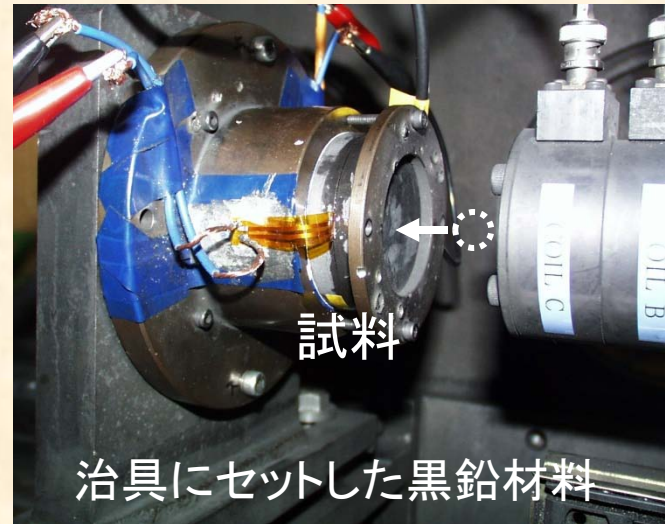
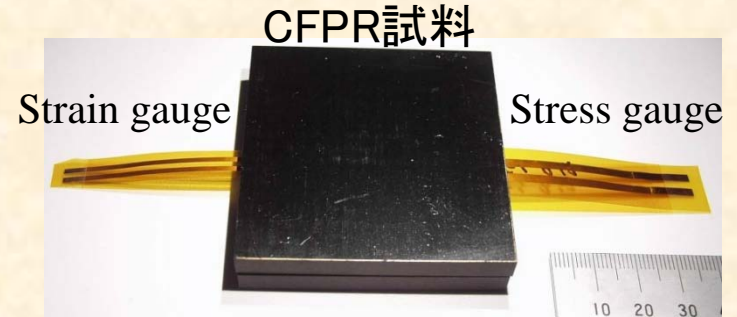
試料  
一辺65mm~70mmの角柱 ( $W = 0.05 \sim 0.1\text{kg}$ )

飛翔体  
直径4mmスチール球 ( $E_1 = 10\text{J} \sim 500\text{J}$ )

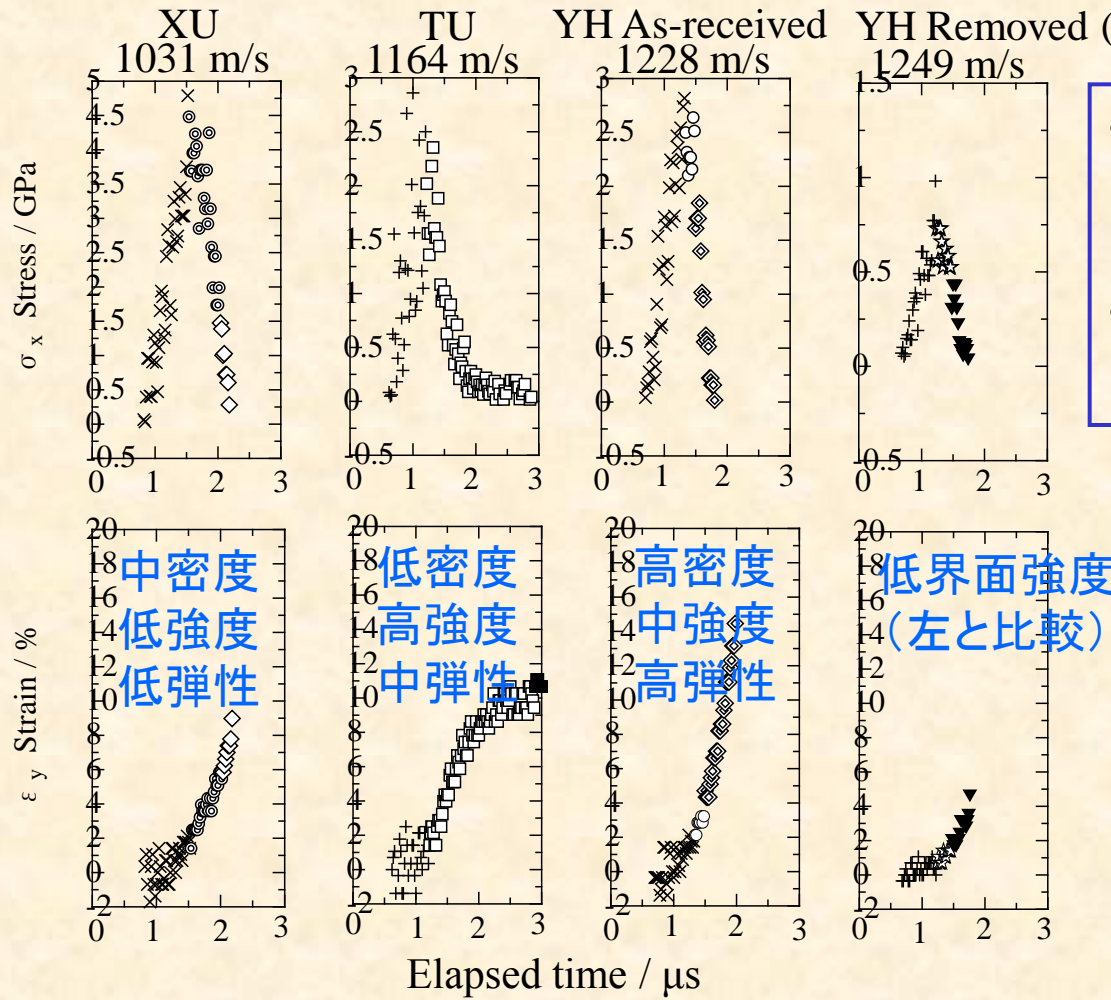
# 応力・歪計測



計測概念図



# 応力・歪



- 表面処理は、応力と歪みを大きくする様に作用する。
- 繊維の特性は圧力に大きく影響

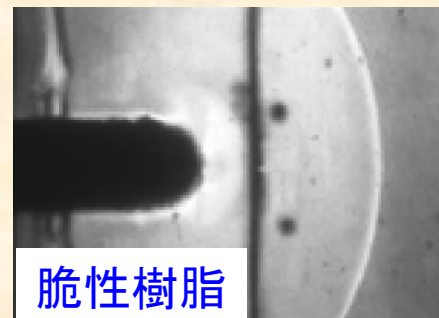
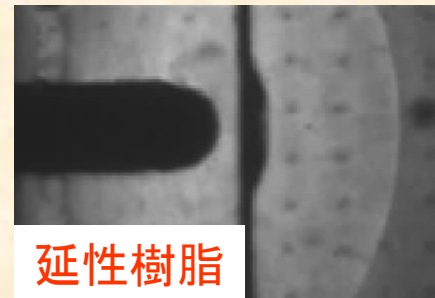
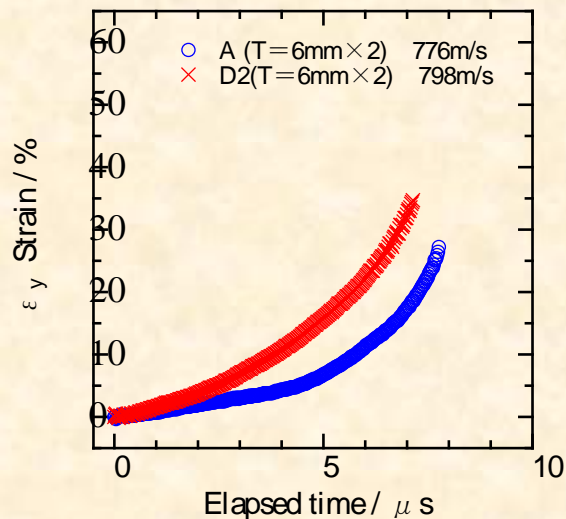
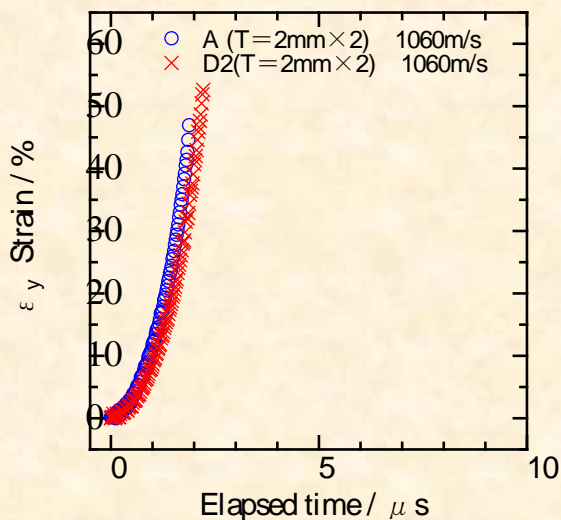
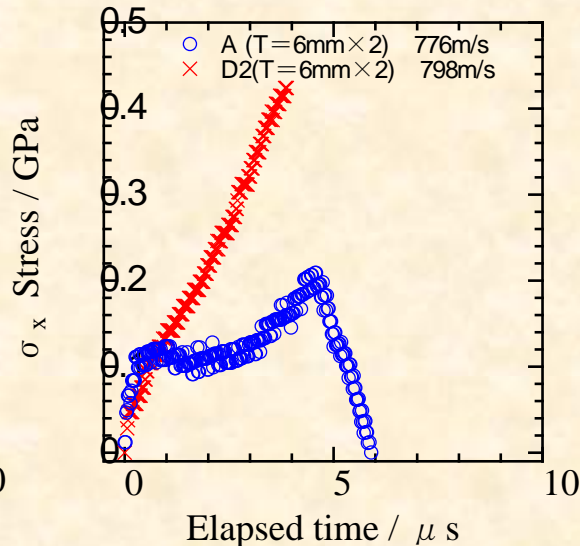
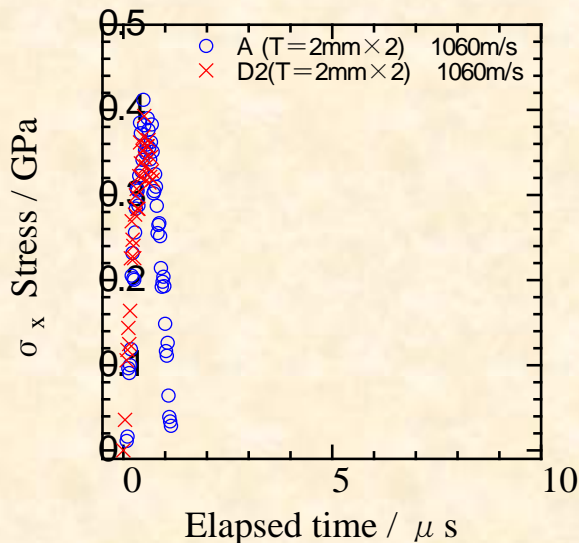
応力と歪みの同時計測



# 応力・歪(樹脂)

$V_i = 1060 \text{ m/s}$

$V_i = 780 \text{ m/s}$



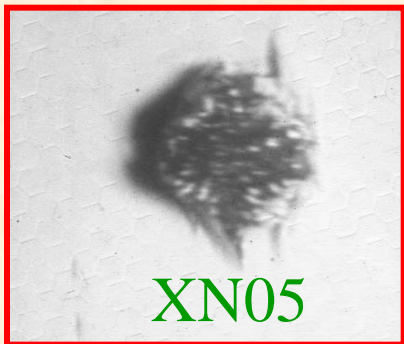
○: 強度74MPa、弾性率2.8GPa

○: 強度26MPa、弾性率1.1GPa

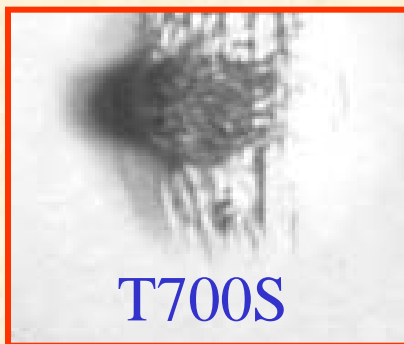
- 高速度域では、樹脂の違いによる相違が認められない。
- しかし、低速域では、異なる可能性が高い。
- 試料厚の効果は？

# 破壊様相の裏面のその場観察

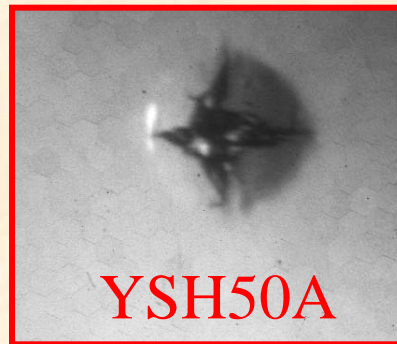
XU6  $V_i = 945 \text{ m/s}$



TU6  $V_i = 972 \text{ m/s}$



YH6  $V_i = 833 \text{ m/s}$



表面処理あり

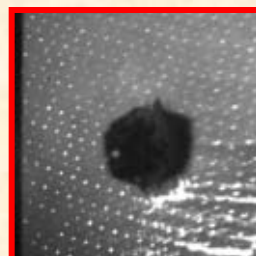
衝突後40 $\mu\text{s}$ 前後



XU2  
 $V_i = 314 \text{ m/s}$



TU2  
 $V_i = 311 \text{ m/s}$



YH2-00  
 $V_i = 313 \text{ m/s}$

衝突後50 $\mu\text{s}$ 前後



YH2-OO  
表面処理あり

$V_i = 153 \text{ m/s}$



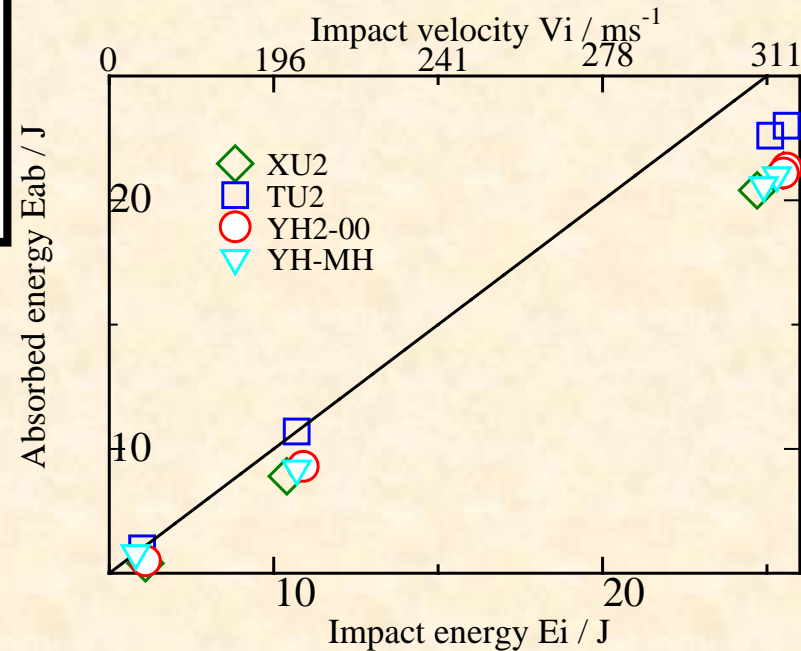
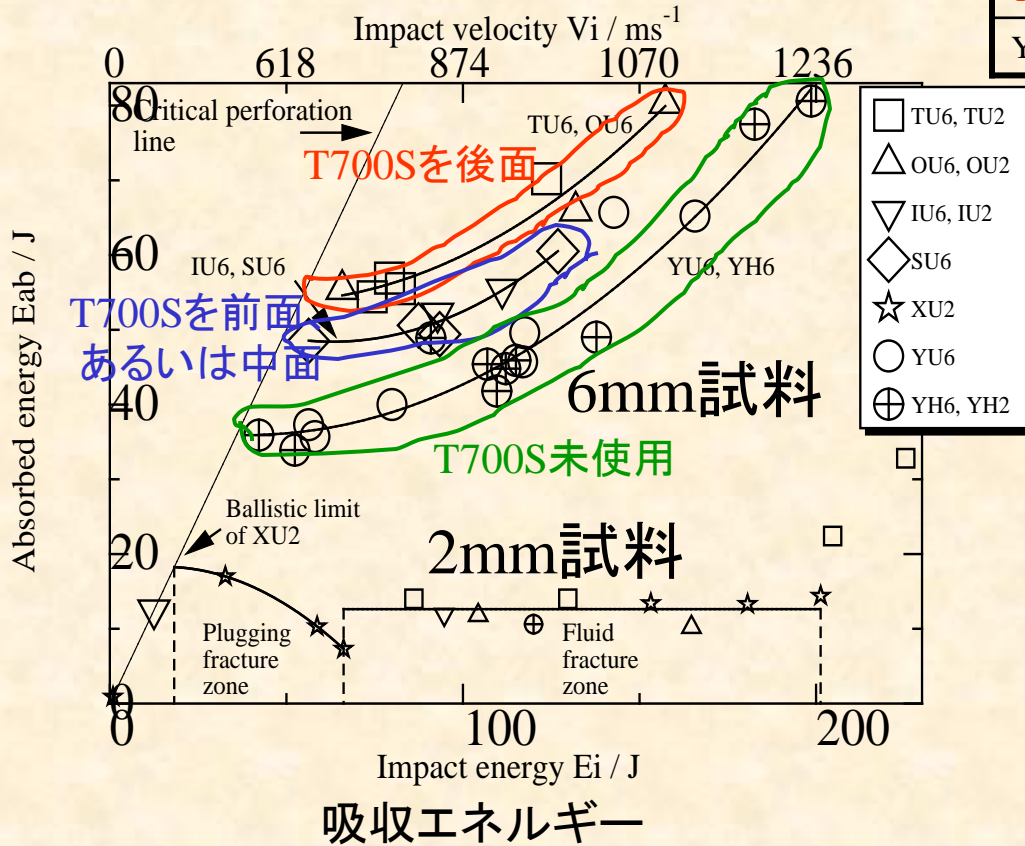
YH2-MH  
表面処理なし

$V_i = 150 \text{ m/s}$

- 強化繊維や織り方によって裏面の破壊開始時の様子が異なる。

# エネルギー吸収能

Fiber	Strength (MPa)	Modulus (GPa)	Strain (%)	Fracture energy ( $\mu\text{J}$ )	Density ( $\text{g cm}^{-3}$ )
XN05	1180	55	2.1	9.5	1.65
<b>T700S</b>	4900	230	2.1	19.8	1.80
YSH50A	3830	550	0.7	5.2	2.10



- 後面に引っ張り破断エネルギーの小さな繊維を配した試料のエネルギー吸収能は低い。



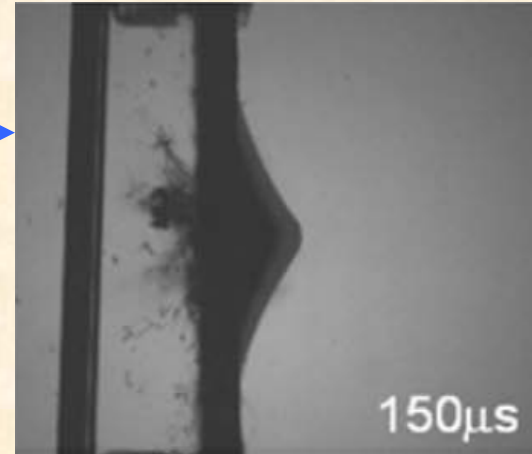
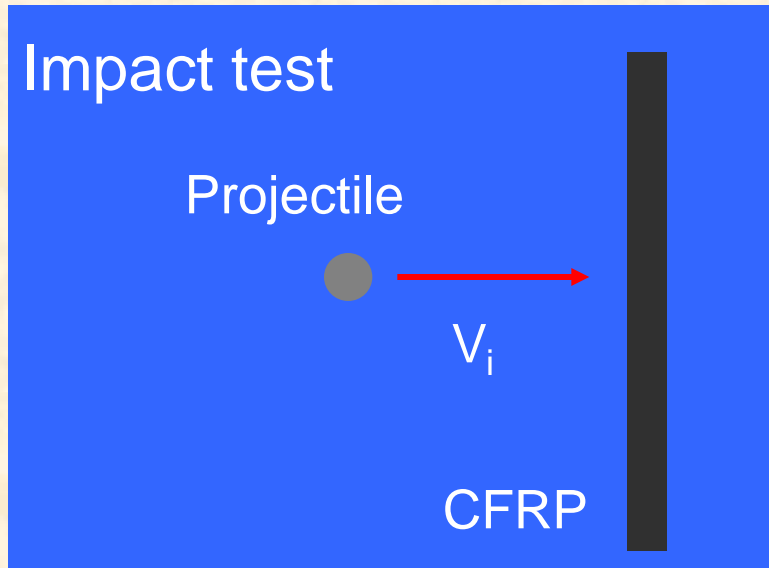
## まとめ (現時点での現象論的な)

- ・ 樹脂では衝突速度800m/s以下において、歪み速度の影響が顕著になる。CFRPの衝突において、繊維の表面処理は応力・歪みに影響を及ぼす。  
→ 応力波の透過・反射と関係があると考えている。
- ・ CFRPのエネルギー吸収には、前面に配した繊維が寄与している。  
→ 後面に高強度品を配すると高くなる。→ 試料の変形が関係？
- ・ 飛翔体の運動エネルギーは貫通に密接に関係している
- ・ 飛翔体寸法が同じ場合、貫通速度よりも十分に速い衝突速度領域では、試料が吸収するエネルギーはほぼ一定であり、損傷の程度も類似している。



この速度域でも準静的な特性でも整理ができる  
変形挙動の影響？

# 変形の定量的計測



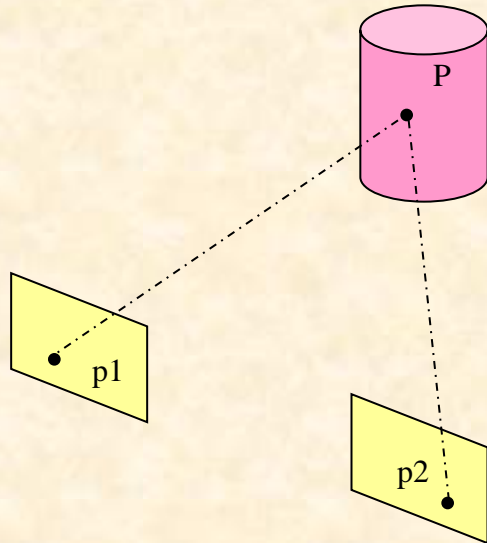
P.J. Hazell and G. Appleby-Thomas,  
Composite Structures, 91, 103-109 (2009).

飛翔体衝突による試料  
の変形が関係

- 変形の定量的計測が必要

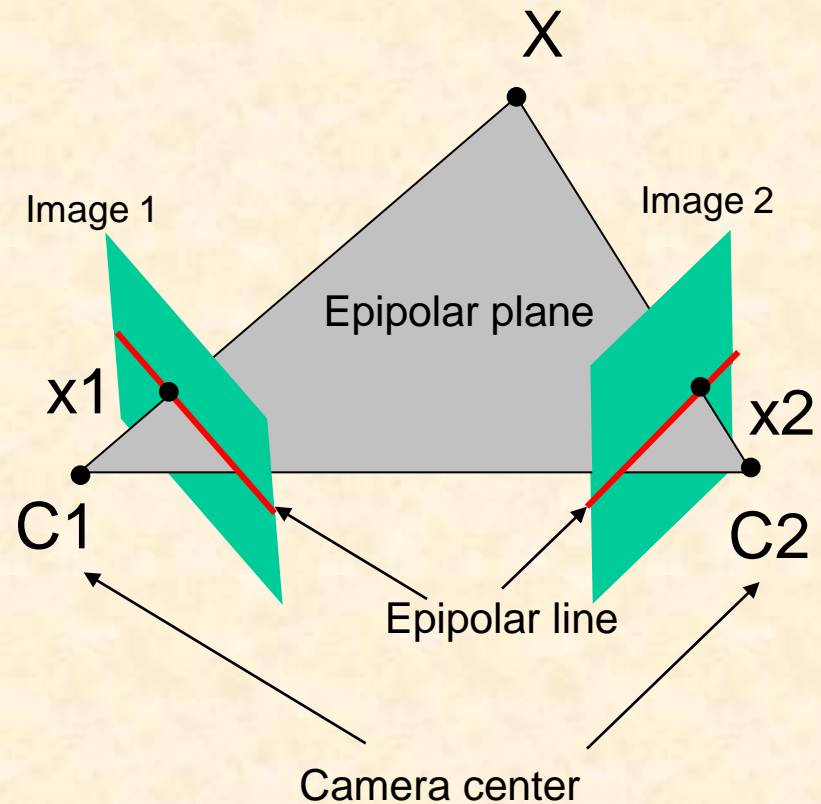
# 3次元計測原理

✓ステレオ投影



2次元計測を元に、3次元化

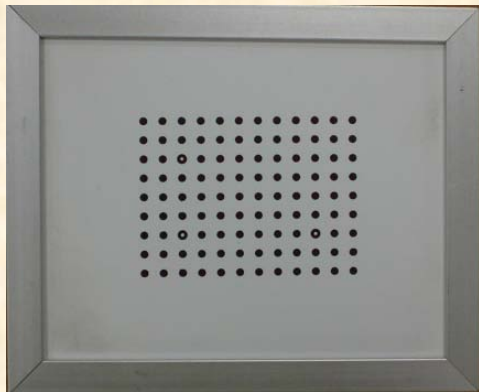
✓エピポラ幾何学



次に示すキャリブレーション板を用いて、カメラ特性・カメラ配置幾何を校正

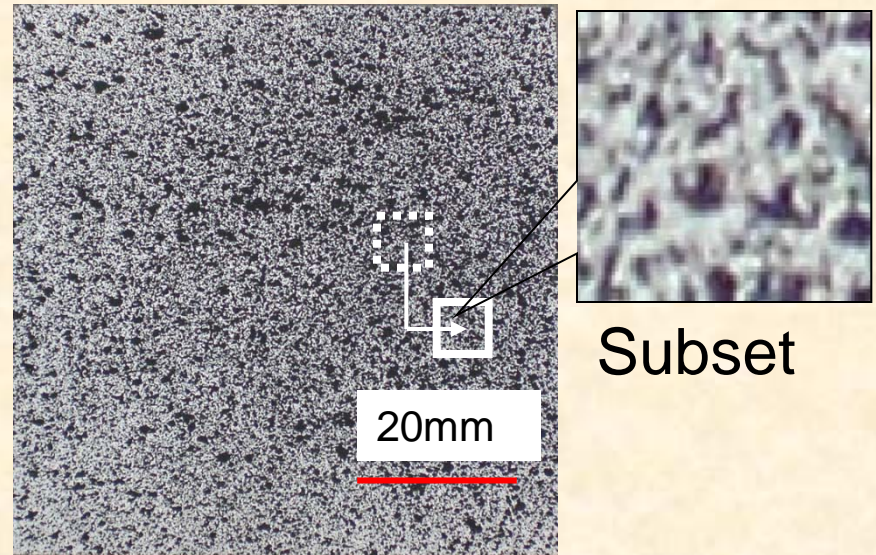
# 3次元計測

✓キャリブレーション板



ドット間隔: 5 mm

✓試料表面のスペックルパターン



Subset

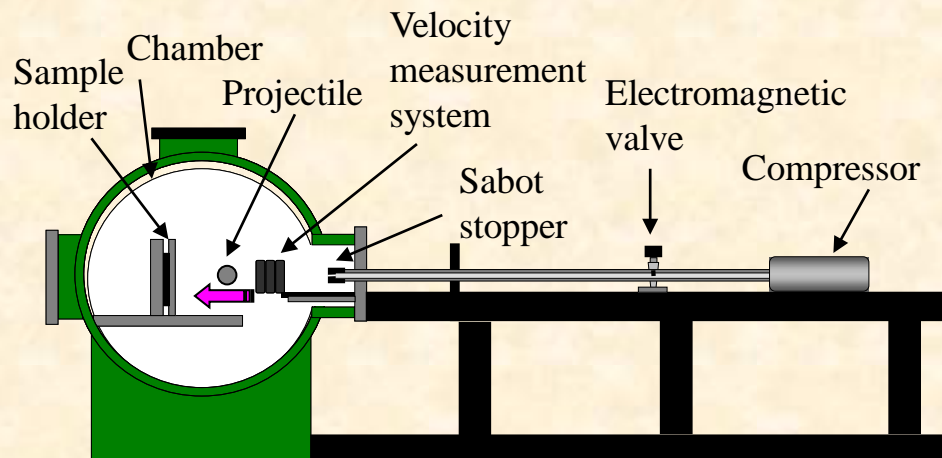
計測面積	72 mm × 60 mm
カメラ分解能	312 × 260 pixels
計算範囲	50 mm × 50 mm
使用ソフト	Correlation Systems, VIC-3D

21 pixel × 21 pixel 角  
5-pixel 毎に移動

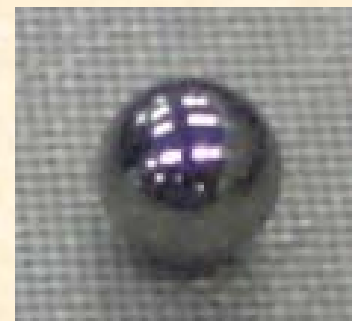


# 衝突実験

## ✓使用したガス加速装置



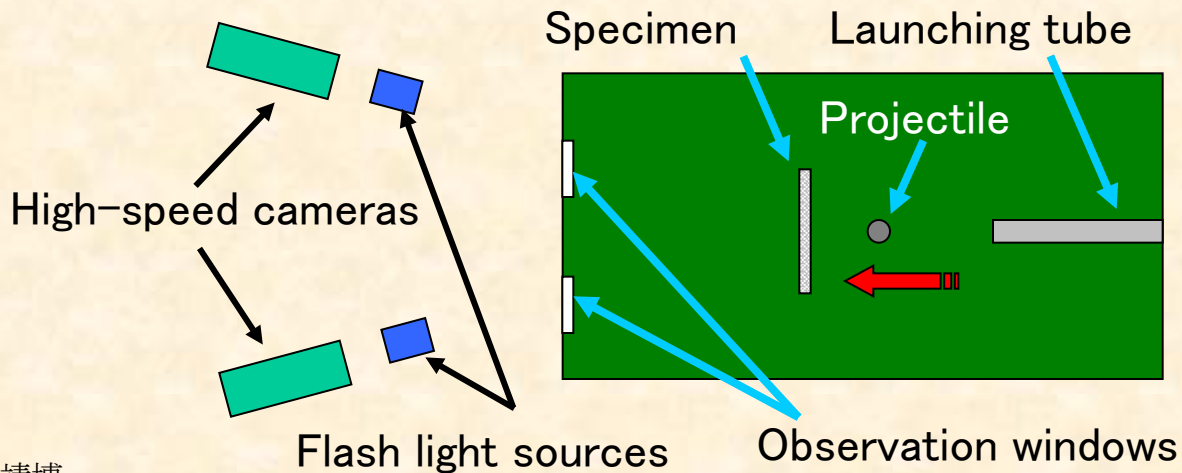
飛翔体 φ6-SUJ2



衝突速度

... 175 m/s

## ✓3D 計測の機器配置



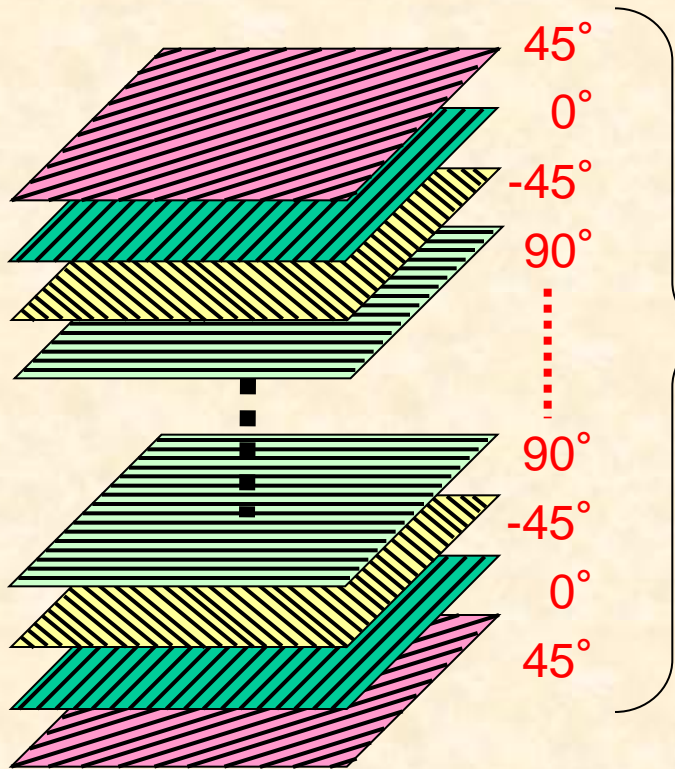
島津製作所 HPV-1,2

撮影間隔

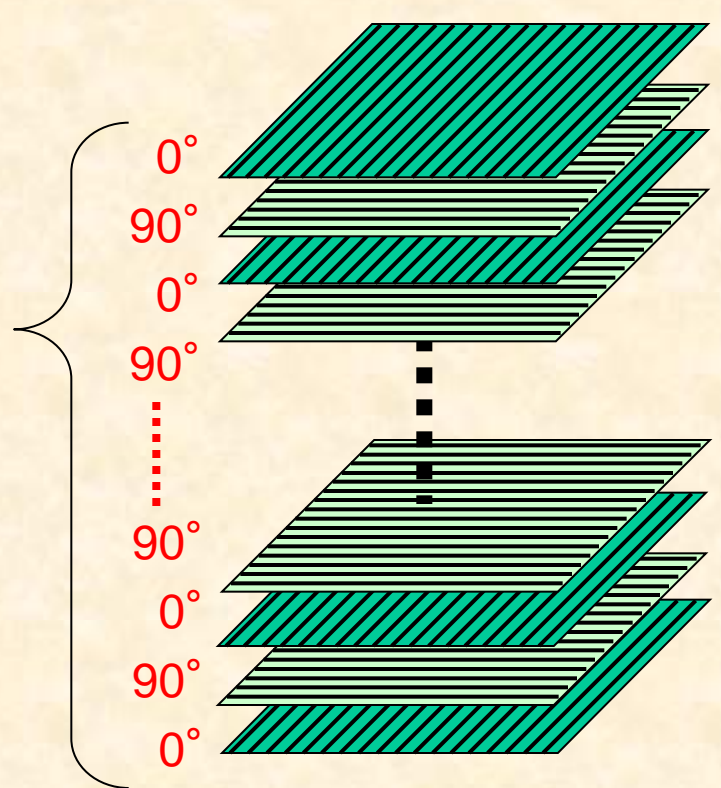
... 1  $\mu$ sec  
(1,000,000 fps)

# 試料

A-QI [45/0/-45/90]2s



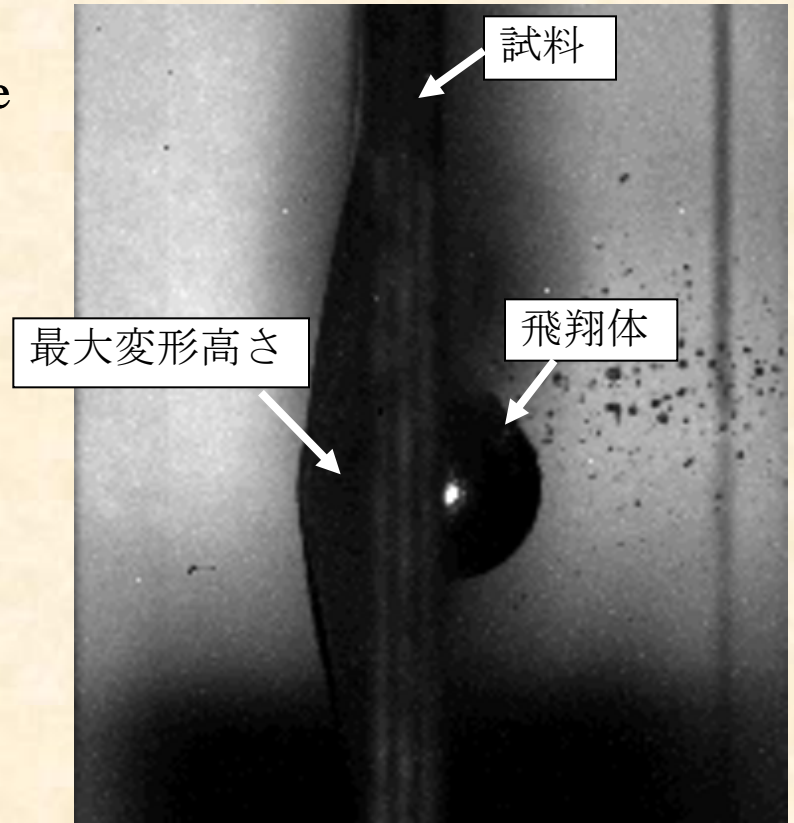
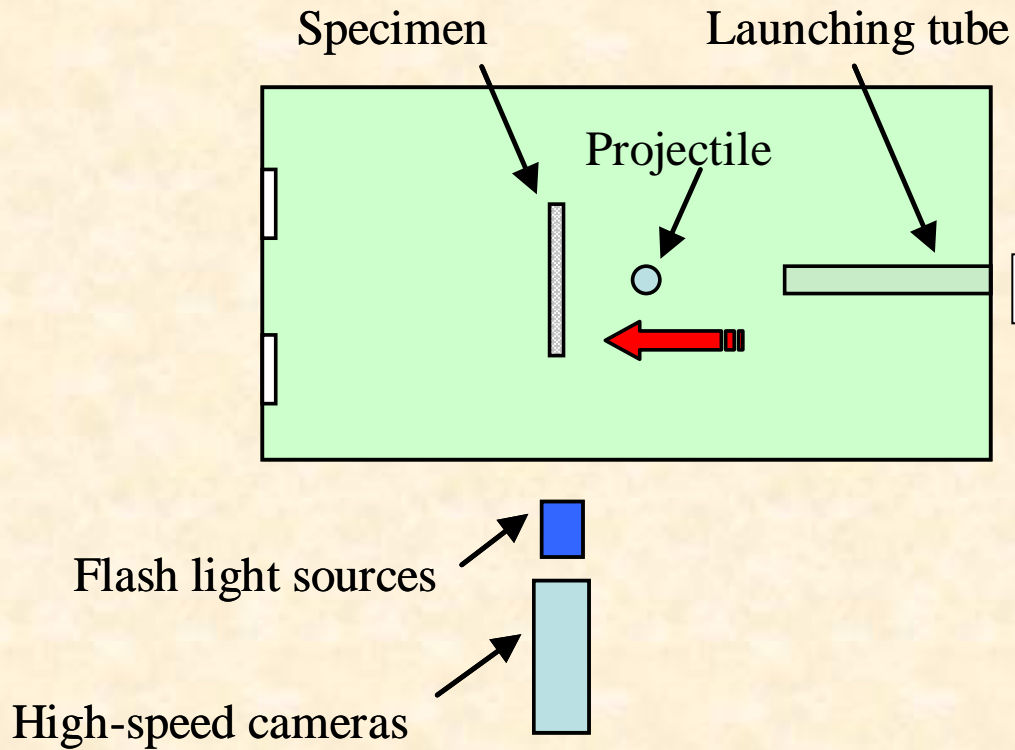
A-CP [0/90]4s



試料寸法	70 mm × 70 mm × 2.2 mm
------	------------------------

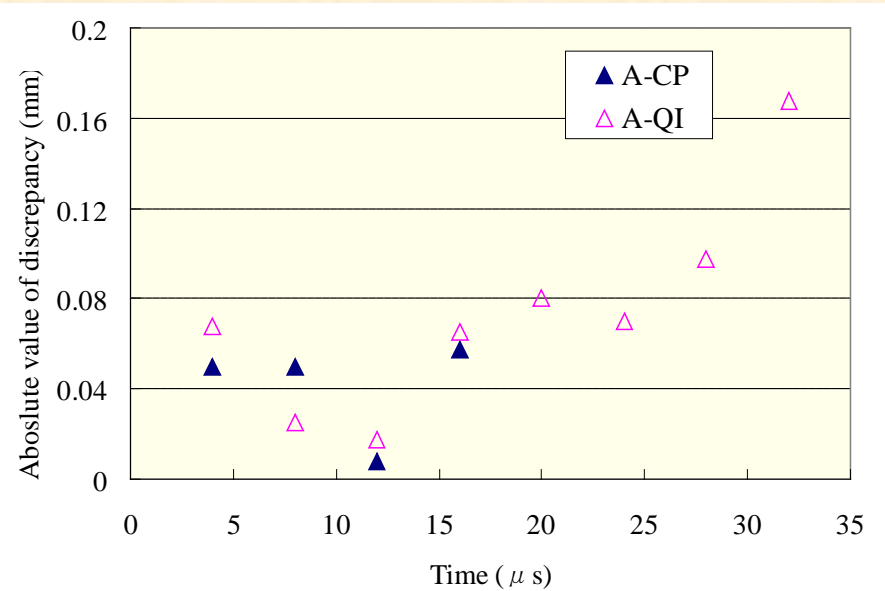
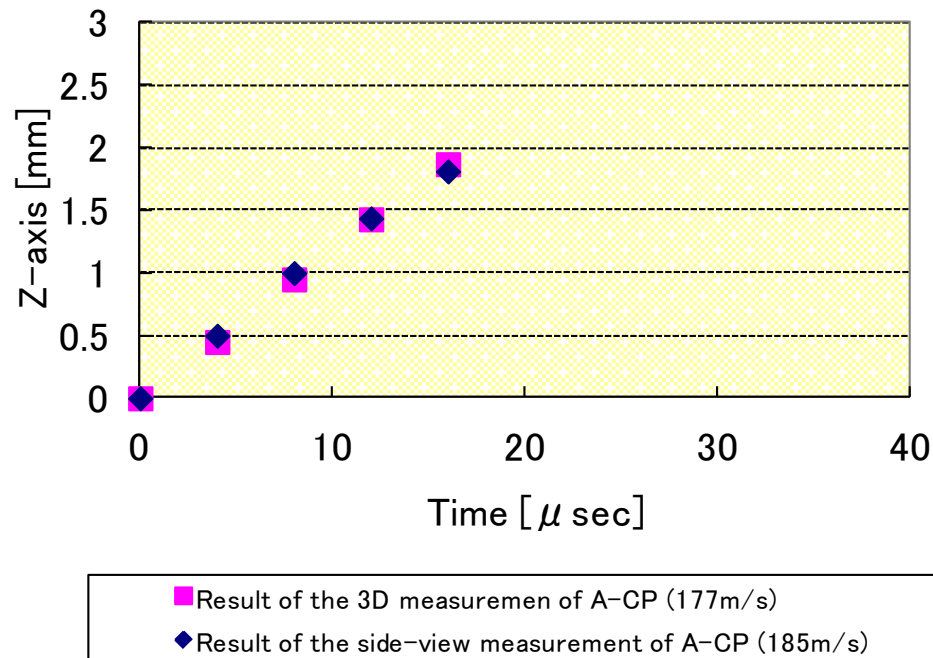
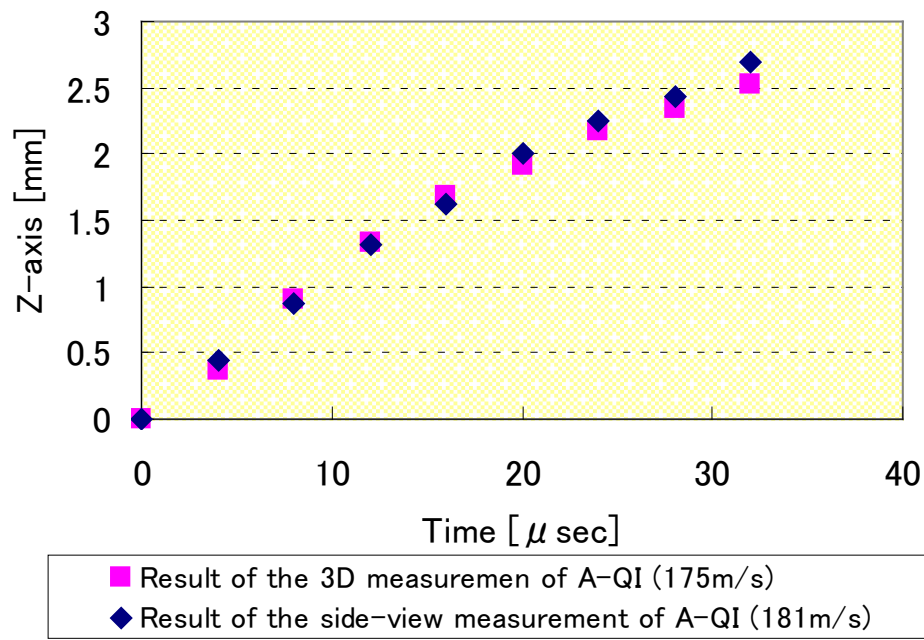
# 側面観察

側面計測における機器配置



3次元計測法の妥当性を検証

# 3次元計測の妥当性検証

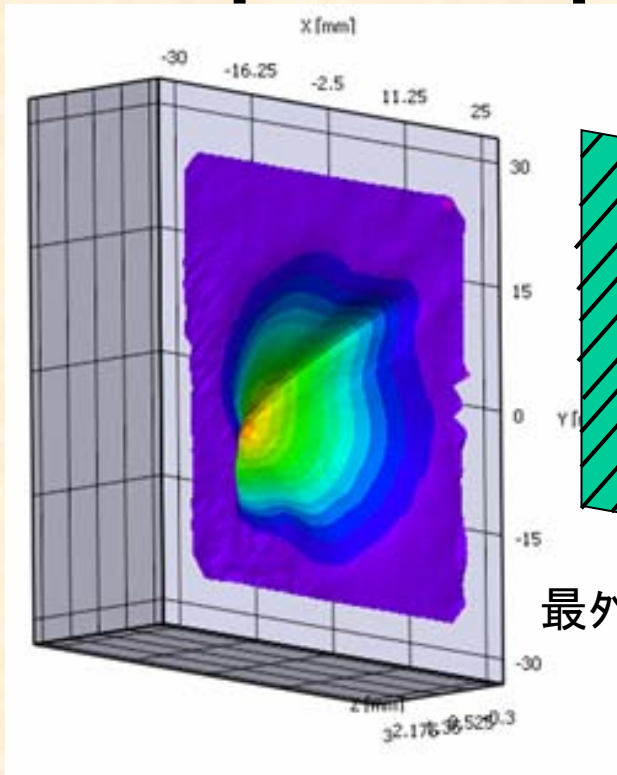


偏差 : 100 $\mu$ m以下



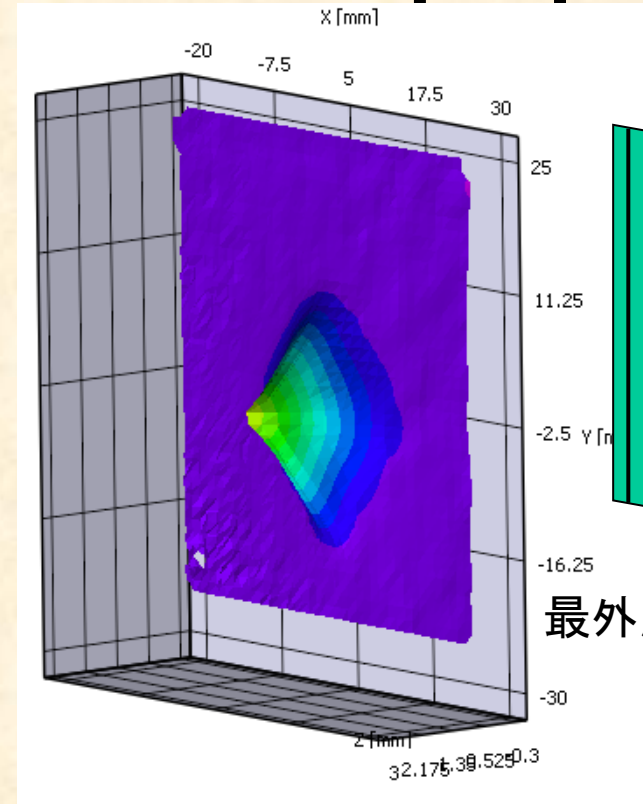
# 3次元計測(1)

A-QI [45/0/-45/90]2s



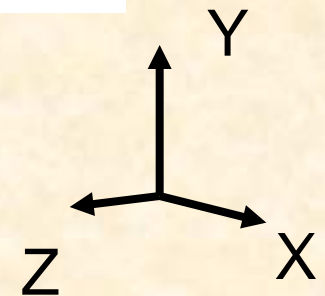
最外層の繊維配向

A-CP [0/90]4s

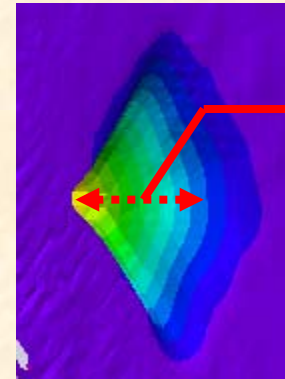
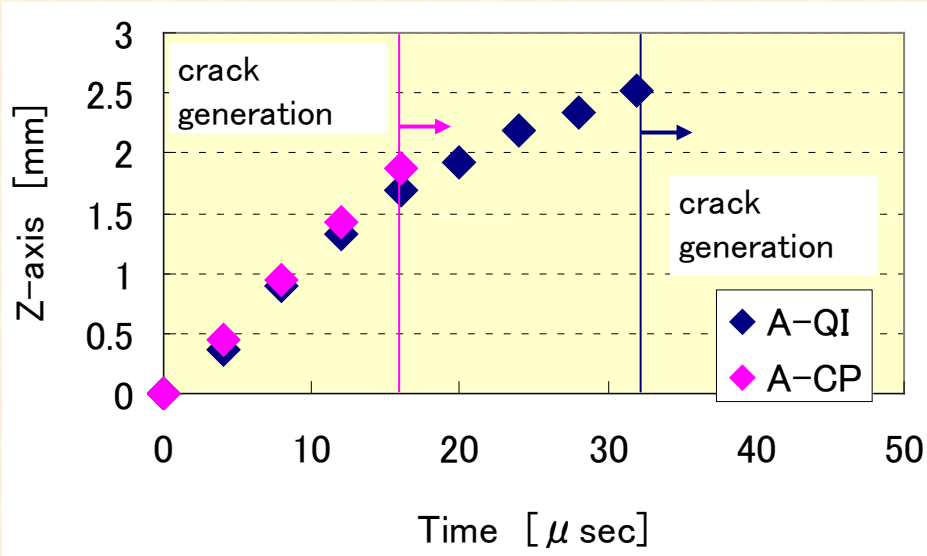


最外層の繊維配向

最外層では繊維の配向に沿って、  
膨らみが生じている



# 3次元計測(2)



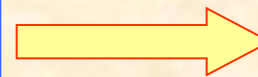
各取得画像における最大変形高さ

3D picture

亀裂が発生するまでの最大変形高さの推移

試料	貫通限界速度域 [m/s]
A-QI	192-199
A-CP	186-191

**A-QI:**  
変形が時間的に長く続き、かつ変形量も大きい  
 このことが貫通限界速度域が高くなった要因



**変形挙動が重要**

➤ 定量的な3次元計測から、変形量の大きなCFRPが貫通限界速度が高いことが確認できた。

# 御清聴、ありがとうございました

## 主な出展

International Journal of Impact Engineering , **28** (2003) 627-642

International Journal of Impact Engineering, **28** (2003) 1045-1059

Nuclear Instruments and Methods in Physical Research, **A646** (2011) 219-226

日本複合材料学会誌 (印刷中)