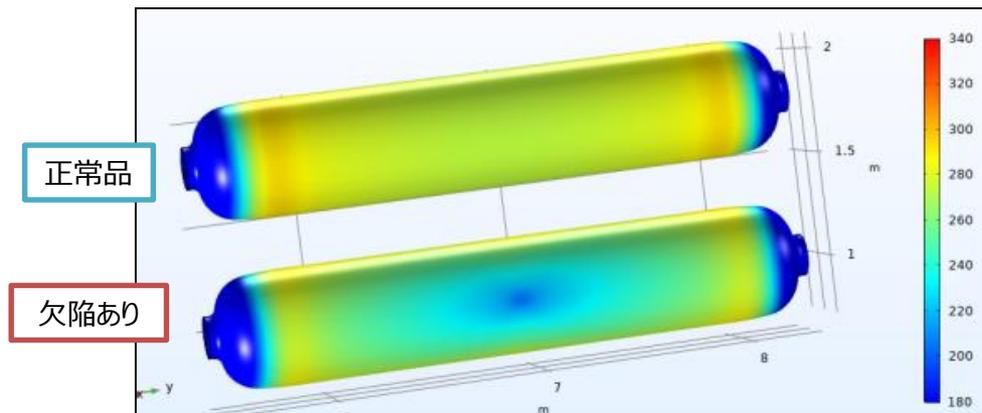
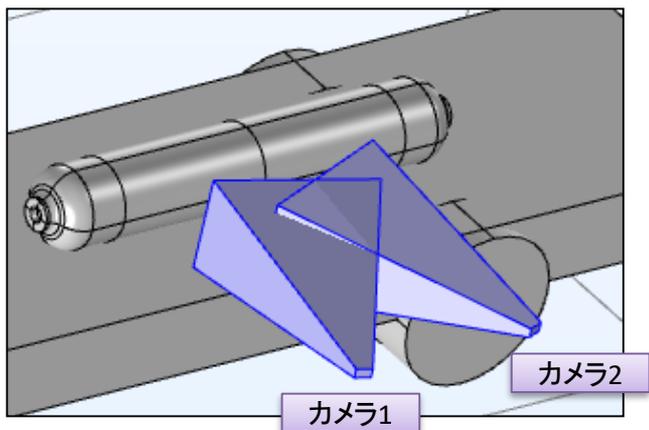


# 「高圧水素タンクの充填時検査技術の開発」

3年間（2021-2023年）の3年目終了



金属・物性科 工藤弘行 佐藤浩樹

# 研究背景（タンク点検の難しさ）

内面側欠陥をきっかけとする  
⇒ 外から見えない

「疲労破壊」

→ 徐々に進行し急速に破壊

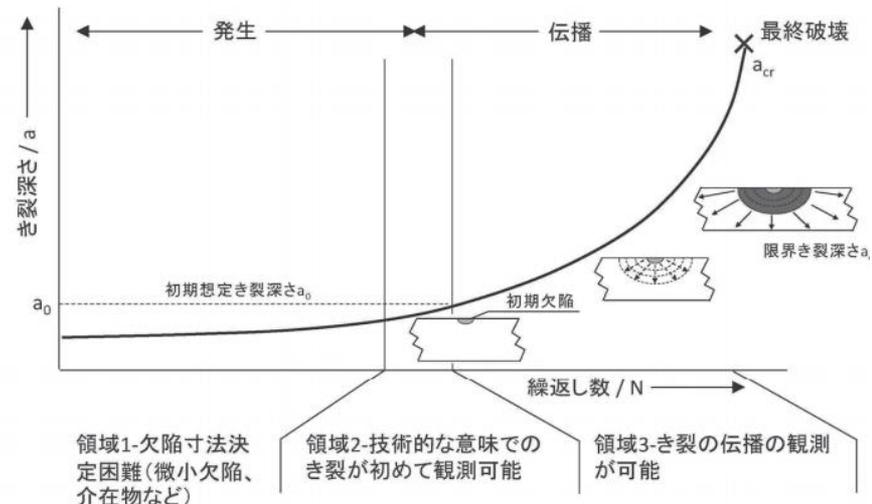
「水素脆化」

→ 金属材料は水素環境下で  
強度低下

タンク断面図



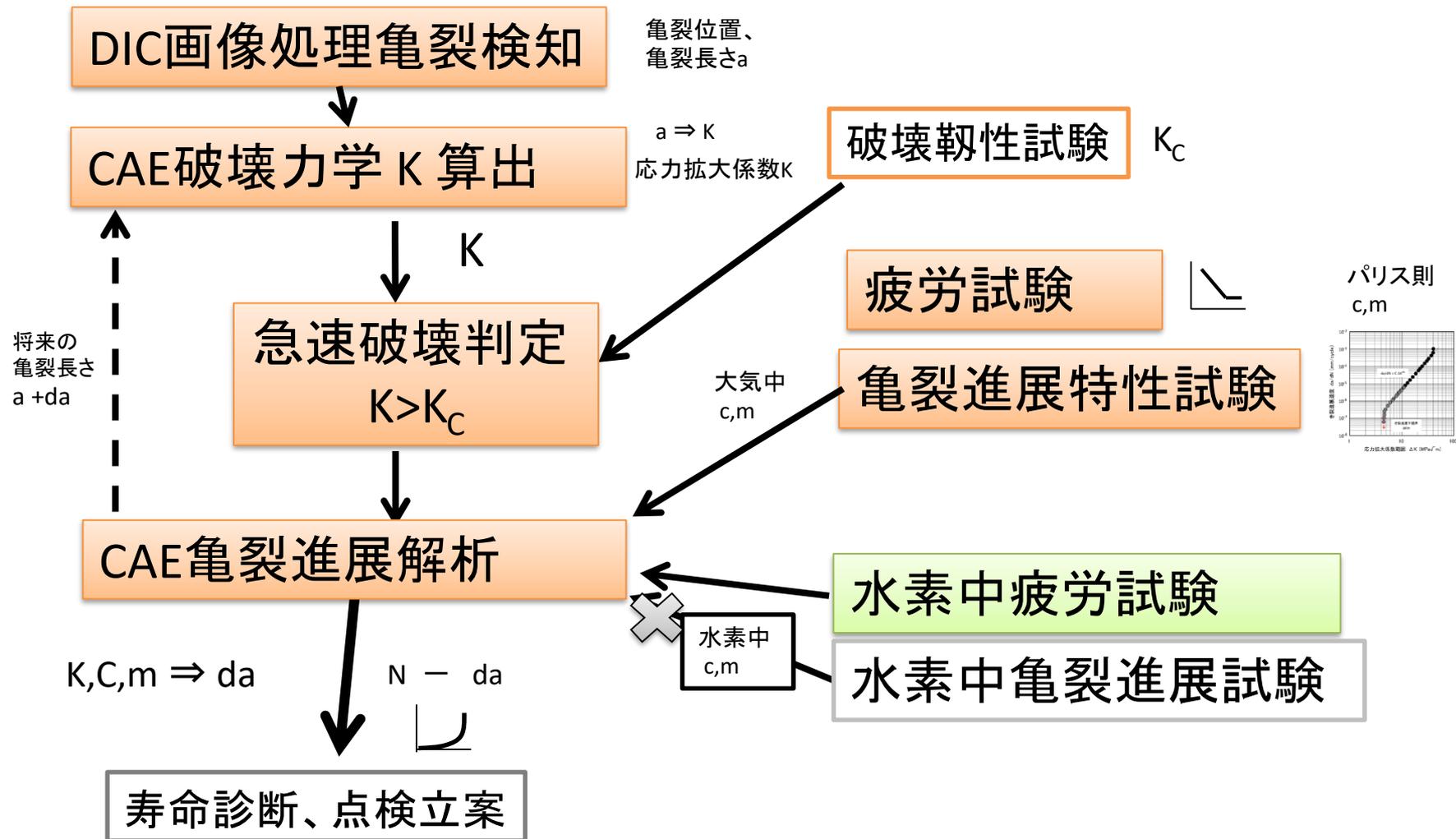
疲労破壊の進行



# 昨年度までの成果（点検技術の構築）

## 「点検技術本線」

## 「強度試験」



# 実施内容（本年度、3年目）

## ① DIC画像処理（タンクの欠陥検知技術）

- ・タンク試験片の製作
- ・水圧試験時のDIC亀裂検知

## ② 強度試験（水素環境下での疲労寿命予測技術）

- ・中空試験片法による水素環境下疲労試験（仙台高専）
- ・上記試験のCAEで、疲労寿命データ評価手法の検討

## ③ 健全性評価（CAE破壊力学）

昨年度までで完了

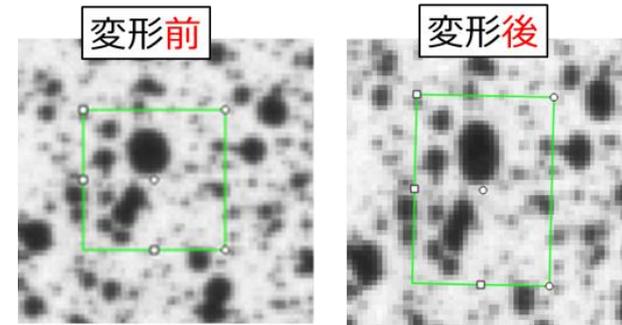
- ・利用シナリオの想定、実用化の相手探し

# 実験方法① DIC画像処理による欠陥検知技術)

DIC (デジタル画像相関法)

数十画素四方の「サブセット」を単位に、  
変形前後の画像から、  
高精度に「変位」、「ひずみ」測定する技術

※ 当所では10年前に導入。



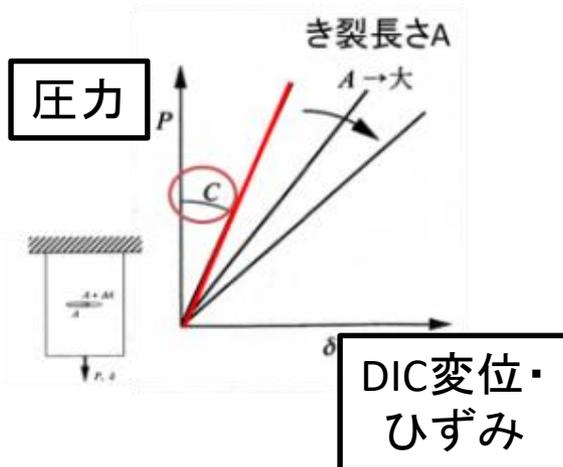
縦方向  
引張

緑色が「サブセット」

具体的な亀裂検知方法として2つ提案済み (2019)

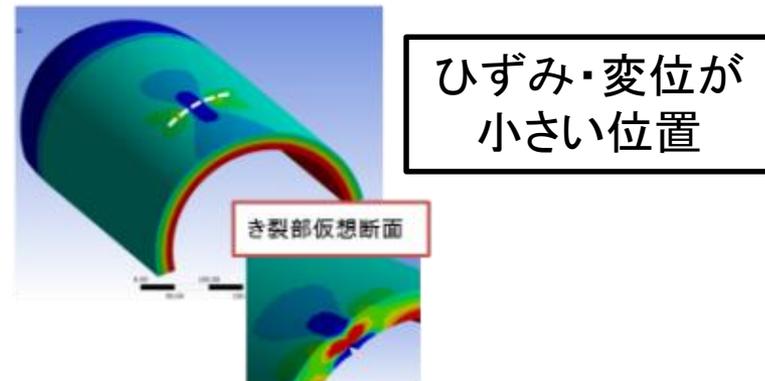
A案:コンプライアンス法

荷重-変位グラフの傾き  
の変化からき裂を検知する方法



B案: DICき裂検知

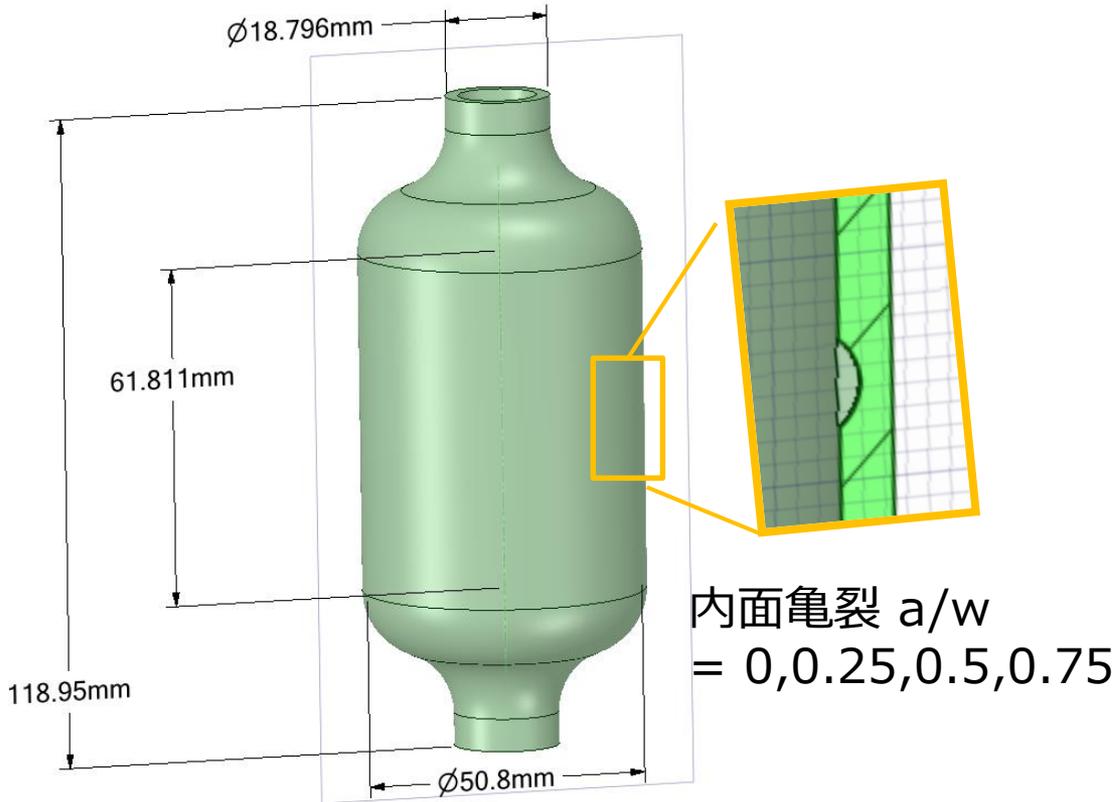
き裂部周辺の不均質なひずみ分布から  
き裂の場所を特定



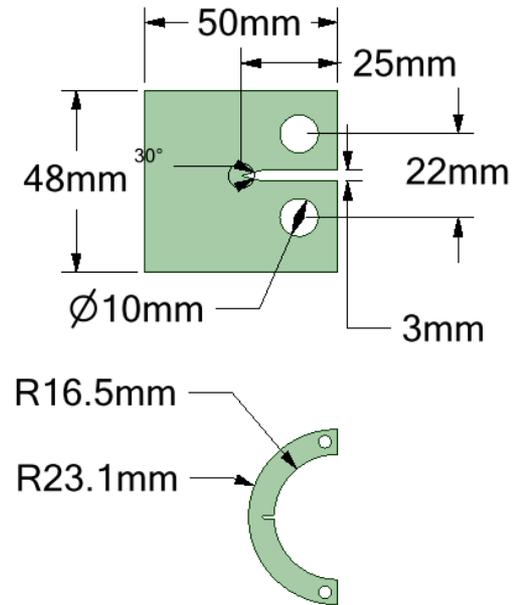
# タンク試験体の製作（設計）

DIC撮影しやすい板厚をCAEで計算し **1mm** に決定。

一部**2mm**に変更。使用する造形機では0.5mmより薄い寸法は造形できないため。



市販のサンプルシリンダの形状を参考に。



疲労試験片も  
同時に造形  
(将来のため)

# タンク試験体の製作（造形サンプルの確認）

・外観写真 → 寸法もほぼCAD通り

内面亀裂  $a/w = 0, 0.25, 0.5, 0.75$



C00

C25

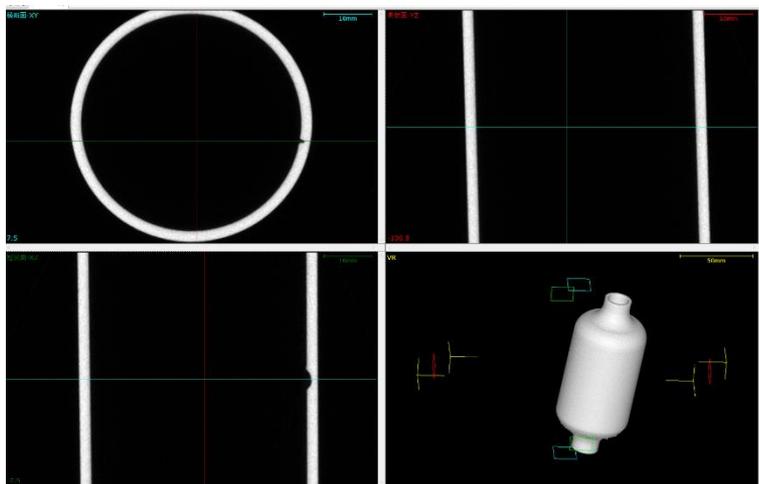


C50

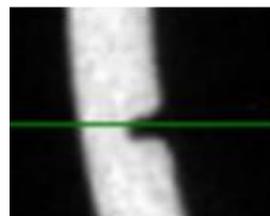
C75

・X線CT解析 → 亀裂寸法もほぼ狙い通り

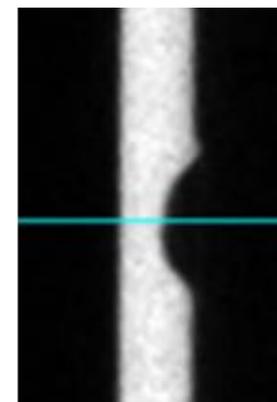
内面亀裂  $a/w = 0.5$



(坂内君撮影)



円周断面

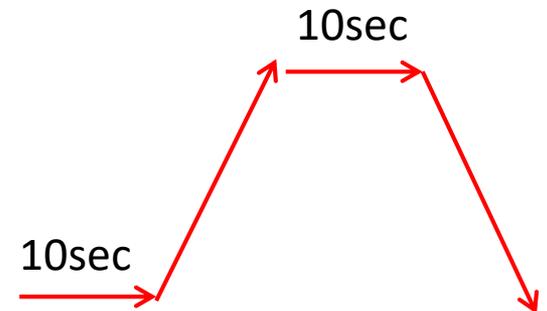
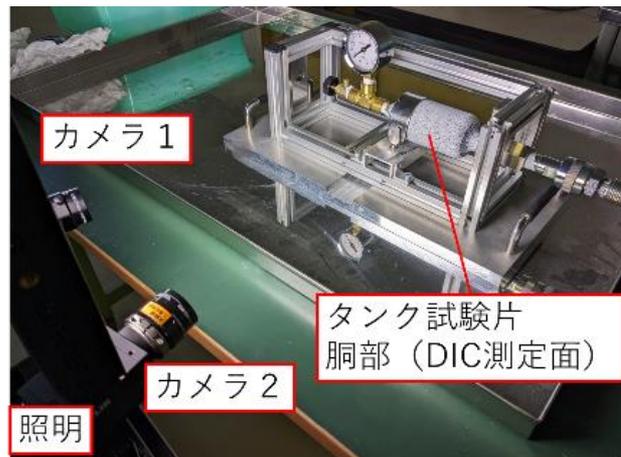
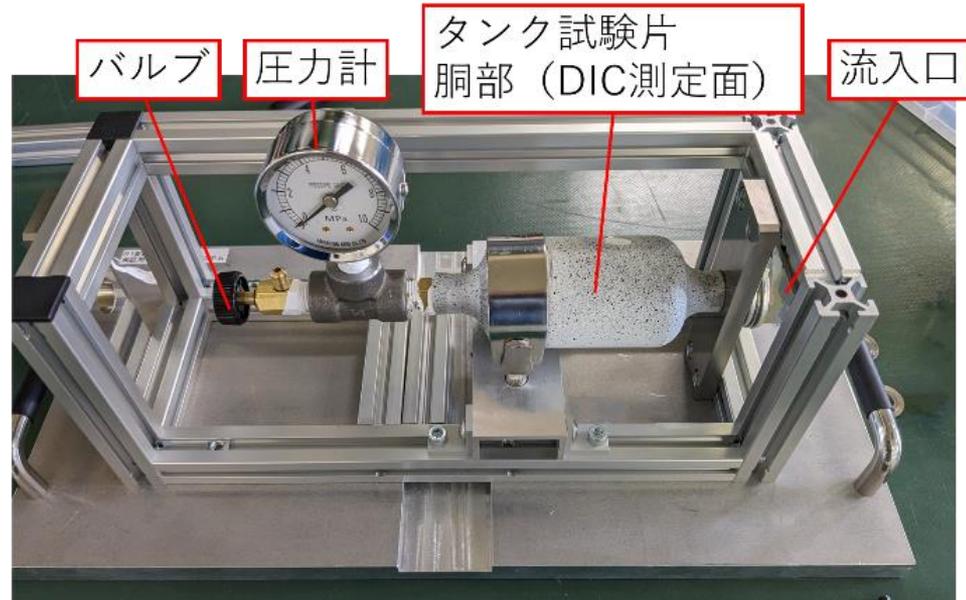


長手断面

# 水圧試験 (試験機材・試験方法)

担当：佐藤浩

ポンプ 最大 30MPa に対して、10MPa狙い



# 実験結果① DIC画像処理による欠陥検知技術 (C00)

圧力計に注目

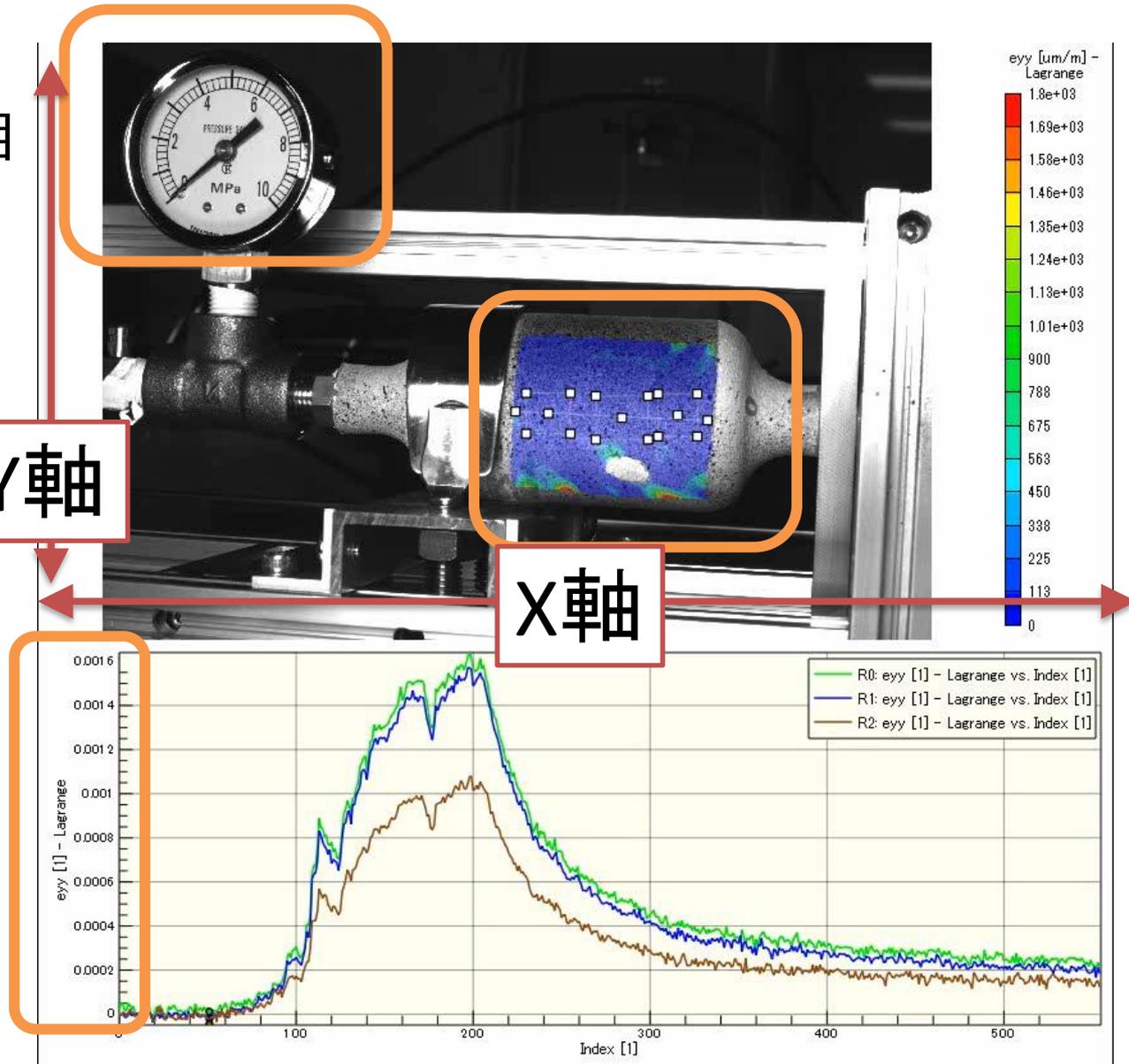
3つの  
BOXカーソル  
を配置

Y軸

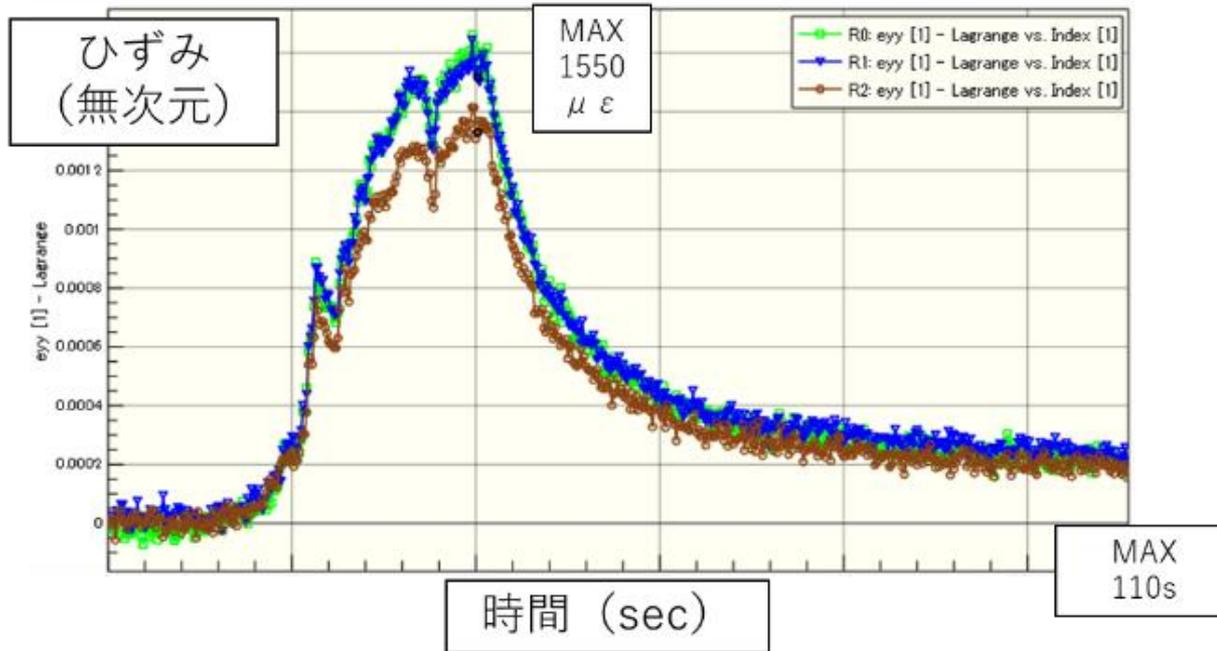
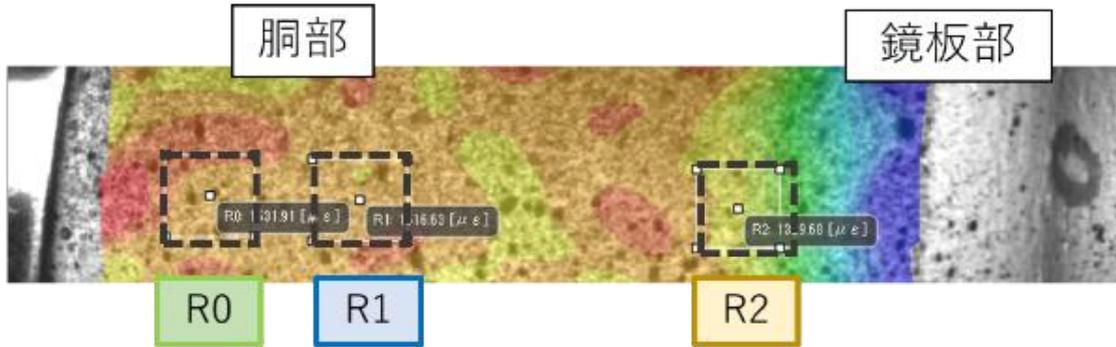
X軸

3つの  
BOXカーソルの  
「ひずみ」の  
経時変化グラフ

MAX1600 $\mu\epsilon$

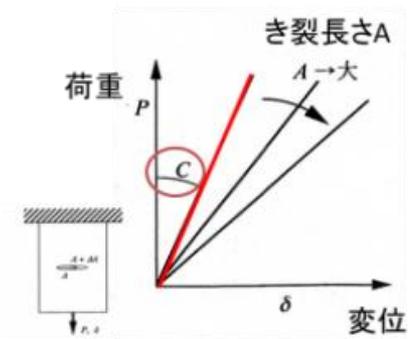


# 実験結果① DIC画像処理による欠陥検知技術 (C00)



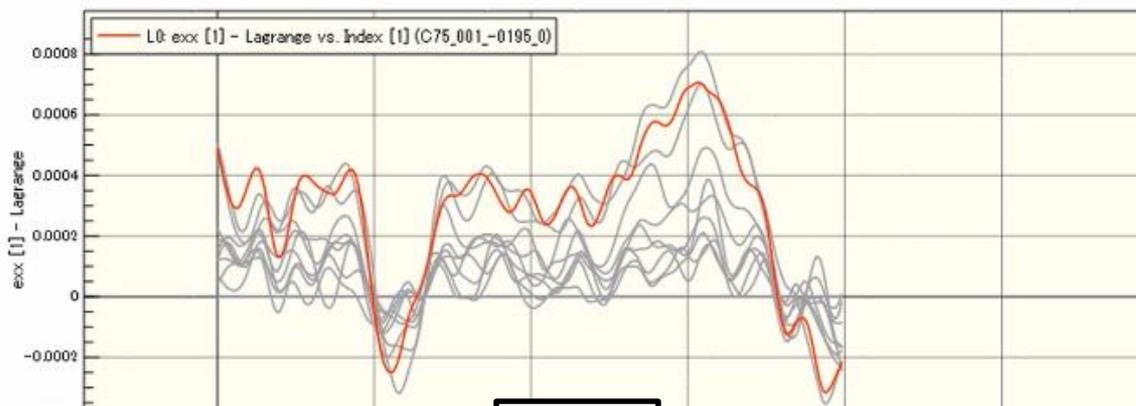
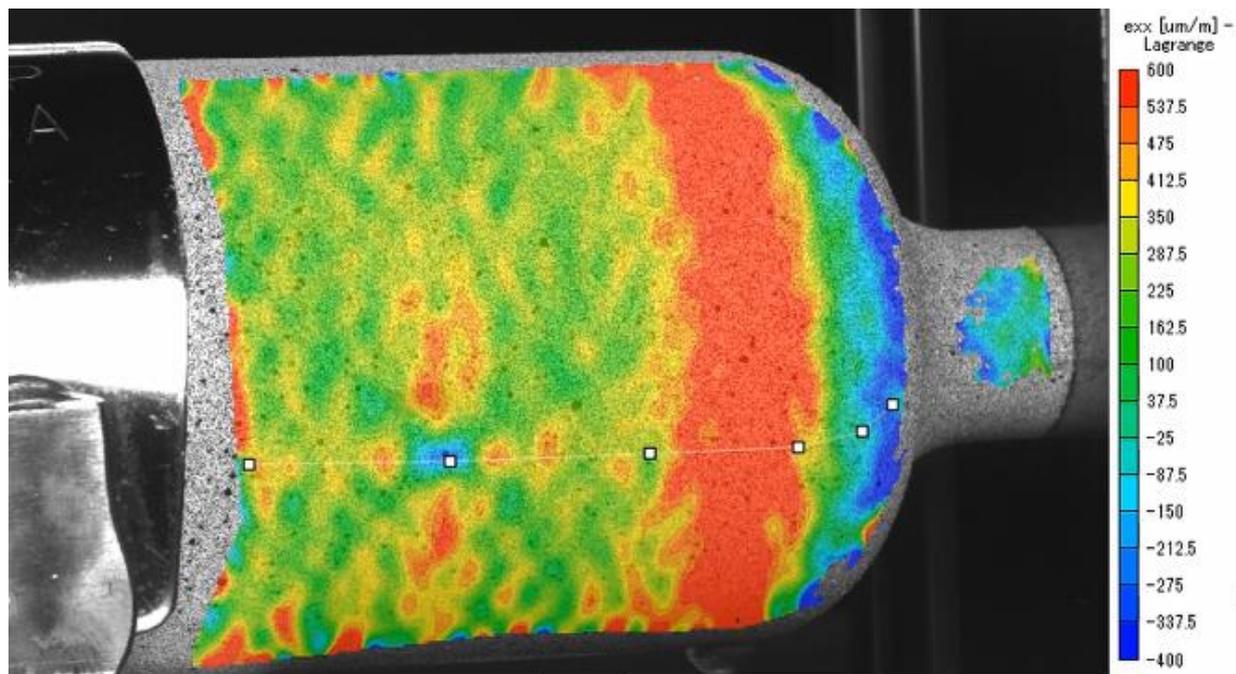
A案:コンプライアンス法

荷重-変位グラフの傾きの変化からき裂を検知する方法



⇒ A案 コンプライアンス法にとって十分な精度がある。

# 実験結果② DIC撮影試験 (C75) E<sub>xx</sub>ひずみ

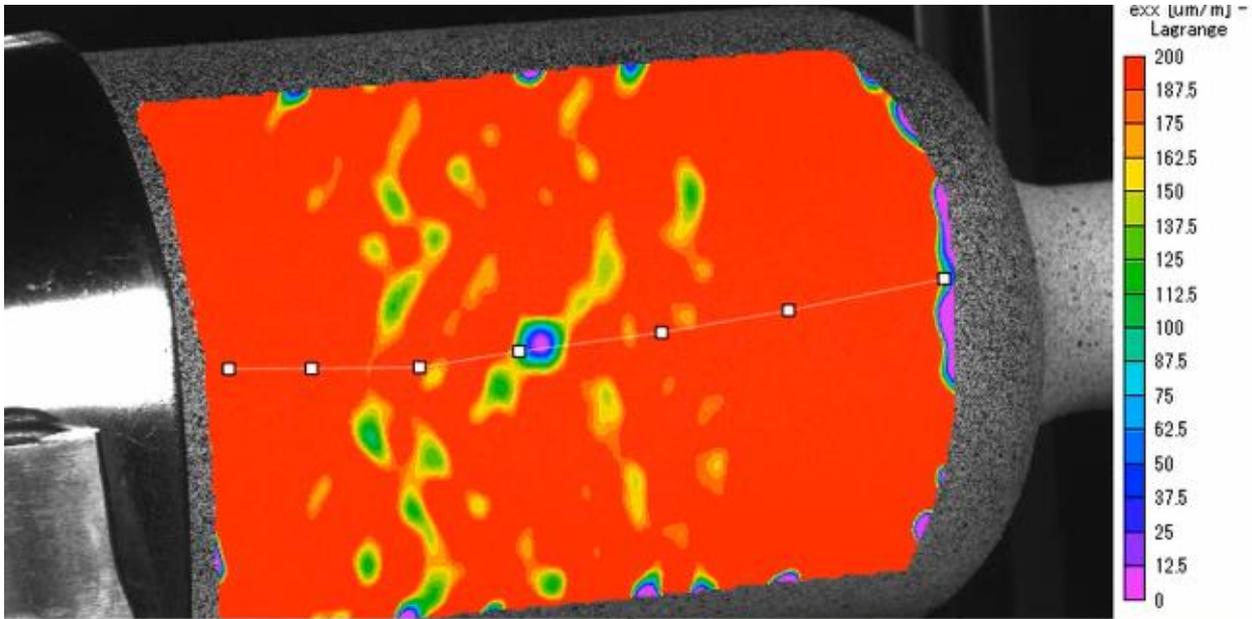


350 $\mu\epsilon$

MIN  
-200 $\mu\epsilon$

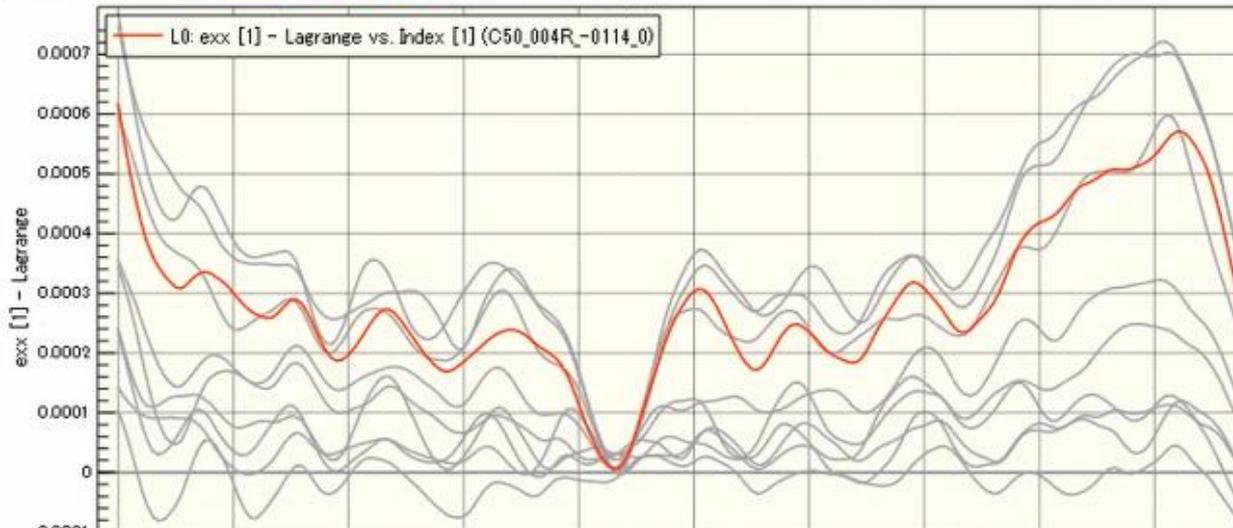
X座標

# 実験結果② DIC撮影試験 (C50) Exxひずみ



350με

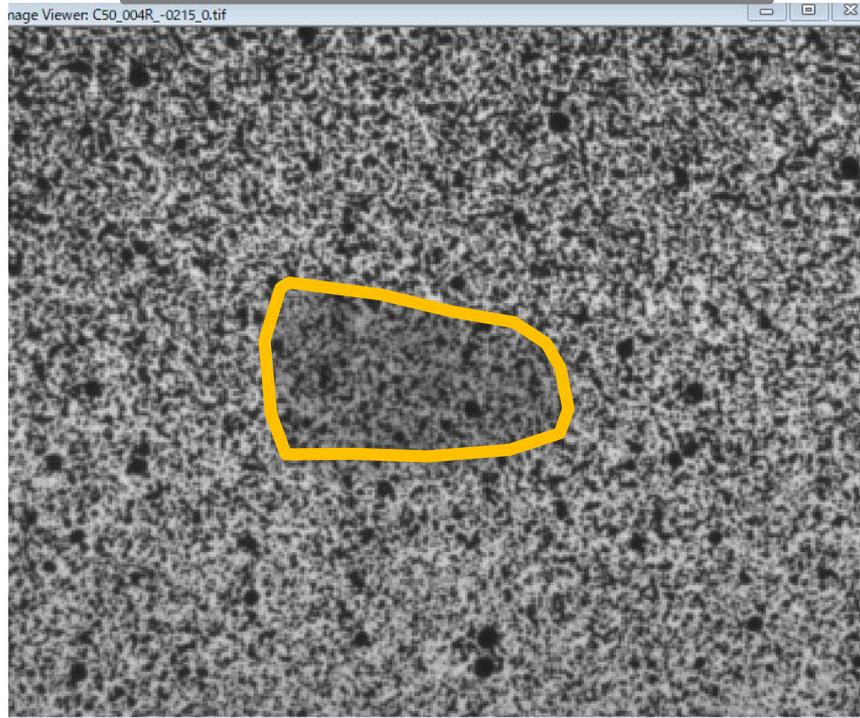
MIN  
0με



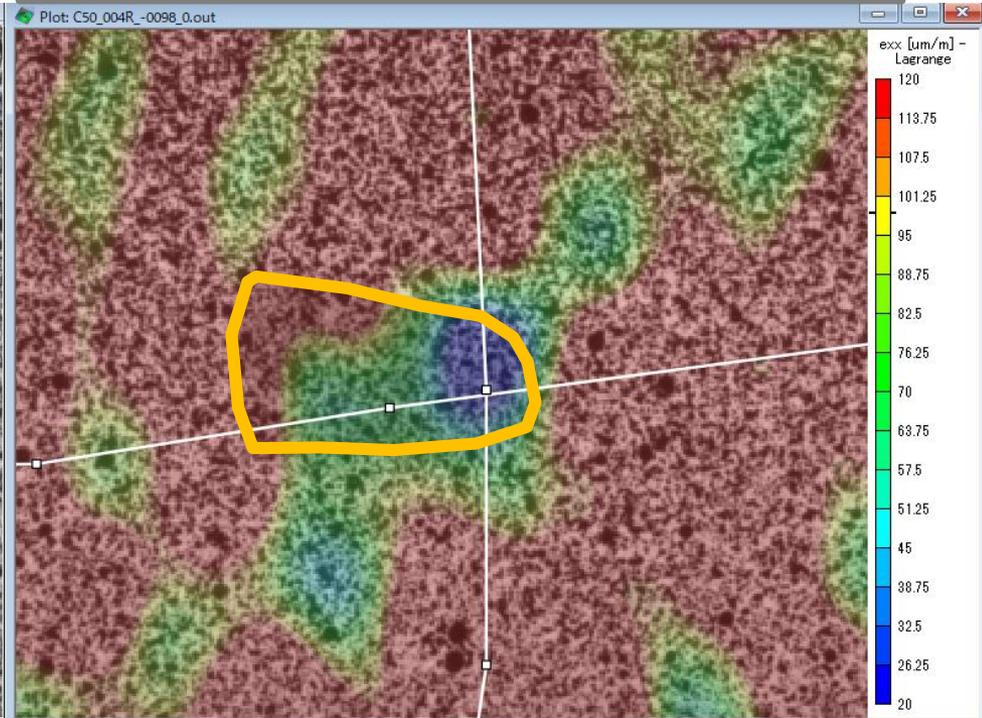
X座標

# 実験結果② C50・亀裂と分布の位置関係

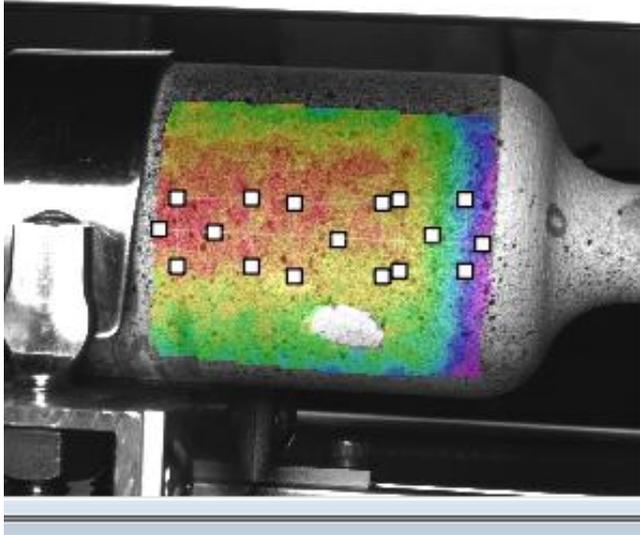
カラーマップなし



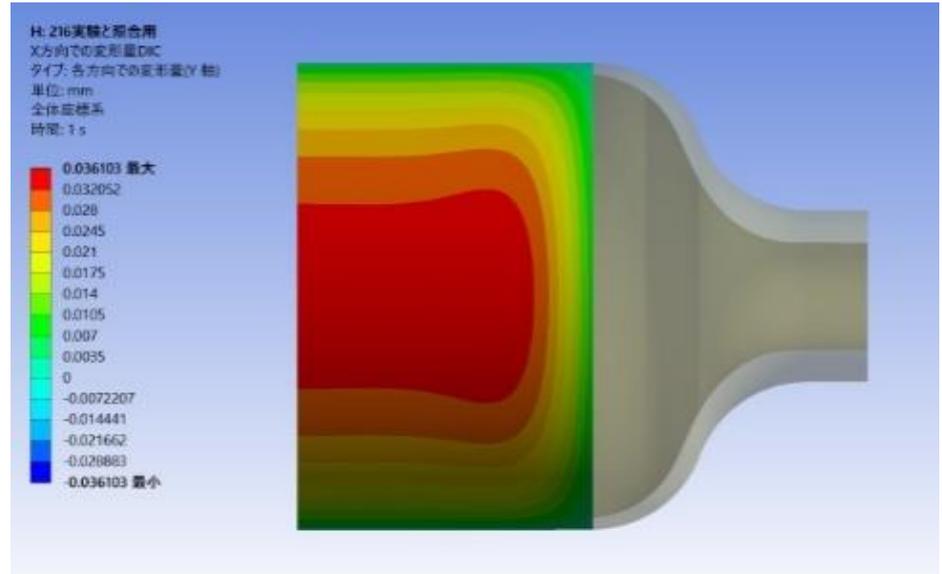
カラーマップ透過度20%



# CAE結果① C00 W 奥行方向変位



29.7  $\mu\text{m}$



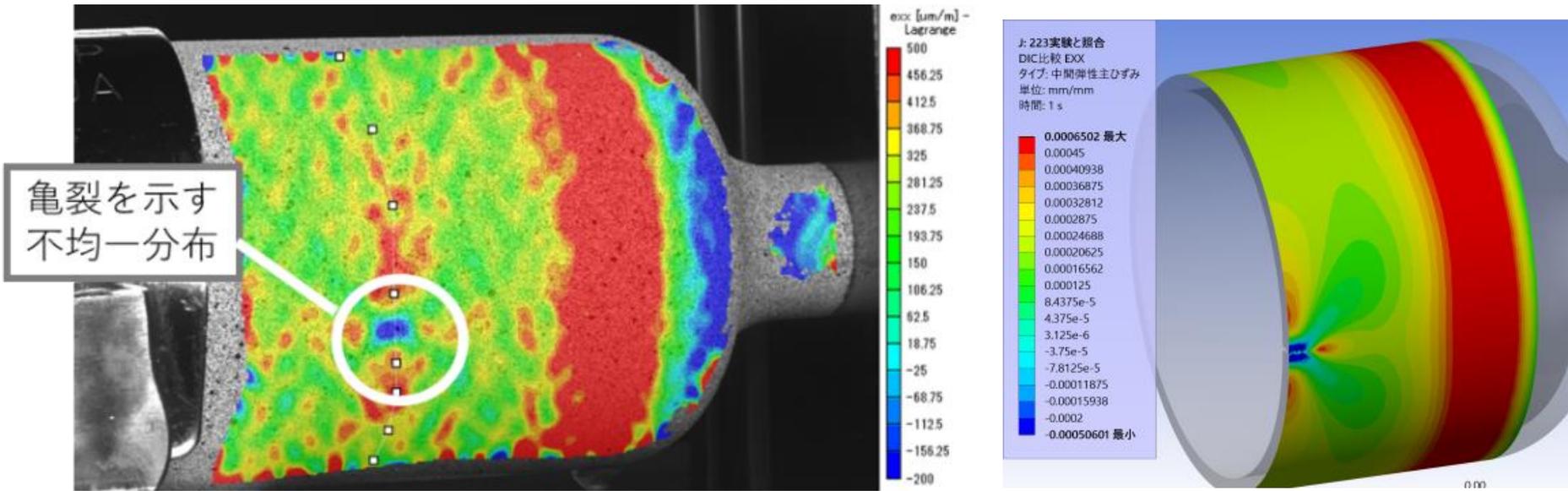
32  $\mu\text{m}$

分布も絶対値もほぼ同じ、  
水圧試験も、DIC測定も妥当

# CAE結果② C75 Exx ひずみ

## カラーコンタースケール

MIN -200  $\mu\epsilon$  MAX 450  $\mu\epsilon$

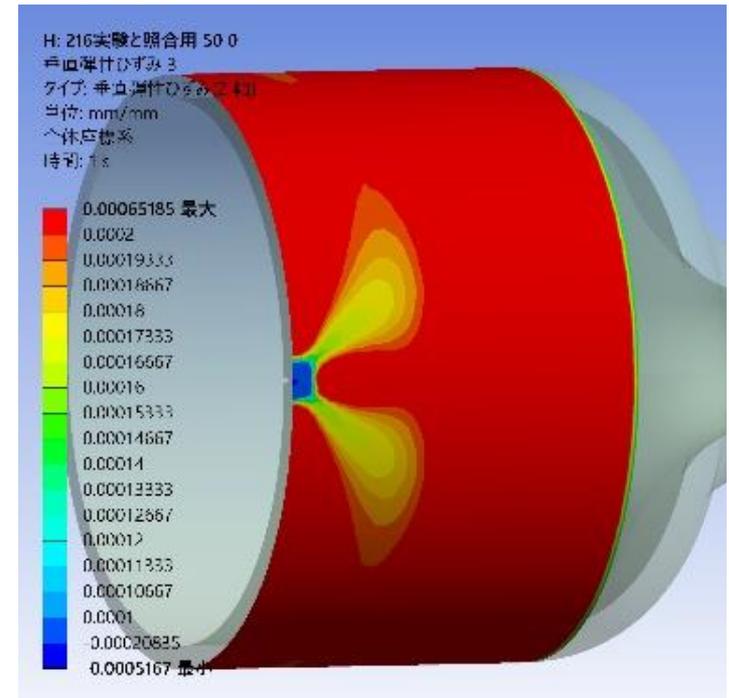
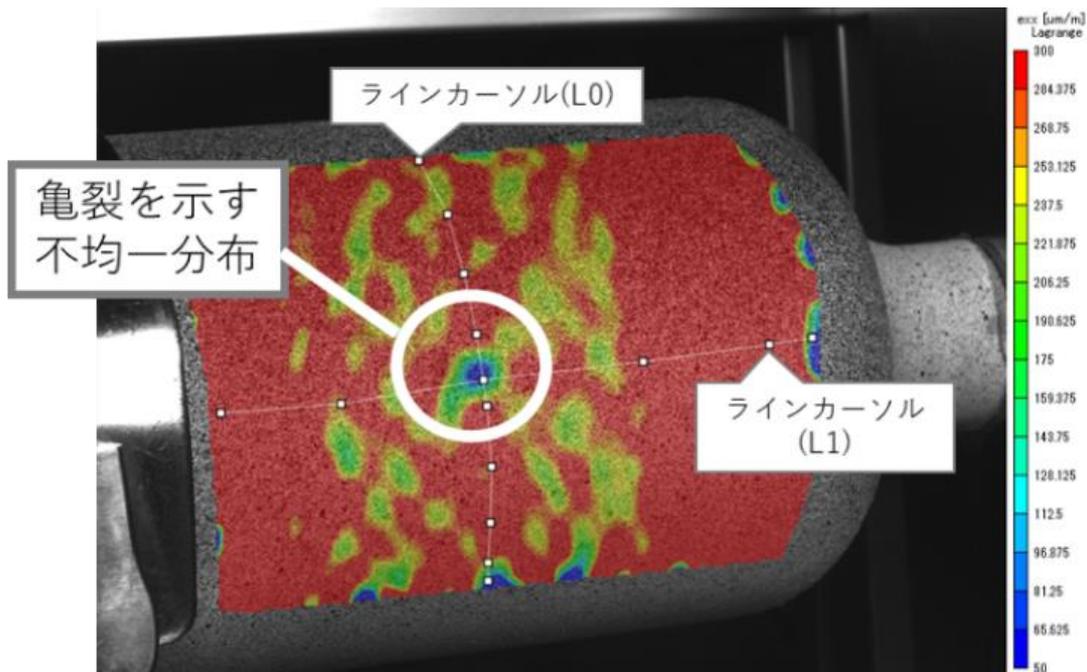


極小値だけでなく、  
周辺の局所的な極大値も合致

# CAE結果③ C50 Exx ひずみ

## カラーコンタースケール

MIN 50  $\mu\epsilon$  MAX 200  $\mu\epsilon$



極小値だけでなく、  
周辺の特徴的な分布も合致

# 考察 DIC画像処理のノイズ定量評価

平均値 : 29.6  $\mu\text{m}$       最大 : 35.0  $\mu\text{m}$   
 標準偏差 : 1.86  $\mu\text{m}$       最小 : 23.7  $\mu\text{m}$

レンズ	焦点距離 17mm レンズ					
	約40cm (図 1 8、1 9)			約60cm (図 1 5)		
距離	前後方向 変位	X 方向 ひずみ	Y方向 ひずみ	前後方向 変位	X 方向 ひずみ	Y方向 ひずみ
	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{E}$ ]	[ $\mu\text{E}$ ]	[ $\mu\text{m}$ ]	[ $\mu\text{E}$ ]	[ $\mu\text{E}$ ]
平均値	34.60	283	1374	408	382	1592
標準偏差	0.47	38.6	48.9	1.85	36.6	52.0
最大値	35.74	202	1471	34.99	478	1775
最小値	33.14	379	1261	23.66	301	1450
変動率	1.36%	13.64%	3.56%	0.45%	9.58%	3.27%

# まとめ

- ★ DICによるタンク試験片の亀裂検知
  - ・ A案 コンプライアンス法に必要な精度がある。
  - ・ 0.5、 0.75は、B法 不均一分布による検知ができた。