

H24年度 京大炉中性子イメージング専門研究会



KURでのヒドラジン 分解事象の動画観察

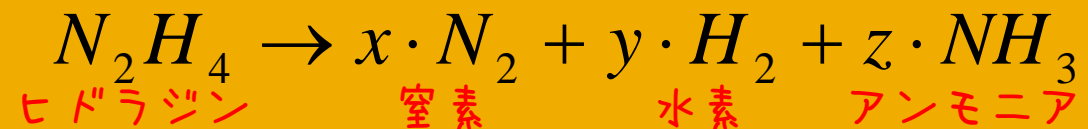
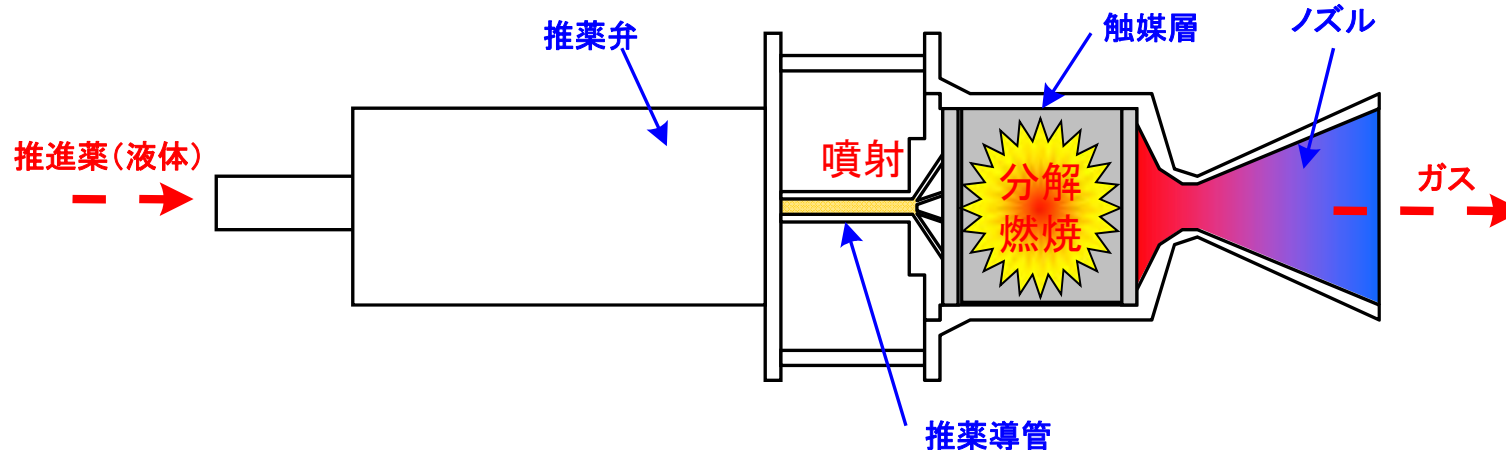


宇宙航空研究開発機構
研究開発本部推進系グループ
香河英史,長田泰一,升岡正,梶原堅一
京都大学原子炉実験所
伊藤大介,齊藤泰司,川端祐司

内容

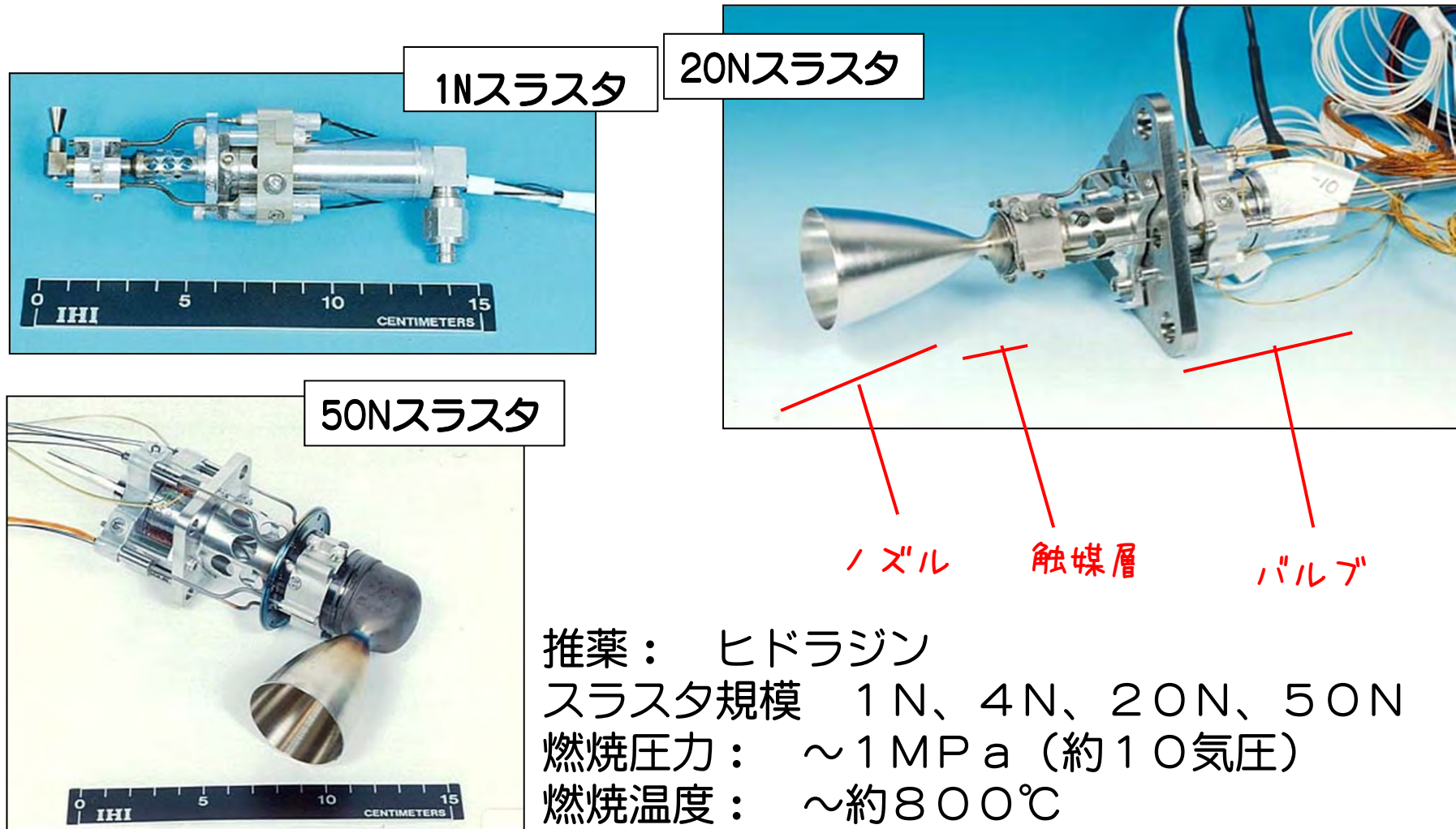
- 人工衛星用スラスタの可視化
 - これまでの可視化活動の紹介
- 中性子ラジオグラフィ
 - 中性子だと何が良いのか
 - スラスタのどこを見たいか
- 中性子ラジオグラフィ結果
 - 観察対象・撮影機材
 - 何が見えたのか
- まとめ

人工衛星用スラスタ



- 人工衛星を軌道上で制御する手足。
- 液体を燃焼・分解させて、高温ガスを生成。
- ノズルから加速・放出させて、反力を得る。
- 二液式や一液式や電気推進など様々な形式。

一液式スラスタのいろいろ



スラスト用触媒

- 米国Shell社製 Shell405触媒
- 1960年代に開発→現在まで世界の主要な一液スラストで使用
- 多孔質アルミナセラミックにイリジウム（触媒成分）を含浸



見た目は黒胡麻

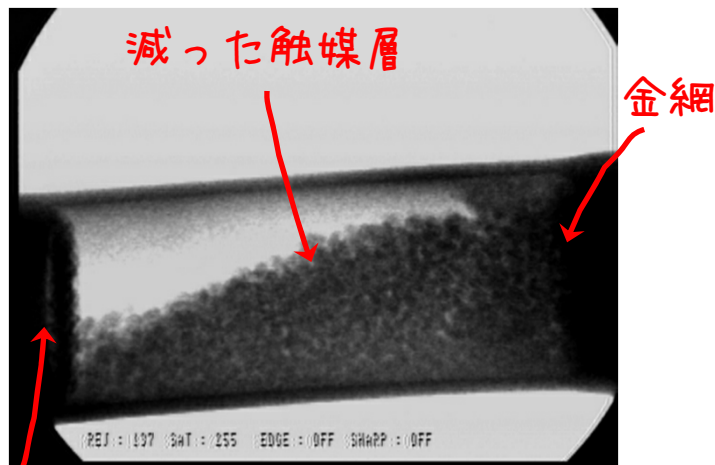


約0.7mm

非常に脆く、欠けやすい

触媒がスラスタに与える影響

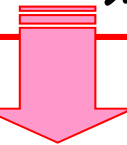
- スラスタ噴射を長く続けると触媒が減っていく
- 触媒が減ったスラスタは、異常噴射を起こす可能性が高い→信頼性低下
- 触媒の寿命≒スラスタの寿命
- 性能にも大きな影響を与える。



金網 噴射試験後×線写真

疑問点

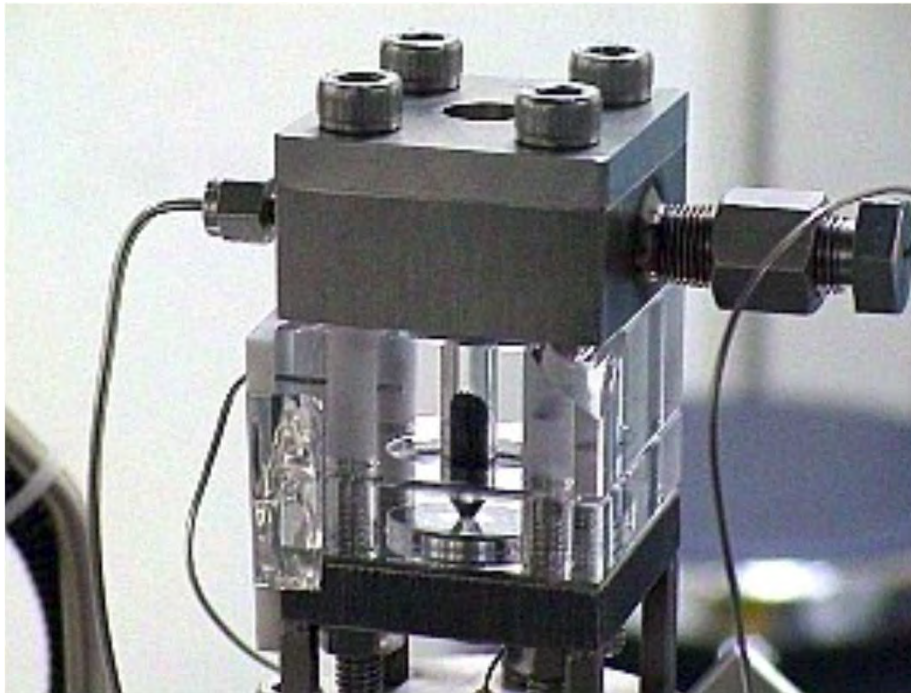
触媒が減っていくのは、どのようなメカニズムか？
ヒドラジンは、どのように触媒と反応しているのか？



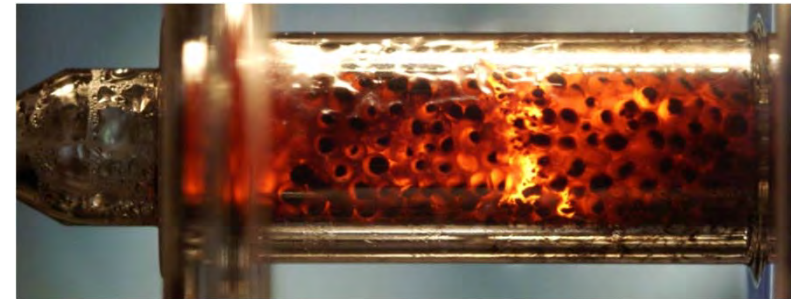
実際に見て、確かめてみよう！

これまでの可視化活動内容

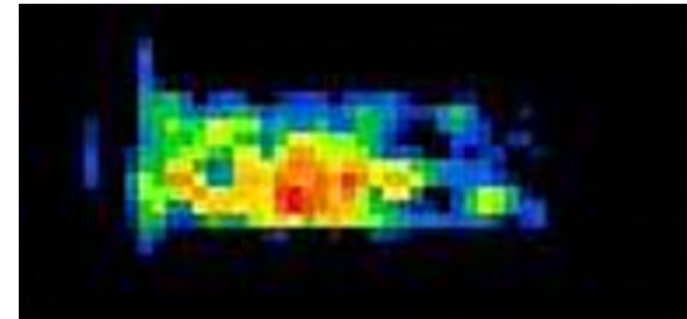
触媒層の研究として実施



AIAA-2005-3951



連続燃焼中の可視化

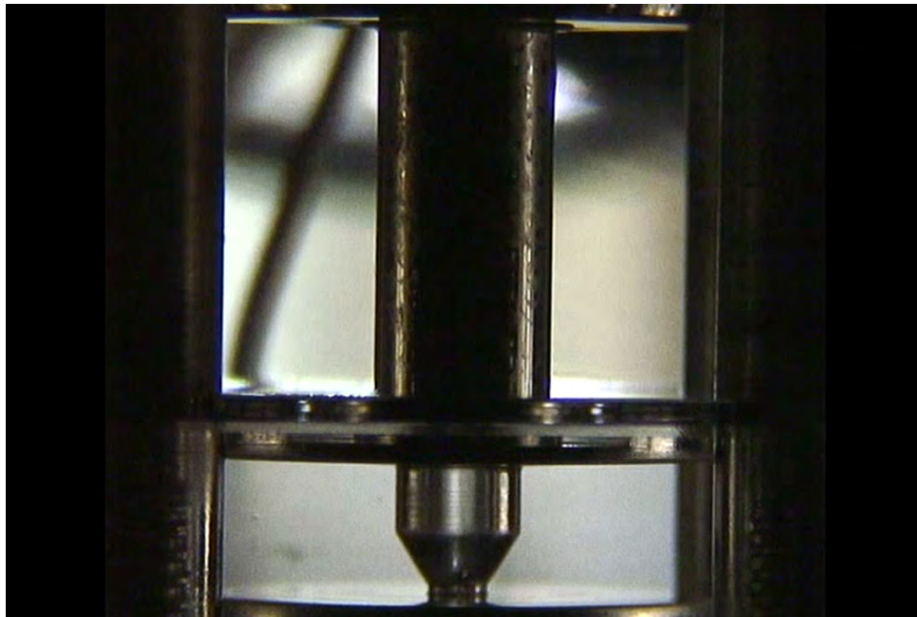


サーモグラフィによる表面温度

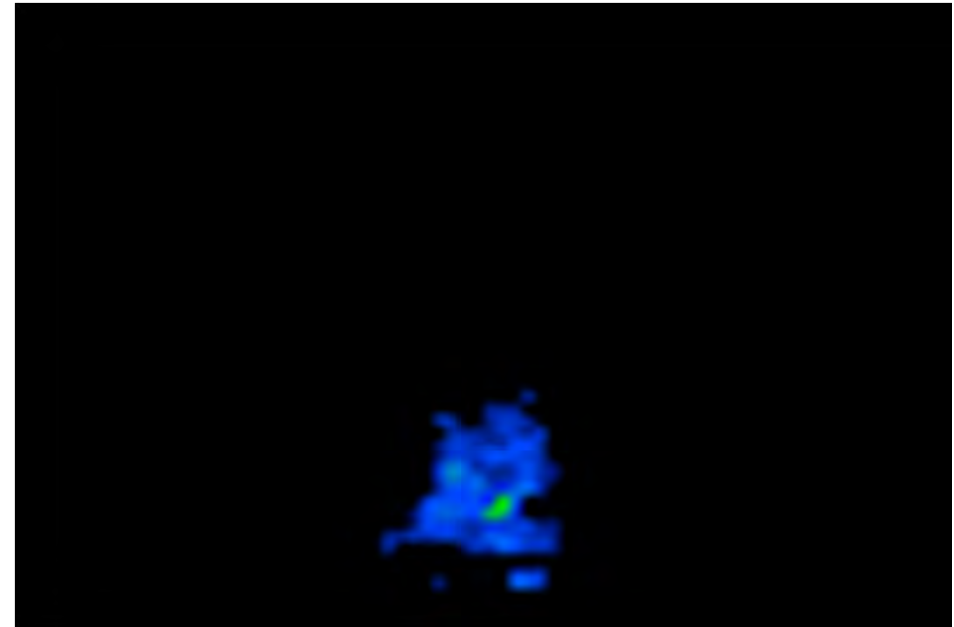
金属の触媒層に変わり、中身を透過できる石英ガラスやサファイアガラスを使用して実施。

これまでの可視化活動 可視光

可視光での可視化



短波長赤外線での可視化

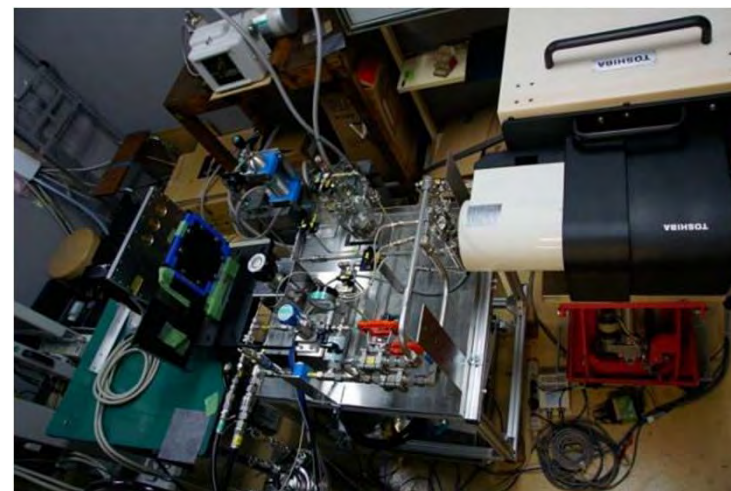


- 可視光で内側の事象観察ができる。
- しかし、見えるのは、表面の現象が主
- 触媒層の内側で何が起きているのか調べたい

これまでの可視化活動 X線



- 触媒粒の動きが捉えられた
- 液のヒドラジンは不可視
 - 液の相変化は観察出来なかった
 - 粒の動きで、ドライアウトは観察可
 - 解像度(時間、空間)はX線が上



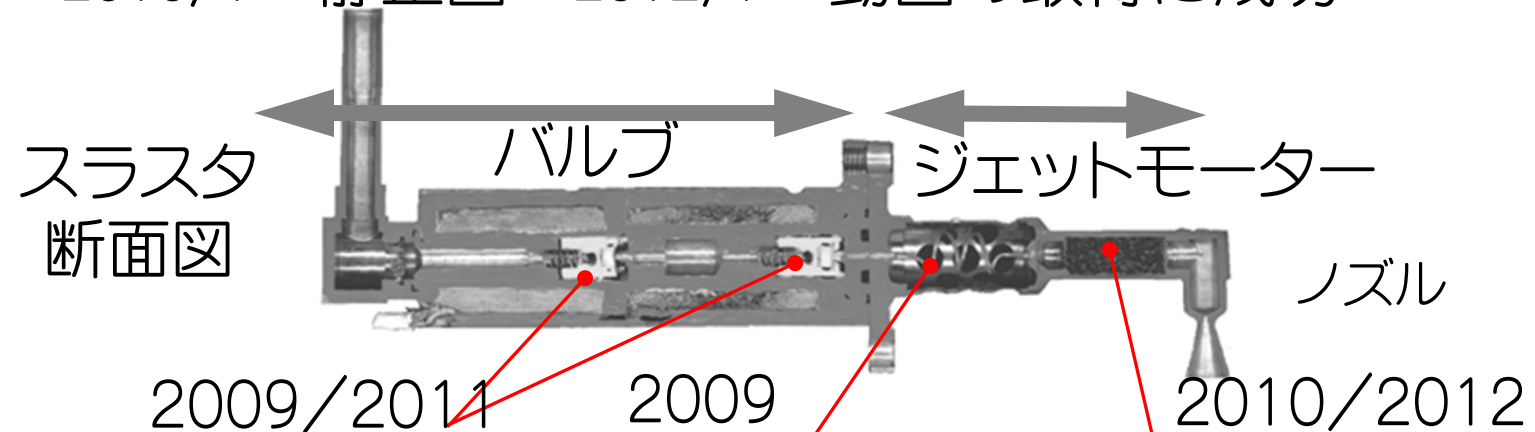
中性子ラジオグラフィという手段

- 興味の対象
 - 物理的、化学的な反応現象を知りたい
 - ヒドラジンの分解やその相変化の起こり具合
- 一連の活動の中性子ラジオグラフィ評価結果
 - NRGの性能と限界
 - 水素が見える
 - 何がどの位見えるか
 - 時間解像度と空間解像度も触媒層ならなんとか
- 実際にビデオ画像で観察を行う
 - 模擬推薬や静止画でなく、動画で情報を得る
 - どこまで、液体で侵入しているか?

これまでの観察経緯

■ 触媒層の可視化

- 安全上から模擬推薬でまず実施@JRR-3
- 実推進薬で実施@KUR
 - 2010/1 静止画 2012/7 動画の取得に成功



観測実績

バルブシール

推薬導管

触媒層 (燃焼室)

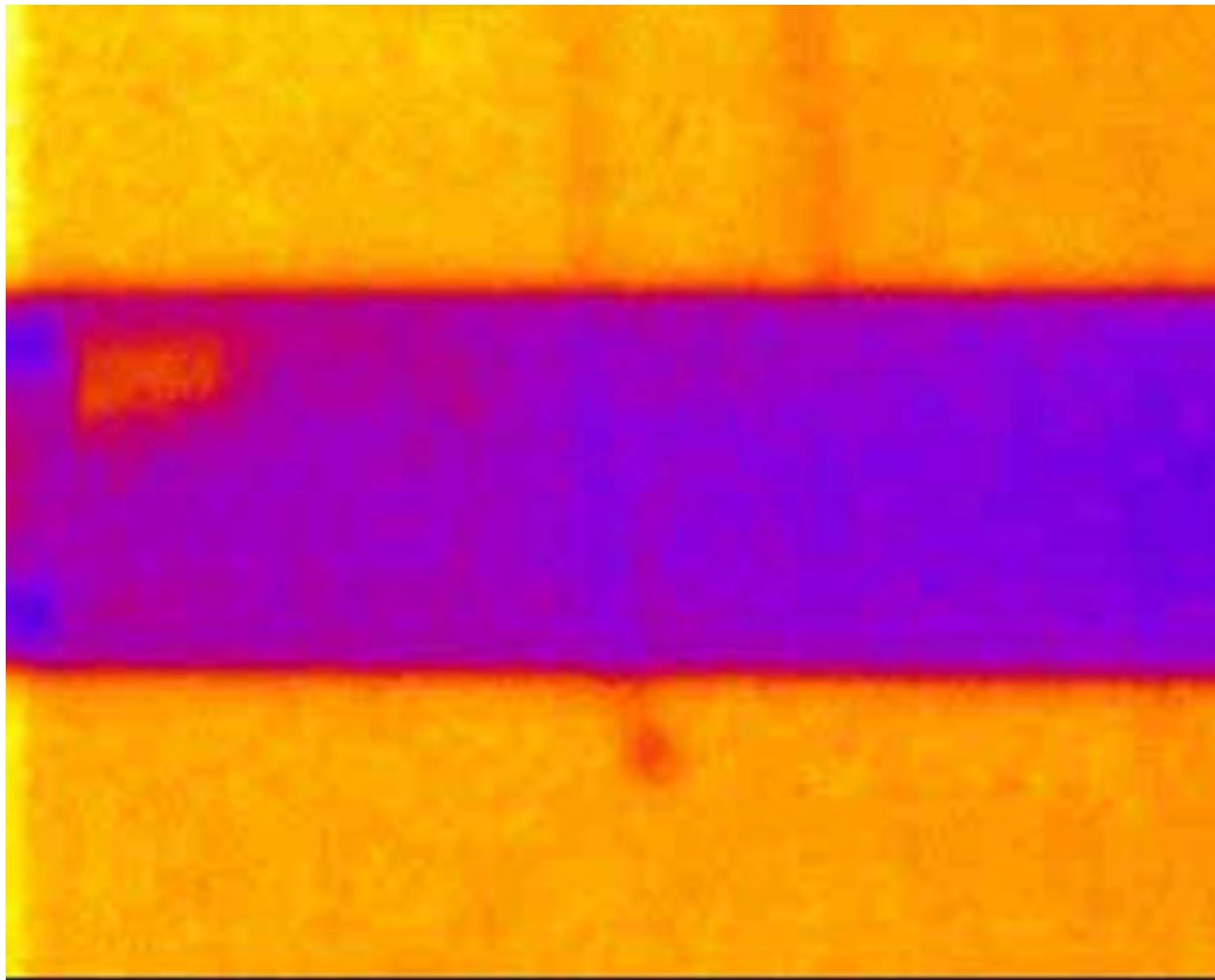
事故例

漏れ・不作動

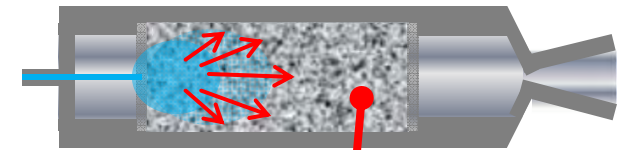
閉塞

触媒流出

触媒層の可視化 —模擬推薬実験—



過酸化水素 (H_2O_4)



触媒層

東京都市大 持木教授撮影
理研 森田晋也氏処理

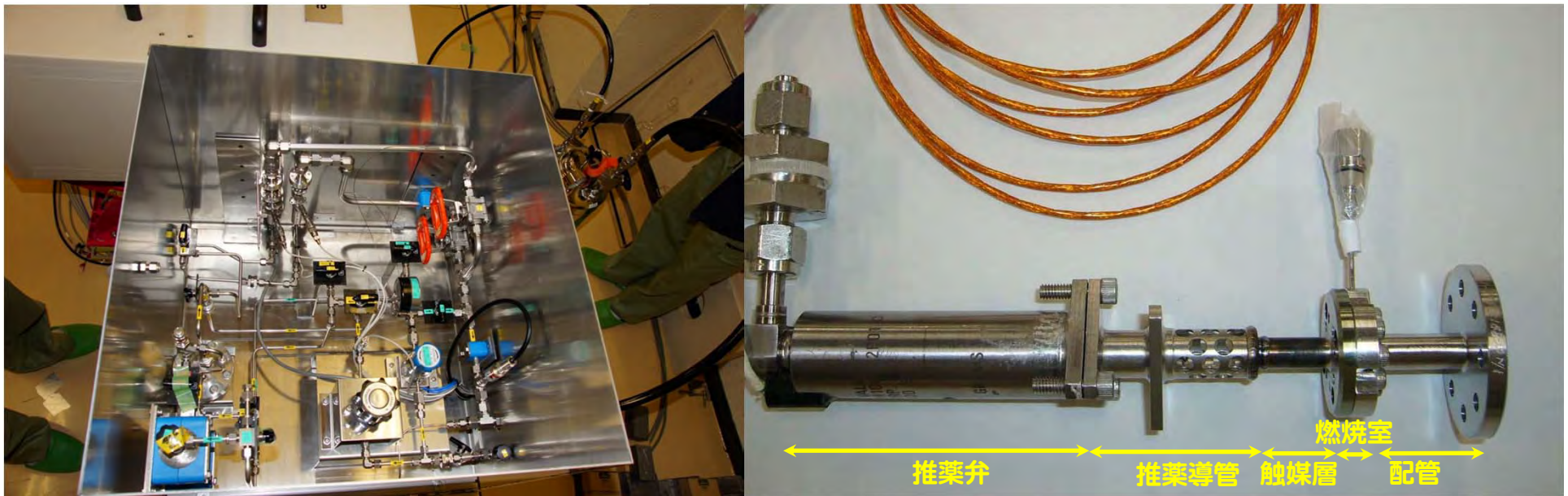
密度変化が観察
出来たので、次
の段階へ
実液での観察!

ヒドラジン分解を可視化する困難

- 中性子源は元々少ししかない
 - 動画の撮れそうな中性子源は、JRR-3 TNRFのみ
- 安全問題
 - 炉心内では火気厳禁
 - 炉心内に毒物質を持ち込むのは、敷居が高い
- そこで！KUR B-4ポート！
 - 大学の共同利用設備で研究に大きな理解
 - 研究者よりで実験の実施が可能 ← JAEAとの差
 - 炉心外のガイドポートで安全レベルが異なる

可搬型スラスタ実験装置(1/2)

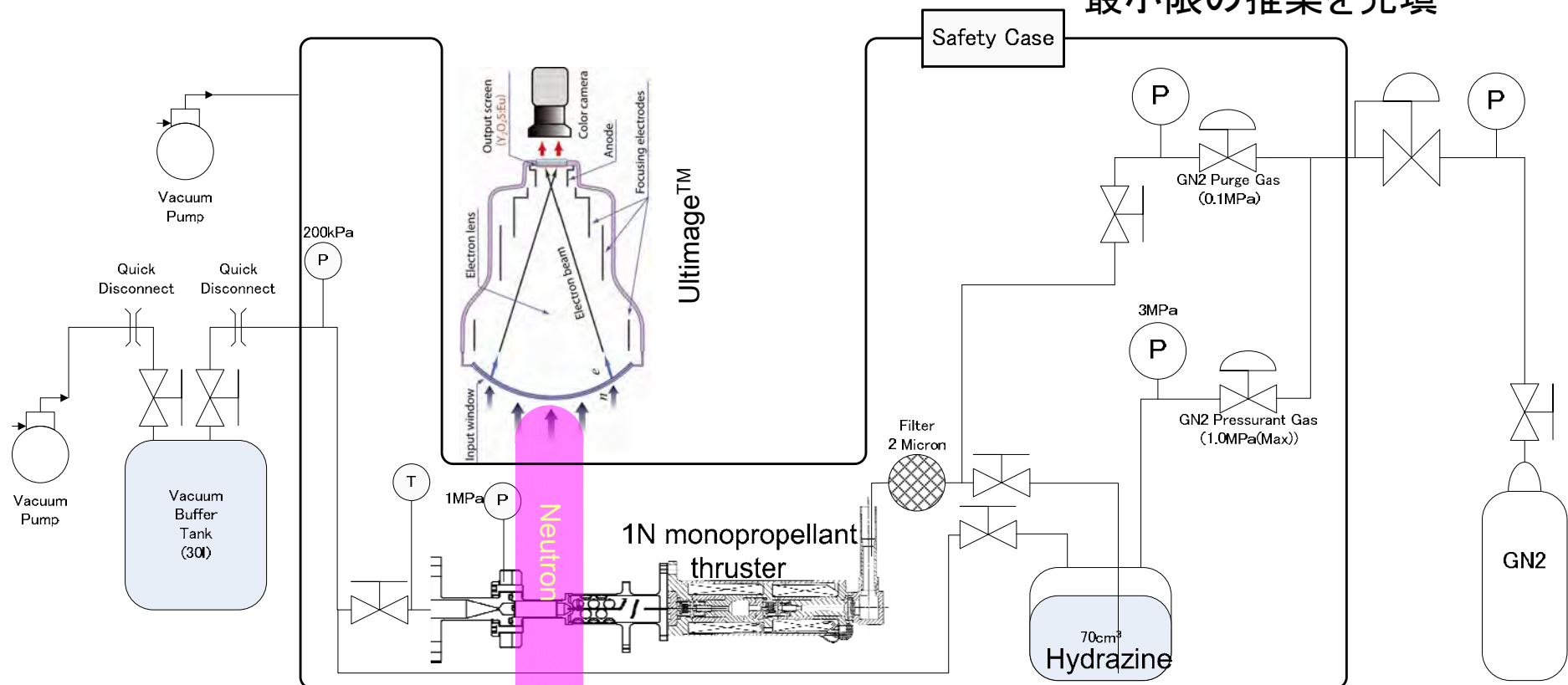
デスクトップ型実験装置を製作・運用



- 全体をケースで覆い外部への有毒物質の漏れがない様に考慮。
- スラスタ全体では無く、排気だけを吸い出す方式にした。
 - ノズルは無く、代わりにオリフィスでスロートを模擬。

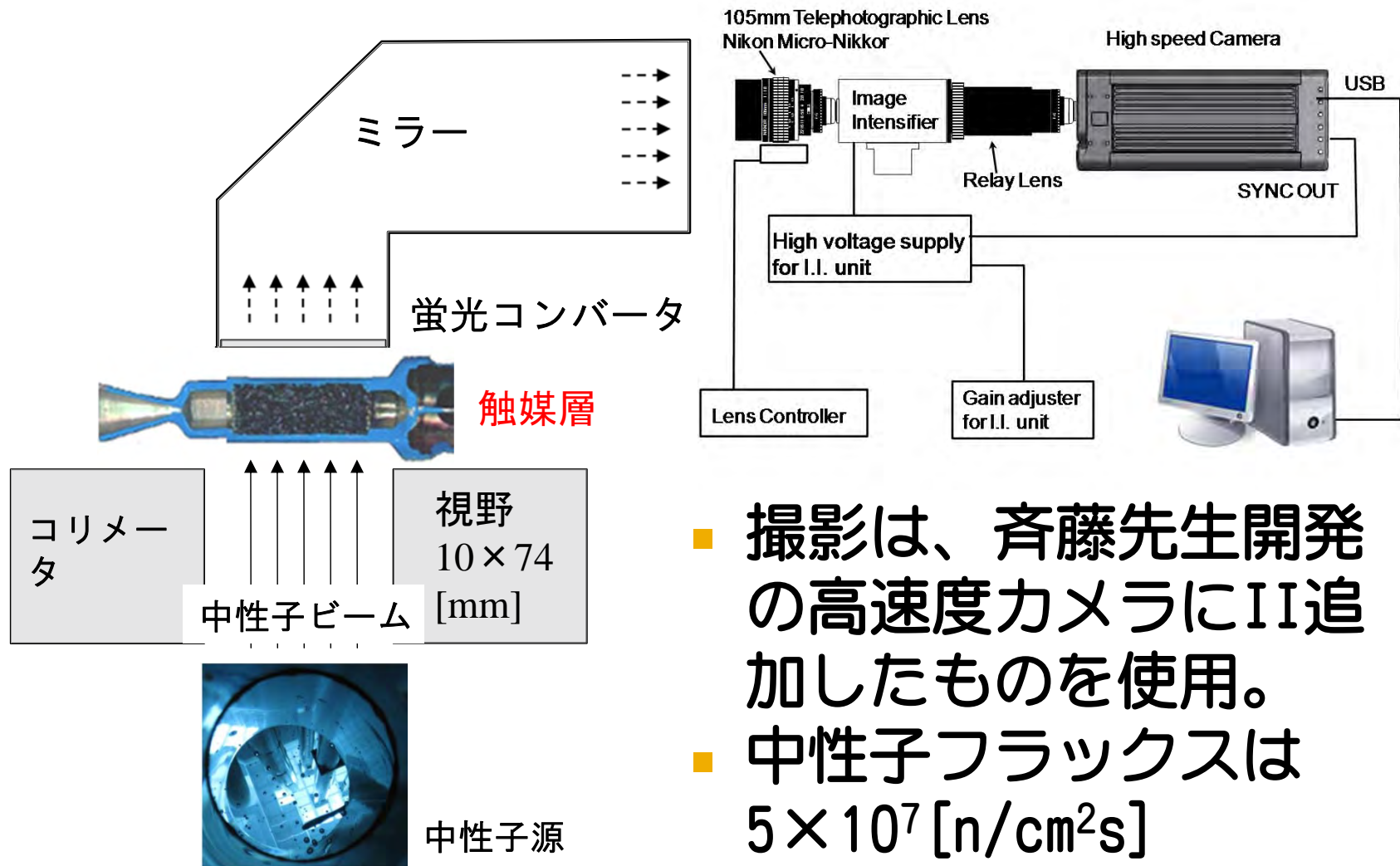
可搬型スラスタ実験装置(2/2)

安全カバーで全体を覆い
最小限の推薬を充填

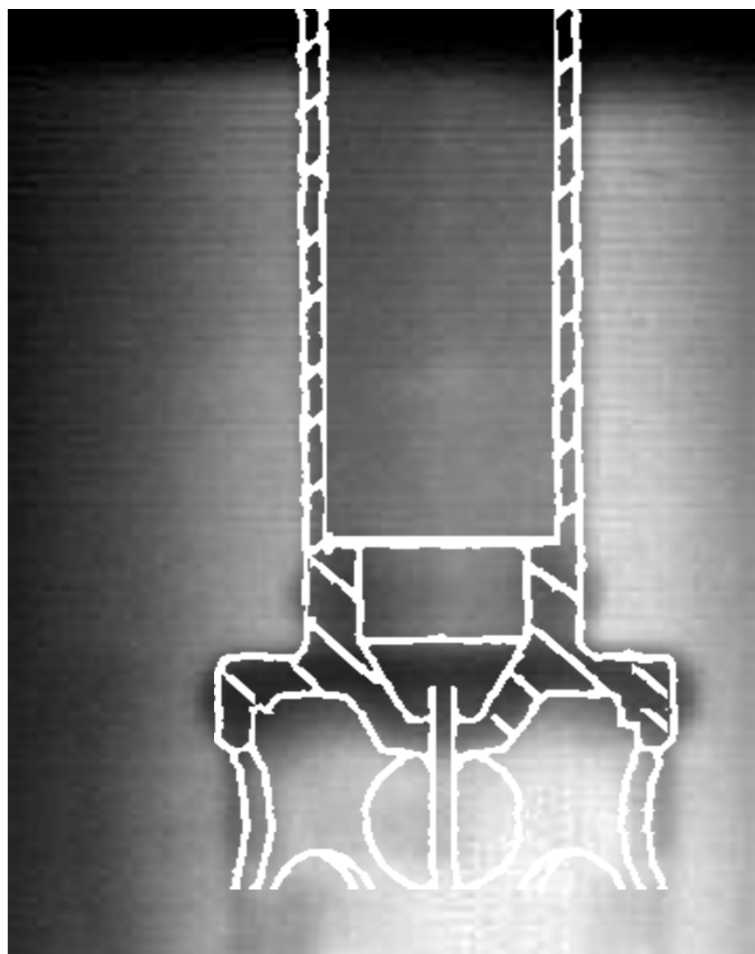


ヒドラジンを使用

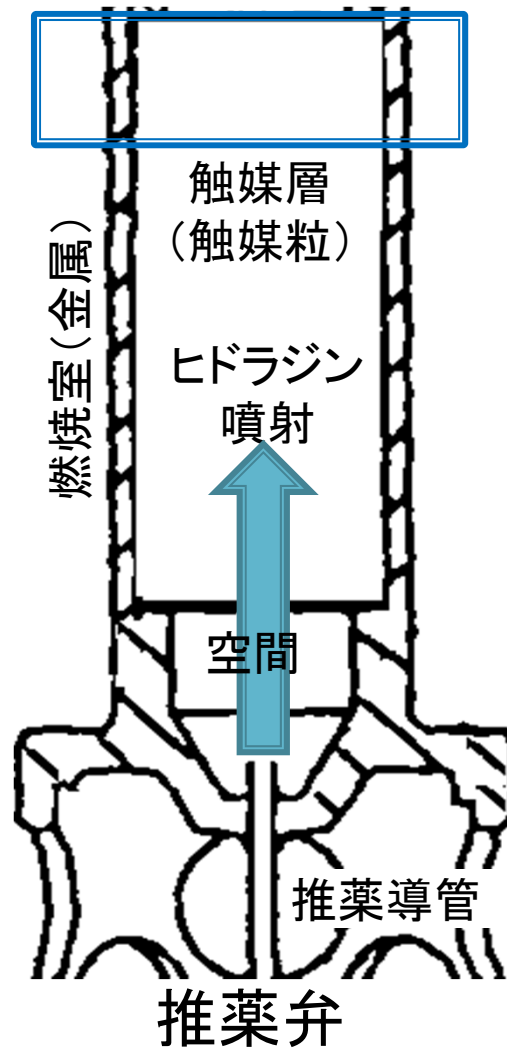
画像撮影の方法



今回得られた画像の見方

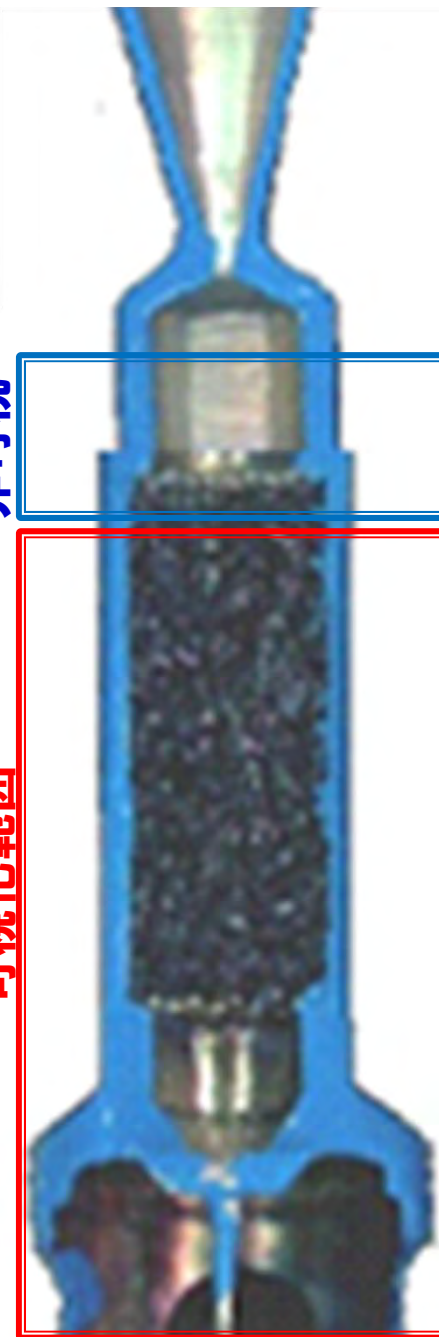


治具厚肉フランジ



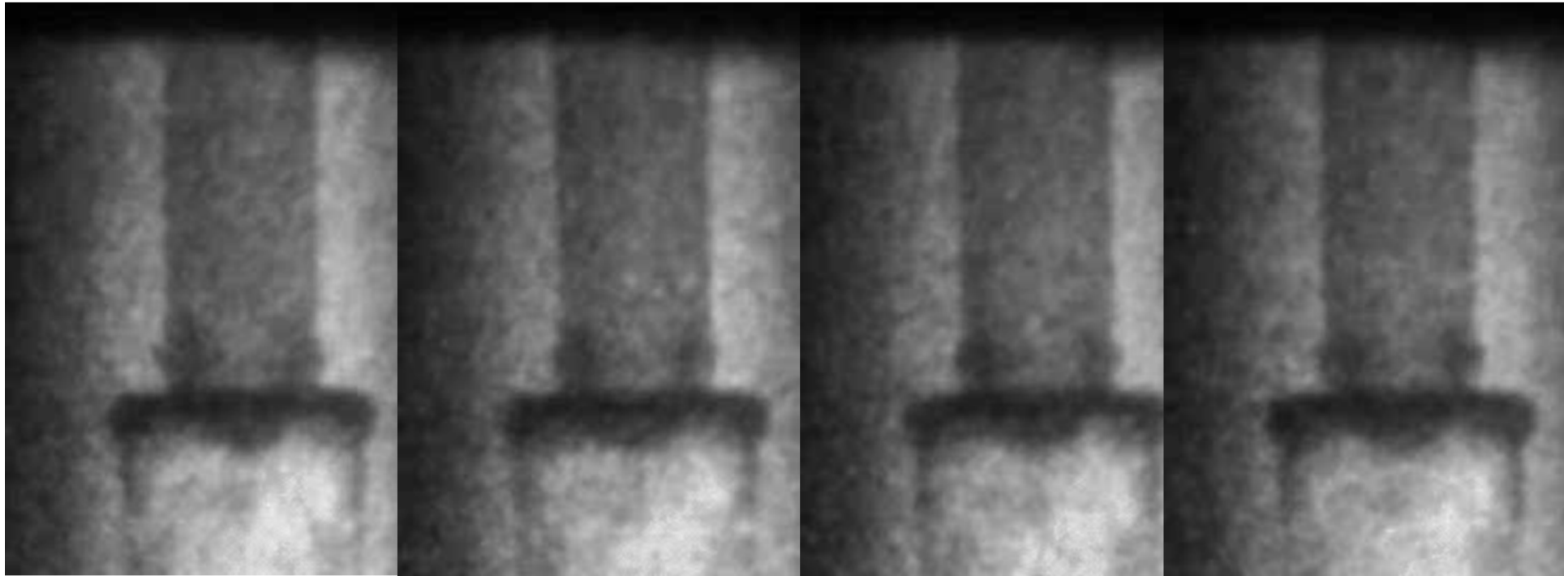
非可視

可視化範囲



カットモデル

取得画像 2.4sec噴射時



0.6 MPa

1.0 MPa

1.5 MPa

2.5 MPa

2.4秒噴射の画像を3秒毎に繰り返し再生。

コントラストが低くてよく分からない。でもなんか見えてそう。

影の移動速度が700mm/sec@0.6MPaと液の噴射速度の1/2位

画像解析は、ImageJを使用

- アメリカ国立衛生研究所 (NIH) で開発配布している画像解析ソフトを理研森田さんの紹介で使用することにしました。

Image J: Rasband, W.S.,
ImageJ, U. S. National Institutes
of Health, Bethesda, Maryland,
USA, <http://rsb.info.nih.gov/ij/>,
1997-2009.

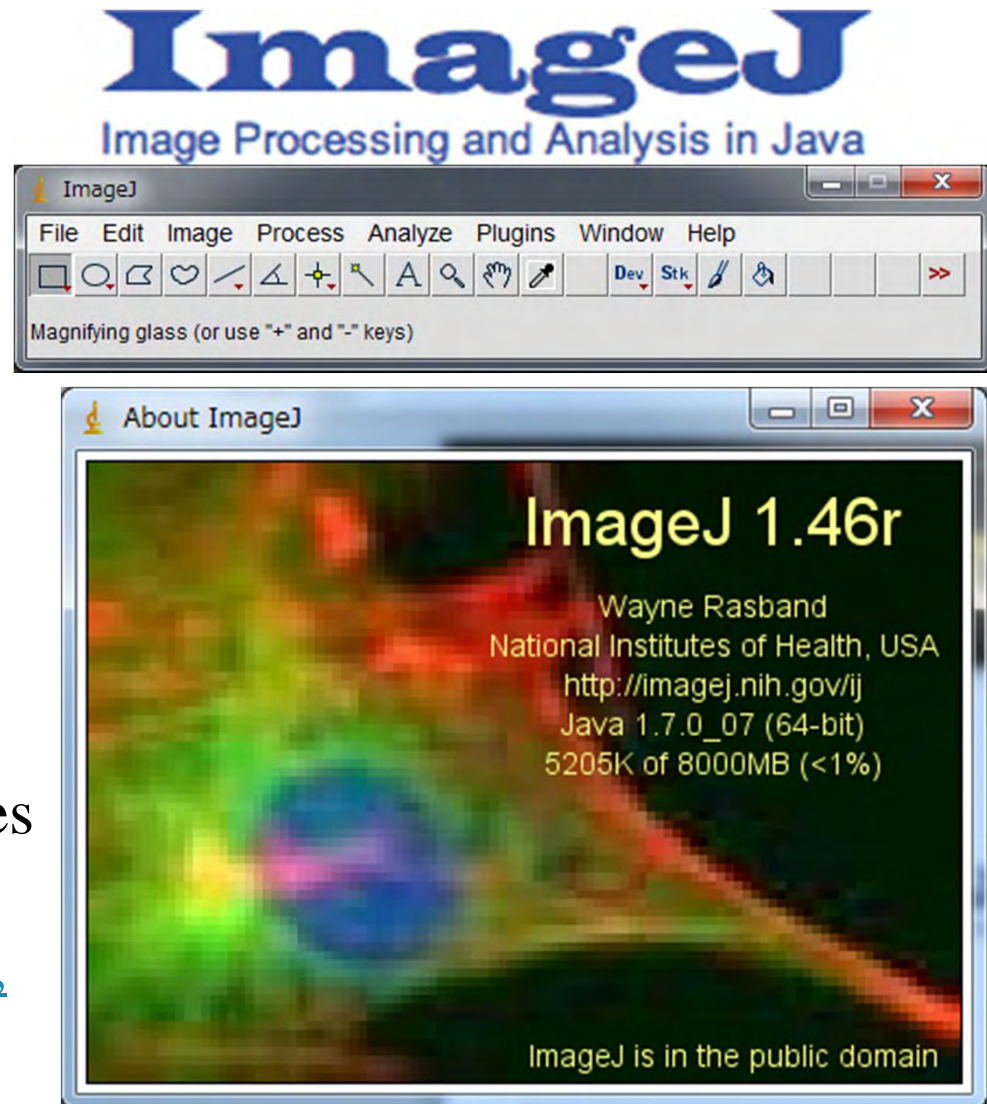
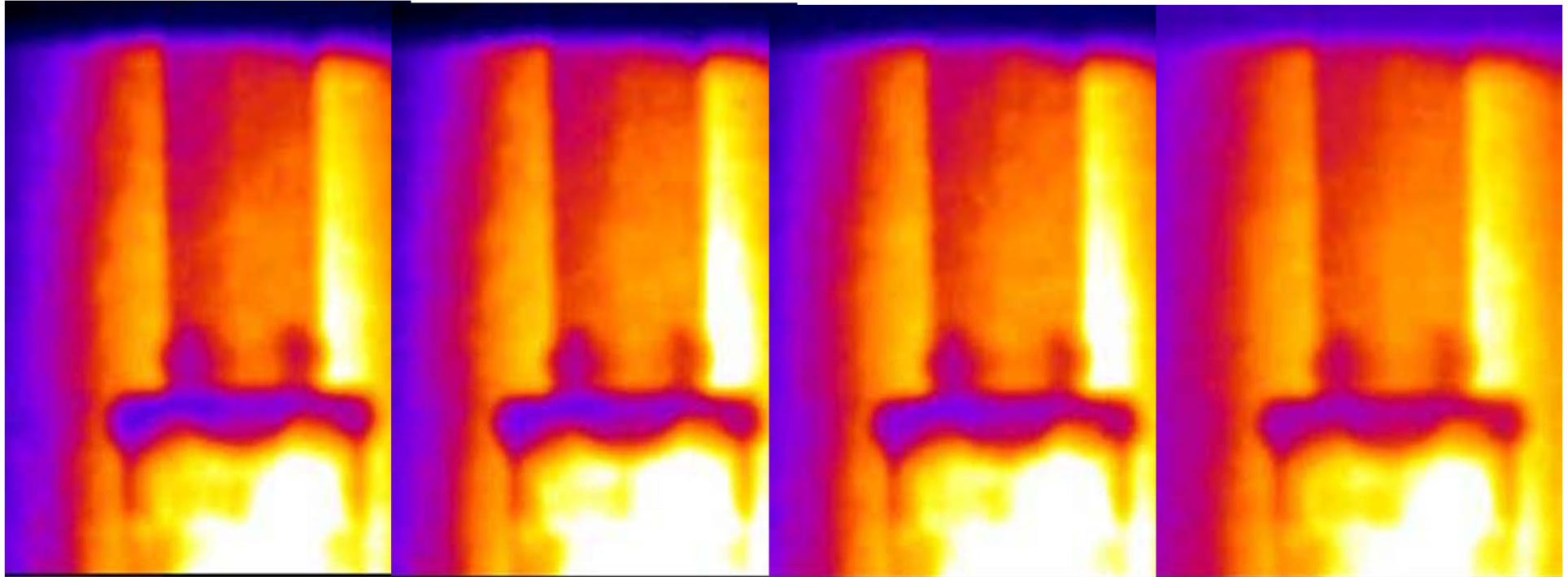


Image-J 3Dラジアン処理結果



0.6 MPa

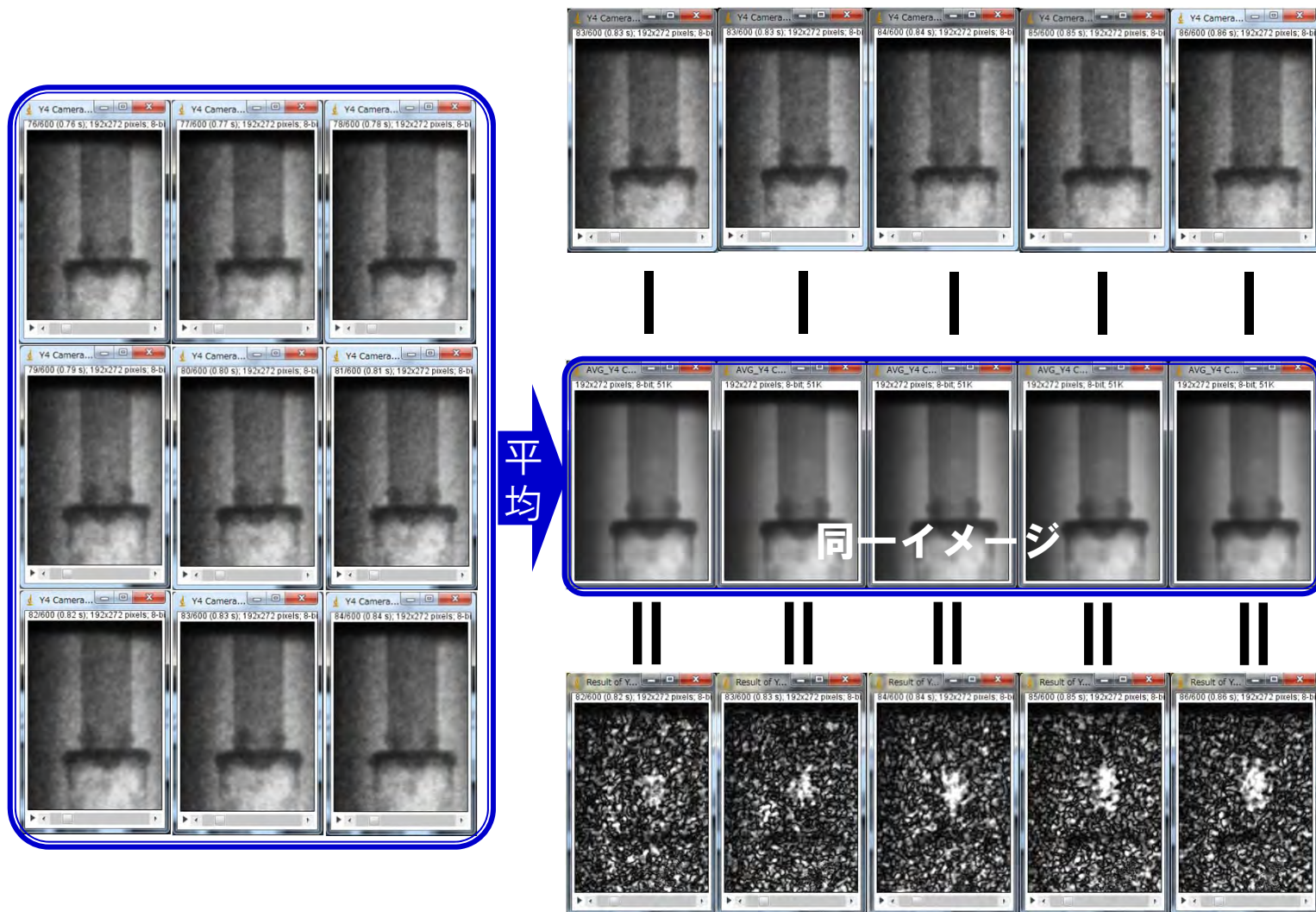
1.0 MPa

1.5 MPa

2.5 MPa

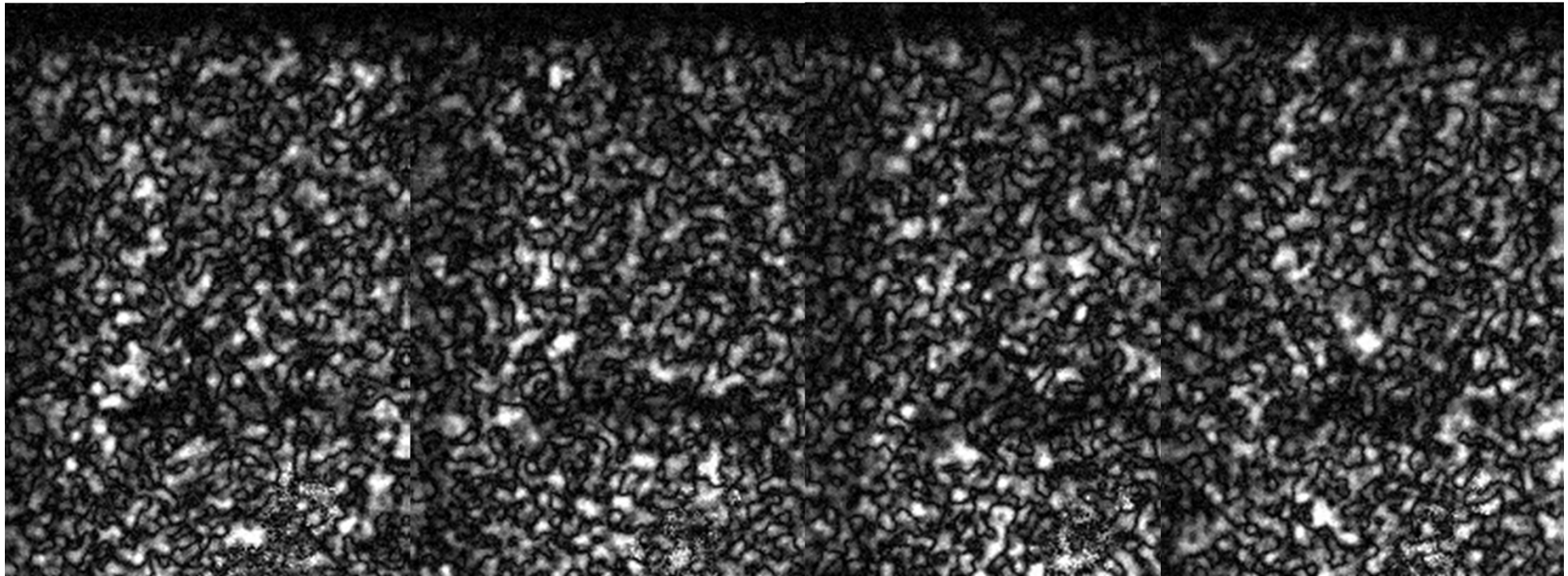
2.4秒噴射の画像を3秒毎に繰り返し再生。
見えるようになった気もするけど。
時間分解能が明らかに落ちている。

差分処理なるものにチャレンジ



- 噴射前画像数十枚から平均画像を生成
- 生成した平均画像と各秒時の画像で変化のある部分を抽出

差分処理結果



0.6 MPa

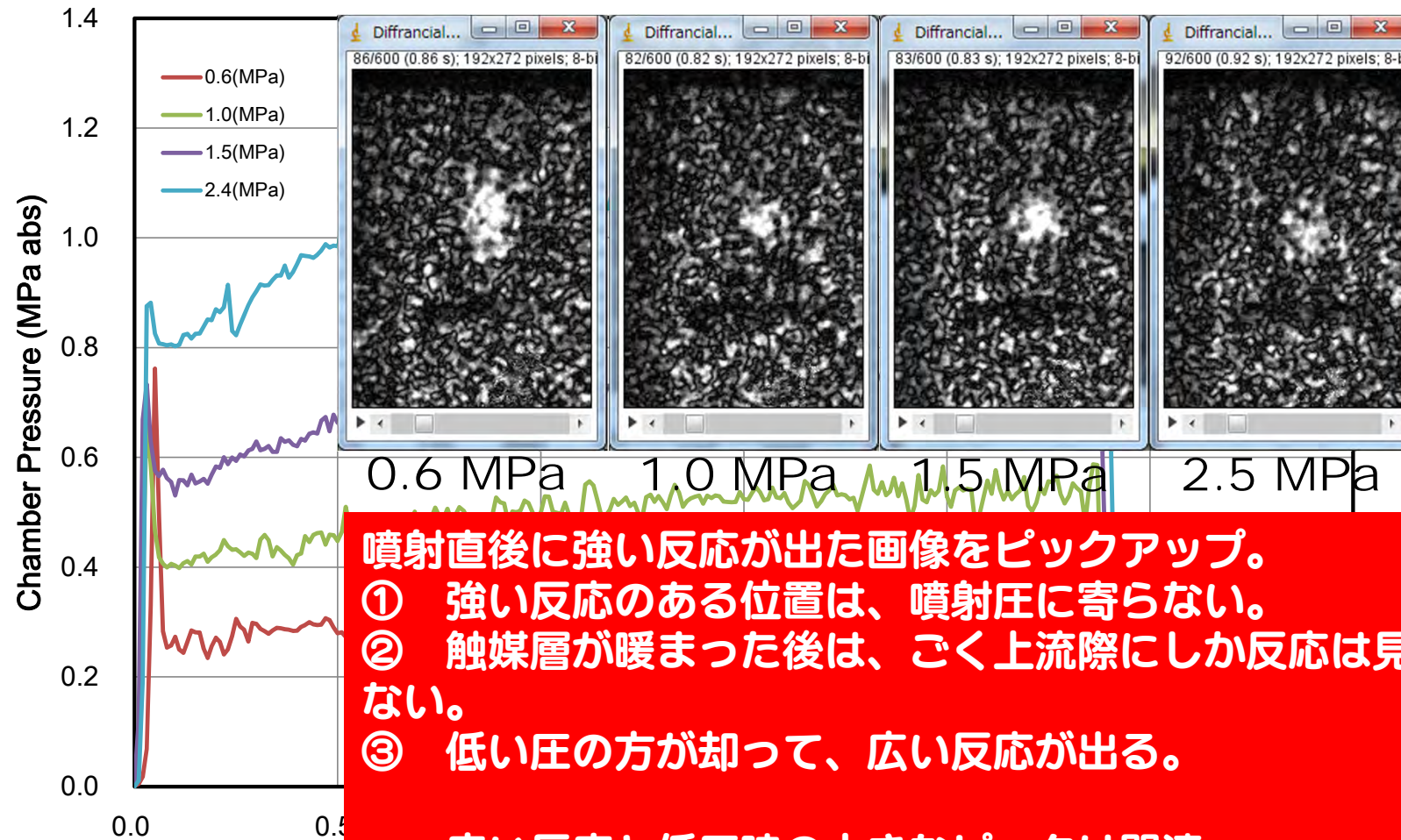
1.0 MPa

1.5 MPa

2.5 MPa

2.4秒噴射の画像を3秒毎に繰り返し再生。
ちらちらするものの噴射の様子が視認できるようになった。

燃焼室圧の比較

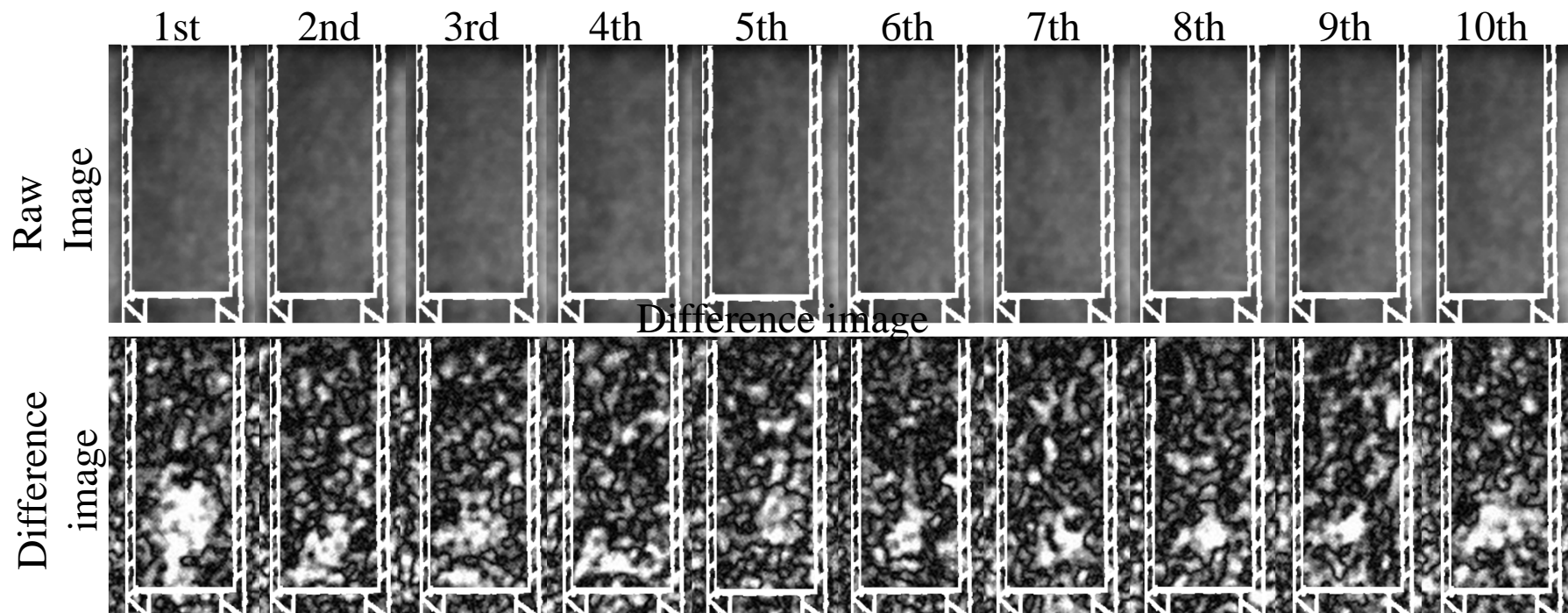


噴射直後に強い反応が出た画像をピックアップ。

- ① 強い反応のある位置は、噴射圧に寄らない。
- ② 触媒層が暖まった後は、ごく上流際にしか反応は見られない。
- ③ 低い圧の方が却って、広い反応が出る。

広い反応と低圧時の大きなピークは関連。

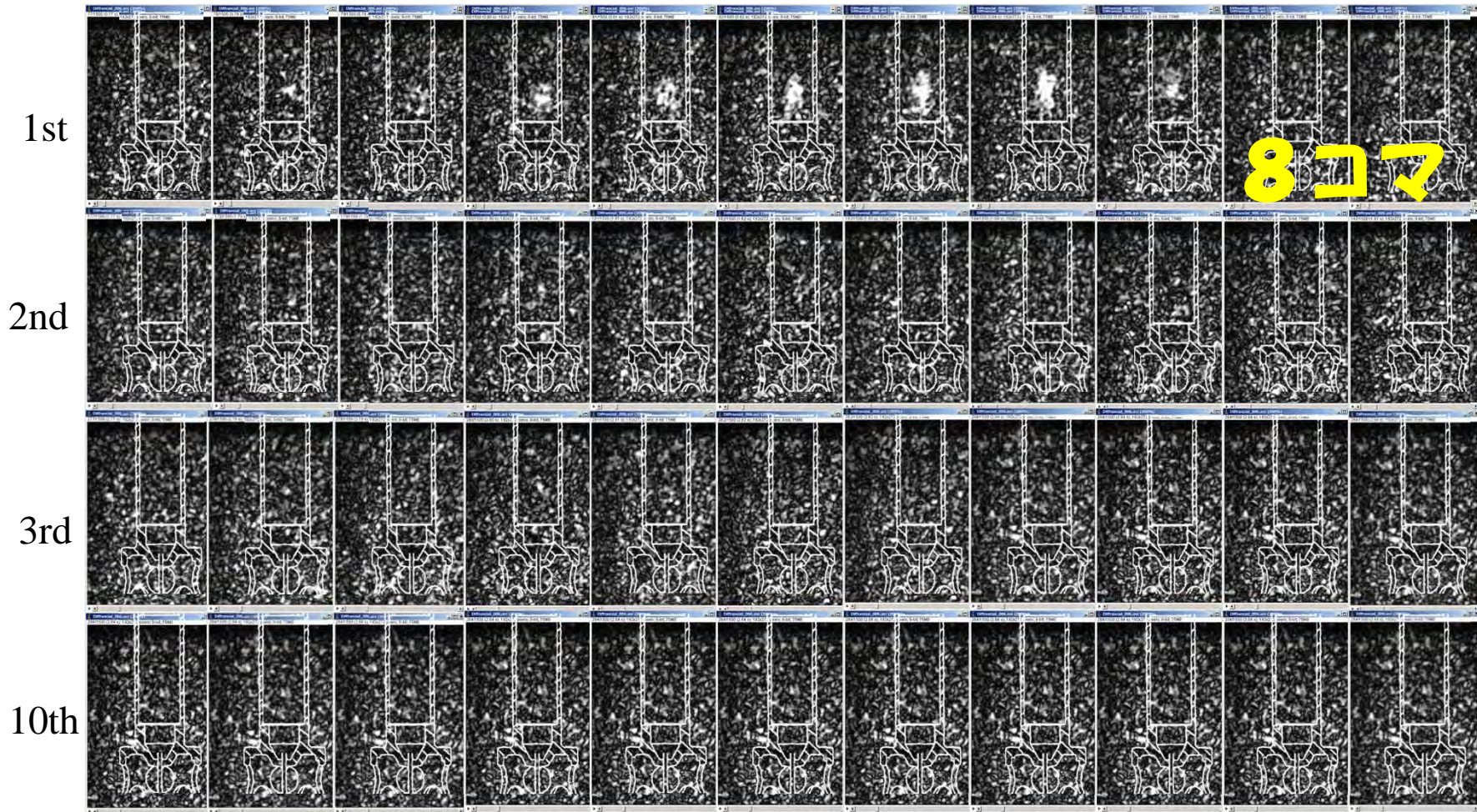
ヒドラジン噴射直後の変化の様子



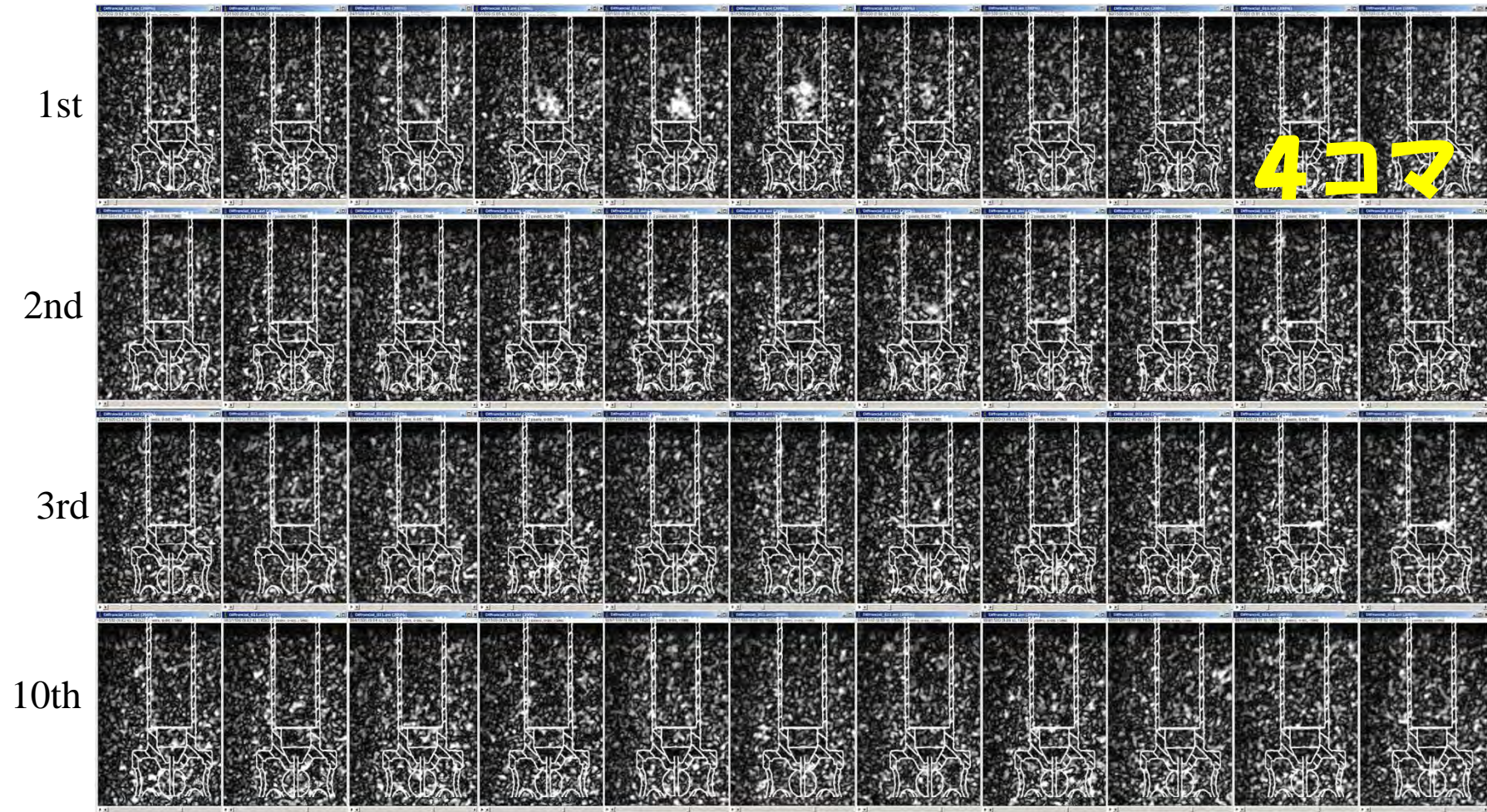
0.1 sec ON / 0.9 sec OFF @ 2.4MPa G

最初のパルスだけ、明らかに液が広い範囲に注入されている。

0.1 sec ON / 0.9 sec OFF @ 0.6MPaG

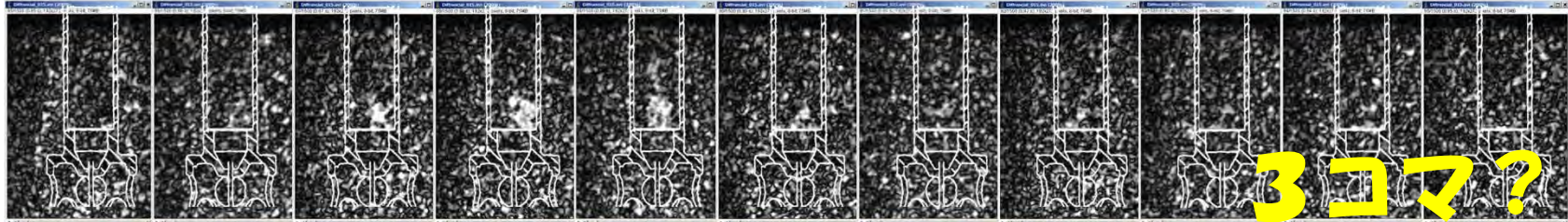


0.1 sec ON / 0.9 sec OFF @ 1.0MPaG

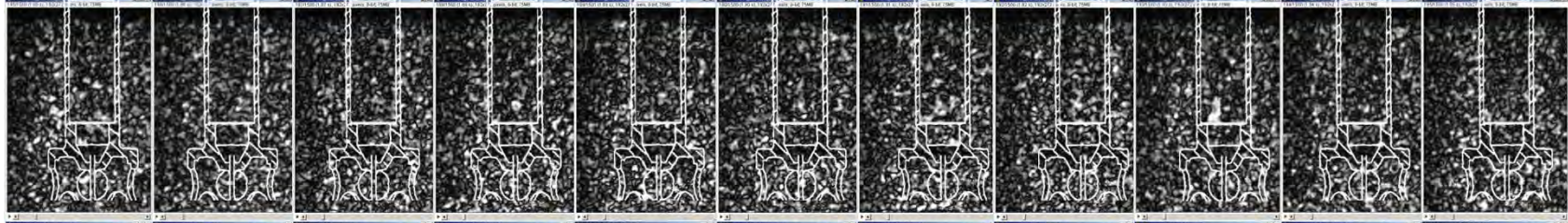


0.1 sec ON / 0.9 sec OFF @ 1.5MPaG

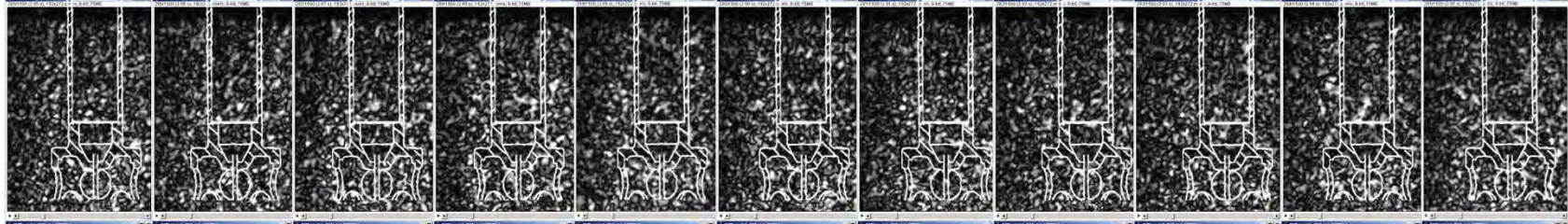
1st



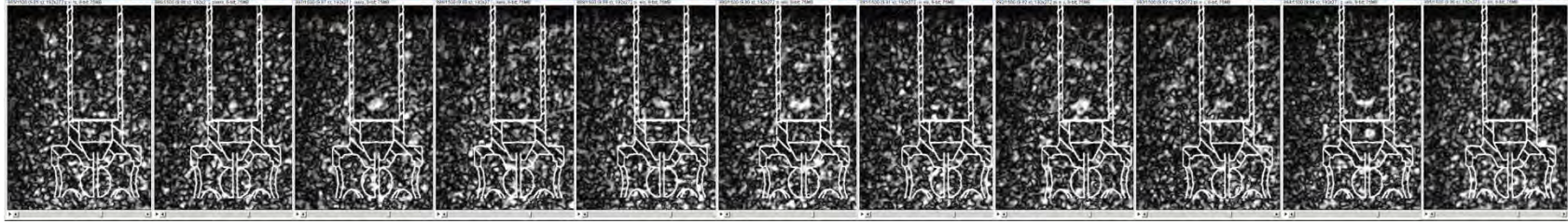
2nd



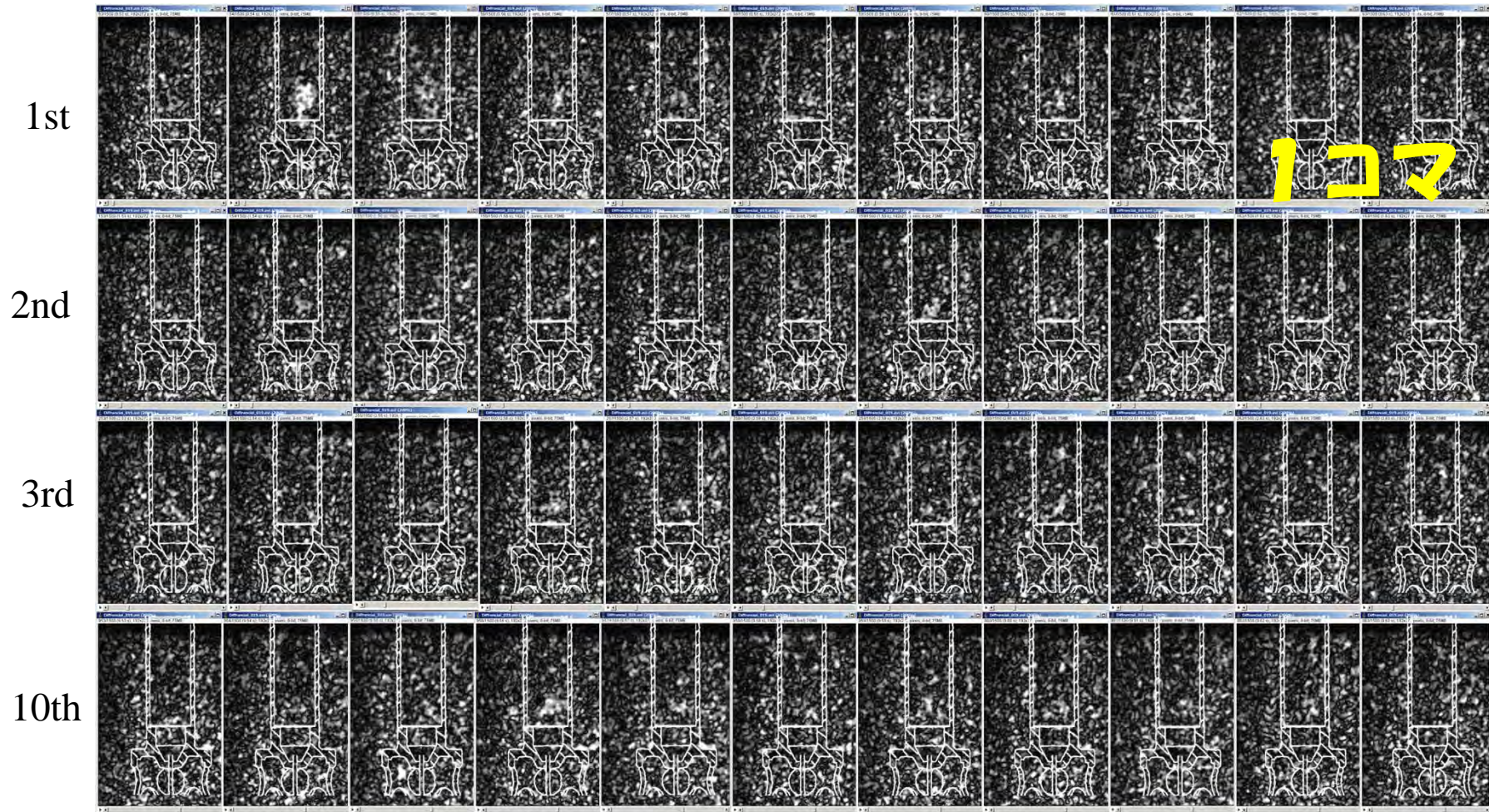
3rd



10th

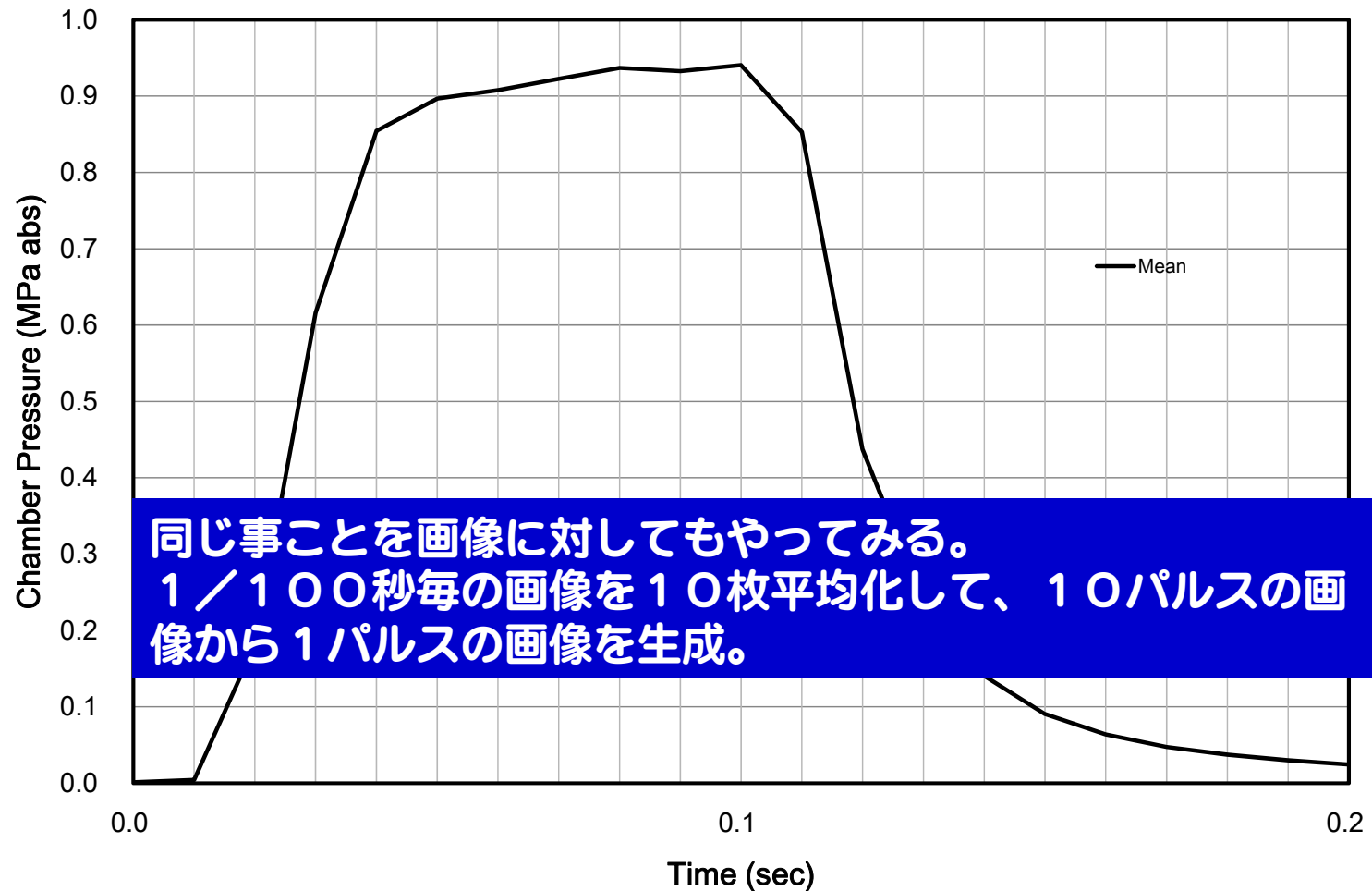


0.1 sec ON / 0.9 sec OFF @ 2.4MPaG

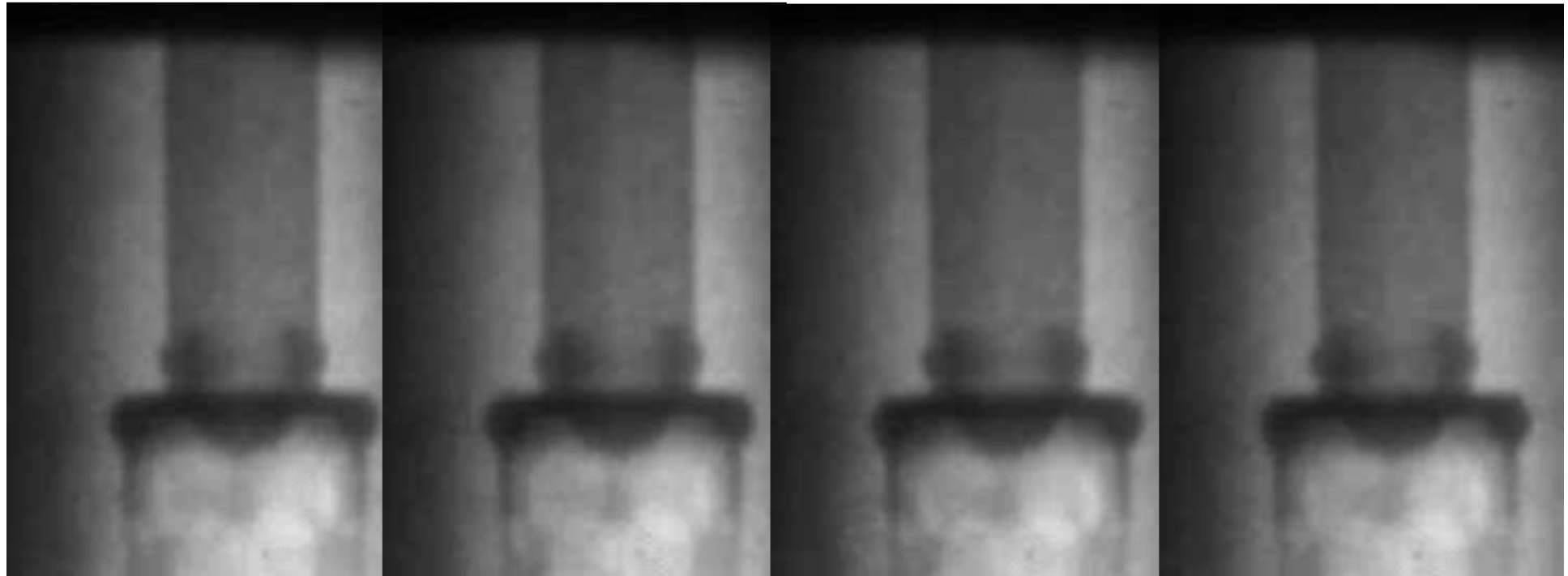


見えるコマ数が圧力=噴射速度が上がるにつれて、減っている。
浸透速度が速くなってとらえていない可能性。

平均化処理を動画に適用



平均化画像処理



0.6 MPa

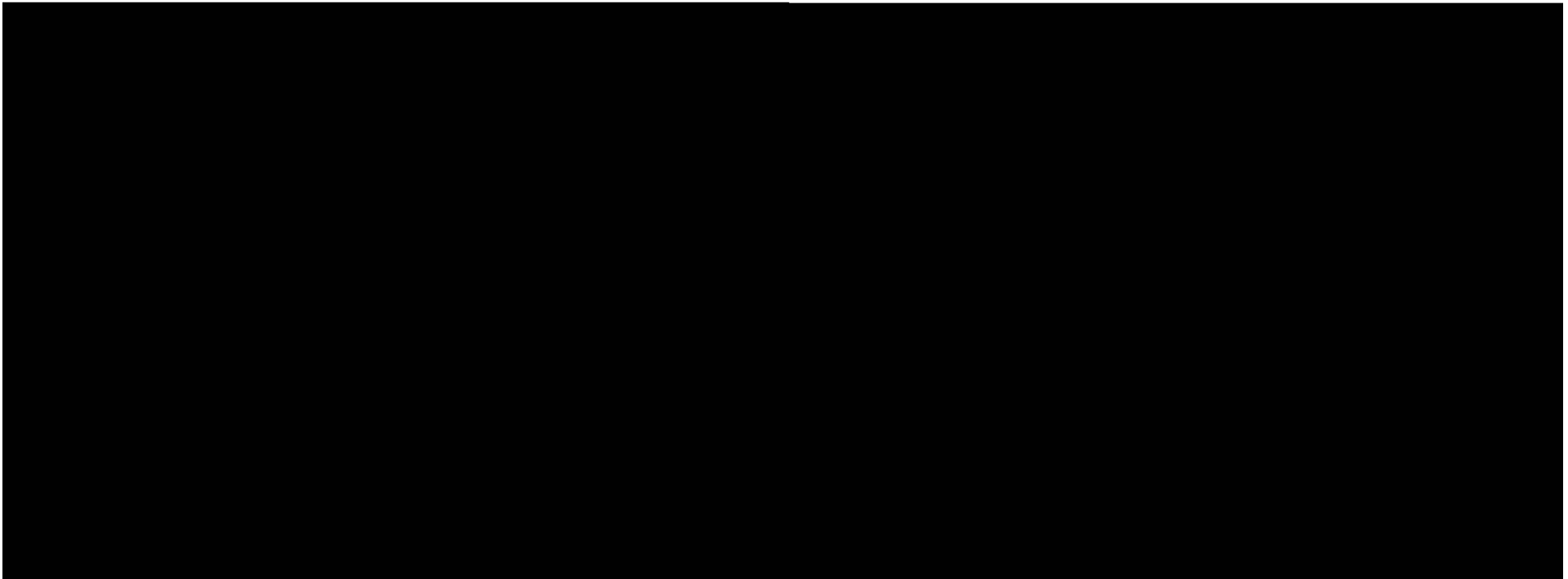
1.0 MPa

1.5 MPa

2.5 MPa

0.5秒噴射の画像を10パルス分平均化処理を行った。
毎回の差は解らないが代表的な噴射の様子が視認できる。

平均化画像処理 + 差分処理



0.6 MPa

1.0 MPa

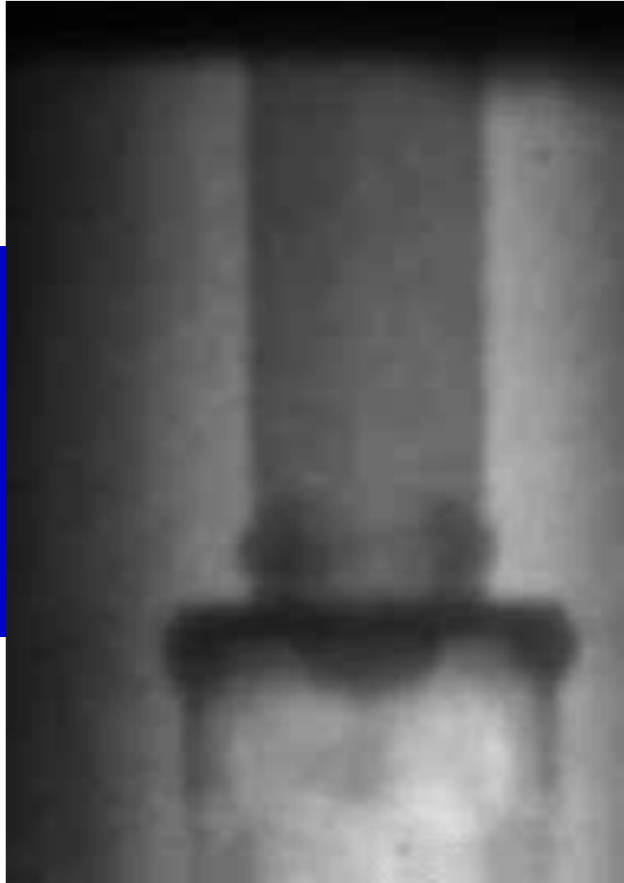
1.5 MPa

2.5 MPa

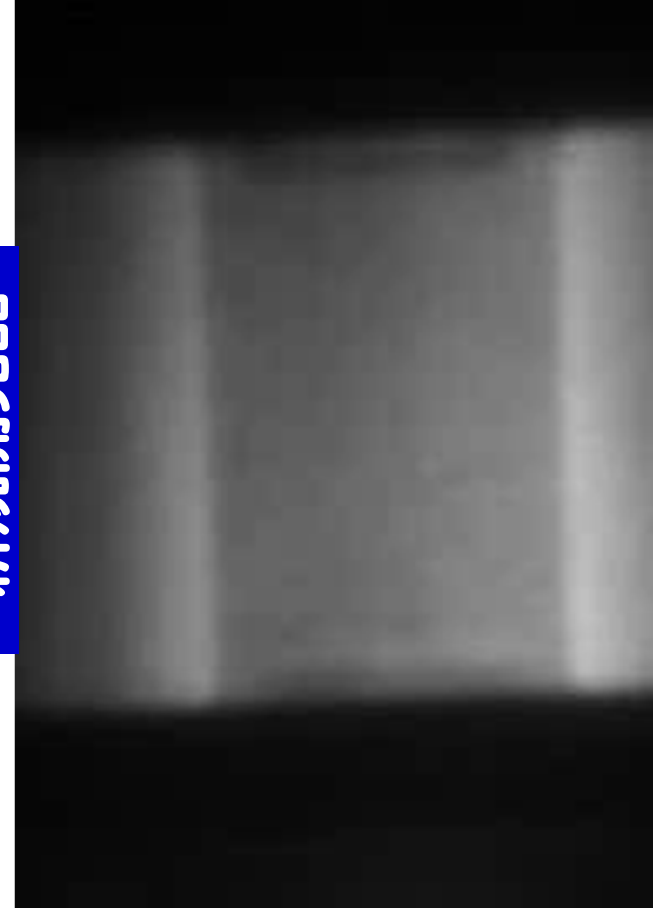
0.5秒噴射の画像を10パルス分平均化処理したものをさらに噴射前の画像との差分処理を行ったもの。

改良設計への適用の例

従来設計品

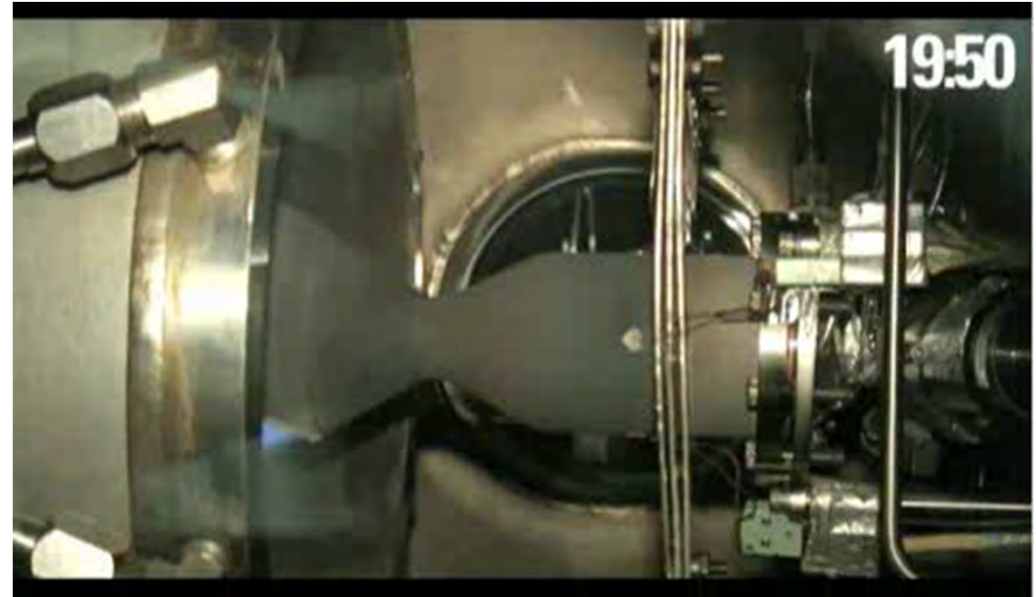
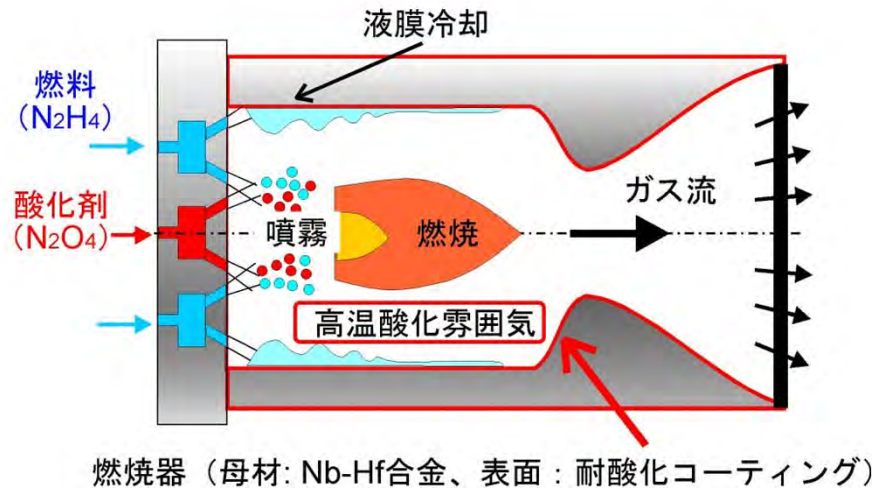


新規開発品



従来型では、画像の濃い部分が、中心の一部に固まっており、触媒への負荷が高くなることが予想される結果を得た。開発中の金網分散型では、影が薄く広く見られており、ヒドラジンが狙い通り分散して触媒に供給されている様子が捉えられ、寿命との関係の解明などに適用が期待できる結果と評価している。

将来構想 解析と連携とJ-PARC



- 画像の濃さとヒドラジン
- 可視化と燃焼解析の連携
- NRGで可視化して解析の高度化に寄与
- 新しい中性子源による高解像度化の試み
 - X線並みの解像度の実現

本日のまとめ

- 相変化を伴う内部流れの非破壊検査は有用であると思われる。
- 実用的に使うには、
 - より自由に使える
 - マシンタイムがフレキシブル
 - より強度の強い
 - 時間分解能の高い←放射化の防御設備の充実
 - よりボケの少ない
 - 解像度が高い
 - 中性子源が必要。

