

# 砂層型メタンハイドレートフォーラム 2020

## 微粒子を用いた砂層内フラクチャー伸展の 制御技術とCTによる可視化実験

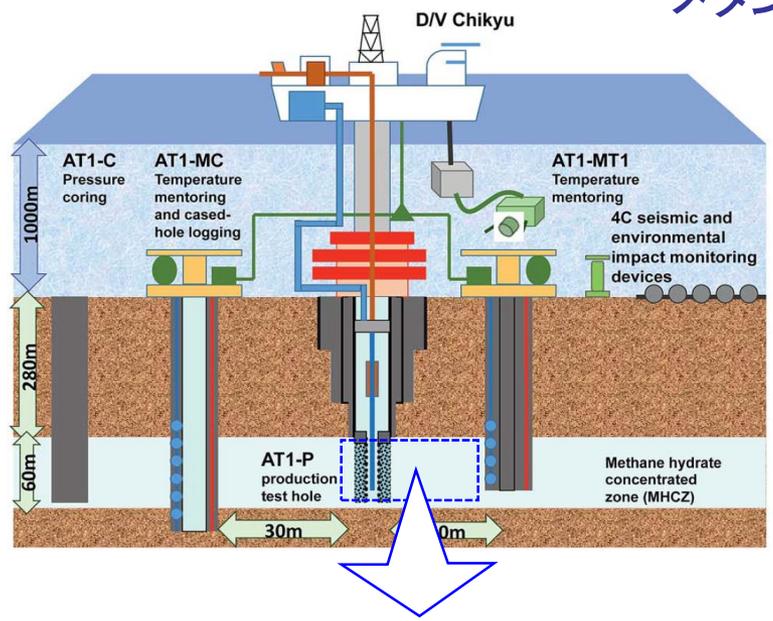
MH21-S研究開発コンソーシアム(MH21-S)

貯留層評価チーム(東北大学) 伊藤高敏

2020年12月16日(水)

JOGMEC 技術センター

# メタンハイドレート開発と課題



2013および2017年の海底メタンハイドレート層からの減圧法によるガス産出試験

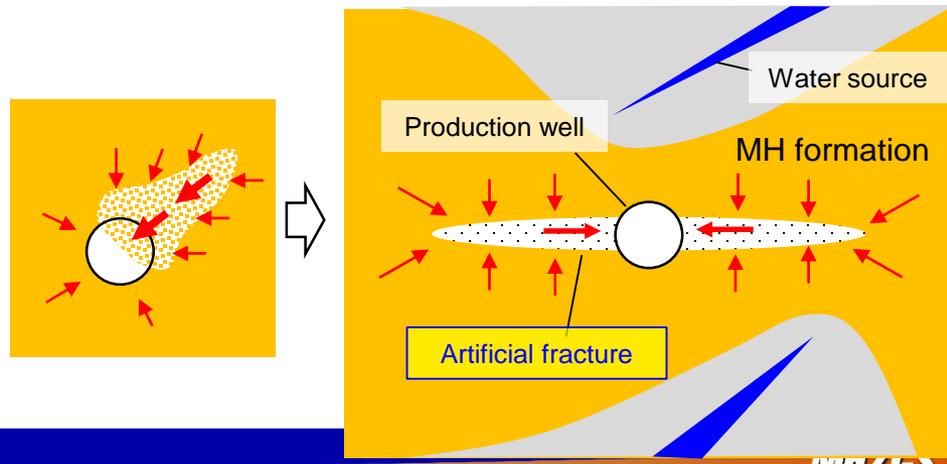
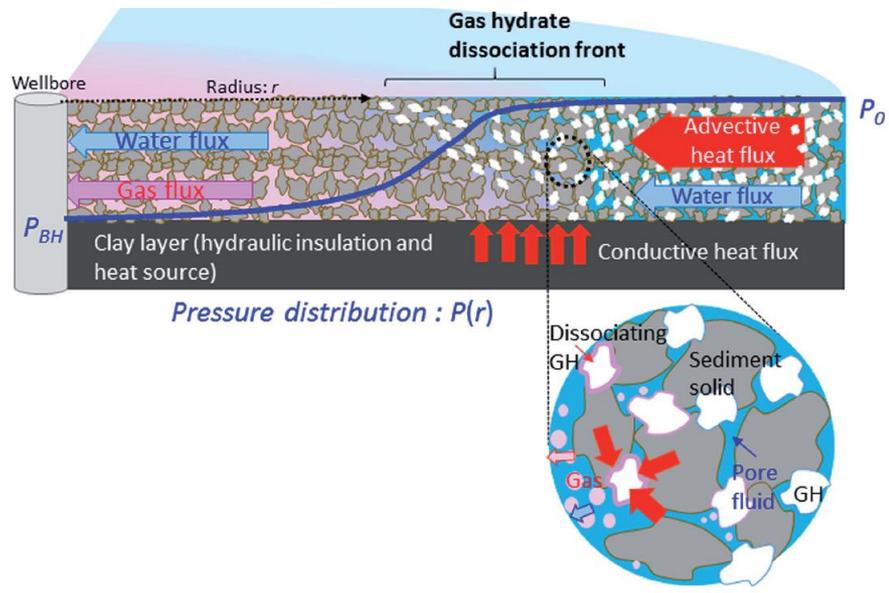


課題

- 大量の出砂  
→ 生産システムの損傷
- 大量の出水  
→ 不十分な減圧

解決案

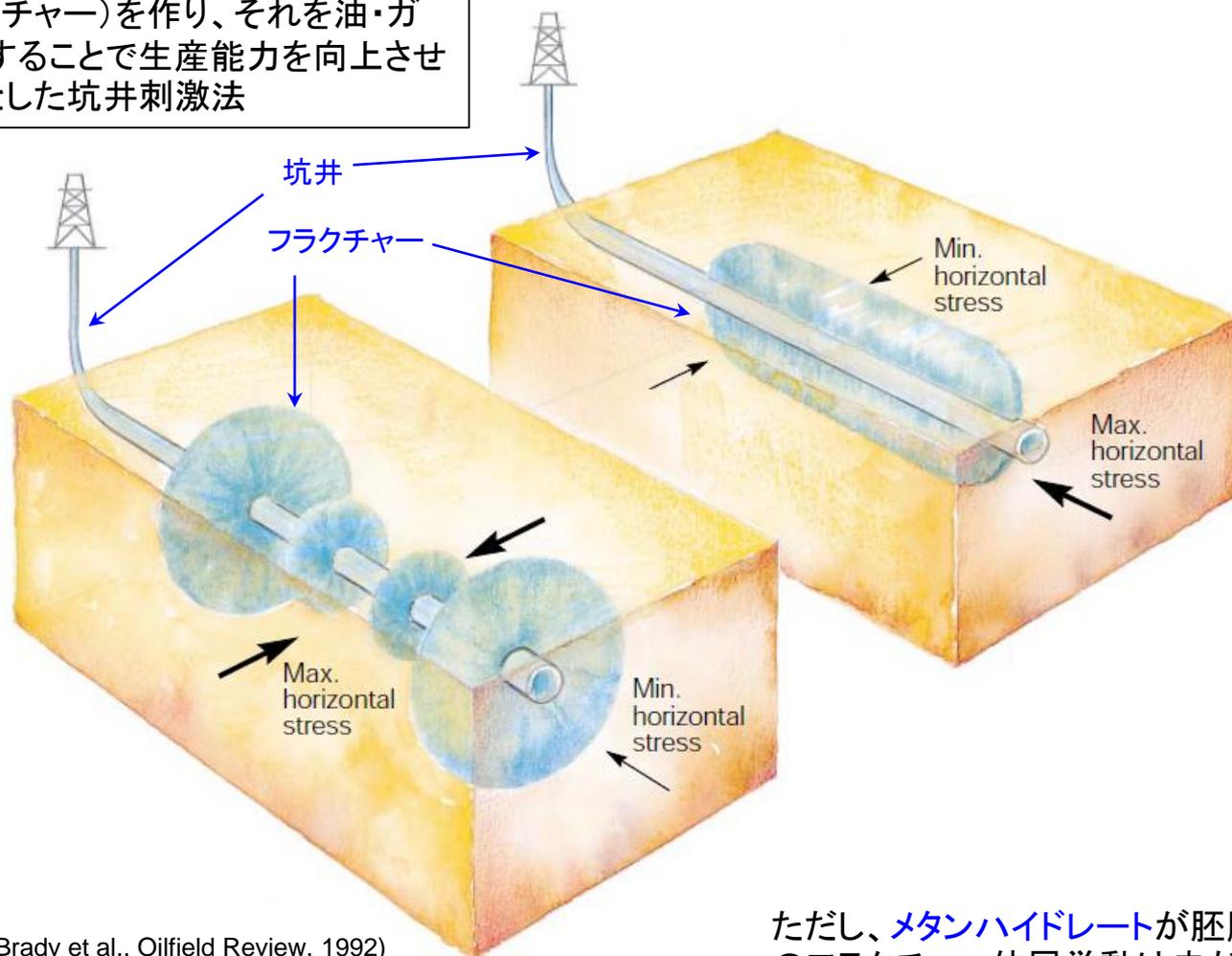
人工き裂形成（フラクチャリング）によって地層内の流れを調整



上図：from Fig. 2 in Yamamoto, K. et al., RSC Adv., 2017, 7, 5554.  
 下図：from Fig. 7 in Yamamoto, K. et al., RSC Adv., 2019, 9, 25987

## フラクチャリングとは？

坑井を通して地下岩体に負荷した流体圧で割れ目(フラクチャー)を作り、それを油・ガスの通り道とすることで生産能力を向上させることを目的とした坑井刺激法

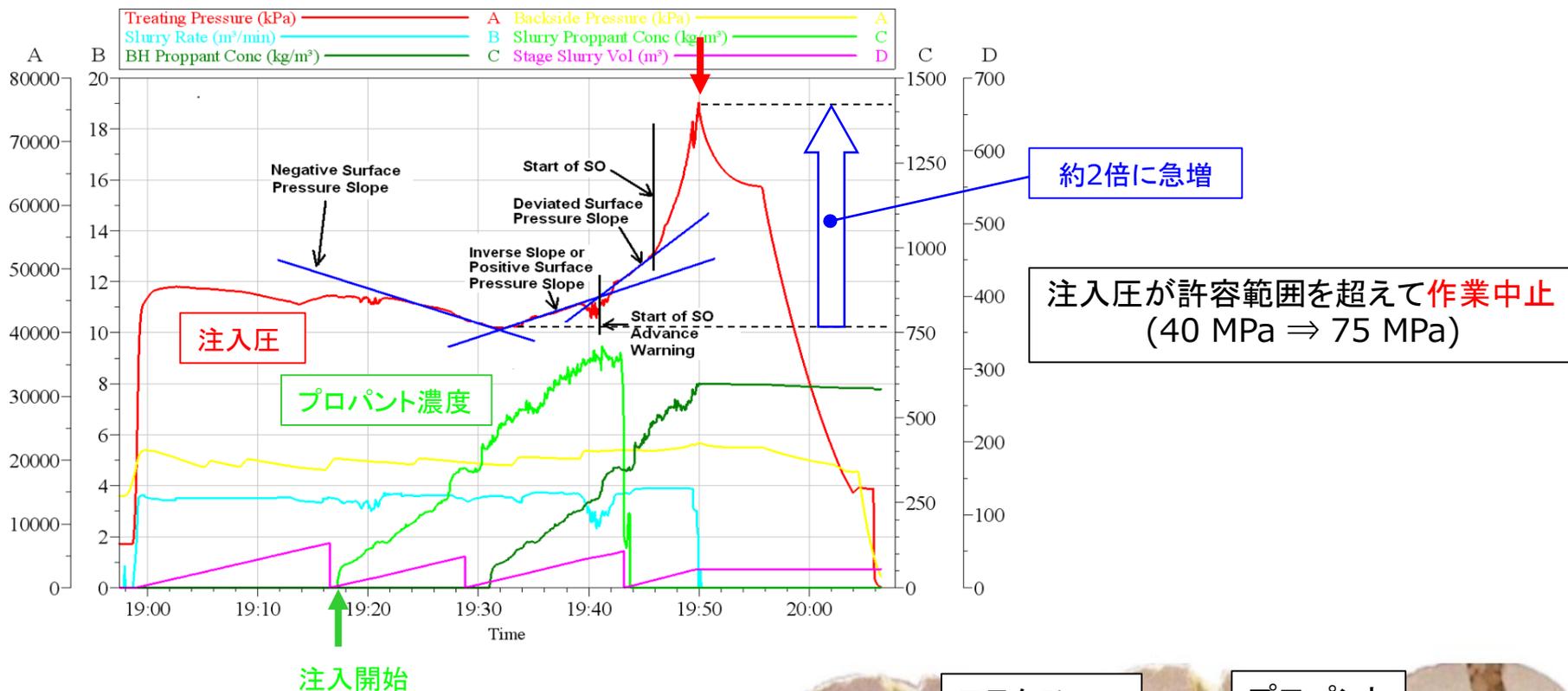


(from Brady et al., Oilfield Review, 1992)

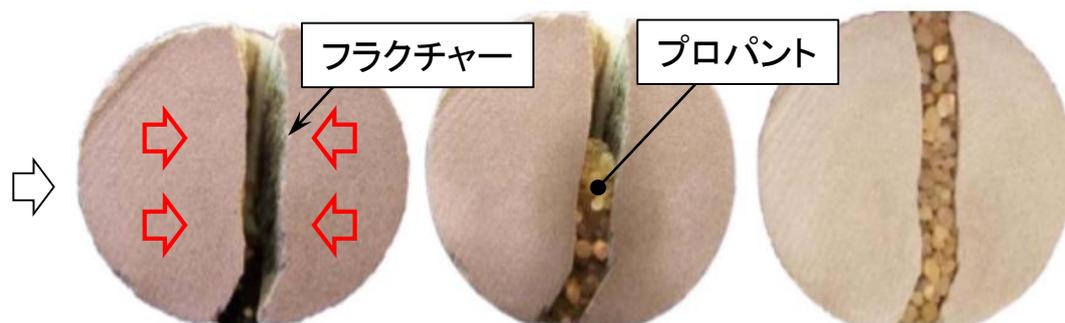
ただし、メタンハイドレートが胚胎する未固結砂層のフラクチャー伸展挙動は未だ不明な点が多い

# フラクチャリング中に起こる注入圧の急増現象

フラクチャリングの途中でプロパントを注入した際に地表で観測された注入圧カーブの例 (SPE 150263)



プロパント (Proppant): フラクチャーが地層に作用する圧縮応力で閉塞することを防止するために注入する直径500  $\mu$ m前後の固体粒子



(<https://www.linkedin.com/pulse/frac-diverter-chris-mcdade-6098564118841741313/>に加筆)

## 想定されている注入圧急増の原因と本研究の目的

フラクチャー先端における微細な固体粒子の目詰まり(スクリーンアウト)

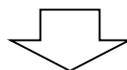
⇒ 流体圧が作用しなくなるのでフラクチャーの伸展が抑制(破壊抵抗がみかけ増)



障害となる一方で、フラクチャー制御に応用できる可能性

- ・意図的にフラクチャー伸展を止めてフラクチャーの開口幅を拡大 → プロパントを入れ易くする

直接観察が難しく、実際にどのような現象が発生しているか定かではない



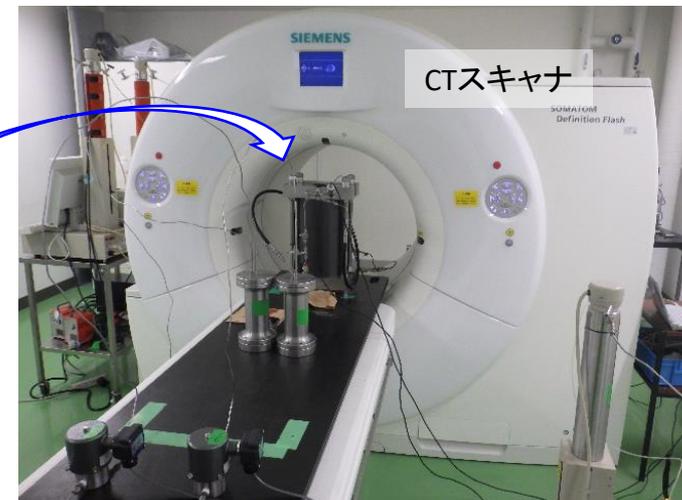
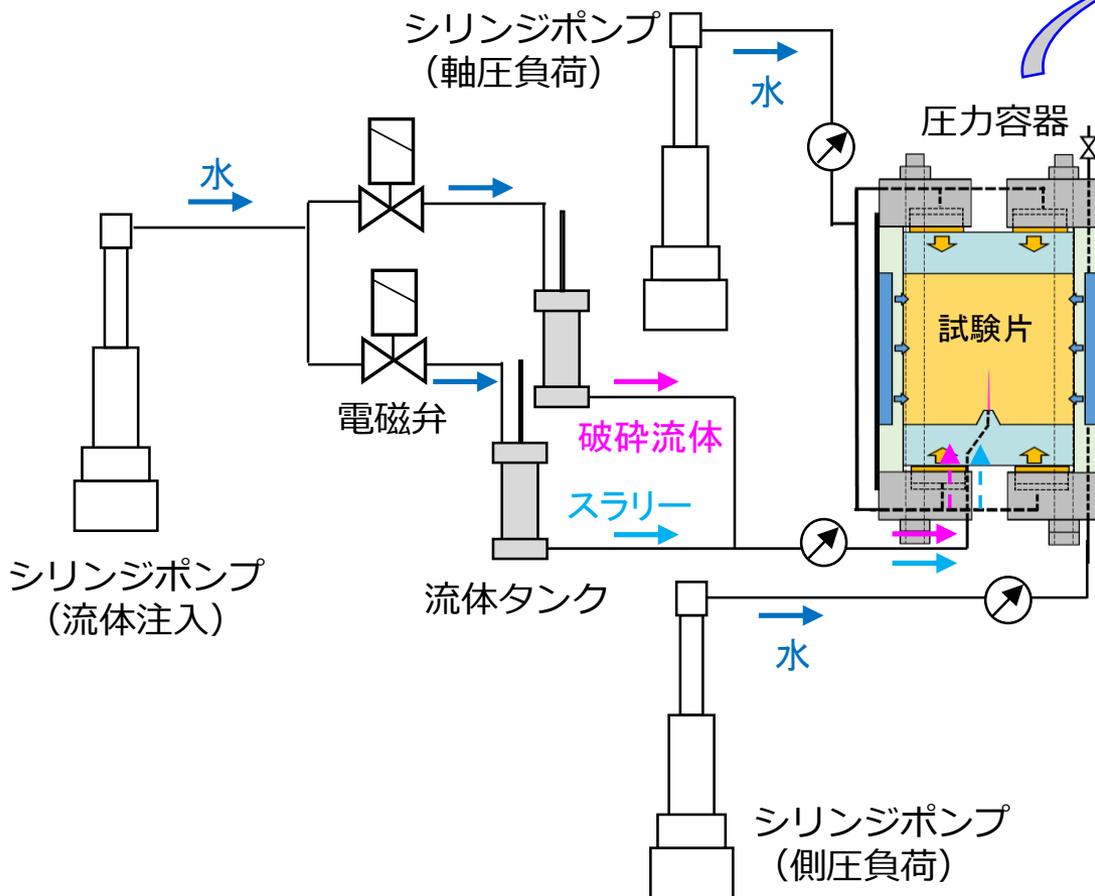
本研究

現象解明を目的として、室内実験でスクリーンアウトを再現し、注入圧力変化との関係をCTスキャナでリアルタイムに直接観察

# 実験方法

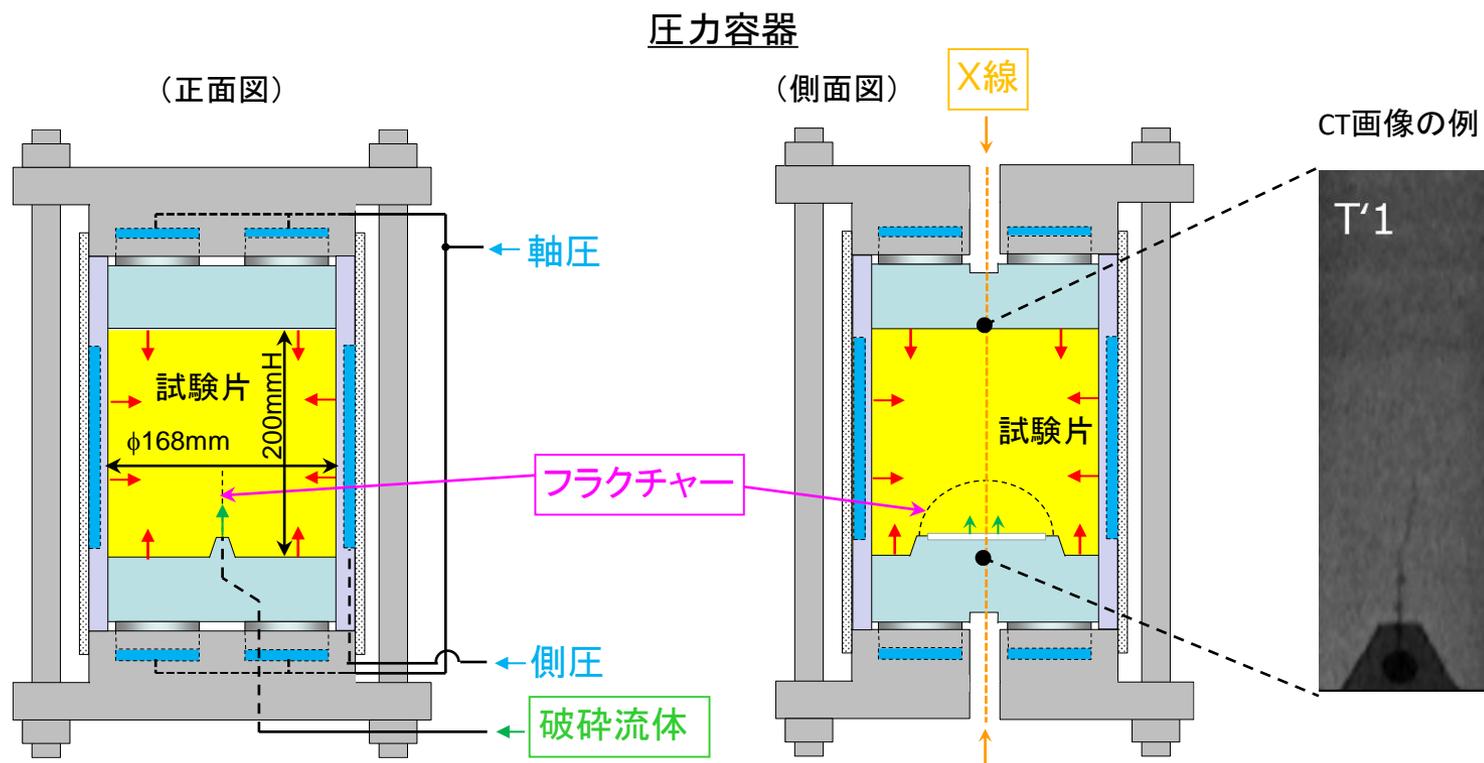
## 実験システムとCTスキャナの様子

### 実験システムの構成



1. 試験片 ( $\phi 170\text{mm} \times 150\text{mmH}$ ) の作成  
(東北珪砂8号, カオリン, 水の混合砂材を容器内で材料をおもりで突き固めて積層)
2. 試験片に軸圧3 MPa, 側圧1.5 MPaを負荷
3. フラクチャリング流体を定流量10 cc/minで試験片に注入し, CT画像の撮影を開始
4. フラクチャーがある程度伸びたところで, 注入流体をスラリー(固形粒子を混ぜた粘性流体)に切り替え
5. ポンプを停止し, 軸圧と側圧を除荷
6. 試験片を押し出し, 切断して内部を観察

# 試験片設置圧力容器と注入流体



## 2種類の注入流体

1. フラクチャリング流体: 水に少量のグアガムを交ぜて粘性を 300 mPa s に調整した流体 (赤インクで着色)
2. スラリー: フラクチャリング流体に微粒子のバリウムを質量比で12%混合した流体 (青インクで着色)

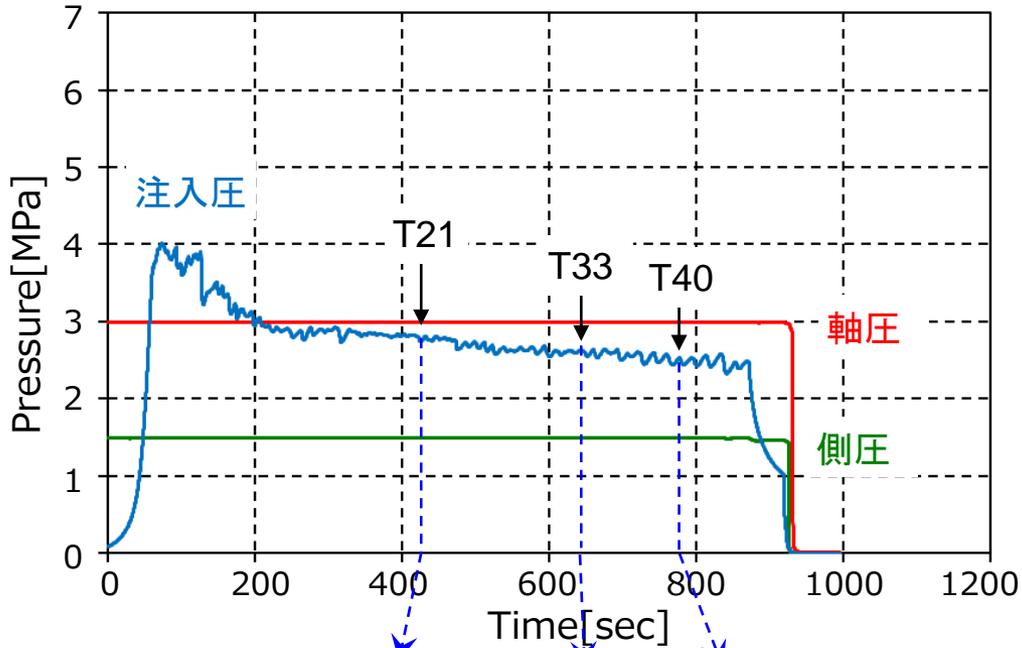
フラクチャリング流体



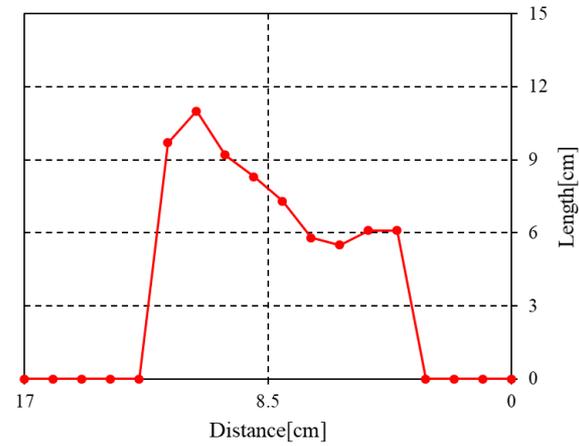
スラリー



# 実験結果(スラリー注入なし)

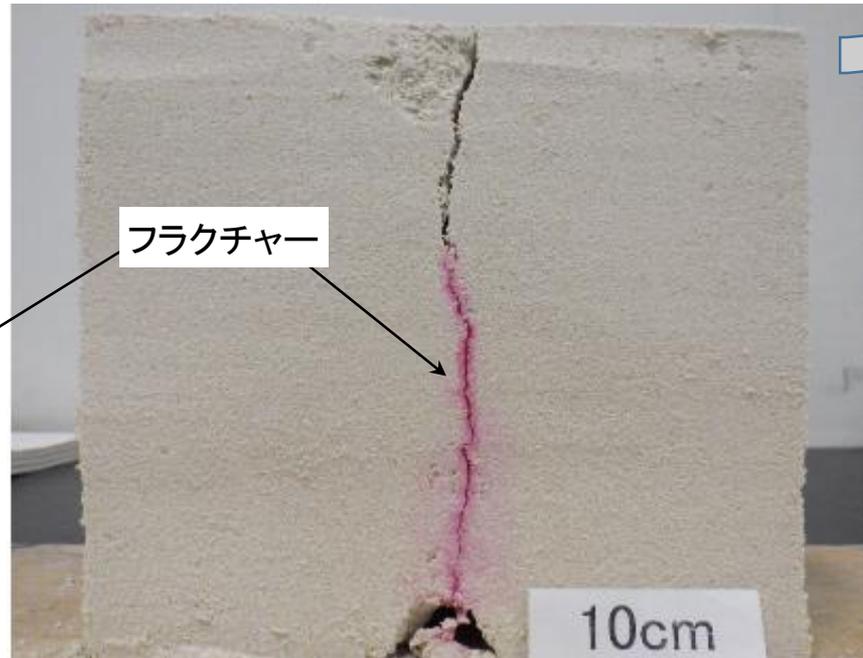
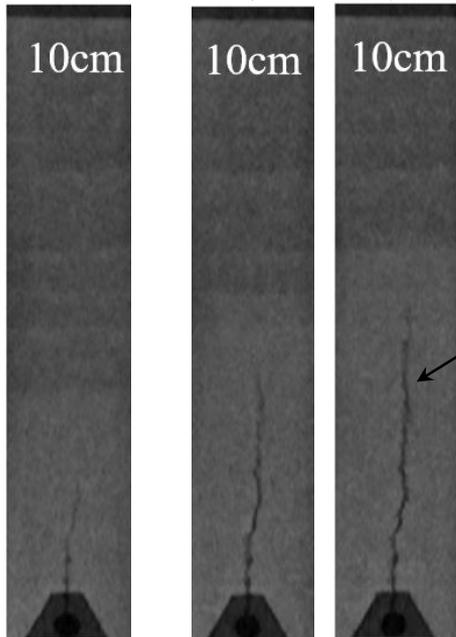


試験片切断面観察から求めた  
フラクチャー面の形状



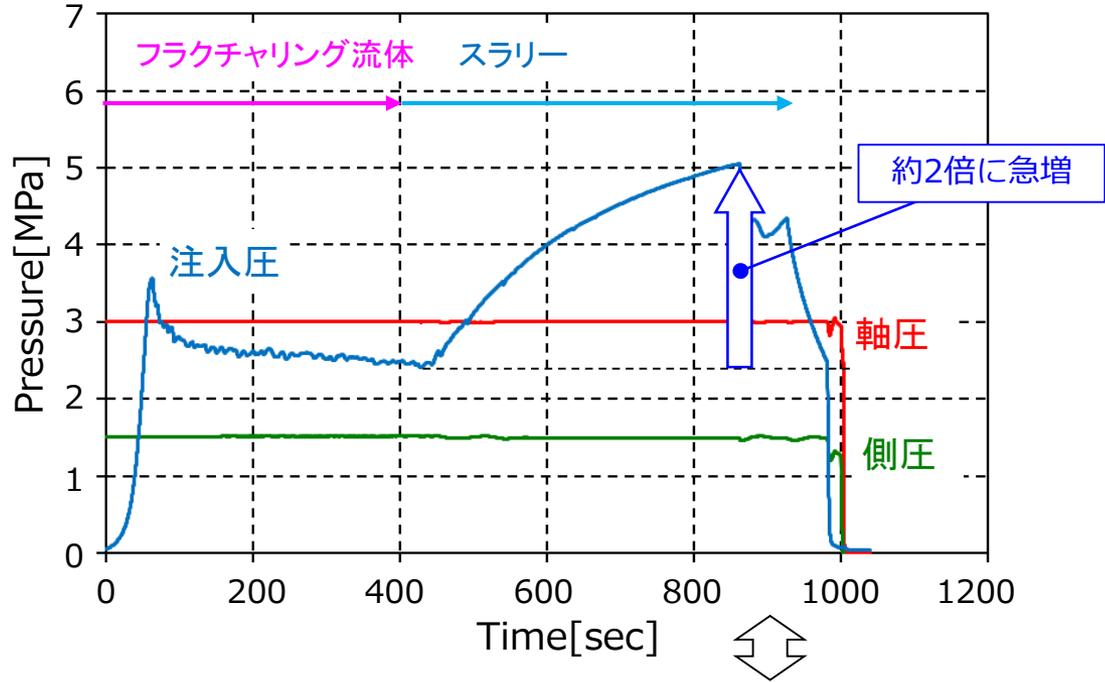
実験終了後の試験片切断面

各時刻で撮影  
したCT画像

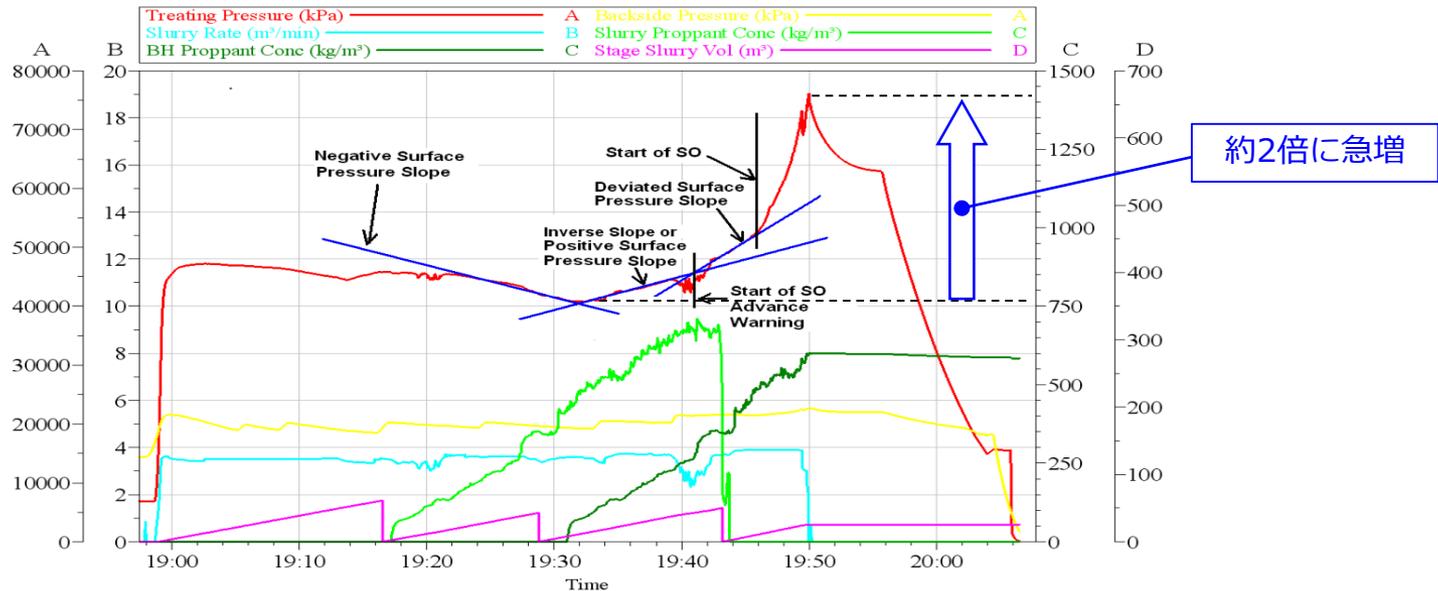


# 実験結果(スラリー注入あり)

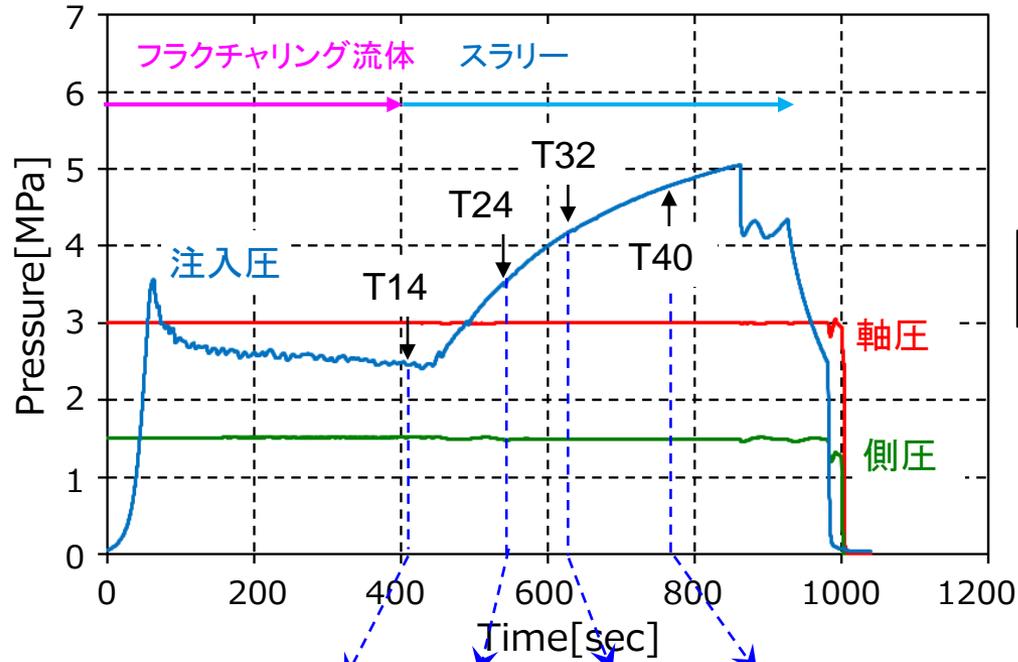
本研究の結果



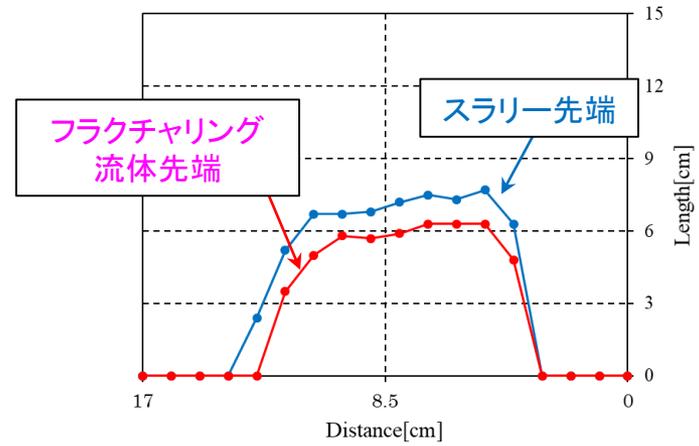
実際のフラクチャリングで観察された実例 (Leon et al., 2012)



# 実験結果(スラリー注入あり)

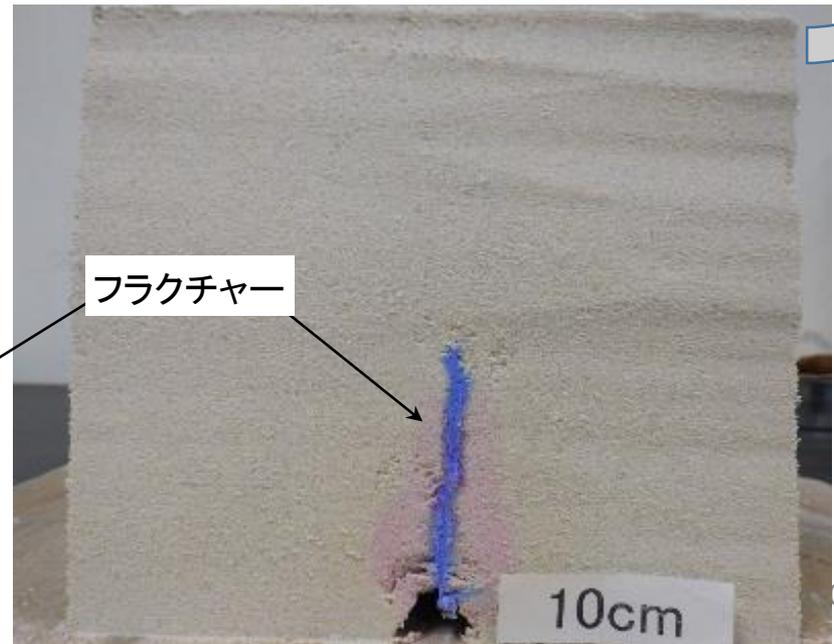
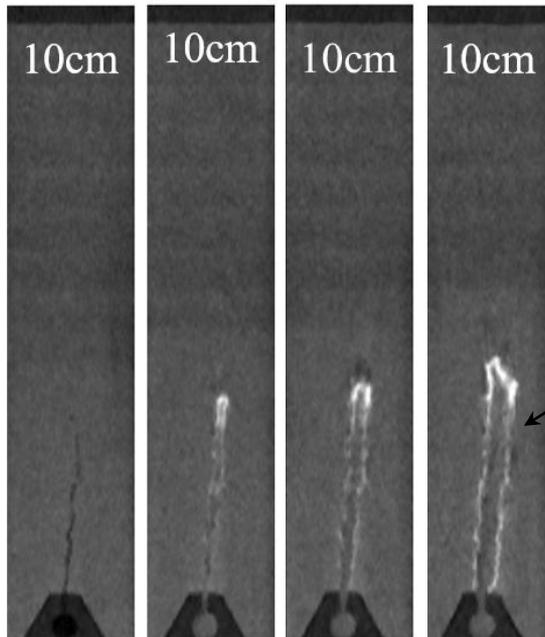


試験片切断面観察から求めた  
フラクチャー面の形状



実験終了後の試験片切断面

各時刻で撮影  
したCT画像



## まとめ

- スクリーンアウトの発生条件を明らかにするため、砂製試験片を用いた室内フラクチャリング実験を行い、実験中の試験片内部を可視化した。
- 硫酸バリウムを固体粒子とするスラリーを用いた際、スクリーンアウトの発生によって注入圧が約2倍上昇した。また、X線CTによりフラクチャー先端に硫酸バリウムが溜まる様子を観察した。
- スクリーンアウトが発生した際、フラクチャー根本の開口幅はLEFMの理論と調和的だった。一方で、先端付近の開口幅はLEFMの理論値よりも大きかった。
- 硫酸バリウムの粒径を変えた実験を行ったところ、粒径が大きくなるとスクリーンアウトが発生しにくくなる傾向が見られた。この原因は、粒径の変化によりフラクチャー先端の浸透性が変化するためだと考えられる。
- CT画像から算出した目詰まり領域はLEFMから推定される領域よりも小さかった。これは、目詰まりの効果がLEFMで想定される効果より大きいことを示唆している。

謝辞:本研究は、MH21-S研究開発コンソーシアム(MH21-S)による研究の一部として実施したものです。記して謝意を表します。