

# 石炭地下ガス化研究報告会

平成30年3月5日  
於 三笠市民会館

”そして、次のステージへ”

## 3. 現場実験の成果と今後の見通し

### 三笠市露頭炭UCG現場実験の成果

九州大学大学院工学研究院  
地球資源システム工学部門  
助教 濱中晃弘



# 講演概要

## ◆露頭炭UCG現場実験準備

- 実験現場
- ボーリング調査
- 炭層の浸透率測定

## ◆露頭炭UCG現場実験行程 & 結果

- 石炭着火
- 生成ガス回収
- 消火
- 実験後の処理

## ◆まとめ

# 実験現場



①法面上端部の石炭確認箇所

## 実験現場状況写真



②笹が繁茂していない斜面を掘ると 石炭が出現(ただし風化しチップ状)



③林道全幅が5mのため、ボーリング掘削時は通行止めが必要



旧北炭幾春別炭鉱錦立坑櫓の南側道有林内  
(三笠市幾春別山手町93番)

# ボーリング調査

第一回調査 平成26年2月22日～3月31日 (No. 1～3孔を掘削)

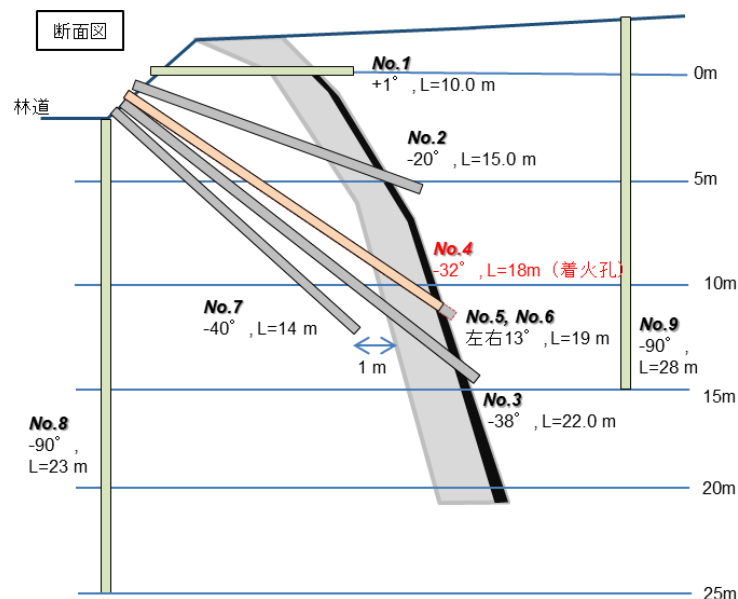
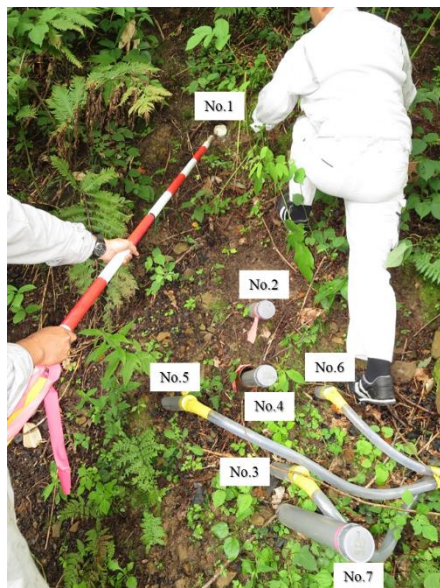
⇒石炭層の分布範囲 (位置、走向傾斜、層厚等)の把握

第二回調査 平成26年10月28日～12月5日 (No. 4～7孔を掘削)

⇒着火孔および各種センサー埋設孔の掘削

第三回調査 平成26年11月21日～平成27年1月30日 (No. 8, 9孔を掘削)

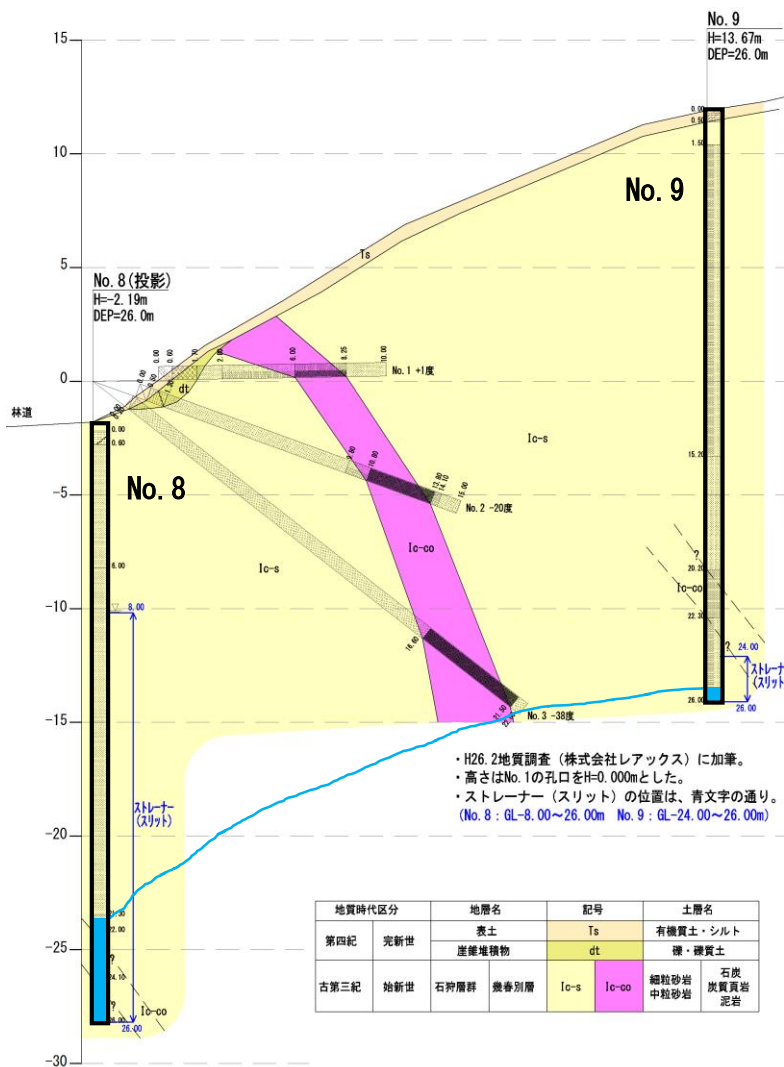
⇒地下水の水質監視用ボーリング孔の掘削







# 第三回調査結果 (No. 8, 9孔を掘削)



標準センサモジュール

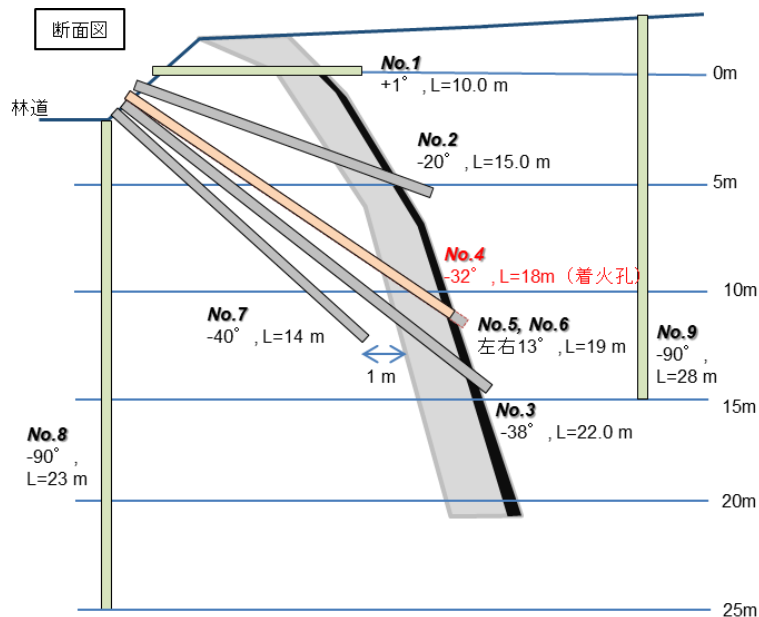
- pH
- 電気伝導率
- 溶存酸素
- 塩分
- 濁度
- TDS
- 温度
- 海水比重
- 水深

多項目水質計（WQC-24）

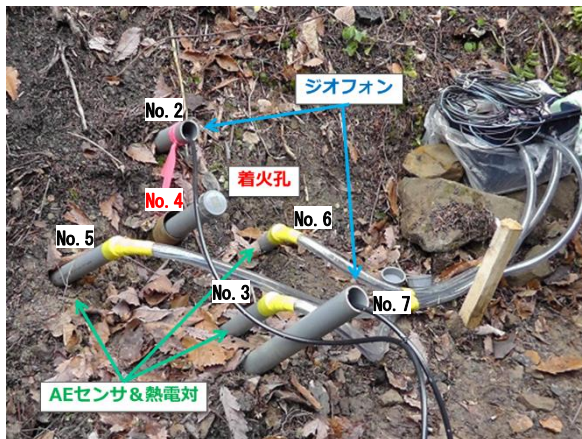
地下水位計測結果（No. 8, 9孔）

孔番	孔口高さ (H= m)	水深 (m)	地下水位深度 (GL-m)	地下水位高さ (H= m)
No. 8	-2.19	4.64	21.36	-23.55
No. 9	13.67	0.39	25.61	-11.94

# UCG実験に用いる試錐孔



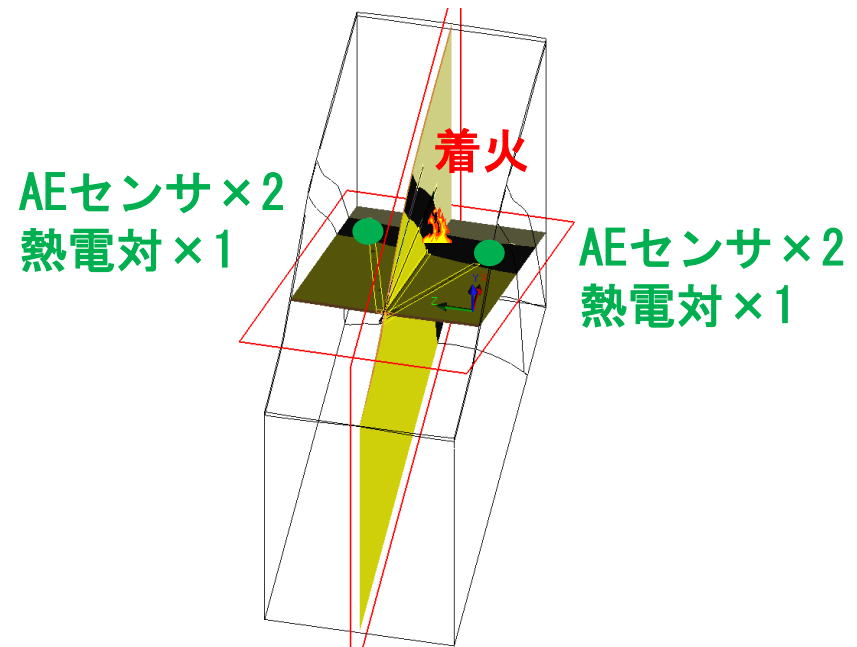
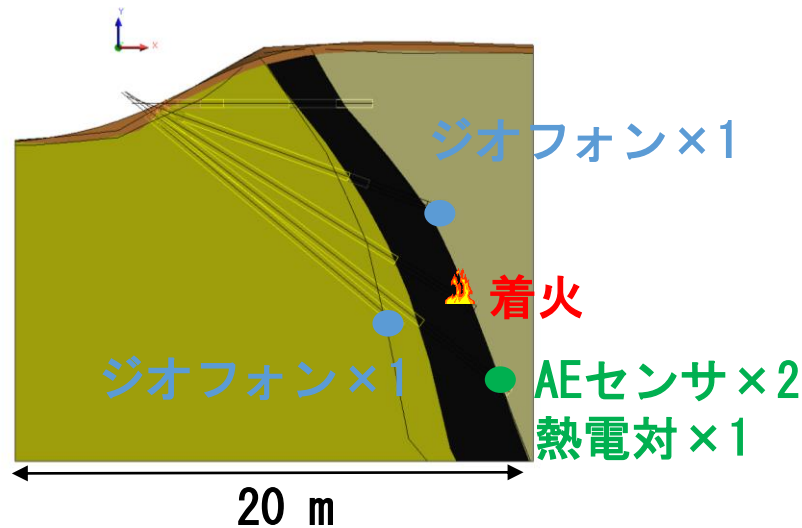
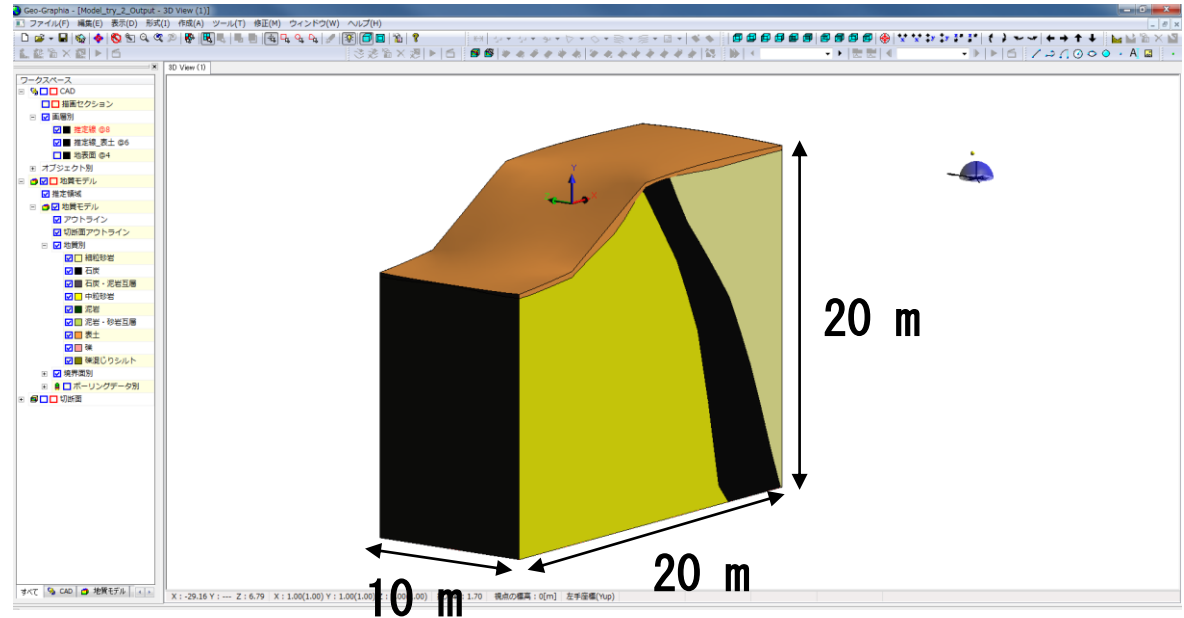
孔名	用途	内容
No. 1孔	環境観測	ガス濃度 (CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> )
No. 2孔	UCG計測	破壊音 (燃烧箇所上側)
No. 3孔	UCG計測	破壊音および温度変化 (燃烧箇所下側)
<b>No. 4孔</b>	<b>着火孔</b>	<b>着火、ガス化、生成ガス回収、温度変化計測</b>
No. 5孔	UCG計測	破壊音および温度変化 (燃烧箇所左側)
No. 6孔	UCG計測	破壊音および温度変化 (燃烧箇所右側)
No. 7孔	UCG計測	破壊音 (燃烧箇所下側)
No. 8孔	環境観測	水位、水質、温度、ガス濃度 (CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> )
No. 9孔	環境観測	水位、水質、温度、ガス濃度 (CO、CO <sub>2</sub> 、CH <sub>4</sub> )



計測装置	個数
3軸ジオフォン	2
AEセンサ	6
熱電対	3

# 実験現場の モデル化

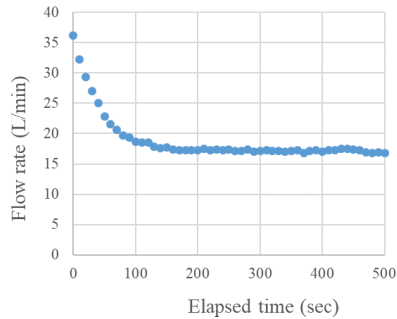
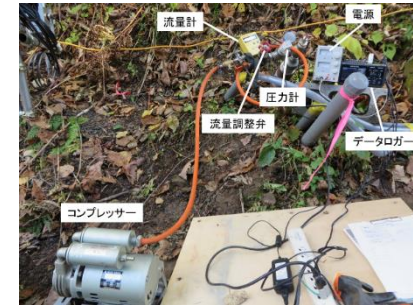
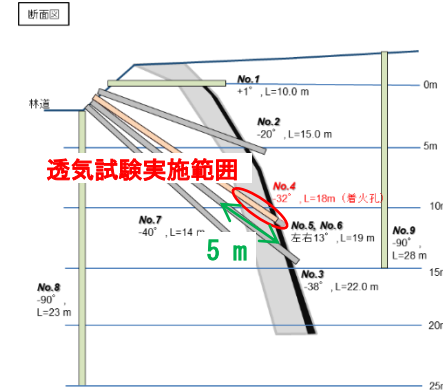
炭層厚さ：2.5~3.0 m  
炭層傾斜：70度  
上盤：頁岩  
下盤：砂質頁岩



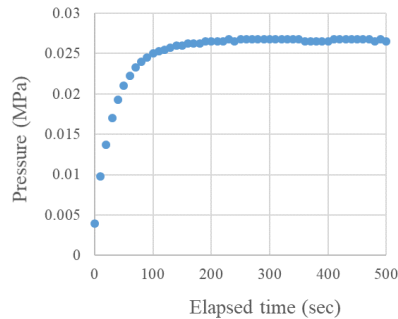
# 炭層の浸透率測定

$$K = \frac{T_s P_{gs} \mu_g Q_{gs}}{\pi L (P_g^2 - P_0^2)} \ln \left( \frac{L + \sqrt{L^2 + 4r^2}}{2r} \right)$$

K : 浸透率 (m<sup>2</sup>)、T : 試験区間温度 (=9.1°C=282.25 K)、  
 T<sub>s</sub> : 標準状態の温度 (=273.15 K)、P<sub>gs</sub> : 標準状態の圧力  
 (=101,325 Pa)、μ<sub>g</sub> : 空気の粘性 (=1.77 × 10<sup>-5</sup> Pa · s  
 (10°C))、Q<sub>gs</sub> : 標準状態における空気流量 (m<sup>3</sup>/sec)、L :  
 試験区間長 (=5 m)、P<sub>g</sub> : 試験区間圧力 (Pa)、P<sub>0</sub> : 大気圧  
 (=101,325 Pa)、r : ボーリング孔の半径 (=0.033 m)



圧力データ



流量データ

## 浸透率測定結果

	1回目	2回目	3回目
平衡圧力 (MPa)	0.028	0.026	0.022
平衡流量 (L/min)	16.8	14.8	11.1
浸透率 (m <sup>2</sup> )	2.41 × 10 <sup>-14</sup>	2.30 × 10 <sup>-14</sup>	2.08 × 10 <sup>-14</sup>
平均浸透率 (m <sup>2</sup> )	2.26 × 10 <sup>-14</sup>		
浸透率 (md)	24.40	23.35	21.06
平均浸透率 (md)	<b>22.94</b>		

※アメリカのCBM(Coal Bed Methane)開発における浸透率の高い現場で数十～数百 md程度

# 露頭炭UCG現場実験

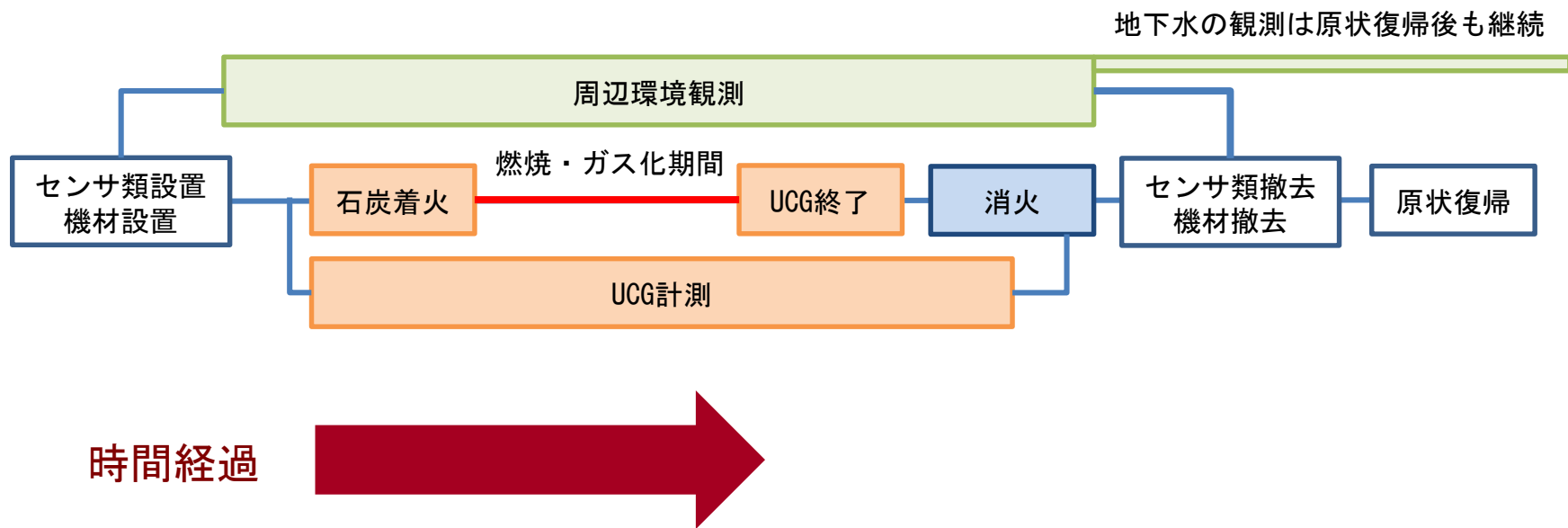
第一回目実験 平成28年11月5日～11月10日



第二回目実験 平成29年7月24日～8月3日



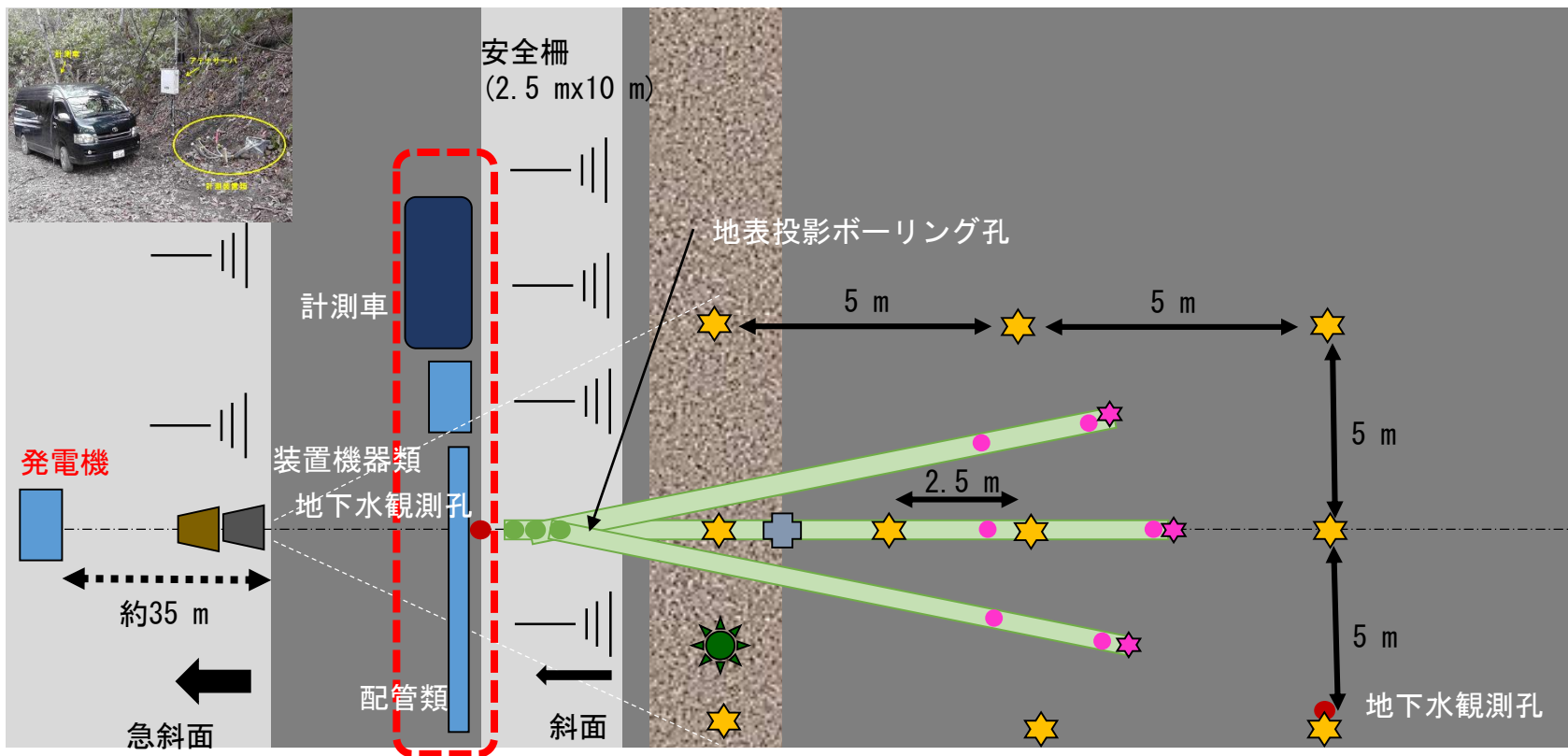
# 実験行程



# 平面図

← 林道 幅約5 m →

幾春別層1番層 露頭



## 凡例

★ 地表熱電対

★ 孔内熱電対

📷 斜面監視熱画像カメラ (林道から3 mの高さ)

🌿 気象観測装置  
(風向, 風速, 雨量)

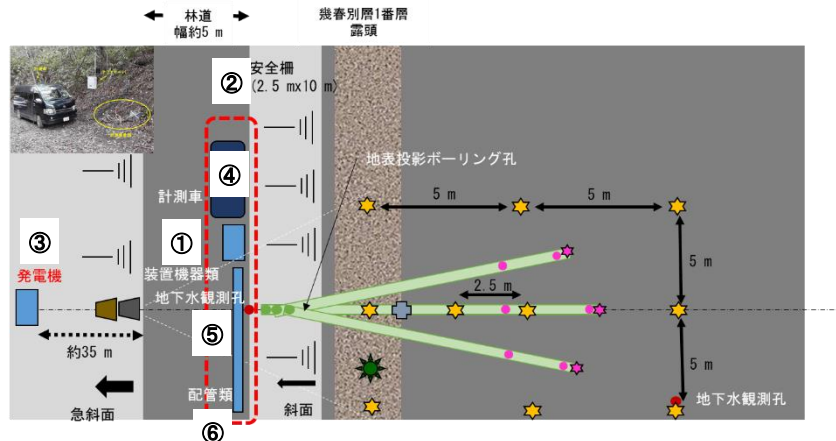
● 孔内破壊音センサー

📷 斜面監視Webカメラ (林道から3 mの高さ)

⊕ 地表ガス検出装置  
(CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>)

● 地下水観測孔 (水位・水質)

# 現場状況



①着火孔周辺



②実験用ガス



③発電機



④計測車内部

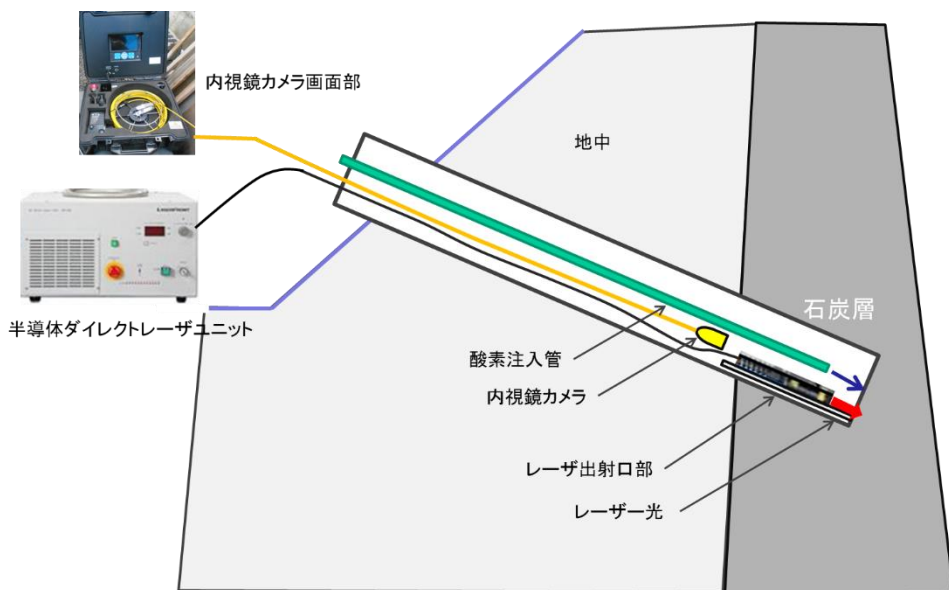


⑤生成ガス配管



⑥放流塔

# 石炭着火（レーザー着火）



## 装置仕様

- ・ M710A DL 45W
- ・ LD laser
- ・ CW（連続発振）
- ・ 波長 808 nm
- ・ ビーム径  $\phi 1.6$  mm
- ・ WD=約68 mm



12.2 W



20.1 W



27.8 W

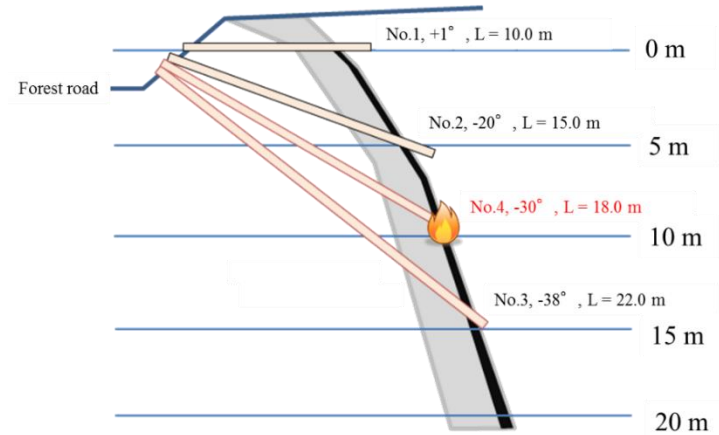
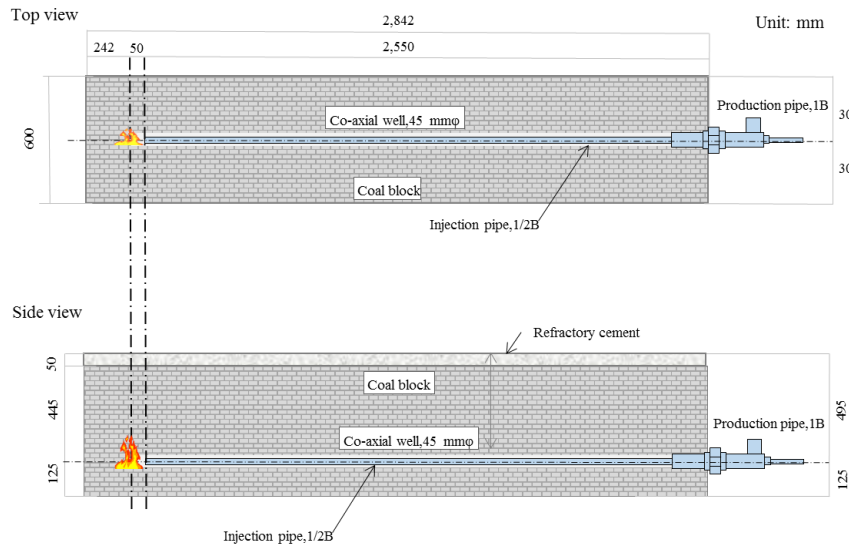


36.3 W



43.8 W

# 石炭のレーザー着火



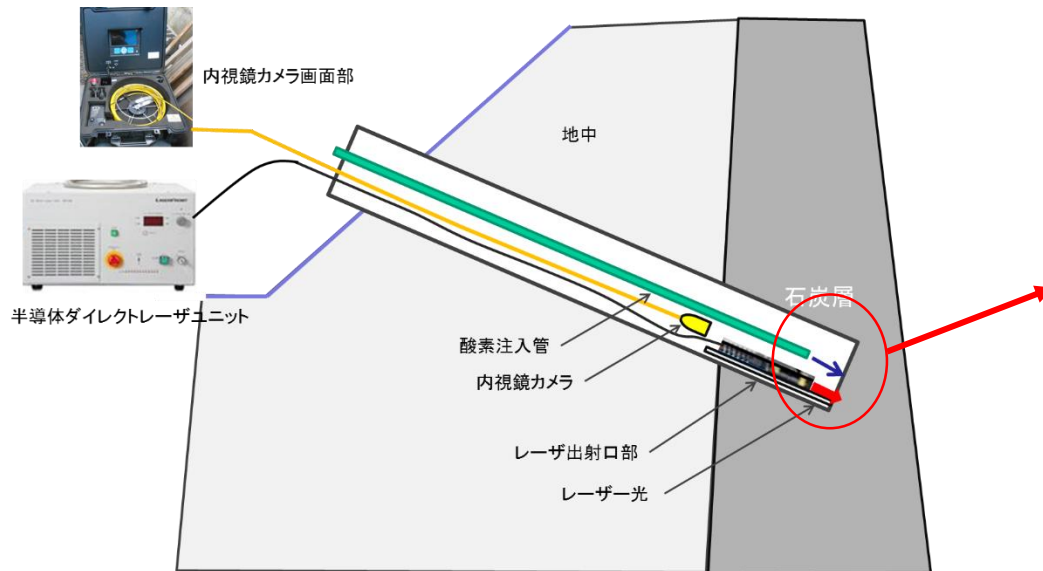
UCG模型実験における石炭のレーザー着火



現場UCG実験における石炭のレーザー着火  
第一回目実験（平成28年度）

# 生成ガス結果の一例

発熱量 (MJ/Nm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (%)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (%)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (%)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (%)
0.15	0.23	75.19	10.29	0.18	0.33	13.24	0.01	0	0	0

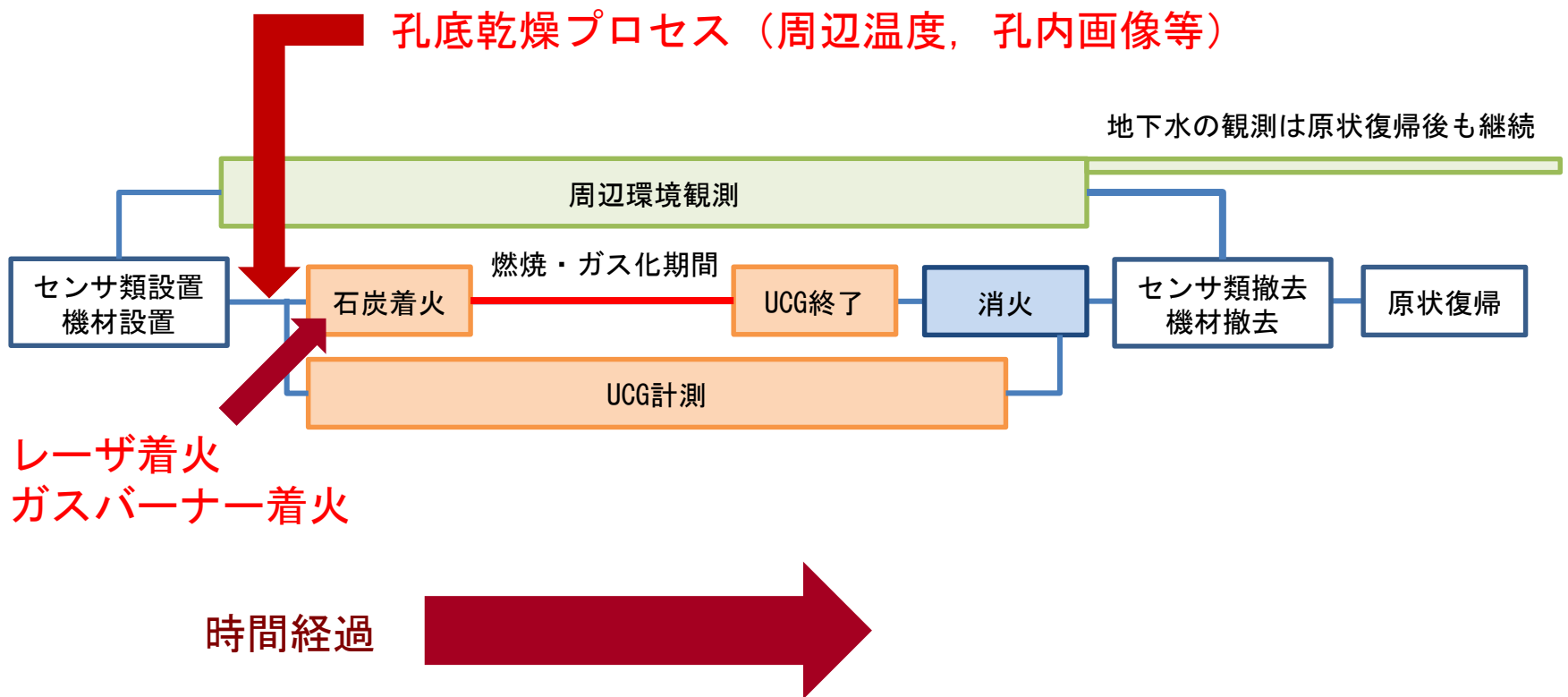


実験前の孔底の様子

現場UCG実験において、原位置の石炭は湿潤状態にあった ⇒ 石炭を乾燥させる必要性

レーザー照射による温度上昇の範囲は制限される ⇒ 広範囲の石炭温度を上昇させる必要性

# 実験行程（改訂版）

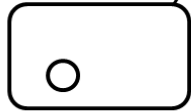


# 乾燥方法

孔内温度計測（熱電対）



内視鏡カメラ画面部



圧縮空気  
(コンプレッサーより)

カートリッジ温度制御装置

内視鏡カメラ

石炭層

圧縮空気注入管

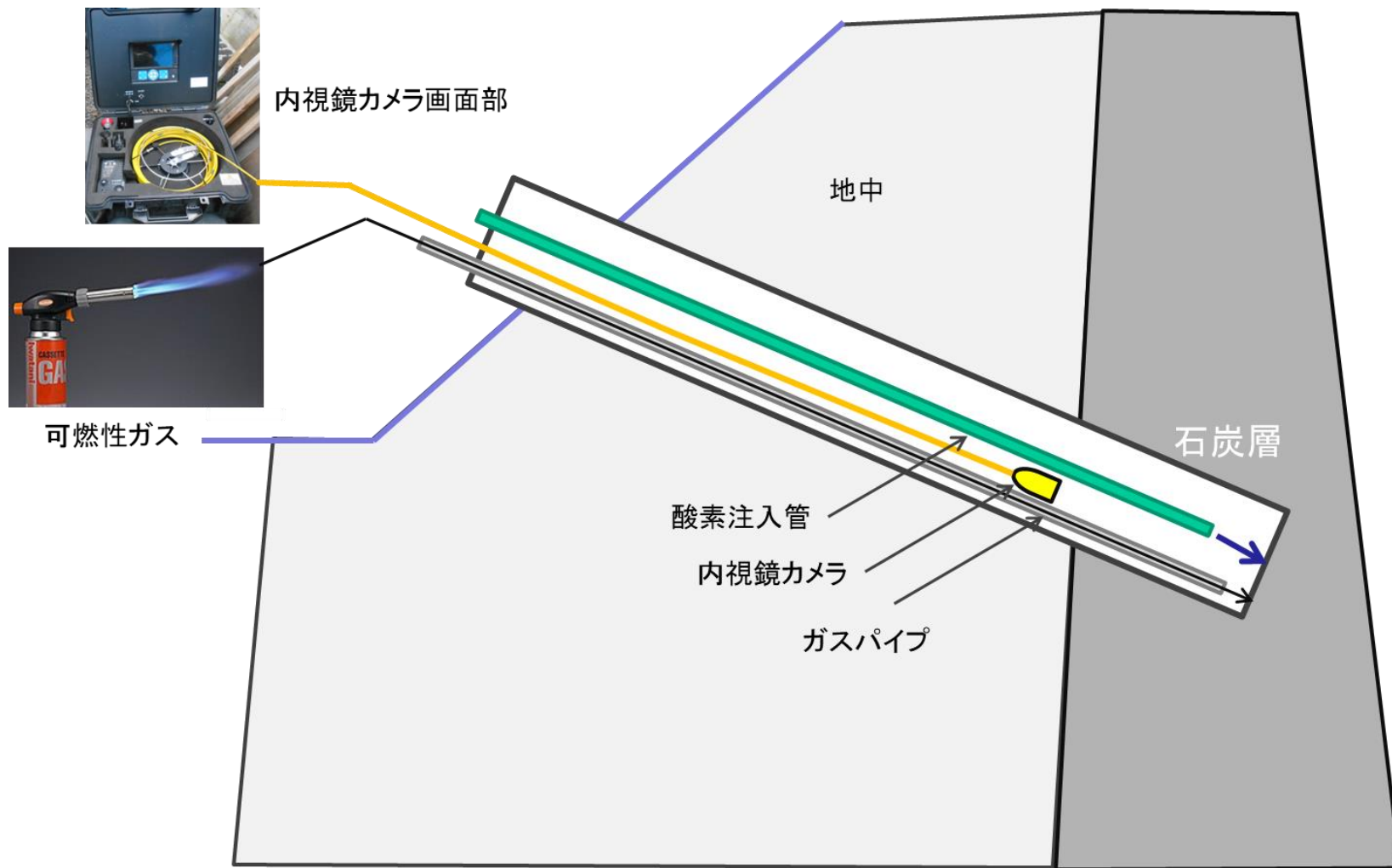
熱電対



カートリッジ・ヒーター  
(70-80℃)

着火前に高温空気により1週間乾燥プロセスを実施

# ガスバーナー着火



# 石炭着火の結果



石炭の乾燥プロセス



レーザ着火



石炭の燃焼の様子



ガスバーナー着火

# 生成ガス結果（第二回目）



生成ガスの確認



生成ガスのフレアリング

## 生成ガス結果の一例（フレアリング時）

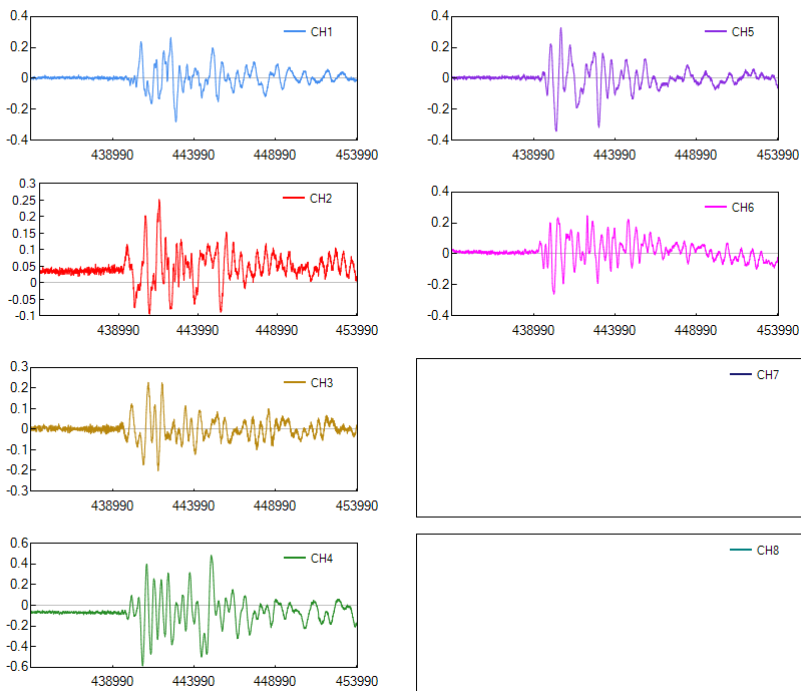
	発熱量 (MJ/Nm <sup>3</sup> )	H <sub>2</sub> (%)	O <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CH <sub>4</sub> (%)	CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (%)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (%)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (%)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (%)
レーザー着火①	4.22	10.17	7.8	21.6	1.02	17.29	41.61	0.46	0.02	0.04	0
レーザー着火②	6.80	14.79	2.1	12.8	1.40	31.58	36.73	0.52	0.02	0.04	0
ガスバーナー着火	4.80	9.76	2.4	31.3	1.87	19.04	35.11	0.40	0.10	0.07	0.02

# 破壊音計測結果 (AE波形)

## UCG模型実験におけるAE波形

AE波形初動読み [D:\三空UCG関係\127年度ブロック炭UCG試験\AE関係\同軸②\AE\_同軸②CSV\A@42.csv]

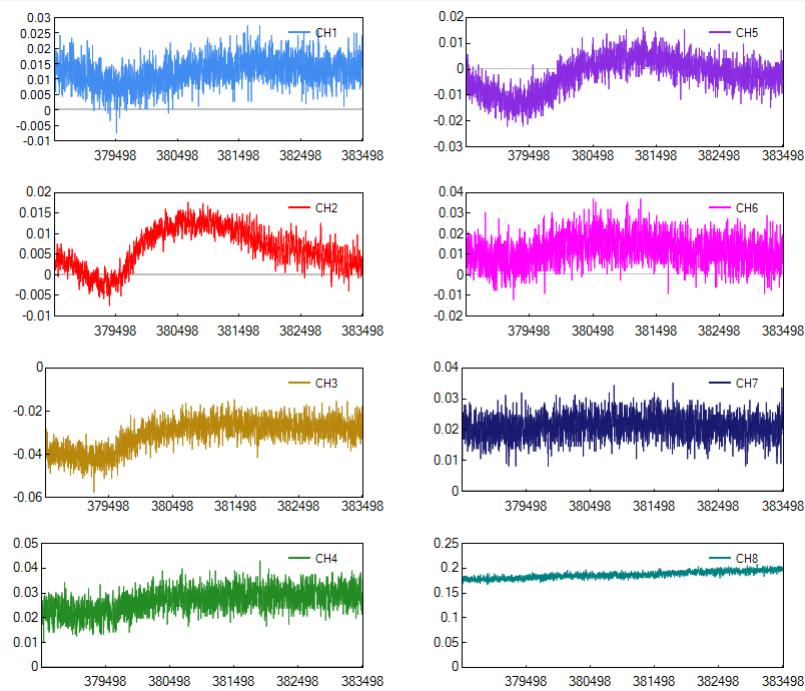
ファイル(F) 操作(C) ツール(T) リセット(R) ズームの解除(Z)



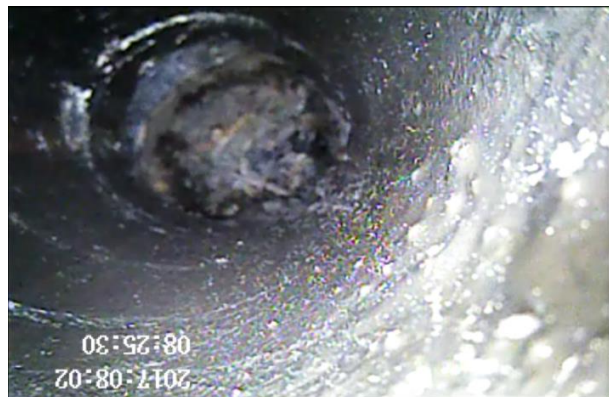
## 現場UCG実験におけるAE波形

AE波形初動読み [C:\Users\#hamanaka\Desktop\現場UCG実験資料\現場実験AE関係\オンスコブ\20170802094236#001#A@1514.csv]

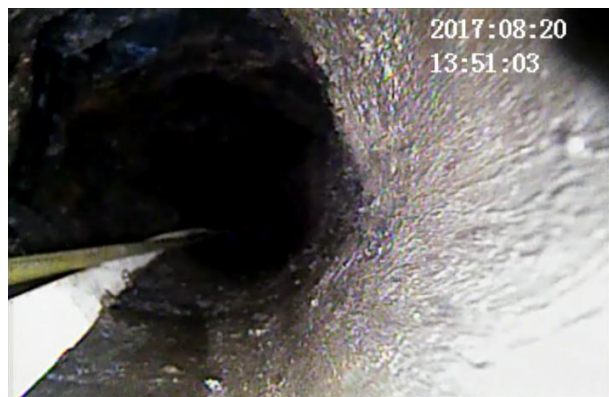
ファイル(F) 操作(C) ツール(T) リセット(R) ズームの解除(Z)



# 反応石炭量の推定

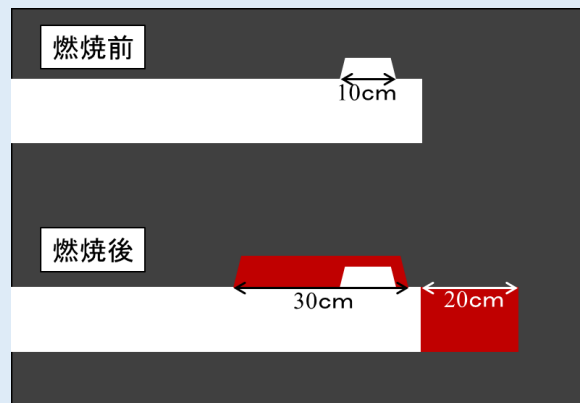


実験前



実験後

## 孔内画像による推定



➡ 2.1 kg

## 生成ガス成分による推定

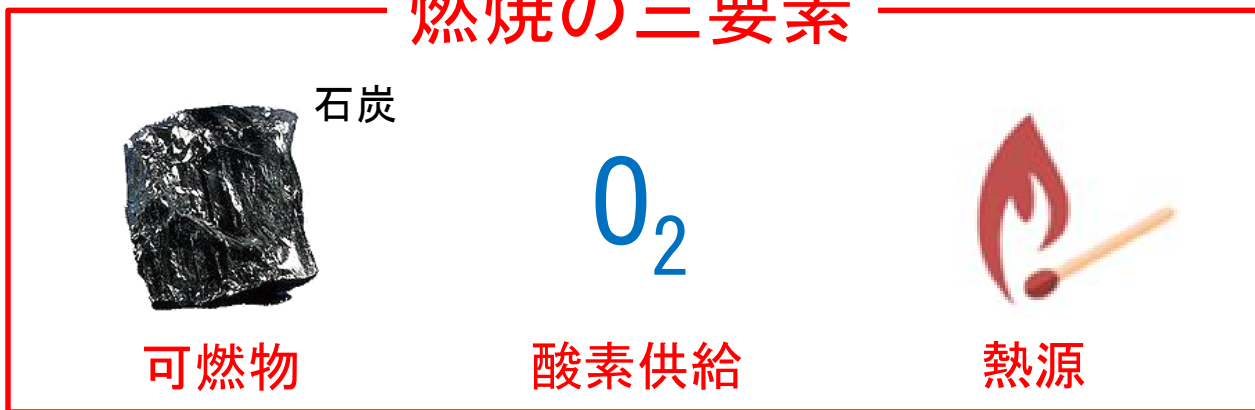
燃焼石炭量 10.8 kg  
(生成ガスより推定)

着火投入量 6.0 kg  
(実験孔へ投入した量)

➡  $10.8 - 6.0 = \underline{4.8 \text{ kg}}$

# 消火

## 燃焼の三要素



除去できない

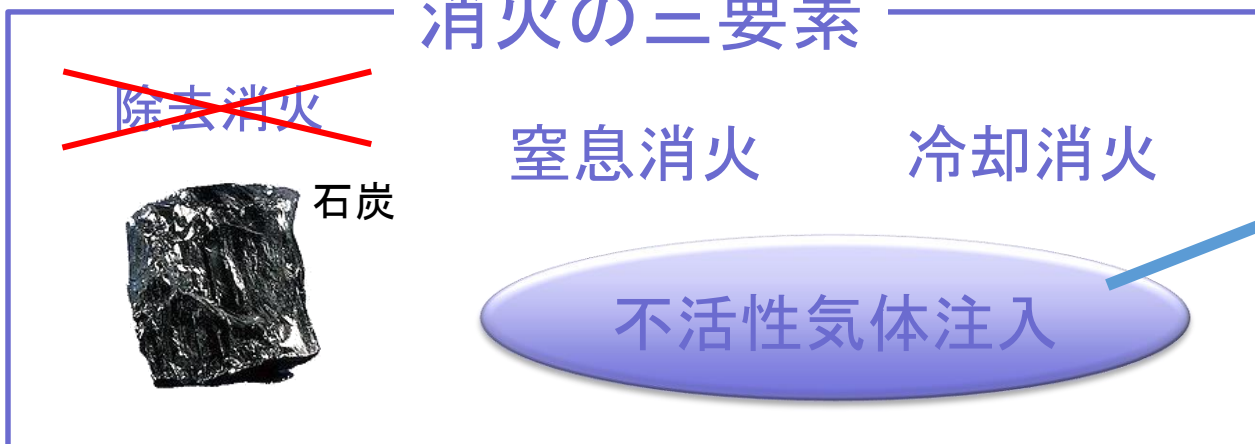


供給停止



温度低下

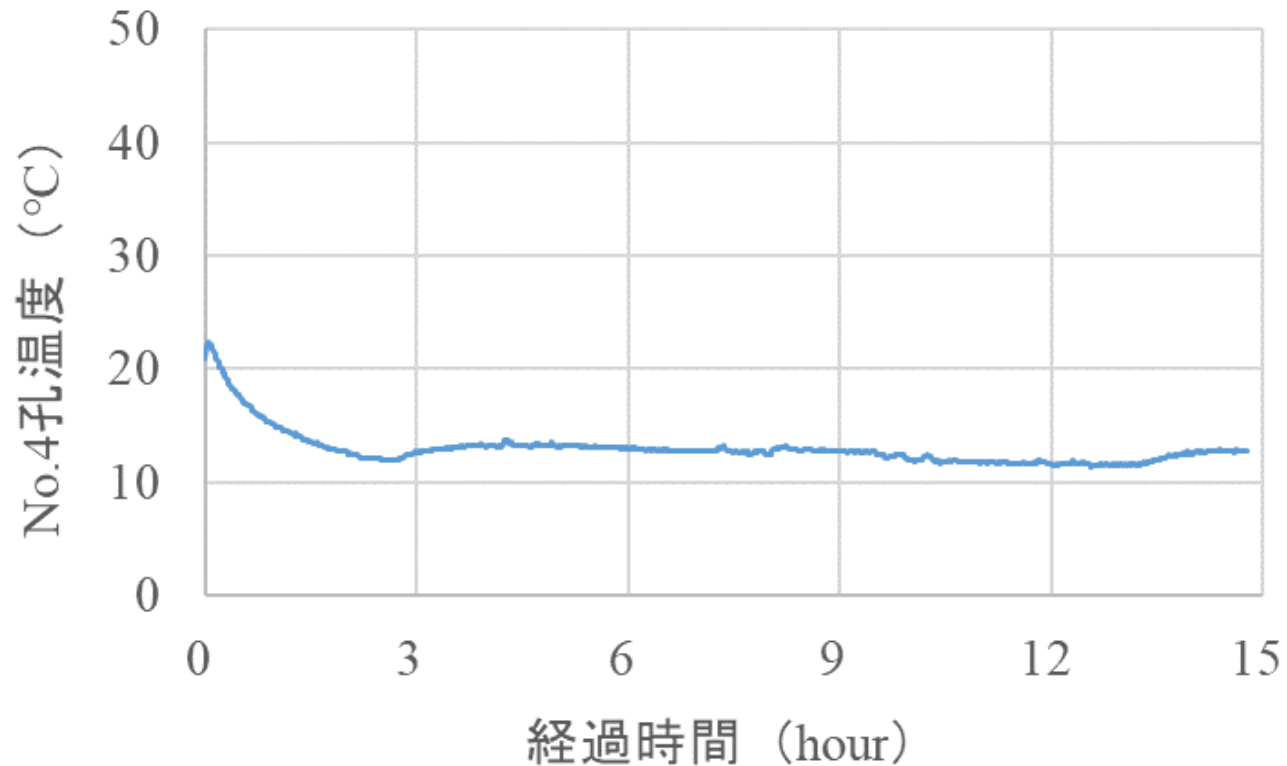
## 消火の三要素



CO<sub>2</sub>ガス

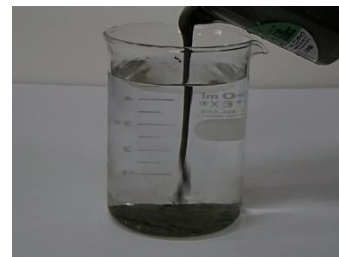
# CO<sub>2</sub>ガスによる消火

実験終了時（8月3日18時29分）より20 L/min注入

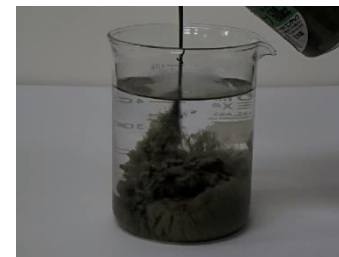


# 実験後の処理

ボーリング孔に固化材を流し込んで空間を充填する。



今回使用した充填材



セメントミルク

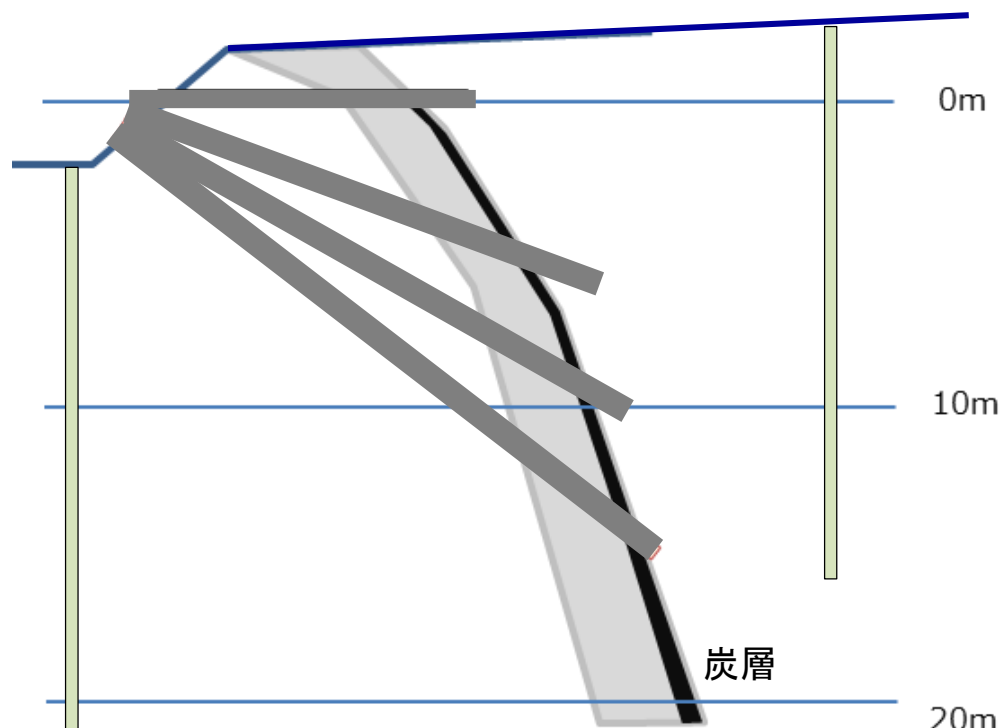
水中不分離性の確認

## 使用材料

基材	可塑材
セメント 水 高性能減衰剤 空気量調整剤	可塑剤 A 可塑剤 B 可塑剤 C 水

## 基本性状

項目	性状
フロー値 (Φ80 mmシリンダー)	300~400 mm
フロー値 (Pポート)	30秒以上
一軸圧縮強度	24 N/mm <sup>2</sup> 以上 (σ28)
ブリーディング率	1.0%以下
比重	1.8 (±0.1)



# 充填行程



作業風景



充填の様子



グラウトポンプ



充填前



充填後

# まとめ

- 国内初の現場UCG実験を行い、地下の石炭層より可燃性ガスを回収することができた。
- ボーリング孔内における石炭の着火のノウハウを取得し、地下の石炭層において着火を実施することができた。
- UCG模型実験とは異なるAE波形が測定されたため、現場スケールで計測することができるAE波形の計測技術を確立する必要がある。
- 現場UCG実験における反応石炭量は2.1～4.8 kg程度であったと推測される。
- 実験終了後の消火およびボーリング孔の充填を実施し、完了した。