

平成27年8月19日

於 三笠未利用石炭エネルギー研究施設

# 三笠市石炭資源活用研究会

石炭地下ガス化 (UCG)  
これまでの研究概要と今後の取組

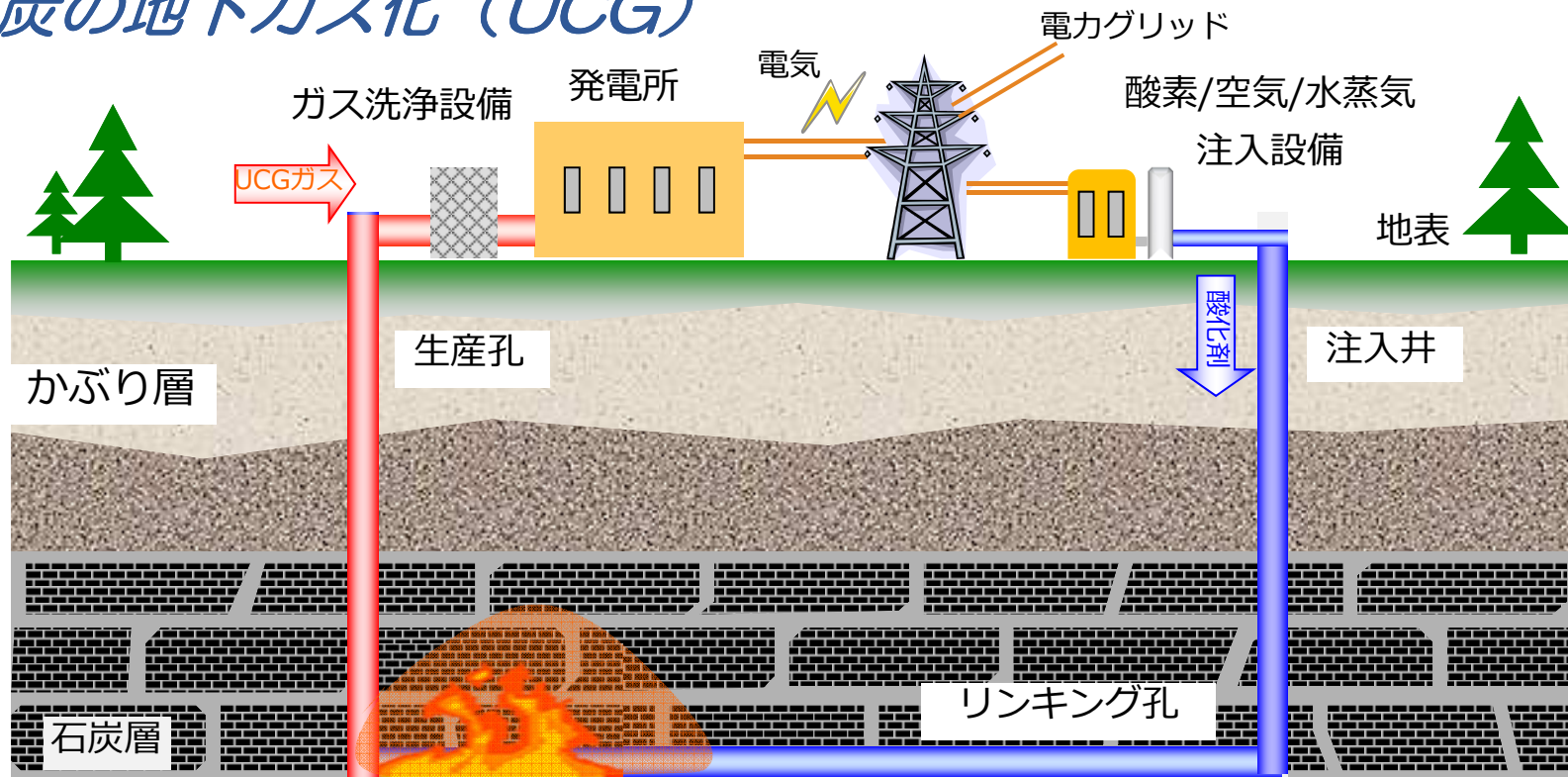
配布資料



特定非営利活動法人  
地下資源イノベーションネットワーク  
理事長 出口 剛太  
(室蘭工業大学 客員教授)

室蘭工業大学環境科学・防災研究センター  
助教 濱中 晃弘

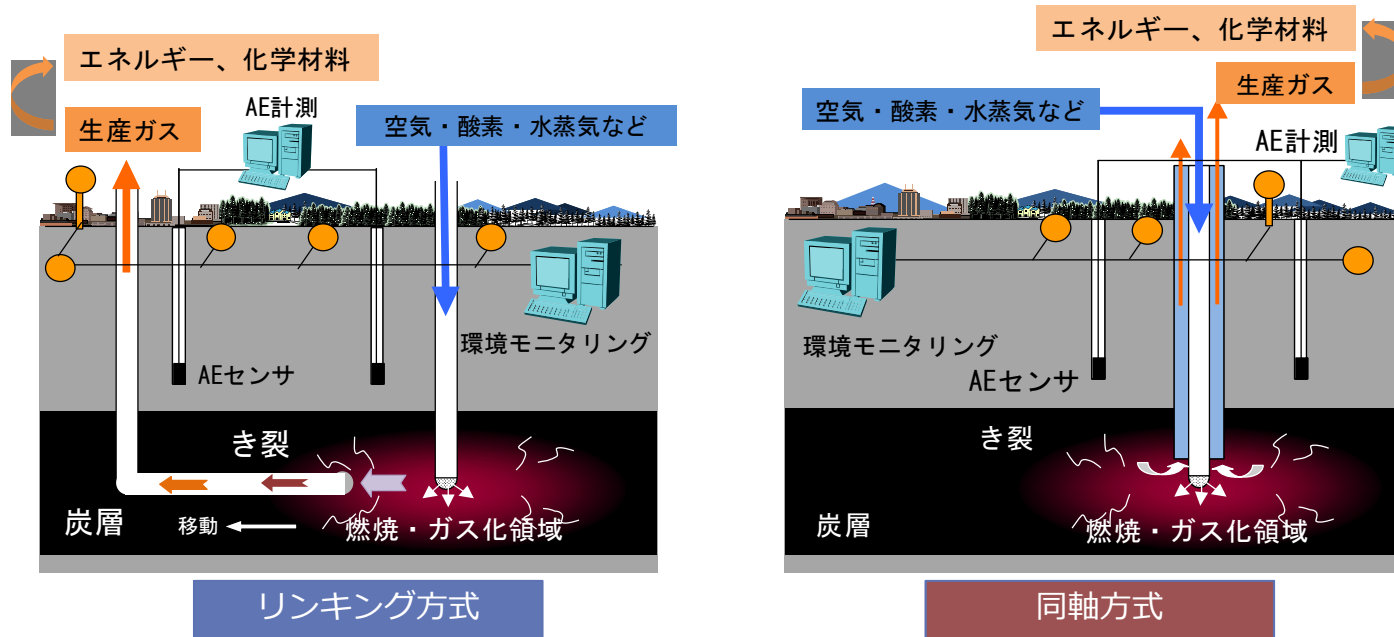
# 石炭の地下ガス化 (UCG)



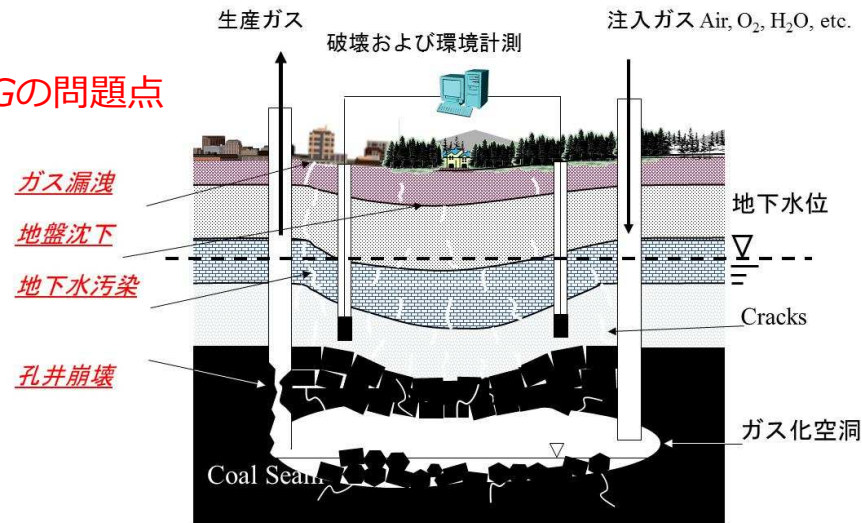
- 石炭を採掘することなくエネルギーを回収
- 未利用石炭を活用-埋蔵炭量の増加
- 大型ガス化炉の建設が不要 (コスト削減)
- 石炭灰処理の問題解決
- 汚染物質排出(SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, 水銀等) の減少
- CO<sub>2</sub>貯留の可能性

- 反応プロセスの制御
- 地下水汚染
- 地表沈下

# 二つのシステム開発と課題



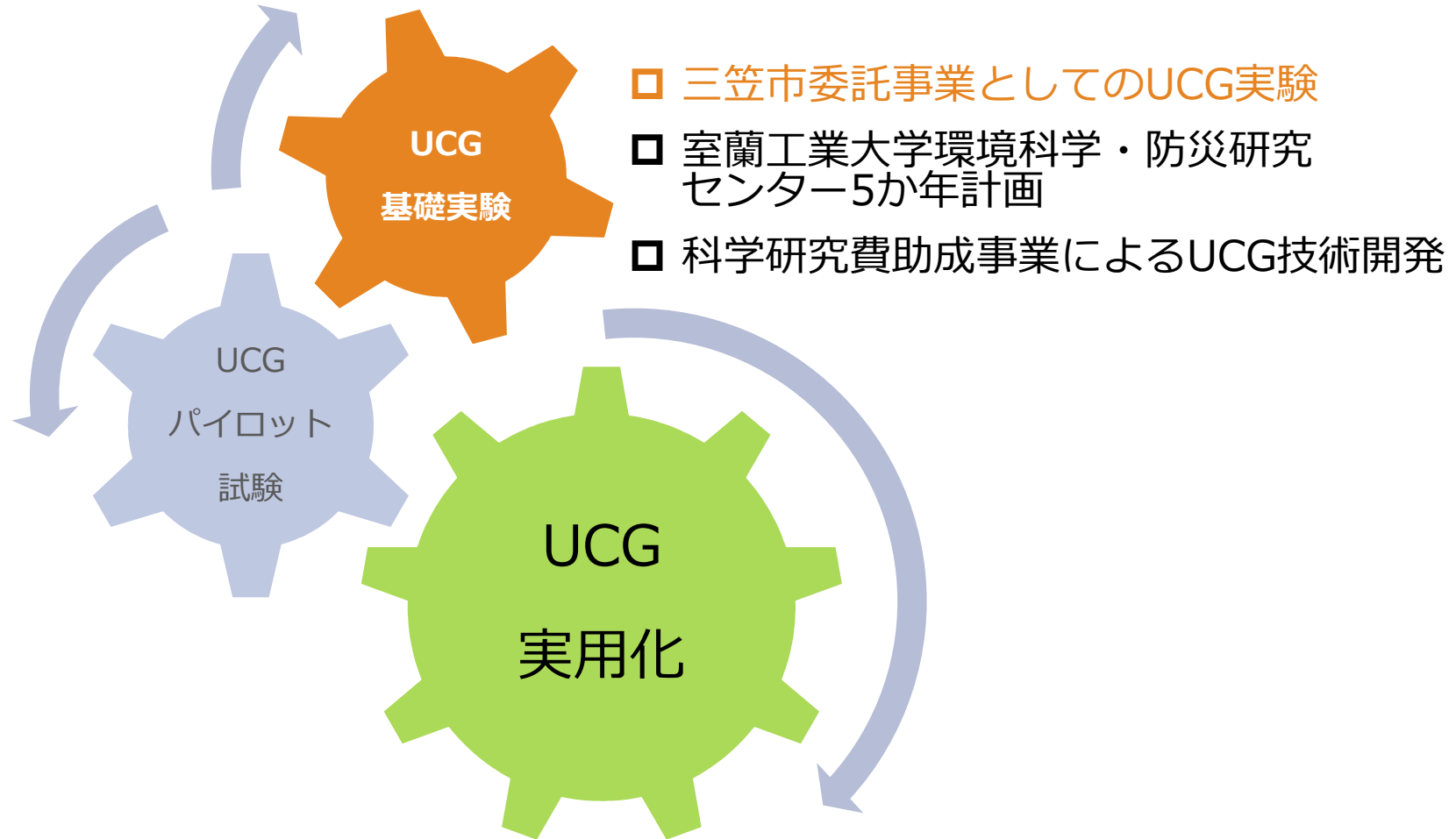
## 破壊に起因したUCGの問題点



克服すべき課題

## UCGの実用化に向けて

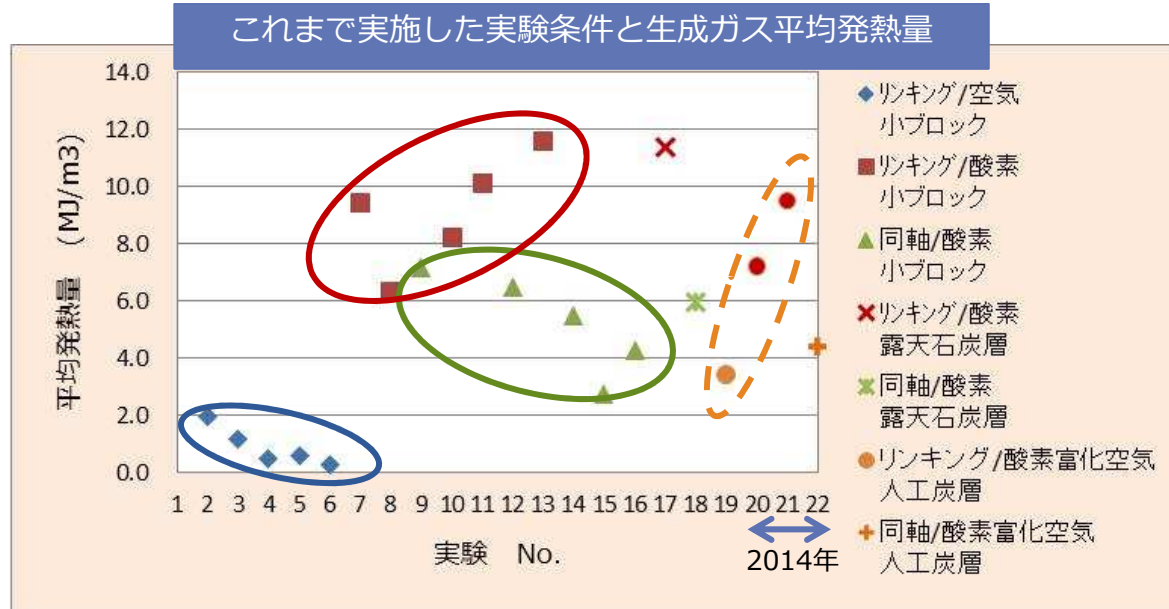
三笠市、室蘭工業大学、北海道大学、NPO法人地下資源イノベーションネットワークはUCGを地域のエネルギー源として活用するために基礎実験、技術開発に取り組んでいます。



## 三笠市委託事業としてのUCG実験

# これまでのUCG実験

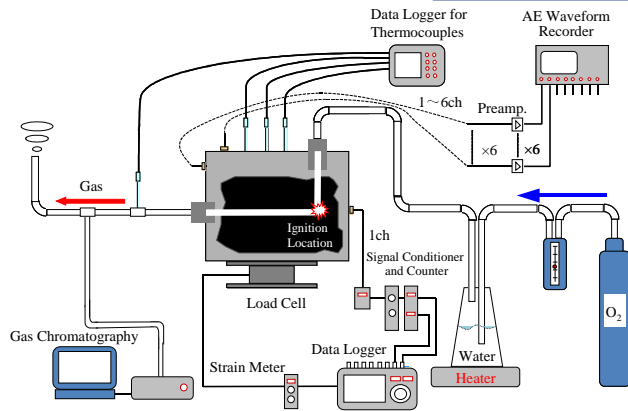
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
室蘭工業大学 実験室	← 石炭小ブロックを用いたUCG実験 →					
三笠未利用石炭 エネルギー研究施設				← 小ブロック UCG →	← 人工炭層実験 →	
砂子炭鉱/美唄層 (三笠市)			← 露天炭鉱 実験 →			



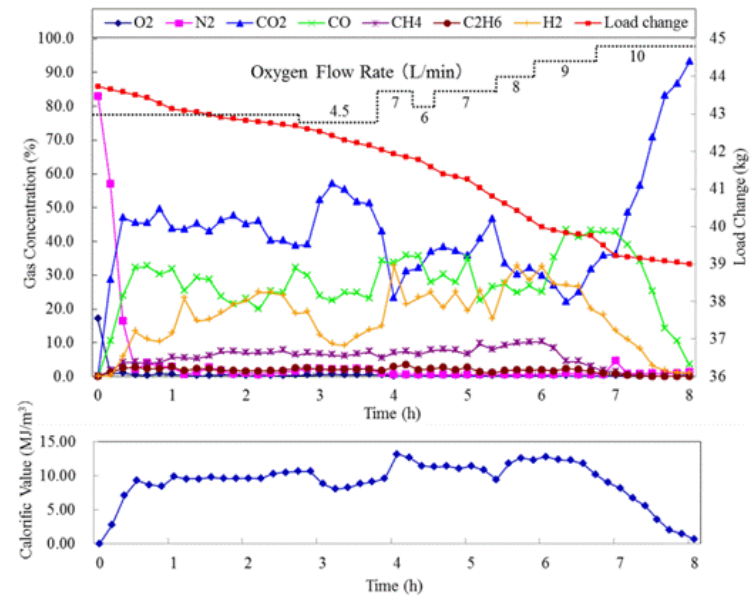
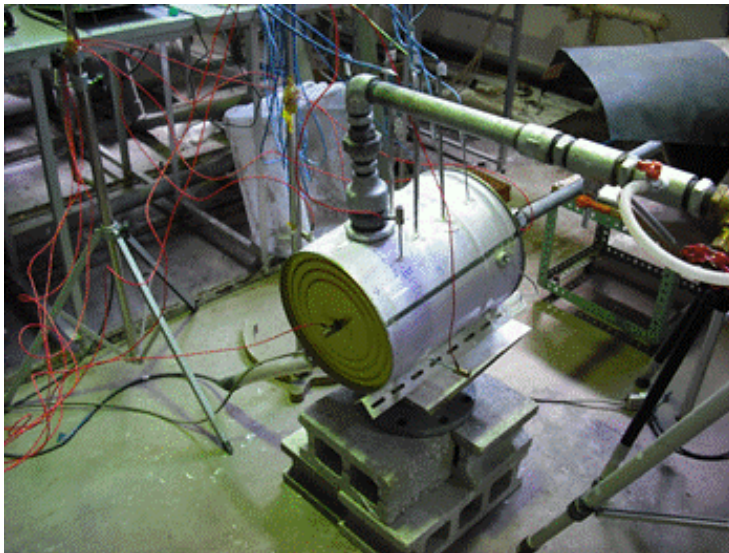
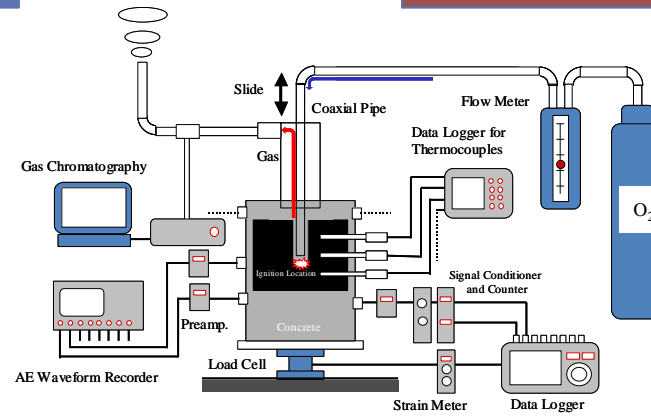
# これまでのUCG実験 (室蘭工業大学での実験)

## 室内UCG実験

リンク方式



同軸方式



実験状況

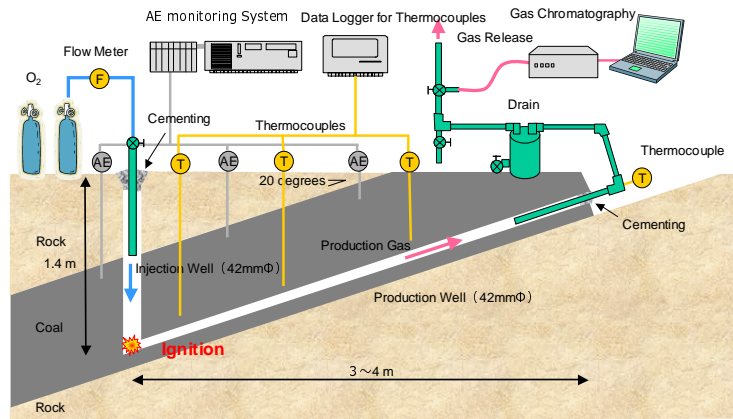
生成ガスのガス成分と発熱量

# これまでのUCG実験（砂子炭鉱での実験）

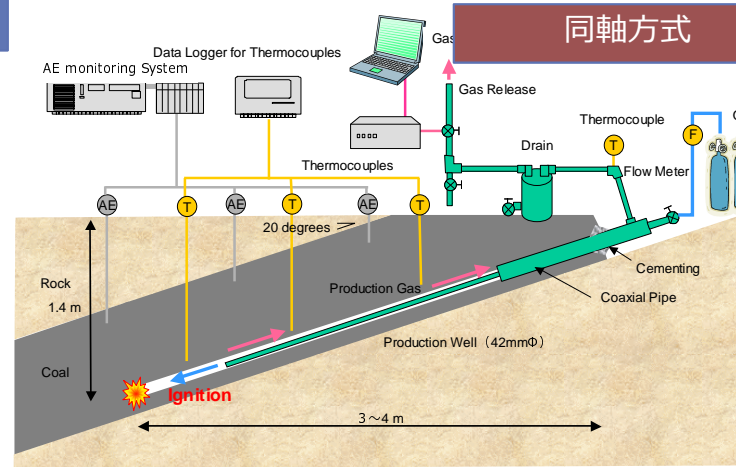
三笠市UCG実証実験業務として実施

## 現場UCG試験

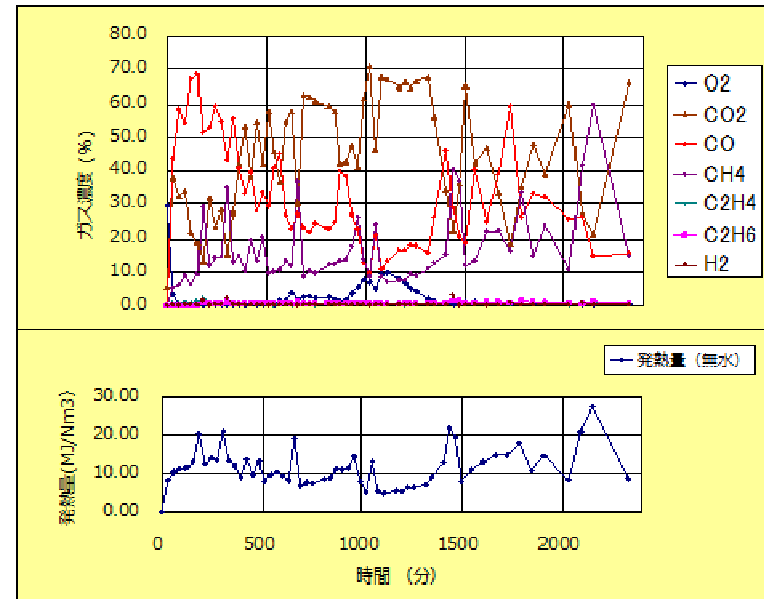
### リンク方式



### 同軸方式



実験状況



生成ガスのガス成分と発熱量

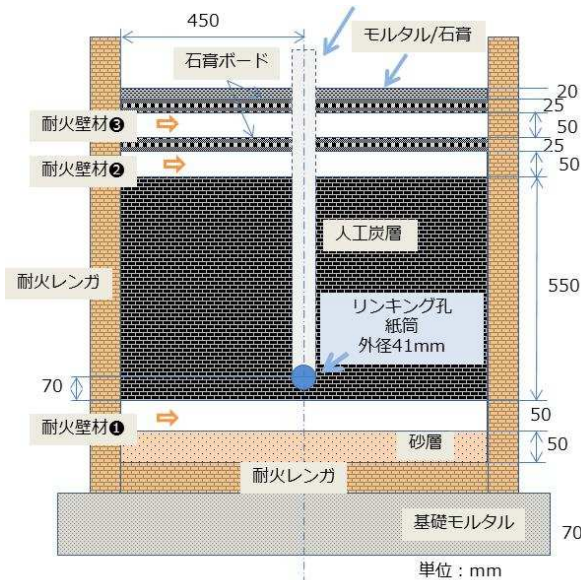
# これまでのUCG実験 (三笠未利用石炭エネルギー研究施設での実験)

人工炭層UCG実験 三笠市UCG実証実験業務として実施  
 (H25年度：リンク方式)  
 (H26年度：リンク/同軸方式)

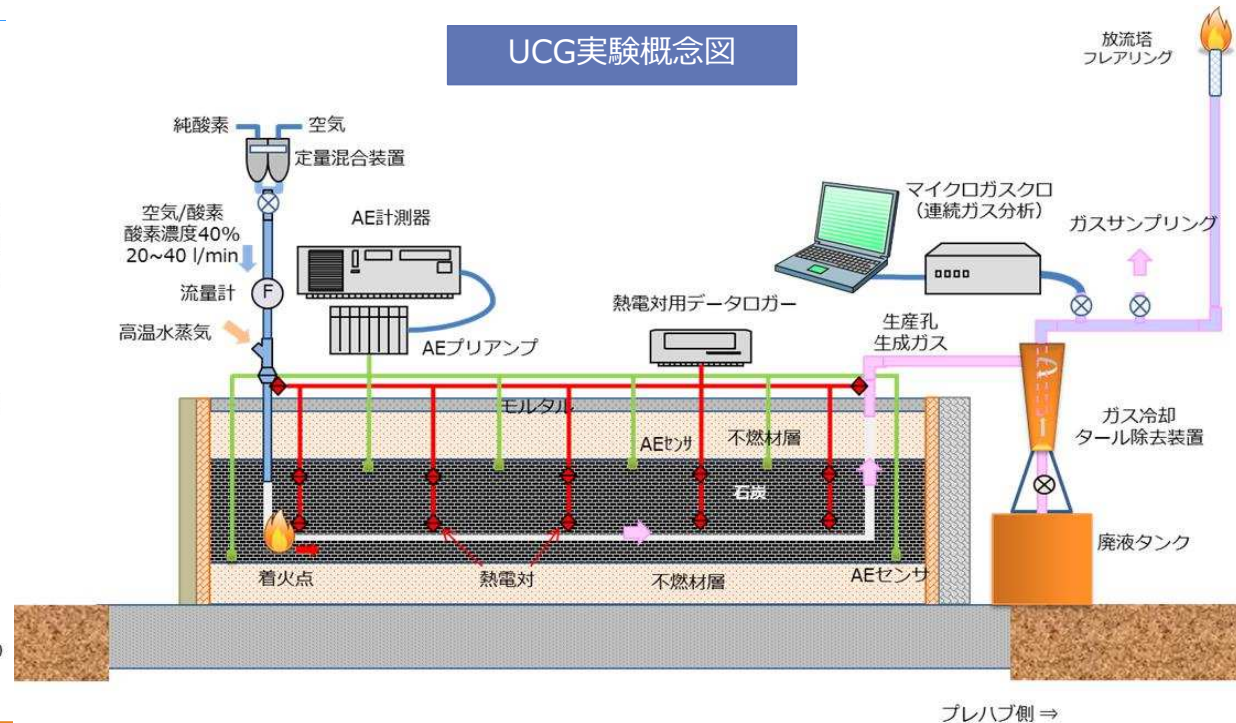


UCG実験炉

## 人工炭層の構成



## UCG実験概念図



## これまでの成果：

- どのようなガスが生産されるのか？
  - ・ 一酸化炭素、メタン、水素、二酸化炭素が主成分
  - ・ 発熱量はリンキング方式で  $4 \sim 12 \text{MJ/m}^3$
- どれほどの量生産できるのか？
  - ・ 反応石炭1トン当たり  $1,400 \sim 1,500 \text{m}^3$
  - ・ リンキング方式の場合、生成ガスの熱量を  $10 \text{MJ/m}^3$  とすると、
  - ・ 石炭1トン当たりおよそ  $15,000 \text{MJ}$  (灯油換算約  $400 \ell$ )
- 注入するガス化剤 (酸素や空気) による違いは？
  - ・ 空気の場合は極端に発熱量が低い
  - ・ 酸素濃度60%以上では大きな違いはない
- 燃焼領域・ガス化領域はどのように拡大していくのか？
  - ・ 燃焼領域・ガス化領域の拡大は温度・AEの観測で把握可能
  - ・ 燃焼領域の温度は  $1,000^\circ\text{C}$  以上、酸素濃度が高いと  $1,300^\circ\text{C}$  を超える
  - ・ リンキング孔や同軸孔に沿って移動する
  - ・ 人工炭層では上向きへの移動が大きい (空隙による?)
  - ・ 1回の着火で拡大する燃焼領域には限界がある
  - ・ 同軸方式は燃焼領域・ガス化領域が小規模

## これまでの成果：

### □ 消火方法は？

- ・ 酸素供給停止に加え、窒素/二酸化炭素を注入
- ・ 二酸化炭素注入がより効果的（温度低下大）

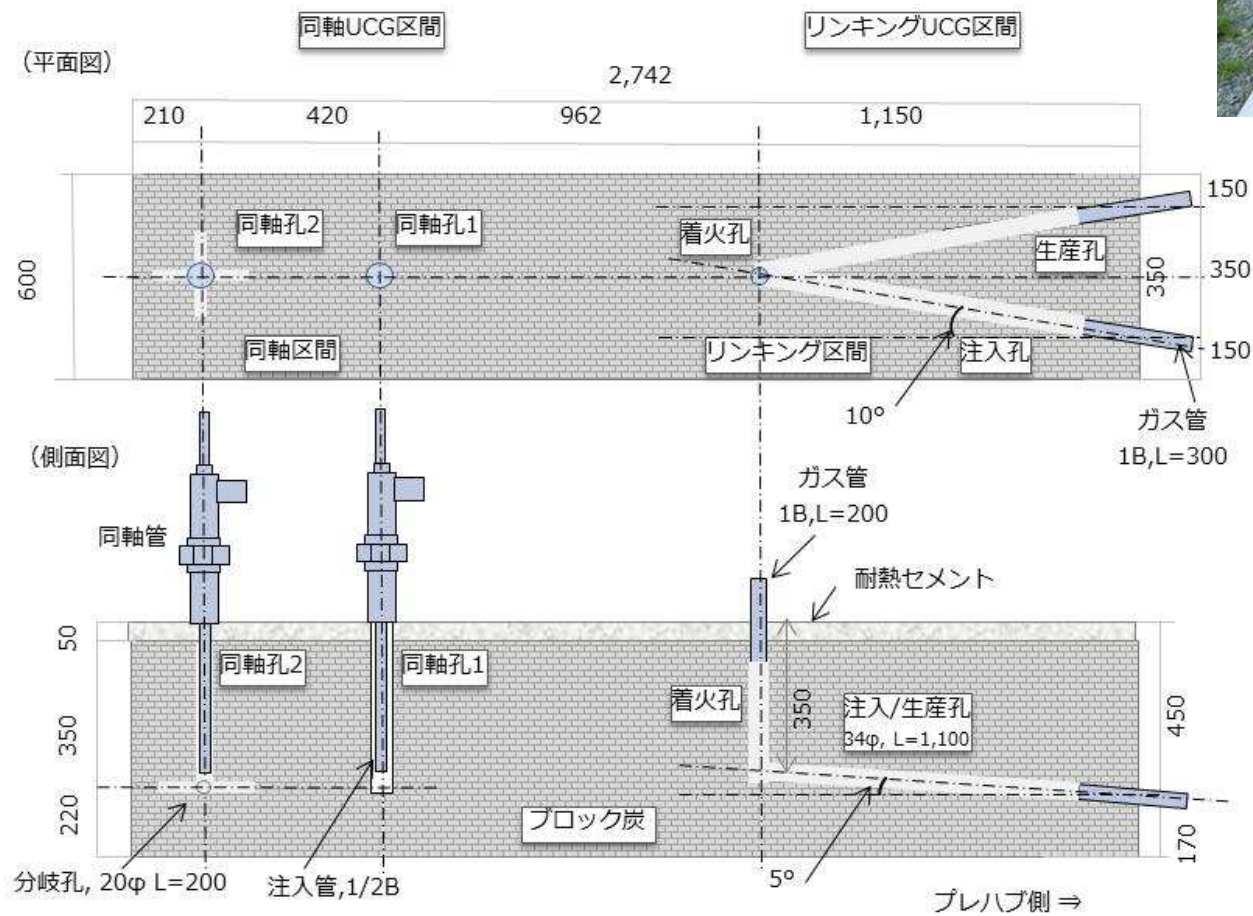
### □ 実規模のUCGで注意すべき点は？

- ・ 生成ガスに硫化水素が含まれることがある（脱硫装置の必要性）
- ・ 生成ガスの漏洩（地下深部での実施と観測体制の確立により回避）

## 今後の方向性：

- 大型ブロック炭を用いた実験
- 単位時間当たりの反応石炭量の増大
- 燃焼・ガス化領域の拡大継続

# H27年度：ブロック炭UCG実験施工概念図

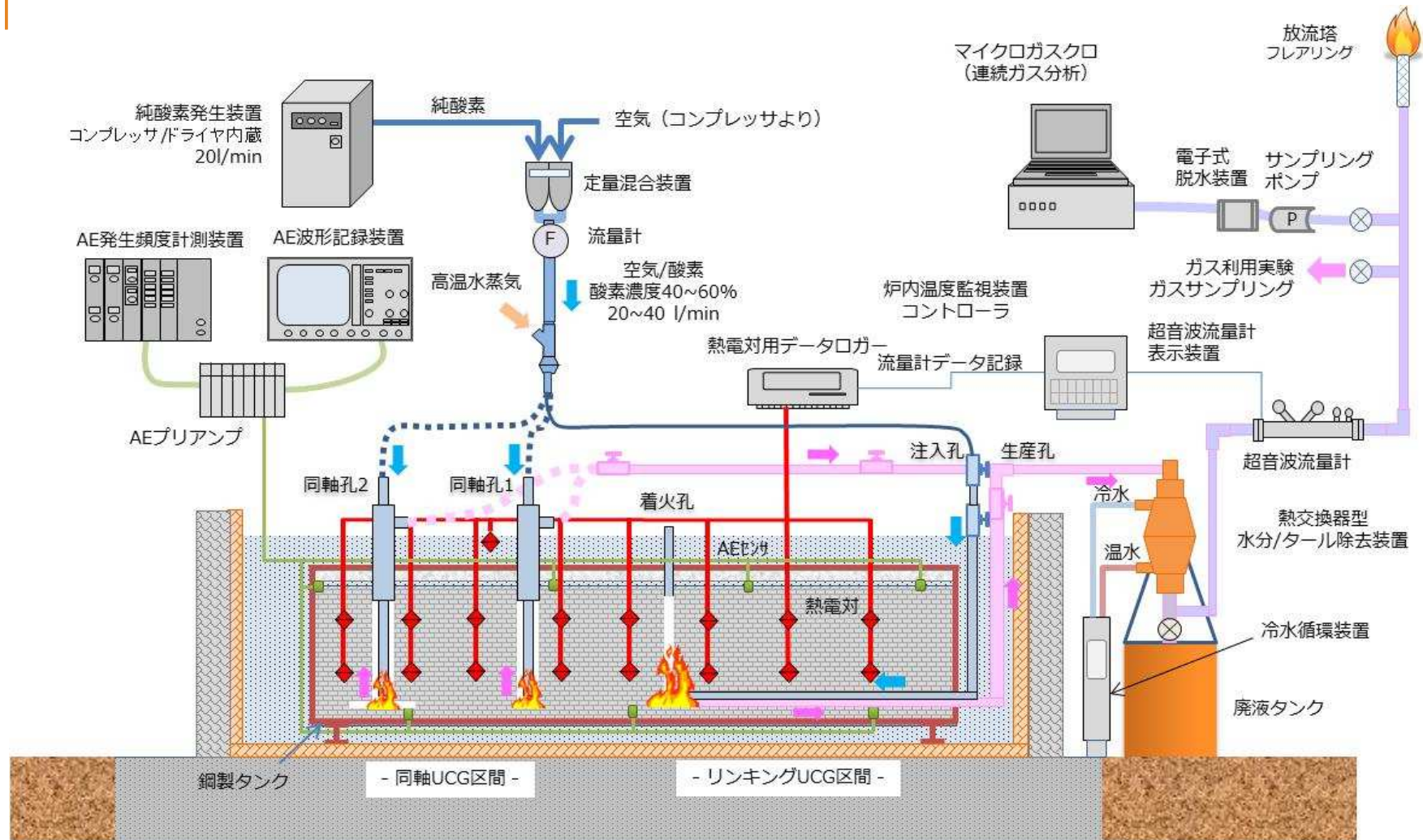


# H27年度：UCG実験用石炭ブロック採取

三美鉱業西向沢露天坑美唄層4番層



# H27年度実験実施概念図（リンク方式&同軸方式）



実験1：リンク方式UCG区間における平行リンク方式UCG（着火孔底で着火）  
 実験2：同軸UCG区間における同軸方式UCG（先端形状の異なる2本の同軸孔を使用し、それぞれの孔底で順次着火）

---

## 現場UCG実験についての説明

室蘭工業大学環境科学・防災研究センター5か年計画  
科学研究費助成事業によるUCG技術開発

# 未利用石炭資源エネルギーの高度有効活用プロジェクト

—低環境負荷型で安全な閉路資源エネルギー回収システムを目指して—

これまでの石炭地下ガス化および生産ガスの分離・資源化・輸送に関わる研究成果の蓄積をもとに、残された課題を克服し、**ローカル資源エネルギー源**としてのコンパクトで安全、低環境負荷な石炭ガス高度有効活用技術を確立する。



露頭炭 U C G 実験

## 三つのサブプロジェクト

### 1) 高度UCGシステム開発サブプロジェクト :

フィールドUCG実験により、ガス化炉監視、A E/M S計測による破壊監視と可視化および遮水・止水技術を確立する。

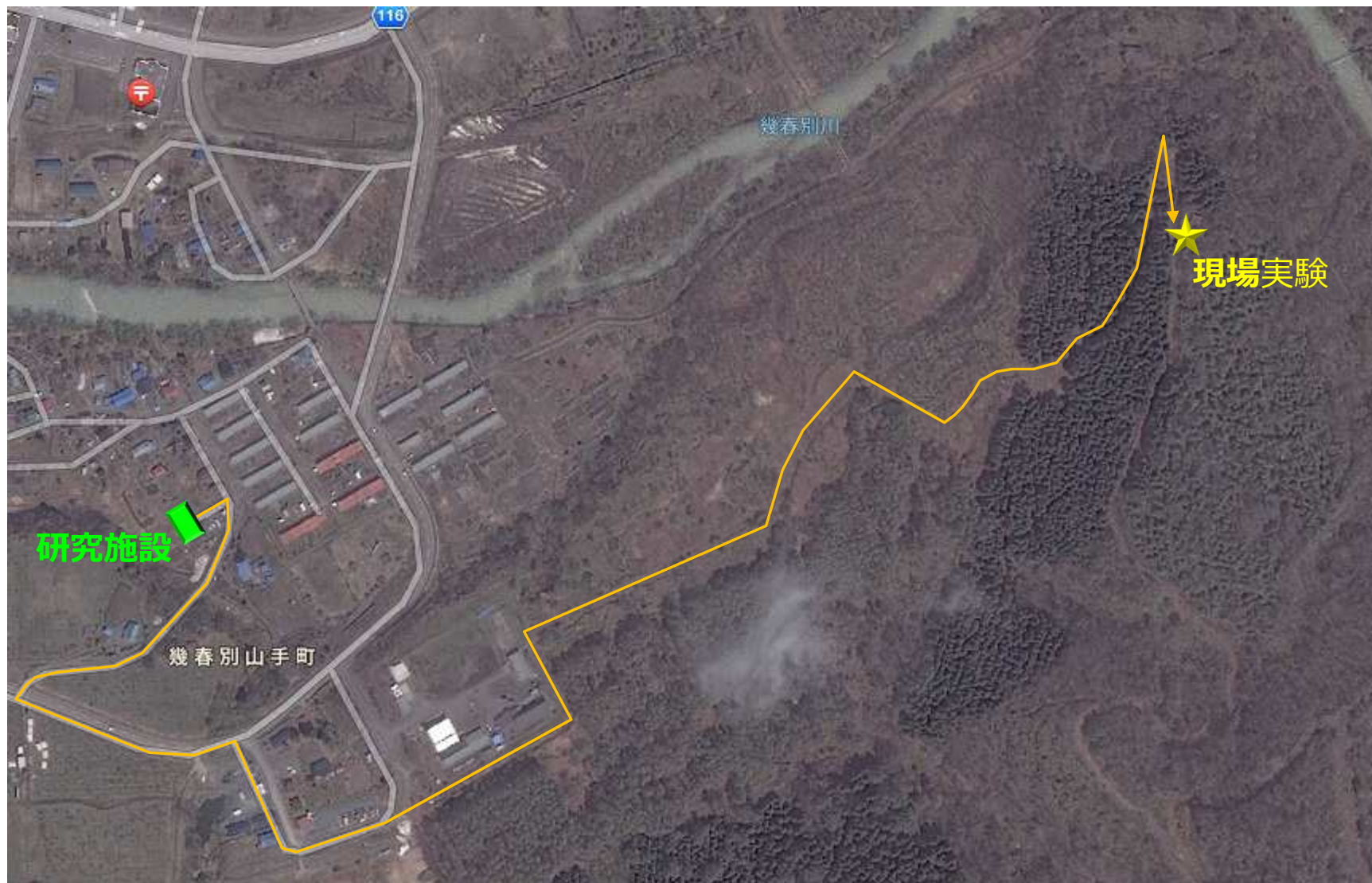
### 2) 生産ガス・熱の高効率活用サブプロジェクト :

生産ガスの分離回収、ガスの無害化実験、ガス貯蔵材料を開発する。

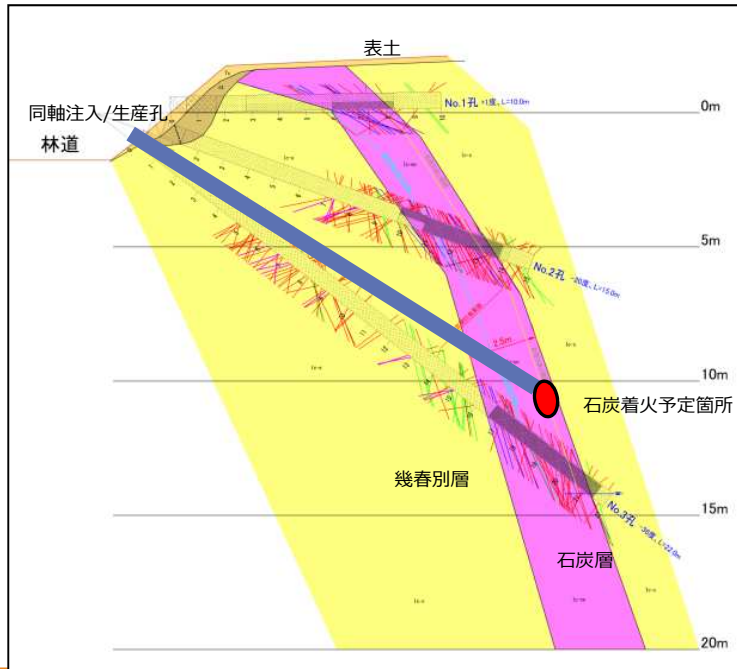
### 3) 環境監視・評価サブプロジェクト :

フィールドUCG実験現場と共に、地下水監視と評価、評価プロトコルの検討大気環境監視、事前生態系調査を実施する。

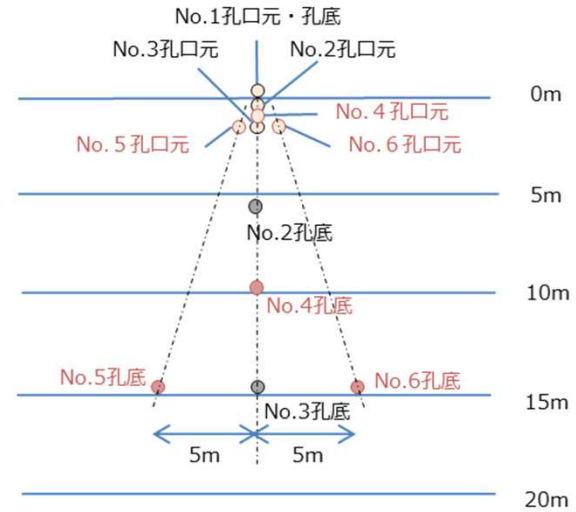
## 現場実験の位置



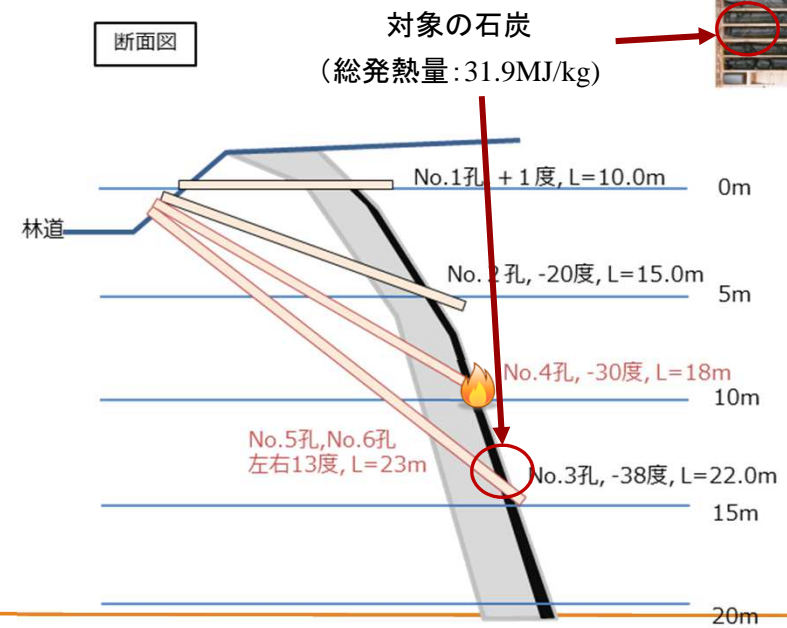
# 現場UCG実験現場の選定



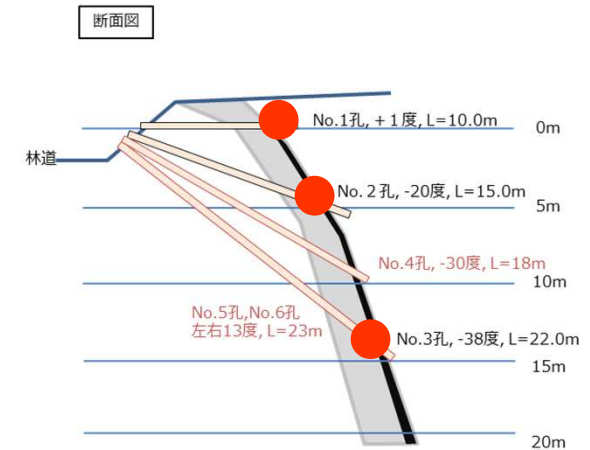
正面図



断面図



## 対象石炭の分析結果



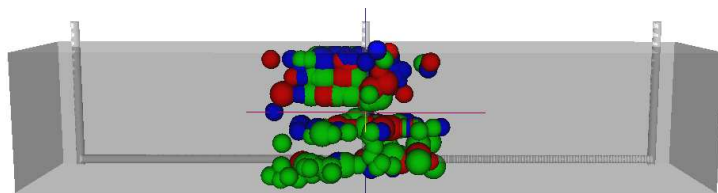
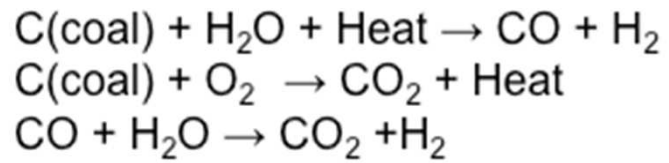
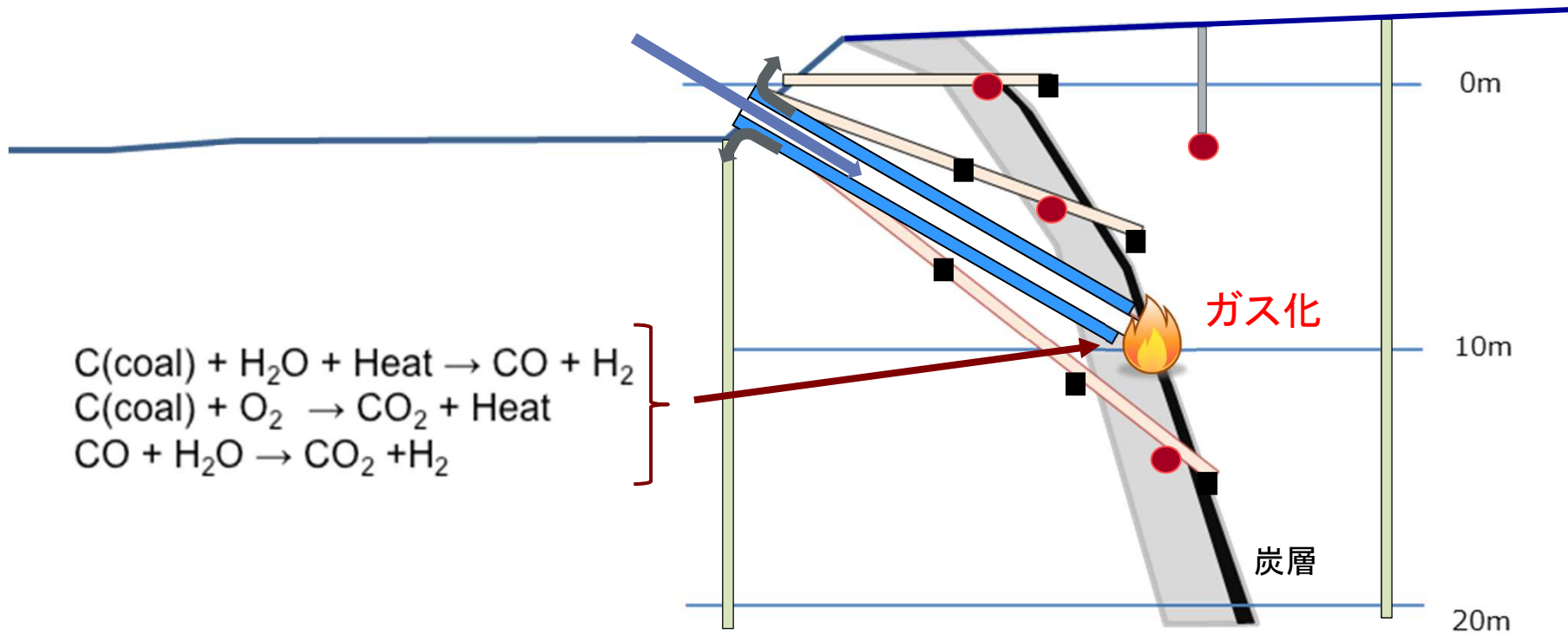
メタンガスの湧出はなし

発熱量	元素分析 (%)					H/C	O/C
	MJ/kg	C	H	N	S		
19.00	57.1	3.27	1.35	0.0	24.06	-	-
31.72	78.0	5.54	1.32	0.39	10.84	-	-
31.88	77.4	5.68	1.46	0.29	10.56	-	-

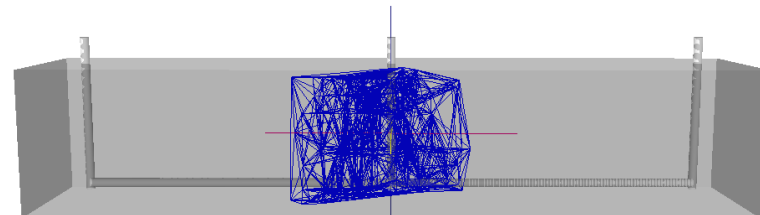
水分	灰分	揮発分	固定炭素	全硫黄	発熱量	燃料比	灰溶融点
%	%	%	%	%	MJ/kg		℃
9.2	12.9	39.3	38.6	-	19.00	-	-
3.2	3.8	41.8	51.2	-	31.72	-	-
2.6	4.5	43.8	49.1	-	31.88	-	-

高度UCGシステム開発  
サブプロジェクト

- : 温度計測
- : 破壊音センサ

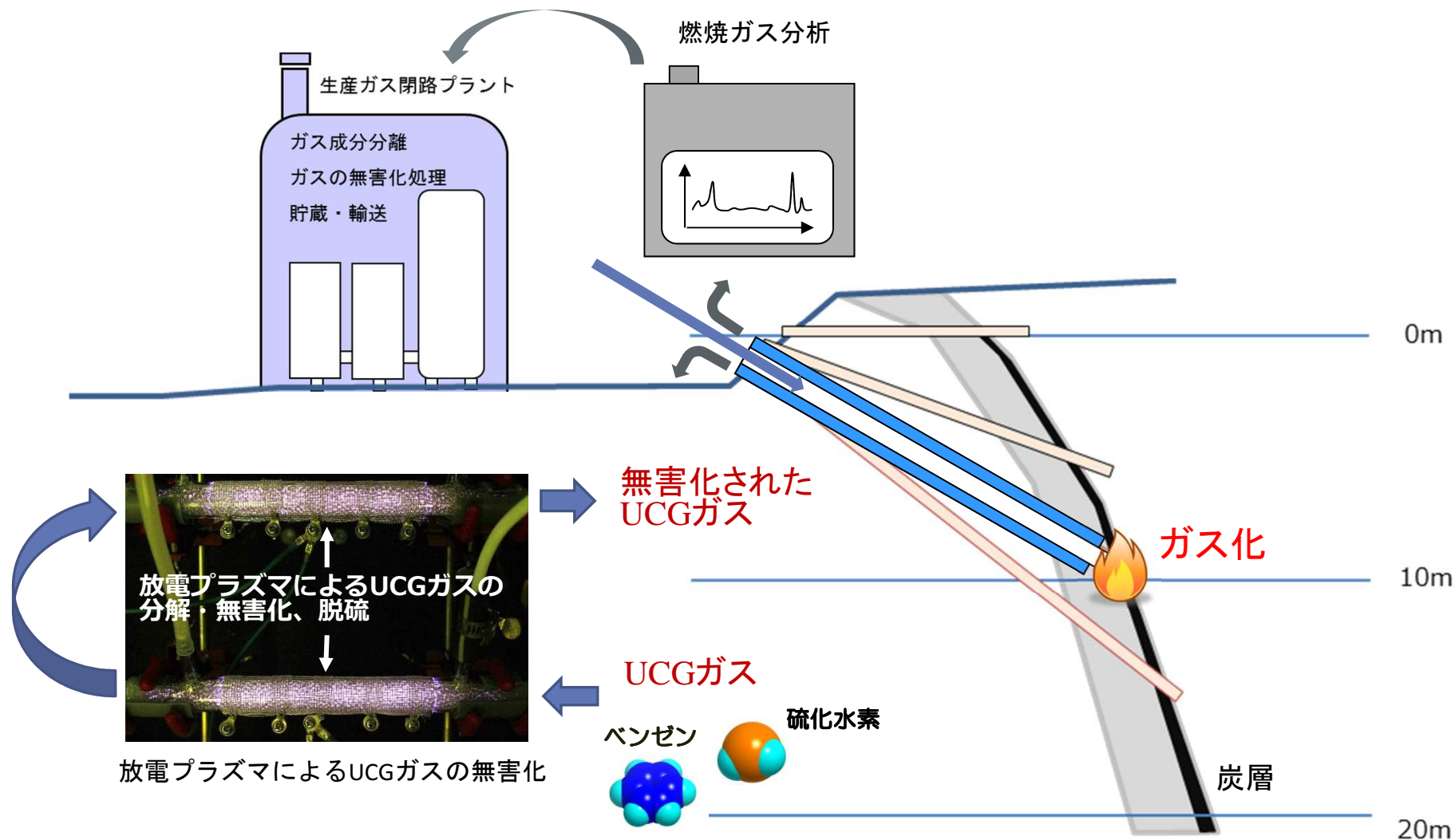


破壊音震源標定



燃烧空洞体積評価

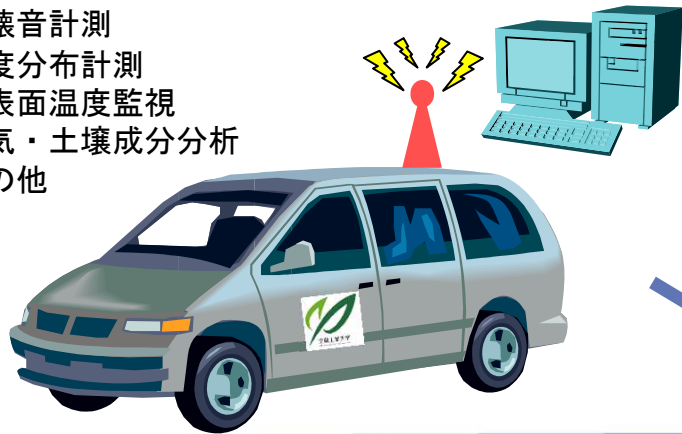
# 生産ガス・熱の高効率活用 サブプロジェクト



# 環境監視・評価 サブプロジェクト

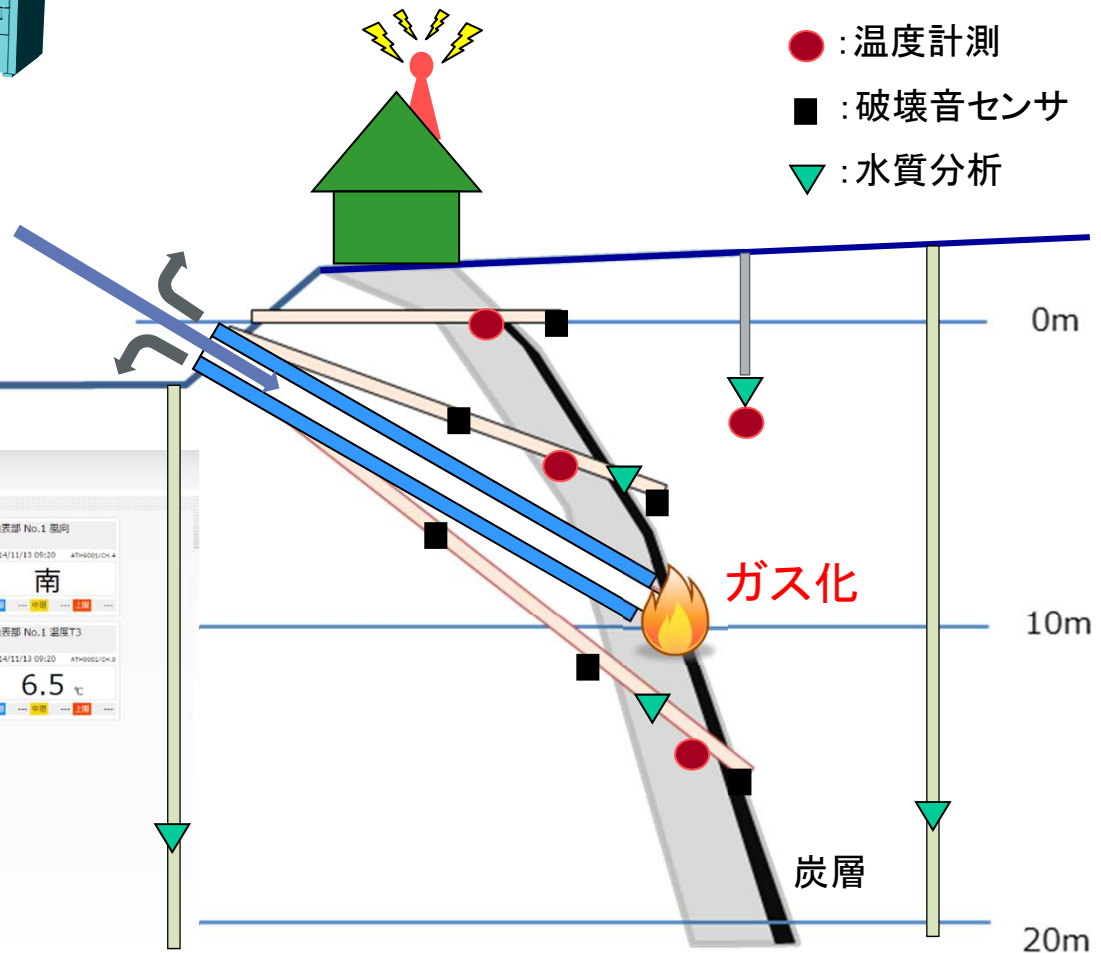
## 計測車 + データ伝送・閲覧システム

- 破壊音計測
- 温度分布計測
- 地表面温度監視
- 大気・土壌成分分析
- その他



## 漏洩ガス分析 環境モニタリング

- : 温度計測
- : 破壊音センサ
- ▼ : 水質分析



豊岡工業大学 ecoMo systems

お知らせ：最新24時間以内のアラートは発生していません。

トップ 詳細(全体) 詳細(グループ) カメラ アラート メール送信設定

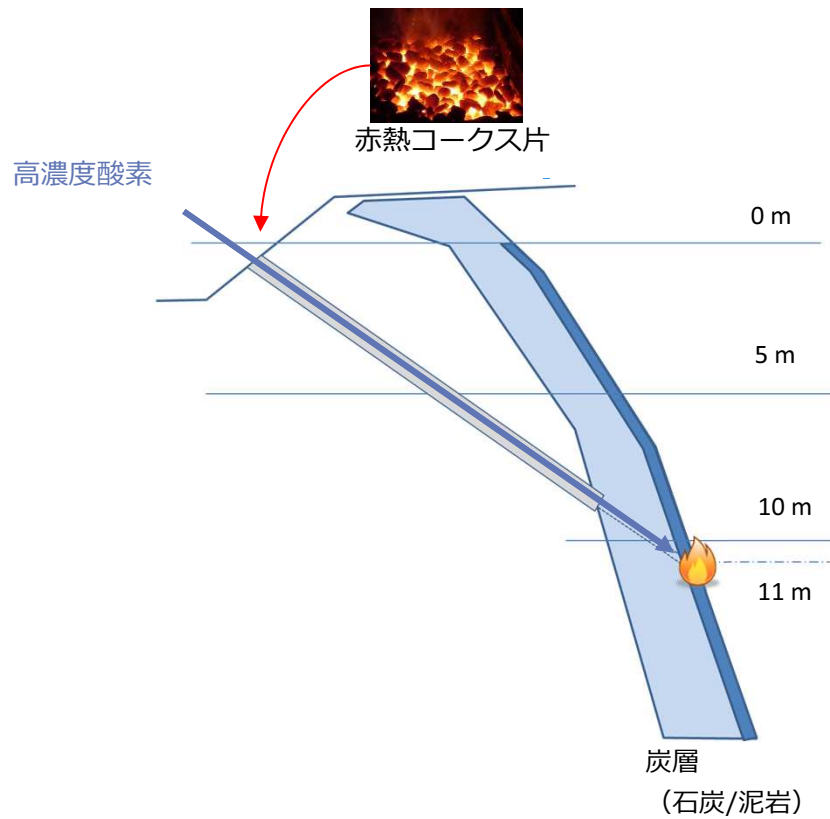
三田市UCGのフィールドデータ 伝送・分析 気象観測 No.1 振動計測 No.1 振動計測 No.2 振動計測 No.3 振動計測 No.4 振動計測 No.5 振動計測 No.6 振動計測 No.7 振動計測 No.8 振動計測 No.9 振動計測 No.10 振動計測 No.11 振動計測 No.12 振動計測 No.13 振動計測 No.14 振動計測 No.15 振動計測 No.16 振動計測 No.17 振動計測 No.18 振動計測 No.19 振動計測 No.20 振動計測 No.21 振動計測 No.22 振動計測 No.23 振動計測 No.24 振動計測 No.25 振動計測 No.26 振動計測 No.27 振動計測 No.28 振動計測 No.29 振動計測 No.30 振動計測 No.31 振動計測 No.32 振動計測 No.33 振動計測 No.34 振動計測 No.35 振動計測 No.36 振動計測 No.37 振動計測 No.38 振動計測 No.39 振動計測 No.40 振動計測 No.41 振動計測 No.42 振動計測 No.43 振動計測 No.44 振動計測 No.45 振動計測 No.46 振動計測 No.47 振動計測 No.48 振動計測 No.49 振動計測 No.50 振動計測 No.51 振動計測 No.52 振動計測 No.53 振動計測 No.54 振動計測 No.55 振動計測 No.56 振動計測 No.57 振動計測 No.58 振動計測 No.59 振動計測 No.60 振動計測 No.61 振動計測 No.62 振動計測 No.63 振動計測 No.64 振動計測 No.65 振動計測 No.66 振動計測 No.67 振動計測 No.68 振動計測 No.69 振動計測 No.70 振動計測 No.71 振動計測 No.72 振動計測 No.73 振動計測 No.74 振動計測 No.75 振動計測 No.76 振動計測 No.77 振動計測 No.78 振動計測 No.79 振動計測 No.80 振動計測 No.81 振動計測 No.82 振動計測 No.83 振動計測 No.84 振動計測 No.85 振動計測 No.86 振動計測 No.87 振動計測 No.88 振動計測 No.89 振動計測 No.90 振動計測 No.91 振動計測 No.92 振動計測 No.93 振動計測 No.94 振動計測 No.95 振動計測 No.96 振動計測 No.97 振動計測 No.98 振動計測 No.99 振動計測 No.100	地表面 No.1 CO2 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-6 0.00 vol%	地表面 No.1 CO 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-5 0.14 ppm	地表面 No.1 CH4 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-2 0.00 %LEL	地表面 No.1 風速 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-3 0.40 m/s	地表面 No.1 風向 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-4 南
	地表面 No.1 雨量【1時間】 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-5 0.00 mm	地表面 No.1 外気温度 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-6 6.3 °C	地表面 No.1 温度T1 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-7 6.1 °C	地表面 No.1 温度T2 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-8 6.2 °C	地表面 No.1 温度T3 2014/11/13 09:20 ATH9001/CH-9 6.5 °C

AT9001

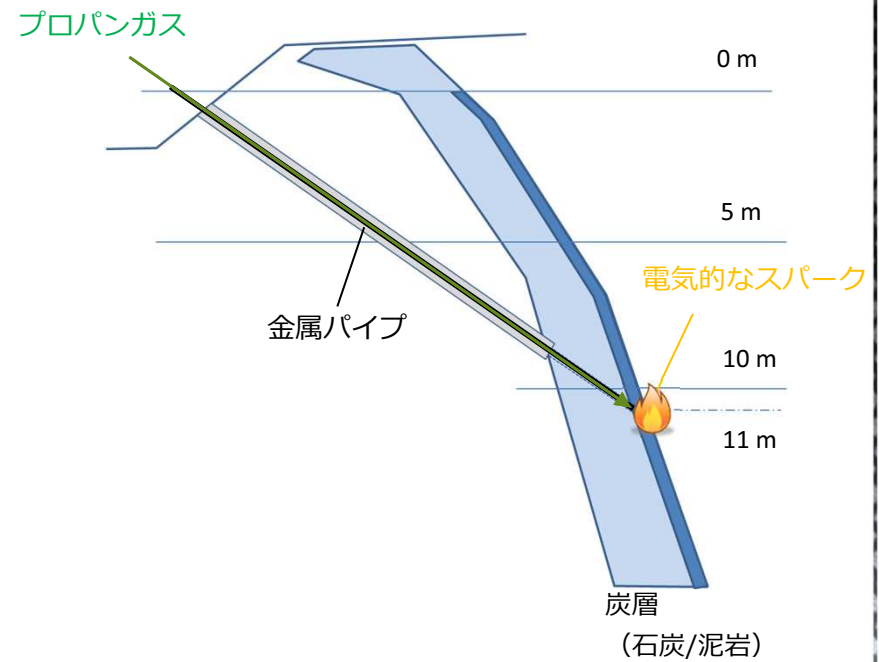
ライブカメラ 設定

# 石炭着火について

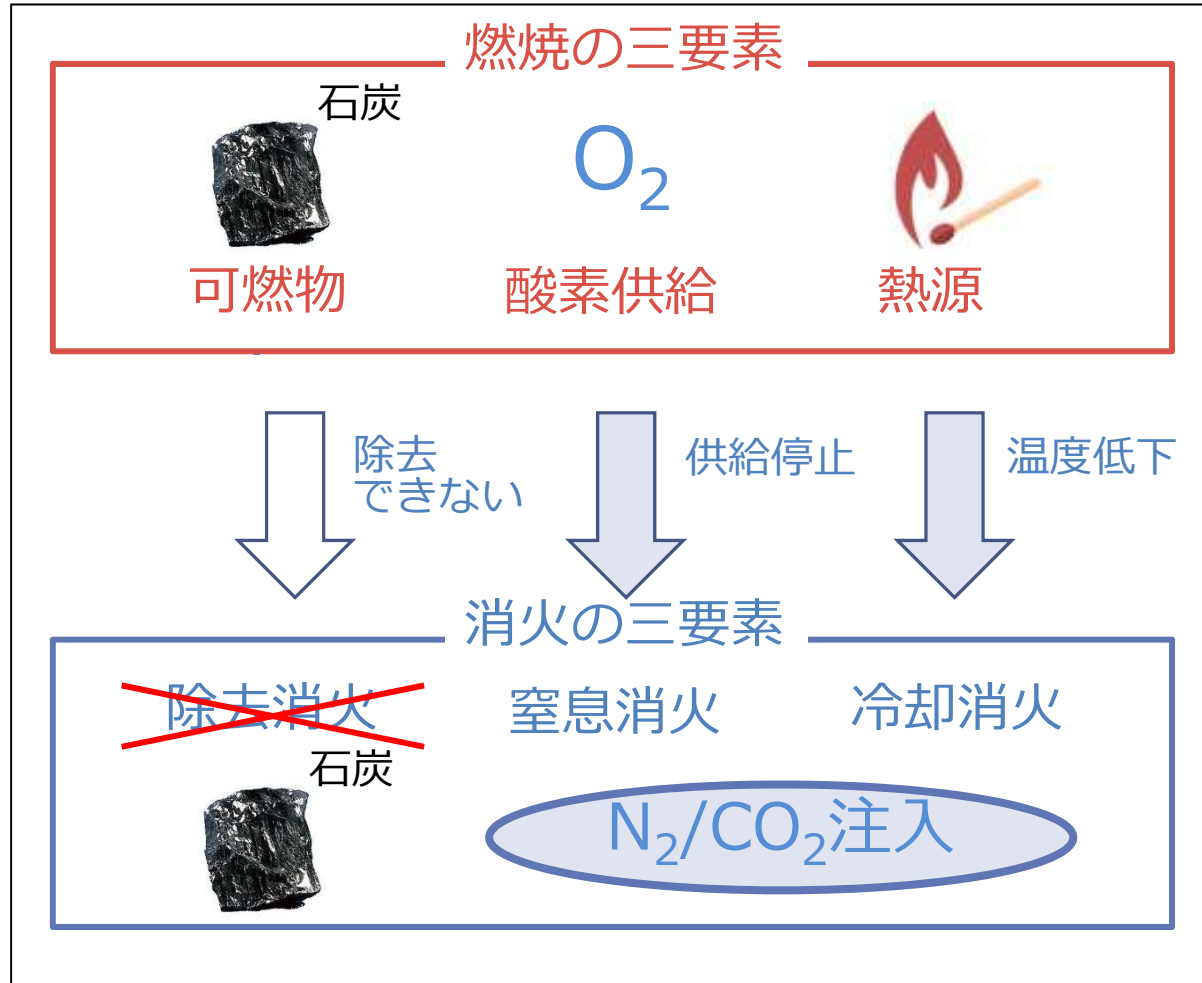
赤熱させたコークス片を投入し、高濃度酸素を注入する。



可塑性のある金属パイプを介してプロパンガスを送り込み、孔底で電気的なスパークによりガスに着火し、プロパンガスの燃焼熱で石炭に着火する。



# 消火について

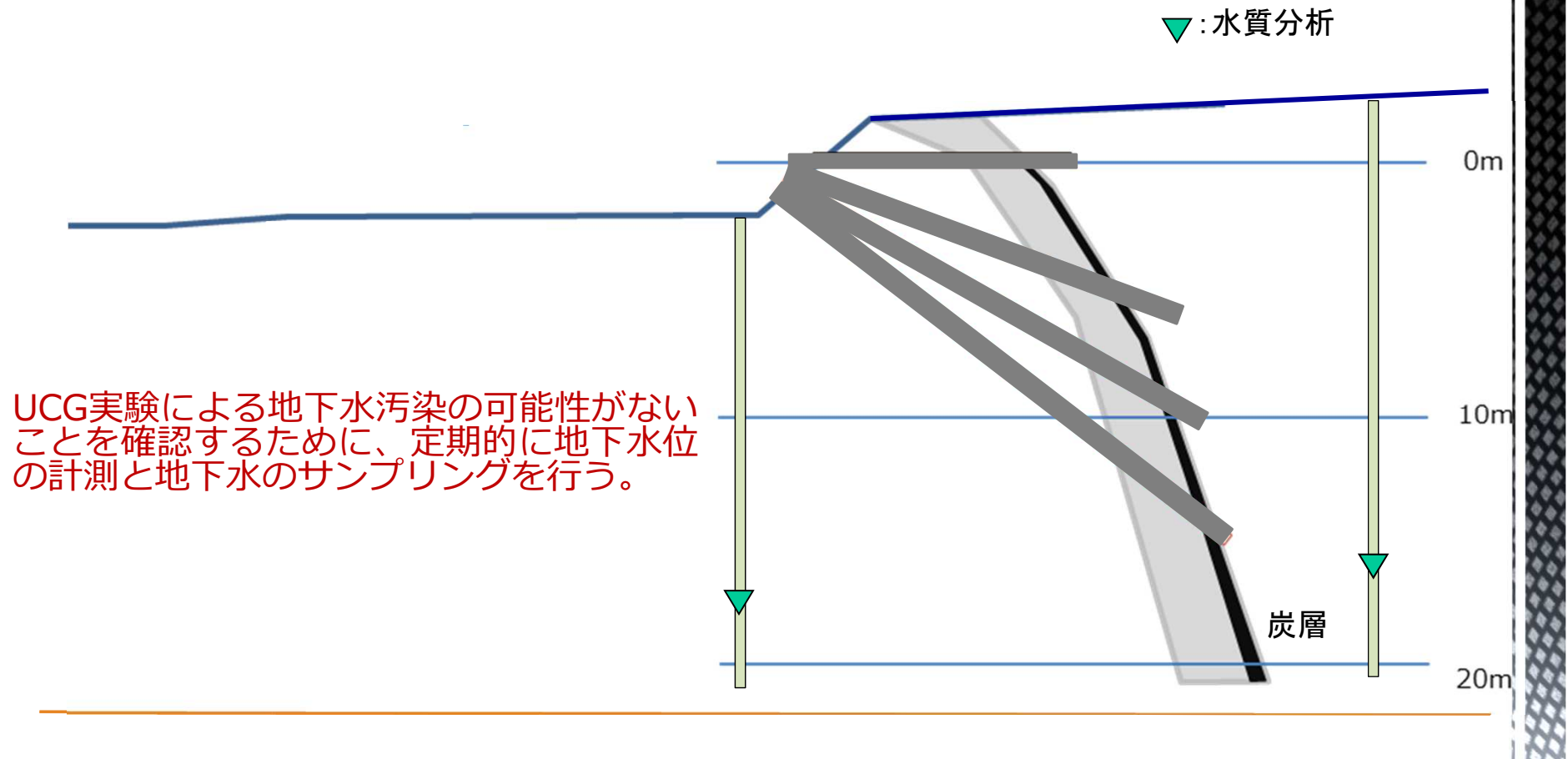




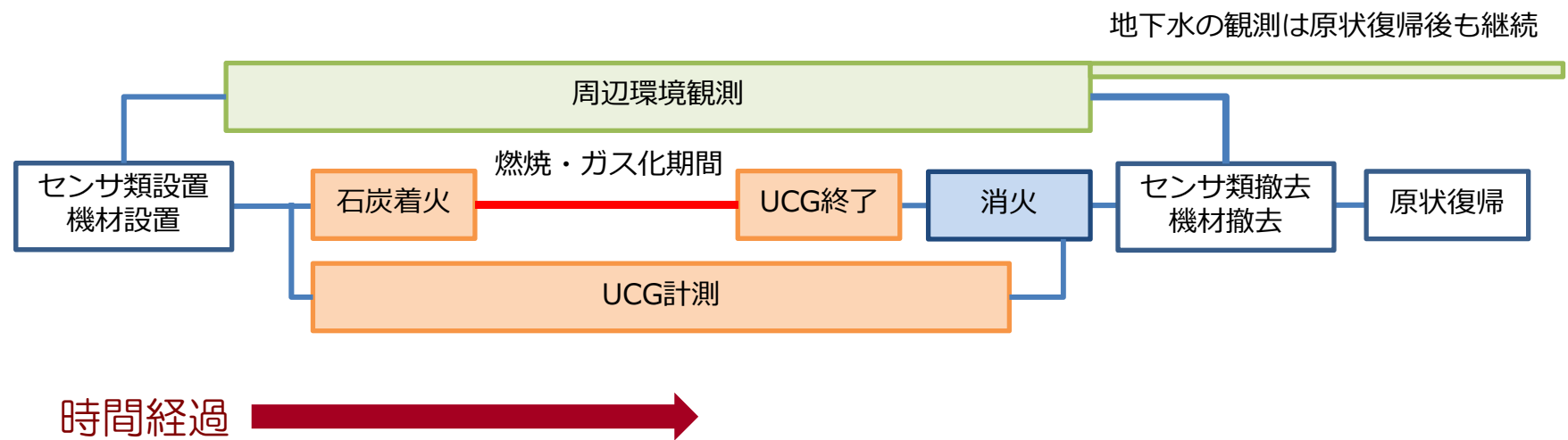
## 実験後の処理

ボーリング孔に固化材を流し込んで空間を充填する。

\*固化材は弱アルカリ性で国の溶出試験をクリアした土壤汚染のない固化剤を選定



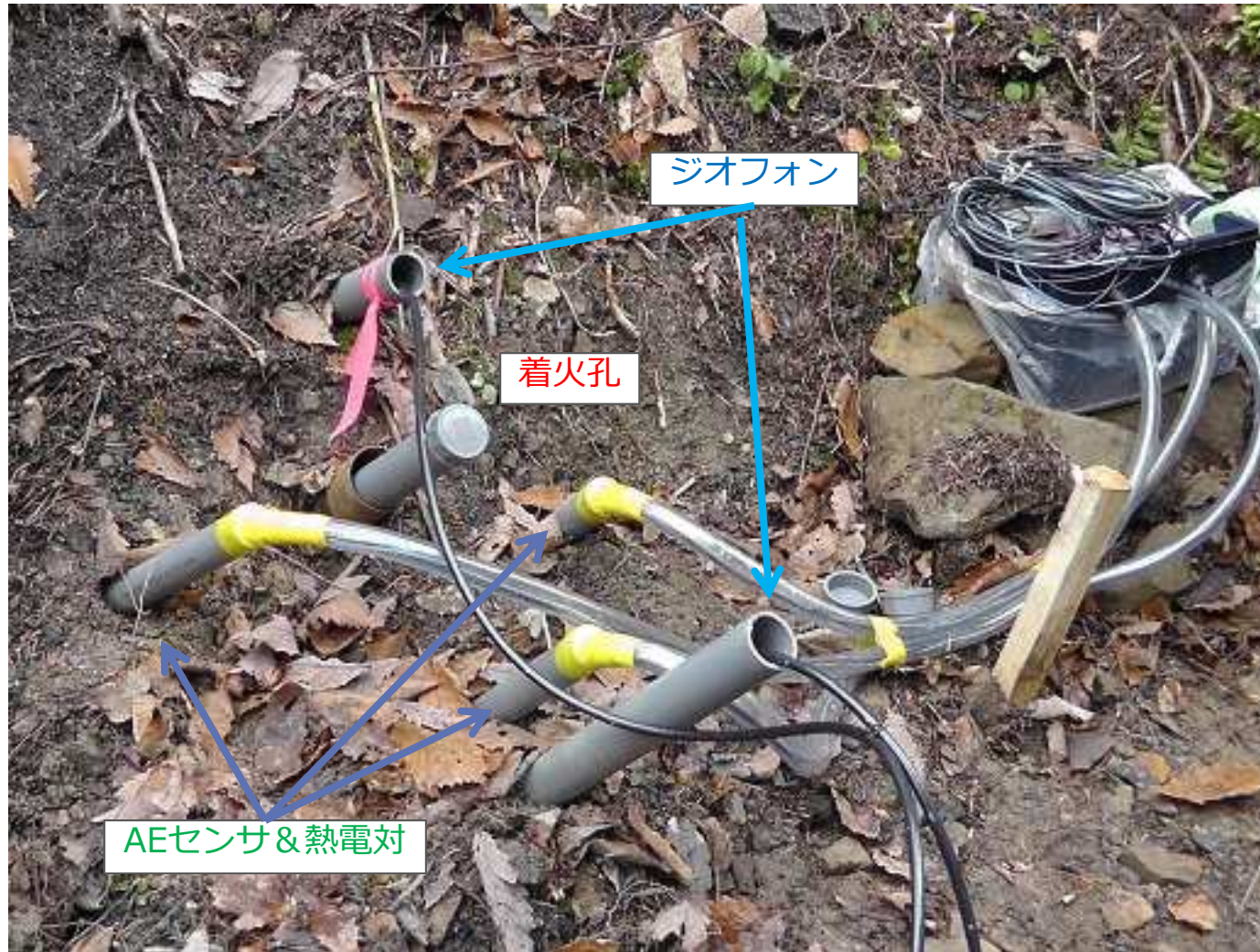
# 現場実験の流れ



## 現場配置



## 現場配置



計測装置	個数
ジオフォン	2
AEセンサ	6
熱電対	3

AEセンサ2つと  
熱電対1つで  
1セット

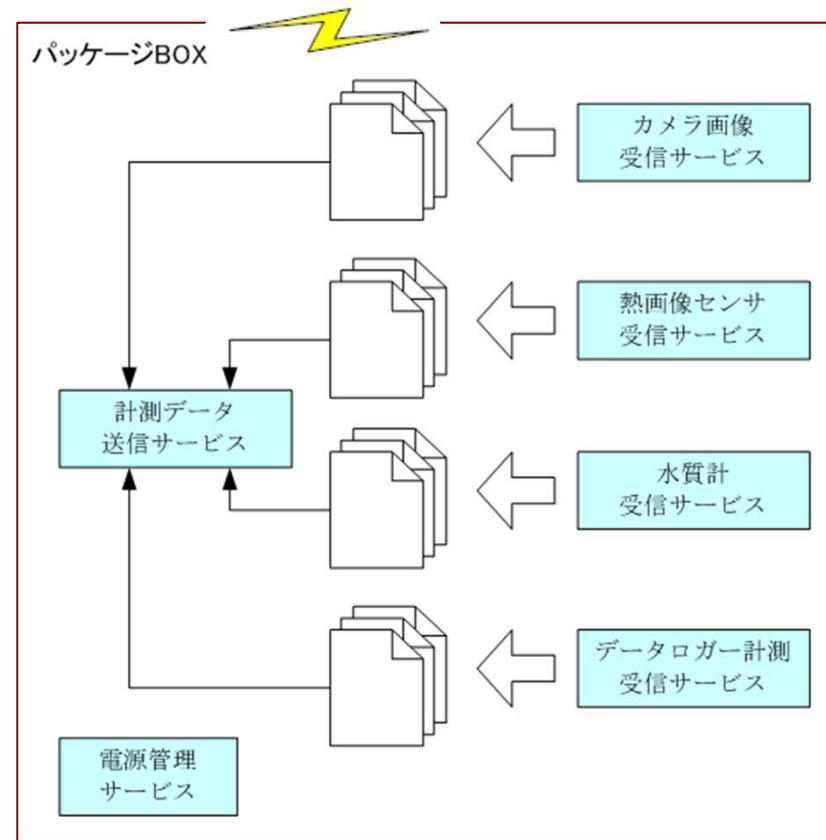
# フィールド監視項目

## ボーリング孔内

- 温度計測部 3個
- ガス検知部 1式
  - CO<sub>2</sub>ガス検知部 3台
  - COガス検知部 3台
  - CH<sub>4</sub>ガス検知部 3台
- 水質計測部 2台
- 水位計測部 1台

## 地表部

- 温度計測部 10台
- ガス検知部 1式
  - CO<sub>2</sub>ガス検知部 1台
  - COガス検知部 1台
  - CH<sub>4</sub>ガス検知部 1台
- 気象計測部 1式
  - 風向風速計測部 1台
  - 雨量計測部 1台
- カメラ画像部 1台



+ 硫化水素 (H<sub>2</sub>S)

## ■ 環境監視システム

- 動作環境: Webブラウザ  
インターネット環境があればどこでも

### ■ 監視項目:

- ガス(CO,CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>S)
- 風速、風向、雨量
- 外気温度、地表温度
- ボーリング孔水質
- 監視カメラ映像
- 赤外線サーモグラフィ



## ecoMo Systems : ログイン画面

テラステーションを検索



# ecoMo Systems : トップ画面

The screenshot displays the ecoMo Systems web interface for '室蘭工業大学' (Soran University). The interface includes a navigation menu on the left, a top navigation bar, and a main data grid. A notification at the top states: 'お知らせ：過去24時間以内にアラートは発生していません。' (Notice: No alerts have occurred in the past 24 hours).

**Navigation Menu (Left):**

- 三笠市UCGのフィールドデータ 伝送・分析
- 地表部 No.1 詳細
- 地表部 No.2 詳細
- ボーリング孔 No.1 詳細
- ボーリング孔 No.2 詳細
- ボーリング孔 No.3 詳細
- ボーリング孔 No.1 水質 詳細
- ボーリング孔 No.2 水質 詳細

**Main Data Grid:**

項目	値	単位
地表部 No.1 CO2	0.00	vol%
地表部 No.1 CO	0.14	ppm
地表部 No.1 CH4	0.00	%LEL
地表部 No.1 風速	0.40	m/s
地表部 No.1 風向	南	
地表部 No.1 雨量【1時間】	0.00	mm
地表部 No.1 外気温度	6.3	℃
地表部 No.1 温度T1	6.1	℃
地表部 No.1 温度T2	6.2	℃
地表部 No.1 温度T3	6.5	℃

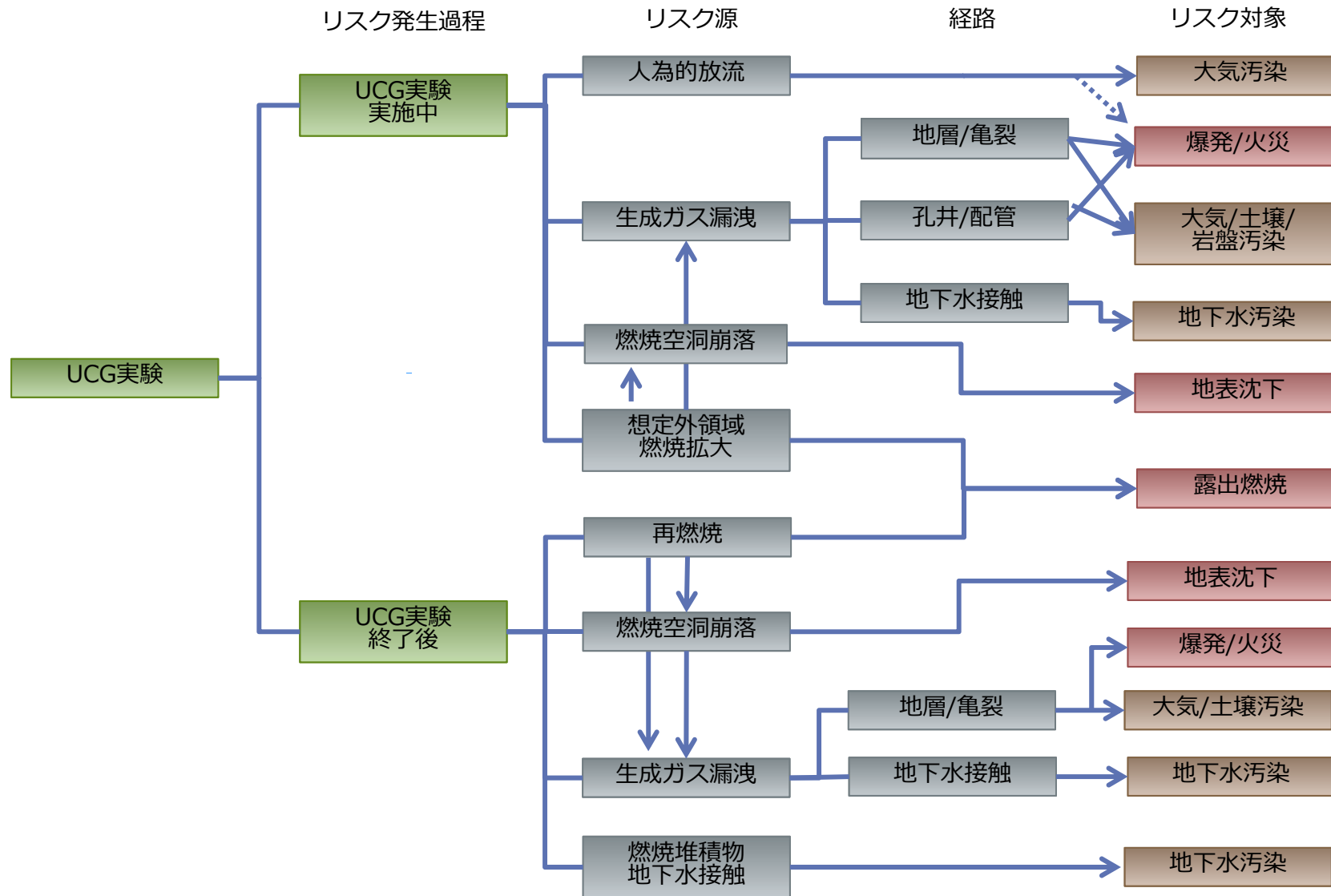
**Live Camera Feed (Bottom):**

ATH9001

ライブカメラ 履歴

+ 赤外線サーモグラフィ画像

# 露頭炭UCG実験に関するリスクの考え方



## 安全対策

### 1) 大気汚染：

常時監視（温度，CO，CO<sub>2</sub>，CH<sub>4</sub>，H<sub>2</sub>Sなど），  
ただし，ガス漏れあり（微量）

生産ガス量の50%以上の漏洩で，消火・充填処理

### 2) 地盤沈下：

なし（最後充填，原状復帰）

### 3) 地下水汚染：

常時監視（ベンゼン，フェノールなどの有機化合物），  
環境基準の許容値を超えたら消火，汚染源回収

### 4) その他

生態系調査等（実験の前後）

消火：

CO<sub>2</sub>注入の後，  
CaCO<sub>3</sub>による吸着  
固化など

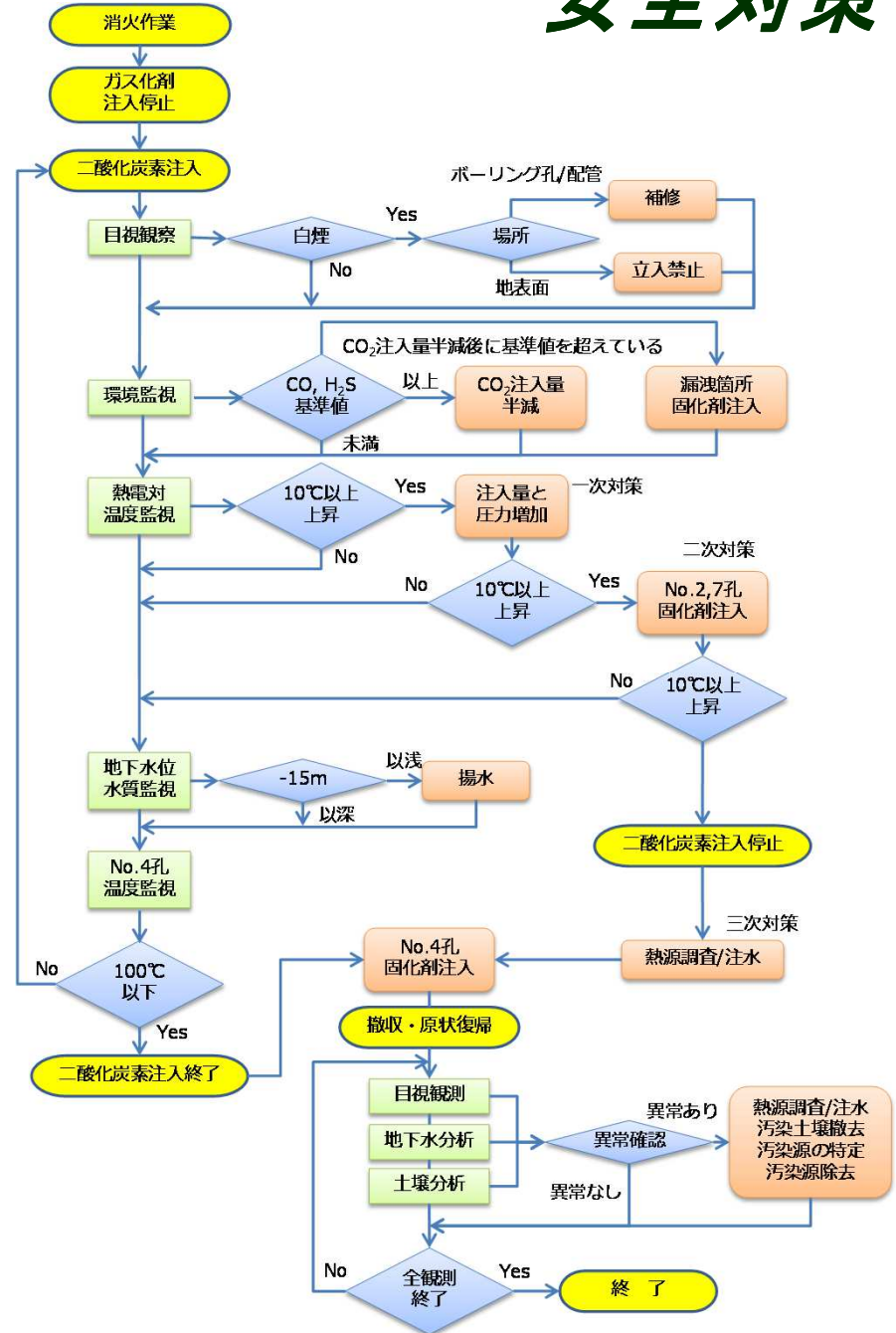
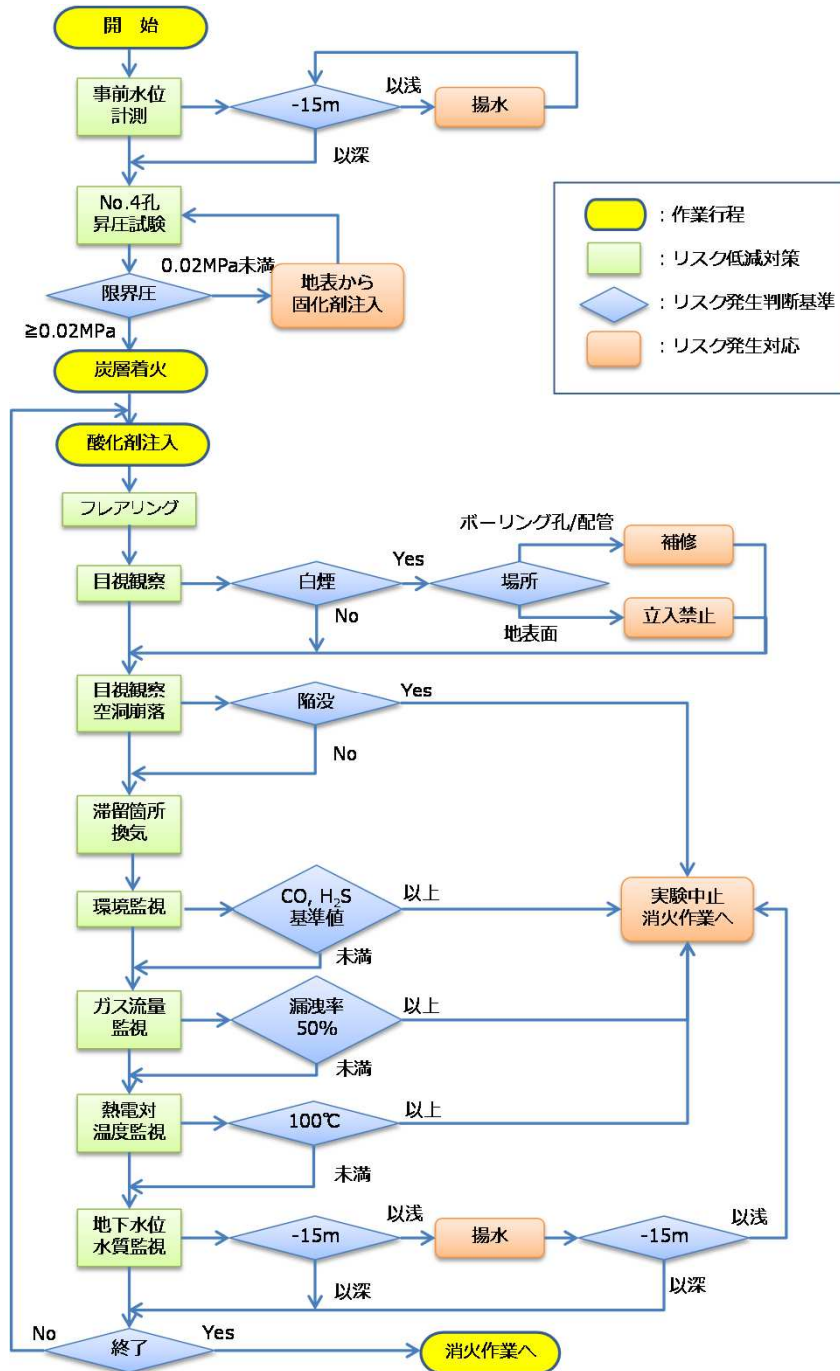


最終年度：原状復帰



計測値の公開（ホームページ，定期的報告会等）

# 安全対策



## 予定スケジュール

項目	2015年						2016年			
	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月
資材・機材準備	■									
各種監視装置の設置		■								
監視		■	■	■	■	■				
透気実験			■							
振動計測実験				■						
環境計測値の公開			■	■	■	■				
報告会					■				■	
データ解析・モデル作成					■	■	■	■		
まとめ・報告書作成								■	■	



# おわり



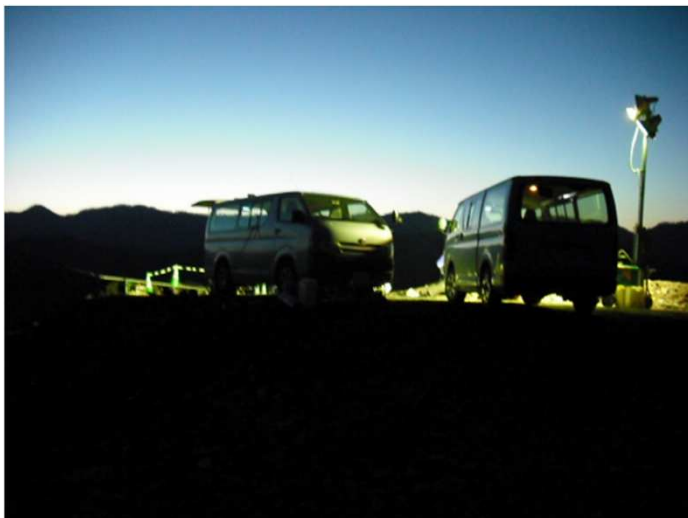
三笠市

室蘭工業大学環境科学・防災研究センター  
NPO法人地下資源イノベーションネットワーク

北海道大学大学院工学研究院

日本UCG研究会

ほか



UCGの夜明け

