

NEDO 水素社会構築技術開発事業・地域水素利活用技術開発

# 三笠市H-UCGによる ブルー水素サプライチェーン構築実証事業

(三笠市H-UCGブルー水素事業)

## 石炭地下ガス化 (UCG)

## 実証試験概要報告

室蘭工業大学 客員教授  
地下資源イノベーションネットワーク  
理事長 出口剛太

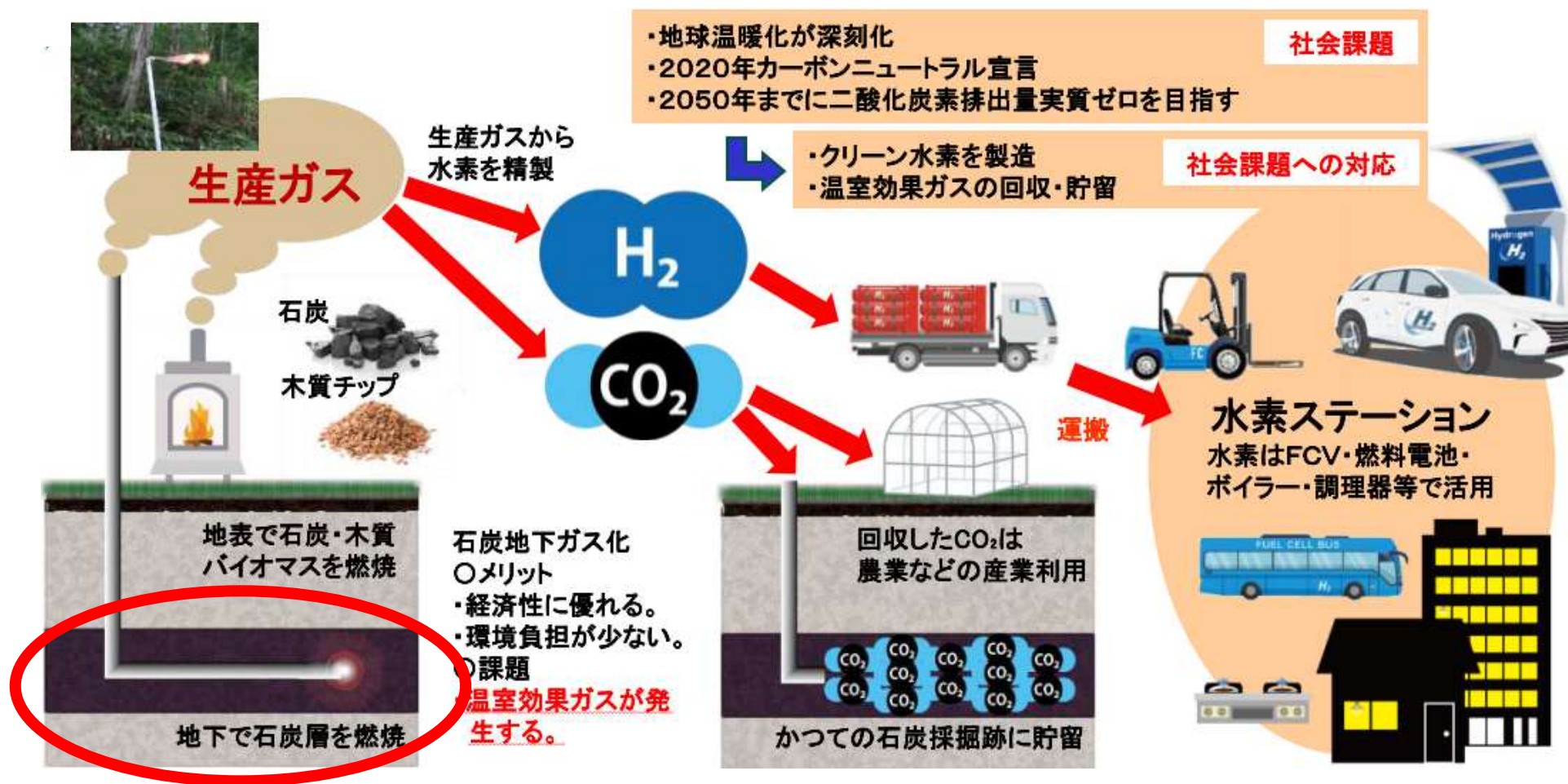


北海道大学、九州大学のUCG学生チーム (2025年9月12日)

# 三笠市H-UCGブルー水素事業概要

- 三笠市は、地域資源の石炭と木質バイオマスを用いた

**ブルー水素（低炭素水素）サプライチェーン構築実証事業**に取り組んでいる





# UCG・地表ガス化・ブルー水素製造実証プラントの位置関係

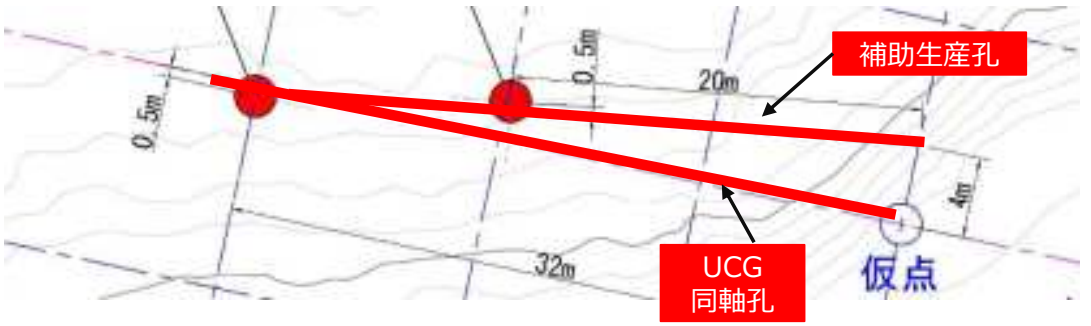
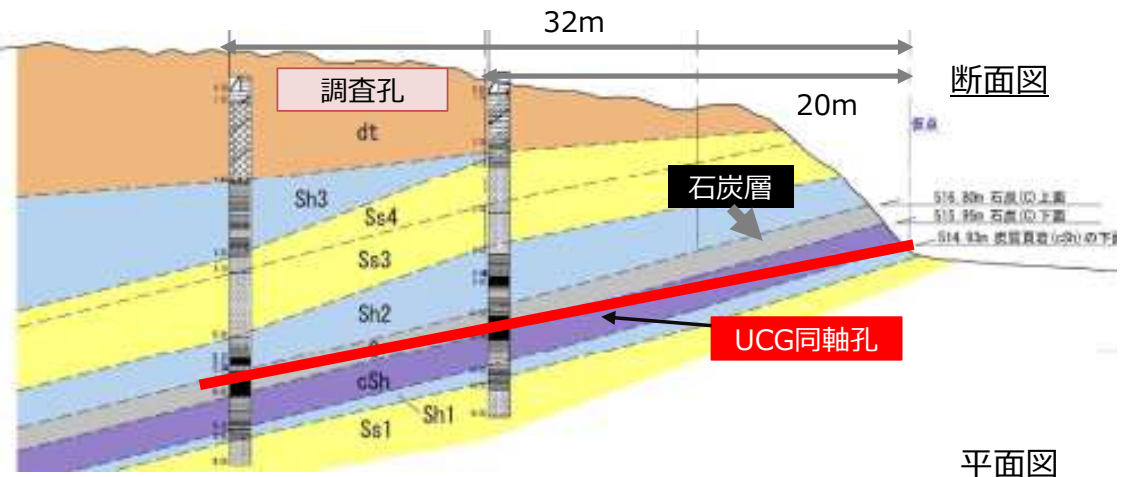


# UCG実証試験現場・UCG孔配置

- ・ 砂子炭鉱第3工区最上部露頭炭を対象としてUCG実証試験を実施
- ・ 先端で交差する孔長30mのUCG孔（同軸孔と補助生産孔）を掘削
- ・ 同軸孔内で石炭に着火、UCGガスは同軸孔と補助生産孔 両孔から回収



実施現場の状況



地質柱状図・断面図とUCG孔の配置

# UCG孔掘削コア



同軸孔の掘削コア  
18m～30m



補助生産孔の掘削コア  
17m～33m

# UCG孔の状況

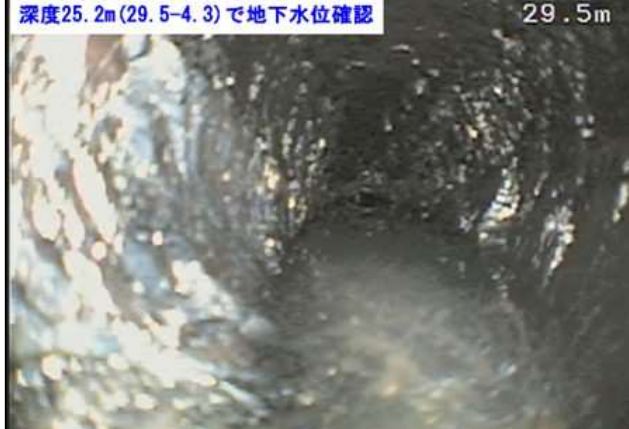


エアリフトによる孔内排水状況  
(先端での交差を確認)



掘削完了後のUCG孔 (同軸孔と補助生産孔)

# UCG孔の孔内状況



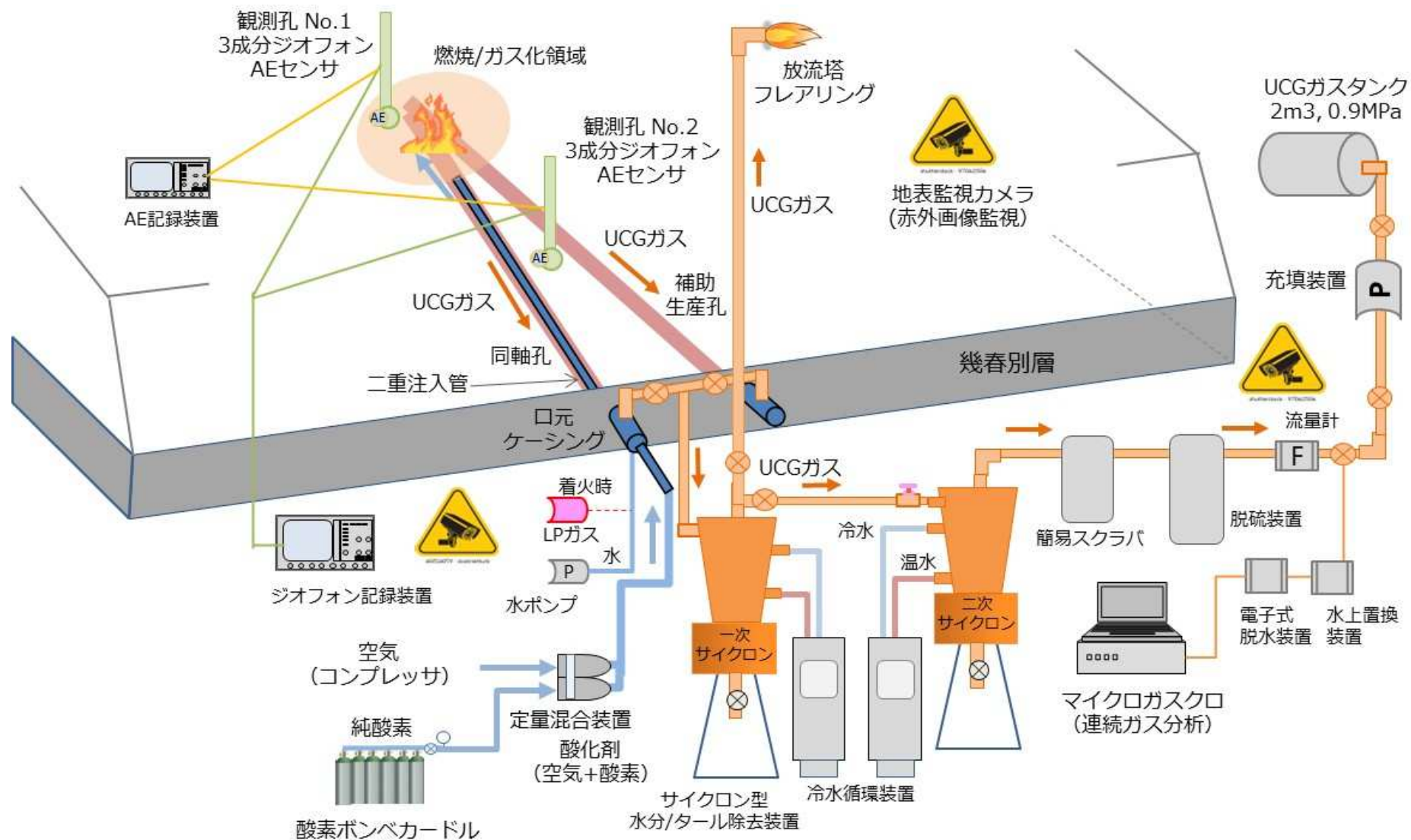
掘削直後の同軸孔内の水の状況  
23m付近より湧水（左），25mより奥部は水没



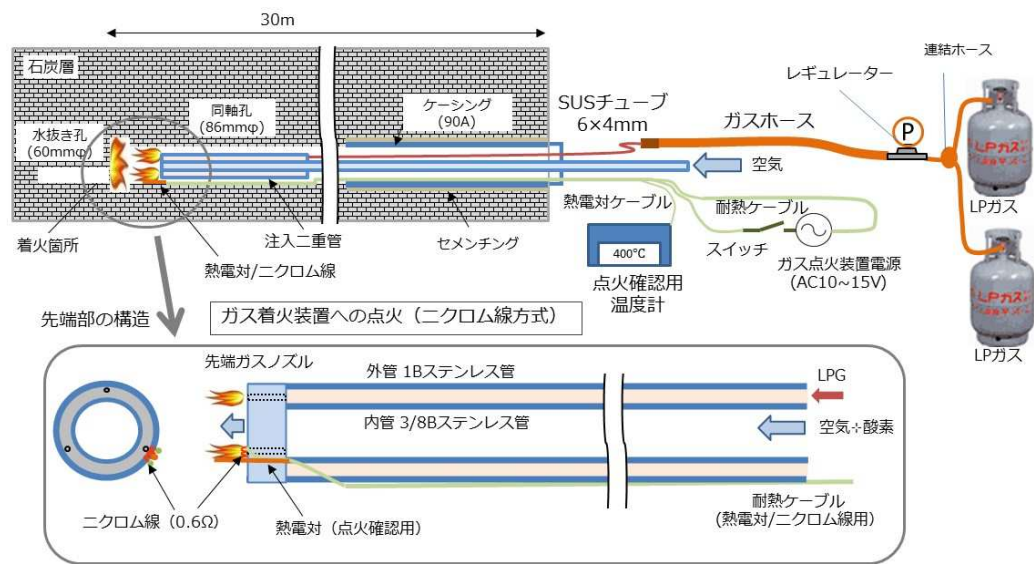
水抜き後の同軸孔と補助生産孔の交差部  
水位は30m付近まで後退, 圧縮空気により加圧することで壁面の水滴消失



# UCG実証試験プラント概要



# UCG孔内での石炭への着火



着火装置概念図



石炭に着火直後の黒煙発生状況



1回目の着火では水蒸気のみが発生し石炭への着火には至らず



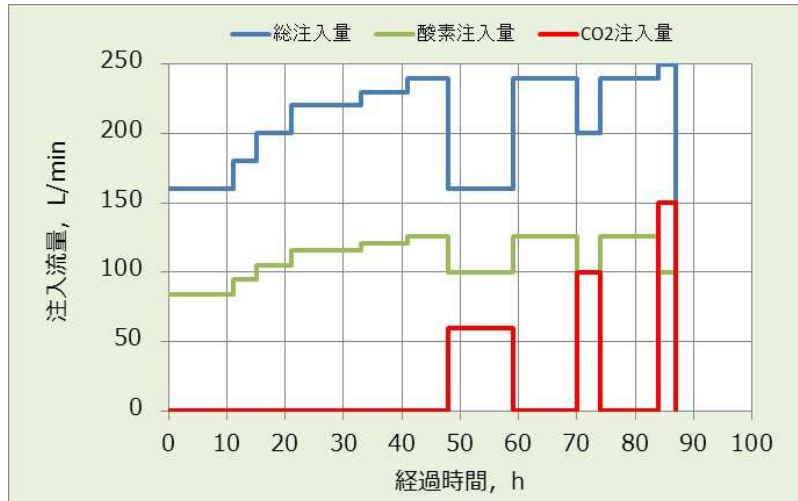
UCGガスフレアリングの状況

# UCG実証試験結果（概要）

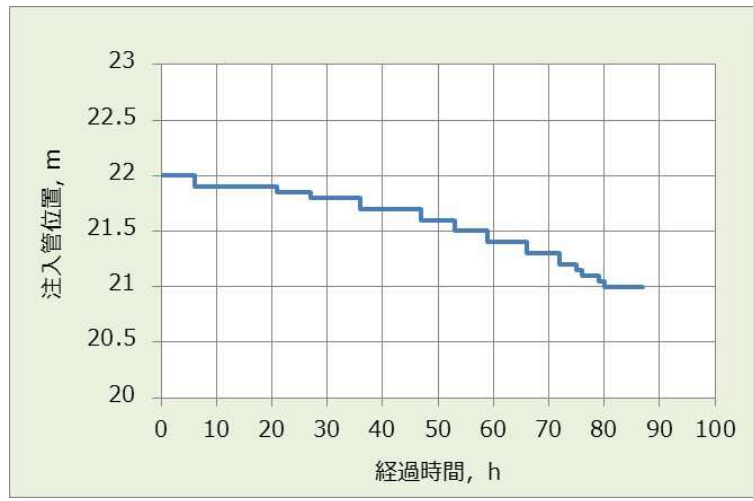
- ・ 水の影響で石炭への着火に時間を要したが着火後は目標値以上のUCGガスを連続生産
- ・ **酸素+空気**（酸素濃度53%）のガス化試験を68時間
- ・ **酸素+CO<sub>2</sub>**（酸素濃度60%, 50%, 40%）のガス化試験を19時間  
 水素製造過程で分離回収されるCO<sub>2</sub>の循環利用  
 窒素成分の排除
- ・ 水素製造プラントへのUCGガスの輸送  
 タンクに0.75~0.85MPaでUCGガスを充填し輸送
- ・ ガス化空洞充填（CCUS）  
 ガス化終了後のガス化空洞にCO<sub>2</sub>固化スラリーを充填  
 1か月後に固化状況を確認

UCG実証試験の目標と実績

| 項目                         | 目標   | 実績  |   |       |
|----------------------------|--|---|---|-------|
|                            |  | 平均  | 最大  |       |
| ガス化石炭量                     | 10kg/h   | 10.8kg/h  | 15.5kg/h  |       |
| UCGガス生産量(含N <sub>2</sub> ) | 30Nm <sup>3</sup> /h                             | 29Nm <sup>3</sup> /h                            | 41Nm <sup>3</sup> /h                              |       |
| UCGガス成分                    | H <sub>2</sub>                                   | >20%  | 24.2%   | 31.7% |
|                            | CO   | >20%  | 32.3%   | 40.7% |
|                            | CO <sub>2</sub>                                  | <20%  | 14.0%   | 20.1% |
| 酸化剤酸素濃度                    | 35~40%   | 53%   | 53%   |       |
| 酸化剤注入量<br>(酸素注入量)          | 15~17Nm <sup>3</sup> /h<br>(6Nm <sup>3</sup> /h) | 13.3Nm <sup>3</sup> /h<br>(7Nm <sup>3</sup> /h) | 14.4Nm <sup>3</sup> /h<br>(7.6Nm <sup>3</sup> /h) |       |
| 継続時間                       | 100 時間   | 87 時間   |   |       |



UCG実証試験の酸化剤注入条件

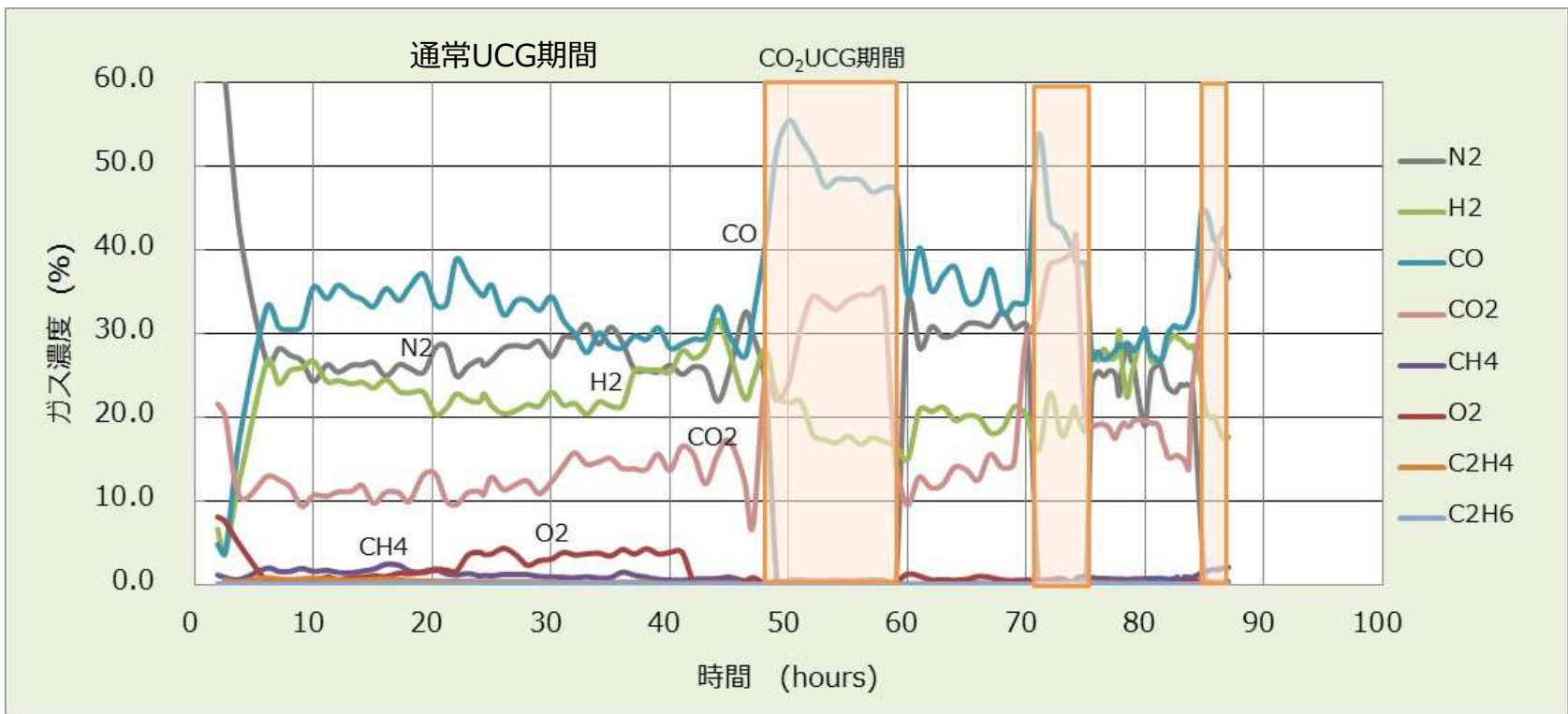


UCG実証試験の注入管先端位置の変化

# UCG実証試験結果 (ガス成分)

- ・ マイクロガスクロにより1時間毎のUCGガス成分を分析
- ・ CO<sub>2</sub>UCG実施期間を除いて各ガス成分濃度は比較的安定した変化

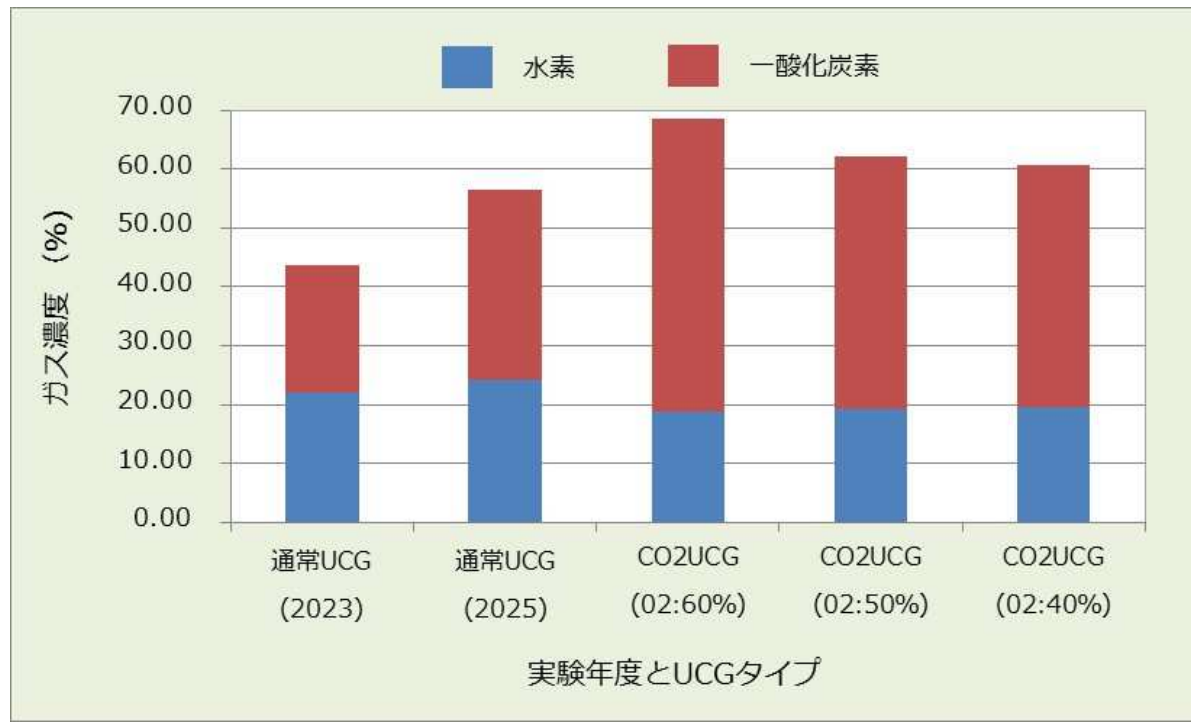
**水素 : 20%~30%**  
**CO : 30%~40%**  
**CO<sub>2</sub> : 10%~20%**



UCG実証試験期間中のUCGガス成分の変化

# CO<sub>2</sub>UCGの結果

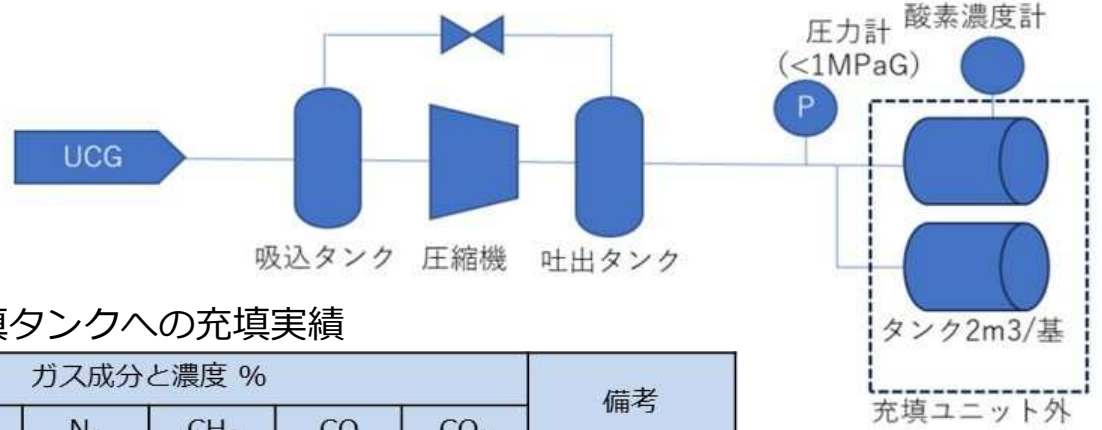
- 酸素注入量は同じで、CO<sub>2</sub>量を変化させた3パターン（酸素濃度60%、50%、40%）の実験を実施
- UCGガス成分には窒素がほぼ検出されず、CO濃度が増加する傾向
  - 通常UCG : CO濃度平均32%
    - ➡ CO<sub>2</sub>UCG (O<sub>2</sub>:60%) : CO濃度平均50%
- 通常UCGに比べ水素濃度は若干低下する傾向（注入酸素量の減少に起因する可能性?）
- CO<sub>2</sub>UCGのメリット
  - 分離・回収されるCO<sub>2</sub>の循環再利用
  - COの水性ガスシフト反応により大幅な水素増産
  - 注入CO<sub>2</sub>の一部がCOに転換 ➡ CO<sub>2</sub>削減 (C+CO<sub>2</sub> → 2CO)
  - 水素精製プラントでの窒素分離負荷の減少
  - 窒素酸化物の発生抑制
- CO<sub>2</sub>UCGのデメリット
  - 空気中の酸素が利用できない ➡ 酸素製造コスト増



通常UCGとCO<sub>2</sub>UCGのガス成分比較 (水素とCO)

# UCGガスの水素製造プラントへの輸送

- ・ガス洗浄後のUCGガスを充填装置を用いてタンクに貯蔵  
 充填圧 0.75~0.86MPa, タンク容量2m<sup>3</sup>
- ・充填後のタンクは水素製造プラントにトラック輸送
- ・UCGガスを原材料として、高純度水素製造を確認
- ・CO<sub>2</sub>分離・回収にも成功



UCGガス充填タンクへの充填実績

| タンク No. | 内圧 MPa | ガス成分と濃度 %      |                |                |                 |      |                 | 備考                  |
|---------|--------|----------------|----------------|----------------|-----------------|------|-----------------|---------------------|
|         |        | H <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CO   | CO <sub>2</sub> |                     |
| No.1    | 0.85   | 16.9           | 0.5            | 7.1            | 0.06            | 45.3 | 28.3            | CO <sub>2</sub> UCG |
| No.2    | 0.75   | 18.6           | 0.7            | 39.5           | 0.06            | 29.3 | 10.8            | 通常UCG               |
| No.3    | 0.86   | 16.4           | 0.6            | 33.0           | 0.11            | 32.3 | 16.4            | 混合UCG               |



UCGガス充填装置



UCGガス充填タンク

# UCG空洞の充填 (CCUS)

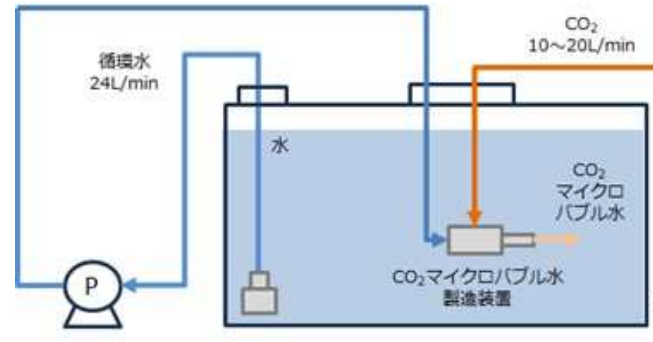
- BFS : FA : マイクロバブル炭酸水 = 1:1:1 (重量比)
- UCG孔の容積を除いて0.8m<sup>3</sup>のスラリーを注入
- 注入量はガス化炭量に相当
- 一か月後にコアボーリング実施 ➡ 固化を確認



スラリー充填状況



固化物の回収コアの一部 (同軸孔内19m~24m)



マイクロバブル炭酸水の製造



## UCG空洞充填実績

| 回数 | 注入対象  | 開始    | 終了    | 注入量   | MB水 | CO2量 | 備考     |
|----|-------|-------|-------|-------|-----|------|--------|
|    |       |       |       | L     | L   | kg   |        |
| 1  | 同軸孔   | 10:15 | 10:20 | 200   | 100 | 2.8  |        |
| 2  | 同軸孔   | 10:25 | 10:30 | 200   | 100 | 2.8  |        |
| 3  | 同軸孔   | 10:36 | 10:42 | 200   | 100 | 2.8  |        |
| 4  | 同軸孔   | 10:50 | 10:56 | 150   | 75  | 2.1  | 口元より流出 |
| 5  | 補助生産孔 | 11:00 | 11:03 | 50    | 25  | 0.7  |        |
| 6  | 補助生産孔 | 11:10 | 11:17 | 200   | 100 | 2.8  |        |
| 7  | 補助生産孔 | 11:25 | 11:28 | 100   | 50  | 1.4  | 口元より流出 |
| 合計 |       |       |       | 1,100 | 550 | 15   |        |

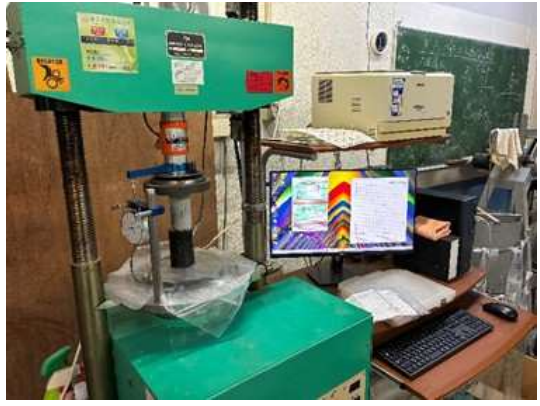
# 充填スラリー固化体の物性

- 強度特性

固化したスラリーはコンクリート並みの強度を有することを確認

充填スラリー固化体の強度試験結果

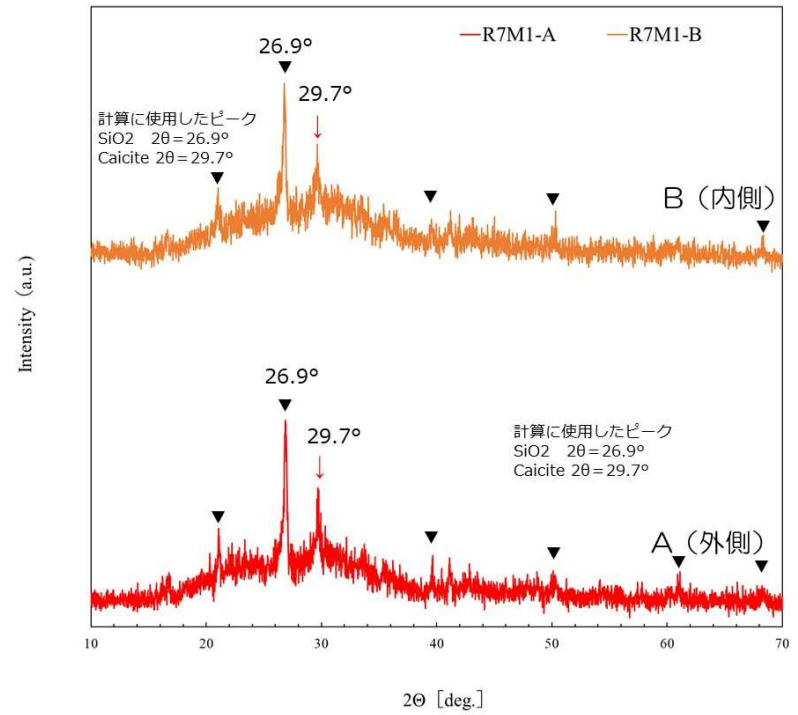
| サンプル | 密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | P波速度 (m/sec) | 含水比 (%) | 圧縮強度 (MPa) |
|------|-------------------------|--------------|---------|------------|
| K1-1 | 1.67                    | 2578         | 39.0    | 2.7        |
| K1-2 | 1.66                    | 2606         | 38.0    | 4.6        |
| K2-1 | 1.62                    | 2132         | 36.3    | 2.4        |
| K3-1 | 1.63                    | 2130         | 36.1    | 3.9        |



単軸圧縮試験

- 成分分析 (XRD分析)

- ▼ SiO<sub>2</sub>の主要ピーク
- ↓ 炭酸カルシウム (CaCO<sub>3</sub>) の主要ピーク



- CO<sub>2</sub>固定量評価 (熱重量測定)

注入したCO<sub>2</sub>の45%程度が炭酸カルシウムとして固定されていることを確認

# 今後に向けて

---

## 事業化に向けた課題

### ■ UCG孔掘削

傾斜掘削：炭層傾斜に沿ったV字連結孔（同軸孔/補助生産孔）の掘削（従来技術で可、適応現場少ない）

方向制御掘削：掘削途中から方向を変え炭層内掘削へ（大幅なコスト削減が必用）

炭層条件の把握：物理探査等により、探査ボーリング間の炭層の連続性や傾斜の急変等を把握する必要性

### ■ 石炭への着火

ポンプ排水・加圧乾燥方法に目途

先端LPガスノズルの方向（孔壁向き）と火力アップ/LPガスへの点火方法の再検討

### ■ 酸化剤の供給

二重管方式注入管の移動方式の再検討（コイルドチューブ代替案：低コスト化）

酸素供給方法（液化酸素or酸素発生装置？）

CO<sub>2</sub>供給方法（水素製造プラントから供給？）

### ■ ガス洗浄/流量計測

化学プラント等で実績のあるガス洗浄/流量計測の採用

### ■ 機器の大型化

機材・配管の大型化に伴う機械力の導入（ボーリング機等の活用）

事業化に向けてはUCGガス生産の低コスト化が不可欠。技術的な課題の解決策やコスト低減についての検討を進めるため、フィージビリティスタディ（NEDO補助事業）などの活用が望ましい。