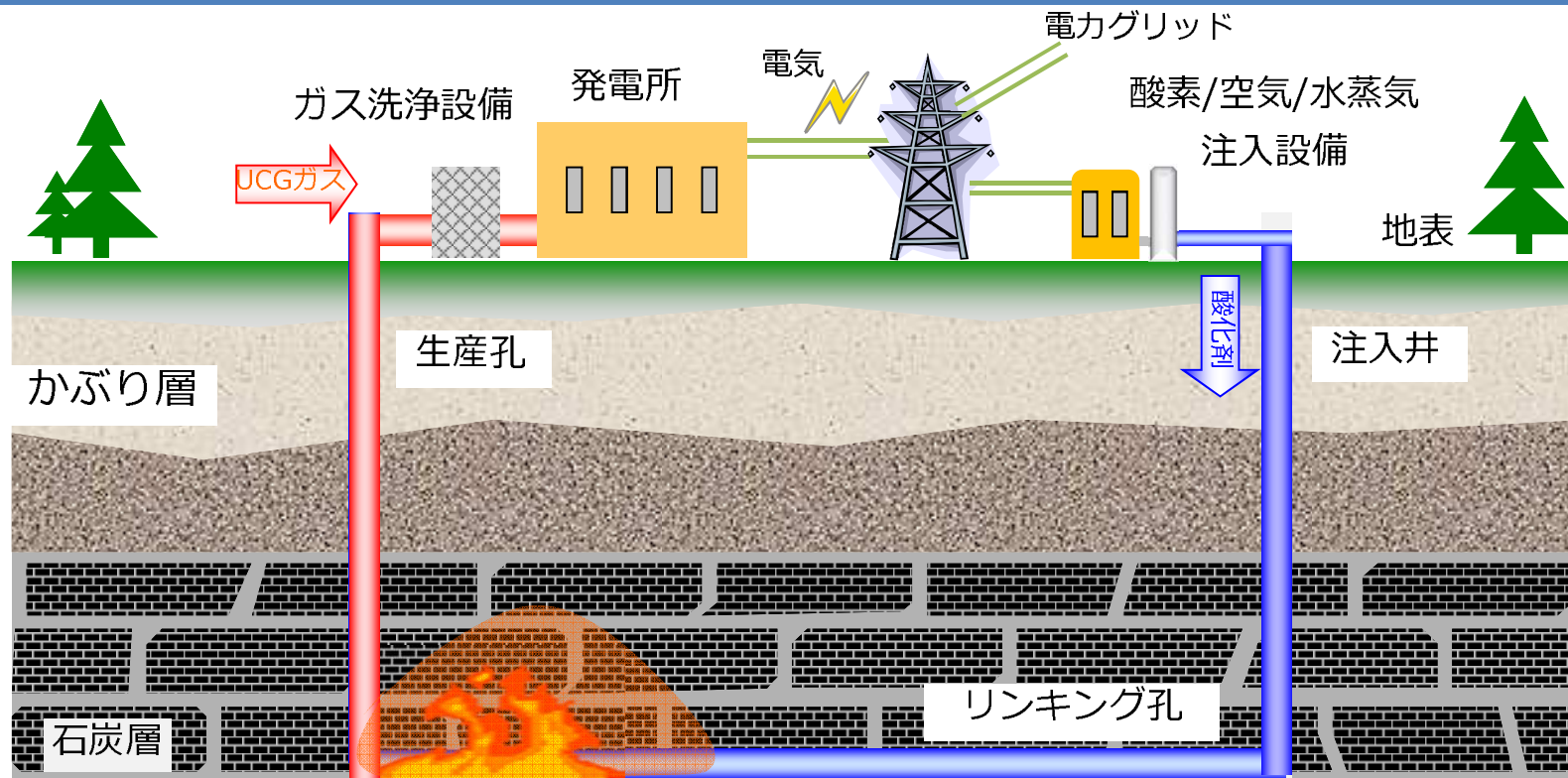


三笠市委託事業
石炭地下ガス化(UCG)実験

石炭ブロックを用いた
大型基礎実験の概要と成果

石炭地下ガス化 (UCG) とは？

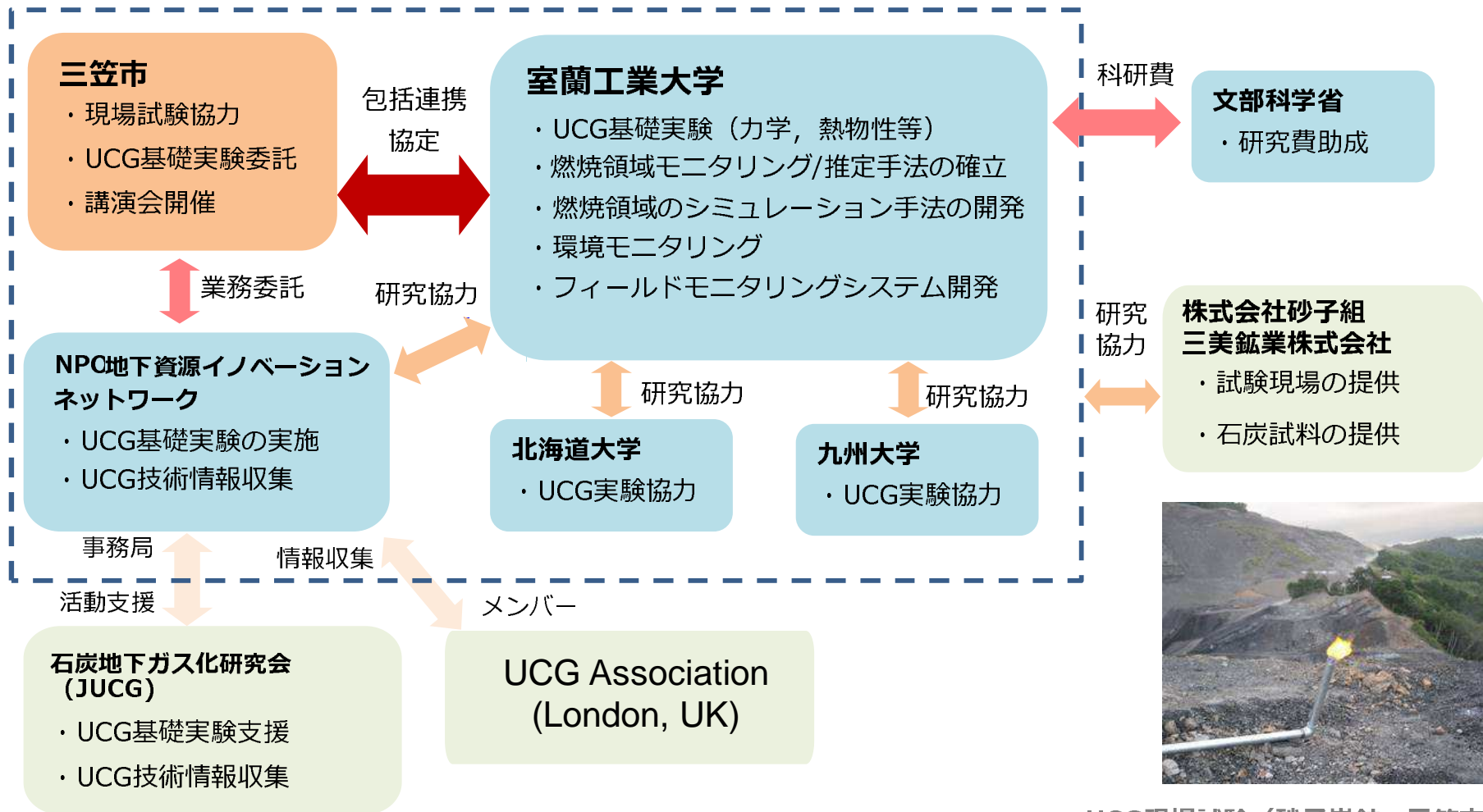


- 石炭を採掘することなくエネルギーを回収
- 未利用石炭を活用-埋蔵炭量の増加
- 大型ガス化炉の建設が不要 (コスト削減)
- 石炭灰処理の問題解決
- 汚染物質排出(SO_x, NO_x, 水銀等) の減少
- CO₂貯留の可能性

- ガス化プロセスの制御が難しい
- 生成ガス流量/濃度が不安定
- 燃烧空洞の崩壊による地表沈下
- ガス漏洩による環境/地下水汚染

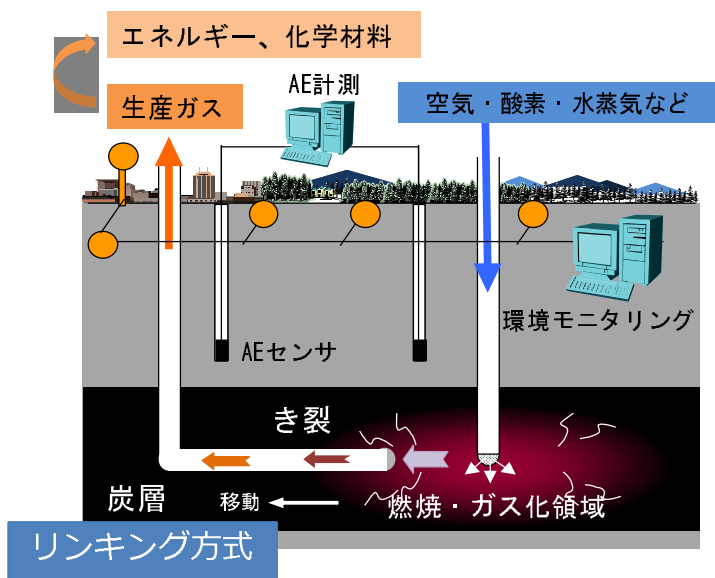
国内におけるUCG技術開発 研究協力体制

三笠未利用石炭エネルギー研究施設



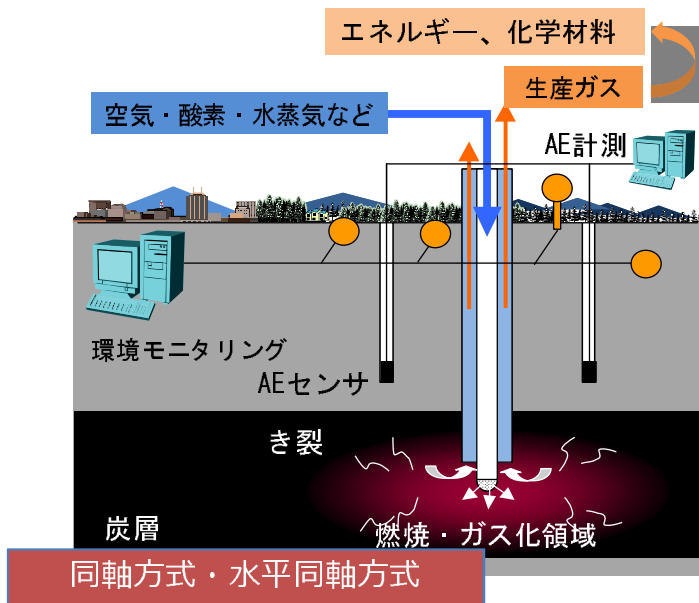
UCG現場試験（砂子炭鉱, 三笠市）
2011年8月22日

UCG基礎実験 二つのシステム開発



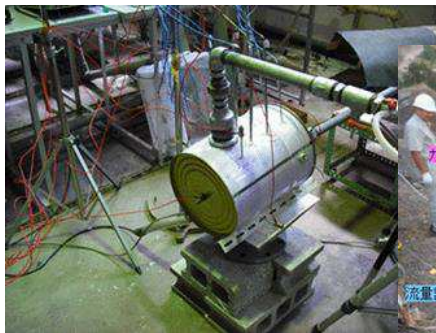
地下深部の石炭層を対象とするUCG実証実験や商業生産を実施するために必要な、基礎的な様々なデータを収集する

- リンキング、垂直同軸、水平同軸方式の違いは？
- どのようなガスがどれほど生産されるか？
- 注入するガス化剤（酸素や空気）による違いは？
- 燃焼領域・ガス化領域はどのように拡大するか？
- 燃焼領域の温度は？
- 消火方法は？
- 実規模のUCGで注意すべき点は？

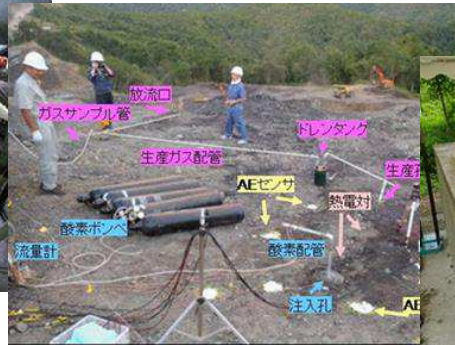


UCG基礎実験の実施経緯

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
空蘭工業大学 実験室	← 石炭小ブロックUCG実験 →								
三笠未利用石炭 エネルギー 研究施設			石炭小ブロックUCG実験	← 人工炭層UCG実験 →			← ブロック炭UCG実験 →		
砂子炭鉱/美唄層 (三笠市)			露天炭鉱UCG実験						



石炭小ブロック実験



露天炭鉱実験



人工炭層実験



ブロック炭実験

UCG大型基礎実験の概要

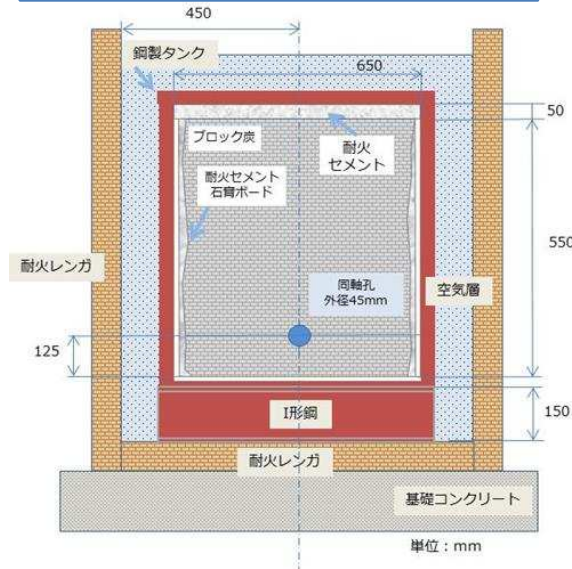
三笠市UCG実証実験委託業務として実施



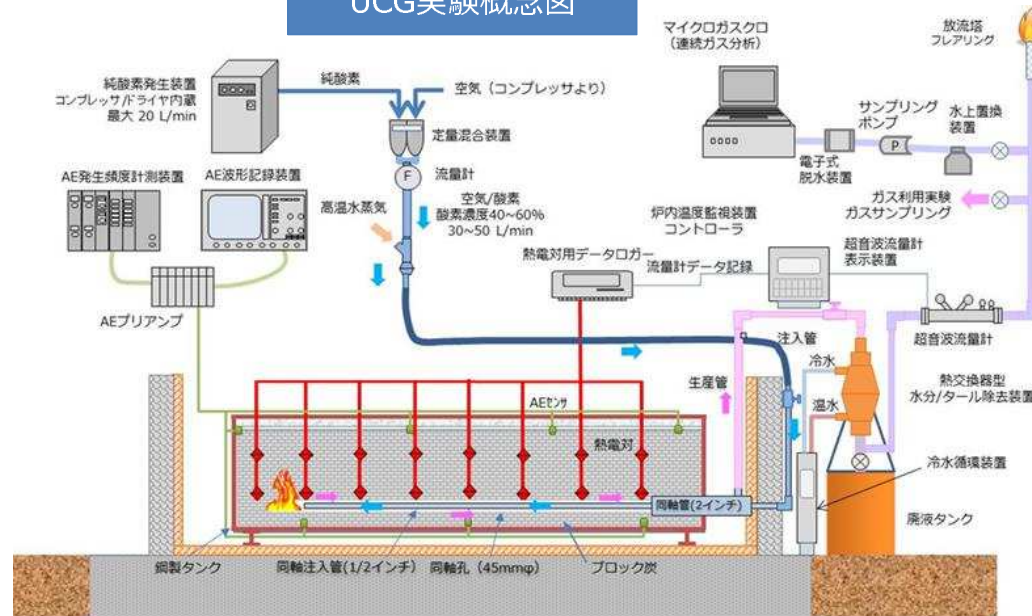
UCG実験炉



大型ブロック炭試料の構成



UCG実験概念図



水平同軸UCG：水平に穿孔した同軸孔の先端部で着火し、口元に向けて順次燃焼/ガス化領域が拡大

UCG大型基礎実験 石炭ブロックの採取



写真 2-1 重機による切削作業



写真 2-2 人力による切出し作業



写真 2-3 ブロック形状の最終整形



写真 2-4 切出した石炭に鋼製容器を被せる

UCG大型基礎実験 計測/観測項目

- ガス化剤（空気/酸素/水蒸気）注入量
- 生成ガス流量（超音波流量計による）
- 生成ガス成分
（マイクロガスクロによる連続観測、30分～1時間毎）
- 生成ガスサンプリング
（大学研究室での詳細分析用、1日数回）
- 炭層内温度/生成ガス温度（高温用熱電対埋設）
- AE（微小破壊音）（6～8点、発生頻度計測と震源解析）
- 二酸化炭素・窒素注入による消火効果（主に温度計測）
- 実験終了後の燃焼・ガス化領域の観察（解体調査）

ガス化剤（空気/酸素）注入

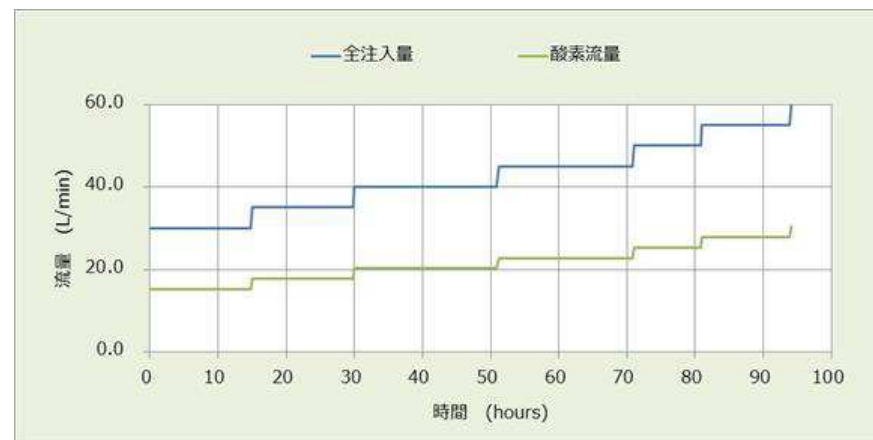
混合気体(酸化剤)

注入孔へ

流量計付
定量混合装置



コンプレッサ



乾燥装置

圧縮空気

純酸素

酸素分離供給装置

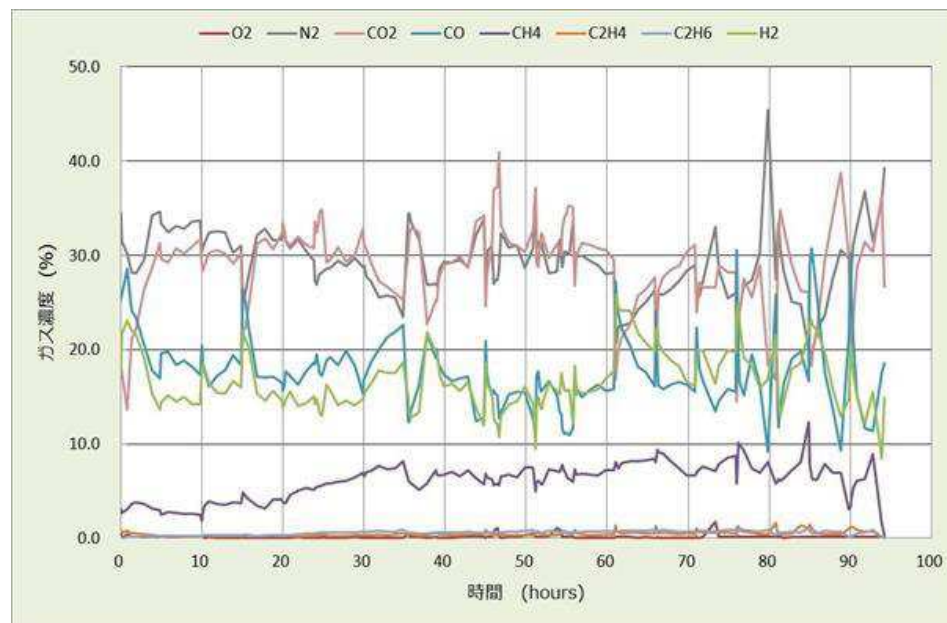


生成ガスの成分と発熱量

マイクロガスクロ



生成ガス成分解析結果(上) と発熱量(下)

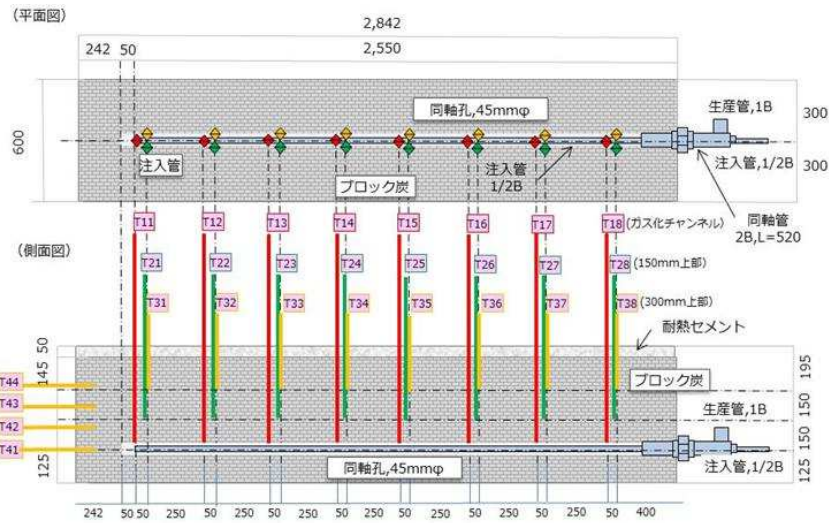


生成ガスのフレアリング処理



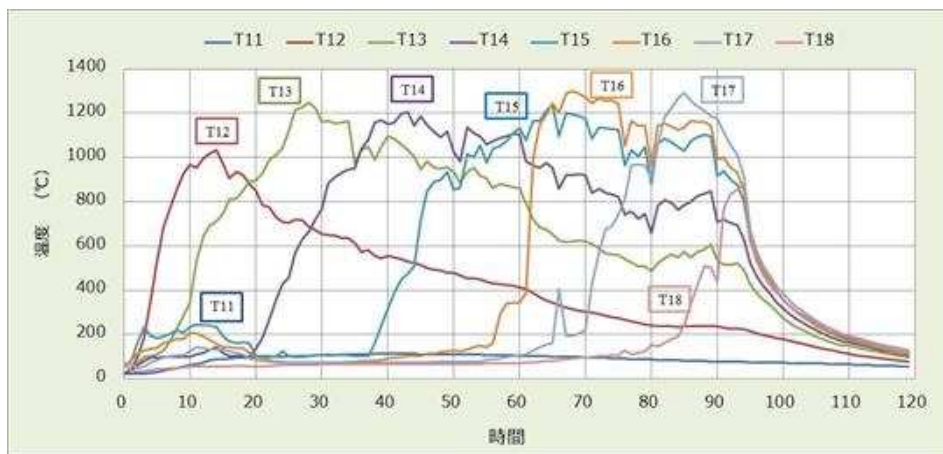
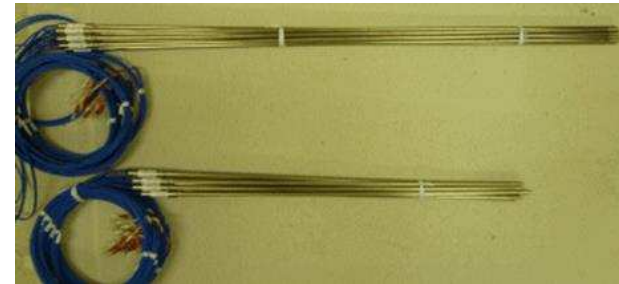
試料内部温度 (計28点)

人工炭層内の熱電対の配置 (上) と温度変化 (下)



- 高温用熱電対による計測
- 石炭ブロック内温度 (28点)

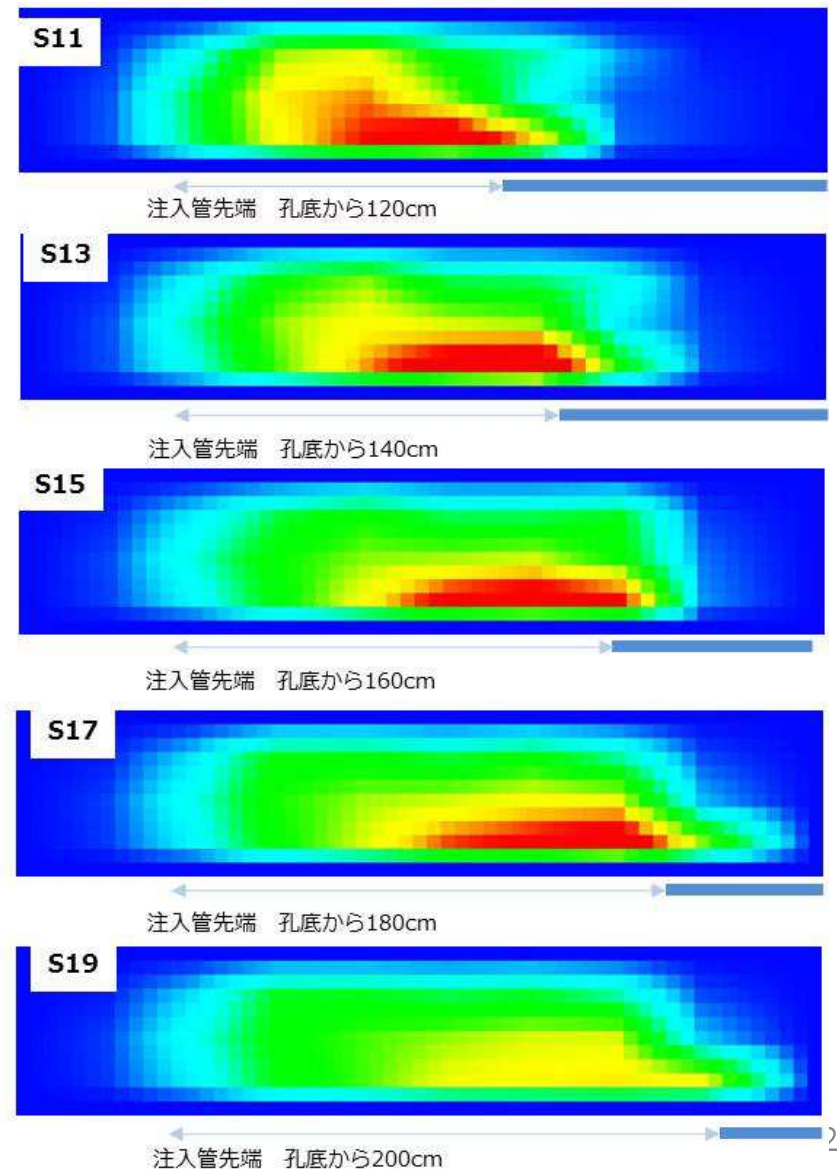
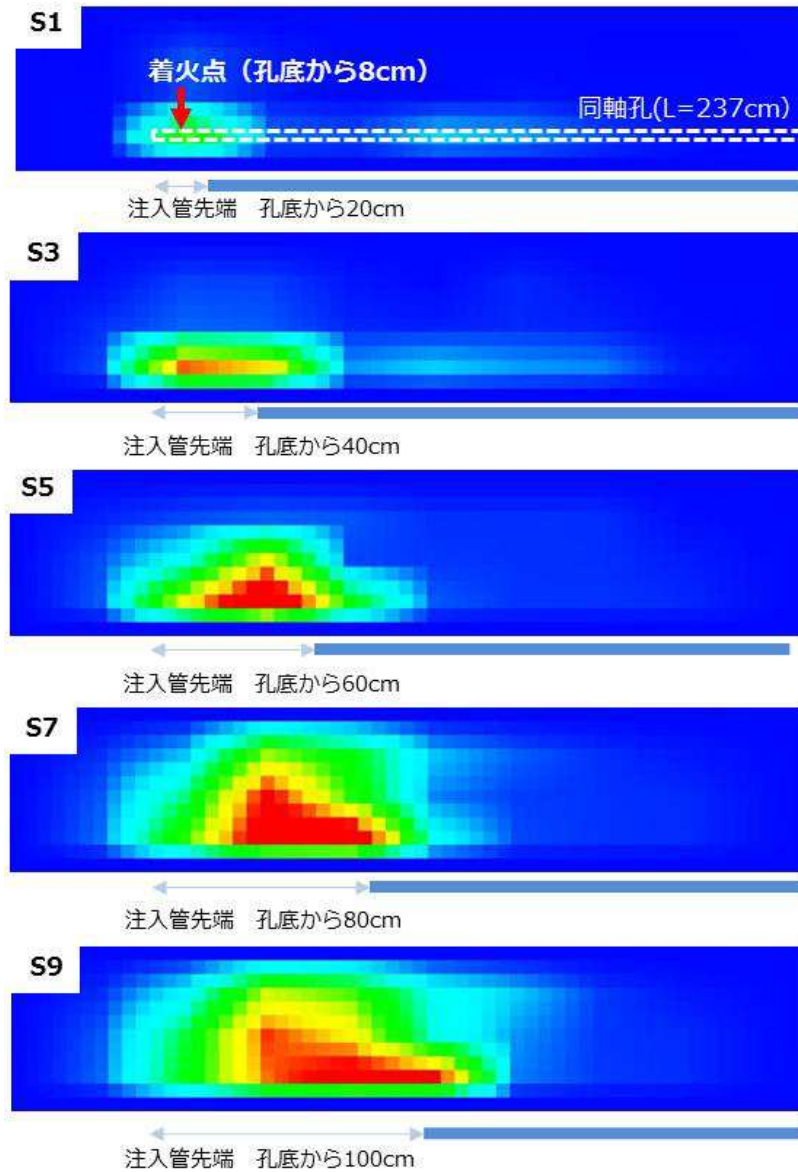
高温用熱電対



熱電対用データロガー



燃焼領域/ガス化領域の広がり



AE発生頻度と震源解析

AEセンサ

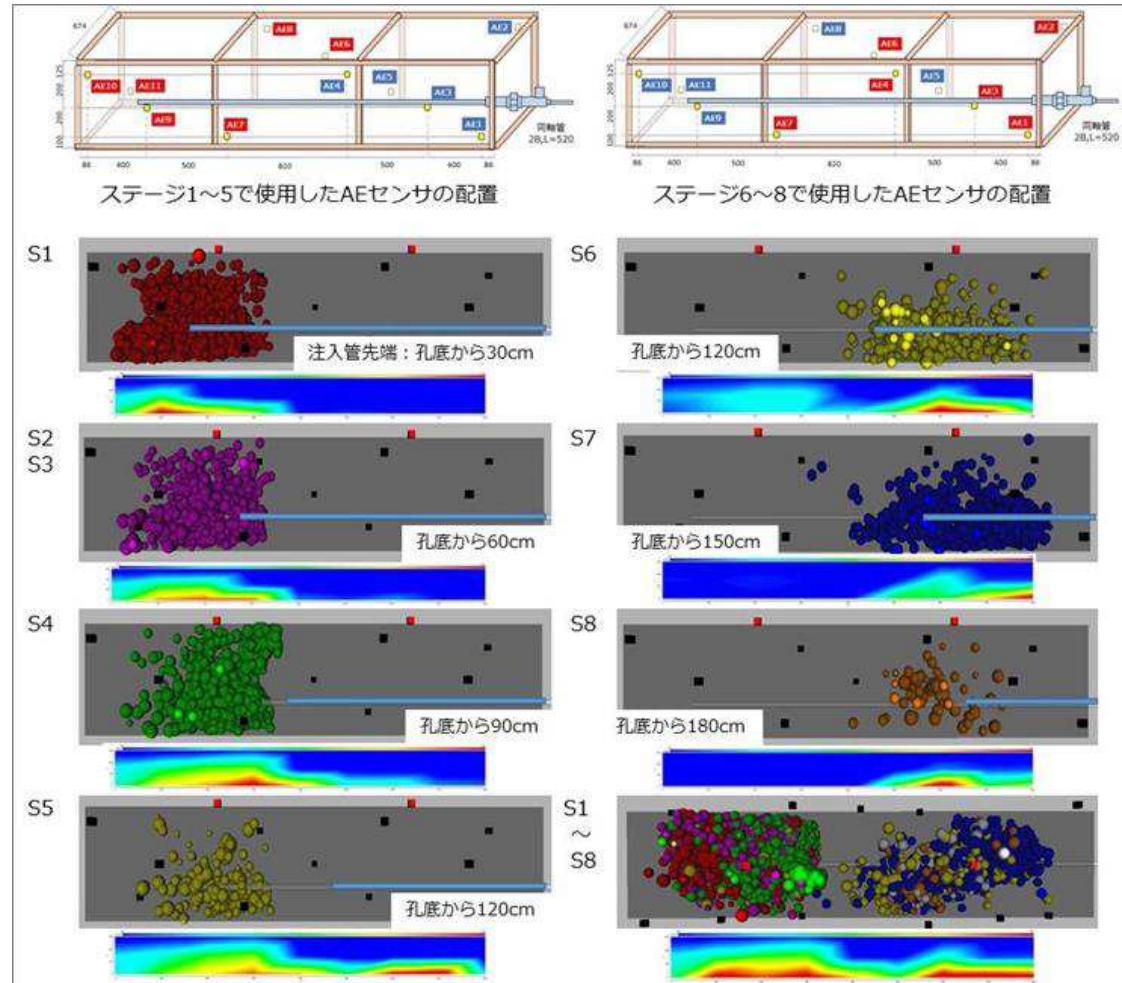


AE観測録装置



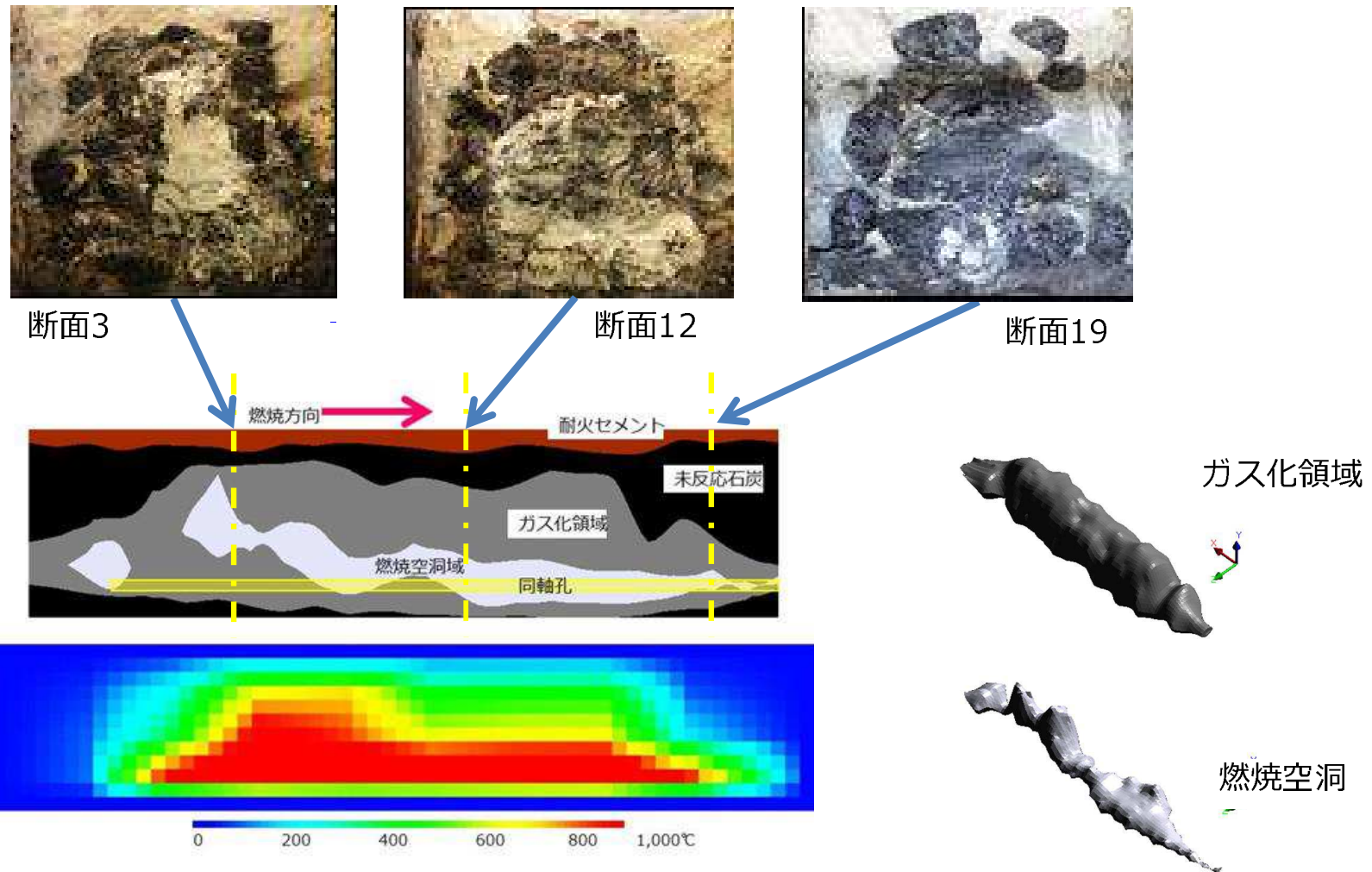
AE震源解析例

(震源分布と相対エネルギー)



燃烧終了後の試料断面観察

実験終了後の代表的な試料縦断写真



実験中の最高温度分布とガス化領域・燃烧空洞形状（横断面図）

3次元形状

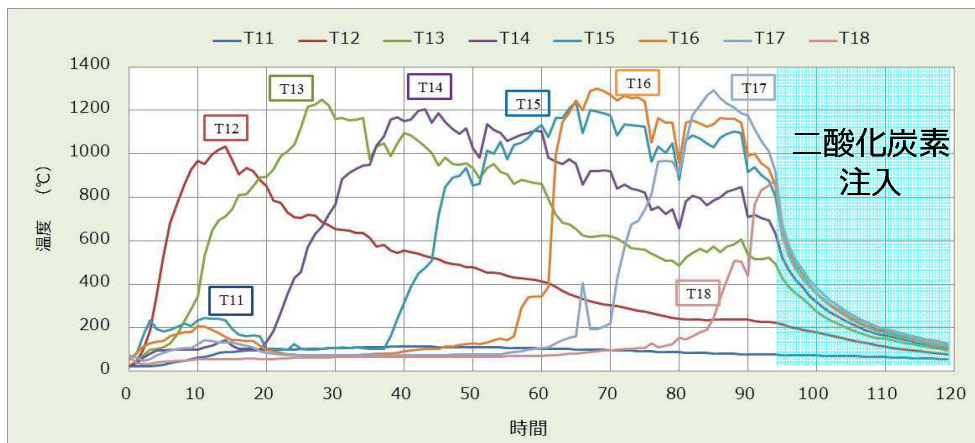
UCG基礎実験から分かること

□ 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やAEの観測で把握可能
- ・ 燃焼領域の温度は1,000℃以上
- ・ 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 ➡ 注入管の移動により解決
- ・ 垂直同軸方式は燃焼領域・ガス化領域が小規模

□ 消火方法は？

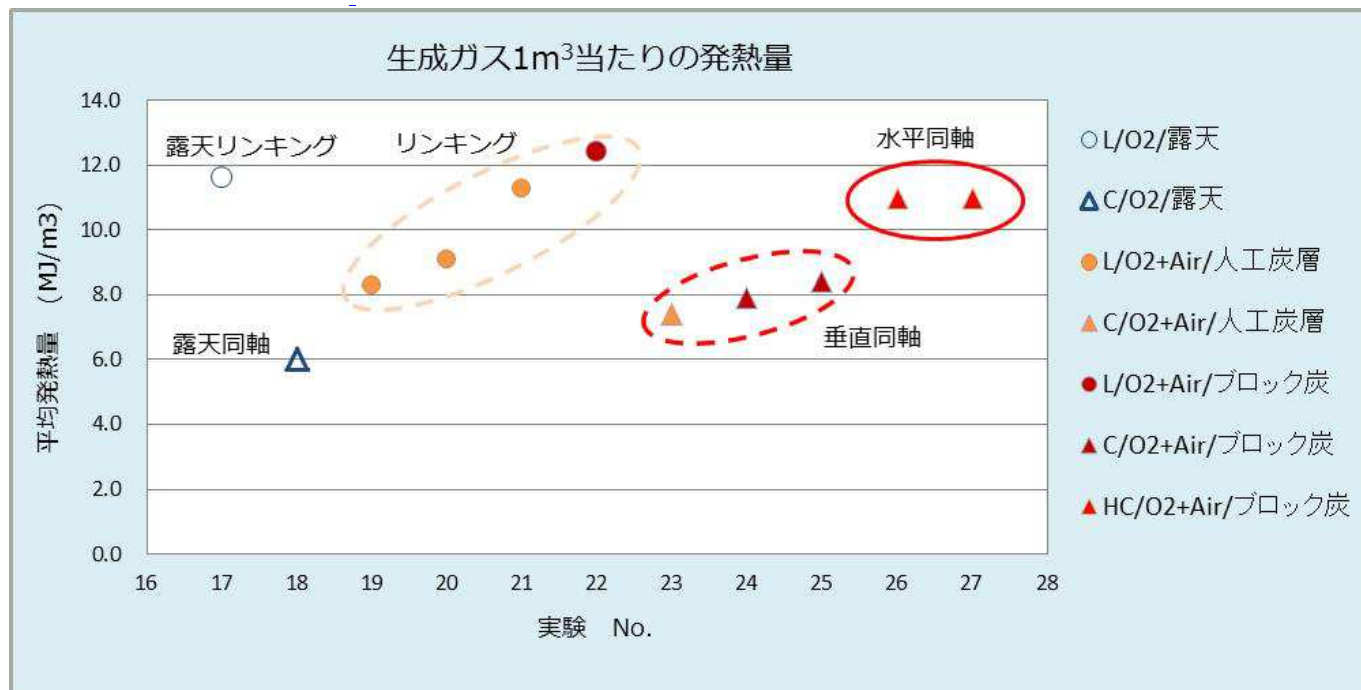
- ・ 酸化剤の供給停止 + 窒素 or 二酸化炭素の注入が有効
- ・ 温度低下効果は二酸化炭素が若干高い



二酸化炭素注入による
試料内部の温度低下

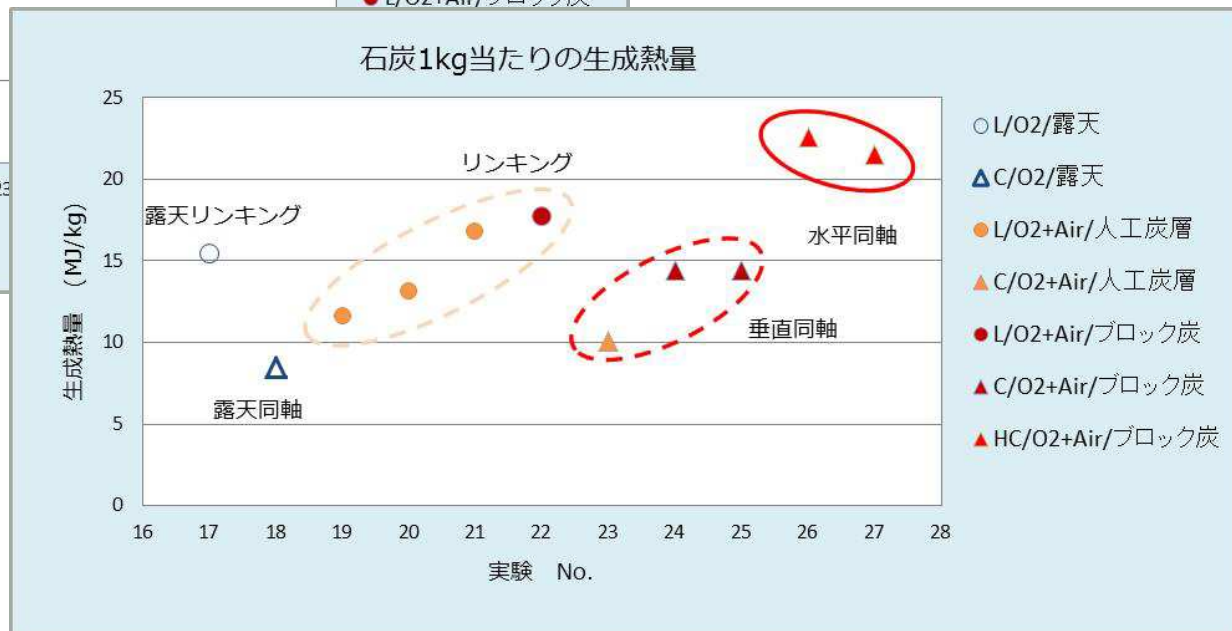
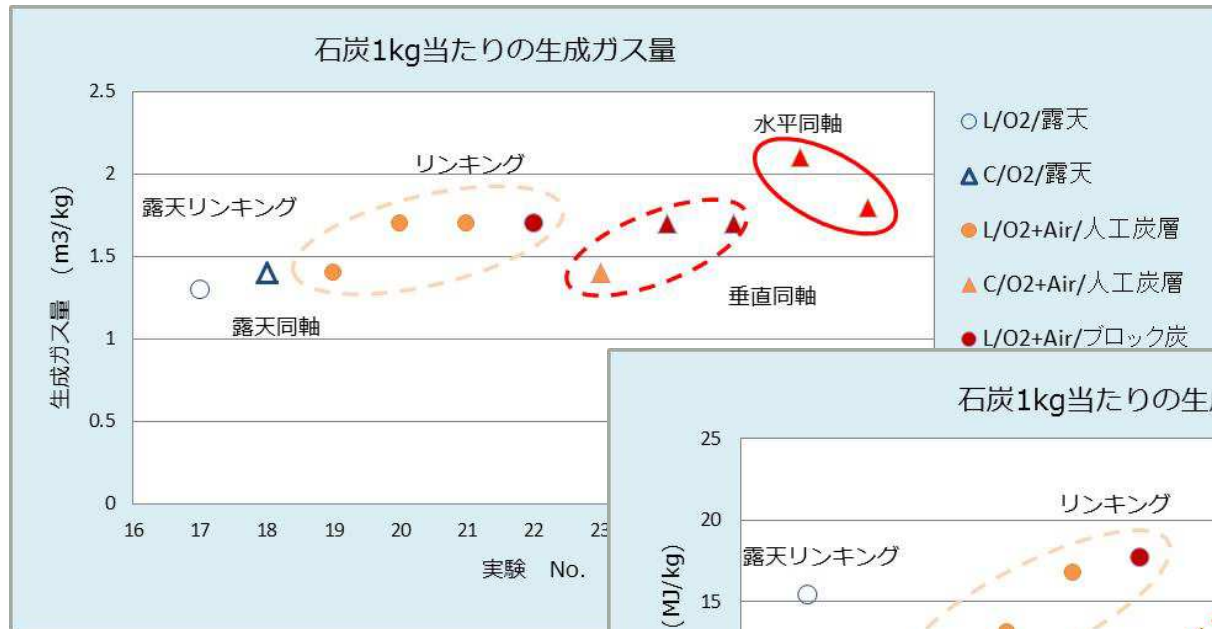
UCG基礎実験から分かること

- 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の低カロリーガス
 - ・ 発熱量は6~12MJ/m³ (天然ガス：40MJ/m³, プロパンガス99MJ/m³)
 - ・ 石炭によっては硫化水素が含まれることがある
- 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 (窒素が生成ガスに多く含まれる)
 - ・ 酸素濃度60%以上では大きな違いはない



UCG基礎実験から分かること

- どれほどの生成ガス・熱量が生産できるのか？
 - ・ 生成ガス量：反応石炭1kg当たり1.4~2.1 m³
 - ・ 生成熱量：反応石炭1kg当たり 8.5~22.6 MJ

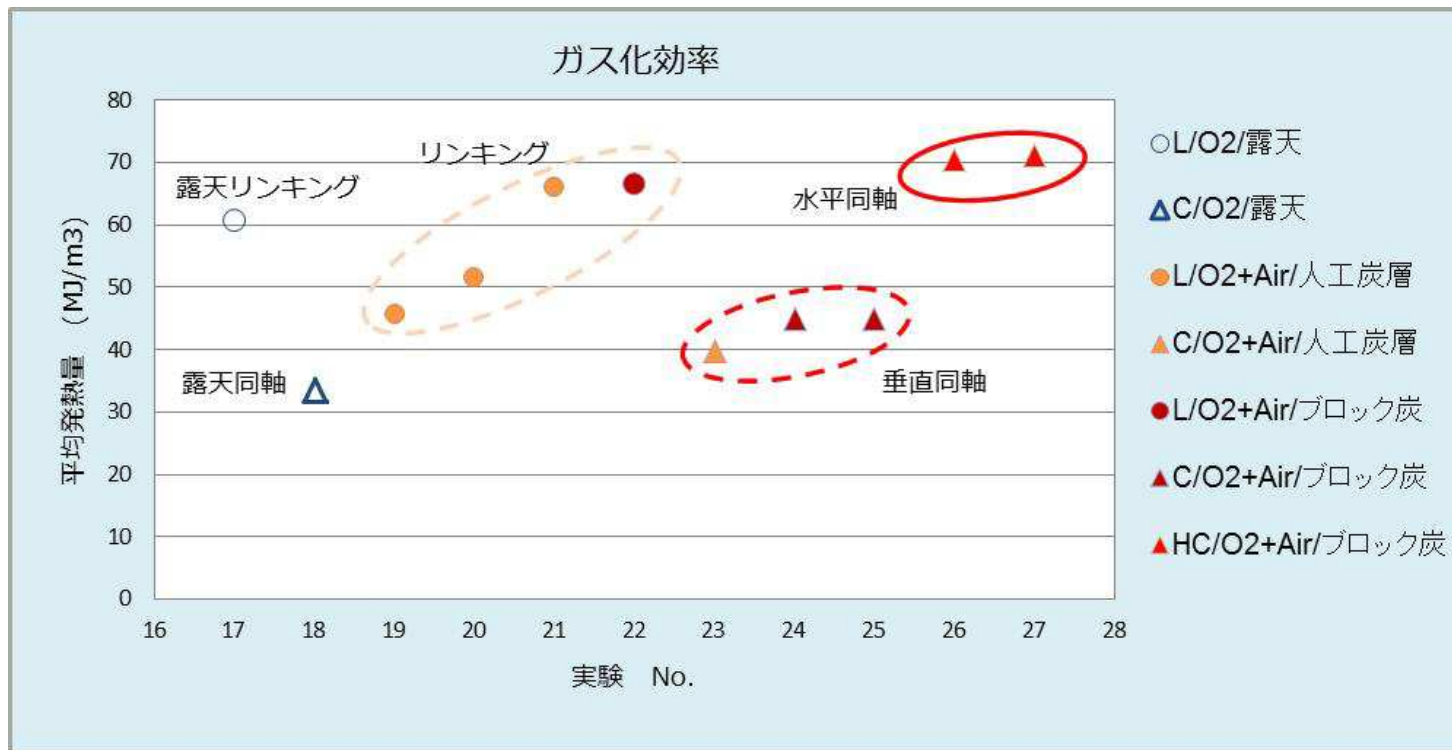


UCG基礎実験から分かること

□ ガス化を評価するための一つの指標

・ **ガス化効率** =
$$\frac{\text{反応石炭 1 kg 当たりの生成ガスの発熱量 (MJ/kg)}}{\text{石炭 1 kg 当たりの発熱量 (MJ/kg)}}$$

(ガス化により石炭からどの程度のエネルギーが回収できたかの目安)



リンキング方式と同軸方式の比較（まとめ）

項目	リンキング方式UCG	垂直同軸方式UCG	水平同軸方式UCG
燃焼/ガス化領域	大 リンキング孔の長さ と直径に依存	小 垂直同軸孔は長さ に限界（水平炭層 では）	大 同軸孔の長さ と直径に依存
生成ガス成分	一酸化炭素、メタン、水素、二酸化炭素 など		
生成ガス発熱量	8~12 MJ/m ³	6~8 MJ/m ³	11 MJ/m³
反応石炭量	0.8~1.5 kg/h	0.6~0.8 kg/h	1.4 ~1.6kg/h
生成ガス量	1.3~1.7 m ³ /kg	1.4~1.7 m ³ /kg	1.8~2.1 m³/coal-kg
生成熱量	11~21 MJ/coal-kg	9~14 MJ/coal-kg	22~23 MJ/coal-kg
ガス化効率	52~66 %	40~45 %	70~71 %
注入酸化剤の適正酸素濃度	60%以上 高い程生成ガスの窒素濃度 が下がり発熱量は高い	50%程度 高いと注入管が溶断し奥部に酸化剤が届かない (注入量が多い場合は50%以下)	
その他			注入管の移動が燃焼/ガス化領域の拡大・ガス化効率の維持に効果的

今後のUCG開発に向けて/解決すべき課題

□ 高効率同軸方式UCGの開発

- ・より長い燃焼/ガス化経路が確保できる水平同軸孔によるUCG実験の継続
- ・更なる高効率の追求→ガス化効率80%以上
- ・孔拡大等物理刺激による燃焼領域拡大技術の開発
- ・フィールド実験、パイロット試験に向けての課題抽出と解決

□ 安定したガス化のための制御技術確立

- ・安定した燃焼/ガス化を継続させる注入酸化剤の注入量/酸素濃度等の制御技術の開発
- ・注入管の最適移動時間/距離の判断基準の確立

□ 水蒸気注入の効果把握

- ・水蒸気注入と生成ガスの水素濃度増加の関係把握

□ 安全/確実な着火法の開発

- ・取扱いが簡単で安全、かつ確実な孔底での初期着火方法、及び途中での再着火方法の開発
- ・着火剤としての気体燃料（プロパン等）と空気との適切混合比の決定と確実な点火方法の開発

□ リアルタイムガス化効率評価システムの開発

- ・生成ガスの成分や温度の変化から、リアルタイムで燃焼/ガス化の状況が把握できるガス化効率評価システムの開発
 - ガス成分から反応石炭量、生成ガス量等をリアルタイムで算出
 - 生成ガスのエネルギーあるいは成分の安定化制御の判断基準を提供