



室蘭工業大学
Iwate University of Science and Technology

日本工学アカデミー北海道・東北支部講演会
室蘭工業大学本部棟3階大会議室
2016年9月9日

石炭地下ガス化利用による地域創生モデル

A Regional Revitalization Model using
Underground Coal Gasification (UCG) Technology



UCG現場試験(三笠)
2015年8月18日



室蘭工業大学
環境科学・防災研究センター
大学院工学研究科・しくみ情報系領域
可視化情報処理研究室
板倉 賢一



室蘭工業大学
Iwate University of Science and Technology

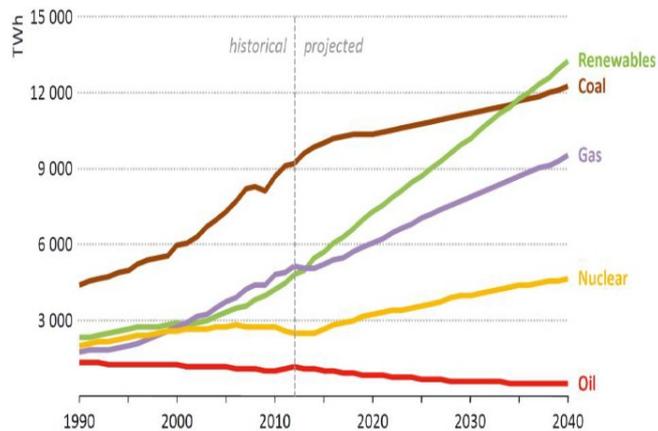
本日の内容

1. 石炭エネルギーの必要性
2. 石炭地下ガス化(UCG)の概要
3. 研究プロジェクト
課題と全体構想
コンパクトなUCGを目指した実験
人工炭層実験
フィールド実験
4. UCGと地域創生
ローカル・エネルギー・ネットワーク
三笠市での取り組み
5. まとめ



世界の主要エネルギー源

Projection of power generation



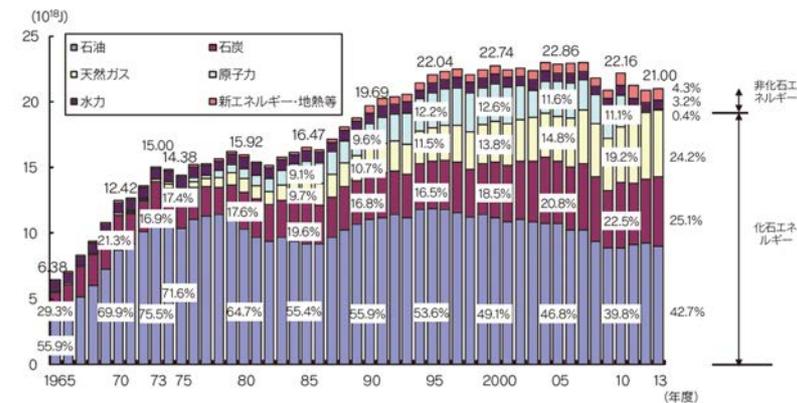
Source: IEA World Energy Outlook 2014



日本の主要エネルギー源

「平成26年度エネルギーに関する年次報告」(エネルギー白書2015)より

【第211-3-1】一次エネルギー国内供給及び電力化率の推移



年度	1965	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2013
電力化率(%)	13.0	12.7	14.4	16.6	18.8	20.7	21.3	22.5	23.2	25.2	24.9

(注1)「総合エネルギー統計」では、1990年度以降、数値について算出方法が変更されている。

(注2)「新エネルギー・地熱等」とは、太陽光、風力、バイオマス、地熱などのこと(以下同様)。

出典:資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成



室蘭工業大学
SOKUJI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

北海道の石炭



区域	炭質	炭丈別炭量(千トン)				深度別炭量(千トン)	
		炭丈1級	炭丈2級	炭丈3級	小計	区分	炭量
北海道計	無煙炭	0	0	0	0	排水準上	723,194
	瀝青炭	4,572,529	1,276,519	241,690	6,090,738	排水準～-300m	3,874,915
	亜瀝青炭	3,234,106	2,587,189	834,716	6,656,011	-300m～-600m	3,699,774
	褐炭	1,931,841	161,692	0	2,093,534	-600m～-1200m	6,542,400
	小計	9,738,476	4,025,399	1,076,407	14,840,282	小計	14,840,282
本州計	無煙炭	167,571	87,137	22,770	277,477	排水準上	86,855
	瀝青炭	241,747	12,066	6,613	260,426	排水準～-300m	1,243,689
	亜瀝青炭	1,131,419	355,118	175,792	1,662,329	-300m～-600m	656,605
	褐炭	183,724	123,633	15,950	323,308	-600m～-1200m	556,391
	小計	1,724,461	577,953	221,126	2,523,540	小計	2,523,540
九州計	無煙炭	222,698	78,976	77,970	379,644	排水準上	126,655
	瀝青炭	5,574,772	2,021,347	2,368,177	9,964,297	排水準～-300m	3,667,917
	亜瀝青炭	489,881	495,028	742,249	1,727,159	-300m～-600m	5,352,227
	褐炭	15,880	3,437	2,951	22,268	-600m～-1200m	2,946,568
	小計	6,303,232	2,598,788	3,191,348	12,093,367	小計	12,093,367
合計	無煙炭	390,269	166,113	100,740	657,122	排水準上	916,704
	瀝青炭	10,389,048	3,309,931	2,616,481	16,315,461	排水準～-300m	8,786,520
	亜瀝青炭	4,855,406	3,437,334	1,752,758	10,045,498	-300m～-600m	9,708,607
	褐炭	2,131,445	288,762	18,901	2,439,109	-600m～-1200m	10,045,359
	小計	17,766,169	7,202,141	4,488,881	29,457,190	小計	29,457,190

NPO法人地下資源イノベーションネットワーク調べ

我が国の年間石炭使用量(約1億8千万トン)の160年分



室蘭工業大学
SOKUJI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

北海道の石炭



出所:株式会社環境総合テクノ:二酸化炭素炭層固定化技術開発成果報告書, 2004.10

表 5.3.3 北海道中央地下深部深度別 CO₂炭層固定可能量

炭層深度区分	陸域・海域別	炭層体積 V (10 ⁶ m ³)	石炭資源量 Q (10 ⁶ t)	CH ₄ ガス埋蔵量 Qg (10 ⁶ m ³)	CO ₂ 固定資源量 Qco (10 ⁶ t)
1,200～3,000m	陸域	51.088	74.076	686.732	2,715.337
	海域	17.148	24.864	195.781	774.116
	計	68.236	98.940	882.513	3,489.453
3,000～6,000m	陸域	147.470	213.831	2,618.812	10,354.782
	海域	125.646	182.187	1,707.921	6,753.119
	計	273.116	396.018	4,326.733	17,107.901
6,000m 以深	陸域	28.221	40.921	510.292	2,017.697
	海域	1.845	2.675	18.137	71.712
	計	30.066	43.596	528.429	2,089.409
総合計		371.418	538.554	5,737.675	22,686.763

注1: Vは推定炭層体積、石炭資源量Qは石炭の密度を1.45 t/m³として計算した。なお、炭層圧は静水圧より換算したものである。ただし、6,000m以深の炭層圧は700 kg/cm²とした。

注2: CH₄ガス吸着量については、羽幌層群は羽幌炭のラングミア定数、函館層群は天北炭のラングミア定数、石狩層群は赤平炭のラングミア定数を用いて推定したものである。この際、炭層温度は20℃一定とした。



研究の方針



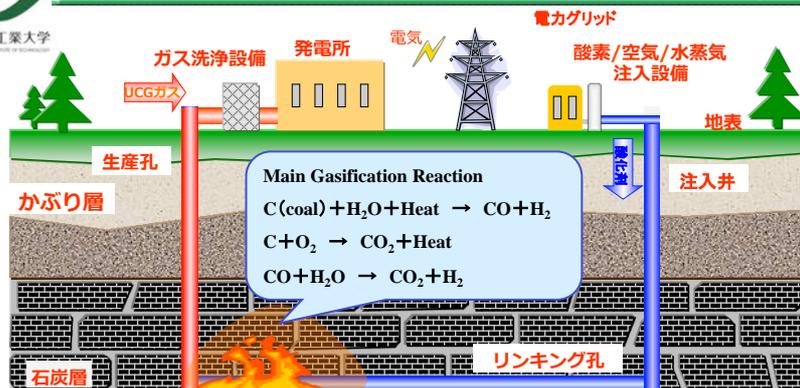
- ・未利用石炭資源(約300億トン)の活用
- ・ローカル・エネルギーのベストミックス
- ・エネルギーの地産地消
- ・ローカル・エネルギー・グリッド形成
- ・未利用石炭の活用
 - CBM(炭層メタンガスの採取)
 - UCG(石炭の地下ガス化)
 - CCS(CO₂のUCG跡への貯留)

低環境負荷なエネルギー回収システム

UCG(Underground Coal Gasification)



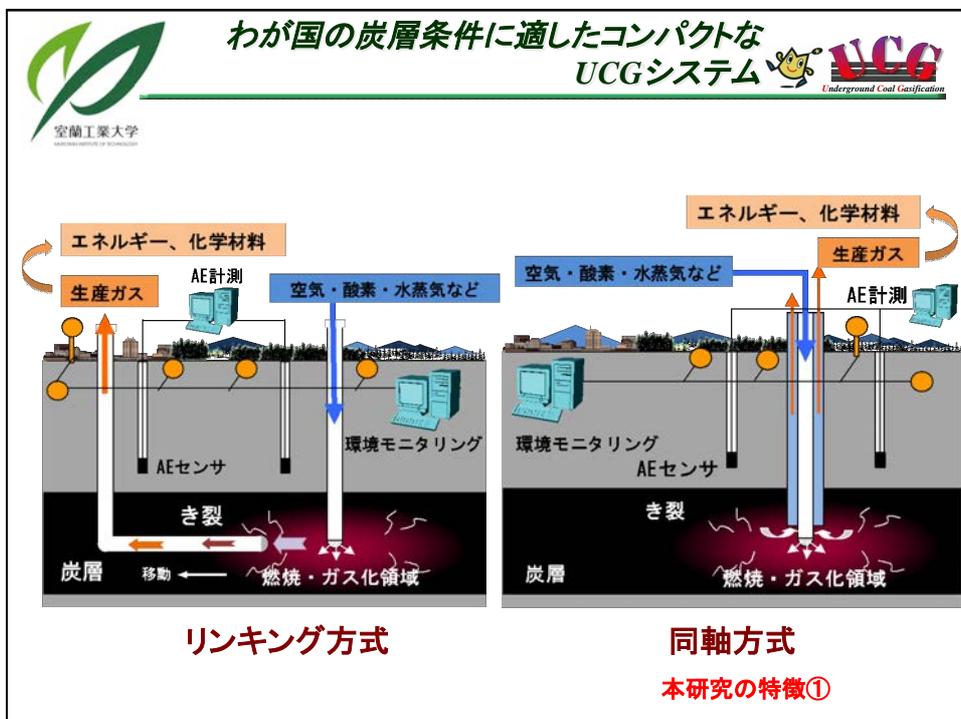
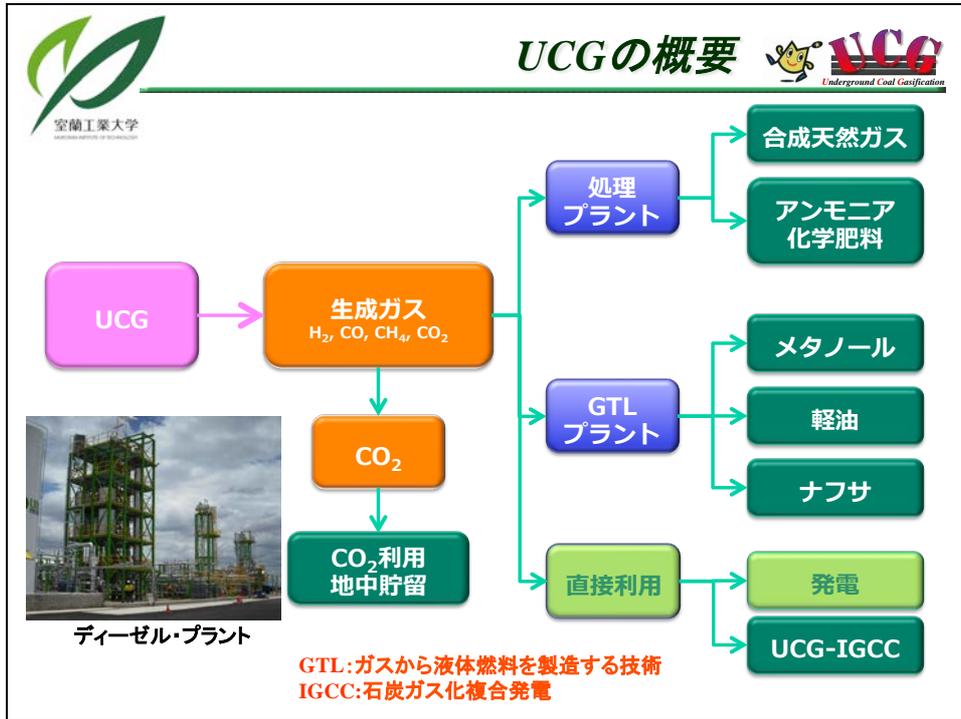
UCG(Underground Coal Gasification)



- 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

省エネルギー

1kWhの原価
坑内炭の1/3
露天掘り炭の2/3



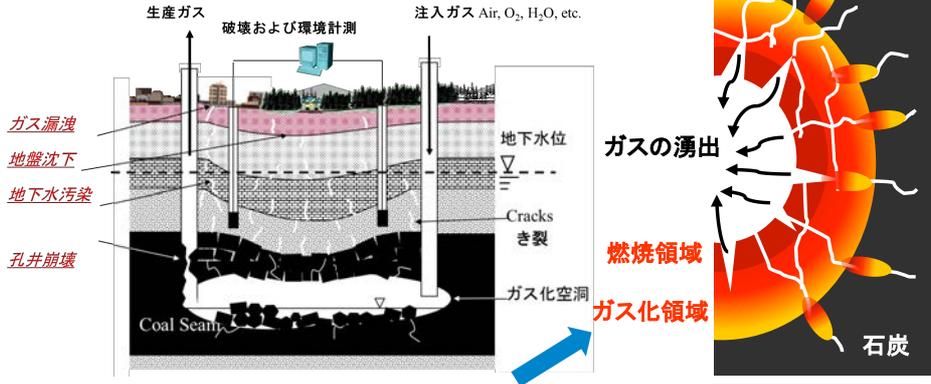


高度UCGサブプロジェクト



破壊の二面性

① 過度な破壊→危険



燃焼→熱応力→石炭破壊(亀裂進展)→酸化表面積の拡大→ガス化

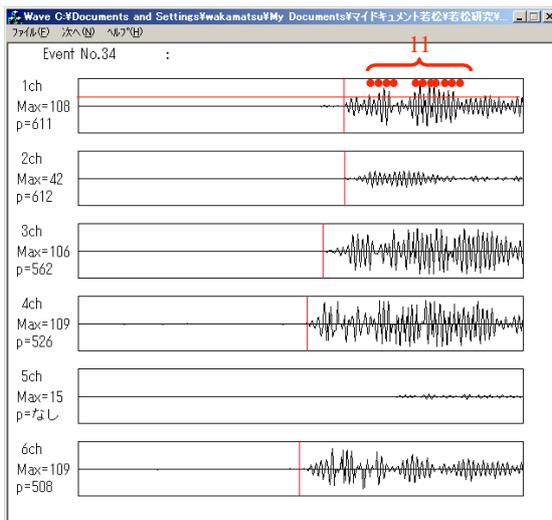
② 連鎖反応=ガス化効率



AE (破壊音) 計測



一つの破壊音(1) イベント== 一つのき裂 (脆性材料)

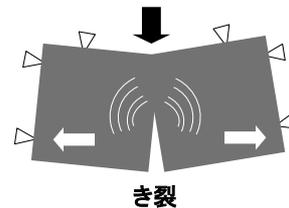


閾値を超えたピークの数(11)

↓ カウント≒規模

リングダウン・カウント数

≒ AEイベントの規模を反映

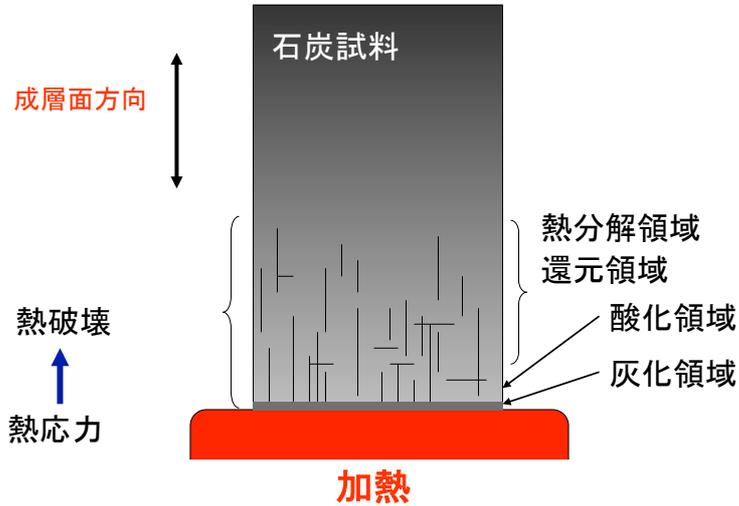




室蘭工業大学

石炭の熱破壊

石炭は直交した不連続面構造を持つ



室蘭工業大学

研究計画概要

本研究の目的

低環境負荷型で安全なローカル・エネルギー源としての**高効率コンパクトUCGシステム**を開発する。



高度UCGサブプロジェクト: (研究者4名)

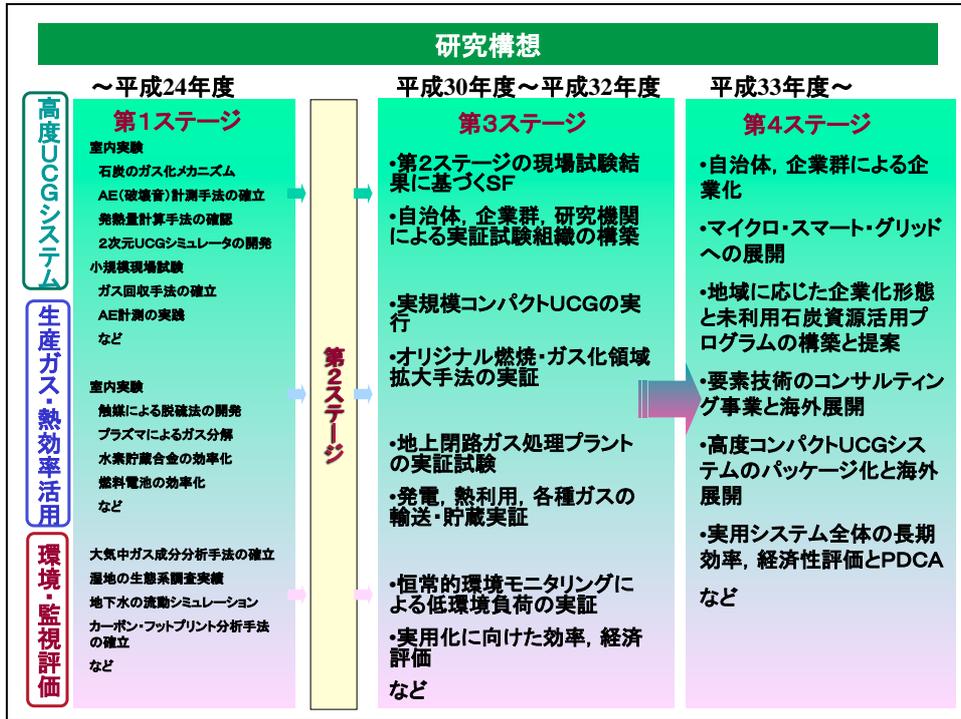
- 1) 炭層破壊制御によるガス化効率の向上と安全の確保
- 2) 破壊を考慮した石炭ガス化メカニズムの解明と定式化
- 3) 3次元UCGシミュレータ開発

生産ガスの高効率活用サブプロジェクト: (研究者3名)

- 4) 生産ガスの放電プラズマによる連続分離, 無害化技術の確立

環境監視・評価サブプロジェクト: (研究者3名)

- 5) 地下及び地表環境の監視・評価手法の確立
- 6) 消火充填剤の開発



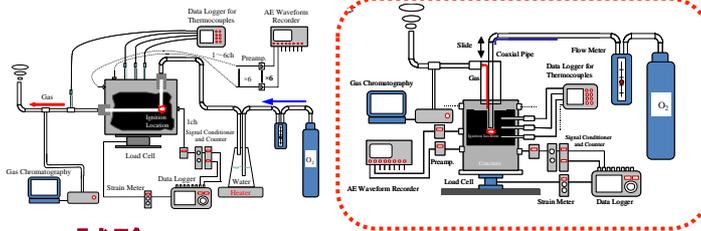


室蘭工業大学
Sokan University of Science and Technology

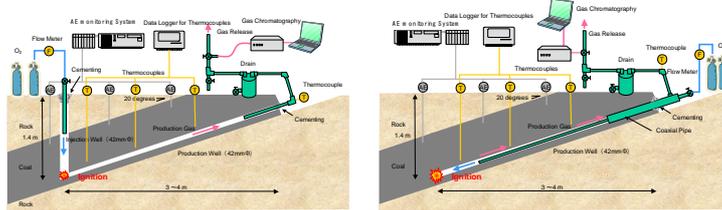
これまでの実験



室内UCG実験 (リンク方式, 同軸方式)



現場UCG試験 (リンク方式, 同軸方式)

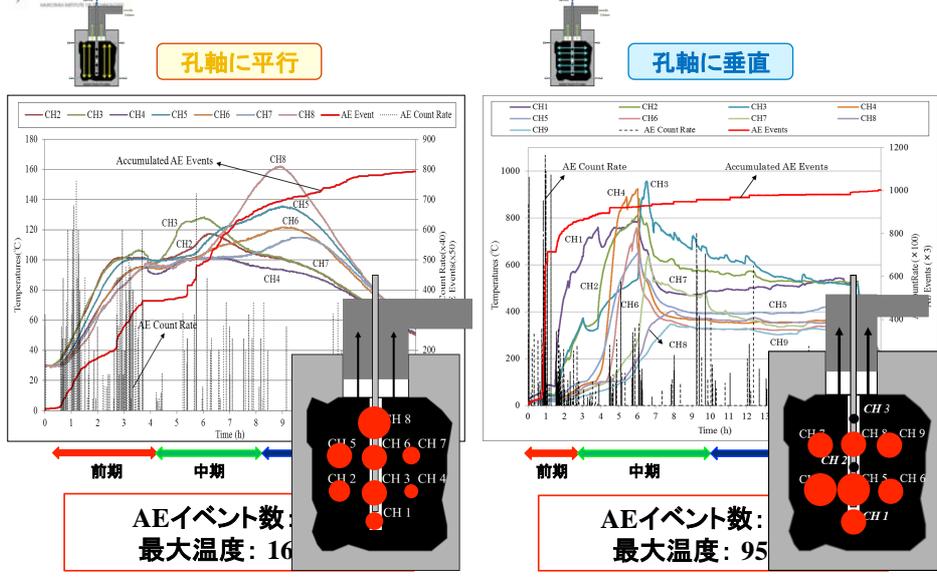


室蘭工業大学
Sokan University of Science and Technology

実験結果 (AEと温度変化)

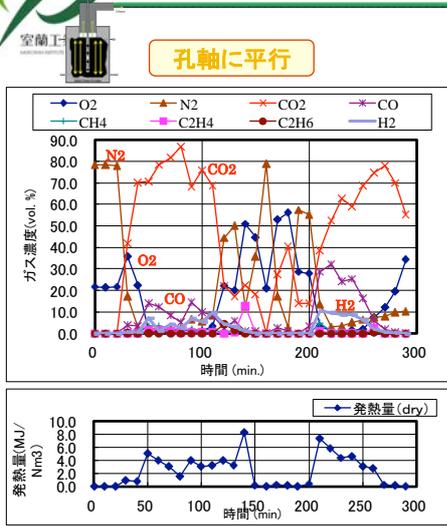


熱電対温度とAEイベント数とAEカウントレートの経時変化

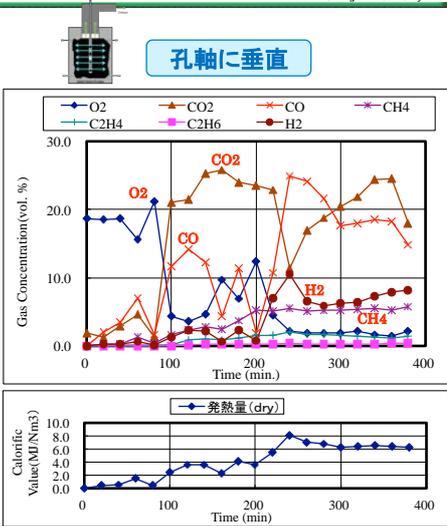




実験結果(ガス濃度分布)



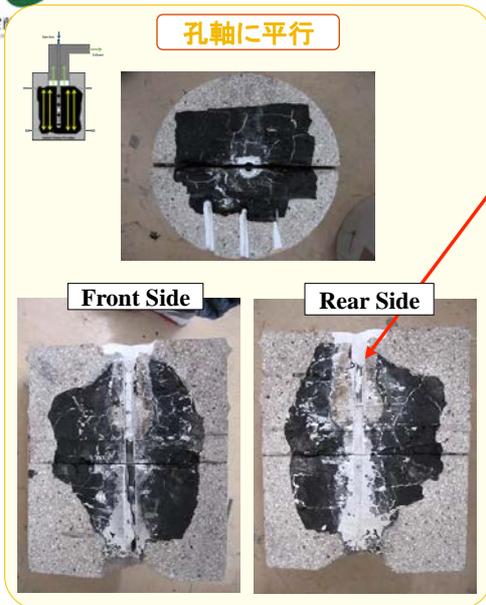
最大発熱量: 8.24 (MJ/m³)
平均発熱量: 2.35 (MJ/m³)



最大発熱量: 8.13 (MJ/m³)
平均発熱量: 4.30 (MJ/m³)

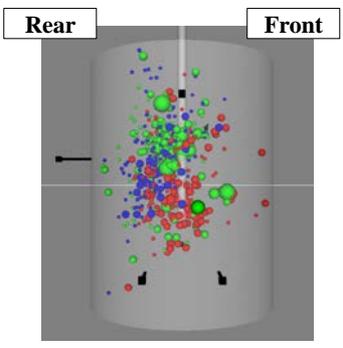


供試体切断面(平行)



• 白色箇所:
石膏 (空洞、き裂)

質量差: 2.60 (kg)

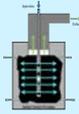




供試体切断面(垂直)

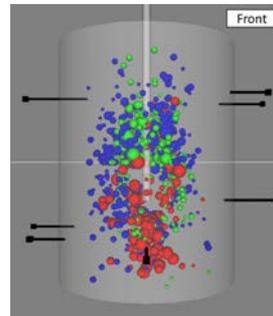
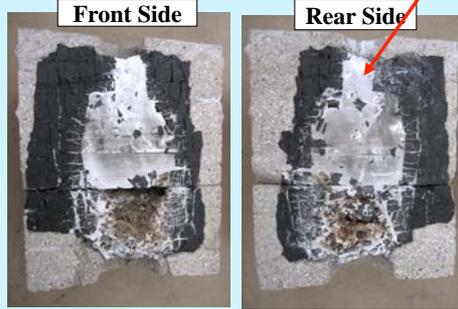


孔軸に垂直

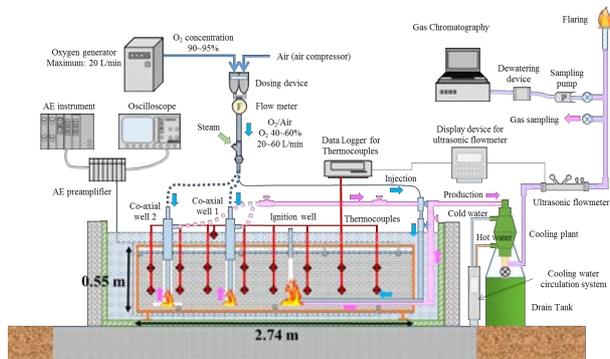
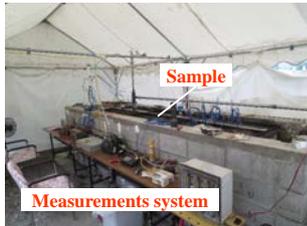


- 白色箇所:
石膏(空洞、き裂)

質量差: 5.00 (kg)



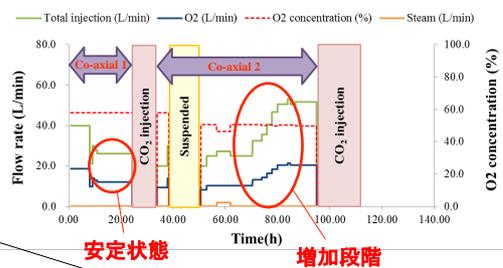
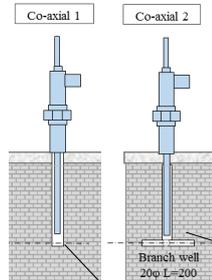
人工炭層実験





室蘭工業大学
MURoran UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

実験結果の一例 UCG Underground Coal Gasification



ガス化時間: **23 時間**



51 時間

ガス化時間とガス化領域は、孔底の形状(表面積)や注入ガスの増加により拡大が可能である。



室蘭工業大学
MURoran UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

まとめ UCG Underground Coal Gasification

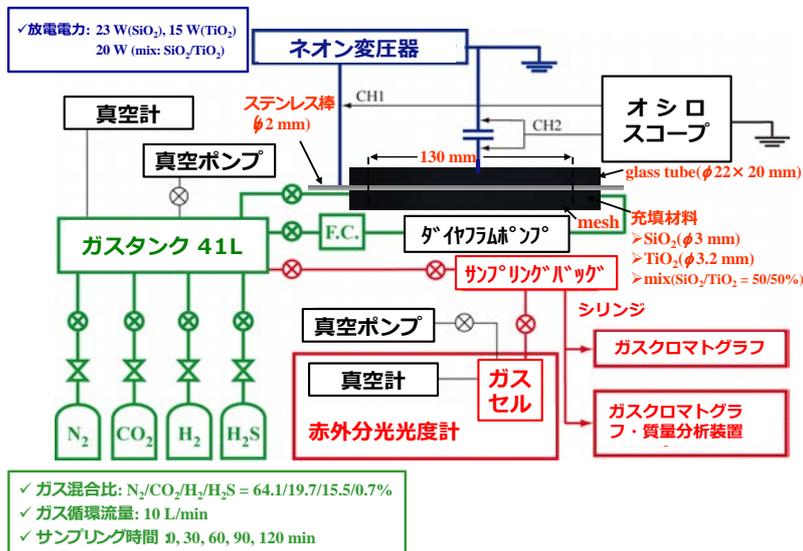
同軸方式とリンク方式の結果比較表

	実験時間 h	酸素送風量 m ³ /h	平均発熱量 MJ/m ³	質量差 kg	空洞体積(m ³)		AEイベント数	
					計算	推定	累計	/h
同軸(水平)	8.667	0.24	2.65	2.60	19.11	18.46	794	91.61
同軸(垂直)	18	0.21	4.30	5.00	36.74	35.30	3057	169.83
L字型リンク	7.667	0.30	11.30	5.78	42.47	36.72	2064	269.21

- 同軸方式の平均発熱量が2.65、4.30(MJ/m³)であるのに対し、リンク方式は11.30 (MJ/m³)
- 同軸(垂直)とL字型リンクの質量差が類似しているのにもかかわらず平均発熱量が異なるのは、単位体積当たりのガス化効率が異なるため
- 単位時間当たりのAEイベント数についても、L字リンクが最も発生しており、AEイベント発生数と燃焼・ガス化の進展に相関



実験装置および実験条件



安全対策 (安全管理対策マニュアル作成済み: 三笠市消防署協力)

1) 大気汚染:

常時監視(温度, CO, CO₂, CH₄, H₂Sなど),
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:
CO₂注入の後,
CaCO₃による吸着
固化など

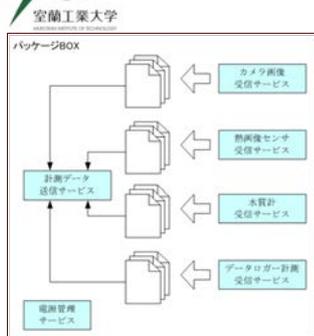


最終年度: 現状復帰

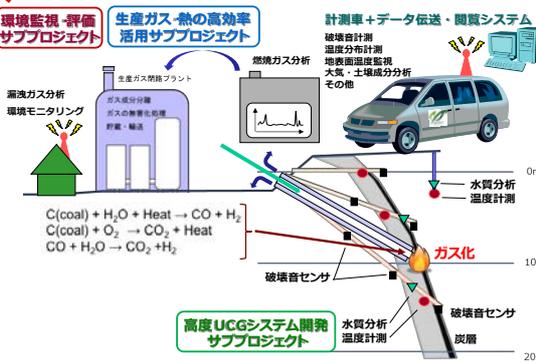
計測値の公開(ホームページ, 定期的報告会等)



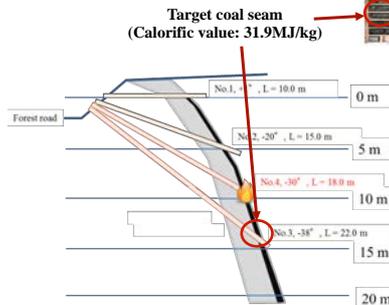
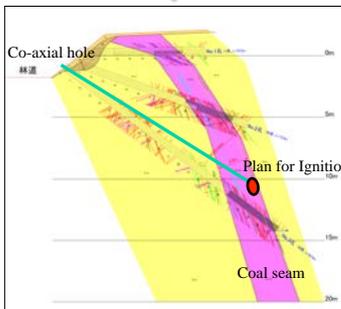
環境監視・評価サブプロジェクト



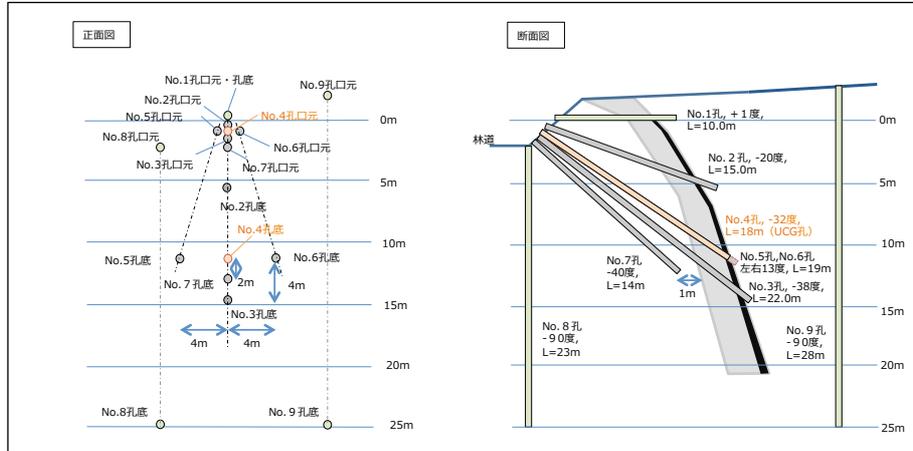
Web上でのデータ公開



フィールド実験現場



フィールドUCG実験現場



孔番号	既設/新設	用途	挿入センサ等
No.1	既設	観測孔	ガス観測管 (穴開き塩ビ管)
No.2	既設	観測孔	ガス観測管 (穴開き塩ビ管) or 3軸ジオフォン
No.3	既設	観測孔	AEセンサ (奥部1, 手前1), 熱電対1
No.4	新設	同軸ガス孔	同軸管 (外管2B×15~20m, 内管1/2B×22m), 熱電対1, 着火器or火源 (開始時のみ)
No.5	新設	観測孔	AEセンサ (奥部1, 手前1), 熱電対1
No.6	新設	観測孔	AEセンサ (奥部1, 手前1), 熱電対1



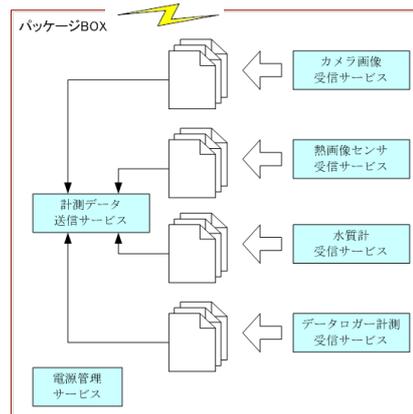
フィールド監視項目

ボーリング孔内

- 温度計測部 3個
- ガス検知部 1式
 - CO₂ガス検知部 3台
 - COガス検知部 3台
 - CH₄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
 - CO₂ガス検知部 1台
 - COガス検知部 1台
 - CH₄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

第2ステージのゴールとその先

- UCG技術の工学的課題の克服
 - ◆ 破壊制御技術(革新性)
- プラント技術の工学的課題の克服
 - ◆ 気体の無害化(プラズマ, 触媒)
 - ◆ 分離・隔離技術
 - ◆ 貯蔵・輸送技術(合金, 高分子材料)
- 環境評価に関わる工学的課題の克服
 - ◆ モニタリング手法, 監視基準(リアクタ内の熱化学反応の検証)

グリーンイノベーション

パッケージ・システムの構築

FSを踏まえた、ローカルエネルギー源としての提案(第3ステージ)
 実証試験(発電, 熱利用, 各種ガスの輸送・貯蔵)

実用化・企業化+マイクロ・スマート・グリッド化(第4ステージ)

UCGとローカル・エネルギー・グリッド

水素エネルギー供給モデル (室蘭工業大学型)

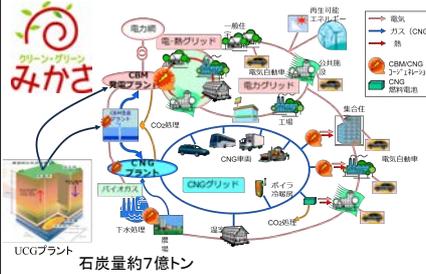


石炭地下ガス化(UCG)利用による地域創生モデルの構築 室蘭工業大学環境科学・防災研究センター



これまでの石炭地下ガス化(UCG)の研究実績をもとに、UCGを活用した旧産炭地自治体の地域創生事業モデルを提案し、次のUCG実証試験計画を推進する。また、UCGの活用に関する啓蒙活動を展開する。

地域創生モデル構築の調査(平成28年度)

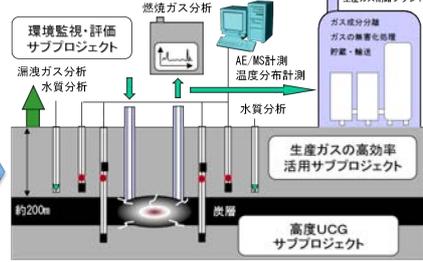


UCG活用啓蒙活動(平成28、29年度)

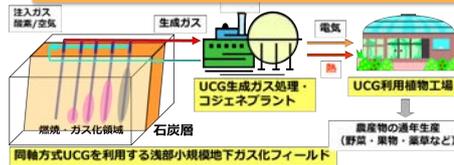


出前実験・講義 UCG活用国際会議

石炭地下ガス化(Underground Coal Gasification)実証試験



UCGを活用した農産物栽培工場(地域創生事業)



事業モデルと実証試験計画(平成29年度)

提案

石炭地下ガス化(UCG)利用による地域創生モデルの構築



三笠市冬快適プラン策定委員会



排雪前 幅=3.92m



排雪後 幅=10.80m

除・排雪の費用の推移

直近10年間の除雪と排雪に係る費用(委託費)を下表に示す。

単位:百万円

	H17	H18	H19	H20	H21	H22	H23	H24	H25	H26	10年平均
通常除雪	111	88	105	85	96	84	160	141	149	101	112
排雪	50	39	43	16	30	40	164	103	85	60	63
計	161	127	148	101	126	124	324	244	234	161	175



室蘭工業大学
Iwate University of Science and Technology

将来  UCG
Underground Coal Gasification

石炭の地下ガス化(UCG)

北海道の場合
1kmまで: 150億トン
3kmまで: 1000億トン
6kmまで: 5000億トン

石炭はまだある(未利用石炭)

⇒地域住民の財産(宝)!

ボーリング技術開発が鍵

→回収効率を高め, 大切に活用

CBM→UCG→CCS(CO₂貯留)

ローカル・エネルギー・グリッド

「これからは石炭の時代である」



おわり



UCGの夜明け

三笠市
砂子炭鉱・三美炭鉱
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
文部科学省科学研究費補助金(基盤B一般, 基盤A)
北海道空知総合振興局森林室
ほか

