

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

平成25年度 講演会

「北海道の石炭の有効活用」

共催：石炭資源有効活用研究会

事務局 社団法人北海道産炭地域振興センター
北海道経済部産業振興局環境・エネルギー室

講演内容

(1) 炭層メタンと石炭地下ガス化－技術と世界的な開発の現状 13:30～14:10

出口 剛太 (NPO地下資源イノベーションネットワーク)

(2) 石炭地下ガス化に関する基礎実験 14:10～14:50

板倉 賢一 (室蘭工業大学大学院)

(休憩 14:50～15:00)

(3) 褐炭の有効活用 15:00～15:40

大賀 光太郎 (北海道大学大学院)

(4) 質疑・応答／フリーディスカッション 15:40～16:00

平成25年6月1日
平成25年度講演会

炭層メタンと石炭地下ガス化 －技術と世界的な開発の現状

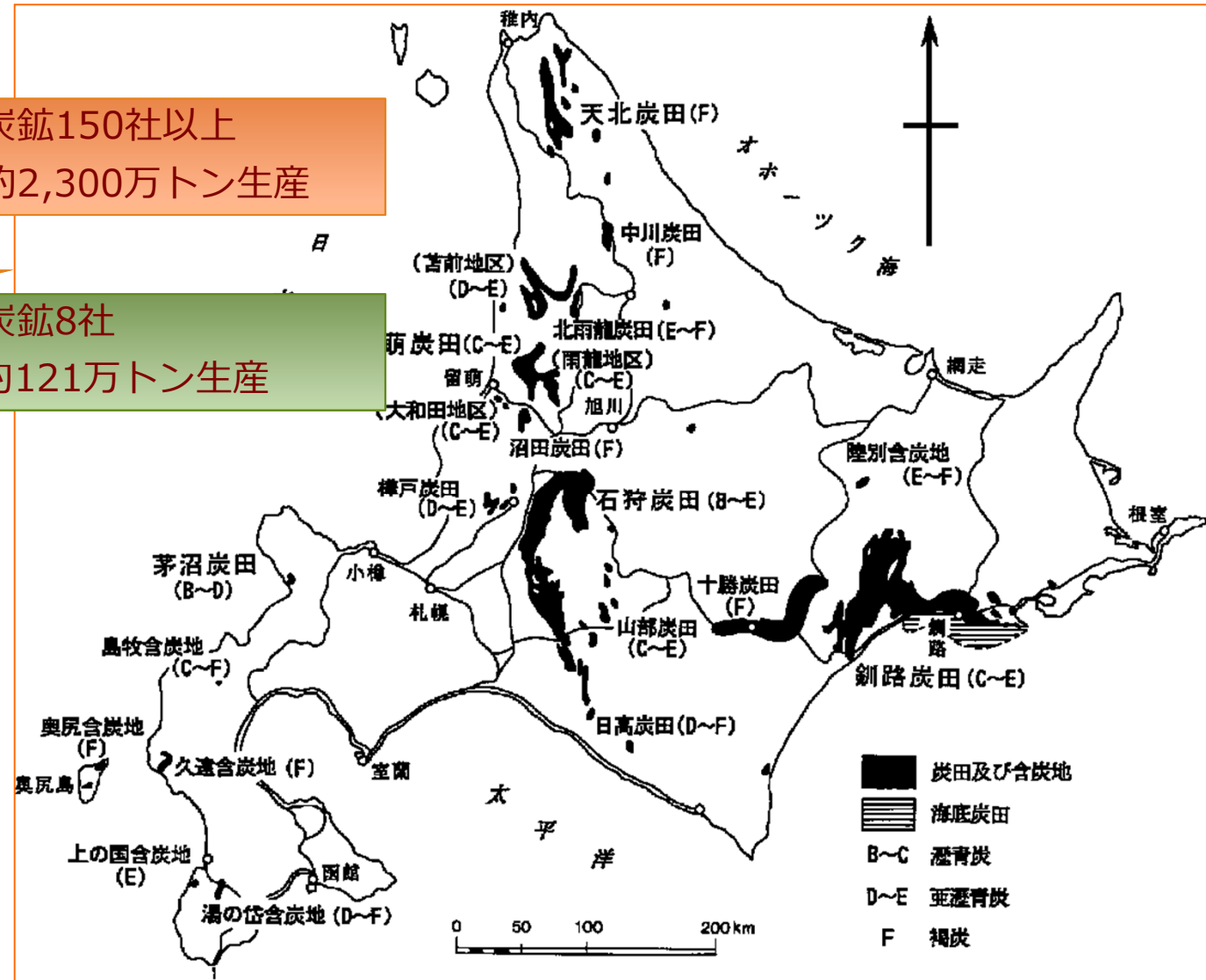
- 北海道の石炭資源とエネルギーのベストミックス
- 炭層メタン(CBM)とは？
- CBM開発の世界の現状
- 石炭地下ガス化(UCG)とは？
- UCG開発の世界の現状

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

北海道の石炭資源

昭和36年(1961)：炭鉱150社以上
昭和41年(1966)：約2,300万トン生産

平成21年(2009)：炭鉱8社
：約121万トン生産



北海道の石炭資源

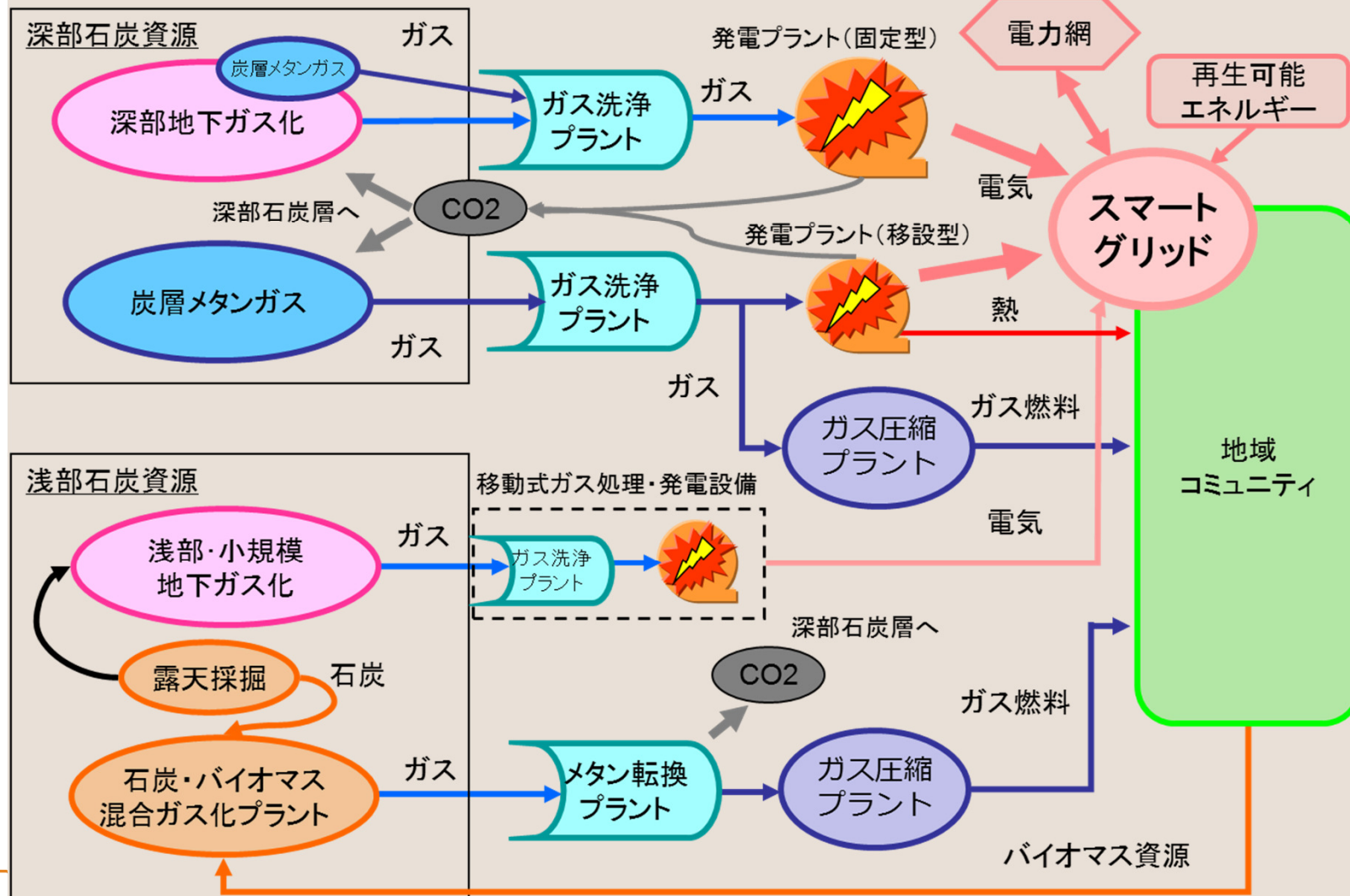
区域	炭質	炭丈別炭量(千トン)				深度別炭量(千トン)	
		炭丈1級	炭丈2級	炭丈3級	小計	区分	炭量
北海道計	無煙炭	0	0	0	0	排水準上	723,194
	瀝青炭	4,572,529	1,276,519	241,690	6,090,738	排水準～-300m	3,874,915
	亜瀝青炭	3,234,106	2,587,189	834,716	6,656,011	-300m～-600m	3,699,774
	褐炭	1,931,841	161,692	0	2,093,534	-600m～-1200m	6,542,400
	小計	9,738,476	4,025,399	1,076,407	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	66,855
	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

未利用石炭資源の有効活用ーローカルエネルギーのベストミックス

クリーンな石炭利用をベースとしたローカルエネルギー供給モデル 概念図



炭層メタン (CBM: Coal Bed Methane)とは？

炭層メタン (CBM) は石炭層に含まれるメタンガス (非在来型天然ガス)

メタンガス濃度が高い (90 %以上)
地表からのボーリングにより生産

在来型天然ガスの可採埋蔵量 (2007) : 180兆m³

(Survey of Energy Resources, 2009, WEC)

非在来型天然ガスの推定資源量

(SPE 103356, 2006)

CBM : 250兆m³

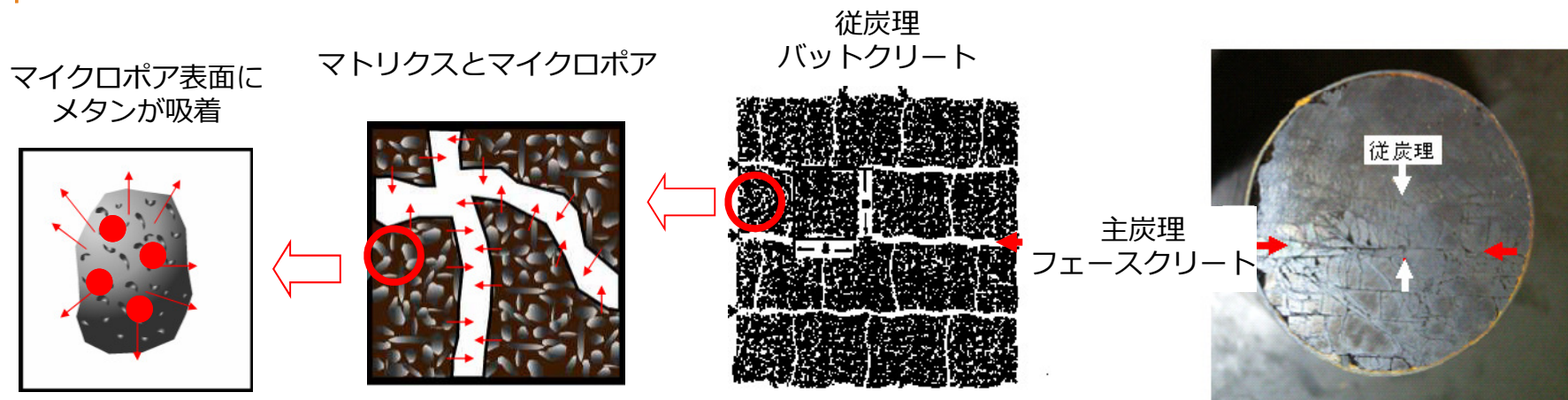
タイトガス : 207兆m³

シェールガス : 450兆m³

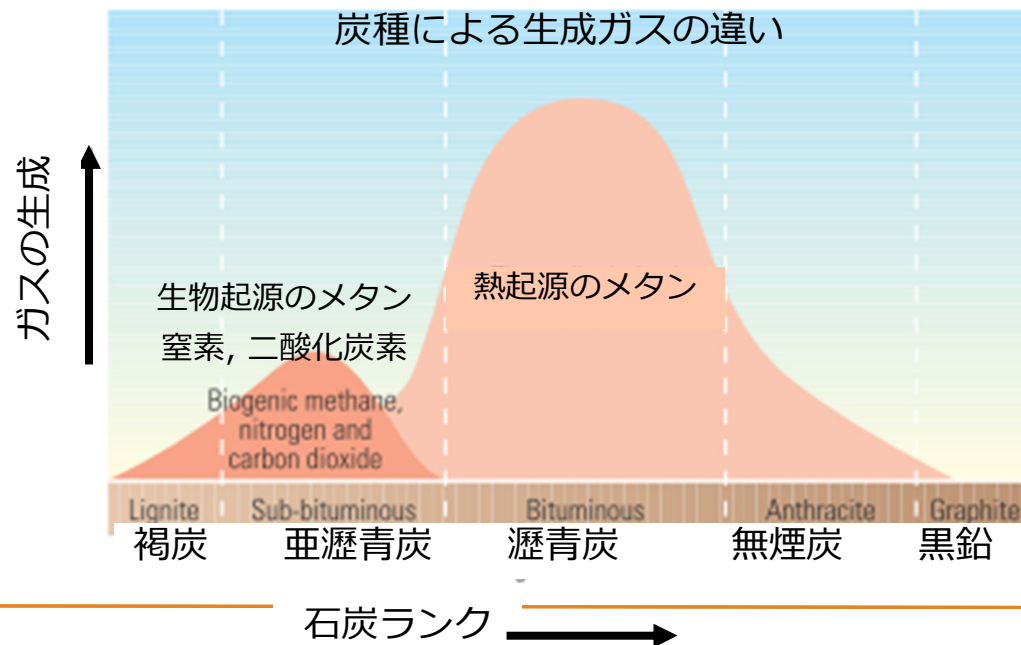
世界の石炭賦存地域



石炭化度と炭層メタン



石炭化の過程で、微生物起源のメタンと熱作用起源のメタンの両方が発生 ⇒ 石炭内部に吸着



CBMの開発

坑井ヘッド・ポンプ・セパレーター



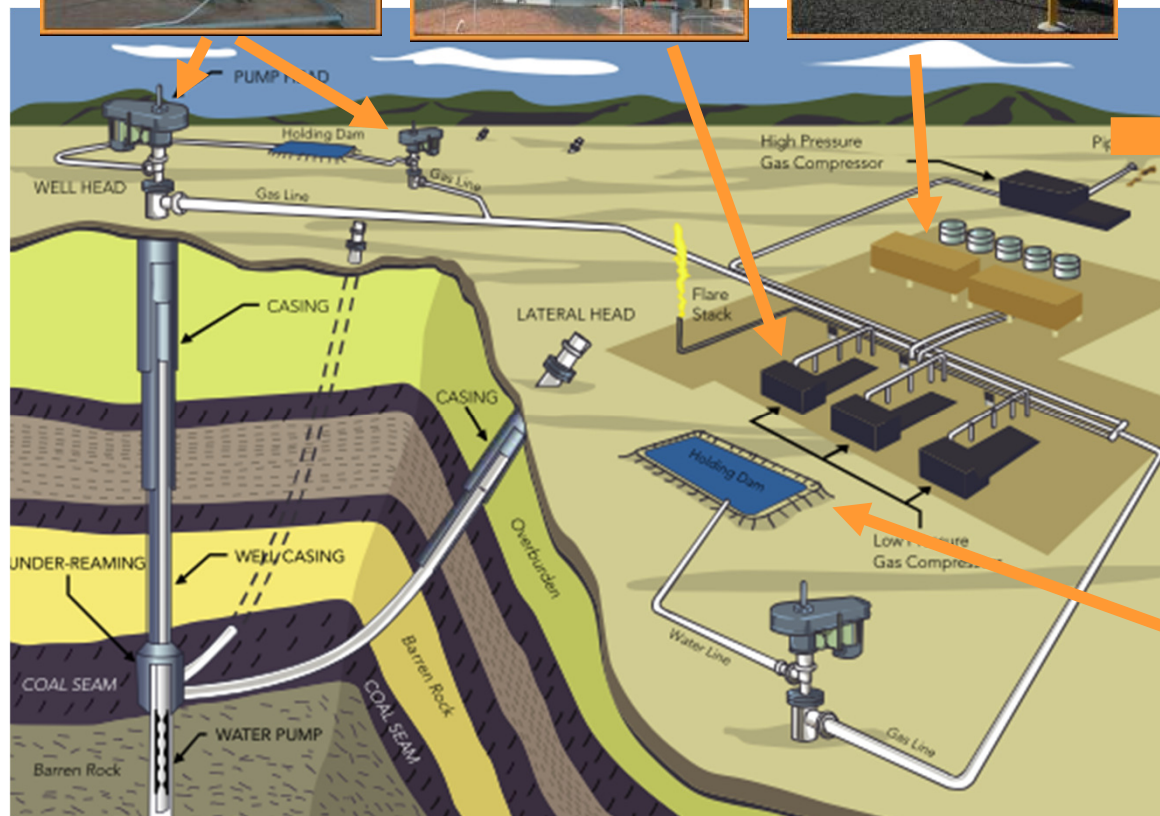
コンプレッサー



発電所



炭層



パイプライン輸送



発電



化学原材料



Michael Production Plant

輸送燃料



Compressed Natural Gas Refueling Station

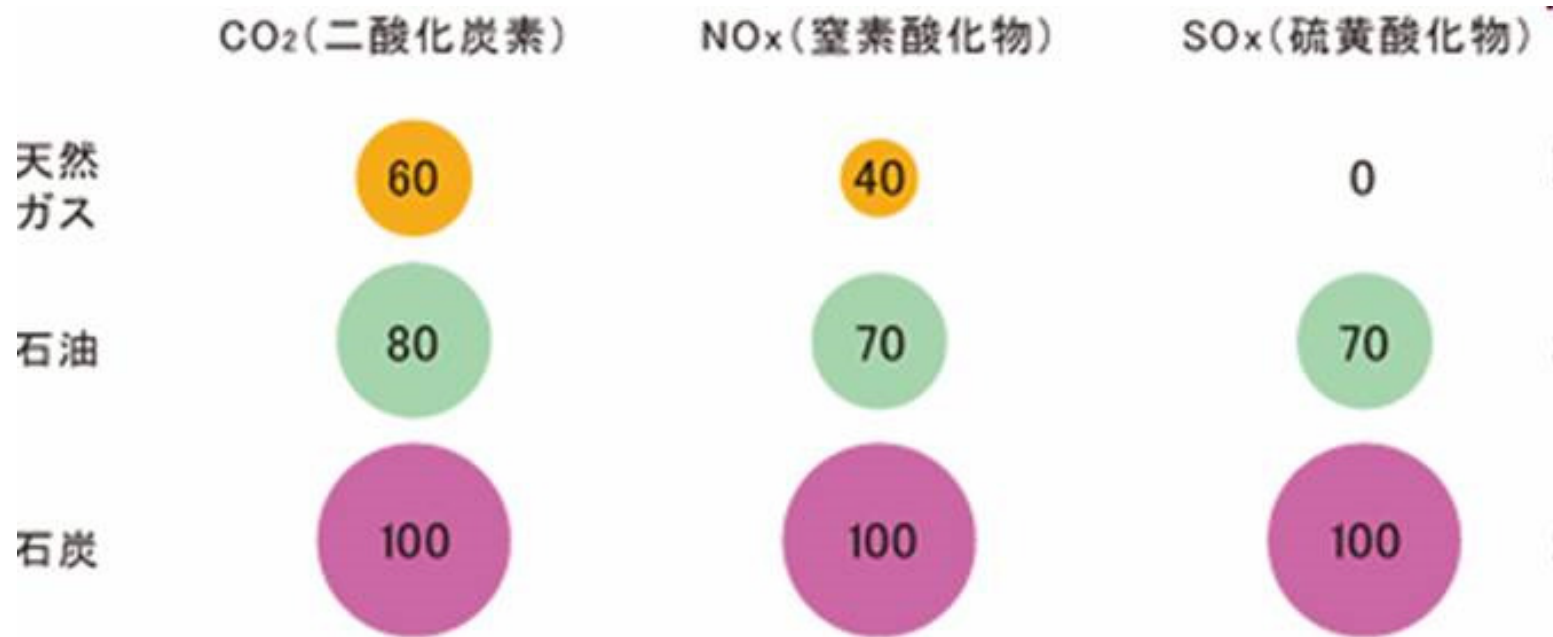
蒸発池



CBMはクリーンなエネルギー

- CBMは天然ガスと同じメタンが主成分
- 発熱量：36~40MJ/m³
(天然ガス：44~55MJ/m³)

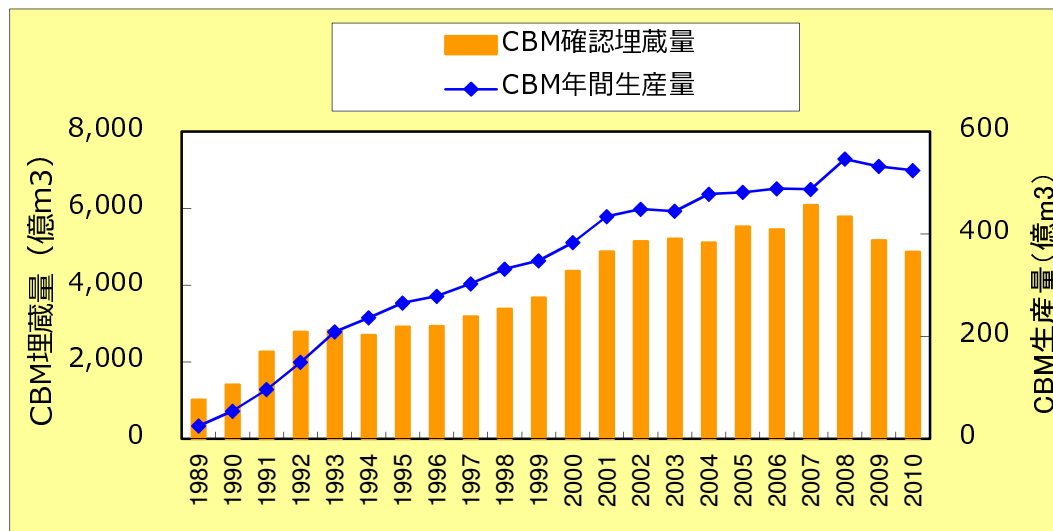
石炭を100とした場合の排出量比較（燃焼時）



(出典:「エネルギー白書2009」資源エネルギー庁)

CBMの開発（米国）

- CBM確認埋蔵量 4,900億m³ (2010)
- CBM生産量 520億m³ (2010)
- 全生産量の7割以上は San Juanと Powder Riverから
- 全天然ガス消費量の10%以上はCBM
- 近年はシェールガスの開発ブーム

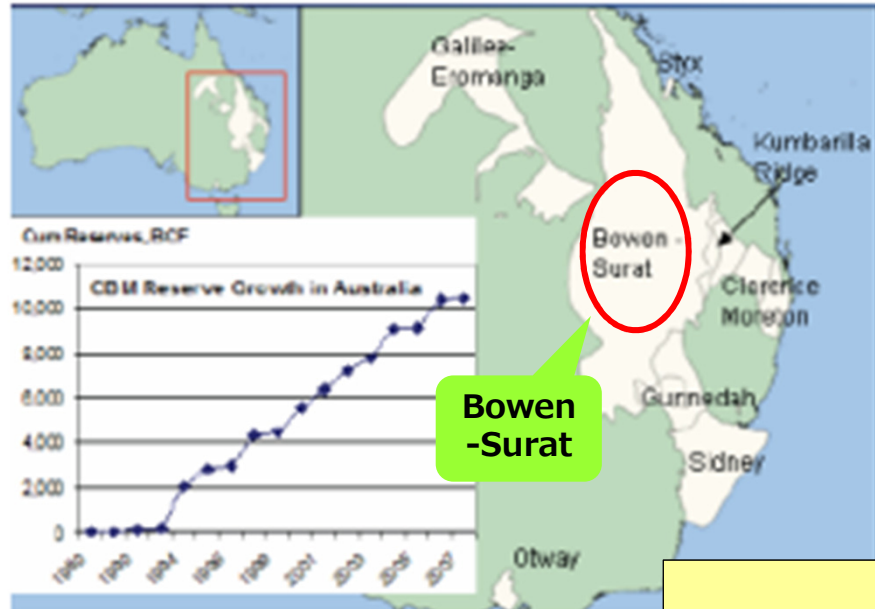


二つのCBM開発タイプ

- ◆ サンファン炭田： 瀝青炭～亜瀝青炭
 平均深度900m
 ガス包蔵量 10m³/t
 浸透率 10md
- ◆ パウダーリバー炭田： 褐炭
 平均深度400m
 ガス包蔵量 (2～3m³/t)
 浸透率>10md

米国のCBM埋蔵量と
 生産量 (EIA, U.S. DOE)

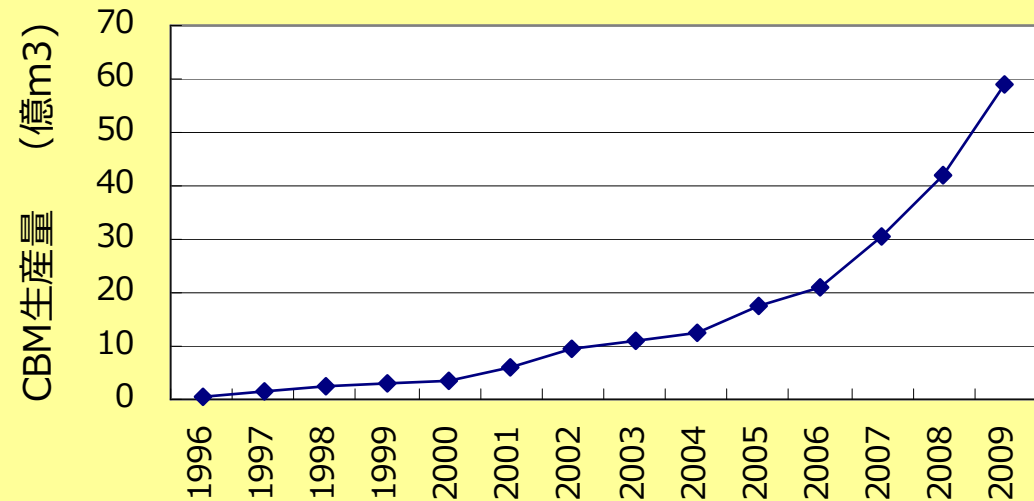
CBMの開発（豪州）



- CBM埋蔵量 3,000億m³ (2007)
- CBM生産量 59億m³ (2009*)
- 全生産量の9割程度は Queensland州
- 2003年から2009年で生産量は5倍に
- 全埋蔵量の75%はBowen-Surat炭田
- 海岸までパイプライン輸送し、LNGとして輸出する計画も

(*2008年の生産量はQueensland州のみの値)

豪州の主要CBM開発炭田 (IHS Inc.)

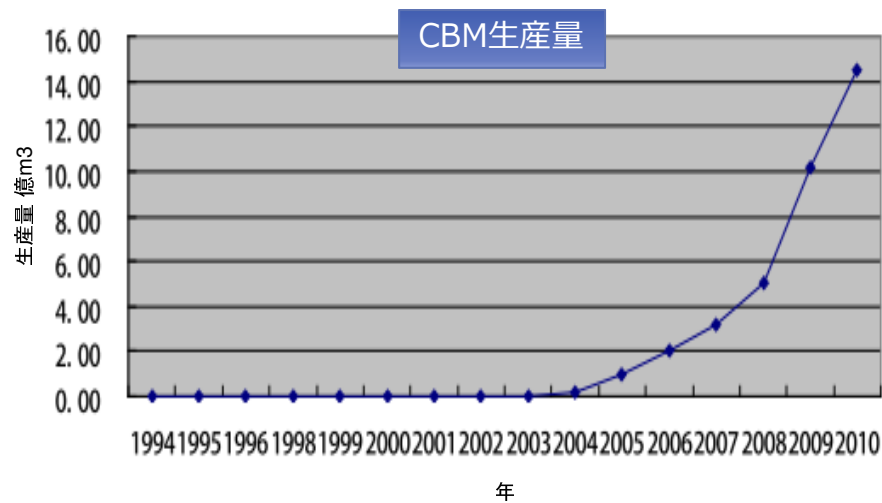
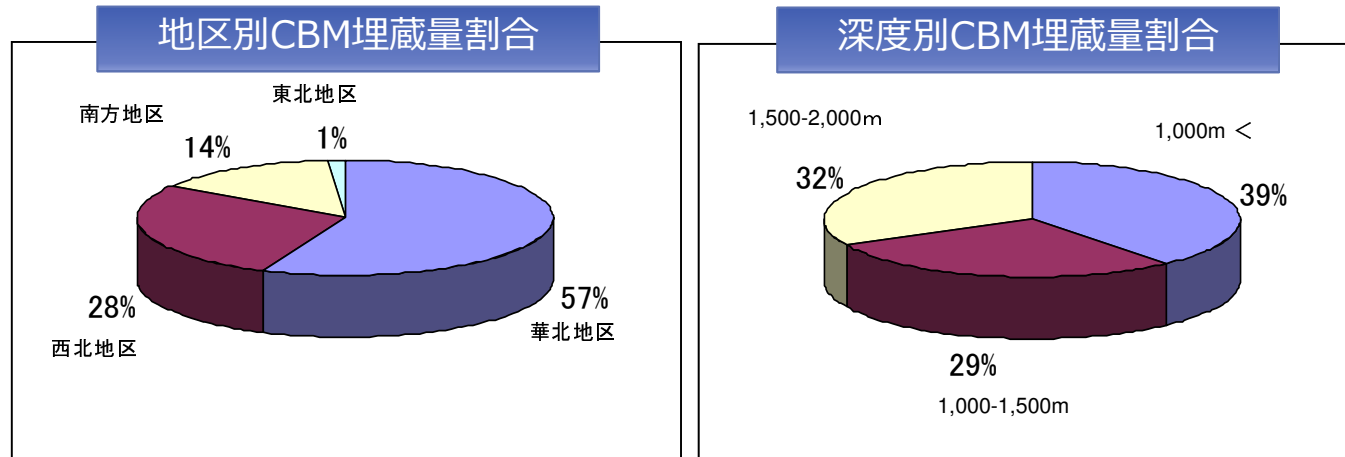


豪州のCBM生産量

注：2008, 2009年はQld.のみ

(Geosciences Australia & Energy Quest)

CBMの開発（中国）



- ❑ 炭鉱開発の安全性確保の観点
- ❑ 天然ガスの供給不足を補う
- ❑ 1,000m以深の資源量が多い
- ❑ 2010年のCBMとCMMの生産量は、それぞれ15億m³、70億m³
- ❑ 2020年には合計400億m³の生産

出典：China Coal Information Institute 資料より作成

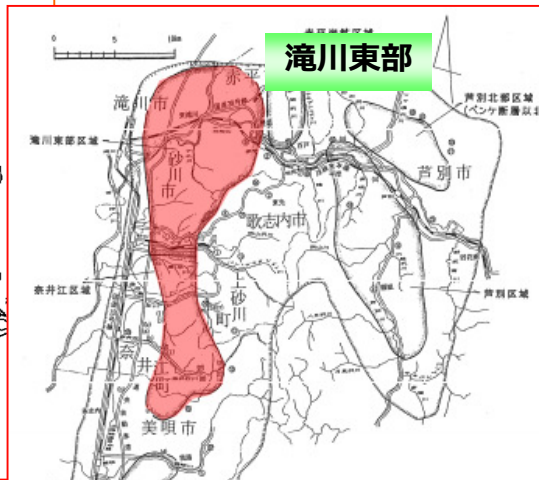
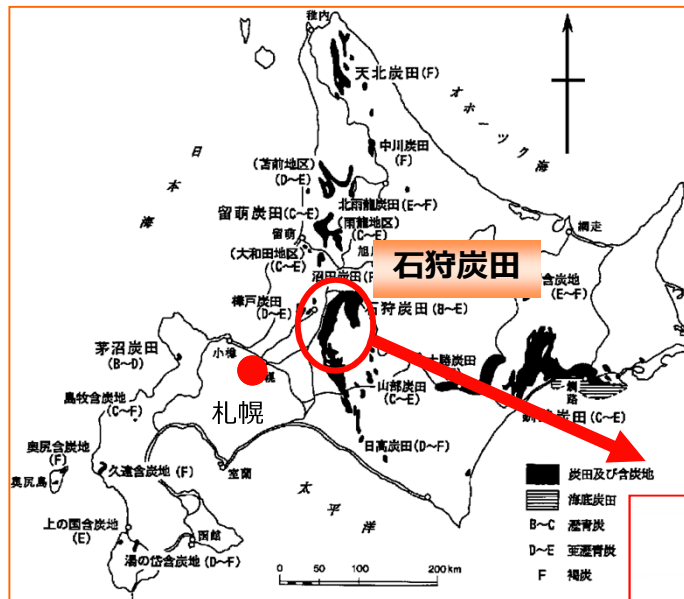
CBMの開発（インドネシア）

- スマトラ島の中部、南部、およびカリマンタン島の東部に賦存
- 推定総資源量は 13兆 m^3
- インドネシア政府はCBMを新エネルギーとして位置づけ
- 2025年の一次エネルギー供給の5%をCBMが占める目標を掲げ、天然ガス生産におけるCBMの割合を15%程度とする目標（CBM開発ロードマップ）
- CBM開発は50を超えるPSC（生産分与契約）鉱区で、探査ボーリングや生産試験が進行中



出典：Minister for Energy and Mineral Resources 資料より作成

石炭資源とCBM資源量（北海道・石狩炭田）



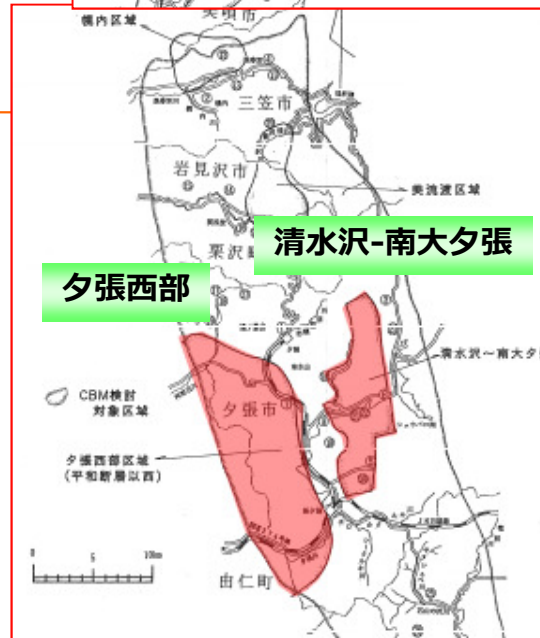
CBM開発有望三地域で
約240億m³の資源量

我が国の天然ガス生産量
約37億m³/年（2007）

勇払生産量
約4.5億m³/年（2006）

我が国の石炭埋蔵量（億トン）

	北海道	全国
無煙炭	0	7
瀝青炭	60.9	163
亜瀝青炭	66.6	100
褐炭	21	24
合計	148	295

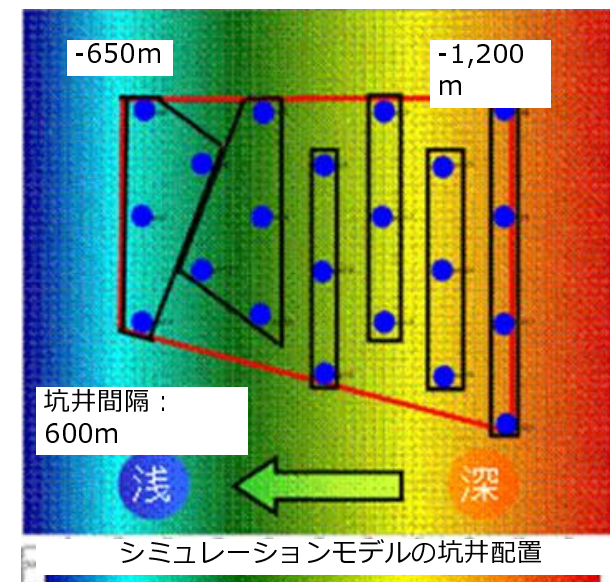
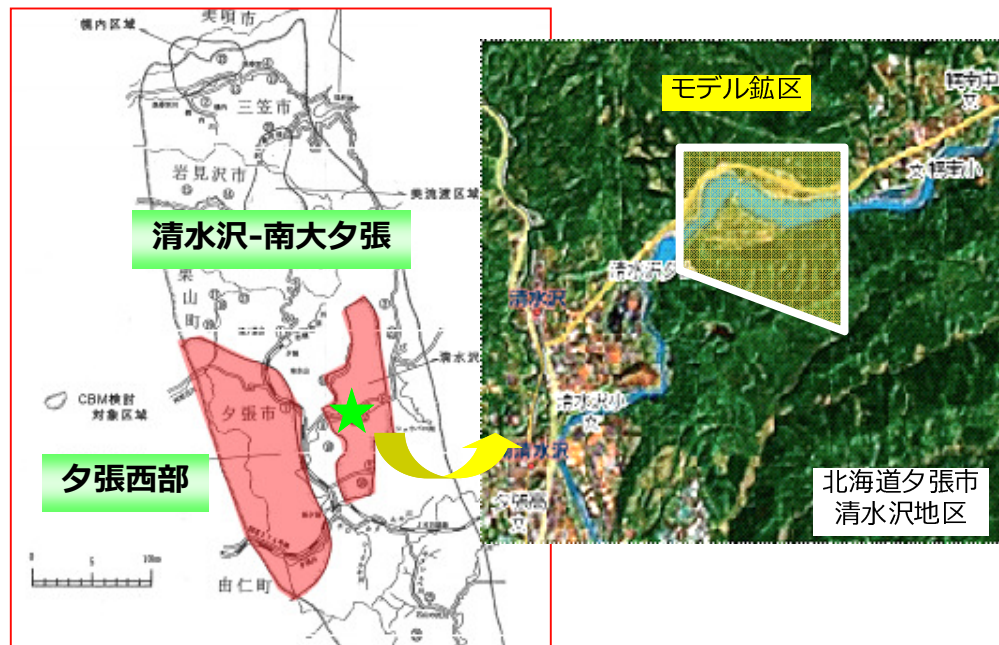


北海道の有望区域の資源量

	滝川東部	清水沢～ 南大夕	夕張西部
面積 km ²	83.2	40.0	32.0
埋蔵炭量 億トン	17.1	5.3	2.8
CBM資源量 億m ³	162.5	50.4	26.6

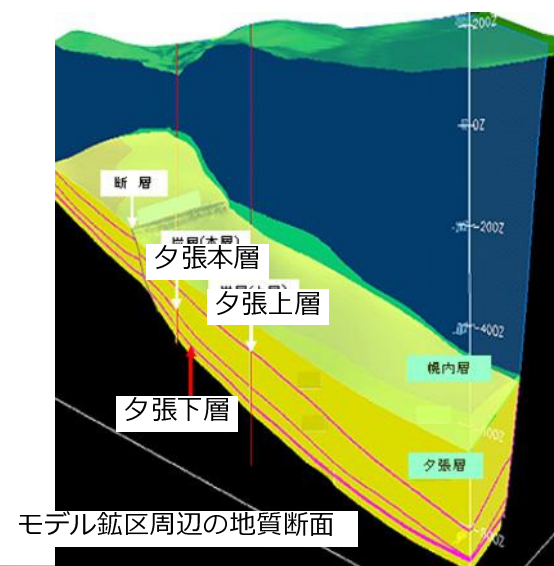
NEDO: 国内CBM資源調査可能性調査(北海道地区), 1998

モデル鉱区の設定とシミュレーション計算



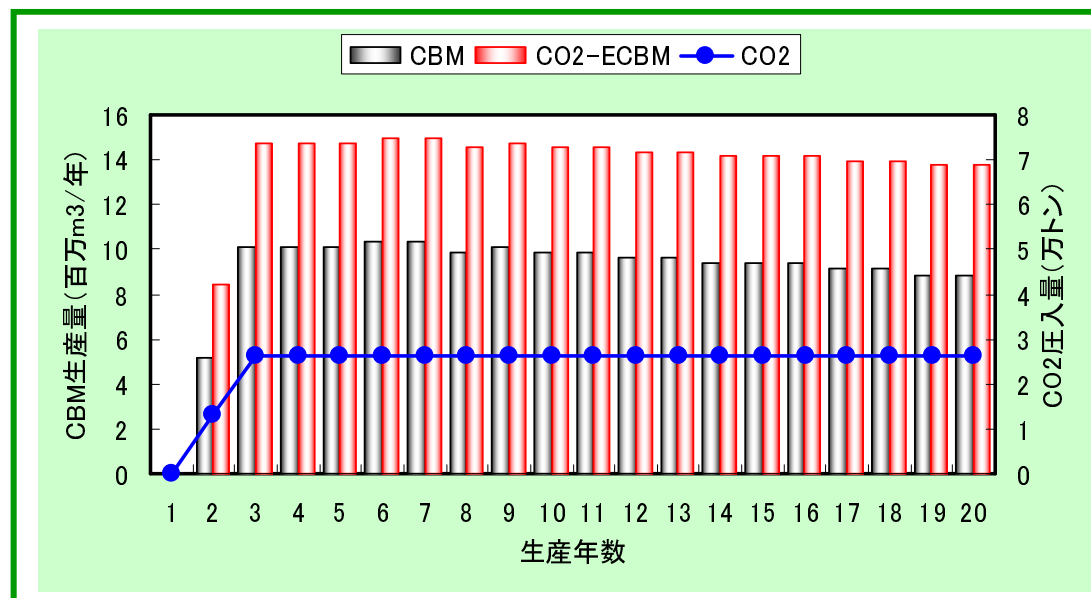
北海道夕張市に開発モデル鉱区を設定 シミュレーション計算を実施

- 鉱区面積：3.0 km²
- 坑井：600 m間隔、21本（毎年数本掘削）
- 炭層深度：-650 m～1,200 m
- 合計炭層厚さ：7.5 m
- ガス包蔵量：25 m³/t
- 浸透率：1.0 md
- CBM総資源量：約7億 m³



モデル鉱区周辺の地質断面

通常のCBM生産量とCO₂-ECBM生産量



- 3年目からフル生産
- CO₂注入量 26,000 t/年
(20t/d/本 × 4本 × 365 × 0.9)
- 総CO₂注入量 330,000 t
- 通常CBMでは1,000万m³/年
総資源量の**約27%回収**(19年)
- CO₂-ECBMでは1,400万m³/年
総資源量の**約38%回収**(19年)

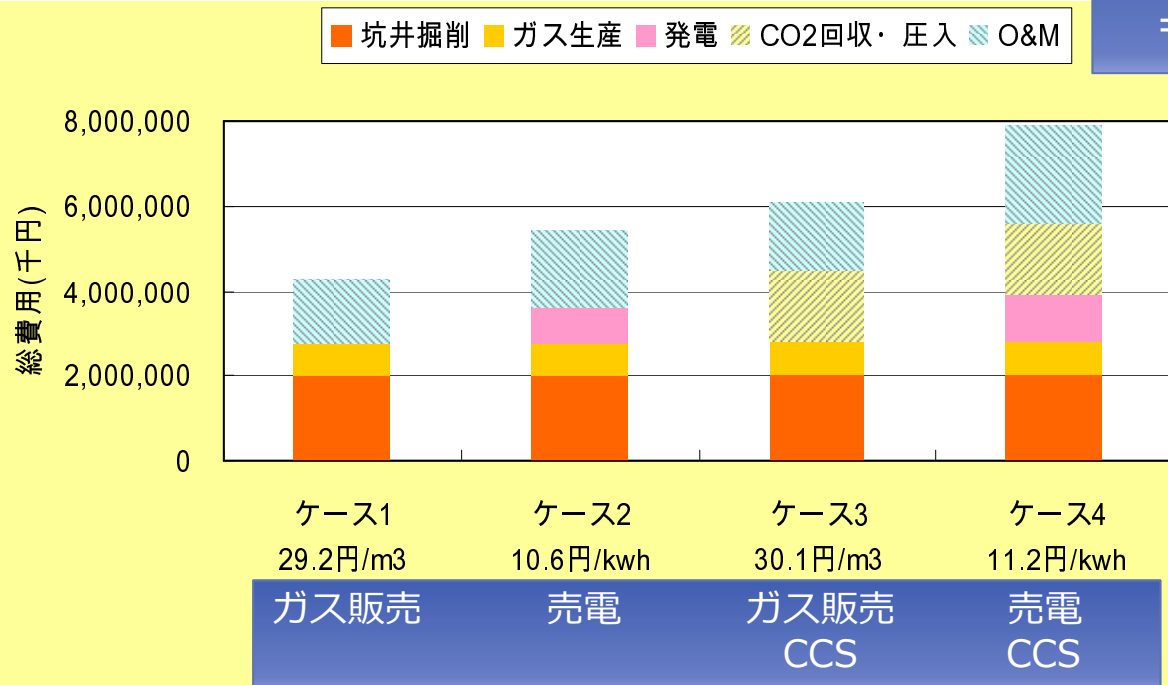
平均世帯の年間エネルギー消費量 45.3GJ (エネルギー・経済統計要覧, 2006)

メタンガスの発熱量 36 MJ/m³ (エネルギー源別発熱量一覧表, METI)

⇒ 年間1,400万m³のメタンガスは約11,000世帯分のエネルギー

CBM利用形態別総費用と生産原価

坑井掘削費の占める割合が大
⇒ コスト削減の鍵



ガス販売量

800万m³/年平均(ケース1)
 1,100万m³/年平均(ケース3)

売電量

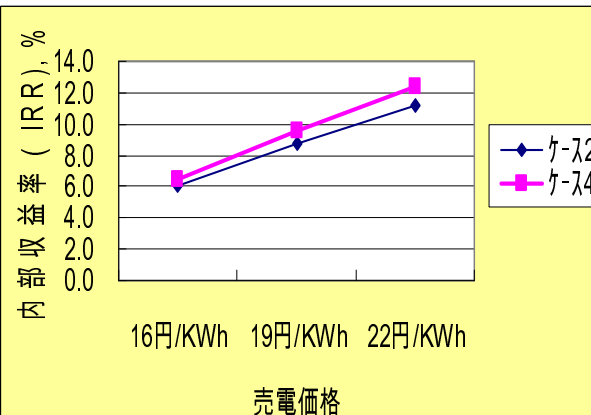
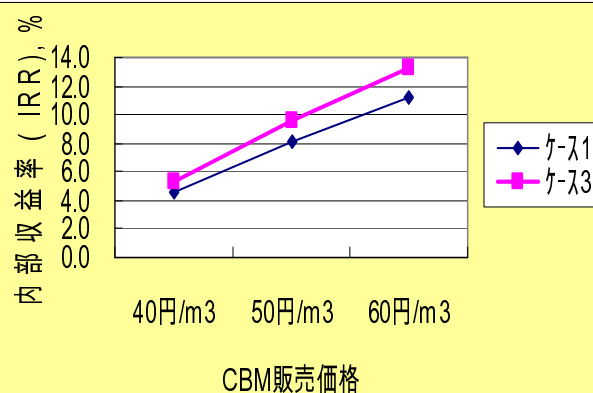
2,900万KWh/年平均
 (ケース2)
 3,900万KWh/年平均
 (ケース4)

CBM内部消費量

20 %

CO₂分離・回収コスト

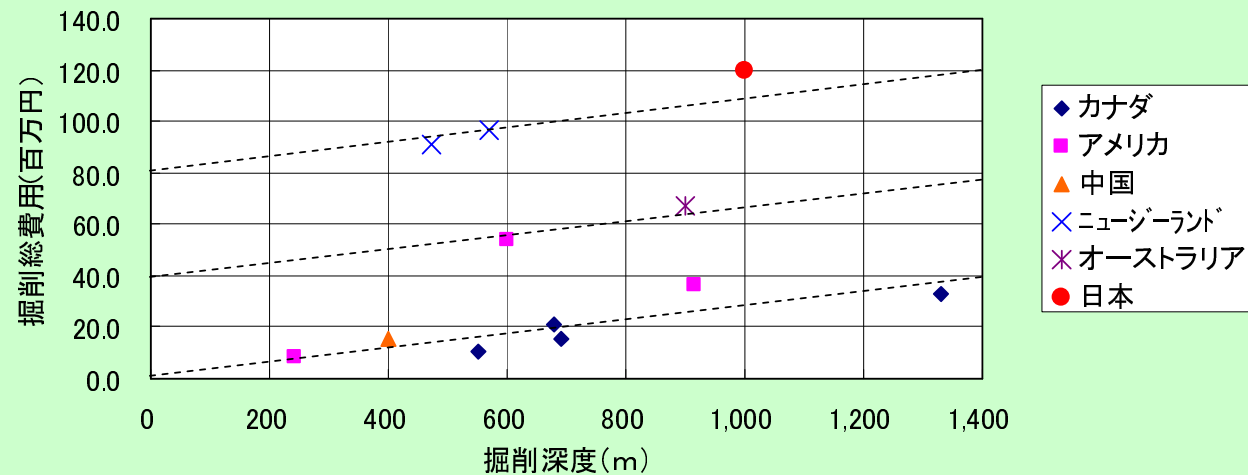
3,000 円/t-CO₂



内部収益率の計算

掘削コスト削減の可能性

CBM坑井（垂直）掘削費用の比較

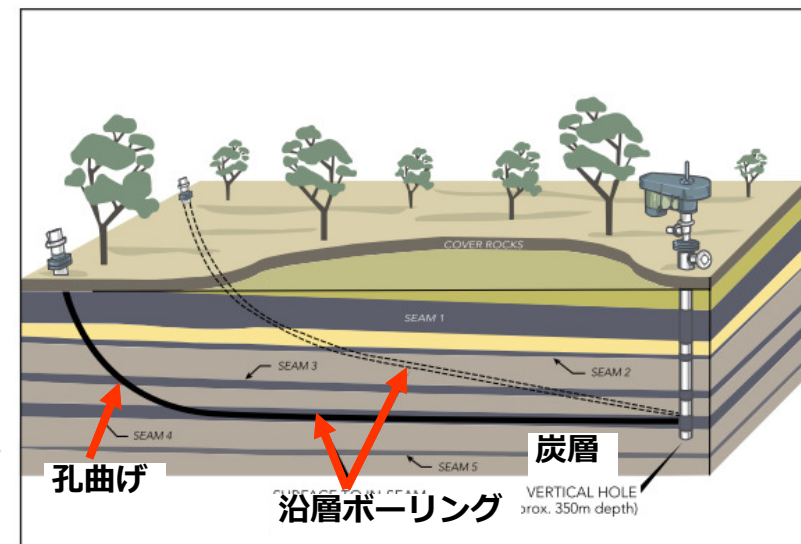


Utrecht Univ., Potential for CO₂ sequestration and enhanced coalbed methane production in the Netherlands, March 2001, Netherlands より作成

CBM生産量

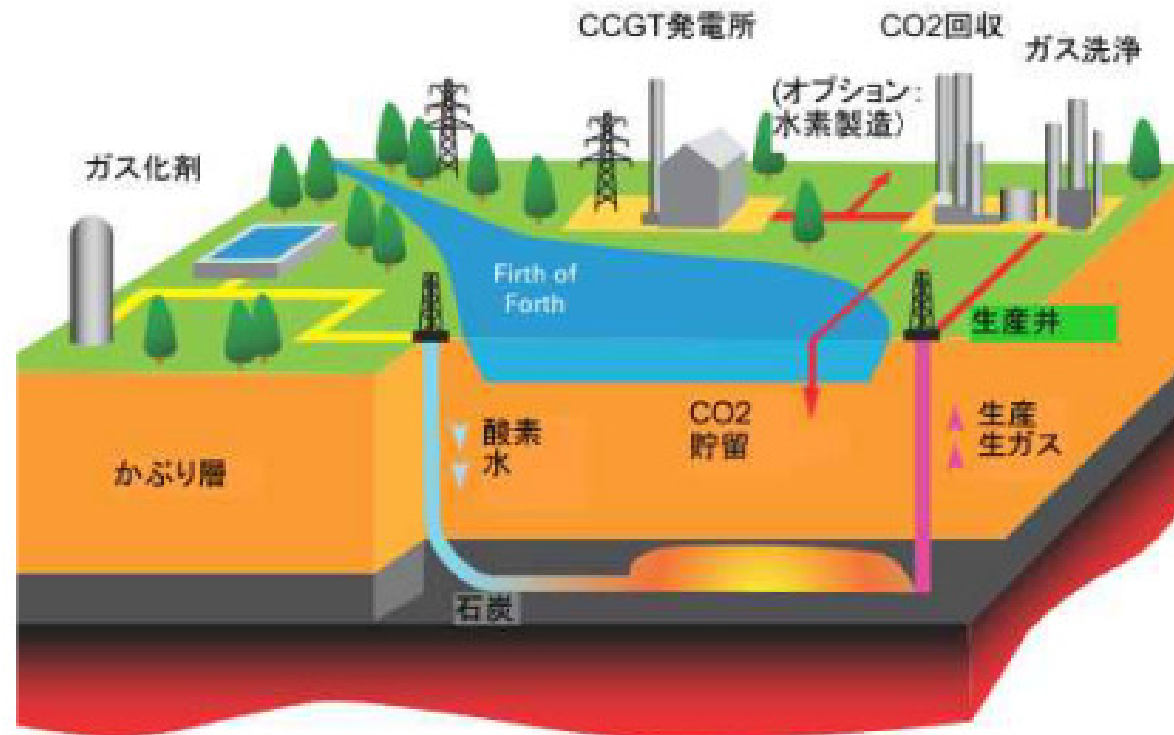
$\propto$ ガス包蔵量・浸透率・圧力差・**接触面積**
 炭層内の坑井長さを増大
 ⇒ 1本当たりの生産量の増大
 ⇒ 掘削坑井数の削減

方向制御掘削技術の適用



Source: www.ch4.com.au

石炭の地下ガス化 (UCG)

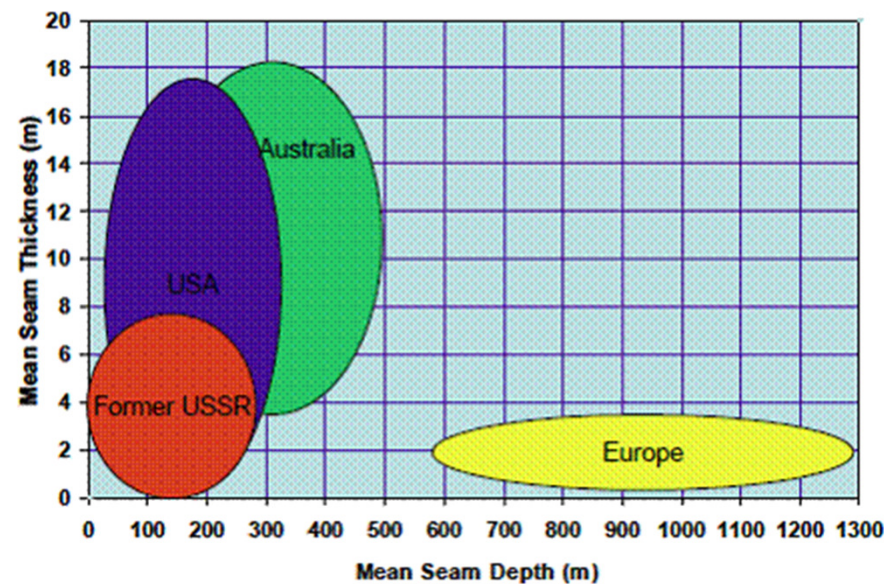


- 石炭を採掘することなくエネルギーを回収
- 未利用石炭を活用-埋蔵炭量の増加
- 大型ガス化炉の建設が不要（コスト削減）
- 石炭灰処理の問題解決
- 汚染物質排出(SO_x, NO_x, 水銀等)の減少
- CO2貯留の可能性

- 反応プロセスの制御
- 地下水汚染
- 地表沈下

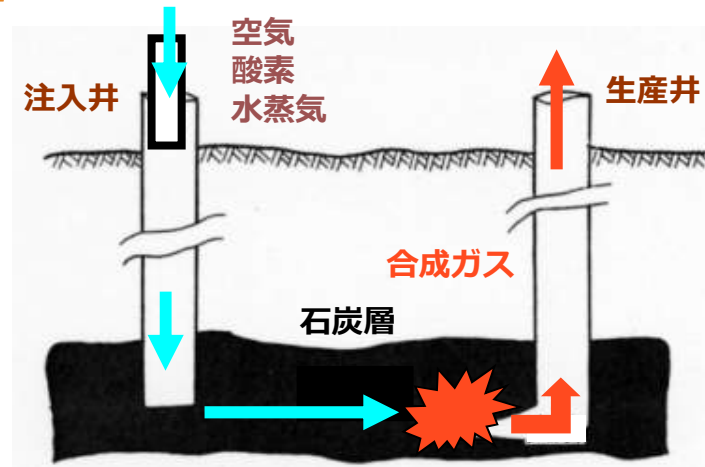
UCGの歴史

- ◆1886年にドイツのWilliam Siemensが、1888年にはソ連のメンデレーフがUCGを提唱。その後、レーニンがソ連でのUCG活用に言及。
- ◆1931年、ソ連に「UCG特別委員会」が組織され、各地で試験開始。
- ◆以後50年間、ロシアがUCG開発の中心（多くの商業生産に成功）。
- ◆アメリカのUCGへの取組は1960年代初め～1980年代中頃。
- ◆中国では1980年代～現在。
- ◆豪州、ニュージーランド、南ア、ヨーロッパでは1990年代から本格化。



炭層の深度と厚さに関連したUCG稼動経験

リンキング技術



◆**リンキング**：ガス通路の形成のため注入井と生産井を石炭層内で連結させる重要な技術

- 圧縮空気法
- 電気法、化学法
- 水圧破碎法 など

◆指向性ボーリングによる2坑井連結技術により従来のリンキング技術は不要に

着火技術

◆電気着火法

◆灼熱コークス

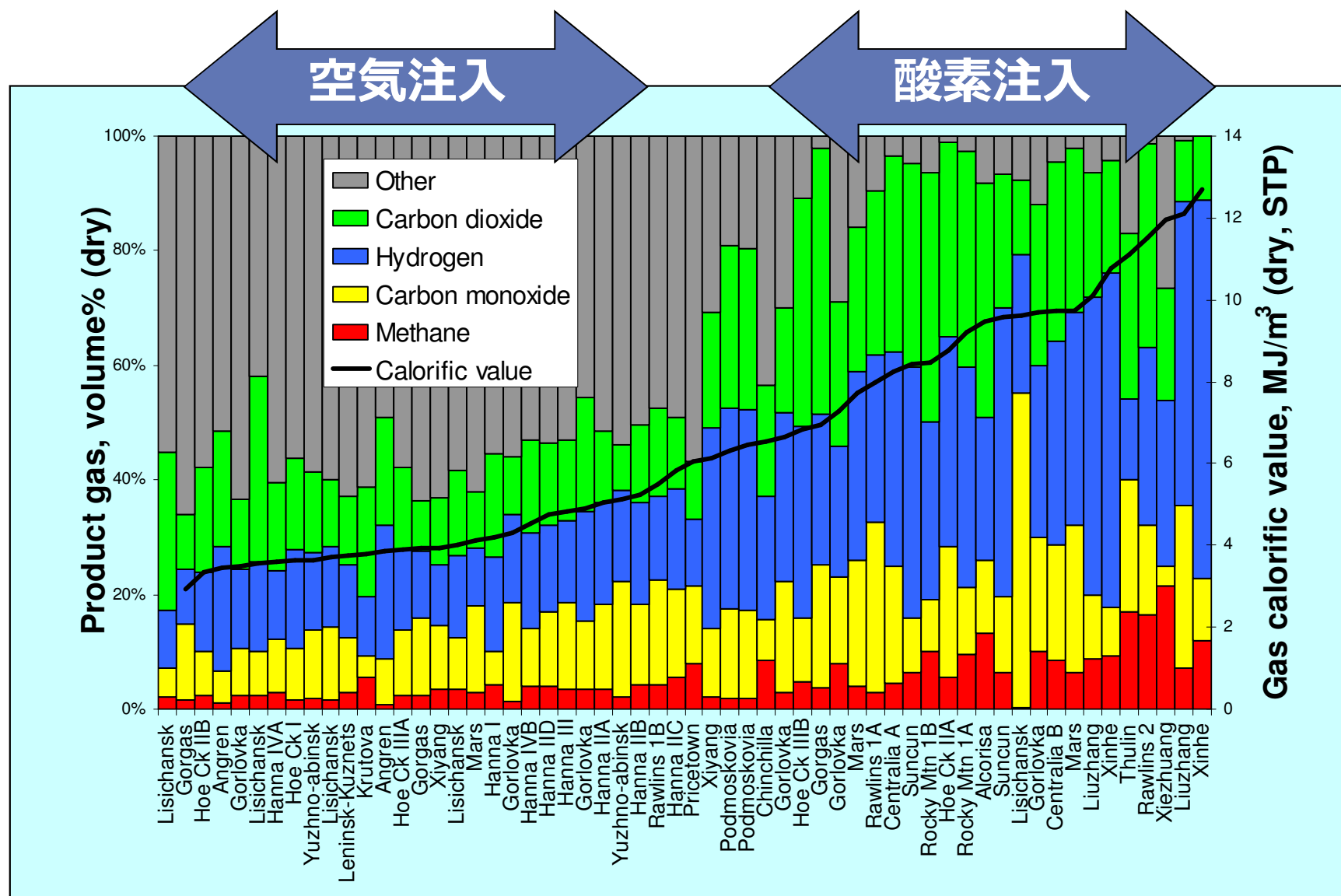
◆ガスバーナ法

◆酸化剤添加による化学法（シランガス+プロパンガス）

（炭層着火部に水が存在する場合には、孔底部の圧力を上げ、水を炭層内に押し込む）

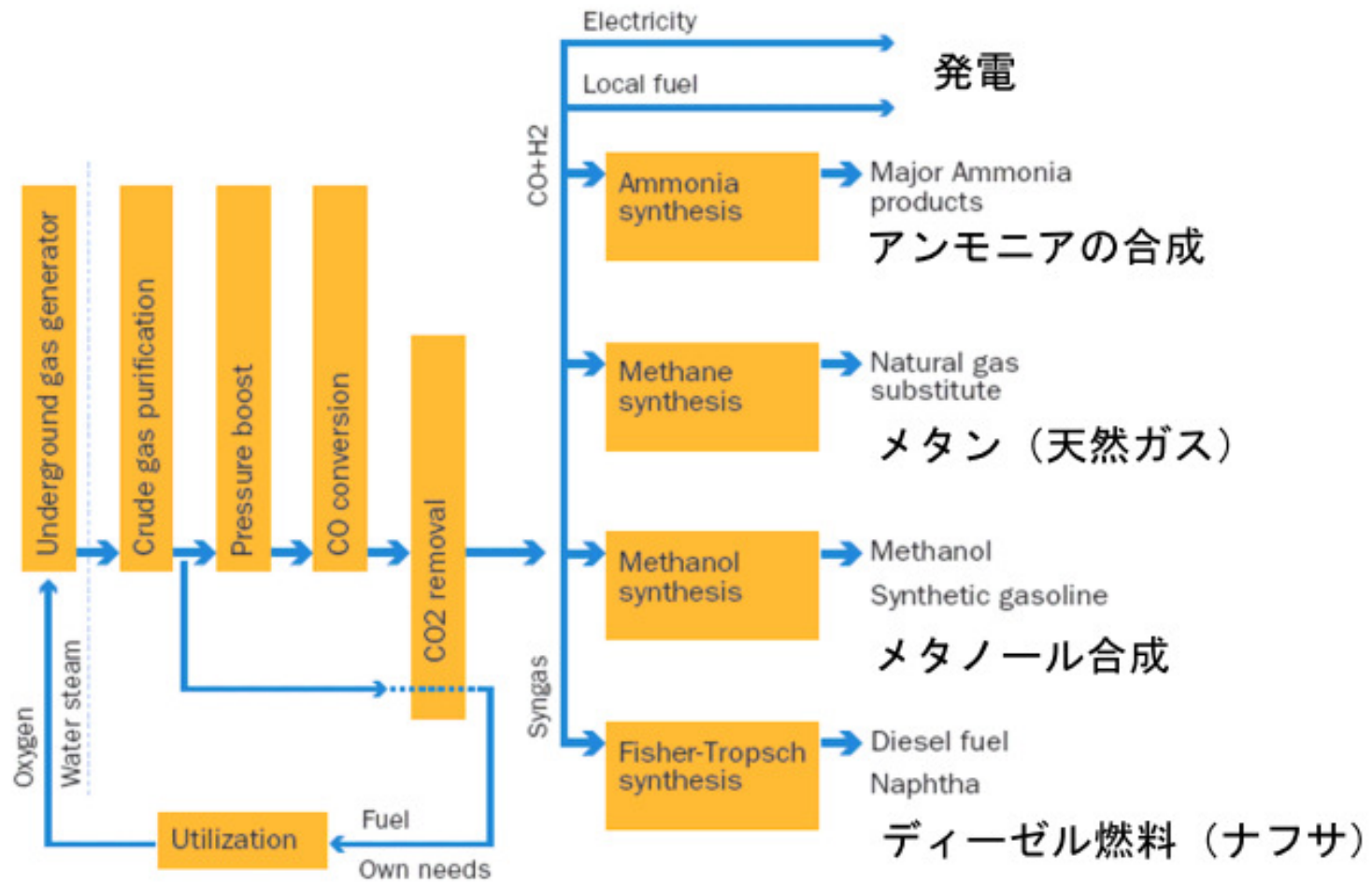


UCG生成ガスの性状（サイト別）



UCG生成ガスの利用

UCGプロセスと生成ガスの利用オプション



UCG ポテンシャル

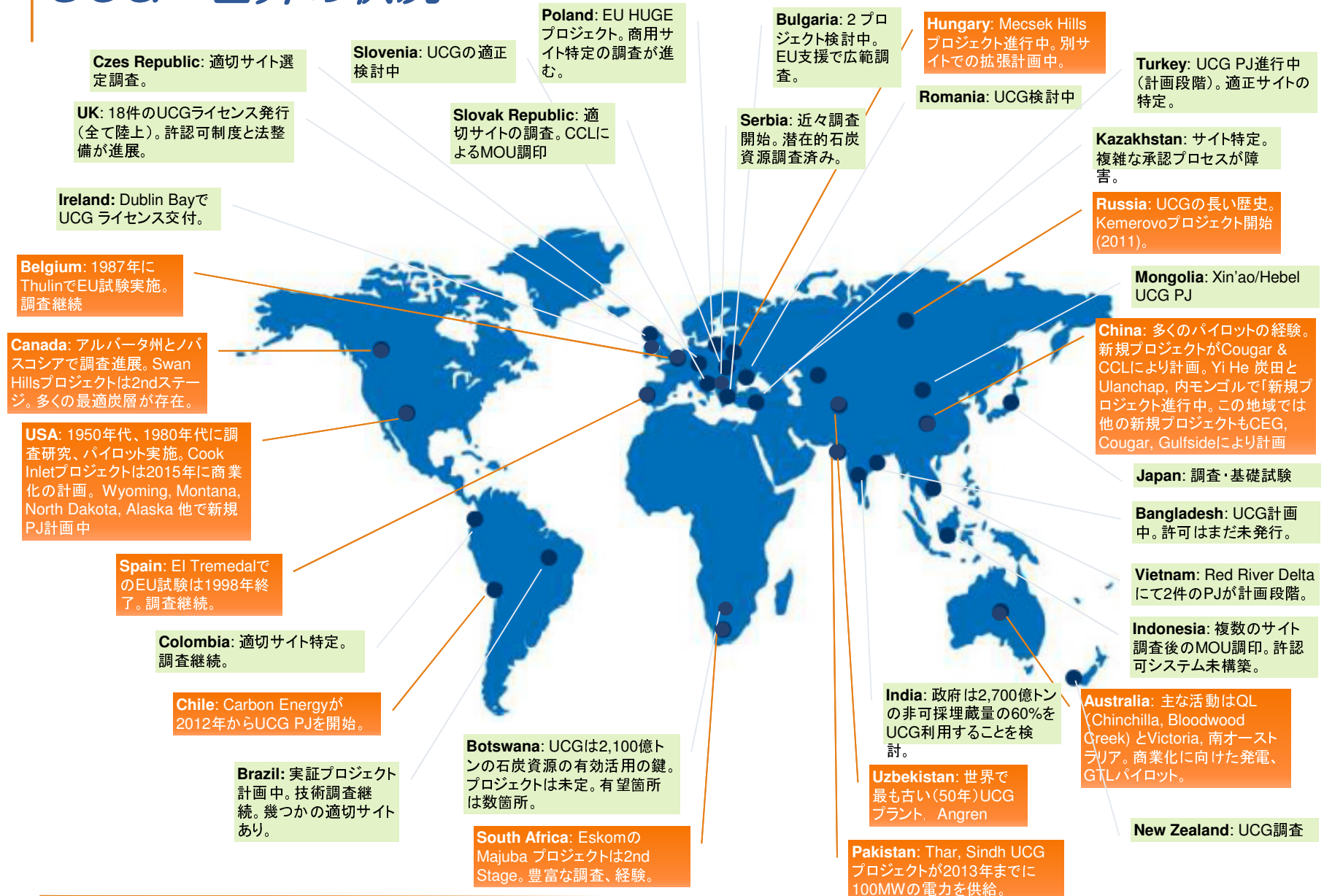
UCG適用石炭量（増加分）とUCGガス量の推定

国	UCGにより増加する 石炭埋蔵量	UCGによるガス資源 量(天然ガス相当)	天然ガス埋蔵量 (2006年)
	10億トン	兆m3	兆m3
アメリカ	138.1	41.4	5.5
ヨーロッパ	130.1	21.8	6.0
ロシア	87.9	16.3	47.8
中国	64.1	19.2	2.4
インド	51.8	15.5	1.1
南アフリカ	48.7	8.2	0.0
オーストラリア	44.0	13.2	2.5
合計	564.7	135.6	65.3

出典：世界石炭協会

Source: World Coal Institute

UCG : 世界の状況



(Julie Lauder, Annual Review, 7th International UCG Conference & Workshop, May 2012, Londonより作成)

米国におけるUCG (1)

*LVW法: Linked Vertical Well 法

Hanna (LVW法*) 1971-1980年に5回の試験 (空気吹き)

対象炭層: 深度80-120m, 6-8m厚

温度計測やガス化炉形成状況把握

Hoe Creek (LVW法*) 1972-1979年に3回の試験

対象炭層: 下層 (深度40m、7.5m厚) 及び上層 (深度30m、3m厚)

上層もガス化 → 地盤沈下、地下水流入により汚染 (修復データ取得)



汚染地下水修復作業

タール等の汚染物質が存在しているガス化炉内部に、地下水が流入しないよう加圧空気を送り込み、汚染物質については、微生物処理の方法を採用している。微生物は好気性微生物のため、圧入空気の送入は微生物処理にも適しており、有害物質の減少が確認されている。

米国におけるUCG (2)

Rawlins (Gulf Oil/DOE)

- 1979年（空気吹き、30日間）、1981年（酸素/蒸気、65日間）の2回試験
- 炭層傾斜63°、深度180m、商業規模のガス化炉で実施
- CH₄濃度の高い中カロリーガス
- 酸素使用、プロセス制御良好、全環境規制に準拠
→ 最も成功した例



Rocky Mountain I (Gulf, AMOCO, EPRI等)

- 商業化UCGに最も近い代表的なUCG試験、深度380m
- 1987～88年、ガス化法（LVW- CRIP）の比較、商業規模用データ収集等
- プロセス評価、環境評価、生成ガスの精製等の検討 → 当初目標を達成

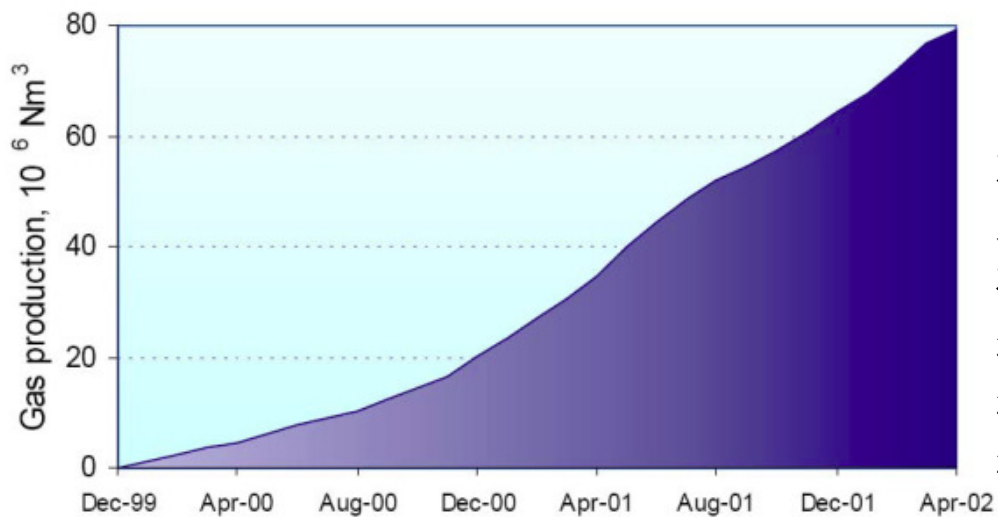
	ELW法*	CRIP法**
ガス化期間	58日	93日
石炭消費量(t)	4,443	11,227
石炭ガス化レート(t/日)	70-100	70-200
平均生成ガス熱量 MJ/m ³	8.8	9.5

*ELW: Extended Linked Well

**CRIP: Controlled Retractable Injection Points



Chinchilla, Australia (Linc Energy)



Chinchillaでの累積ガス生産量推移

1stパネル試験：

UCG期間：Dec/99 ～ Apr/02（約800日）

対象炭層：10m厚、深度140m

ガス生産レート：80,000 Nm³/h

石炭消費量：約 35,000 tons

生産ガス量：80,000,000 Nm³

生産ガス熱量：5.0 MJ/Nm³

生産ガス温度、圧力：10 気圧 (145 psig) ,
300℃

Chinchilla, Australia (Linc Energy)

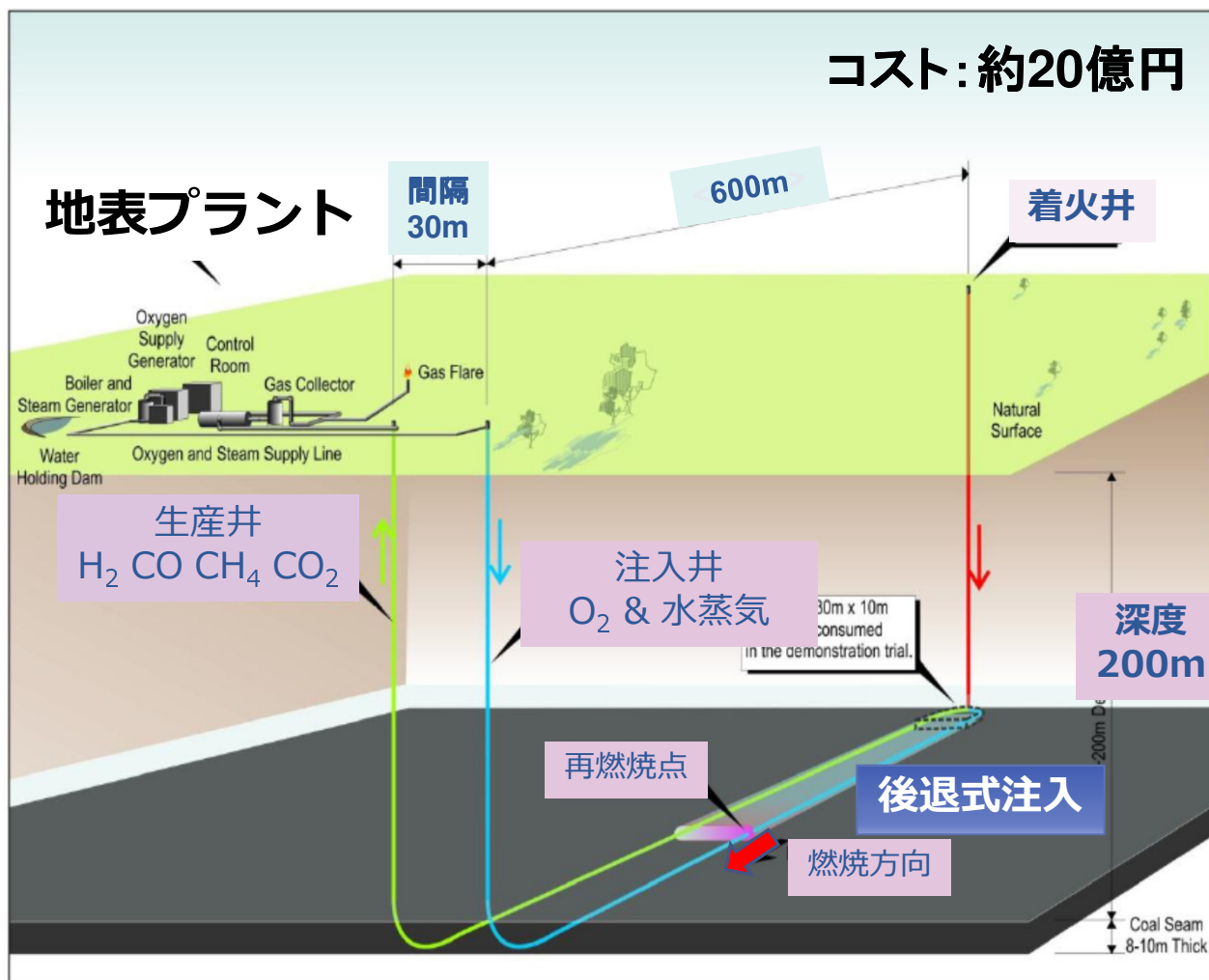


ChinchillaのUCGプラント



ChinchillaのGTL設備

Bloodwood Creek, Australia (Carbon Energy)



The 100 day Trial

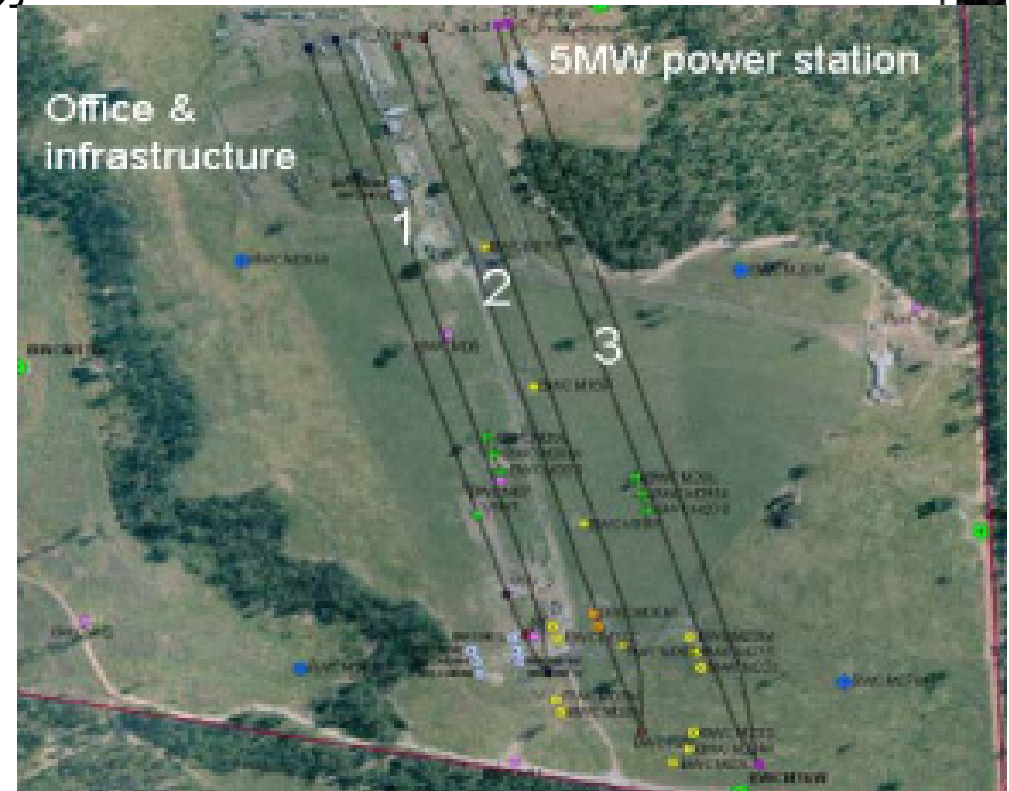
- 酸素吹き込み能力：
70t/d
- 蒸気生産能力：70t/d
- ガス化レート：
90→150t/d
- 石炭消費量：
12,600 t = 30m x 30m
x 10m x 1.4
- 目標ガス生産レート：
1 PJ/Year
(天然ガス2,500万m3)

Bloodwood Creek, Australia (Carbon Energy)

- 2009年7月：5MW発電所建設開始
- 2010年8月：UCGパネル2及びパネル3の建設開始
- 2011年2月：UCGパネル2からの最初のガス生産
- 2011年8月：5MW発電・送電に成功
- 25MW発電所（第2フェーズ）
パネル3開発
- 300MW発電所（第3フェーズ）
鉱区に隣接するエネルギー
パーク内に建設予定



UCG生成ガス発電所(5MW)

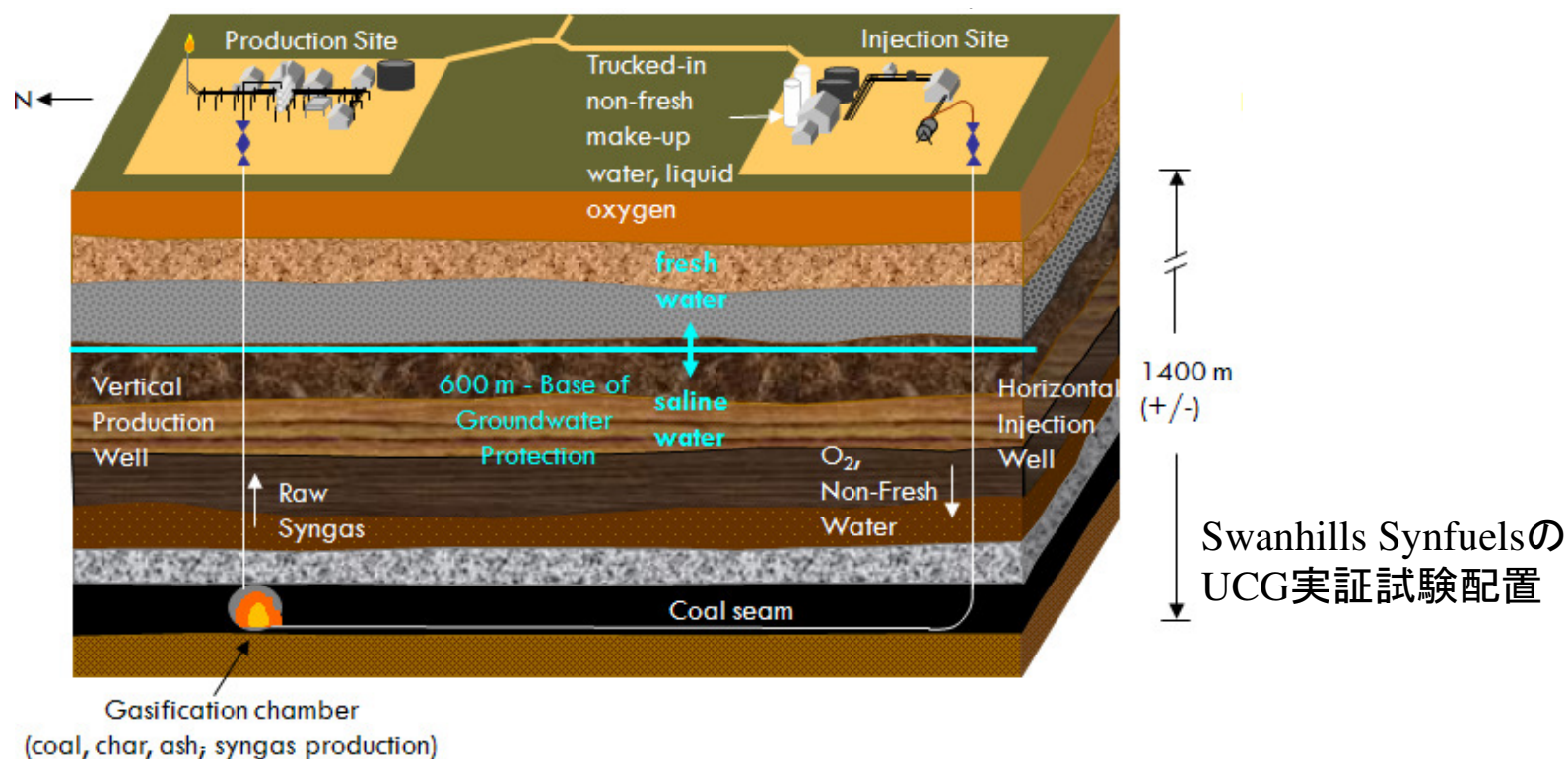


UCG現場坑井配置図

Source: Carbon Energy Co.

Swanhills, Canada (Swanhills Synfuels)

- ISCG (In-Situ Coal Gasification)
- 2009年に実証試験完了（炭層深度1,400m）
- 2015年から総額15億カナダドルのISCG/Powerプロジェクトの開始
- 北米初のUCGガスによる300MW発電とCO₂回収・貯留を組み合わせたプロジェクト



Source: Swanhills Synfuels

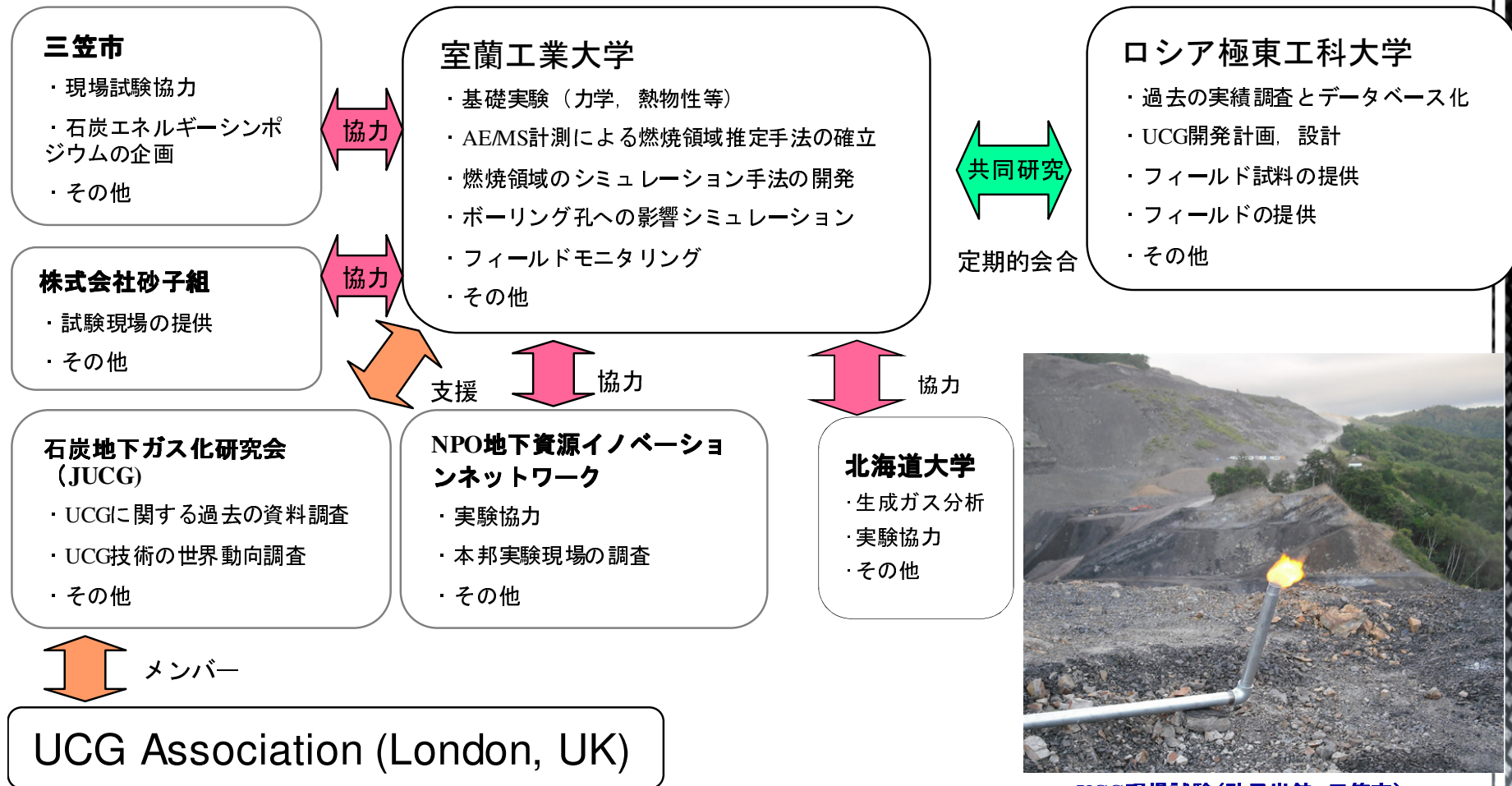
Swanhills, Canada (Swanhills Synfuels)

実証試験の状況



国内でのUCGへの取組

最近のUCG研究の協力体制



UCG現場試験(砂子炭鉱, 三笠市)
2011年8月22日

CBM/UCGを核としたローカルエネルギー供給モデル

