



EOR/EGR技術概要および日本でのCO₂圧入事例

Japan Oil, Gas and Metals National Corporation

2022.10.07

CCS推進グループ

注意点：
本プレゼンテーション内容は公表データ等に基づくものですが、EGR等適用途上の技術もあるため様々議論が行われていることをご了承ください。

Outline

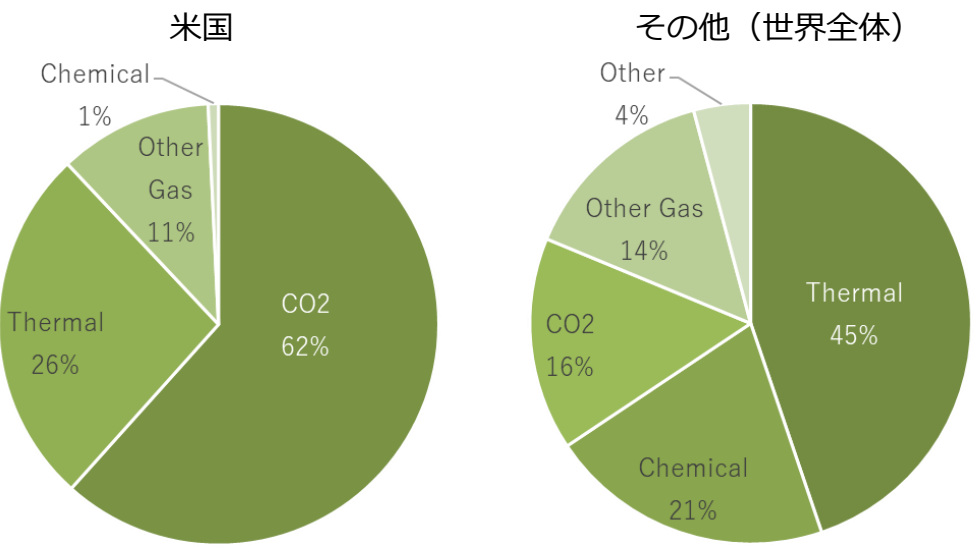


- EOR/EGR技術概要・歴史
- 国内におけるCO₂圧入事例
 - 頸城
 - 申川
 - 夕張

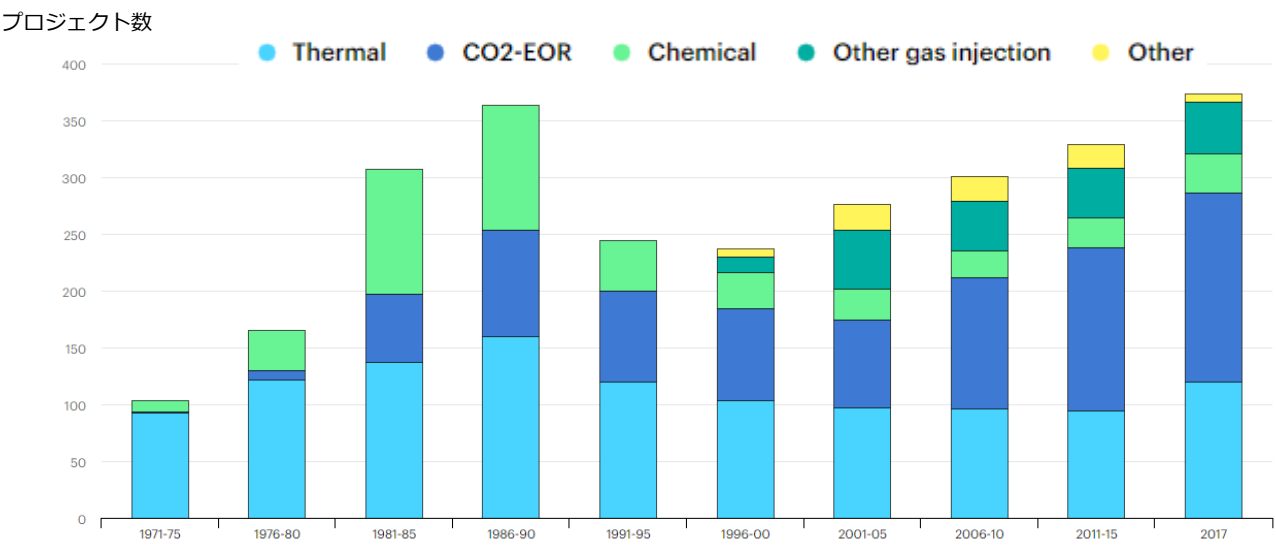
EOR/EGR技術概要・歴史

EORの歴史と現状

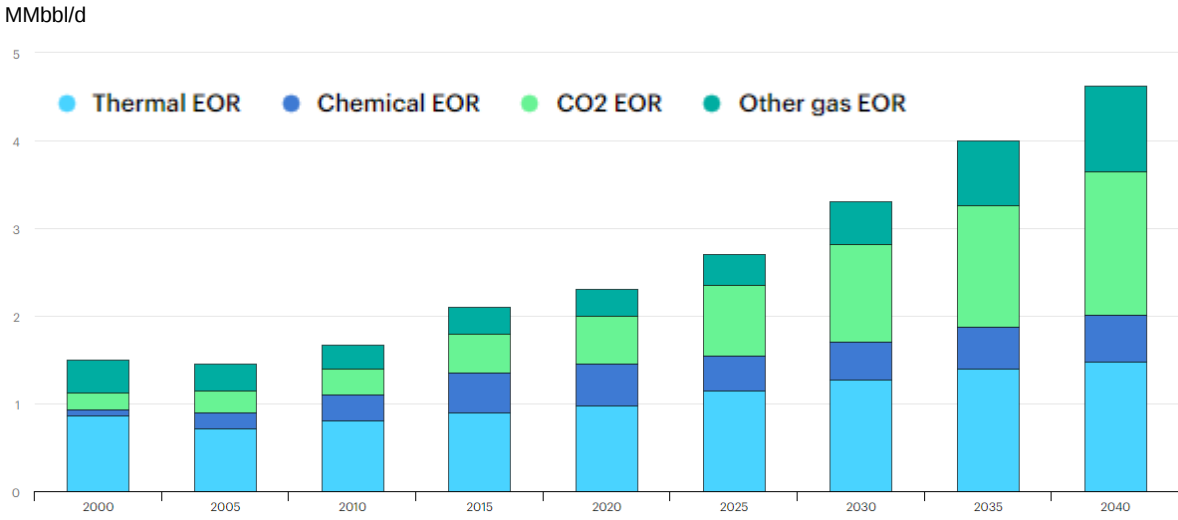
- CO₂-EOR技術は1952年に米国で最初の特許が認められて以来、技術開発が進み、特に**1972年に米国テキサス西部SACROC（Scurry Area Canyon Reef Operators Committee）プロジェクトが開始されて以来、急速に発達**
- 2018年11月発行のIEAによるEORに関する報告によれば、**CO₂-EORプロジェクト数は特に80年代以降に大きく増加**
- 米国ではCO₂-EORのプロジェクトが過半数を占める一方で、他国では熱攻法が中心
 - ✓ ベネズエラ・カナダ・中国など、重質油資源活用のための熱攻法利用
- EORによる原油生産量は**2040年には450万b/dに到達し、うち3割程度がCO₂-EORプロジェクト**によると予測されている



2017年時点のEOR種別割合（IEA, 2018）



出典：世界のEORプロジェクト数の変遷（IEA, 2018）



出典：EORによる原油生産量の推移と予測（IEA, 2018）

EORとは

自噴（1次回収）だけでは油の回収量が少ない

油の場合地層にある内の5～25%程度しかとれない

- 理由1：時間が経つと油層は圧力が下がり、地上との圧力差が小さくなりだんだん出にくくなる
- 理由2：油は岩石の隙間に入っており、かつ岩石にくっついているので移動しにくく、地層中に油が残ってしまう

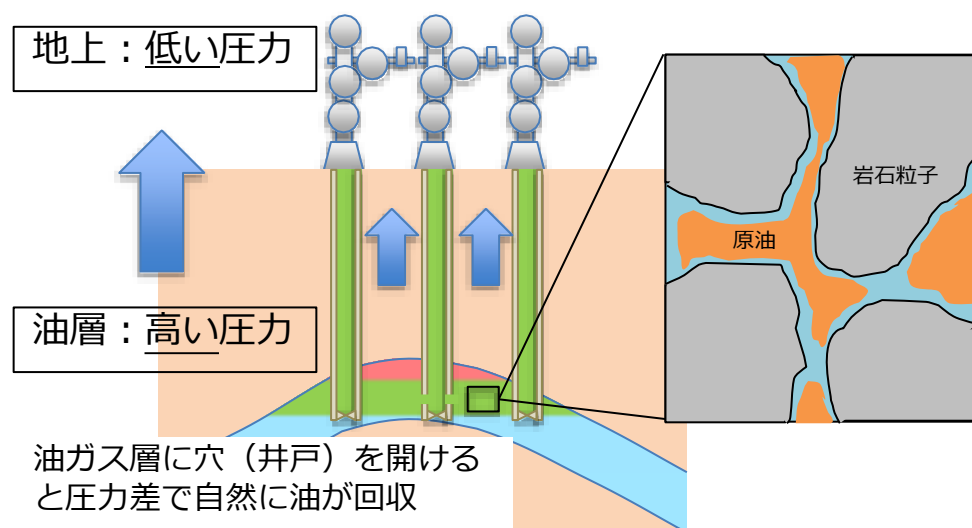
更に回収量を増やすため

■2次回収（水攻法）：油層圧力を上げたり、地下に残った油を井戸に向けて押し流すために周りから水を圧入する

■3次回収(EOR : Enhanced Oil Recovery)：水以外を使い更に油層に働きかける

①ネバネバした油を動きやすくするため油層を加熱したり（熱攻法）、薬剤を入れる（化学攻法）

②油とガスを混ぜて流れやすくする（ガス攻法）⇒CO₂を用いるものがCO₂-EOR

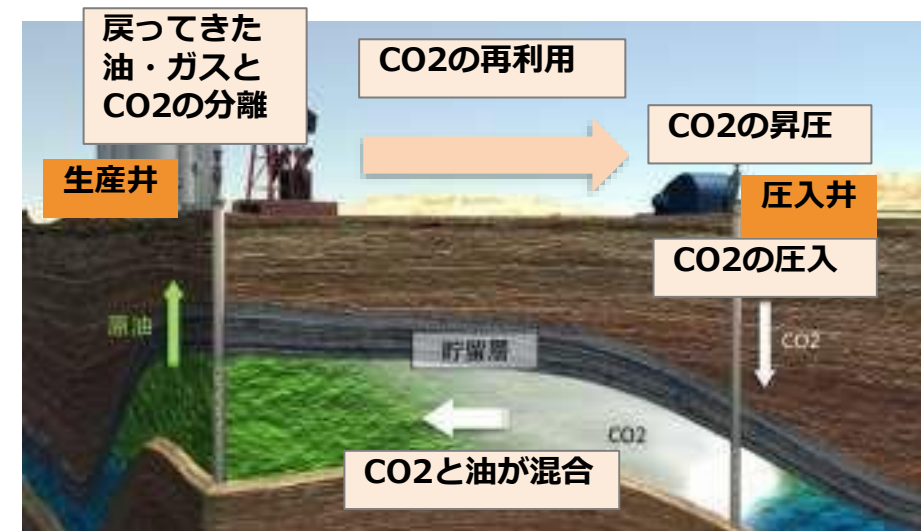


<CO₂-EORとは>

- 油層内に**超臨界状態のCO₂**を圧入し、原油とCO₂間の反応により原油性状を変化（**ミシブル：原油とガスが混ざり、原油が岩石から離れやすくなった状態に**）させる
- 原油が移動しやすくなったところに水を圧入し、回収率を向上させる

Q:なぜガスとしてCO₂を用いるか？

- 温室効果ガス削減のため（CO₂の一部は地下に残る為、CO₂の地下貯留=CCSとしての効果がある）
- CO₂は油層温度の条件において、**低い圧力で**原油・ガスが混合した状態（ミシブル）になりやすいので、他ガスと比べて昇圧のコスト削減となる



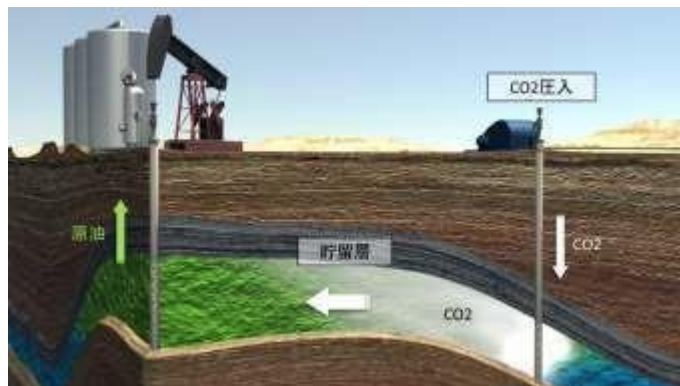
CO₂-EORとCCSについて

■ CO₂-EOR (Enhanced Oil Recovery) : 二酸化炭素圧入による石油増進回収

知見活用

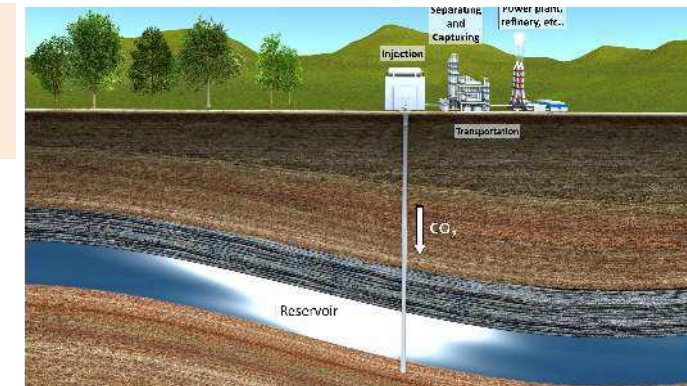
■ CCS (Carbon Capture and Storage) : 二酸化炭素の回収と貯留

CO₂を原油貯留層に圧入することで、油層内の原油の流動性を高め、原油の回収量を向上させる技術。一部のCO₂は地下に残留し貯留される。



- 油の増産を目的で実施（**CO₂の貯留も同時に達成される**）
- 既にデータの多数ある既存油田周辺を対象とするため、入手できるデータの量や追加調査にかかるコストが純粋CCSに比べて少なくて済む
- 実施により油の増産に繋がり、**収益**となる
- デメリットとしてはエリアに限られる（日本では、新潟・秋田・北海道などに限定）

CO₂を地下に長期貯留する目的で、枯渇油ガス田や帯水層に圧入する。



- CO₂の貯留目的で実施（**CO₂を入れることが目的**）
- 油ガス層以外も圧入対象に（帯水層など）
 - **帯水層を対象とする**の場合リスクが高い⇒枯渇油ガス田へ入れる場合は、油ガスを保持していた実績があるのに対し、帯水層の場合はCO₂リークや貯留層（砂など）の存在確度にリスク
 - 油ガス田地域以外ではこれまで十分調査されておらず、データが不足しがち
 - 長期的にリークしない安定性の担保が必要
- CCS単独事業の場合**コスト**になる⇒現状CCS単独事業でなく、油ガス田生産やブルーアンモニア製造に伴って適用が実施、もしくは検討がされている。

EGRとは

一般的にガス層においては、**自然エネルギーによる1次回収率が70%もしくはそれ以上**であることが多く、EORほど注目を受けることは少ない。
ただし、回収率増加に関する手法として研究が進められており、**特に非在来型ガス資源の生産手法**として注目されている。

EGRの手法の例

・ **ガス層管理の最適化**

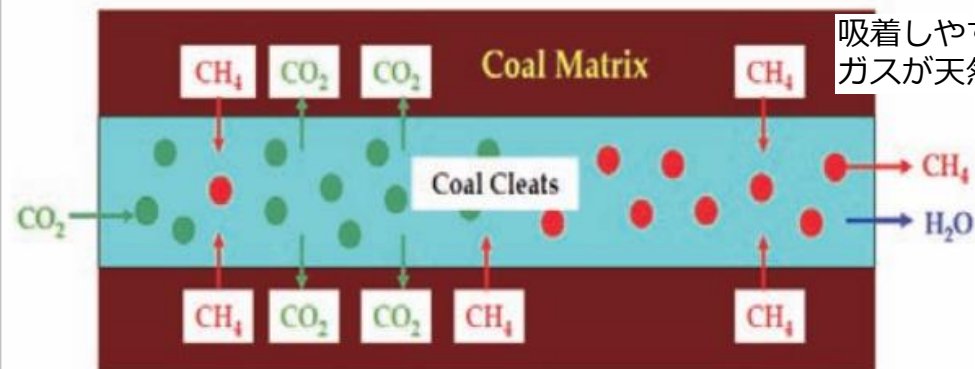
ガス層の生産/圧力制御、坑井の効率的配置、地層障害除去

・ **CO₂圧入によるガス置換**

CO₂溶解水圧入と地層水汲み上げのバランスによる圧力維持とガス回収
⇒ 水溶性天然ガス

メタンとCO₂の吸着性の差異を利用してメタンガスの増産を促すとともに、
CO₂固定へ貢献

⇒ 非在来型ガス資源 (ex. **ECBM : Enhanced Coalbed Methane**)

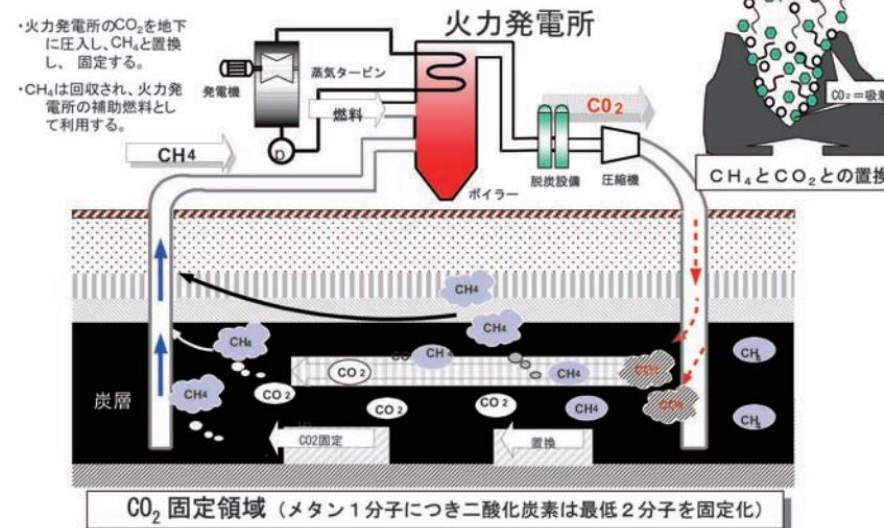


CO₂-ECBMによる増進回収プロセス概念図
(出典：松原ほか, 2008)

<CO₂-ECBMとは>

- 石炭の中には非常な微細な空隙があり、地層内のメタンガスは空隙の表面に吸着して存在
- 石炭の空隙表面への吸着力はガスの種類によって異なるが、**CO₂ガスはメタンガスと比較して2~3倍吸着**する
- 炭層内にCO₂ガスを圧入し、吸着しているメタンをCO₂に置換することで、**メタンガスを回収可能**
- メタンと置換される形でCO₂は石炭の空隙表面に留まるため、**CO₂の地下貯留=CCSとしての効果がある**

CO₂固定-メタン置換回収メカニズム



CO₂-ECBM概念図 (出典：島田, 2005)

国内におけるCO₂圧入事例

① 頸城（くびき） : CO₂-EOR

エリア位置 : 新潟県 頸城油田

CO₂圧入期間 : 1991年2月～1993年6月

② 申川（さるかわ） : CO₂-EOR

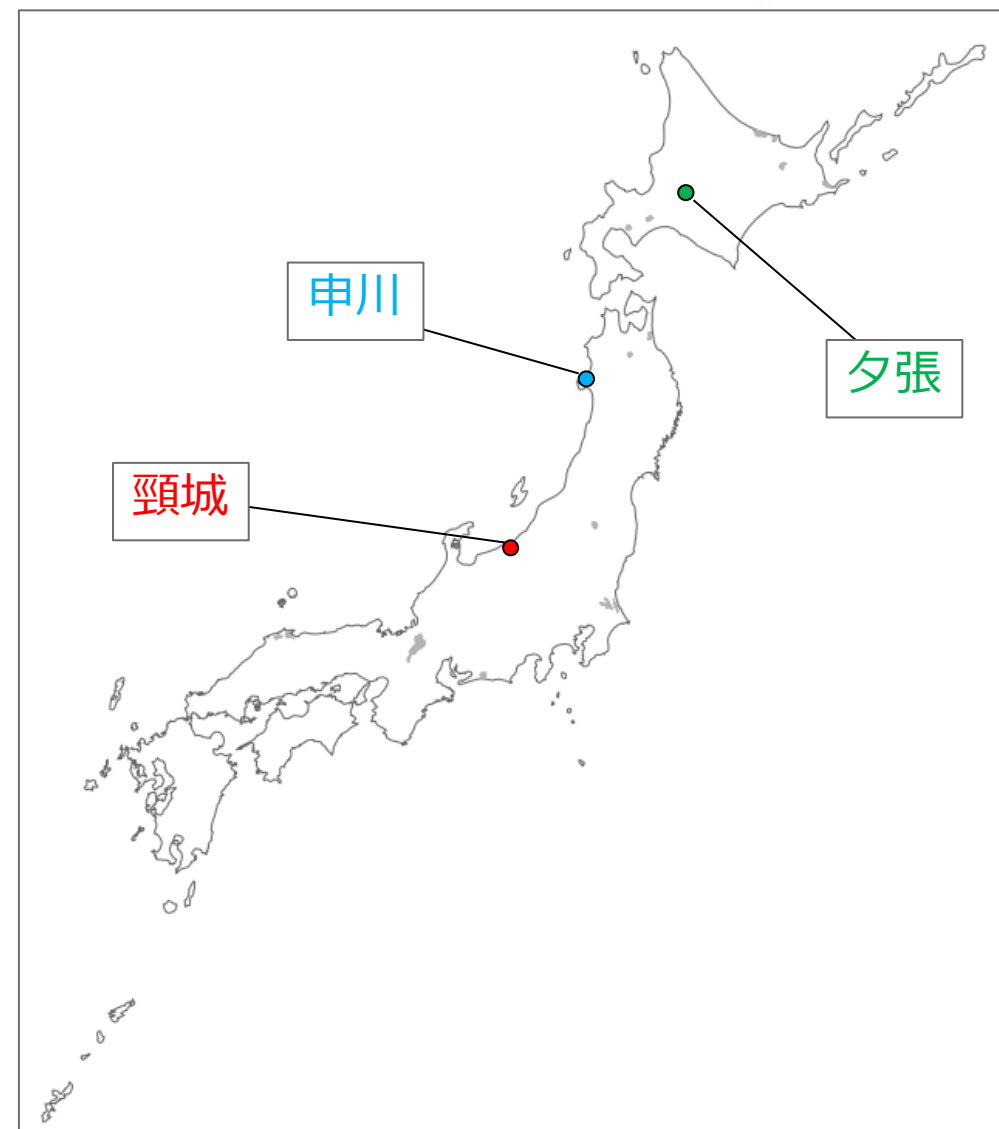
エリア位置 : 秋田県 申川油田

CO₂圧入期間 : 1997年9月～1999年9月

③ 夕張（ゆうばり） : CO₂-ECBM

エリア位置 : 北海道石狩炭田南部地域

CO₂圧入期間 : 2004年11月～2007年10月



新潟県頸城油田CO₂-EOR実証試験



【目的】

- 水攻法後の油層に対する、三次回収（CO₂-EOR）での増油効果確認
- CO₂-EORプロジェクトの計画から実行・評価に至るまでの技術確立

【対象エリア】

- 新潟県 頸城油田（砂岩層）

【実施組織】

- 帝国石油株式会社

【CO₂圧入期間】

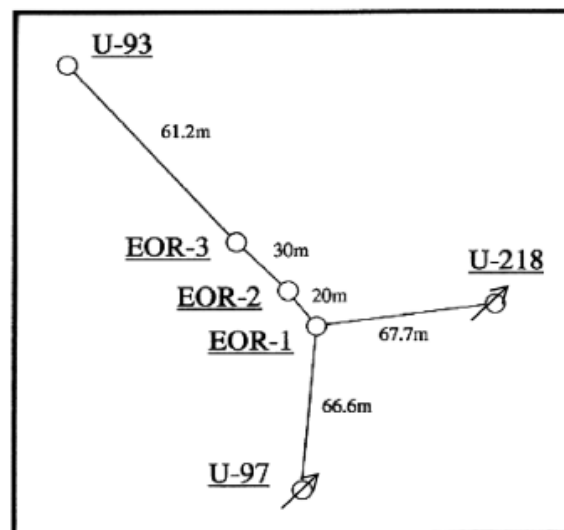
- 1991年2月～1993年6月

【実施内容】

- CO₂の圧入および圧入中の圧力観測ならびに物理検層と流体サンプルの取得
 - **CO₂圧入総量 9,777 ton**
(圧入能力上限：15 ton/d)

【実施結果】

- すべての観測井で油層圧力の上昇、増油、CO₂ガス到達を確認
- 実証試験と並行してCO₂ガスコア掃攻実験を含む室内実験、油層シミュレーションスタディが行われ、総合的な技術向上



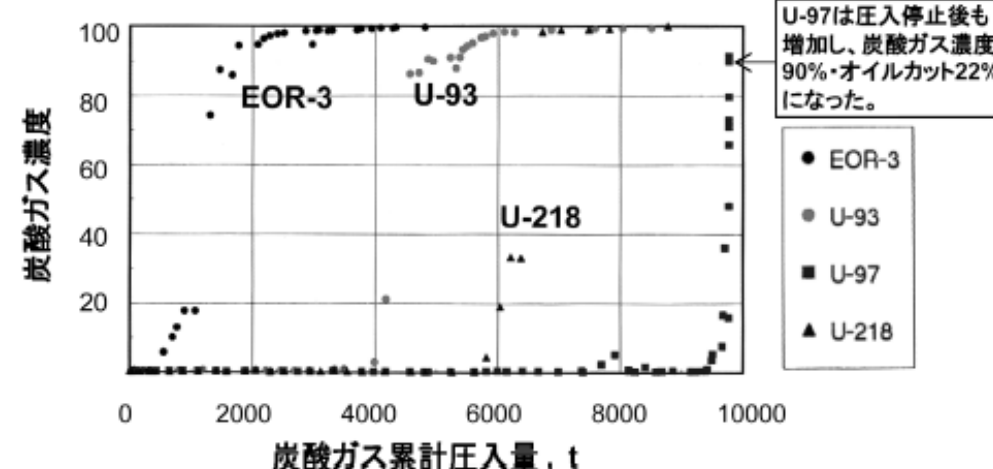
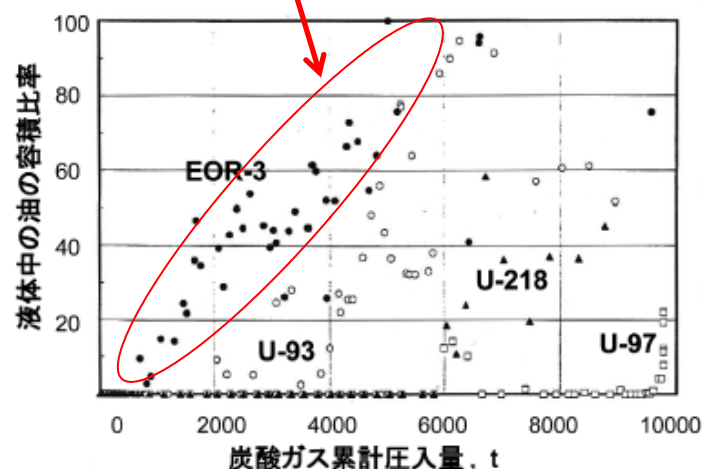
EOR-1 炭酸ガス圧入井

EOR-2 観測井（物理検層専用）

EOR-3, U-93, U-97, U-218
観測井（坑底圧力測定
サンプリング）

坑井位置（出典：島本, 2011）

圧入井に近い観測井（EOR-3）
の油生産比率が最も早く上昇



実施試験中の油・ガス量の変化（出典：島本, 2011、JOGMEC一部加筆）

申川油田におけるCO₂-EORパイロットテスト

【目的】

- 水攻法後の油層に対する、三次回収（CO₂-EOR）での増油効果確認
- CO₂-EORによる掃攻メカニズムの解析

【対象エリア】

- 秋田県 申川油田（砂岩層）

【実施組織】

- 石油資源開発株式会社

【CO₂圧入期間】

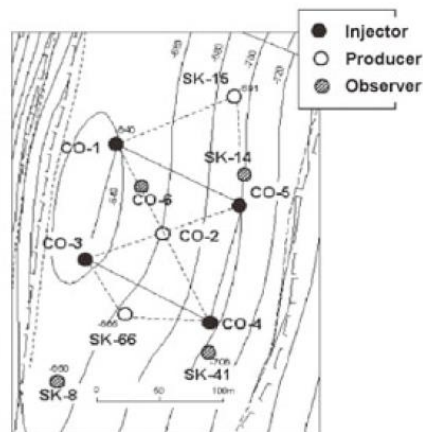
- 1997年9月～1999年9月

【実施内容】

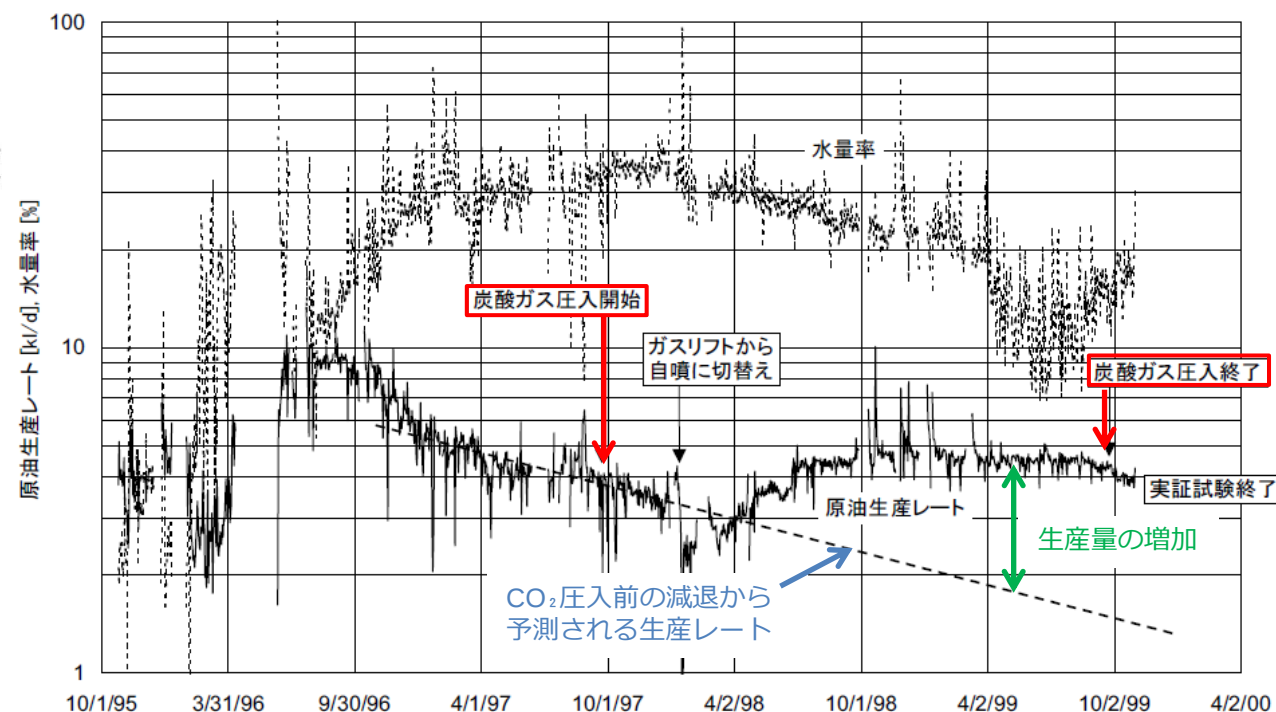
- CO₂圧入、油の生産、ならびに物理検層（RST検層、坑井間トモグラフィ）、トレーサートテスト等
 - **CO₂圧入総量 10,450 ton**
 - **累計油生産量 35,217 bbl（初期埋蔵量の26.6%相当）**

【実施結果】

- CO₂ガス圧入による顕著な増油の確認
- 物理検層技術によるモニタリング技術の向上（CO₂侵入エリアの把握、地下構造把握）



坑井位置（出典：岡部, 2008）
1辺100mの正5点法



生産井CO-2での生産挙動（出典：熊谷, 2000、JOGMEC一部加筆）



夕張 CO₂炭層固定化技術開発



【目的】

- CO₂の炭層固定、CBMの増進回収効果の実証 (ECBM: Enhanced Coal Bed Methane)

【対象エリア】

- 北海道 石狩炭田南部地域の炭層

【実施組織】

- 経済産業省
「二酸化炭素固定化・有効利用技術等対策事業」

【CO₂圧入期間】

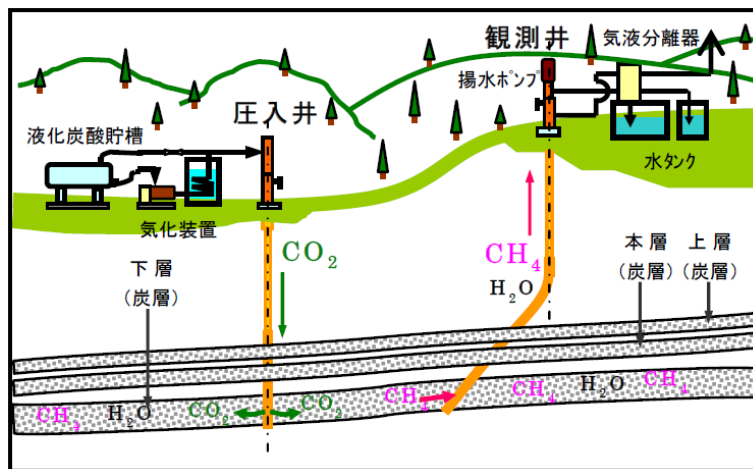
- 2004年11月～2007年10月

【実施内容】

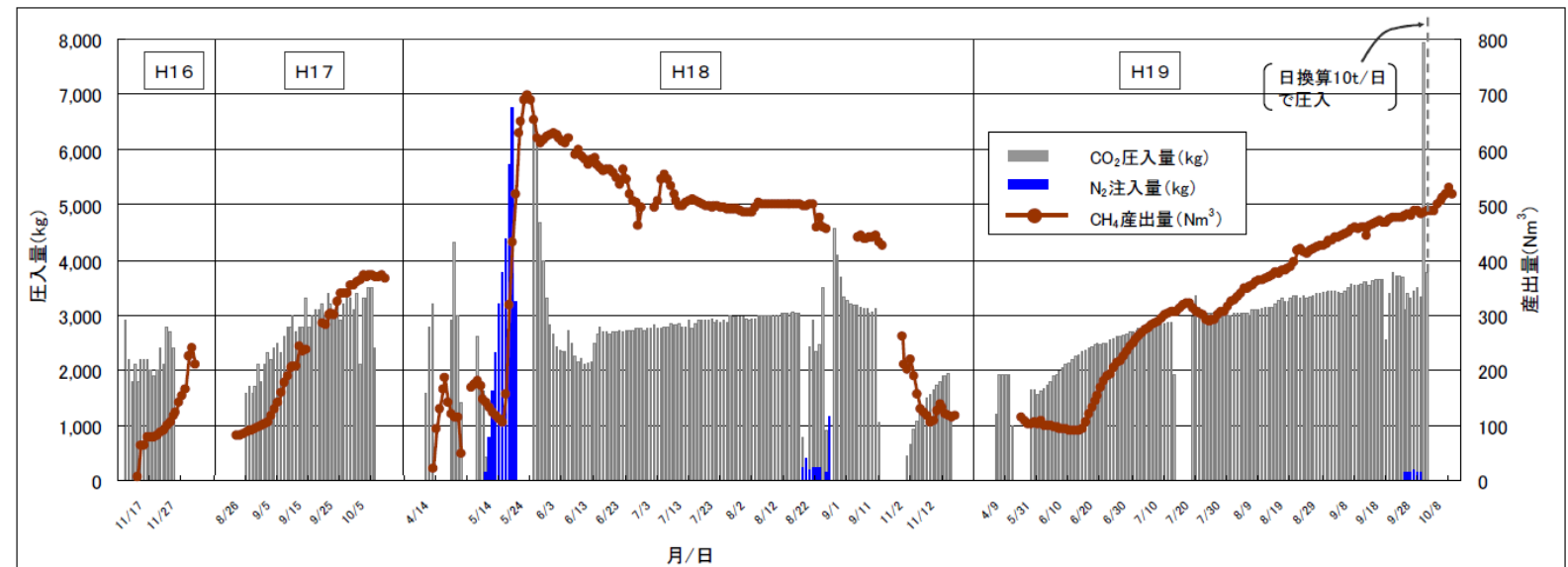
- CO₂およびN₂の圧入、メタンガスの生産
 - CO₂圧入総量 884 ton
 - メタン生産量 500 m³/day (≒17,700cf/d)

【実施結果】

- CO₂、N₂ガス圧入によるCH₄生産量の増進効果確認
- N₂圧入によるCO₂圧入量の(一時的な)増大



試験概要図 (藤岡, (財)石炭エネルギーセンター)



CO₂の圧入とともに
顕著にメタンガ
ス生産量が増加

吸着量の低いN₂圧入実施
⇒CO₂の吸着によって石炭内の空
隙が膨潤していた可能性を考慮

ガス圧入量及び産出量
(出典: 藤岡, (財)石炭エネルギーセンター)

国内フィールドの圧入ポテンシャル

① 頸城（くびき） : CO₂-EOR

貯留層厚さ : 5~15 m
浸透率 : 1~20 mD

② 申川（さるかわ） : CO₂-EOR

貯留層厚さ : 9~10 m
浸透率 : 0.1~30 mD

③ 夕張（ゆうばり） : CO₂-ECBM

貯留層厚さ : 2~10 m ?
浸透率 : 1.06~1.66 mD

Type 1 Reservoirs

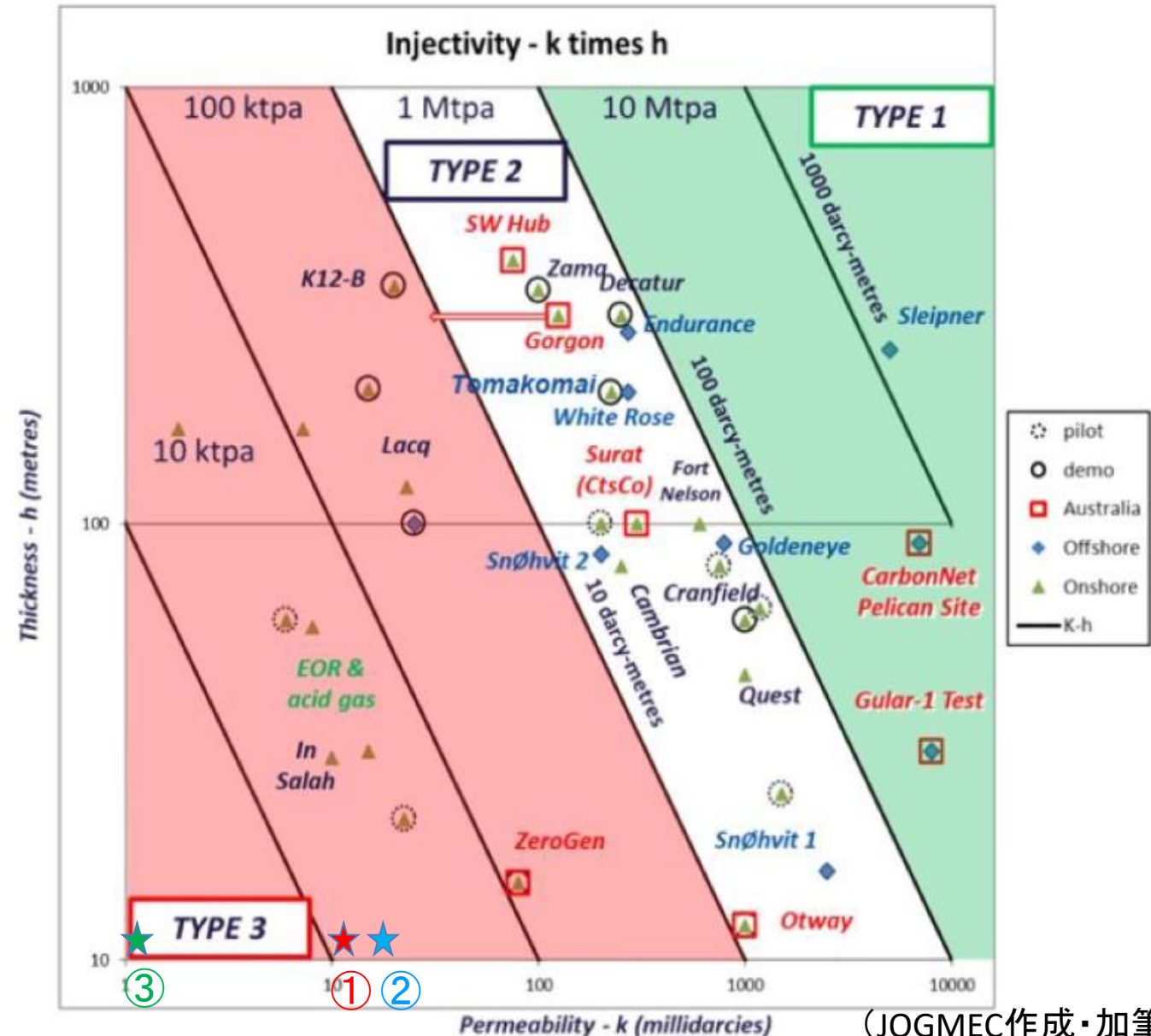
Ideal for low-cost projects, both on- and offshore

Type 2 Reservoirs

Good for onshore injection, less suitable offshore

Type 3 Reservoirs

Only suitable for small research/pilot projects onshore



参考文献



- IEA Report, 2018
<https://www.iea.org/commentaries/whatever-happened-to-enhanced-oil-recovery>
- 三津石 裕士, 2011 : CO₂-EOR 30 余年の歩み, 石油技術協会誌, 76 巻, 6 号, 476-486,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/japt/76/6/76_476/_pdf/-char/ja
- 島田 荘平, 2005 : JOGMEC石油天然ガスレビュー 「加速する新資源 コールベッドメタン開発」
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_project_/pdf/0/630/200509_033a.pdf
- 松原 修, 小西 祐作, 2008 : JOGMEC石油天然ガスレビュー 「コールベッドメタンの埋蔵量評価手法および開発・生産技術」
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_project_/pdf/2/2153/200811_019a.pdf
- 島本 辰夫, 2011 : 頸城CO₂-EORプロジェクトのレビュー, 石油技術協会誌, 76巻, 6号, 498-511,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/japt/76/6/76_498/_pdf
- 岡部 博, 2008 : CO₂攻法による増進回収とCO₂地中貯留への展望 –JNOC-JOGMECの事例–, Journal of MMIJ, Vol.124, 681-693,
https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalofmmij/124/12/124_12_681/_pdf
- 熊谷 直之, 2000 : JOGMEC石油天然ガスレビュー 「申川油田における炭酸ガス攻法パイロットテスト」
https://oilgas-info.jogmec.go.jp/_res/projects/default_project/_project_/pdf/0/72/200004_078a.pdf
- 藤岡 昌司 : 二酸化炭素圧入予備実験について
<http://www.kanso.co.jp/environment/co2pj/pdf/co2pj02.pdf>