

第1回メタンハイドレート開発促進事業（フェーズ2終了時）
中間評価検討会及び
海洋油ガス田における二酸化炭素回収・貯蔵による
石油増進回収技術国際共同実証事業終了時評価検討会
資料6－2

「海洋油ガス田における二酸化炭素回収・貯蔵による石油増進回収技術国際共同実証事業」 研究開発プロジェクト

評価用資料

平成27年12月4日

資源エネルギー庁資源・燃料部石油・天然ガス課
独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構

プロジェクト名	海洋油ガス田における二酸化炭素回収・貯蔵による石油増進回収技術国際共同実証事業																							
上位施策名	5. エネルギー・環境 5-1. 資源・燃料																							
事業担当課	資源エネルギー庁資源燃料部石油・天然ガス課																							
<u>プロジェクトの目的・概要</u> 二酸化炭素を海洋油ガス田において油ガス層に圧入・貯蔵することにより、二酸化炭素を地中に閉じ込めるとともに、石油・天然ガスを増産する技術（CCS-EOR、以後「本技術」という。）を確立することを目的とする。 国内には適した油ガス層がないため、海外で二酸化炭素を回収、圧入、貯蔵し、かつ石油・天然ガスを増産し得る実フィールドについて、海洋油ガス田における本技術の実証研究の計画案を策定する。 具体的には、海外の国営石油会社等と交渉し、実際の海外の海洋油田データを使用可能にする体制を構築するとともに、二酸化炭素圧入による油生産量の増加、二酸化炭素貯蔵量を予測し、海洋油ガス田に係る二酸化炭素の地下貯留による温室効果ガス削減のための実証試験計画等を検討する。																								
予算額等（委託） （単位：千円） <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th>開始年度</th> <th>終了年度</th> <th>中間評価時期</th> <th>事後評価時期</th> <th>事業実施主体</th> </tr> <tr> <td>平成24年度</td> <td>平成26年度</td> <td>—</td> <td>平成27年度</td> <td>（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構</td> </tr> <tr> <td>H24FY 執行額</td> <td>H25FY 執行額</td> <td>H26FY 執行額</td> <td>総執行額</td> <td>総予算額</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>244,043</td> <td>120,338</td> <td>364,380</td> <td>520,000</td> </tr> </table> * 執行額の欄には、直近3年間の執行額を記載すること。					開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体	平成24年度	平成26年度	—	平成27年度	（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構	H24FY 執行額	H25FY 執行額	H26FY 執行額	総執行額	総予算額	0	244,043	120,338	364,380	520,000
開始年度	終了年度	中間評価時期	事後評価時期	事業実施主体																				
平成24年度	平成26年度	—	平成27年度	（独）石油天然ガス・金属鉱物資源機構																				
H24FY 執行額	H25FY 執行額	H26FY 執行額	総執行額	総予算額																				
0	244,043	120,338	364,380	520,000																				

目標・指標及び成果・達成度

(1) 全体目標に対する成果・達成度

事業アウトカム指標及び事業アウトプット指標、それぞれの計画値、実績値及び達成度について記載する

事業アウトカム指標	計画	実績	達成度
・29年度末までに、本技術を確立 ・複数の資源国（3ヶ国以上）で本技術の導入に向けた取り組みを実施	（事業終了時） 平成29年度末までに実証試験等を終了し、本技術を確立	想定外の油・ガスの胚胎等を確認し、国営石油会社及び鉱区権者と協議したものの、実証試験を実施せずに本事業は終了。	未達成
	（事業目的達成時） 複数の資源国において、本技術の導入に向けた取り組みを促進するための普及活動等を実施	複数の資源国への導入に向けた取り組みが実施できなかった。	未達成

事業アウトプット指標	計画	実績	達成度
・実証試験の実施に向けた調査を実施	（平成24年度～平成26年度） ①油層評価に関する調査及び実証試験実施計画書の策定 ②油ガス田群への適用可能性の把握 ③油田全体に二酸化炭素を圧入した場合の原油回収率および二酸化炭素貯留量の定量的評価し、年間100万トン以上の二酸化炭素を安定的に圧入し、原油の回収率を10%以上向上	実証試験の実施に向けた調査等を計画どおり実施	達成

・実証試験を実施	④海上における地上設備の詳細な影響評価及び材質選定		
	(平成27年度～平成29年度) ①基本設計及び仕様検討 ②資機材調達及び建設 ③実証試験	実証試験を実施せずに本事業は終了。	未達成

(2) 目標及び計画の変更の有無

本技術について、ア. 油層シミュレーションによる実証試験計画最適化、イ. 二酸化炭素供給源・輸送方法調査、ウ. 二酸化炭素が生産設備や坑井へ与える影響及び低減方法調査、エ. 二酸化炭素漏洩モニタリング方法調査、オ. 実証試験実施に関係する法令調査、カ. 実証試験を実施し、本技術の確立とともに、複数の資源国で同技術の導入に向けた取り組みを行う予定であった。

しかしながら、実証試験対象地域において CO2 圧入による増進回収を要しない、想定外の量の油・ガスの胚胎が確認された。実証試験に向け鉱区権者や国営石油会社と協議したものの、鉱区権者の要請を踏まえ、当面は商業生産を優先することとなった。

他の油田での実証試験を実施するため、国営石油会社と協議したが、油層の連続性に乏しく、油層によって原油性状が異なることから、本技術の適用条件が十分には揃っておらず、実証試験を実施するための要件を整えることができなかったため、実証試験の実施を見送って終了した。

<共通指標>

論文数	論文の被引用度数	特許等件数 (出願を含む)	特許権の実施件数	ライセンス 供与数	取得ライセンス料	国際標準への寄与
0	0	0	0	0	0	0

研究開発課題（プロジェクト）

1. 事業アウトカム

- ・29年度末までに、本技術を確立
- ・複数の資源国（3ヶ国以上）で本技術の導入に向けた取り組みを実施

2. 研究開発内容及び事業アウトプット

(1) 研究開発内容

実証試験の実施に向けた調査

- ①油層評価に関する調査及び実証試験実施計画書の策定
- ②油ガス田群への適用可能性の把握

- ③油田全体に二酸化炭素を圧入した場合の原油回収率および二酸化炭素貯留量の定量的評価し、年間 100 万トン以上の二酸化炭素を安定的に圧入し、原油の回収率を 10%以上向上
- ④海上における地上設備の詳細な影響評価及び材質選定

(2) 事業アウトプット

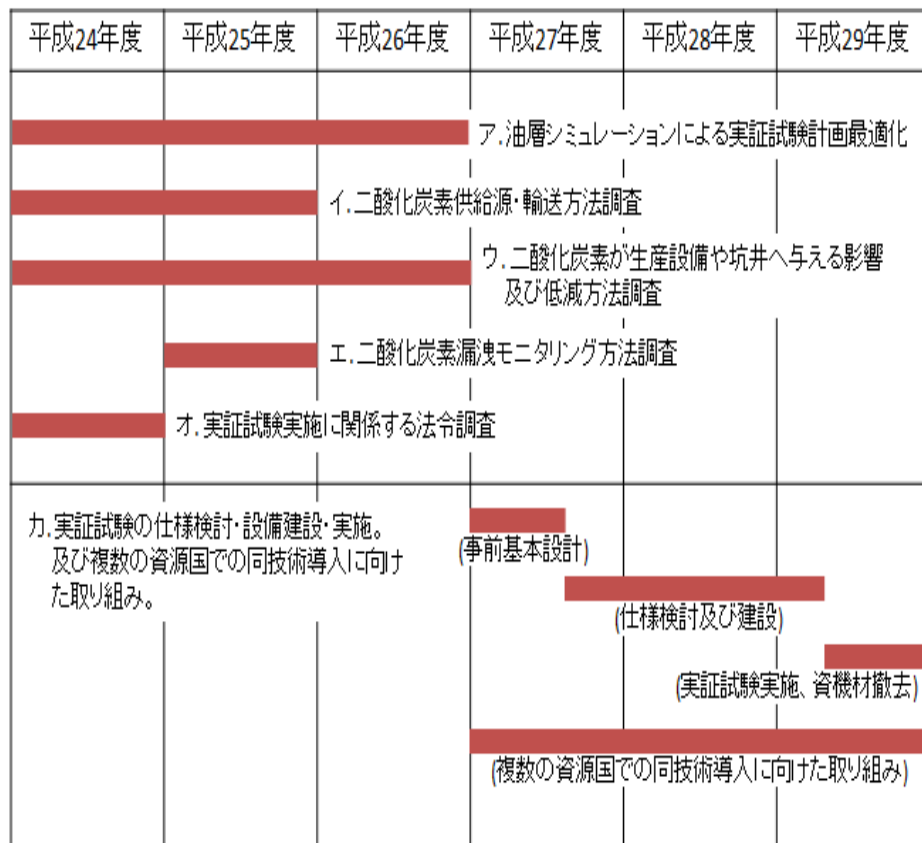
- ①油層モデルの調整、二酸化炭素調達・輸送方法や坑井配置等の検討、原油生産量に影響を与える感度分析（油飽和率、浸透率、油層圧力等）等の調査を実施し、最適な実証試験実施計画を策定。本実施計画では、水攻法に対して 8,828 bbl の原油を増産するとともに、2,000t 圧入した二酸化炭素のうち 56%の約 1,120 t が、地下に貯蔵ができる見通しとなった。
- ②火力発電所 3 か所及び肥料工場 2 か所で、二酸化炭素供給源及び回収・輸送・施設等の最適化調査等を実施し、必要な開発費等を算出した。
- ③本技術を油層全体に適用した場合における原油回収率及び二酸化炭素貯留量を向上させる最適条件の検討を行った結果、既存生産井を 4 本圧入井に転換し、既存圧入井 10 本と合わせて、水とガスを交互に圧入すると、二酸化炭素を年間 100 万 t (5200 万 SCF/d) 圧入可能で、水圧入と比べて、回収率は 6.1%の増加、二酸化炭素貯留量は圧入量の 41.9%となった。さらに、生産した二酸化炭素を再圧入するケースでは、水圧入ケースと比較して回収率が 7.9%増加し、圧入した二酸化炭素量の 78%を貯留できることが分かった。
- ④油ガス処理施設の腐食・スケール計算を実施したところ、特に生産井周辺設備で腐食が大きくなることが判明したことから、13Cr 鋼などの耐腐食性油井管の使用、腐食防止剤の注入等の対策をとりまとめた。また、腐食・スケールのモニタリング対策および運転指標を策定した

3. 当省(国)が実施することの必要性

海洋油ガス田における本技術が確立されれば、世界各地の海洋油ガス田に適用することにより、世界規模での大量の二酸化炭素排出削減が期待でき、化石燃料の有効かつクリーンな利用と、我が国におけるエネルギーの安定供給確保に大きく資するものである。

一方、本技術は、油ガス層へのダメージ、二酸化炭素圧入に伴う既存生産設備の腐食の問題等、未だ技術的不確実性や導入による油田へのリスクが数多く残されており、技術を確立するまでに相当規模の投資と期間が必要となることや、実施に当たり産油ガス国政府や国営石油会社等との国レベルでの交渉も必要となることから、民間企業が独自で取り組むことは困難である。したがって、国が実施することが必要である。

4. 事業アウトカム達成に至るまでのロードマップ

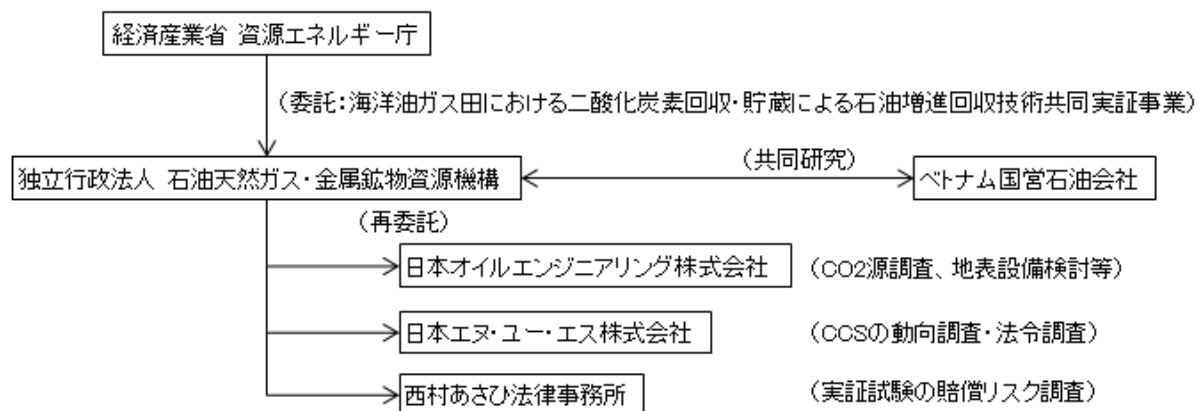


平成24年度から26年度までに実施した実証試験実施計画等は、本技術の導入を目指す他の海上油田において適用する際のモデルケースになる。今後ニーズを有する本邦石油開発企業に技術支援を行い、知見の活用が可能である。

実証試験に向け国営石油会社および鉱区権者と協議したものの、想定外の油・ガスの胚胎等を確認し、実証試験を実施することができなかった。

今後、別の油田で実証試験を実施することができれば、日本企業の権益獲得に資する有効な技術となり、我が国のエネルギー安定供給への貢献が期待される。

5. 研究開発の実施・マネジメント体制等



6. 費用対効果

予算額は3年で5.2億円に対し、執行額は3.64億円。

効率的な事業計画の策定によるソフトウェアレンタル期間の短縮や、入札、相見積り等の実施により、費用を削減した。

実証試験の実施環境が整わなかったことにより、実証試験の実施を中止したが、本技術の確立に必要な課題を抽出し、シミュレーション等により実証試験計画における必要な検討項目及び最適化への解決方法を取りまとめた。このため、本技術の導入を目指す他の海上油田においても、本成果の活用は可能である。

また、ベトナム国営石油会社は、本技術が増進回収・二酸化炭素削減方法として有力な手段であると評価しており、事業期間内に我が国保有の油田権益が延長されたとともに、今回の共同研究の実施によって、今後の権益獲得に繋がる協力関係を構築した。

【参考資料】

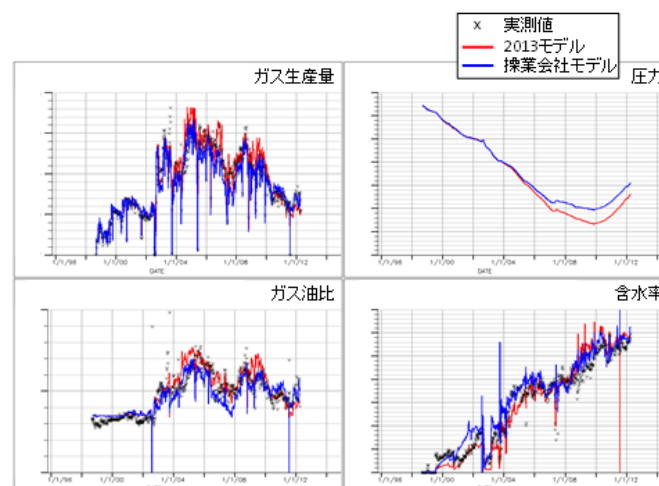
<事業成果（詳細版）>

①(1)対象油田の油層モデルの調整

対象油田の操業会社から受領した油層モデルは、相対浸透率や毛細管圧力が一意的に決まっており、油層の不均質性を十分に再現していないとともに、油層モデルのヒストリーマッチングが油層全体の流動挙動を反映していない可能性が高いことが分かった。

このため、油層モデルをモデル全体の浸透率、ある地域の浸透率、相対浸透率、生産指数の修正といった手順で、それぞれのパラメータを合理的な範囲で調整した。

調整後のモデル（2013モデル）による計算結果の方が、ガス生産量、ガス油比及び含水率共に実測データに近い値を示しており、油層モデルが改善された。



①(2)概念計画策定

実証試験エリアを油層全体から4つ選出し、坑井間隔、二酸化炭素圧入期間および水圧入期間を下表の様に設定した油層シミュレーションを実施した結果、既存の生産地域から十分離れ、生産井が途中で生産を止めないこと、設定した二酸化炭素が全量圧入可能なこと等から北部エリアが実証試験に適していることが分かった。

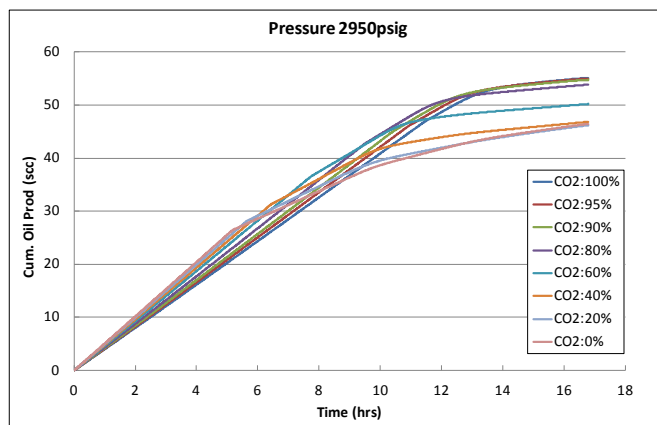
シミュレーションのケース

二酸化炭素圧入 期間 (月)	0.5 / 1.0 / 1.5
水圧入期間 (月)	1.5 / 2.5 / 3.5
坑井間距離 (m)	300 / 450 / 600

①(3)スリムチューブシミュレーションを通じた二酸化炭素圧入の基本挙動の把握

スリムチューブ試験シミュレーションを実施し、油回収量及び二酸化炭素中の不純物（随伴ガス）混入による影響について、圧力を変えた計算を行い調査した。その結果、油層圧力に近い 2950psig で二酸化炭素の濃度が 90%以上あれば十分な回収率が得られることが分かった。また、中間成分の K-value(ガス相と液相の比)が1に近づいているので十分ミシブル（混和状態）に到達していることを確認した。

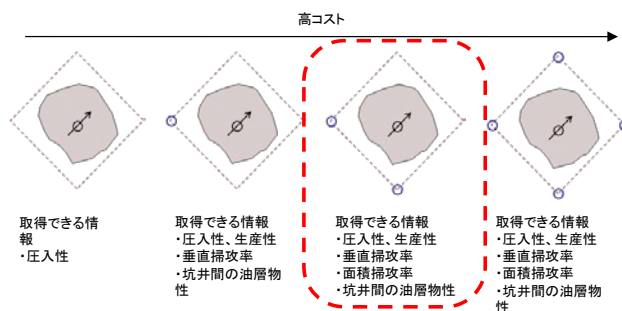
スリムチューブ試験の原油生産量（圧力 2950psig）



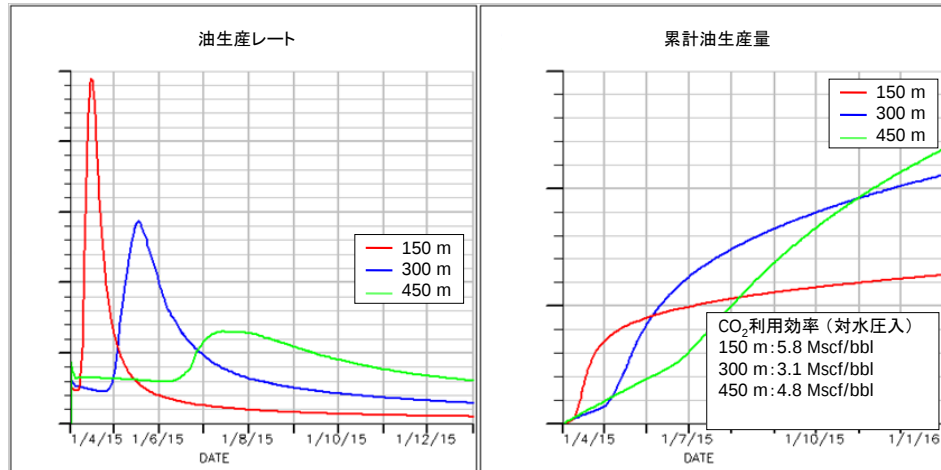
①(4)二酸化炭素調達・輸送方法、坑井配置等の検討

実証試験は、二酸化炭素による増油、二酸化炭素の圧入性、掃攻率の確認、実証試験の費用及びリスクの最小化を確認することを目的としているため、実証試験のための二酸化炭素調達・輸送方法、井戸配置、圧入法、関連設備の概念検討、モニタリング方法等を計画した。実証試験の目的を達成可能でかつ費用の最小である、圧入井 1 本と生産井 2 本の坑井配置を決定した。更に、工業用二酸化炭素を調達するので調達コストを抑えるため、二酸化炭素圧入の後、水圧入することとした。

坑井本数および坑井配置の特徴



油層シミュレーションの結果

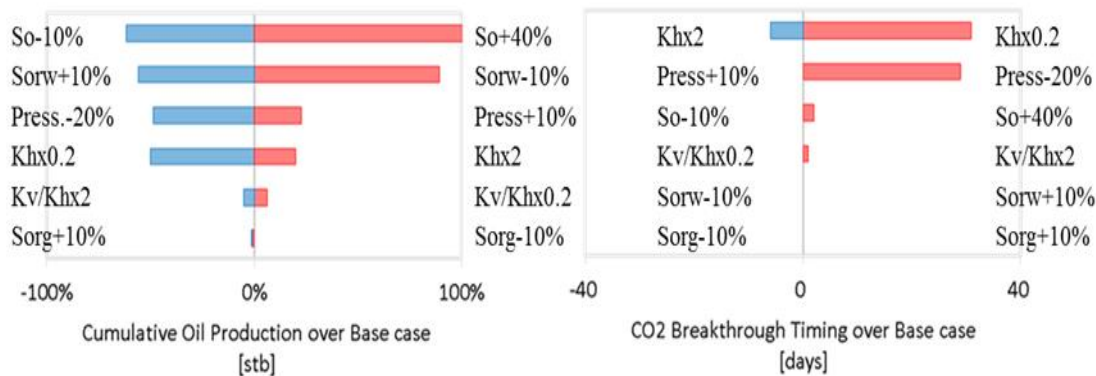


①(5)詳細計画策定

実証試験の評価で重要な油生産量及び圧入二酸化炭素が生産井に到達する時間(CO₂ ブレイクスルー)に影響を与えると考えられる油飽和率、水による残留油飽和率、油層圧力、水平方向の浸透率、縦と水平方向の浸透率の比及びガスによる残留油飽和率の油層パラメータの感度分析を実施した結果、実証試験に最も影響を与える要因は油飽和率、浸透率、及び油層圧力であることが分かった。

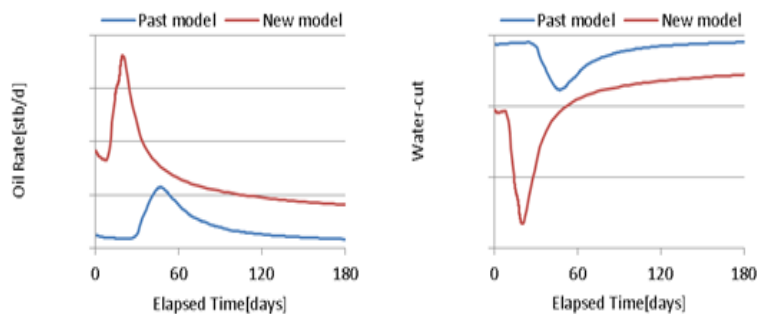
実証試験計画の最適化を実施した結果、水攻法に対して 8,828 bbl の原油増産が見込まれ、2,000t 圧入した二酸化炭素のうち 56%の約 1,120 t が、地下に貯蔵される計算結果となった。

油生産量および CO₂ ブレイクスルー時間における油層パラメータの影響



実証試験のシミュレーション結果

累計CO ₂ 圧入量(トン)	2,000
累計油生産量(STB)	60,370
ブレイクスルーまでの日数(日)	16
生産ガス中のピークCO ₂ 濃度(%)	74
累計CO ₂ 貯留量(万SCF)	1,609
CO ₂ 貯留率(%対CO ₂ 圧入量)	56
水攻法に対する増油量(STB)	8,828
CO ₂ 利用効率(万SCF/STB)	0.42



②油ガス田群への適用可能性の把握

二酸化炭素供給源及びその回収・輸送・施設等の最適化調査は、火力発電所 3 か所、及び肥料工場 2 か所で実施した結果、海上ガス田のケースが発電所 A のケースよりも CAPEX が安く、実行可能性が高いと判断される結果となった。

また、海上油ガス田に二酸化炭素を圧入することにより生じる既存油田及び既存設備への悪影響に関する契約上、適用法令上の賠償リスクや、二酸化炭素圧入と自然災害の複合要因による既存設備への賠償リスクを調査した。

二酸化炭素回収・輸送コスト (Million US\$)

	Case-I	Case-II	Case-III	Case-IV
二酸化炭素排出源	発電所 A	海上ガス田	発電所 A	海上ガス田
二酸化炭素圧入レート	1 百万トン/年	1 百万トン/年	2 百万トン/年	2 百万トン/年
二酸化炭素回収	962	173	1,563	281
輸送パイプライン				
1) 陸上パイプライン	43.6	-	52.3	-
2) 海洋パイプライン	65.0	316.1	77.9	421.5
CAPEX 合計	1,071	489	1,694	703

③油田全体に二酸化炭素を圧入した場合の原油回収率および二酸化炭素貯留量の定量的評価

油層全体に当技術を適用し、原油回収率及び二酸化炭素貯留量の向上を図る検討を行った結果、既存生産井を 4 本圧入井に転換し、既存圧入井 10 本と合わせて WAG(水とガスを交互に圧入)で実施するのが、最も経済的で油回収率が大きいことが分かった。

最適条件での油層シミュレーション結果は、安定的に二酸化炭素を年間 100 万 t(5200 万 SCF/d)圧入可能で、水圧と比べて、回収率は 6.1%の増加、二酸化炭素貯留量は圧入量の 41.9%となった。また、生産した二酸化炭素を再圧入するケースでは、水圧入ケースと比較して回収率が 7.9%増加し、圧入した二酸化炭素量の 78%を貯留できることが分かった。

増油量の予測

ケース名	WAGにおける 圧入流体	圧入井 [本]	圧入井パターン	圧入スケジュール	水圧入に 対する増油 [%_原始埋蔵量]
水圧入	Water	10	圧入井10本	水圧入のみ (-2031)	---
基本 ケース	CO2	13	圧入井10本に加え、 生産井3本を圧入井に変更	随伴ガスWAG (2012- 2019) CO2-WAG (2019-2031)	6.0
随伴ガス ケース	HCG	10	水圧入ケースと同様	随伴ガスWAG (2012- 2031)	4.2
標準 ケース	CO2	14	圧入井10本に加え、 生産井4本を圧入井に変更	随伴ガスWAG (2012- 2019) CO2-WAG (2019-2031)	6.1
圧入井 最多ケース	CO2	18	標準ケースの3本に加え、生産 井1本を圧入井に変更し、新規 に4本の圧入井を掘削	同上	6.5
リサイクル ケース	CO2	14	標準ケースと同様	同上	7.9

④海上における地上設備の詳細な影響評価及び材質選定

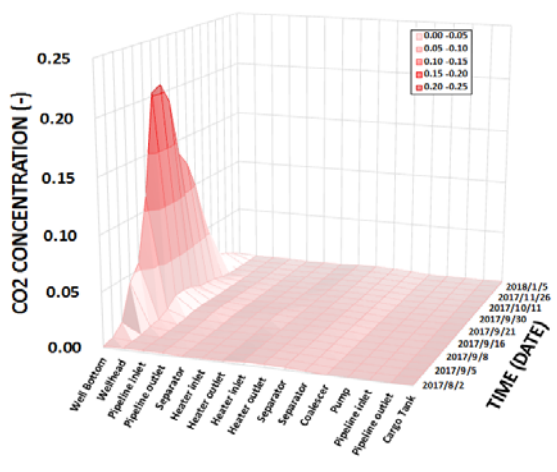
パイプラインルートとして最適な海洋中央油ガス処理施設に直接輸送する実証試験方法を想定した油ガス処理施設のプロセス計算及び腐食・スケール計算を行った。

特に、実証試験生産井周辺設備で腐食が大きくなることから、予防策として、13Cr 鋼などの耐腐食性油井管を使用し、油処理施設及び付随水処理施設では腐食防止剤を注入する等、様々な対策が必要となることが分かった。

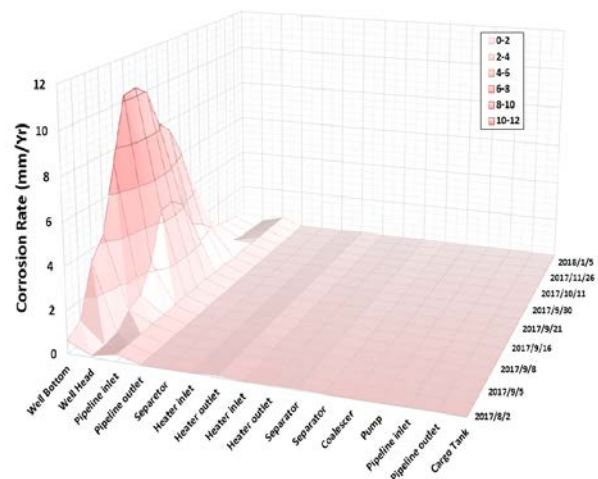
他方、スケールについては、現状と比較して大きな影響を与えるものではないことが分かり、特別な対策を施す必要はなく、現在の操業で使用している防止剤を注入すれば抑制することが可能であることが確認された。

更に、腐食・スケールのモニタリング対策および運転指標を策定した。

坑井から生産設備までの二酸化炭素濃度に基づき各部の年間の腐食速度予測



CO2 Concentration (Base Case)- Production Fluid System



Corrosion Rate (Base Case)- Produced Oil System