

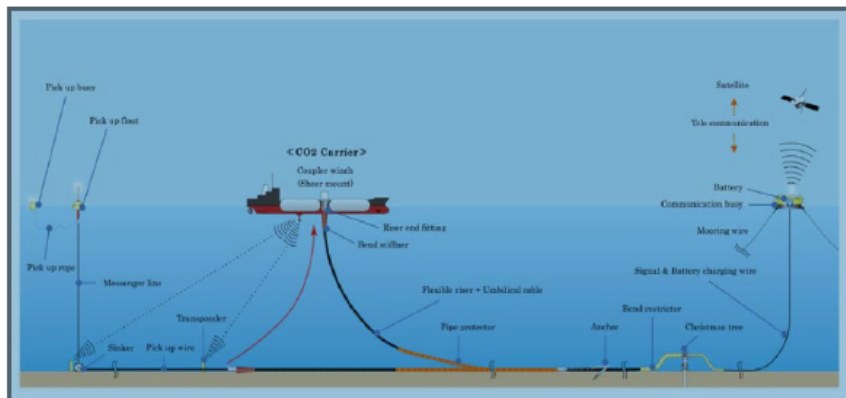
船舶による CO₂ シャトル輸送の CCS への適用に関する予備 FS



SUPPORTED BY



Preliminary Feasibility Study on CO₂ Carrier for Ship-based CCS



October 2011

本レポートは日本メンバーの便宜のため英語から日本語に翻訳したものです。グローバル CCS インスティテュートは、本レポートの日本語版に翻訳された内容の正確性、信頼性、または完全性を保証するものではありません。

1.概要

1.1 CCSチェーン内の輸送

CCSでの輸送は、特に「CO₂回収・貯留に関するIPCC特別報告書(IPCC Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage (2005))」の第5章で論じられている「地下貯留」のコンセプトに適用される場合、産業的な研究開発の観点で取り組まれてこなかった。インフラの一部としての二酸化炭素(CO₂)専用のパイプライン輸送が北米に存在しており、船舶ベースのCO₂輸送の必要がなかったからである。海に面した西ヨーロッパの地域でさえ、既存のガス・石油パイプラインネットワークがCO₂を輸送する経路とみなされている。

近隣地域へのCO₂の貯留の潜在的容量がそれほど有望ではないと排出源の産業がみなしている場合、船でCO₂を輸送することにより遠隔地の貯留サイトを利用できる可能性がある。特に資源を国に依存している産業は、大量の原材料や化石燃料を船で輸送することに精通しており、船舶でCO₂を輸送することは、CO₂回収貯留(CCS)における「シンク(吸収源)-ソース(排出源)マッチング条件」による制約を克服するための魅力的で実行可能な代替手段となり得る。

CCSを船舶ベースにすると、CCSプロジェクトの回収サイト、貯留サイト、輸送ルートに柔軟性を与えることができる。CCSチェーンの各プロジェクト構成要素の時間、場所、規模を柔軟に選択できることで、利害関係者が意思決定する際に堅実な戦略を構築でき、従ってCCSを社会にスムーズに導入できるようになる。特に、石油・ガス産業が弱いため、CCSプロジェクトを立ち上げる強力なイニシアチブを取れない国には関連が深い。なぜなら、実際にCCSを導入する際のカギとなるのはサイト選択のステップであり、これが石油・ガス調査データに大きく依存するためである。

船舶によるCO₂輸送の費用は、今までは「シンク(吸収源)-ソース(排出源)マッチング条件」に基づくパイプライン輸送と一般的に比較して検討されるのみであった。船舶ベースのCCSの柔軟性や規模に関する影響については、船舶の設計と既存の規制に基づいた注意深い調査や詳細な検討はされていない。さらに、東アジアにおける船舶ベースのCCS輸送ネットワークに潜在的に魅力があることも無視されてきた。すなわち、(船によるアクセスのほうがパイプラインによるアクセスよりも容易な)この地域の200mより深い場所にある海域の貯留サイトは、この地域の炭素集約諸国が共有し、共同開発できる可能性があるという点である。

1.2 船上に圧入設備を備えたCO₂運搬船の提案

この調査において提案された船舶によるCO₂の輸送では、Fig 1.2-1に示す通り、液体CO₂(LCO₂)のカーゴタンクを備えた船が重要な構成要素となる。すなわちこのシステムでは、圧縮CO₂を直接船から圧入坑井の海底坑口に送る船上圧入ポンプを特徴としている。

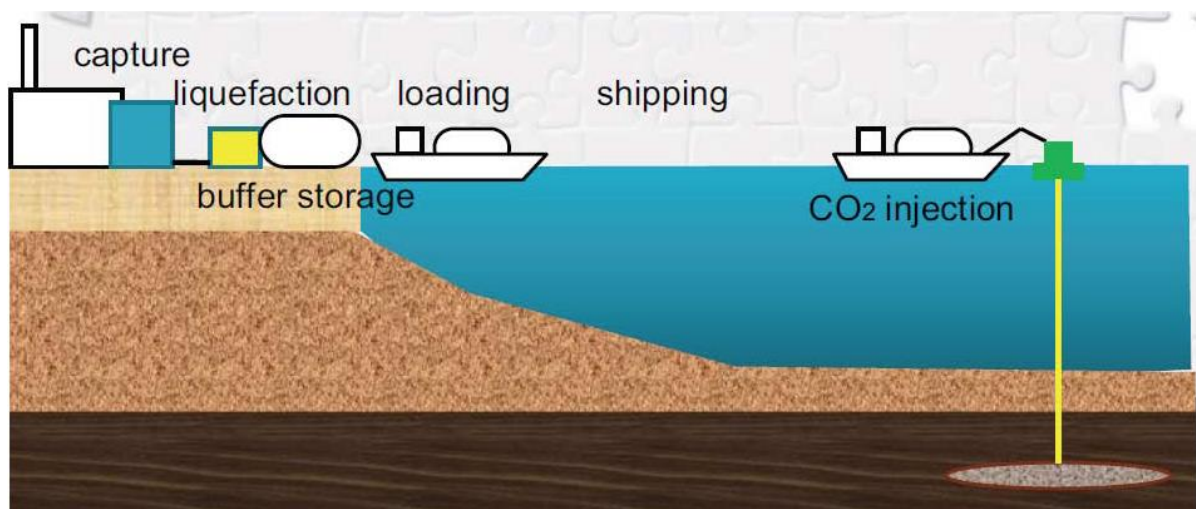


Fig 1.2-1 シャトル船とソケットバイ

Fig 1.2-2に概略される通り、本提案に基づく船舶を使用したシャトル輸送により、複数の回収サイトから複数の貯留サイトへのCCSチェーンの接続が可能となる。これには、以下のような利点がある。

- CCS導入の際の「シンク(吸収源)-ソース(排出源)マッチング」要件の緩和
- 水中にあるCO₂輸送パイプを通じた、海底下地層への直接アクセス
- 積み出し港と注入サイトの両方に、大容量の一時貯留タンクを設置する必要がない
- CCSプロジェクト計画を柔軟に変更できる
- 注入サイト設備を簡単に廃止、移転、再利用できる
- 従って、システムの冗長性を確保できる

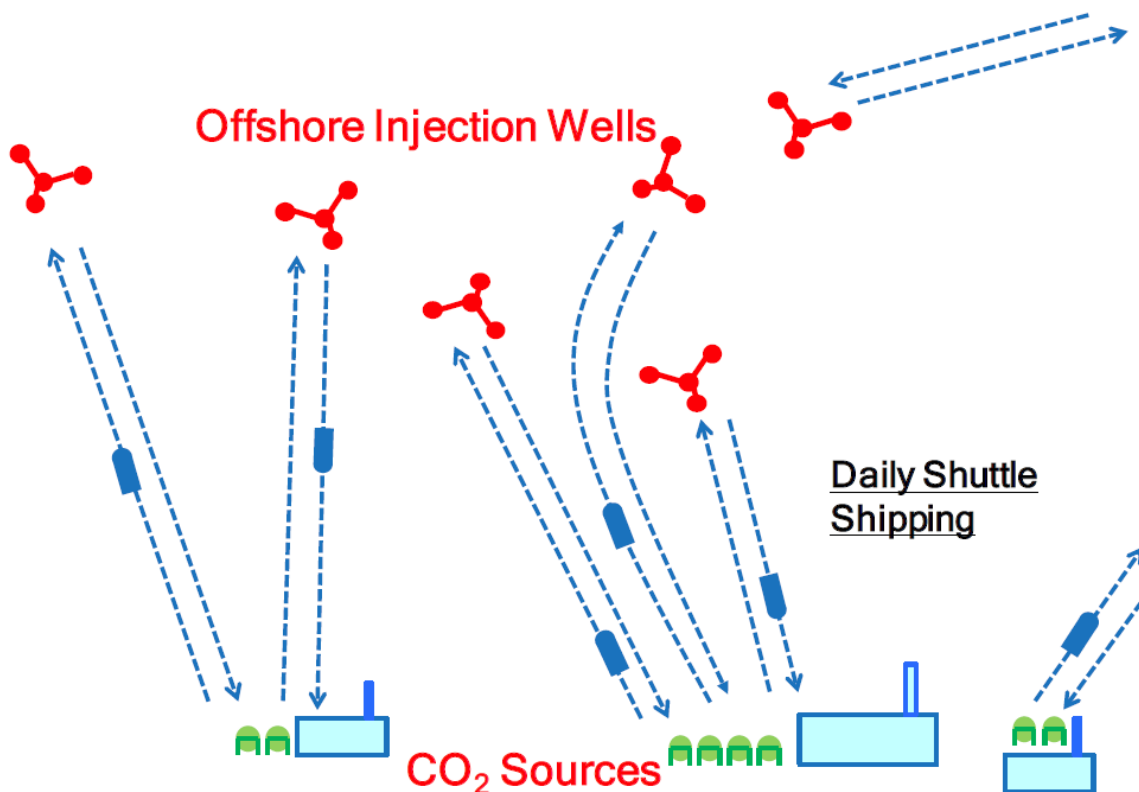


Fig 1.2-2 CO₂シャトル船輸送の適用例

調査の目的は「圧入設備を備えたCO₂シャトル輸送船」の技術上および経済上の実現可能性を実証することである。

パイプラインによるCO₂輸送に使用する圧入ポンプは、陸上、海上のプラットフォーム、あるいは海底のいずれかに(例: 電力線により駆動するブースターポンプとして)設置可能であるが、提案する方式では、LCO₂を運搬する各船舶の船上に圧入ポンプを備える。このポンプは船のエンジンにより駆動され、船員が操作する。

この調査で提案したシステムには、作業員の滞在施設を備えた有人プラットフォームは必要ない。

この調査で提案した輸送システムは、船内に圧入設備を備えている。従って、CO₂一時貯蔵タンクを備えた海上プラットフォームは必要ない。

6. 結論

圧入設備を備えたCO₂シャトル船による船舶ベースのCCSを提案した。従来、船によるCO₂輸送はCCSチェーンの中で、海上の移動距離がかなり長くなる場合のパイプラインの代替とみなされ、規模の経済の観点から、費用効率を高めるために大型のCO₂運搬船の使用が想定されてきた。しかし、大規模なCO₂排出源またはCO₂貯留層の確保が不確実な場合、分散型システムに合わせた複数の小・中型の船を使用するのが効果的である。また、船舶輸送前後の積み下ろし地点でCO₂一時貯留設備の建設が技術的、経済的、または社会的理由で難しい場合は、輸送頻度を増やし、船から坑井への直接圧入を行うことが解決策となり得る。

本調査では、シャトルタイプのCO₂輸送と洋上のCO₂圧入作業の技術的および経済的な実現可能性を実証した。提案したシステムに必要な主要構成要素は、CO₂液化、港での一時貯留、荷降ろし、DPSと圧入設備を備えたシャトル船、端部が海底坑口に接続されているフレキシブルライザーパイプ、およびそのピックアップシステムである。その中で、シャトル船、およびピックアップシステムを備えたフレキシブルライザーパイプを詳細に調査した。このようなトータルシステムの前例はないが、各個別要素に新規な開発要素はない。

また、この調査では、オフショアの石油・ガス産業の経験が浅い国または地域への適用を考えるための事例として、特に、日本の排他的経済水域 (EEZ) 内でプロジェクトが実行される場合に適用される、船舶ベースのCCSに関する法規制上の側面についても議論した。

以上により、圧入設備を備えたCO₂シャトル船の実現可能性を、ある程度明確にした。システムの最適化のためには、具体的な条件に基づいた、より詳細な調査が必要である。

Contents of the Original Document

1. Overview	4
1.1 Transportation in the CCS chain	4
1.2 Proposal of CO ₂ carrier ship equipped with onboard injection facilities	4
1.3 Scope of works and Design	6
1.3.1 General	10
1.3.2 Shuttle tanker	10
1.3.3 Socket buoy system	11
1.3.4 Target reservoir for storage	11
1.4 Study flow	11
1.5 Organization of project	15
2. Liquid CO ₂ Carrier and Cargo Tank	16
2.1 Outline of liquid CO ₂ carrier	16
2.2 Cargo tank design	18
2.3 Pressure and temperature condition of cargo LCO ₂	18
2.4 Capacity and dimensions of tanks	19
2.5 Material	20
2.6 Shape of pressure tank	20
2.7 Manufacturability	21
2.8 How to decide the scantlings of tanks	21
2.8.1 Thickness of the tank plate	21
2.8.2 Design basis for cargo tank	21
3. Ship equipment and injection method	23
3.1 Loading	23
3.1.1 Outline of loading system	23
3.1.2 Scope of proposed CO ₂ transportation system	24
3.1.2 Loading capacity	24
3.1.3 Applied laws and regulations	25
3.1.4 Major equipment	25
3.1.5 Estimated construction cost	25
3.1.6 Estimated facilities plot area	25
3.1.7 Operating labor	25
3.1.8 Utility consumption	25
3.1.9 Discharged CO ₂	25
3.1.10 Reference information CO ₂ compressed and liquefied facilities	26
3.2 Offshore delivery and Injection	27
3.2.1 On-board pump and heating	27
3.2.2 Flow simulation study	30
3.3 Flexible riser pipe applicability	31
3.3.1 Basic design of flexible riser pipe	31
3.3.2 Static analysis for Flexible riser pipe	33
3.3.3 Dynamic analysis for flexible riser pipe	35
3.3.4 Fatigue analysis for flexible riser pipe	47
3.3.5 Concept of flexible riser pipe pick-up system	50
3.4 Pickup buoy systems	53
3.4.1 Socket buoy systems	53
3.4.2 Pickup buoy systems	53
3.4.3 Flexible riser pipe pickup operation	54

3.4.4 Mooring design of the pickup float	59
3.5 Offshore operation	67
3.5.1 Sea conditions	67
3.5.2 Limiting sea condition for offshore operation	71
3.5.3 Offshore operation availability of CO2 carrier against sea conditions in the supposed site location	76
4. Regulations on ship-based CCS	80
4.1 International regulatory framework	80
4.1.1 United Nations Convention on the Law of the Sea	80
4.1.2 London Protocol	84
4.2 Domestic regulatory framework	89
4.2.1 List of related laws and regulations	89
4.2.2 Overview of applicable laws and regulations	91
4.2.3 Overview of specific laws and regulations	92
4.2.4 Difference between the Waste Assessment Guidance in the London Protocol and MOE's regulation	108
4.3 HSE	111
4.3.1 Ideas of HSE for the Project	111
4.3.2 Specific HSE Policies	112
4.4 Other International Rules, etc.	115
4.4.1 Rules to be Observed	115
4.4.2 IGC Code	116
4.4.3 Rules and Regulations for the Construction and Classification of Ships	116
4.4.4 Coastal Ships and Ocean-Going Ships	117
5. Shuttle-type operation of CO2 transportation by ship	118
5.1 Applicability of the proposed system	118
5.1.1 Storage hub	118
5.1.2 Strategy of unit size siting (matching	119
5.1.3 Dense phase CO2 storage in deep-sea shallow formations	119
5.2 Economic analysis of the proposed transport system	120
5.2.1 Basis of economic analysis	120
5.2.2 Case study of economic analysis	121
5.2.3 Method for evaluating injection cost	122
5.2.4 Capital cost	124
5.2.5 Injection cost	125
6. Conclusions	134
Attachment A: DPS Simulation Study of CO2 Tanker	136
Attachment B: TOUGH2 simulation study	144
Attachment C: Pipe flow simulation study	159
Attachment D: Communication buoy systems	167
Attachment E: Questions and answers for regulations on the ship-based CCS	170



GLOBALCCSINSTITUTE.COM

The Global CCS Institute has tried to make information in this product as accurate as possible. However, it does not guarantee that the information is totally accurate or complete. Therefore, the information in this product should not be relied upon solely when making commercial decisions. The Global CCS Institute has no responsibility for the persistence or accuracy of URLs for external or third-party internet websites referred to in this publication and does not guarantee that any content on such websites is, or will remain, accurate or appropriate.