

令和 4 年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた

事業実施可能性調査事業委託費

**サウジアラビア国・酸性ガス処理技術活用型
二酸化炭素回収/貯蔵事業実施可能性調査事業
報告書**

令和 5 年 2 月

三井物産株式会社

株式会社野村総合研究所

This page is intentionally left blank

目次

1. 本事業全体の背景と目的	1
1.1. はじめに	1
1.1.1. 背景	1
1.2. 本調査の意義・目的	2
2. サウジアラビア王国の CCS 及び関連分野の製造環境等の現状・ニーズ調査	3
2.1. 本章の調査内容	3
2.2. サウジアラビアの地域エネルギー開発に関わる現状に関する調査	3
2.2.1. サウジアラビアの既存の石油・ガス田の生産能力	3
2.2.2. サウジアラビアの CO ₂ 排出量情報	7
2.2.3. サウジアラビアにおける石油・ガス田のポテンシャル探掘量	8
2.3. サウジアラビアのエネルギー関連国家目標および課題に関する調査	11
2.3.1. サウジアラビアの CO ₂ 排出削減に関する国家エネルギー関連目標	11
2.3.2. サウジアラビアのエネルギー目標における、CCS に関する言及	13
2.4. CCS に関する調査	13
2.4.1. CCS の仕組み概要	13
2.4.1.1. CCS の技術について	13
2.4.1.2. CO ₂ の回収	14
2.4.1.3. CO ₂ の輸送方法	15
2.4.1.4. CO ₂ 貯留	16
2.4.1.5. CCS 技術の効果	17
2.4.1.6. CCS による CO ₂ 排出量削減	18
2.4.2. サウジアラビア国内における CCS 関連の現行プロジェクト事例	19
2.4.3. サウジアラビアにおける潜在的な CO ₂ 貯留能力	20
2.5. サウジアラビア国内での投資環境及びその支援動向	20
3. 事業モデルの詳細	27
3.1. 本章の調査内容	27
3.2. ビジネスモデルについて	27
3.3. 概念設計	30
3.3.1. TarT 技術に係る事業実施可能性調査概要	30
3.3.2. サウジアラビア国内エネルギー業界におけるサワーガス処理の課題	30
3.3.3. TarT 技術の概要仕組み、技術的説明	31
3.3.4. TarT 技術の従来課題・従来技術に対する特徴	33
3.3.5. 法令等許認可・簡易環境社会配慮手続き等導入条件の洗い出し	34
3.3.5.1. 建設に向けた許認可フロー	34

3.3.5.2.	排出ガス規制	35
3.3.6.	ケーススタディ	36
3.3.6.1.	ケース分けの背景および概要	36
3.3.6.2.	ベースケース	36
3.3.6.3.	高濃度 CO ₂ /硫化水素ケース	36
3.3.6.4.	C2 Rejection ケース	37
3.3.6.5.	検討結果	37
3.3.7.	本事業で想定される事業運営体制、担い手	38
3.3.8.	事業化までのスケジュールの検討	39
4.	事業モデルの実施可能性	41
4.1.	本章の調査内容	41
4.2.	経済性・事業実施可能性試算	41
4.2.1.	資金計画および資金調達条件	41
4.2.2.	経済性の検討(FS)・感度分析	42
4.2.3.	CO ₂ 回収量の試算	44
5.	現地報告	45
5.1.	本章の調査内容	45
5.2.	これまでの経緯	45
5.3.	今後の方針	45

1. 本事業全体の背景と目的

1.1. はじめに

現在、サウジアラビア政府の政策として将来的な CO₂ 排出ネットゼロを掲げている。しかしながら、CO₂ 回収・貯留・利用全体のプロセスの構築・運用には未だ大きなコストがかかってしまうため、プロセス全体のコスト構造上、大きな割合を占めるとされる CO₂ 回収部分に対し低コストで実現可能な技術の導入を検討する必要がある。

本事業においては、上記低コスト CO₂ 回収技術の候補の一つとし、東洋エンジニアリング社および特許保有者である 8Rivers Capital, LCC 社(以下 8Rivers 社)が技術開発を進める酸性ガス精製処理並びに CO₂ 液化回収技術である「TarT プロセス」の活用を通じた、サウジアラビアにおける高濃度酸性ガス精製と CO₂ 回収・貯留の一気通貫事業の実施可能性調査（事業モデル・概念設計、技術的・経済的事業実施可能性調査、CO₂ 排出量推計を含む脱炭素政策への貢献度評価）を実施した。

1.1.1. 背景

サウジアラビアは CO₂ の総排出量においては世界 9 位、1 人あたり CO₂ 排出量では世界 1 位であり、現在長期経済・社会変革計画である「Vision 2030」においても外部投資を積極的に呼び込みつつエネルギー構造変革を推進し、2060 年に排出量ネットゼロという目標を掲げている。

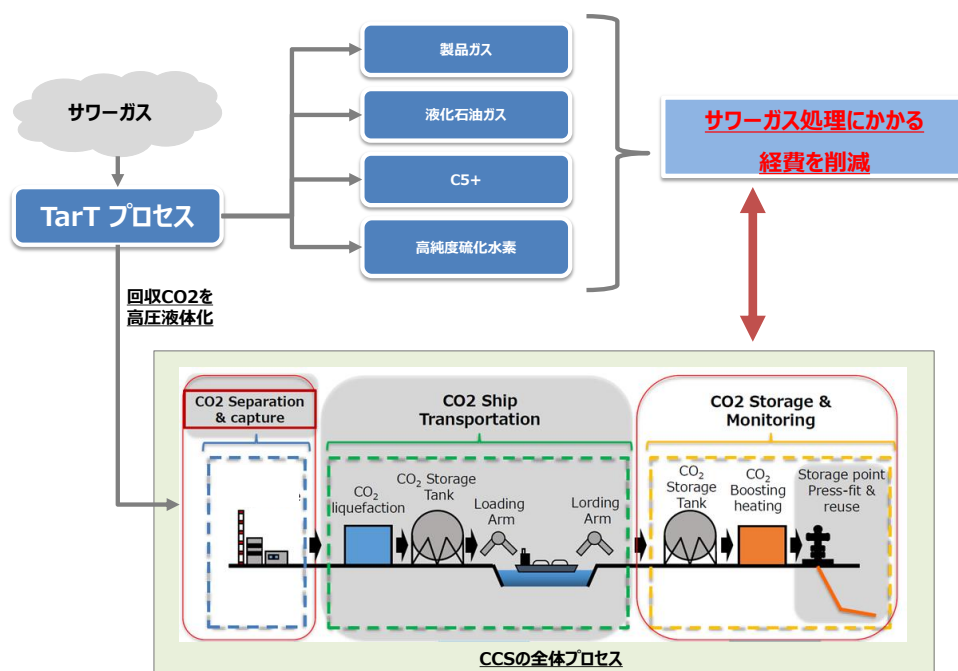
一方、同国の基幹産業である石油・ガス業界ではアジア等の新興国を中心とした需要の高まりを受け、石油化学製品基材への転換に加えた増産や、ガスについてもサウジアラビア国内の発電所に於ける燃料転換の流れに因るガスの燃料としての利用増により、石油・ガスともに増産傾向にある。

このような状況においては、政策の意図する方向性とは逆行する形式で、今後見込まれる石油・ガス製造・精製プラントの規模増加、稼働増加によるからの CO₂ を含む排出ガス等も増え、環境負荷がさらに高まってしまう事が懸念される。これに対して同国政府は、自国脱炭素政策の維持と産業発展の両立に資するような自国外で活用・開発されている新たな環境対策技術・インフラや環境ビジネス、並びに同事業の発展によるサウジアラビア国内の新規産業・雇用創出に対して高い関心を寄せている。

CO₂ 排出量の削減の文脈においては、近年 CO₂ 回収・貯留や利用（CCS : Carbon dioxide Capture and Storage）の手法が実証試験の形式で世界各国において実施されているが、CO₂ 回収・貯留・利用全体のプロセス・設備の建設・構築、運用には大きな初期投資・運営コストがかかってしまう点が課題点の一つとして挙げられており、現状では技術的適用性の確立と合わせて、初期投資・運営コストの低価格化及びそれを実現できる新技術の模索・開発が各製造者・技術ライセンサーにて行われている。

そのため、酸性ガスの精製処理と同時に CO₂ を液化状態で、従来技術に比して安価に回収出来ると期待される技術である TarT プロセス（詳細は章節 3.3 を参照）を同国の高濃度酸性ガスの精製に活用し、一気通貫で回収した液化 CO₂ を CCS 等に活用する事で、同技術の競争力ある CO₂ 回収コストによる CCS プロセス全体のコストの削減に寄与、且つエネルギー需給上、引き続き重要視される天然ガスのサステイナブルな精製・製造・供給に寄与する事で同国の脱炭素社会の実現並びに継続したエネルギー源製造に寄与することができるのではないかと考えた。

図表 1.1 TarT プロセスを活用した事業イメージについて



出典：コンソーシアム作成

1.2. 本調査の意義・目的

本事業は、CO₂回収の低コスト・効率化検証を通じ、同国が掲げる脱炭素政策達成及び継続したエネルギー源の製造・供給への寄与、および経済面における寄与を図るものであり、わが国並びに世界規模のエネルギー分野の安全性の観点からも波及性・公益性・先進性共に効果が高い事業となる。本調査事業においてはサウジアラビアにおける脱 CO₂ を取り巻く状況の把握を踏まえ、TarT プロセス技術導入を前提とした酸性ガス処理及び CO₂ 回収・輸送を所掌とした事業モデルの実行性・経済性を検証することを意義・目的とする。本報告書の構成を以下に記載する。

「2.サウジアラビア王国の CCS 及び関連分野の製造環境等の現状・ニーズ調査」では、サウジアラビアの脱 CO₂ に向けた動きを取り巻く環境調査として、サウジアラビアのエネルギー開発における現状、今後のエネルギーや CO₂ 排出量削減に向けた国家目標、CCUS に関連するプロジェクトの取り組み状況等について実施した調査結果を記載する。

「3.事業モデルの詳細」では、東洋エンジニアリング社および 8rivers 社の協力の下で、実証プラント全体の概念設計の結果、並びに現地パートナー企業と協議した事業スコープ案を記載する。

「4.事業モデルの実施可能性」では、上記の概念設計を踏まえ、プラントのファイナンススキームや、プラント全体としての採算性確保に必要なサワーガス処理単価、ならびに二酸化炭素回収量の検討結果を記載する。

「5.現地報告」では、現地パートナー企業及び事業実施者によるサウジアラビア現地・オンライン打ち合わせを通じて、調査・検討してきた方向性に対する検証、および課題について記載する。

2. サウジアラビア王国の CCS 及び関連分野の製造環境等の現状・ニーズ調査

2.1. 本章の調査内容

本章においては、サウジアラビアの石油・ガス開発を取り巻く環境調査として、エネルギー開発における現状、今後のエネルギーや CO₂ 排出量削減に向けた国家目標、CCS に関連するプロジェクトの取り組み状況等、市場環境やニーズについて調査を行った。

2.2. サウジアラビアの地域エネルギー開発に関わる現状に関する調査

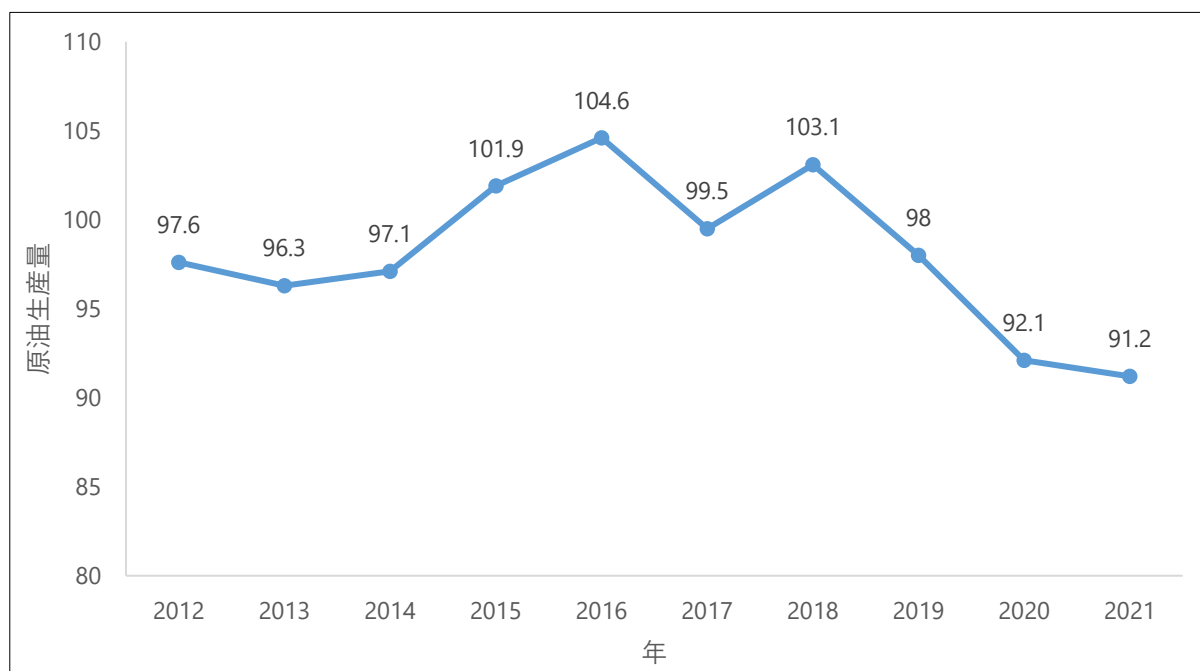
本節では、サウジアラビアの石油・ガス開発を取り巻く環境調査として、エネルギー開発における現状について整理する。

2.2.1. サウジアラビアの既存の石油・ガス田の生産能力

1) 原油生産

2021 年のサウジアラビアの原油生産能力は 1 日あたり約 912 万バレルと、世界の原油生産量全体の約 13% を占めている。OPEC (Organisation of the Petroleum exporting Countries) で最大の原油生産国であり、米国に次ぐ世界第 2 位の原油生産国である。¹

図表 2.1 サウジアラビアの原油生産量（単位：10 万バレル/日）



出所) OPEC

図表 2.1 によると、サウジアラビアの原油生産量は過去 10 年間ほぼ安定しており、毎年 900 万～1,000 万バレル/日程度の原油を生産していることが分かる。

さらに、2020 年には、OPEC+協定の主要メンバーの一国として、景気後退や COVID-19 の制限による世界の原油市場のバランスを調整し、過去最高水準の原油在庫量を削減し、不安定な原油価格を安定

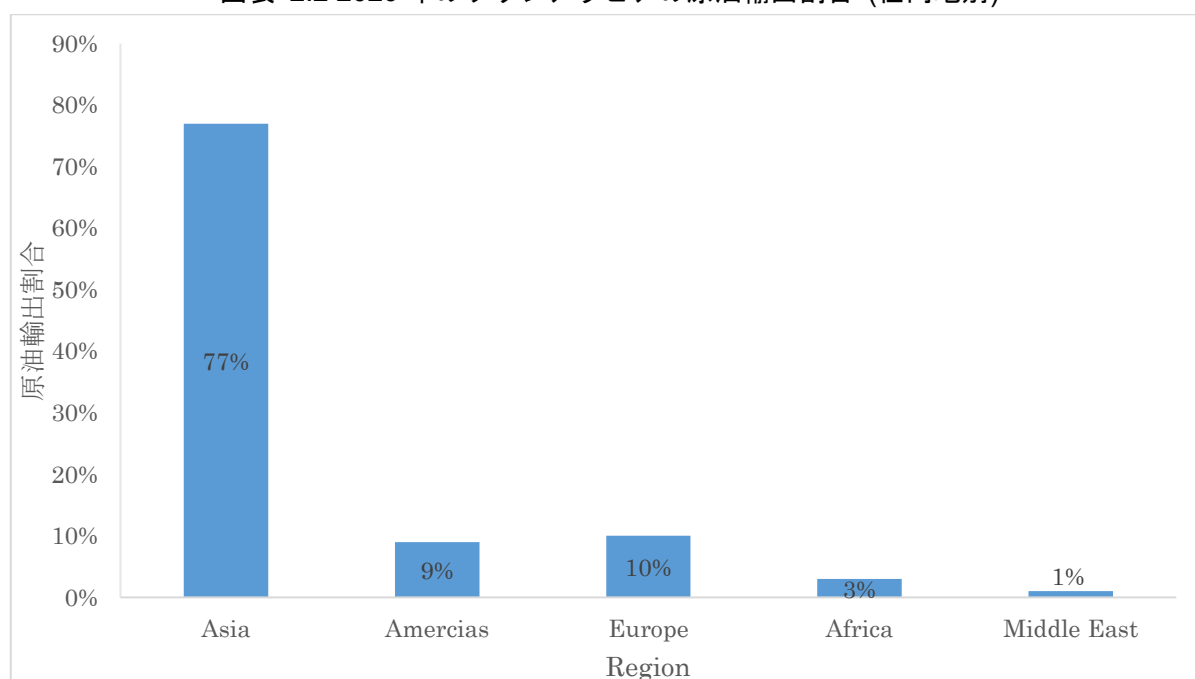
¹ https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm

させるために減産を実施した。

2021 年 1 月に OPEC+の参加国は再び増産したが、サウジアラビアは引き続き 2021 年 2 月から 4 月まで追加減産を行った。

図表 2.2 は 2020 年のサウジアラビアの仕向け地別原油輸出割合を示している。アジアは、原油輸出の 77%を占めることが分かる。アジアの原油需要と精製能力は過去 10 年間で成長し、その間にサウジアラビアの原油輸出に占める割合も増加した。サウジアラビアの原油を輸入しているその他の地域は、ヨーロッパ（10%）、アメリカ（9%）、アフリカ（3%）、その他の中東（1%）である。²

図表 2.2 2020 年のサウジアラビアの原油輸出割合（仕向け地別）



出所) EIA (US Energy Information Administration)

図表 2.3 は、同国に 10 か所ある油田の情報について記載している。

² <https://www.eia.gov/international/analysis/country/SAU>

図表 2.3 サウジアラビアにおける油田

番号	油田名	種類	場所	設立年	生産能力
1	ガワール油田	陸上	アル＝アフサ (東部州)	1951 年	日量 500 万バレル以上
2	サファニヤ油田	海上	ダーラン(東部 州)	1957 年	日量 150 万バレル
3	シャイバ油田	陸上	ルブアルハリ砂 漠	1998 年	日量 100 万バレル
4	クライス油田	陸上	南西ダーラン	2009 年	日量 150 万バレル
5	ズルフ油田	海上	アラビア湾	1973 年	日量 80 万バレル
6	マニファ油田	海上	アラビア湾	2013 年	日量 90 万バレル
7	ヌアイイム油田	陸上	サウジアラビア 中部	2009 年	日量 10 万バレル
8	ハラド油田	陸上	ガワール油田南 部	1996 年	日量 30 万バレル
9	クルサニヤ油田	陸上	ジュバイル工業 都市(東部州)	2008 年	日量 50 万バレル
10	カティーフ油田	陸上	湾岸(東部州)	1945 年	日量 10 万バレル

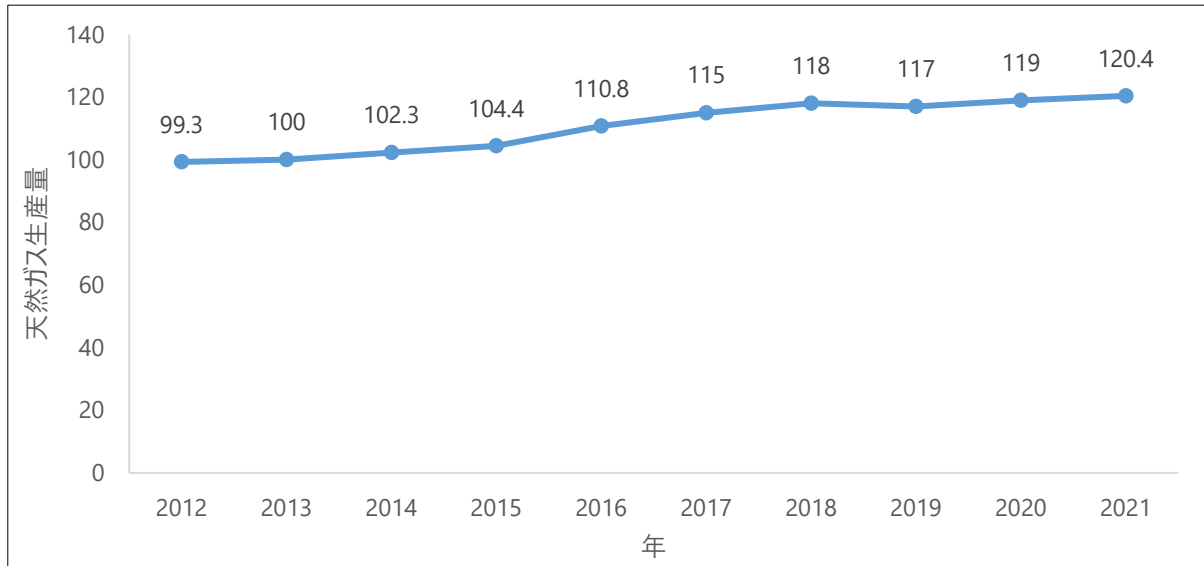
出所) サウジアラムコ³

³ <https://www.aramco.com/en/creating-value/products/oil>

2) 天然ガス生産量

サウジアラビアの天然ガス生産量は、2021年には1,204億立方メートルを誇る（図表2.4）。OPECによれば、同国の天然ガス生産量は世界の総生産量の約3%を占めているとされている。⁴

図表 2.4 サウジアラビアの天然ガス生産量 (単位:10 億立方メートル)



出所) OPEC

サウジアラビアの天然ガス生産量が非随伴ガス田の急速な開発により国内天然ガス総生産量の伸びが高まったため、生産能力は2015年以降上昇傾向を示し、2021年にピークを迎えている。しかし、2017年からは随伴ガス生産量の減少により、天然ガス総生産量の伸びは鈍化し始めた。⁵なお、随伴ガスは原油の生産に伴って油井から採取される自然ガスである一方、非随伴ガスは、天然ガス井や原油を生産しない油井から生産されるものである。

サウジアラビアは天然ガスの輸出入を行っておらず、天然ガスの消費は全て国内生産で賄われており、⁶生産される天然ガスの大部分は電力部門と石油化学を中心とした産業部門が消費している。ワシットガスプラントが国内最大のガスプラントである。サウジアラビアには、下表の5つのガスプラントがある。

⁴ https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm

⁵ <https://www.eia.gov/international/analysis/country/SAU>

⁶ <https://www.aramco.com/en/creating-value/products/gas>

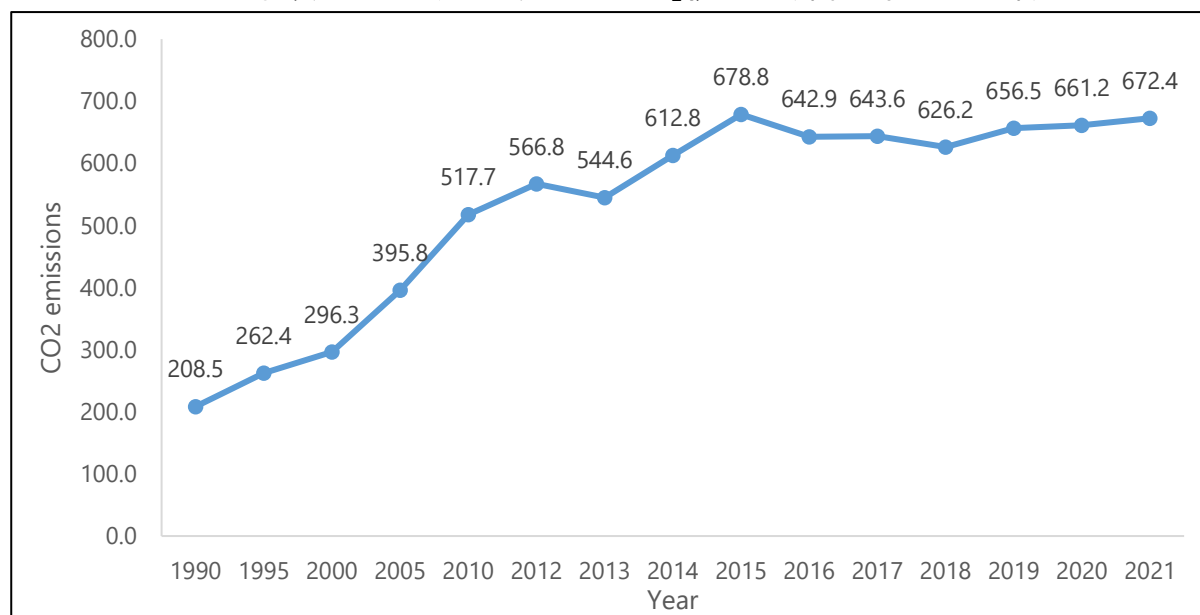
図表 2.5 サウジアラビアの天然ガスプラント

ガスプラント名	場所	設立年	生産能力
ファディリガスプラント	ジュバイル(東部州)	2019 年	2.5 bscfd
ハウイヤガスプラント	ハウイヤ	2001 年	2.5 bscfd
カランガスプラント	アラビア湾	2011 年	1.8 bscfd
シャイバーガスプラント	ルブアルハリ砂漠	2015 年	2.4 bscfd
ワシットガスプラント	ジュバイル(東部州)	2015 年	3.05 bscfd

出所) サウジアラムコ

2.2.2. サウジアラビアの CO₂ 排出量情報

サウジアラビアの CO₂ 排出量は、2021 年時点で約 6 億 7,238 万トン/年となり、1990 年の 2 億 850 万トン/年に比べて 3 倍以上に増加している（図表 2.6）。

図表 2.6 サウジアラビアの CO₂ 排出量（単位：百万トン/年）

注) 1990~2010 年については 5 年おきのデータ。

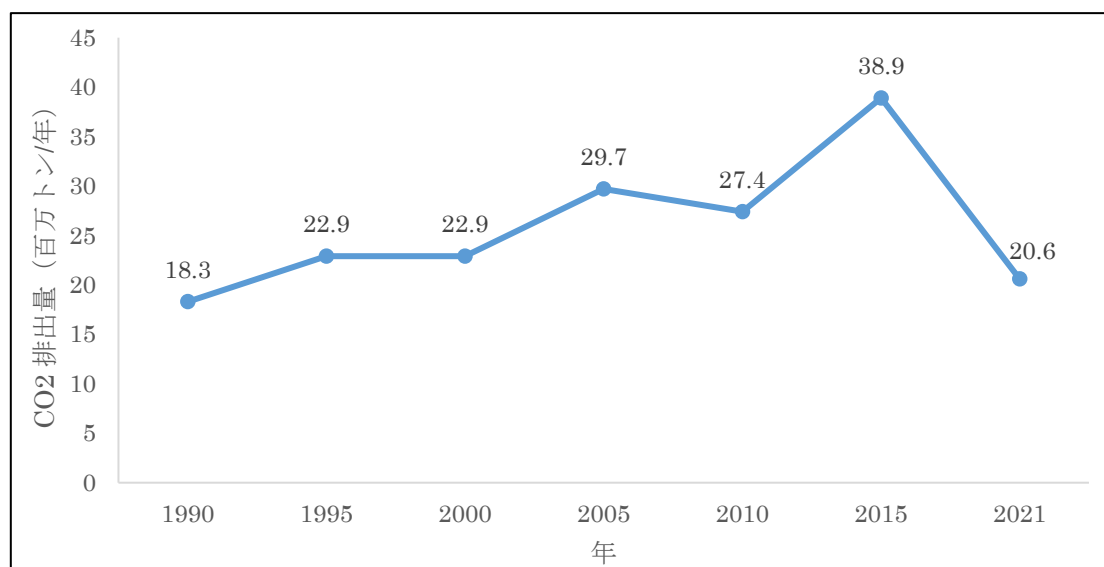
出所) Our World in Data

Climate Transparency（気候変動に関する透明性報告書）によると、2021 年におけるエネルギー部門の CO₂ 排出量は、年間約 20.6 Mt であった。2015 年から 2021 年にかけては CO₂ 排出量が減少しているが、原因としては新型コロナウイルスのまん延による影響が大きいと考えられる。サウジアラビアの一次エネルギー供給は、化石燃料に大きく依存する。サウジアラビア政府は、政府計画「Vision 2030」の一環として、2030 年までに 57.8 GW の再生可能エネルギーによる発電を行うことを約束し、通常の事業ベースから年間 130 MtCO₂e (million-ton CO₂ equivalent)の排出量を削減する計画になっている⁷。し

⁷ Climate Transparency (2020) 「NDC Transparency Check」より

たがって、今後当国では低炭素で資源開発を実現できる技術を求めるニーズが高まると考えられる。

図表 2.7 サウジアラビアにおけるエネルギー関連 CO₂ 排出量 (単位:百万トン/年)



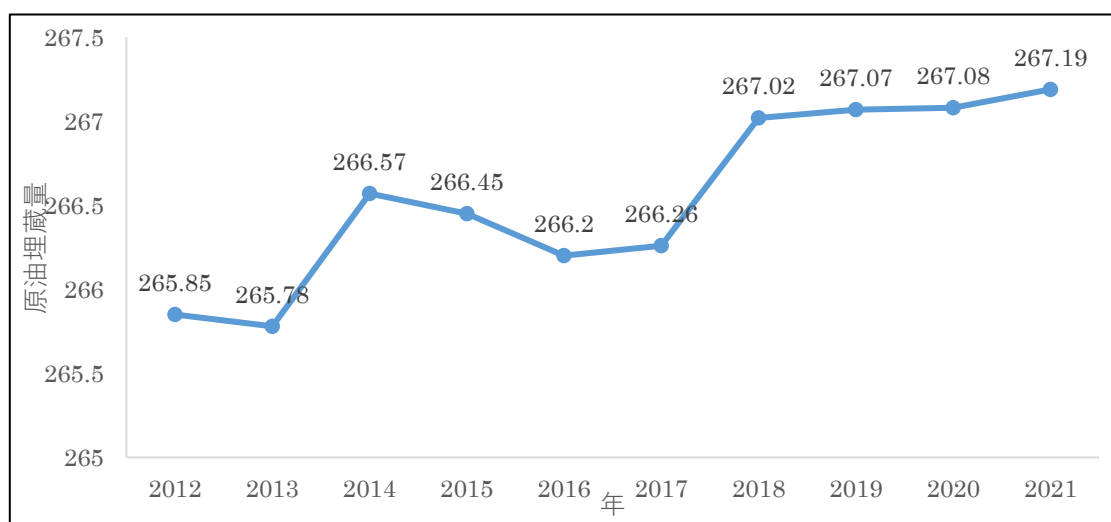
出所) Climate Transparency (2022) サウジアラビア「Climate Transparency Report」より

2.2.3. サウジアラビアにおける石油・ガス田のポテンシャル探掘量

1) 油田の探掘ポテンシャル

サウジアラビアは現在、2,670 億バレルの原油埋蔵量を有している。同国は、世界の原油埋蔵量の約 19%、世界の生産量の約 12%、世界市場での原油販売量の 20%以上を占めている。⁸

図表 2.8 サウジアラビアの原油埋蔵量 (単位: 10 億バレル/年)



出所) OPEC

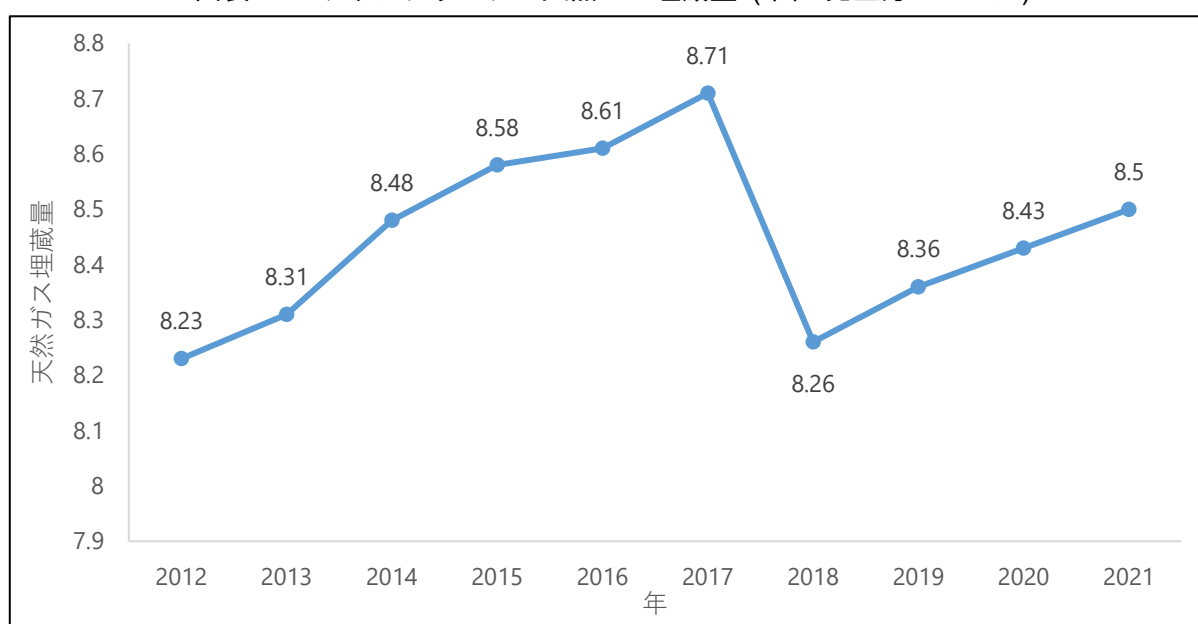
⁸ https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm

2017 年以降、同国の報告原油埋蔵量が増加していることを示している。増加傾向にあるのは、サウジアラビアで新たな原油の埋蔵の発見があったこと、技術の向上により既存の油田からより多くの量の原油を採取できるようになったこと、販売価格の上昇により原油の採取が経済的になったことなどが挙げられる。

2) 天然ガス田の採掘ポテンシャル

サウジアラビアは現在、世界第 7 位の天然ガス市場である。2021 年の天然ガス確認埋蔵量は 8.5 兆立方メートルで、ロシア、イラン、カタール、米国、トルクメニスタンに次ぐ世界第 6 位の埋蔵量となっている。⁹

図表 2.9 サウジアラビアの天然ガス埋蔵量 (単位:兆立方メートル)



出所) OPEC

図表 2.10 2021 年時点の世界の天然ガス埋蔵量上位国 (単位:兆立方メートル)

ランキング	国名	天然ガス埋蔵量
1	Russia	47.7
2	Iran	33.9
3	Qatar	23.8
4	Turkmenistan	13.9
5	United States of America	12.2
6	Saudi Arabia	8.5
ランキング	国名	天然ガス埋蔵量

⁹ https://www.opec.org/opec_web/en/about_us/169.htm

1	Russia	47.7
2	Iran	33.9
3	Qatar	23.8
4	Turkmenistan	13.9
5	United States of America	12.2
6	Saudi Arabia	8.5

出所) OPEC

2.3. サウジアラビアのエネルギー関連国家目標および課題に関する調査

2.3.1. サウジアラビアの CO₂ 排出削減に関する国家エネルギー関連目標

サウジアラビアは、2016 年 11 月 3 日に INDC (Intended Nationally Determined Contributions) ¹⁰ を提出した。この INDC では、経済の多様化や適応への貢献を通じて、2030 年までに温室効果ガス (GHG) 排出量を毎年 130Mt-CO₂e 削減することを目標としていた。その後サウジアラビアは、2021 年 10 月 23 日に目標を更新し、2019 年を基準年として 2030 年までに温室効果ガス (GHG) 排出量を年間 278 Mt-CO₂e 削減・回避・排除することを目標に掲げた NDC を提出した。この目標は、同国の INDC にあるように、前回 (130 MtCO₂e) の 2 倍以上となる。ただし、今回の NDC 改訂は、地球規模の気候変動政策や取り組みによる経済的・社会的影響から、サウジアラビアの経済が過度または異常な負担を受けないという考えに基づいている (UNFCCC 第 3 条第 2 項)。 ¹¹

サウジアラビアは現在この目標を達成し、国内、地域、地球規模で気候変動問題に取り組むためのプログラムや政策の開発と実施に向けて取り組んでいる。このようなプログラムや政策の例としては、サウジアラビア・グリーン・イニシアティブ、中東グリーン・イニシアティブ、国家再生可能エネルギープログラム、サウジ・エネルギー効率化プログラムなどがある。これらのプログラム以外にも、サウジアラビアはグローバル・メタン・イニシアティブ、ミッション・イノベーション、クリーンエネルギー大臣会合、ネット・ゼロ・プロデューサーズ・フォーラムなどの主要な国際イニシアティブのメンバーであり、積極的に参加している。

図表 2.11 に、サウジアラビアが NDC 目標達成のために実施した対応策を記載する。

¹⁰ INDC : パリ協定締結前に各国が国連に伝えた気候変動に関する目標や行動。NDC (Nationally Determined Contribution) は、パリ協定に参加した際に各国が設定した目標や行動であり、INDC は当初の提案であるのに対し、NDC は協定採択後に更新された目標であるという違いである。

¹¹ <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/202203111154---KSA%20NDC%202021.pdf>

図表 2.11 NDC 目標達成に向けたサウジアラビアのイニシアティブ

プログラム 名称	説明	プログラムの対 象範囲となる地 域
サウジ・グ リーン・イ ニシアティ ブ ¹²	サウジアラビアが 2021 年 3 月に開始した環境と持続可能な開発のための包括的イニシアティブ。サウジアラビアの陸上・海洋環境の保護、二酸化炭素排出量の削減、砂漠化対策、天然資源の保全などを目的としている。 100 億本の植樹、2030 年までにサウジアラビアのエネルギーの 50%を自然エネルギーで発電、保護された土地面積の拡大など、多様なプロジェクトやイニシアティブが含まれている。	サウジアラビアの 経済多様化計画 「ビジョン 2030」の一環で あり、対象地域は 同国のみ
中東グリー ン・イニシ アティブ ¹³	2021 年に発表されたサウジアラビアの計画で、中東全域に 500 億本の木を植え、2 億ヘクタールに相当する荒廃した土地を再生させるというもの。 この取り組みにより、世界の炭素量を 2.5%削減することが可能であり、同地域をクリーンエネルギーと持続可能な農業の世界的な主要拠点にすることを目指している。	GCC を中心とし た中近東諸国が対 象範囲
国家再生可 能エネルギ ープログラ ム (NREP) ¹⁴	サウジアラビアが 2017 年に開始した、エネルギーミックスにおける再生可能エネルギーのシェアを高め、現地の再生可能エネルギー産業を発展させるためのイニシアティブ。 このプログラムは 2030 年までに再生可能エネルギーによる電力を 50%にするという目標に沿うよう、2030 年までに 35 か所以上の再生可能エネルギーを活用するエリアを開発することが含まれている。	サウジアラビア国 内のみを対象とし たプログラム
サウジ・エ ネルギー効 率化プログ ラム ¹⁵	あらゆる部門におけるエネルギー効率化と節約を促進・奨励するために、サウジアラビア政府が立ち上げた国家的な取り組み。 国のエネルギー消費量を削減し、産業、建設、陸上輸送の 3 つの主要セクターのエネルギー効率基準を向上させることを目的とする。	サウジアラビア国 内のみを対象とし たプログラム

出所) UNFCC

¹² <https://www.greeninitiatives.gov.sa/about-sgi/>

¹³ <https://www.saudiembassy.net/news/crown-prince-announces-25-billion-middle-east-green-initiative>

¹⁴ International Energy Forum、Renewable Energy Project Development Office (2020)、「Saudi Arabia National Renewable Energy Program」より

¹⁵ <https://www.moenergy.gov.sa/en/OurPrograms/SPFEE/Pages/default.aspx>

2.3.2. サウジアラビアのエネルギー目標における、CCS に関する言及

サウジアラビアは国家循環型炭素経済（CCE）¹⁶を推進すべく、CO₂の回収・利用・貯留（CCUS）技術の採用を加速・拡大させる意向があり、その一例として同国石油化学製品・鉄鋼等の重工業地帯であるジュベイルとヤンブーを、製造業の集積や輸送インフラの活用を通じ、CCUS、EOR、直接空気回収技術（DAC）¹⁷の世界的な拠点にすることを計画している。

2.4. CCS に関する調査

2.4.1. CCS の仕組み概要

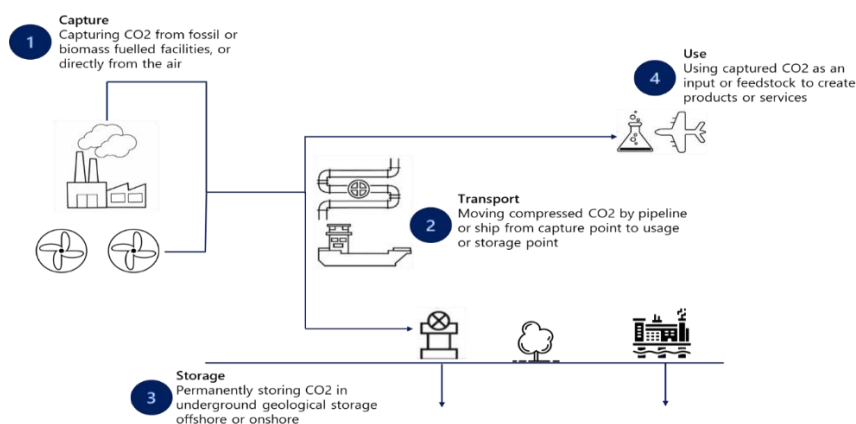
2.4.1.1. CCS の技術について

CO₂の回収・貯留（CCS、Carbon Capture and Storage）は、CO₂排出を削減する技術である。化石燃料やバイオマスを燃料として燃やし、大量の CO₂を排出している工場や発電所などから、CO₂を回収する技術である。また、直接空気から回収することも可能（直接空気回収技術、Direct Air Capture、DAC）である。

CCS の仕組みは、全体として 3 つのステップに分けることができる。

- i. **回収**：CO₂回収技術を用いて、排出源あるいは大気中から直接 CO₂を回収する。
- ii. **輸送**：回収された CO₂は圧縮されて液状となり、パイプラインや船で貯留地や利用地まで輸送される。回収された CO₂は、地下深くの地層貯留層に貯留されるほか、さまざまな製品やサービスの生産に利用される。
- iii. **貯留**：輸送された CO₂は、地下深くの地層に圧入される。

図表 2.12 CCS の仕組みの概要



出所) IEA¹⁷より

¹⁶ 国家循環型炭素経済（CCE）：サウジアラビア国内外の専門家やエネルギーセクターの関係者によって開発された概念。その主な目的は、カーボンニュートラルやネットゼロ CO₂とも呼ばれる完全な炭素循環を実現することである。CCE は基本的に、特定の技術に焦点を当てるのではなく、CO₂排出やその他の温室効果ガスが大気中に放出されるのを防ぐことが重要であるとしている。また、CCE はリデュース、リサイクル、リユースという「3R」に基づいているが、4 つ目の R としてリムーバル（エネルギー消費量の削減）も重視している。

¹⁷ IEA (2021), Technology Report (About CCUS) – April 2021. All rights reserved.

2.4.1.2. CO₂の回収

CCS の仕組みは、まず CO₂を排出源や大気から直接回収することである。CO₂回収は、排ガストリームから CO₂を分離、回収する技術であり、最も先進的で一般的に使用されているのは、化学吸収法と物理分離法である。その他にも、膜やケミカルルーピング、カルシウムルーピングなどのルーピングサイクルなどの技術もあるが、サウジアラビアの CCS 施設では、一般的に化学吸収法が用いられている。

実際には、特定の場面での応用に最適な回収技術は、望ましい CO₂濃度、動作圧力と温度、ガス流の性質と流量、元の設備との統合、コストの検討など、様々な要素に依存する。

図表 2.13 CO₂を回収する技術の一覧

回収技術	概要	技術の状況
化学吸収	CO ₂ と化学溶媒（エタノールアミン化合物など）の反応を利用した一般的なプロセス操作である。アミン系溶媒を用いた化学吸収法は、最も高度な CO ₂ 分離技術である。	数十年に渡り広く使用され、現在では世界中の発電、燃料転換、工業生産における様々な小規模および大規模プロジェクトに適用されている。
物理的分離	吸着、吸収、低温分離、圧縮脱水のいずれかを基本とする。物理吸着は固体表面（活性炭、アルミナ、金属酸化物、沸石など）を利用し、物理吸収は液体溶媒（セレキソール、レクチゾールなど）を利用する。吸着剤で回収した後、温度（温度スイング吸着）や圧力（圧力スイング吸着、真空スイング吸着）を上げることで CO ₂ を放出する。	現在、主に天然ガス処理とエタノール、メタノール、水素の工場で使用されており、合計 9 つの商業プラントが稼働している。
酸素燃料分離	ほぼ純酸素で燃料を燃焼させ、排出される CO ₂ を回収する方法である。排ガスは CO ₂ と水蒸気のみであるため、脱水処理により水蒸気を容易に除去し、高純度の CO ₂ を得ることができる。	現在、大型プロトタイプ／事前実証の段階。石炭火力発電やセメント製造において、多くのプロジェクトが終了。
膜分離	CO ₂ 選択性の高い高分子聚合物または無機デバイス（膜）をベースとしており、CO ₂ は通過させるが、他のガスは保持する障壁の役割を果たす。	技術の準備状況は燃料や用途によって異なる。天然ガス処理は主に実証段階になっている。膜分離に基づく既存の大規模回収工場は、ブラジルのペトロブラスによって運営されている。合成ガスやバイオガスから CO ₂ を除去する膜はすでに実用化されており、排ガス処理用の膜は現在開発中である。

カルシウムループ	主に 2 つの反応器を用いて、高温で CO ₂ を回収する。第一反応器では、石灰 (CaO) を吸着剤として使用し、ガストリームから CO ₂ を回収して炭酸カルシウム (CaCO ₃) を生成する。この CaCO ₃ は、2 番目のリアクターに運ばれ、そこで再生され、石灰と純粋な CO ₂ のストリームが得られる。この石灰は、再び第 1 反応器に戻される。	現在、実証／プレコマースの段階にある。石炭焚きの流動床燃焼器やセメント製造などでテストされている。
ケミカルループ	カルシウムループと同じく、2 つの反応器を使用する技術である。第 1 反応器では、金属 (鉄やマンガなど) の小粒子が空気中の酸素と結合して金属酸化物を形成し、第 2 反応器に運ばれて燃料と反応し、エネルギーと CO ₂ の濃縮ストリームを生成して、金属の還元型を再生させる。その後、金属は 1 番目の反応炉にループで戻される。	この技術は、石炭、ガス、石油、バイオマスの燃焼に関する約 35 の実証プロジェクトの運用を通じて検証されている。
直接分離	セメント製造工程で排出される CO ₂ を、特殊な焼成炉を用いて石灰石を間接的に加熱することで回収する技術である。他の燃焼ガスと混合することなく、石灰石から直接 CO ₂ を分離するため、ガス分離にかかるエネルギーコストを大幅に削減することができる。	現在、ベルギーの Lixhe にあるハイデルベルグセメント工場で Calix 社が開発した「Low Emissions Intensity Lime and Cement (LEILAC)」実証プラントなどのプロジェクトでテスト中である。
超臨界 CO ₂ パワーサイクル	従来の火力発電所では、排ガスや蒸気を利用して 1 台または複数台のタービンを駆動しているが、超臨界 CO ₂ 発電所では、代わりに超臨界 CO ₂ (臨界温度・圧力以上の CO ₂) を利用する。超臨界 CO ₂ タービンは、燃料をほぼ純粋な酸素で燃焼させ、CO ₂ と水蒸気のみからなる排ガスを得るのが一般的である。	現在、超臨界 CO ₂ パワーサイクルの 2 つのプロトタイプ/デモンストラーションプロジェクトが稼働している。NET Power の Allam サイクルと Trigen Clean Energy Systems (CES) サイクルである。

出所) IEA¹⁸

2.4.1.3. CO₂の輸送方法

CO₂は、主に以下の 2 つの方法で輸送される：

- **パイプライン**：パイプラインは、陸上で CO₂を大量に輸送する最も一般的で安価な方法であり、輸送距離と輸送量に応じ海底でも設置可能。
- **船舶**：食品・飲料業界への少量の CO₂を移送するために利用される。現地での貯留手段がほとんどない国家間の長距離輸送の場合、船舶はパイプラインよりも柔軟性があり、また経済的にも安価である。

¹⁸ <https://www.iea.org/reports/about-ccus>

また、鉄道やトラックで輸送することも可能だが、普段にこの方法は CO₂ トンあたりのコストが高く
なり、CO₂ を回収地点から近くの貯留施設に移動する場合にのみ利用可能である。

2.4.1.4. CO₂ 貯留

多孔質岩盤（一部に空隙があり、圧縮ガスなどの液体を貯留できる岩石）の地下深くの地層貯留層に圧入することで、回収した CO₂ を貯留できる。貯留層を密閉することで、大気中の CO₂ の上方への移動、つまり「漏れ」を防ぐことが可能である。CO₂ を貯める貯留層には、通常 2 つの種類がある。

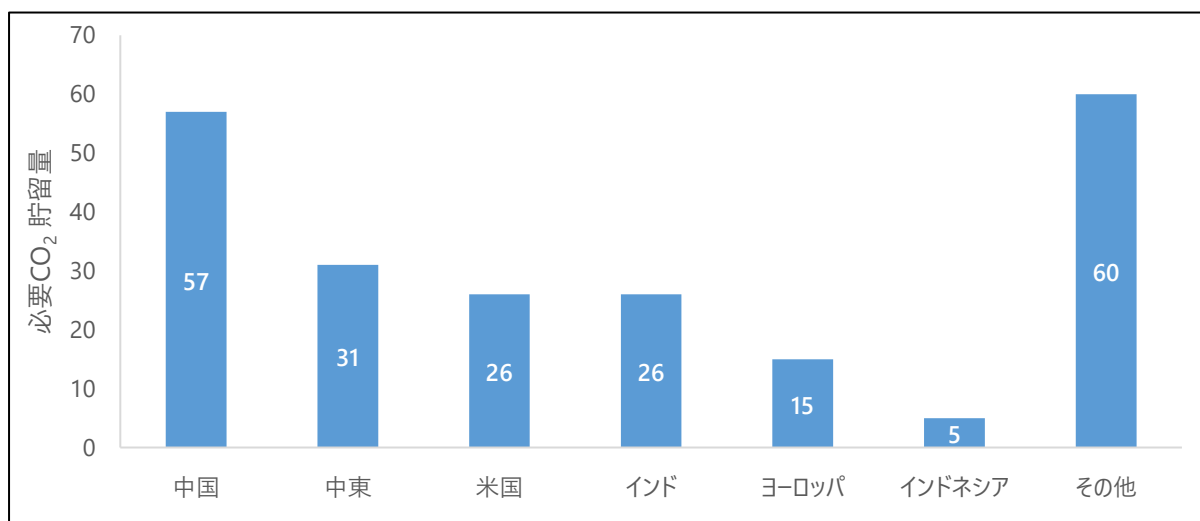
- 深塩貯留層：地表から数キロメートル下にある多孔質の岩層で、利用されていない塩水を多量に含む。陸上と海上の堆積盆の両方に存在し、最大の CO₂ 貯留能力を持つと考えられる。
- 枯渇性油層：一次石油抽出が行われた石油貯留層であり、何百万年も原油やガスを閉じ込めてきたように圧入された CO₂ を閉じ込め、貯留する能力がある。

また、反応性の高い化学物質を多く含む玄武岩（火成岩）に CO₂ を貯留する方法もある。これは圧入された CO₂ が化学成分と反応して安定した鉱物を形成することで CO₂ を閉じ込める方法であるが、この方法はまだ開発中である。

CO₂ の総貯留可能性については世界的に見ても未だ調査や集中的な研究が必要な分野ではあるものの、IEA は、世界全体の CO₂ 貯留可能性を 8,000Gt から 55,000Gt の間と試算している。¹⁹

また、IEA の持続可能な開発シナリオ（SDS）モデルによる概算においても、総貯留可能性が将来的に必要とされる CO₂ 貯留量を大きく上回っており、大きな懸念はない。IEA の試算によると、SDS モデルで 2020-70 年に必要な CO₂ 貯留量は約 220Gt と見積もられ、この 220Gt の内訳を示したものが図表 2.14 である。

図表 2.14 IEA の SDS モデルにおいて主要国・地域で必要とされる CO₂ 貯留量 (単位:Gt CO₂)



出所) IEA

¹⁹ IEA (2020) 「Energy Technology Perspectives 2020」より

さらに、IEA の推定によると、推定される CO₂ 貯留容量の大部分は、陸上の深部塩水帯水層や枯渇した油層にあることが分かっており、さらに貯留能力は、陸上では 6,000 Gt から 42,000 Gt、海上では 2,000 Gt から 13,000 Gt と推定されている。²⁰ただし CO₂ 貯留地の開発コストは、今後数十年間の CCS の展開を検討する上での重要な要素である。CO₂ 貯留コストは、CO₂ 圧入率、貯留槽の特性、立地条件によって大きく変化する。特に貯留槽の品質や特性の影響を考慮した場合、まだ CO₂ 貯留が行われていない場所に新たに建設する場合のコストは算出が難しい。

2.4.1.5. CCS 技術の効果

CCS 技術は、経済がネットゼロ目標を達成する上で、大気からの炭素排出を削減するのに役立つ可能性がある。

CCS 技術の効果は、以下のように大きく 2 つのカテゴリーに分けられる²¹：

- **CO₂ 排出量を削減し、ネットゼロ（カーボンニュートラル）達成への活用**：IEA によると、ネットゼロへの移行において CCS を一定期間世界規模で実施することで、以下の効果をもたらす。
 - 既存インフラの排出対応：
 - ✧ CCS は、経済活動における最大の CO₂ 排出源である既存の発電所や産業施設に適用し、今後 50 年間で 6,000 億トンの CO₂ を排出する可能性がある発電所や工場から CO₂ 回収することが可能。
 - ✧ 2030 年までに回収される CO₂ の半分以上は、既存のインフラの改修によるものと考えられ、化石燃料を使用する発電所や産業プラントの改修に焦点が当てられている。
 - 排出ガス削減に対する解決策：
 - ✧ 重工業は現在、世界の CO₂ 排出量のほぼ 20% を占め、CCS 技術は先進技術としてこの産業からの膨大な排出量削減のための大きな解決策となり得る。
- **大気からの炭素の除去**：CCUS 技術が大気から CO₂ を除去する手段、つまり「ネガティブエミッション」としては主に 2 つのアプローチがある。
 - **CCS 付きバイオエネルギー (BECCS)**：バイオマスを燃焼させ、大気中の CO₂ を吸収しながら成長する過程で発生する CO₂ を回収し、長期的に貯留する技術である。例えば CCUS を搭載したバイオマス発電所は BECCS の一種であり、バイオマスをバイオ燃料に変換する設備も、発生した CO₂ を吸収・貯留すればこれも BECCS の一種となる。
 - **直接空気回収技術 (DAC)**：大気中から直接 CO₂ を回収するものである。例えばこの CO₂ は合成燃料の原料として気候変動に影響されずに使用することができ、また、炭素除去のために永久に貯留することもできる。このような炭素除去のアプローチは、植林や再植林などの自然に基づく解決策を補完するとされている。

²⁰ IEA (2020) 「Energy Technology Perspectives 2020」より

²¹ IEA (2020) 「Energy Technology Perspectives 2020」より

図表 2.15 持続可能な開発シナリオにおける主要グローバル CCS 指標

CO ₂ 総回収量 (メガトン)		2030 年	2050 年	2070 年	累計
		840	5,635	10,409	240,255
回収	石炭	320	1,709	2,145	64,399
	石油	21	141	230	5,301
	天然ガス	96	1,733	3,209	72,948
	バイオマス	81	955	3,010	52,257
	産業用プロセス	312	979	1,073	36,562
	直接空気回収	11	117	741	8,788
うち	貯留	650	5,266	9,532	220,845 (累計の 92%)
	有効利用	190	369	877	19,409 (累計の 8%)

出所) IEA²²

2.4.1.6. CCS による CO₂ 排出量削減

経済活動から排出される CO₂ を削減するために、CCS の可能性を評価する研究も行われている。

IEA の推計²³によれば、CCS 技術は 2050 年までに CO₂ 排出量の 14% の累積削減を達成すると予測されており、IPCC 第 5 次評価報告書では、2100 年までに CO₂ 排出量を 450ppm に削減するためには、CCS 技術が不可欠としている。

IEA の公表政策シナリオ²⁴のモデルでは、CCS 技術等により、2070 年までにエネルギー部門の CO₂ 排出量が約 6.89Gt 削減されるとされている。²⁵

下図表 2.16 は、公表政策シナリオに対し、持続可能な開発シナリオにおける CCS 等の世界のエネルギー部門の CO₂ 排出量削減への寄与をまとめたもので、CCS 等の注力領域が 3 つの時期においてどのように変化していくかを示している。

²² IEA (2017) 「CCUS in the transition to net-zero emissions」より

²³ 国連西アジア経済社会委員会 (ESCWA) 「Report on Carbon Capture Utilization and Storage Challenges and Opportunities for the Arab Region」より

²⁴ 公表政策シナリオ (State Policies Scenario、SPS) : IEA がモデル化したシナリオ。エネルギーや環境に関し既に採択または発表された政府の政策や公約 (パリ協定における国別貢献での公約を含む) を考慮したもの。

²⁵ IEA (2020) 「Energy Technology Perspectives 2020」より

図表 2.16 エネルギー分野における CO₂ 排出量削減のための CCS 等ロードマップ

フェーズ	時期	累積 CCUS 排出削減	注力する領域
1	2030 まで	4%	既存の発電所や工場から排出される CO ₂ を回収
2	2030-2050 年	12%	- セメント・鉄鋼・化学分野での CCUS 導入拡大 - 発電分野での天然ガス火力へのシフト - 化石燃料からの水素製造 - BECCS 設備の拡大
3	2050-2070 年	15%	炭素除去および CO ₂ 利用経路を加速

出所) IEA

試算によれば、CCS は 2030 年までに全体で 2.03 Gt-CO₂/年を削減される見込みである（うち 2030 年で CCU により 0.1 Gt-CO₂/年削減）。しかし、CCS のような技術が利用できない、もしくは部分的にしか利用できない場合、コストが大幅に上昇（1.5 倍から 4 倍）する可能性があるため、より競争力ある CO₂ 回収・貯蔵技術の開発が重要であると考えられる。

2.4.2. サウジアラビア国内における CCS 関連の現行プロジェクト事例

サウジアラビアでは、現在以下に示すような CCS 関連プロジェクトが稼動している。²⁶

図表 2.17 サウジアラビアにおける CCS プロジェクト

プロジェクト名	プレイヤー	年	場所	CO ₂ 回収能力
ウスマニアプロジェクト	サウジアラムコ	2015 年	サウジアラビア東部州ガワール油田	ハウィヤ天然ガスプラントから排出される年間 80 万トンの CO ₂ を回収することが可能。
SABIC 二酸化炭素利用プロジェクト	SABIC（サウジ基礎産業公社）	2015 年	サウジアラビア・ジユバイル	エチレングリコール工場から 50 万トンの CO ₂ が回収可能。

出所) サウジアラムコ、ニュース記事

1) ウスマニアプロジェクトについて

ウスマニアの実証プロジェクトは、「ガワール油田のウスマニア地域」の一部で実施されている。

このプロジェクトでは、ハウィヤガスプラントから排出される CO₂ を化学吸収法により回収するもので、圧入井を 4 本、生産井を 4 本、観測井を 2 本で構成されている。まず、CCS 技術でハウィヤ NGL 回収プラントから排出される CO₂ を年間 80 万トン回収する。

2) SABIC プロジェクトについて

²⁶ Saudi Aramco HP より

SABIC 炭素利用プラントは、SABIC の製造関連会社である ジュベイル・ユナイテッド・ペトロケミカル・カンパニー (UNITED)のために設立された世界最大の CO₂精製および液化プラントである。

このプロジェクトでは、エチレングリコールプラントから年間約 50 万トンの CO₂を回収する。

2.4.3. サウジアラビアにおける潜在的な CO₂ 貯留能力

サウジアラビアの油田・ガス田と深海帯水層に関する外部研究によれば、サウジアラビアには排出源の集中地に近い場所に適切な貯留資源が存在することが示唆されている。

IEA によると、サウジアラビアの主要な CO₂排出地域には、複数の CCUS 開発の大きな潜在的可能性があるとされている：

- **東部地域 (ダンマーム、ジュベール)：**特に電力と工業部門を中心に多様な産業を持つ。この地域は、潜在的に適切な貯留資源を持つ可能性がある。
- **中部地域 (リヤド周辺)：**発電、セメント、精錬、鉄鋼などの産業が盛んである。このため、この地域には適切な貯留施設がある可能性がある。
- **西部地域 (ジェッダ、ヤンブー)：**この地域の一部は、CCUS 施設として開発される可能性のある玄武岩層の上に位置している。

OGCI (Oil & Gas Climate Initiative) の報告書²⁷によると、ルブアルハリ盆地に積み重なった地中貯留層の近くに CO₂貯留が可能なスペースが存在する可能性があるとのことである。これにより、サウジアラビアと UAE は、CO₂貯留容量の点で優位に立てる可能性がある。

ただし、サウジアラビアの貯留可能量は不確実であり、貯留可能量を確認するためには、特定の場所に焦点を当てた調査が必要である。サウジアラビアでは、CCUS の導入機会が大きいことが予測されるため、今後真の CO₂貯留能力を確認するために、地震データ収集、井戸掘削および試験、貯留層性能およびその他の事項を含む焦点を当てた研究を行うことが必要であると考えられる。

2.5. サウジアラビア国内での投資環境及びその支援動向

サウジアラビアは外国人投資家にとって注目の投資国であり、ビジネスフレンドリーな環境を備えている。外国企業に対して、例えば以下のような利点やインセンティブを提供している。²⁸

- 個人所得税、付加価値税、消費税、地価税、固定資産税がない。
- 会社、工場、設備、プロジェクト、不動産（メッカとメディナの都市を除く）の 100%外国人所有が可能。
- 資本金、利益、配当金の完全な本国送還が可能。ただし、5%の源泉徴収税が課される。
- ジュベイル、ヤンブーなどの低コスト拠点、32 の工業都市と 4 つの経済都市がある。
- 大アラブ自由貿易地域 (GAFTA) の 17 カ国内では輸出関税がかからない。
- 通貨交換、両替、送金の制限が少ない。
- 法人税は 20%、損失は無期限に繰り越し、将来の税金と相殺。

²⁷ <https://www.ogci.com/new-ogci-report-on-ccus-in-saudi-arabia>

²⁸ <https://www.ic.gov.sa/en/invest-in-saudi-arabia/investment-incentives-support/>

- 外国人従業員へのスポンサーシップに制限なし。
- 輸入された機械、装置、原材料、スペアパーツが産業用である場合、関税が免除されている。
- 関税還付、輸入した原材料を加工して完成品として輸出する場合の関税の還付。
- 政府調達における国産品への優遇措置。

上記とは別に、サウジアラビアは外国人投資家が容易に資金調達や信用供与を行えるよう、いくつかの機関や制度を設けている。その中には以下のようなものがある：

1) アラブ経済社会開発基金 (AFESD)

アラブ諸国における経済・社会開発プロジェクトに対し、融資や出資、助成金、中小企業支援などの資金提供を目的とした地域金融機関である。同ファンドの規模は 40 億 KD (Kuwaiti Dinar)である。²⁹

ファンドが資金を提供する方法は、主に以下の 3 つである。

- 貸付金（当ファンドの財務活動全体の 90%を占める）
- 補助金
- 資本への拠出

下表は、AFESD が実施する融資活動をまとめたものである。

図表 2.18 AFESD による資金提供方法

カテゴリー	概要	利用規約
貸付金	- このファンドは、公共部門と民間部門の両方に貸付金を行う。 - 民間企業への融資には、市場条件貸付金、シンジケーション、保証、クレジットライン、資本参加、リース、証券の引き受け、ベンチャーキャピタルファンドの設立、関連する制度支援やアドバイザーサービスの提供など、様々な形態がある。	- 貸付金の条件は、現在の為替レート、借り手の財務状況、プロジェクトに伴う投資リスクなど、数々の要因に基づいて決定される。 - 融資の上限は、1,000 万 KD またはプロジェクト総費用の 35%のいずれか小さい額となる。 - このファンドは、加盟国の国民が会社の資本の 51%以上を所有することを要求。
資本金への拠出	- このファンドは、加盟国の民間セクターを発展させるために、企業の資本を引き受ける。 - 出資にあたっては、企業の健全な資本構成、経営の真剣さ、投資収益性の期待、当該加盟国の経済発展への効果的な貢献など、様々な要素を考慮する。	- ファンドの出資額の上限は、1,000 万 KD または会社の引き受け資本の 25%のいずれか低い方とする。 - ファンドによる貸付金と出資の組み合わせの場合、合計額が 1,000 万 KD または会社の純資産の 35%のいずれか低い方を超え

²⁹ <https://www.arabfund.org/>

		ないこと。
--	--	-------

出所) AFESD

2) アラブ貿易金融プログラム (ATFP)

アラブ諸国における貿易活動の促進を目的とした金融機関である。³⁰下表は、ATFP のプログラム概要をまとめたものである。

図表 2.19 ATFP のプログラム概要

プログラム名	概要	利用規約
アラブ貿易金融プログラム (ATFP)	- ファンド資本は 10 億米ドル。 - このファンドは、加盟国の指定機関（銀行や金融機関）を通じて、輸出業者や輸入業者に融資サービスを提供している。 - 輸出業者および輸入業者は、これらの国家機関に連絡することにより、融資制度を利用することができる。 - また、セミナーや会議、貿易情報の提供など、他の媒体を通じて貿易活動の促進を図っている。	ATFP は、商品の種類に応じて国家機関にクレジットを提供している。異なる商品に対するクレジットの最大期間は以下の通りである。 —消費財：1 年 —原材料：1.5 年 —中間財：2 年 —資本財：5 年

出所) ATFP

3) アラブ投資輸出保証プログラム (Dhaman)

商業的および非商業的なリスクに対する投資保証サービスを提供する組織である。この組織の主な目的は、以下の通り³¹：

- アラブおよび非アラブの投資家と貸し手に政治リスク保険を提供することにより、アラブ諸国への外国直接投資（FDI）の流れを促進。
- アラブの輸出業者に政治的リスクおよび商業的リスク保険を提供することにより、アラブの輸出を強化。
- B2B 販売に対する商業リスク保険の提供を通じて、アラブの国内貿易を支援する。
- アラブの輸入業者への商品、原材料、設備、その他開発途上の商品・サービスの販売に携わるアラブ

³⁰ <https://atfp.org.ae/>

³¹ <https://www.dhaman.net/en/>

以外の輸出業者や金融機関への政治的・商業的リスク保険の提供を通じて、アラブ諸国の経済成長を支援。

- 研究・知識共有活動、アラブ FDI 推進機関への技術支援、投資推進に関わるアラブ・国際機関との協力。

Dhaman は、下表に示すように、様々なタイプの保険を提供している：

図表 2.20 Dhaman が提供する保険

カテゴリー	保険	保険対象リスク	概要	利用規約
信用・政治 リスク保 険	信用・政治 リスク保険	契約の不満	公的債務者の非協力など、政治 的理由による契約履行不能の リスク	最大規模は 1 億米 ドル、期間 10 年
		クレジット	民間債務者による不払い	最大規模は 1 億米 ドル、期間 7 年
		没収収用	相手国政府が会社の資産を没 収し、営業ができなくなるリス ク	最大規模は 1 億米 ドル、期間 15 年
		政治的暴力	戦争・革命などによる事業への 支障	最大規模は 1 億米 ドル、期間 15 年
		通貨不換・為替 振替	現地法の影響による現地通貨 への交換や国外持ち出しに関 する障壁	最大規模は 1 億米 ドル、期間 15 年
		契約不履行	仲裁や司法判断の不履行を含 む、受入国による契約違反また は否認	最大規模は 1 億米 ドル、期間 15 年
		ソブリン金融債 務の非保持化	受入国政府が無条件の義務に 基づく支払を怠った場合	最大規模は 1 億米 ドル、期間 15 年
投資保険	貸付金保険 証書	没収、収用、国有 化 (CEN)	受入国による資産の CEN によ り、事業が返済不能となること	借入期間が 3 年を 超え、損失額の 90%が平均して保 険に加入している こと
		戦争と内乱	受入国での戦争、テロ、暴動等 により返済不能	
		通貨の不兌換性 と送金制限	受入国側の対応により発生す る通貨換算上の支障	
	動産保険証 書	没収、収用、国有 化 (CEN)	受入国における CEN の措置に より、被保険資産の所有権また は支配権が喪失すること	保険期間はプロジ ェクト遂行スケジ ュールに対応。補償 率は発生した損失 の約 90%
		戦争と内乱	受入国における戦争や内乱に よる保険資産の損害	
		通貨の不兌換性 と送金制限	政府が機器の再輸出を認めな い場合の価値の移転の拒否また は遅延	
		再輸出制限	プロジェクト終了後、政府から 再輸出を拒否され、再輸出がで きないこと	

	ソブリン金融債務保険契約の不履行	支払不履行	受入国政府がソブリン金融債務を支払わないこと	保険期間は 15～20 年、損失補填率は元利金の 95%程度
	直接投資保険	没収、収用、国有化 (CEN)	プロジェクトに対する投資家の基本的権利を奪うような政府による CEN の行動	期間は 15 年で、投資家の要望に応じて延長することができる。補償率は損失の約 90%
		通貨の不兌換性と送金制限	現地法の影響により、通貨の交換や国外への持ち出しが困難なこと	
		戦争と内乱	受入国における戦争・内乱等による事業運営への支障	
		契約不履行	契約不履行の際に、受入国に対して裁定を執行することができない	
		事業中断	政治的リスクの発生による予想収入の損失	

出所) アラブ投資・輸出信用保証プログラム

4) イスラム開発銀行 (IDB)

加盟国および非加盟国のムスリムコミュニティの社会経済開発を促進することを目的とした金融機関である。科学技術イノベーション (STI) やインフラ部門を含む様々な分野の発展に取り組むプロジェクトや企業に対して融資を行っている。³²下記は、IDB による金融措置について記載している。

図表 2.21 IDB が提供する金融措置

名前	概要	利用規約
トランスフォーーム・ファンド	IsDb は、科学技術イノベーション (STI) の育成を目的として、5 億米ドルのファンドを立ち上げ、イノベーターや企業がその実現に必要な資金を利用できるようにした。	- 技術の商業化を目指す企業は、世銀の資本参加として約 100 万米ドルの資金を得ることができる。 - このファンドを使用するために、一定の基準を満たす必要がある。 - イノベーション-飢餓、健康、教育、クリーンエネルギー、革新的なインフラなどの問題に取り組むための革新的な解決策を提供する - インパクト&アウトリーチ-サービスと製品を通じ社会に大きな変化をもたらす

³²<https://www.isdb.org/>

		- 再現性・新しい環境や他の加盟国でもその事業を再現できる - 持続可能性-当初の資金調達に依存しない長期的な自己成長が可能 - 事業計画と市場機会-ビジネスモデルが明確で、経済的に実現可能
--	--	--

出所) IDB

5) サウジアラビア産業開発基金 (SIDF)

サウジアラビア国内の産業投資機会を促進し、地元産業を発展させることを目的とした組織である。下表では、同国への海外投資を誘致するために SIDF が提供する金融・非金融ソリューションを整理している。³³

図表 2.22 SIDF が提供する金融措置

名称	概要	利用規約
プロジェクトファイナンス	投資家に中長期の貸付枠を提供	- 総融資額は、申請時に評価される様々な要因に依存 - 投資家は SIDF の公式サイトでアカウントを作成し、プロジェクトコスト、所有構造、提案された製品やその他の法的文書などの様々な情報を提供する必要があります
多目的ファイナンス	プロジェクトの運用価値を向上させることを目的とした資本支出に資金を提供	- 与信は、企業のキャッシュフローとバランスシートに基づいて行われる - 融資期間は最長 5 年、6 ヶ月の猶予期間 - 融資額の 30%を前払い
運転資金融資	事業の日常的な運営に必要な資金を短期間で融資する	- 融資までの期間は 4 週間 - 融資の全額を前払い - 企業の予測キャッシュフローが、融資を期限内に返済するのに十分であることが前提

出所) SIDF

以上、本章で纏めたサウジアラビアにおけるエネルギー開発の現状や CCUS 関連動向から、製品ガスの継続的な生産と、同国が掲げる CO₂ 排出削減目標に資する技術・事業開発が求められることが確認できた。

³³ <https://www.sidf.gov.sa/en/Pages/Home.aspx>

3. 事業モデルの詳細

3.1. 本章の調査内容

本章においては、FS 対象ビジネスモデルの紹介を行うほか、構成要素に基づき、今後の現地導入にふさわしい技術仕様や費用情報の検討等、今回の FS 対象としたインフラ設備について概念設計を行った結果を記す。

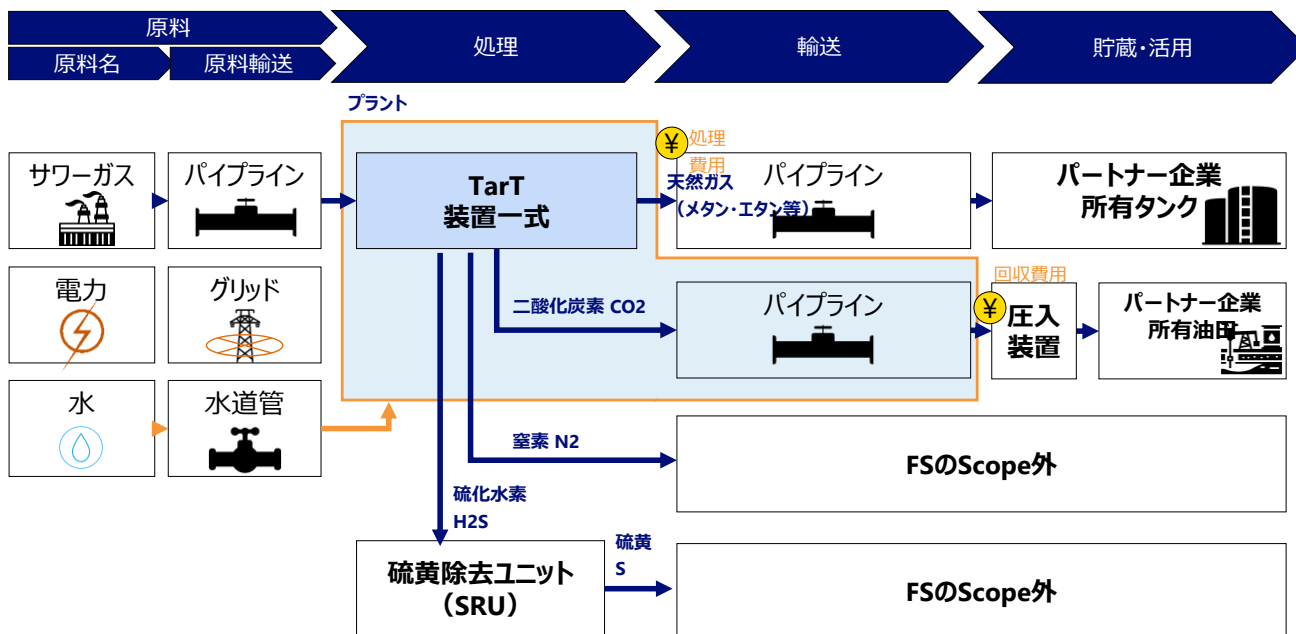
3.2. ビジネスモデルについて

本節においては、現在想定している事業モデル、並びに当該分野において想定される、競合の基礎情報について記載を行う。

3.2.1. ビジネスモデル概要

現在想定している事業モデルは、TarT 装置有するプラント、並びに CO₂ パイプラインの建設&操業管理を中心としたものである。現地石油会社から処理を要するサワーガスやユーティリティ関連の提供を受け、プラント内部ではサワーガスの処理を行った後、製品ガス、製品プロパン、製品ブタン、製品 NGL（製品エタンについては C2 recovery を行うケースのみ）を生産し、サワーガスの処理費用、また液化二酸化炭素の回収費用を収入とするモデルである。なお、サワーガス処理+CCS の検討ではあるものの、現地側との議論を受け、本件における検討スコープは井戸元には干渉せず、CO₂ 回収と輸送までと設定した。

図表 3.1 本事業で想定するビジネスモデル



出所) コンソーシアム作成

3.2.2. サワーガス処理技術をもつ競合分析

本事業が処理対象とするサワーガスは、天然ガス資源のうち、CO₂や硫化水素を多量に含むものである。このガスは、環境や人の健康、利用設備に悪影響を及ぼす毒性の高いガスであるため、燃焼させて利用する前に処理する必要がある。サワーガスを処理する工程は「ガススイートニング」とも呼ばれ、CO₂や硫化水素を分離して、輸送や利用が可能な天然ガス製品にすることである。

サウジアラビアは国内に膨大なサワーガス資源を有しており、主なサワーガス田は以下の4つである：

- キダンガス田
- カランガス田
- アラビヤガス田
- ハスバーガス田

サウジアラビアでは、下記図表の通り、サワーガスを処理する技術を持つ企業による導入事例がいくつかある。

図表 3.2 サウジアラビアにおけるサワーガス処理技術プレイヤー

プラント	サワーガス処理技術事業者	使用技術
クルサニヤガスプラント	テクニップ FMC とベクテル コーポレーション ³⁴	製油所で発生するサワーガスから、アミン溶液を用いて硫化水素と二酸化炭素を除去するものである。 ³⁵
ワシットガスプラント	シェルグローバルソリューションとジェイコブスコンプリモ ^{36 37}	Sulfinol-M 技術を用いて酸性ガス中の硫化水素含有量を高め、硫黄回収ユニットへの希薄酸ガス供給に関連する問題を解消する。MDEA（メチルジエタノールアミン）、スルホラン、水から構成され、プロセス条件に応じて CO ₂ 存在下で硫化水素の選択的・非選択的除去に使用できる。 ³⁸
ファディリガスプラント	テクニカス・レウニダス ³⁹	テールガス処理技術を採用している。クラウドプロセスからのテールガスに含まれる硫黄蒸気と SO ₂ を硫化水素に還元し、吸収液（アミン）で吸収してクラウドプロセスへ戻すことで、高い硫黄回収率を実現する。 ⁴⁰
ハウィヤ&ハ	日揮ホールディングス株式	DDR 膜プロセスを用いて、天然ガスから CO ₂ と硫化水素

³⁴ <https://www.technipfmc.com/en/investors/archives/technip/press-releases/technip-wins-contract-for-a-large-gas-plant-in-saudi-arabia/>

³⁵ <https://www.bechtel.com/services/chemicals/bets/sulfur/sour-gas-treating/>

³⁶ <https://www.oilandgasmiddleeast.com/news/article-7186-sogat-2010>

³⁷ <https://www.jacobs.com/newsroom/press-release/jacobs-receives-contract-sulfur-recovery-unit-saudi-aramco>

³⁸ <https://s02.static-shell.com/content/dam/royaldutchshell/documents/corporate/cost-effective-integrated-gas-plant-design-sulfinol-m.pdf>

³⁹ <https://www.tecnicasreunidas.es/project/fadhili-gas-plant-packcage-1-2/>

⁴⁰ Saudi Aramco HP より

ラドガスプラ ント	会社 ⁴¹	を分離するものである。 ⁴²
--------------	------------------	---------------------------

出所) 公開記事

上記以外にも、サウジアラビアはキダンガス田から産出されるサワーガスの処理について、以前にイギリスの Royal Dutch Shell と共同で行うことを計画していたが、プロジェクト遂行に関わる多額の資金についてサウジアラビアが同意しなかったため、同社を後ろ盾とするこの契約は成立しなかった。⁴³

⁴¹ <https://www.jgc.com/en/projects/009.html>

⁴² <https://www.jgc.com/en/business/tech-innovation/environment/ddr-membrane.html>

⁴³ https://agsiw.org/wp-content/uploads/2018/05/Munro_Enhancing-Gas-Security-_ONLINE.pdf

3.3. 概念設計

3.3.1. TarT 技術に係る事業実施可能性調査概要

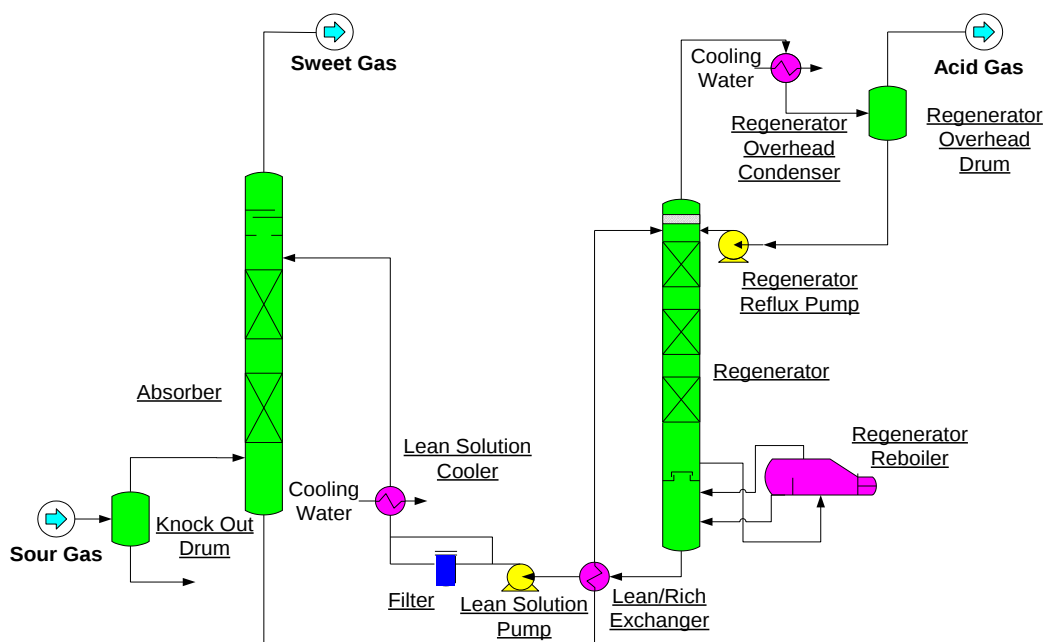
本節では低温蒸留操作により CO₂ 回収の低コスト・効率化を行う、開発段階にある TarT プロセスをサウジアラビアのサワーガス処理および CCS への活用を検討し、特に CO₂ 回収・脱硫・蒸留・CCS を一気通貫で行うことによる事業実施可能性の有無を調査した。

3.3.2. サウジアラビア国内エネルギー業界におけるサワーガス処理の課題

原料ガス中に含まれる CO₂ あるいは硫化水素を除去する技術として様々なプロセスが実用化されているが、経済性の観点からアルカノールアミンを使用した化学吸収法は最も汎用的である。

アミンプロセスは原料ガスとアミン溶液を接触塔内で向流接触させ、サワーガス(CO₂ あるいは硫化水素、または両者)を化学反応でアミン溶液中に吸着させることによって、原料ガスの脱炭酸および脱硫を行う。サワーガスを吸着したアミン溶液は再生塔において外部から熱エネルギーを供給することによってサワーガスを脱着したのち、再度接触塔に供給される。ここで、原料ガス中 CO₂ および硫化水素の濃度が高いほどこれらの分離回収に係るコストや再生塔に供給する熱エネルギーは増加し、経済性が見合わないとして開発に至っていないガス田も多数存在する。

図表 3.3 アルカノールアミンを使用した化学吸収法



出所) コンソーシアム作成

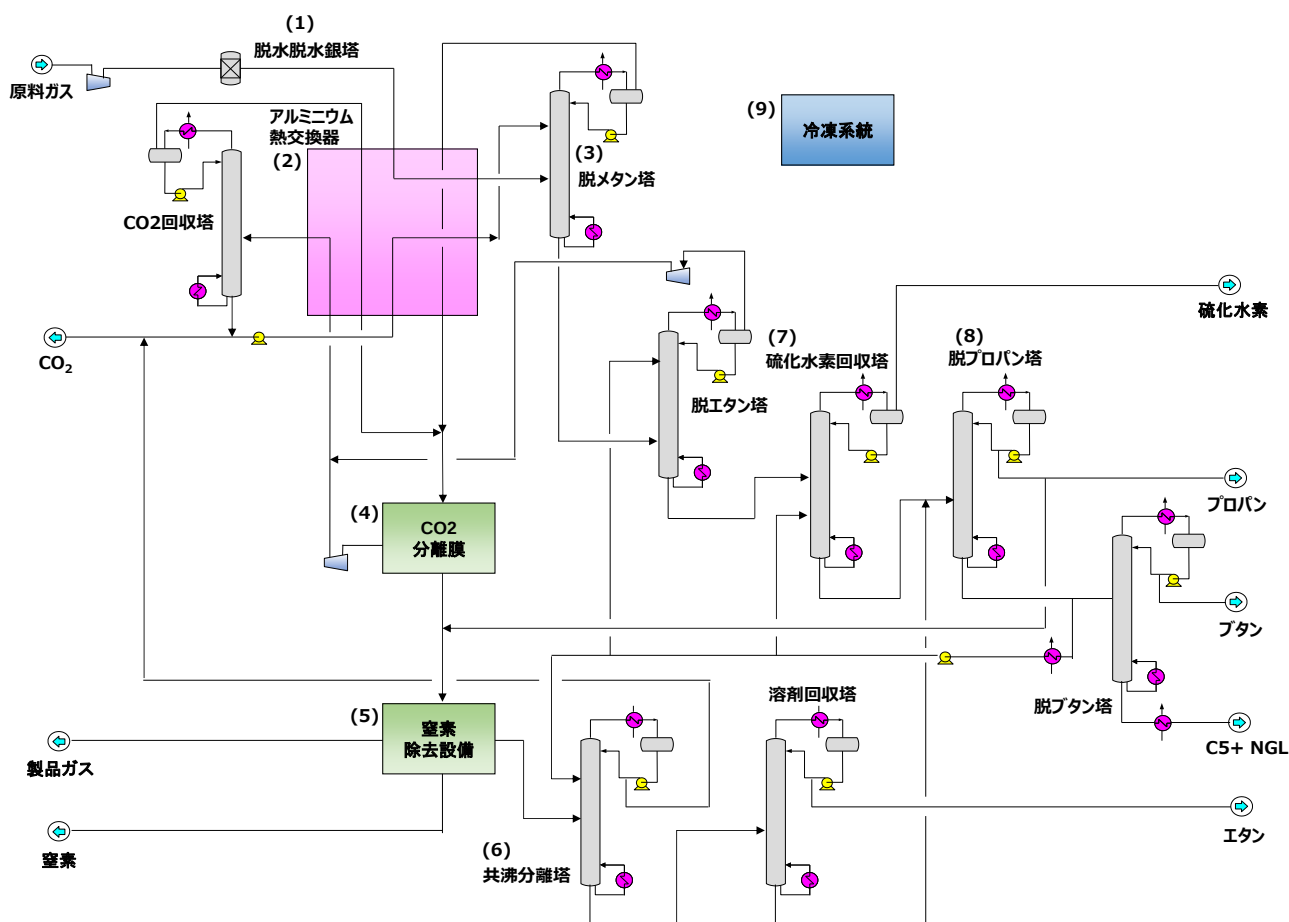
昨今ニーズが高まっている CCS では、分離回収された CO₂ に含まれる硫化水素の毒性および配管材料の腐食が問題となっている。この問題を避けるため、硫化水素を例えば数百 ppmv 以下まで低減することが求められる。他方、CO₂ と硫化水素がともに存在するガスを処理する設備に従来のアミン法を適用すると、接触塔内で CO₂ と硫化水素どちらも吸収液中に溶解し、再生塔上部より分離回収される。従い、前述の硫化水素の上限値によっては、分離回収された CO₂ から含有する硫化水素をさらに分離回収

する工程が必要となる。また CCS は CO_2 を圧縮して高圧の地中貯留層へ送出する。従来法において再生塔はアミンの溶媒劣化を防ぐために低圧で運転されるため、上述の熱エネルギーに加えて多量の圧縮エネルギーを要することも従来法への CCS 適用の課題の一つである。

3.3.3. TarT 技術の概要仕組み、技術的説明

本プロジェクトの設備計画を以下に示す。

図表 3.4 TarT プロセスおよび周辺ユニット全体図



出所) コンソーシアム作成

(1) 原料ガス前処理工程

原料ガス中に含まれる水分は下流の低温サービスにおいて機器内部での凍結あるいは水和物形成による閉塞を起こす。また水銀は熱交換器に使用されるアルミニウムと反応して侵食を起こす。従い、本工程にこれら成分を除去する固式吸着塔を設置する。

(2) 冷却工程

蒸留塔上部の凝縮器には冷凍系統(9)より冷熱が供給される。この冷熱は製品ガスの一部を燃料に駆動する圧縮機により作り出されるため、冷熱量が多いほど製品ガス量が減少し経済

性が悪化する。本工程において高度な冷熱回収により冷凍圧縮機の動力を低減し、経済性の良化を図る。

(3) 脱硫工程

前処理工程を経た原料ガスは脱メタン塔へ供給される。同時に液体状態の CO_2 を脱メタン塔上部より供給することで、脱メタン塔内部において硫化水素の気相から液相への物質移動を促進し、硫化水素が除去された軽質ガスを塔上部より得る。

(4) CO_2 分離工程

脱メタン塔上部より得られる脱硫ガスに含まれる CO_2 を、 CO_2 分離膜を用いて除去する。分離膜透過側の CO_2 に富む低圧ガスは圧縮機で昇圧されたのち CO_2 回収塔に供給され、塔頂よりメタンを回収する。塔底からは高濃度の CO_2 が液体状態で得られる。

(5) 窒素除去工程

CO_2 分離膜出口ガスに原料ガス中に含まれる窒素が濃縮し、発熱量が低下する。このため深冷分離設備を設置し、メタンから窒素を分離する。

(6) エタン回収工程

窒素分離設備にて製品ガスから分離された CO_2 、エタン、プロパンを含むストリームより CO_2 を分離、エタンを回収する。 CO_2 とエタンは共沸化合物を形成するが、溶剤として NGL を共沸分離塔に供給することにより塔頂から高純度の CO_2 が液体状態で得られる。共沸分離塔底部より得られるエタン以上の混合物は溶剤回収塔に供給され、塔頂からエタン製品を得る。

(7) 硫化水素回収工程

硫化水素とプロパンは共沸化合物を形成するため、溶剤として NGL を硫化水素回収塔に供給することにより塔頂からのプロパン流出の低減を図っている。

(8) NGL 分留工程

硫化水素回収工程(7)にて脱硫された NGL は脱プロパン塔および脱ブタン塔にてプロパン留分、ブタン留分、C5+ NGL 留分に分離され、それぞれ製品タンクに送液される。

(9) 冷凍系統

上記工程に必要な冷熱を供給する冷凍系統を設置する。冷媒にはエチレンおよびプロパンを使用する。

(10) 用役系統

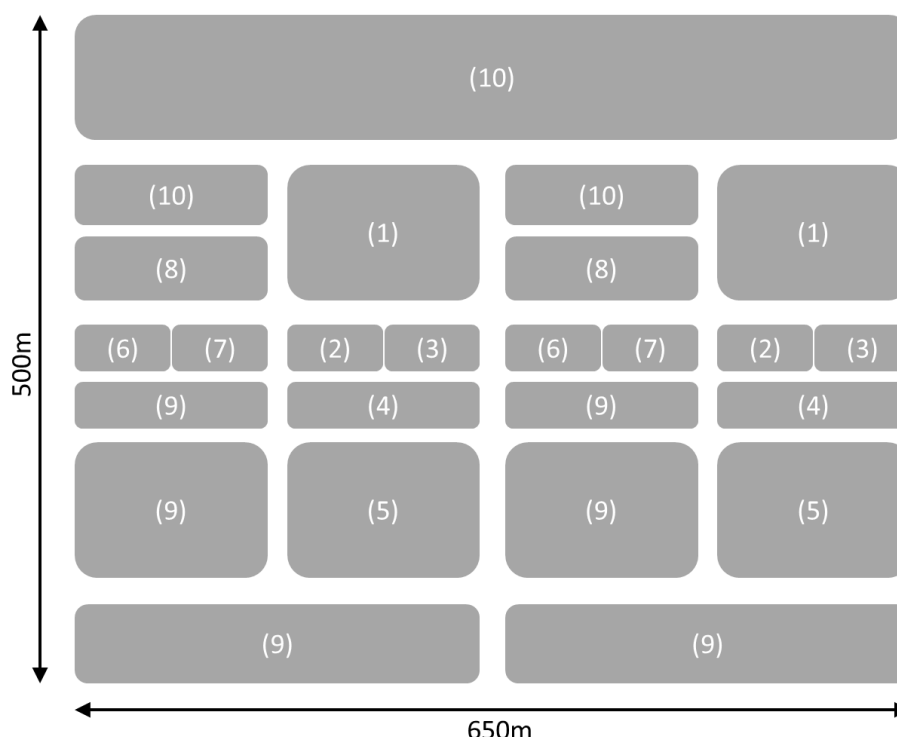
上記系統の運用に必要な以下の用役設備を設置する。

- 随伴水処理系統

- ガスタービン発電
- 排熱回収系統
- 燃料ガス系統
- 空気・窒素供給系統
- フレア系統

設備全体の配置案を以下に示す。配置図案上の番号は上記工程(1)~(10)を指す。尚、工程(1)~(9)および(10)の一部系統は機器サイズの観点から 2 系列に分割している。

図表 3.5 配置図案



3.3.4. TarT 技術の従来課題・従来技術に対する特徴

TarT 技術では、従来の化学吸収法による脱硫の代わりに低温蒸留操作を利用する。一連の蒸留塔により原料サワーガスを各種製品に分離精製する過程で、CO₂を高純度かつ液体状態で回収することが可能となる。また地中貯留層の圧力は 10MPa 以上と高圧であり、一般に CO₂が液体状態であると規定圧力までの昇圧に係る動力が気体状態で得られる場合よりも少なくて済む。上記の点は CCS 適用を検討する際に設備投資およびエネルギーの観点から利点がある。

反対に課題点としては、低温蒸留操作のために冷熱を供給する冷凍系統の圧縮機の動力が大きくなってしまう点が挙げられる。当該圧縮機には製品ガスの一部が燃料ガスとして供給されるため、正味の製品ガス量が減少する。TarT 技術は商用実績のない先行技術であり、商業化に向けて継続して技術開発を進めていく。

図表 3.6 TarT 技術とアミン法

	TarT 技術	アミン法
利点	- 高純度の CO₂ を得られる。 - 深冷分離工程上流での脱水により、CO₂ の脱水工程が不要。 - CCS 適用時には昇圧に係る動力がアミン法に比較して小さい。 - 高濃度サワーガスの場合でも設備設計への影響度が小さい。	- 汎用的で実績多数。
課題点	- 先行技術であり現在は開発段階にある。 - 冷凍系統ガスタービン圧縮機用の燃料ガス消費量が大きく、正味の製品ガス量が減少する。	- 高濃度サワーガスへの適用はアミン循環量が過大となり、不適。 - CCS 適用時には分離回収した CO₂ から硫化水素を更に分離する必要がある。 - CO₂ がほぼ大気圧のガスで昇圧に係るエネルギーが大きい。

出所) コンソーシアム作成

3.3.5. 法令等許認可・簡易環境社会配慮手続き等導入条件の洗い出し

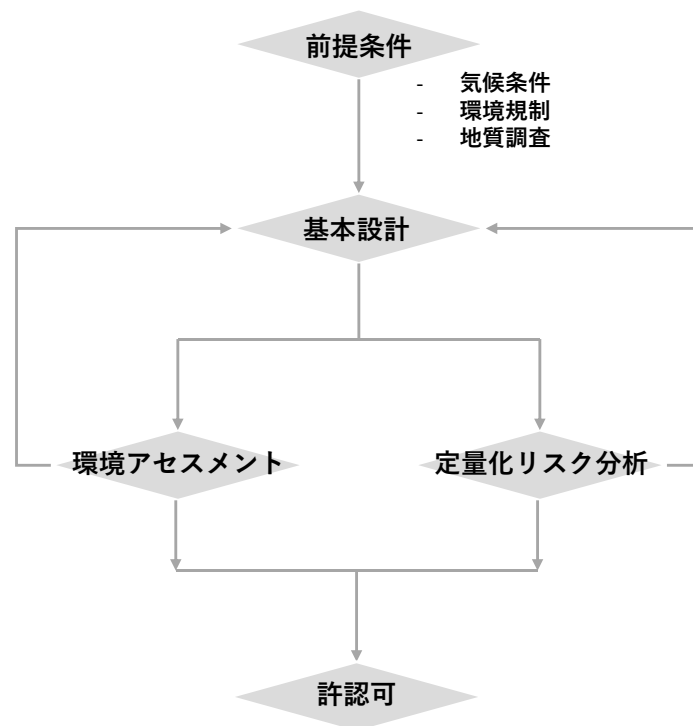
本項では本事業の対象となる TarT 技術を適用した設備の建設および運営にあたって必要と想定される条件ならびに許認可等について過去類似プロジェクトより類推し整理する。

3.3.5.1. 建設に向けた許認可フロー

まずは今回のフィージビリティ検討の結果を踏まえて、開発対象鉱区と建設地候補を決定する。その上で、設備設計を行う上で必要となる種々の前提条件の整理を行う。この条件は基本設計条件書の形で図書として整理され、該当建設地における原料ガス条件、製品仕様、用役供給条件、気象条件、環境規制値、適用する規格、土質条件等が含まれる。グラスルーツでのプラント新設で該当データをオーナーが保有しない場合には、新たに地質調査を行い、設計土質条件を整理する作業が必要となる。

実際のプラント建設を行うに当たっては、該当する当局への環境申請及び許認可が必要であり、オーナーが環境申請を行うに当たって必要となる書類の準備が必要である。これは、系統図やレイアウト図を含むプラントの仕様を纏めた基本設計レベルでの図面であり、図面に基づいた環境アセスメントや定量化リスク分析等の検討も含まれる。この基本設計作業で 8~12 ヶ月程度の期間が通常必要となる。

図表 3.7 建設に向けたフロー概略



出所) コンソーシアム作成

3.3.5.2. 排出ガス規制

上述図表 3.7 に示すように、本事業の建設にあたってはサウジアラビア国政府等の定める環境規制を満たすことを環境アセスメントにより評価し、そのレポート(EIA : Environmental Impact Assessment)を官庁に提出して許認可を得ることが必要となる。環境規制の一例として、気象環境最高会議(PME : the Presidency of Meteorology and Environment)およびジュベイル・ヤンブー王立委員会(RC : Royal Commission for Jubail and Yanbu)の定める大気汚染物質とその基準値をまとめる。設計に際しては、例えばフレアスタック、ガスタービン等からの排ガスが当該規制に抵触しないよう考慮する。同時に、排ガスの性状をモニタリングするシステムの設置も必要となる。

図表 3.8 大気汚染物質とその基準値

大気汚染物質	平均期間	PME		RC	
		許容値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	超過許 容回数	許容値 (ppm)	超過許 容回数
二酸化硫黄	1 時間	730	2 回/月	730	2 回/月
	24 時間	365	1 回/年	365	1 回/年
	1 年間	80	N/A	80	N/A
硫化水素	1 時間	200	1 回/年	200	1 回/年
	24 時間	40	1 回/年	40	1 回/年

大気汚染物質	平均期間	PME		RC	
		許容値 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	超過許 容回数	許容値 (ppm)	超過許 容回数
二酸化窒素	1 時間	660	2 回/年	660	2 回/年
	1 年間	100	N/A	100	N/A
オゾン	1 時間	295	2 回/月	235	2 回/月
PM 10.0	24 時間	340	1 回/年	150	N/A
	1 年間	80	N/A	50	N/A
PM 2.5	24 時間	N/A	N/A	65	N/A
	1 年間	N/A	N/A	15	N/A
一酸化炭素	1 時間	40,000	2 回/月	40,000	2 回/月
	8 時間	10,000	2 回/月	10,000	2 回/月
ベンゼン	1 年間	N/A	N/A	5.0	N/A
トルエン	30 分間	N/A	N/A	1,000	N/A
	1 週間	N/A	N/A	260	N/A
キシレン	24 時間	N/A	N/A	4,800	N/A
アンモニア	1 時間	N/A	N/A	1,800	N/A
硫化炭素	30 分間	N/A	N/A	20	N/A
	1 週間	N/A	N/A	100	N/A

出所) Presidency for Meteorology and the Environment, Document No. 1409-01、
Royal Commission Environmental Regulations, Royal Commission for Jubail and Yanbu

3.3.6. ケーススタディ

3.3.6.1. ケース分けの背景および概要

本項ではケーススタディとして後述する 3 ケースについて物質収支ならびにプラント費用の算出結果を報告する。検討の目的は、原料ガス組成変動の設備への影響度の感度解析、および経済性の観点からの現状の設備構成の検討にある。前者にはベースケースと高 CO_2 /硫化水素濃度ケースとの比較、後者にはベースケースと C2 Rejection ケースとの比較が対応する。

3.3.6.2. ベースケース

図表 3.4 に示す全体図はベースケースのものである。現地パートナー企業との協議結果に従って原料ガス中のエタン留分は製品ガスから回収されて製品の 1 つとして払い出される。

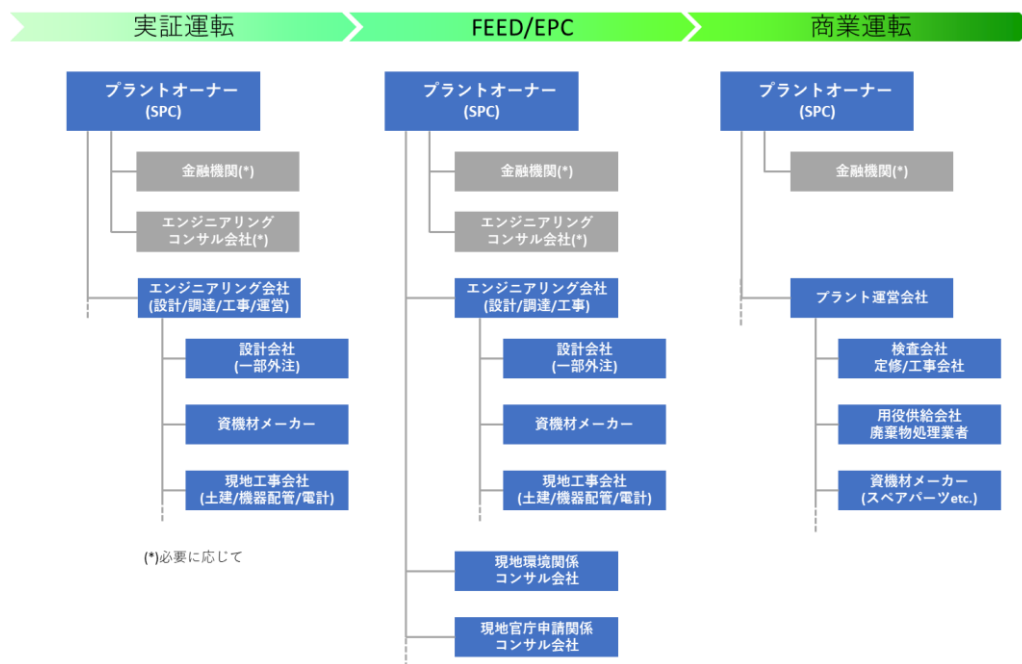
3.3.6.3. 高濃度 CO_2 /硫化水素ケース

原料ガス中に含まれる CO_2 および硫化水素の濃度が高いケース(以下、サワーケース)を想定する。図表 3.4 に示す TarT プロセス全体図から設備構成に変更はないが、 CO_2 および硫化水素の比率が増加し

3.3.7. 本事業で想定される事業運営体制、担い手

図表 3.10 に本事業で想定される事業運営体制を例示する。プラントオーナーとしては事業会社を母体とする特定目的会社が想定される。実証運転および FEED/EPC ステージで設計から工事までを請け負うエンジニアリング会社としては、中東での経験が豊富な企業が望ましい。

図表 3.10 想定される事業運営体制

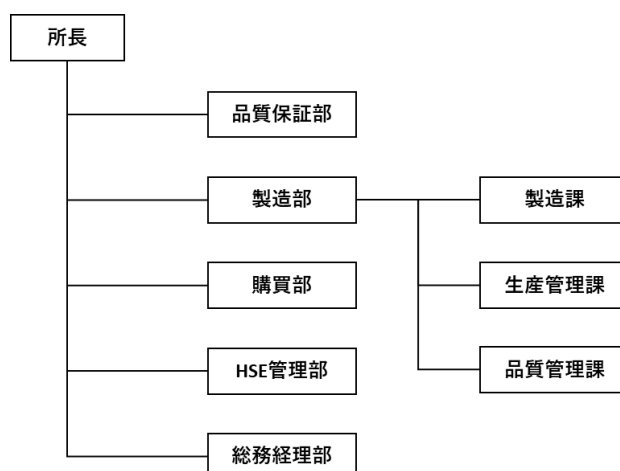


出所) コンソーシアム作成

図表 3.11 には商業運転におけるプラント運営を担う会社の組織図案を示す。所長を代表として各部が従属、製造課を除く日勤は15名以上が望ましい。プラントの運転を担当する製造課は1シフト5名、8時間勤務3交代制を想定すると4シフト計20名が必要とされる。プラント運営会社には自社での操業の経験ある大手企業がなお望ましい。

なお、技術確証段階では、技術特許保有者及び開発者である米8Rivers社および東洋エンジニアリング社にて進め、その後の段階に関しては、技術確証の結果に鑑みて主体者も含めて検討・対応進めていく予定である。

図表 3.11 プラント運営会社の組織図案



出所) コンソーシアム作成

3.3.8. 事業化までのスケジュールの検討

3.3.8.1. 本事業のプラント全体の建設工程/スケジュール案

商業スケールプラント建設工程/スケジュールは下記の4つのステップで行われると想定する。但し、技術確証段階やプラントオーナーの投資判断と許認可取得では、オーナー側の意向が強く反映される。

(1) 技術確証段階

TarT 技術は先行技術であるので、まずラボ試験、必要に応じて実証プラントでの試験を通じて技術的な実証と成熟度向上を行うステップが商業スケールプラント建設の実施可否検討段階の前に必要になると考えられる。この技術確証のステージで3、4年程度が見込まれる。次ステップとしては、技術の根幹である気液平衡部分の実証を目的としてラボ試験が最大で1年は必要となる。ラボ試験結果次第でベンチスケール、パイロットスケールでの実証プラント要否については再度検討し、実フィールド提供可否も含めてオーナー側との討議事項となる。予算に応じて実証規模と検証の対象とするスコープが調整される。

(2) 基本設計及び FEED

ラボ試験と実証プラントでの試験を踏まえて技術的な確証と成熟度向上が得られた時点が、商業スケールプラント建設の実施可否検討段階のスタートラインとなる。ここからは従来型技術採用の各種大型プラント建設のステップと同様になるが、商業スケールプラントの基本設計及び FEED(Front End Engineering Design)を実施する。また、その基本設計を踏まえた CAPEX 積算も行う。

(3) プラントオーナーの投資判断と建設許認可取得

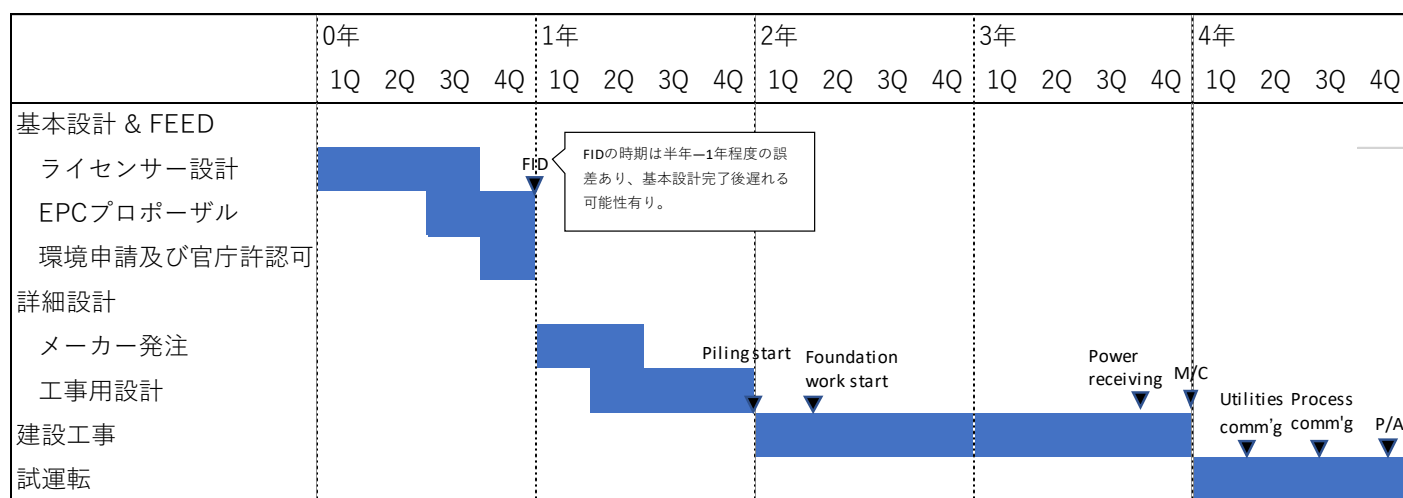
基本設計を踏まえた CAPEX 積算結果に基づき、オーナー側は改めて経済性計算を行って最終投資判断(Final Investment Decision)を行うと共に、建設許認可の取得も行う。加えて、EPC(詳細設計/資機材調達/現地工事)コントラクターの選定を行う。EPC コントラクターは競争入札での選定が多く、この場合は更に1年程度の選定期間が追加で必要となる。一方で、TarT 技術の場合は先行技術であ

り、基本設計を実施したエンジニアリング会社が競争入札を経ずに EPC コントラクターとして選定される可能性が高く、この場合は従来型案件よりこの選定期間が不要となる。

(4) 詳細設計及び建設工事(EPC)

オーナー側の投資判断、許認可取得、及び EPC コントラクター選定が完了すると、実際の商業スケールプラント建設段階に入る。その EPC 段階が完了するとオーナーにプラントが引き渡されてプラント試運転ステージ(3~6 ヶ月)を経て商業運転開始になる。

図表 3.12 本事業の建設工程/スケジュール案



出所) コンソーシアム作成

3.3.8.2. 実証プラントの設計～建設～運営～上記本格展開にむけたスケジュール案

前述の通り TarT 技術は先行技術であって、商業化にむけてはラボスケールあるいは実証プラントでの試験等を積み上げることにより技術成熟度を高めなければならない。以下に技術開発に係る工程およびスケジュール案を示す。尚、本スケジュール案は本報告書のために作成された暫定案であり変更の可能性がある。どのスケジュール案で技術開発を進めていくかは、開発に係るコストと許容できるスケジュールを鑑みながらオーナー側と協議して決定していく。

4. 事業モデルの実施可能性

4.1. 本章の調査内容

本パートでは主にプラント全体としての経済性検討結果について記述する。

経済性検討では、まずプラント全体像より、各設備の費用（Capex）および運営費（Opex）を算出し、その情報を基に見込み損益計算書並びにキャッシュフロー計算書の作成を行った。また、ビジネスモデルにおいては、事業主体への投資株主から見た想定収益指標として、エクイティ IRR（内部収益率）の一定値を目標値として設定し、同数値を超えるようにするためのサワーガスの処理単価を想定した上で、CO₂の想定単価および想定するケース（上述ベースケース、サワーケース、C2 Rejection ケース）に変化があった場合にどのようにサワーガスの処理単価が変化するか等の感度分析を実施することにより、現実的にどのような条件下で経済性が成立するのかの検討も行った。

加えて市場環境の変化等によって、将来的に本プラント運営に影響を与えうるポジティブな要素・ネガティブな要素についても調査した（定量化し経済性検証の数値として反映できない部分については、定性的な情報のみにとどめている）。

また、プラントの経済性検討に付随した資金調達プランに加え、想定 TarT 技術を活用した CO₂ 回収のビジネスモデルにより、どの程度 CO₂ 排出量を抑制できるのかの試算を行ったため、その結果についても記述する。

4.2. 経済性・事業実施可能性試算

4.2.1. 資金計画および資金調達条件

上記の経済性分析にあたっては、以下のファイナンス条件を想定した。概要は以下のとおりである。

図表 4.1 ファイナンス関連の設定条件

項目	設定条件
減価償却率（定率法）	25%
法人税率	20%
自己資本比率	30%
融資比率	70%
JBIC 分	60%
市中銀行分	40%
金利	
JBIC 分	4.0%
市中銀行分	4.5%
Blended	4.2%
手数料	
アレンジメントフィー	0.5%
アップフロントフィー	1.0%

項目	設定条件
コミットメントフィー	1.0%

出所) コンソーシアム作成

4.2.2. 経済性の検討(FS)・感度分析

本ビジネスモデルに関連する設備の導入に際し、設備の導入実績が豊富な東洋エンジニアリング社、および米 8Rivers 社協力の下、基本設計及びコスト等の算定を実施した。経済性の検討に当たっては、事業規模・コスト・収入等の算出を実施した。

経済性検討は、章節 3.2.1 において整理したビジネスモデルに従い、見込み損益計算書並びにキャッシュフロー計算書のドラフト（想定される売上及び費用項目等の枠を入力したもの）を作成した上で、検証を進めた。

経済性検討の起算点はプラント建設のマイナス 5 年時点とし、プラント建設後 20 年後までを想定し試算した。なお、建設後 20 年まで事業運営や維持管理を行い、21 年目の期初において現地パートナー企業に所有権を移転する BOOT (Build-own-operate-transfer) 形式を想定している。

見込み損益計算書の項目構成としては、営業収入、営業費用、営業外費用（支払利息）、税引前当期純利益、租税公課（法人税）、税引後当期純利益である。営業費用は大きく「プラント設備費」と「プラント運営費」に分かれる。各費用の詳細項目については以下に記載する。

● 見込み損益計算書の売上項目

本検討における見込み損益計算書の売上項目の構成は、TarT 設備を活用したサワーガス処理によって得られる製品ガス量に応じた処理収入、CO₂ 回収・輸送作業による収入の他、製品エタン（C2）精製収入、製品プロパン（C3）精製収入、製品ブタン（C4）精製収入、製品 NGL 精製収入による売上で構成されている。

サワーガス処理収入、CO₂ 回収・輸送収入に関しては、具体的なサウジアラビアにおけるサワーガス処理価格や CO₂ 価格の市場情報が乏しいため、コンソーシアム側において TarT 設備の年間処理能力（回収能力）×稼働率による年間処理量を想定した上で、事業全体の内部収益率としての目標エクイティ IRR を満たすようなサワーガス処理単価を逆算することとした。

その他の C2 精製収入、C3 精製収入、C4 精製収入、製品 NGL 精製収入については、年間の生産量を年間生産能力×稼働率と設定した上で、売却率、および取得可能な公開情報から収集したエタン、プロパン等それぞれの製品価格単価を乗ずることで年間の製品精製収入の想定を行った。これら製品精製収入の試算結果は以下表の通り：

図表 4.2 ケース別の製品収入試算結果

年間収入（米ドル/年）\ ケース	ベースケース	サワーケース	C2 Rejection ケース
製品エタン（C2）	約 27,000,000	約 24,000,000	0
製品プロパン（C3）	約 17,000,000	約 11,500,000	約 17,000,000

年間収入（米ドル/年）\ケース	ベースケース	サワーケース	C2 Rejection ケース
製品ボタン（C4）	約 16,000,000	約 14,000,000	約 16,000,000
製品 NGL	約 26,000,000	約 23,000,000	約 26,000,000

出所）コンソーシアム作成

なお、事業期間全体（25 年）におけるこれら収入並びに後述する費用については、インフレ率を 2.7% と想定した上で、計算を行った。

● プラント設備費の詳細

プラント設備の主な構成、設備費については第 3.3 節において記載した TarT 設備一式に加え、CO₂ パイプライン、純水化設備を想定した上で計算を行っている。また、各設備の減価償却については、サウジアラビアにおいて定められる定率法で処理しており、特に、機械設備、製造施設および製造設備（ハードウェアおよびソフトウェア（コンピュータプログラム））等に係る 25%を適用している。⁴⁴

なお、CO₂ パイプラインについては炭素鋼製を想定し、距離設定については現地パートナー企業との議論の結果、平地 10km 程度とした。また、純水化設備については RO（逆浸透膜）を用い、年間必要純水量 1,460 m³/年を製造するための設備を想定している。

● プラント運営費の詳細

プラント運営費の主な構成は、TarT 設備一式、CO₂ パイプライン、純水化設備それぞれの維持管理費（人件費等）である。TarT 設備に関しては一定数のオペレーターに人件費単価と就業時間・日数を乗じて人件費を算出し、それにメンテナンス費用（CAPEX の 1%）と用益費用を加味して計算を行った。CO₂ パイプラインと純粋設備の運営費は、それぞれの CAPEX の 2%をメンテナンス費用と想定している。

営業外費用に関しては、利息支払い期間を 15 年とし、返済に応じて金利が減少することで、16 年目以降は金利支払いがなくなることを想定している。

年間の営業利益に関しては、営業年以降営業赤字となる期間については、租税公課が適用されない想定である。例えば、ベースケースにおいては 1 年目から 3 年目まで営業赤字となるため、租税公課は 4 年目以降より適用となる。なお、現地の法人税率は 20%としている。

次に、事業成立要件として、目標エクイティ IRR を満たすサワーガス処理単価を求めるにあたり、営業キャッシュフローは税引き後利益に減価償却費を加えて算出した。ベースケースのほか、サワーケース、C2 Rejection ケースと分けた上で、一定の CO₂ 売却価格を想定して感度分析を行ったところ、それぞれのケースにおいて目標エクイティ IRR に到達するサワーガス処理単価は、以下の通りとなった。

⁴⁴https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Reports/02/2022/54723c5ce09776ac/202202_r2.pdf

図表 4.3 ハードルレートを満たすサワーガス処理単価の試算結果（単位：米ドル/mmbtu）

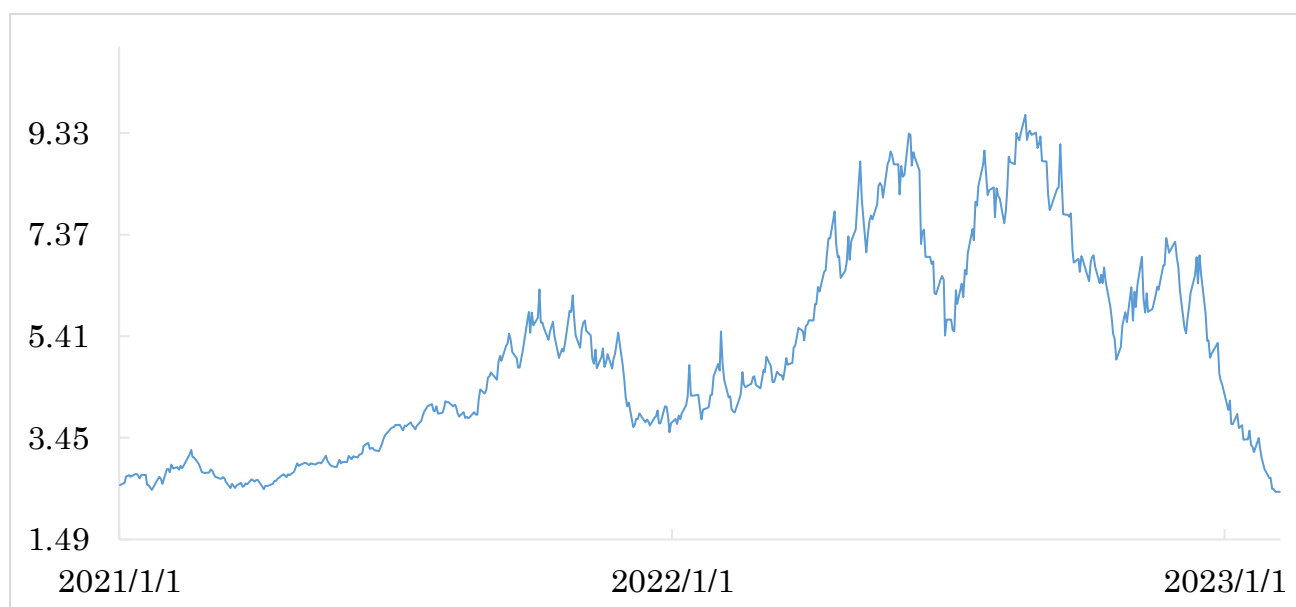
CO ₂ 想定価格 (米ドル/t-CO ₂)\ケース	ベースケース	サワーケース	C2 Rejection ケース
0～60	2.8～3.4	3.8～4.8	2.5～2.9

出所) コンソーシアム作成

本分析の結果、目標エクイティ IRR を満たすサワーガス処理単価は、およそ 2.5～4.8 米ドル/mmbtu 程度となることが判明した。

また、2022 年度の天然ガスの市場価格は季節変動大きい、およそ 3.5～9 米ドル/mmbtu の幅で推移している。本 FS で算出されたサワーガスの処理単価が、上述の天然ガス市場価格の水準以下に収まる場合、競争力を持つ提案が可能と考えられる。

図表 4.4 2018-2022 年度における天然ガス市場価格の推移
(ヘンリーハブ天然ガス価格、ドル/mmbtu)



出所) ブルームバーグ公開情報よりコンソーシアム作成

4.2.3. CO₂ 回収量の試算

従来法によりサワーガスの精製処理を行う場合には CO₂ が個別に回収されることはなく、別途 CO₂ 回収設備を追加導入しない限りは大気放出されているのが実態であるが、本 TarT 技術においては精製プロセス内の過程で CO₂ を液化回収するため、本調査においては同回収部分を排出削減量として評価する。

TarT 設備によって回収される CO₂ 量については、対象となるサワーガスの性状次第ではあるが、今回検討に使用したガス性状に基づき計算した結果では、一時間当たり約 80t・CO₂/h との計算結果となり、稼働一日当たり 24 時間運転、年間 91% (333 日) の設備稼働率を仮定すると、年間約 64 万 t・CO₂ が回収されると試算結果となった。

5. 現地報告

5.1. 本章の調査内容

本章では、現地企業との本事業についての議論の経緯や、今後の方針について記載する。

5.2. これまでの経緯

本調査を進めるにあたり、現地パートナー企業担当者と定期ワークショップを実施。以下にその概要を整理する。

図表 5.1 現地側との議論概要

第一回	・当該調査事業 Kickoff ・ Study 前提条件の確認（対象所掌、原料ガス性状・量、処理要求他） ・ Study 工程・スケジュール確認
第二回	・ 技術課題事項を反映した技術資料の共有、課題点整理 ・ 事業モデル素案の提示
第三回	・ 素案事業モデルの共有と課題点協議
第四回	・ Study 用設計に合わせた Plot 案の共有・協議、より高濃度の酸性ガスを対象とした処理シミュレーションの感度分析結果の共有 ・ 事業経済性検証結果の報告・協議
第五回	・ Study 最終結果の共有、事業推進における技術・商務双方の課題点整理 ・ 当調査事業後の対応事項、方針協議

出所）コンソーシアム作成

5.3. 今後の方針

以上の検討結果を受けた今後のスケジュールと実施体制については、下記の通りである。

1) 今後のスケジュール

今後のスケジュールについては、現地パートナー企業及び東洋エンジニアリング、8Rivers 社との継続検討の結果次第ではあるが、概ね以下の通り想定する。尚、本スケジュール案は本報告書のために作成された暫定案であり変更の可能性がある。また本スケジュールの実現のためにはこれまでの検討過程で挙げられた課題の解決が前提条件となる：

図表 5.2 今後のスケジュール

実施時期	実施内容
2023 年度	技術課題点の洗い出し、現地パートナー企業との協議継続 TarT 根幹技術に関する Laboratory test の開始
2024 年度	Laboratory test の結果分析、実証プラントの概略設計検討
2025-2026 年度	実証プラント建設

2027 年度	実証運転、運転状況分析
2028 年度	実証運転結果に基づく商業プラント設計・事業スキーム検討
2029 年度以降	必要許認可の取得・商業プラント建設・運営

出所) コンソーシアム作成

(上記スケジュール実現に向けて解決すべき課題)

- 処理対象の酸性ガスの性状・客先の希望する処理仕様・プラント設置場所の環境条件次第では、特に冷却工程での設備費用、消費燃料がかさむ可能性あり、対象とするガス田の選別・検討が必要。また酸性ガス中の窒素濃度も設備費用および消費燃料に影響があり、例えば酸性ガス中の窒素濃度が数%以下であれば必備費用として 20%、消費燃料として 14%削減が可能。
- 従来の酸性ガスの処理と一般的な排ガスからの CO₂ 回収技術の組み合わせは過去事例が無く、TarT プロセスとの競争力対比が同一条件で出来ず、事業者並びに Feed 供給社目線では技術評価難度が高い。
- 回収された液化 CO₂ について長距離輸送を挟まずに地下貯留出来るような立地環境が望ましく、プロジェクトサイト選定は要留意。
- 本来は酸性ガス処理、CO₂ 回収・輸送は個別事業として独立したものであるが、一貫通貫の複合事業とする場合、ガス市況に合わせたガス処理タリフの変動 index 等が加味される契約となった場合、CO₂ 回収・輸送のタリフも変動させられなければ事業収益性への影響が甚大となる可能性もあり、事業構造・構成はサービス享受者となる現地パートナー企業との協議が必須。

2) 事業実施体制の検討

事業実施体制については、本格展開のタイミングで市況や技術動向を見ながら改めて検討することとなるが、現時点では以下の通り想定している：

- 事業実施・運営（投資）主体：三井物産（精製設備オペレーター等の参画可能性もあり）
- 酸性ガス処理設備、CO₂ 運搬設備の設計・機器調達・建設：東洋エンジニアリング並びに地場建設業者
- 技術ライセンサー：8 Rivers 社
- 原料酸性ガス供給社：現地パートナー企業
- 精製・CO₂ 回収/輸送サービス享受者：現地パートナー企業
- ファイナンス：融資/出資比率は 7：3 で想定。融資部分は JBIC 等の ECA、日本・サウジアラビア両国の市中銀行を視野に検討

なお、現地パートナー企業との調整の結果、Laboratory test の実施や実証プラントを建設する場合の体制については、スコープや条件、予算等を踏まえて具体的に検討することとなる。また、同テスト・実証プラント建設・運転段階のファイナンスについても、その内容や座組等に従い、実施の段階で活用可能な資金調達手段を検討することとする。

(以 上)

(様式2)

二次利用未承諾リスト

サウジアラビア国・酸性ガス処理技術活用型二酸化炭素回収/貯蔵事業実施可能性調査事業報告書

令和4年度質の高いエネルギーインフラの海外展開に向けた事業実施可能性調査事業委託費（我が国企業によるインフラ海外展開促進調査）

三井物産株式会社、株式会社野村総合研究所

頁	図表番号	タイトル
2	1. 1	TarT プロセスを活用した事業イメージについて
13	2. 12	CCS の仕組みの概要
27	3. 1	本事業で想定するビジネスモデル
30	3. 3	アルカノールアミンを使用した化学吸収法
31	3. 4	TarT プロセスおよび周辺ユニット全体図
33	3. 5	配置図案
34	3. 6	TarT 技術とアミン法
35	3. 7	建設に向けたフロー概略
35	3. 8	大気汚染物質とその基準値
37	3. 9	TarT プロセスおよび周辺ユニット全体図（C2 Rejection ケース）
38	3. 10	想定される事業運営体制
39	3. 11	プラント運営会社の組織図案
40	3. 12	本事業の建設工程/スケジュール案
41	4. 1	ファイナンス関連の設定条件
42	4. 2	ケース別の製品収入試算結果
44	4. 3	ハードルレートを満たすサワーガス処理単価の試算結果 （単位：米ドル/mmbtu）
44	4. 4	2018-2022 年度における天然ガス市場価格の推移 （ヘンリーハブ天然ガス価格、ドル/mmbtu）
45	5. 1	現地側との議論概要
45	5. 2	今後のスケジュール