

# 化石燃料利用の脱炭素化動向 ～安定供給と排出削減を両立できるのか？～

---

一般財団法人日本エネルギー経済研究所

化石エネルギー・国際協力ユニット  
CCUSグループマネージャー 小林良和

- ✓ 温室効果ガス（GHG）排出削減強化に向けた国際的な機運が急速に高まる中、従来見られなかった新たな脱炭素化に向けた要請が見られるようになってきている。
- ✓ そうした厳しい事業環境の下で、内外のエネルギー産業では多様な脱炭素化策の導入が検討されている。
- ✓ 長寿命のインフラを要するエネルギー供給においては、短期間でのエネルギー転換は容易ではない。移行期における需給ひっ迫を回避するためにも既存の供給チェーンに対する適切な投資の継続が必要である。
- ✓ 既存の供給体制の維持と排出削減を同時に進めていくには、二酸化炭素回収利用貯留技術（CCUS）や水素・アンモニアの活用などの化石燃料の脱炭素化策について今後さらに検討・導入を進める必要がある。

# 強まる化石燃料利用への脱炭素化圧力

- 化石燃料の利用に対しては、これまで見られなかった方面から脱炭素化に向けた要請がなされるようになってきている。

各国政府

**Net Zero**

米国、EU、中国、日本、英国、カナダ等が相次いでネットゼロ目標を表明。中期目標の前倒し・精緻化も進む。

国際機関

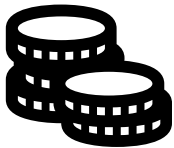


IEAがグローバルなネットゼロに関する報告書発表。バックキャスト的な観点から新規の化石燃料供給投資は不要と言及

化石燃料の利用



機関投資家



2021年5月、ExxonMobilでは、脱炭素化事業の拡大を主張する機関投資家が推薦する取締役3名が選任される。2021年5月、Chevronの株主総会は、自社販売製品からの排出量（Scope-3）を大幅に削減する株主からの提案を採択

司法機関



2021年5月、蘭ハーグ地裁がShellに対し2030年までにGHG排出を2019年比で45%削減するよう命じる判決。

# 海外石油・ガス産業の排出削減目標

- 欧州系企業を中心にScope-3\*までを視野に入れた積極的な対応が見られる。
  - 米国系企業でもバイデン政権の政策転換や機関投資家による要請等により、対応内容が深化する可能性
- 但し、世界の生産量の過半を占める国営石油会社は、一部を除きこうした目標を掲げておらず、今後の動向に注目

## 主な石油・ガス企業による排出削減目標

企業名	国	削減目標
ExxonMobil	米	2025年までに上流部門におけるGHG排出量を30%削減。
Chevron	米	2028年までに石油生産部門での排出係数(gCO <sub>2</sub> /boe)を2016年比40%削減。同じく天然ガス生産部門での排出係数(gCO <sub>2</sub> /boe)を2016年比26%削減
ConocoPhillips	米	2030年までにScope 1+2でGHG排出を2016年比35%～45%削減。2050年までに同じくScope 1+2でGHGの排出ネットゼロ
Occidental	米	2040年までにScope 1+2でGHG排出ネットゼロ。2050年までにScope 1+2+3でGHG排出ネットゼロ
Shell	英蘭	2050年までに、Scope 1+2+3でネットゼロ
bp	英	2050年までに自社操業活動でネットゼロ。2050年までに自社販売製品の炭素集約度を半減。
Total	仏	2050年までに欧州内でScope 1+2+3でネットゼロ。世界全体でScope 1+2でネットゼロ。世界全体のScope 1+2+3では、2050年までに炭素集約度 (gCO <sub>2</sub> /MJ) を60%削減
ENI	伊	2040年までにScope 1+2でネットゼロ。2050年までに、Scope 1+2+3でネットゼロ
Equinor	川ウエ	2050年までに、Scope 1+2+3でネットゼロ
Repsol	西	2050年までに、ネットゼロ (Scope 1+2+3を95%をカバー)
Petronas	馬	2050年までに、Scope 1+2でネットゼロ

\*Scope-1: 自社施設からの排出、Scope-2: 自社が外部から調達する電力・熱源からの排出、Scope-3: 自社製品の最終消費段階での排出  
出所: 各社発表、報道資料などを基に日本エネルギー経済研究所調べ

- Shell、bp、ENI等は先駆的な排出削減目標の設定と事業の構造転換を進める。
  - 具体的な脱炭素化に向けた対応策の内容は各社ほぼ共通
- ネットゼロが目標として掲げられて以降、対応策の内容・ウェイトが変化
  1. 燃料転換：石炭から高効率ガス火力への転換
  2. 事業ポートフォリオの見直し：石油生産量の段階的引き下げ
  3. 操業部門での排出削減：フレア燃焼量の削減・停止、メタン排出の削減
  4. 需要家サイドでの省エネ：省エネコンサルティング（デジタル化、AI導入）
  5. 再生可能エネルギー：太陽光、風力発電の拡大（会社によっては小売事業も拡大）
  6. 水素：CCUSを組み合わせたブルー水素と再エネ由来のグリーン水素の双方を推進
  7. EV事業：既存のSS網を活用したEV給電ポイントの拡充
  8. バイオ燃料：バイオ液体燃料、バイオガスの研究開発・開発企業の買収
  9. CCUS：合併または単体でのCCSプロジェクトを検討・実施
  10. 自然を基盤とした解決策（Nature based solutions）：植林事業など

# 国内エネルギー企業の排出削減

- 多くの国内エネルギー企業もネットゼロを始めとする削減目標を掲げる。
  - 再エネ事業の拡大を計画している点は各社共通。石油産業はCCS/CCUS・水素・省エネ、都市ガス産業は「カーボンニュートラルガス」の導入・燃料転換、電力産業は再エネ・原子力・水素・アンモニアの活用等を進める。

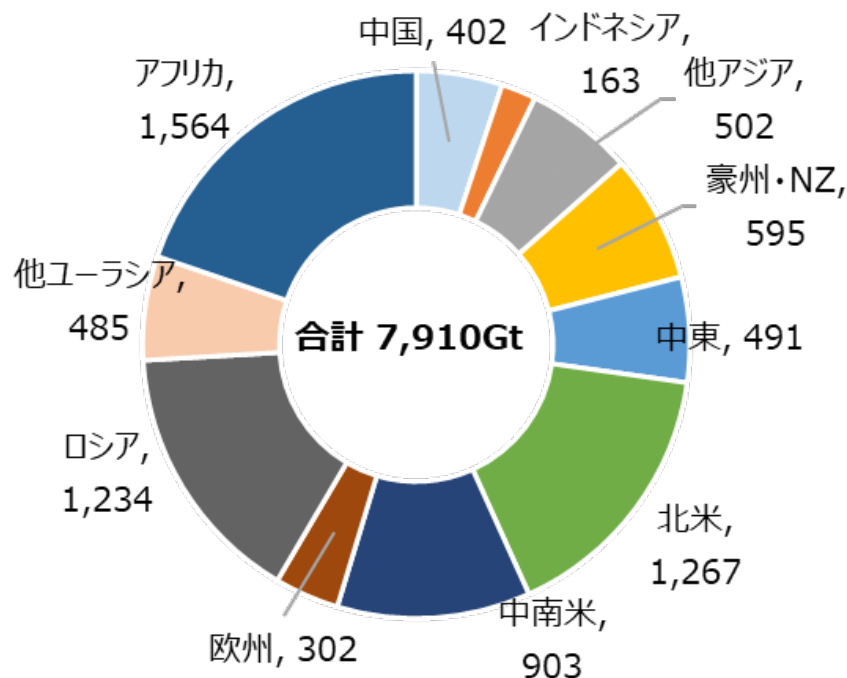
## 主な国内エネルギー企業による排出削減ビジョン・目標

企業名	計画の公表	主な対応項目
東京ガス	2019年11月、グループ経営ビジョン「Compass2030」において、2030年以降のCO2ネット・ゼロ目標を公表	再エネ、カーボンニュートラルガス、ガス転換による削減、CCS、オフセット
ENEOS	2020年5月、2040年グループ長期ビジョンにて自社のCO2排出分について2040年度までのカーボンニュートラル目標を設定	再エネ、CO2フリー水素、CCS・CCUS、製油所・精錬所の省エネ、EVを中心としたモビリティ事業
JERA	2020年10月、「JERAゼロエミッション2050」を発表	2030年までに自社の非効率石炭火力を廃止。化石燃料とアンモニアや水素の混焼。洋上風力を中心とした再エネ。LNG火力の高効率化
大阪ガス	2021年1月、2050年のカーボンニュートラル実現を目指す「カーボンニュートラルビジョン」を策定	再エネや水素を利用した都市ガス原料の脱炭素化、再エネ導入を軸とした電源の脱炭素化、ガスの利用拡大による燃料転換
INPEX	2021年1月、「今後の事業展開～2050 ネットゼロカーボン社会に向けて～」を発表	CCUS 推進、フレア削減、水素事業、再エネ、カーボンリサイクルの推進と新分野事業開拓、森林保全によるCO2 吸収
関西電力	2021年2月、事業活動に伴うCO2排出を2050年までに全体としてゼロとする「ゼロカーボンビジョン2050」を策定	再エネ、原子力エネルギーの安全最優先を前提とした最大限活用、火力のゼロカーボン化、国際的なゼロカーボン化への貢献、ゼロカーボン水素の製造・輸送・供給、発電用燃料としての使用
東北電力	2021年3月、カーボンニュートラルの実現に向けた「東北電力グループ“カーボンニュートラルチャレンジ2050”」を取りまとめ	火力電源の脱炭素化、再エネ・原子力発電の最大限活用、スマート社会実現事業
石油資源開発	2021年5月、2050年カーボンニュートラル社会の実現に向けた「JAPEX2050」を策定	CCSを核としたネットゼロ達成へ貢献する分野の事業化。再エネ案件への参画拡大。石炭や重油からガス・LNGへの燃料転換
出光興産	2021年1月、2050年に自社の事業活動からのCO2排出を実質的にゼロにするカーボンニュートラル目標を設定と報道	製油所などからの排出量削減策を軸に、回収や再利用を通じた排出の相殺や再生可能エネルギー事業の強化など脱炭素関連の取り組みを拡大

- ネットゼロを実現するにはCCSは不可欠な技術
  - バイオマス・DACとの組み合わせによるネガティブエミッション技術が重要な役割を果たすことが期待されている。
- 貯留能力は今後の排出量を貯留するのに十分な規模が存在
- 今後は技術的課題（貯留の持続可能性等）や経済性に関わる問題（コスト低減）に取り組みつつ、実際の導入促進のための制度の検討・整備等も必要

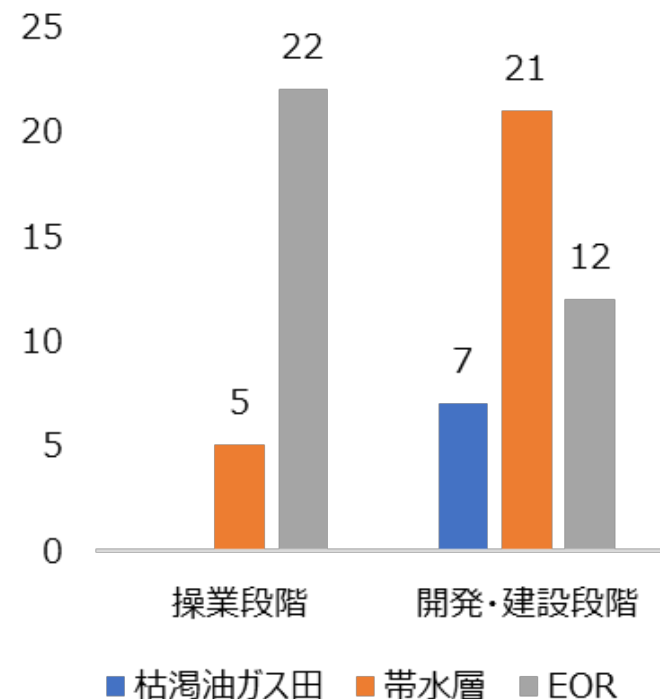
## 世界のCCS貯留ポテンシャル

(出所) Kearns *et al.* (2017). "Developing a consistent database for regional geologic CO<sub>2</sub> storage capacity worldwide." *Energy Procedia*, 114. p.4704のLower estimateの値を基に作成



- 現在操業中のCCSは油田の増進回収法 (EOR)との併用が主流。今後はEOR以外の案件も増加する見込み
- 各国で本格的な導入に向けた動きが進む。
  - 英国：2021年3月、産業の脱炭素化に向けた政策発表。水素・CCUSに1.7億ポンド配分
  - ノルウェー：セメント工場、ごみ焼却場等からの排出CO<sub>2</sub>を回収して海底下に貯留するNorthern Lightsプロジェクトが、2024年に商用運転開始予定
  - 豪州：2021年3月に連邦政府が5,000万ドルのCCUS開発基金を設置
  - UAE：ADNOCが、2030年までに500万トンのCCS能力を整備
  - カタール：QPが、LNG液化装置にCCSを組み込み2027年までに700万トンのCCS能力を整備
  - サウジアラビア：国営サウジアラムコ傘下のSABICがブルーアンモニアの生産・輸出を検討
  - 米国：ExxonMobilがHouston Ship Channel構想発表。2030年までに5,000万トン、2040年までに1億トンのCCS導入を計画

### 世界のCCSプロジェクト件数\*



\*実証・パイロット段階のものは含まず。  
(出所) Global CCS Institute



# カーボンリサイクルの技術開発

- CCSに加えて有力な脱炭素化手段となりうるカーボンリサイクル
  - 多様な開発段階の技術が存在
  - 特に水素を必要とするものは、さらなるコストの低減が必要

## 主な国内のカーボンリサイクル技術開発の動向

企業	製品	概要	段階
中国電力・鹿島・デンカ・ランデス	コンクリート	火力発電所等からの排ガス中のCO <sub>2</sub> をコンクリートに吸収させるとともに火力発電所から排出される石炭灰を有効利用してコンクリート製造時のCO <sub>2</sub> 排出量を実質ゼロ以下にする	商用化
旭化成	ポリカーボネート	CO <sub>2</sub> を原料としたポリカーボネート樹脂を製造	実用化
INPEX・日立造船	合成メタン	天然ガス生産時に付随して生産されるCO <sub>2</sub> と、水の電気分解によって製造された水素を合成することによりメタンを製造	実証段階
中国電力・広島大学	合成脂質	二種類の微生物がもつ発酵機能を活用し、水素と石炭火力発電所から排出されるCO <sub>2</sub> を用いて、化粧品や健康食品などの原料となる付加価値の高い脂質を生産	実証試験
JERA	合成メタン	米国における廉価な再生可能エネルギーを活用して製造する水素と、既存の火力発電所や製油所等から回収するCO <sub>2</sub> を反応させ、CO <sub>2</sub> フリーメタンガスを製造	事業可能性調査
東芝エネルギーシステムズ・東芝・東洋エンジニアリング・出光興産・全日本空輸・日本CCS調査	合成燃料	産業設備の排出ガスなどから分離回収したCO <sub>2</sub> を原料として、再生可能エネルギーと水素を用いた燃料を製造	ビジネスモデル検討
JFEスチール	合成メタン	高炉から発生するCO <sub>2</sub> を回収し、水素と結合させてメタンを製造。メタンは製鉄用の燃料として再利用	要素技術開発・部分実証
出光興産・宇部興産・日揮HD、日揮他	鉱物化	カルシウムなどを多く含む産業廃棄物を活用し、火力発電所や工場から排出されるCO <sub>2</sub> を資源へ転換	技術開発

(出所) 各社プレスリリースなどを基に作成

- 欧米では植物油や獣脂等から石油製品を生産するバイオ製油所への既存製油所の転換進む。
  - 米国では計画分を合わせると精製能力は約30万B/Dにまで拡大
- 持続可能な航空用燃料（SAF）の製造
  - 欧州ではジェット燃料に対する混合規制導入の動きもあり、新たな脱炭素化燃料としての需要ポテンシャルが存在
- 合成燃料
  - 回収したCO<sub>2</sub>を用いた液体燃料の製造は、カーボンリサイクル技術として注目集まる
- 自家消費水素のグリーン水素転換
  - Shell、Repsol、Galpは、化石燃料由来の精製プロセス用水素を、製油所内に再生電力による水電解装置を設置することでグリーン水素へ転換
- リサイクル化学
  - EUリサイクル目標の実現に向けた対応

## 国際航空運送協会（IATA） によるSAFの3要件

- (1) Sustainability : 天然資源量を減衰させることなく経済的・社会的・環境目的・生態系の維持の観点から継続的かつ繰り返し調達可能
- (2) Alternative feedstock: 在来型の化石燃料以外の原料による非在来型・先進的燃料
- (3) Fuel : 商用航空機において利用可能な技術的・認証面での要請を満たしている。

# ガス事業における脱炭素化

- EUは、2050年までにガス供給の3分の2をバイオガス・バイオメタン、合成メタン、水素等の代替ガスへ転換し、残りの3分の1はCCSを導入することを検討中
  - バイオガス・メタン：農業廃棄物などから製造。今後の代替ガスの主力になる見込み
  - 合成メタン：独・伊などで実証試験進む
  - 水素：英国等で20%混合の実証進むも品質面や安全性等の面で課題が存在
- LNGの脱炭素化に向けた動きも進む。
  - 「カーボンニュートラルLNG」の取引が活発化。今後は、排出量・オフセット量の数量把握・監視・報告・認証について正確かつ透明性の高い情報の確保が重要
  - 最近では液化施設におけるCCS導入も検討されている。

## 欧州における合成メタン製造案件

企業	国	CO2供給源	運転開始
Audi	ドイツ	廃棄物由来のバイオガス	2013年1月
Uniper	ドイツ	バイオエタノールプラント由来のCO2	2019年3月
INGRID Project	イタリア	DAC（直接大気回収）	2019年4月
Regio Energie Solothurn	スイス	下水処理場	2019年5月
Jupiter 1000	フランス	産業施設から排出されるCO2	2021年予定
Carmeuse, Engie, John Cockerill	ベルギー	石灰製造時に排出されるCO2	2025年予定

## LNG供給における排出削減オプション

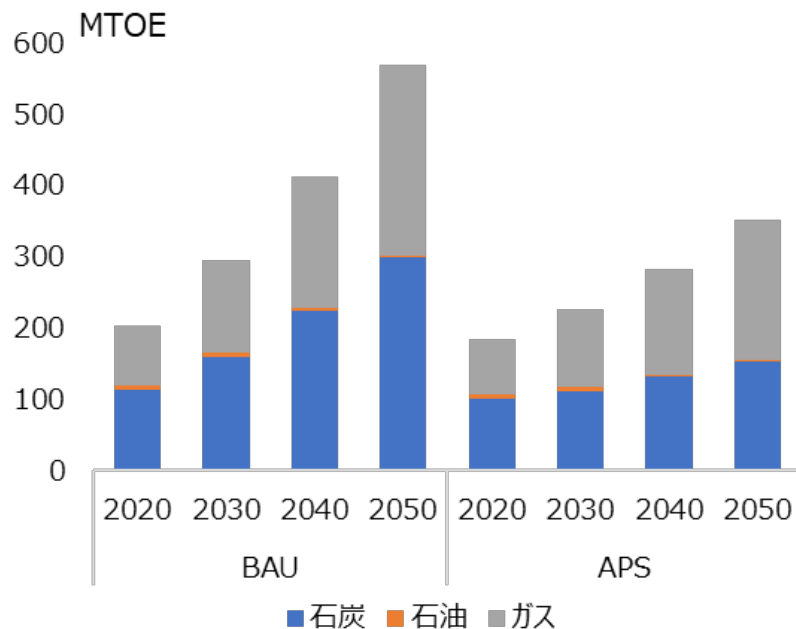
- LNG液化プラントにおける再エネの導入
- LNG液化プラント・消費地点におけるCCSの導入
- 輸送船・貯蔵施設におけるBOGの回収率改善
- クレジットによるオフセット
- 合成メタンの製造・活用

- 新たなGHG排出問題として浮上するメタン排出
- 国際機関・組織での検討が進む
  - 国際機関・石油産業：国連が主導し、欧州系企業を中心とするエネルギー企業が参画する国際組織（Oil & Gas Methane Partnership）が2020年11月、メタン排出に関する報告枠組である「OGMP2.0」を公表。現在、加盟企業からのデータ収集と、報告テンプレート、報告ガイドラインなどの技術的検討が進められている。
  - 国際標準化機構：ISO/TC67/SC9 WG10- GHG emissions at LNG plant（LNG設備でのGHG排出）において、LNGに関するGHG全体を対象とした標準確立が検討されている。
  - 欧州：2020年10月、「EU Methane Strategy」を発表。2021年内の法制化に向けた検討が続けられている。
  - 米国でも新規規制導入の動きがみられる。
- 今後は上記の議論への参加と現実的な低・脱炭素化を進めるため、下記の影響を考慮したルール形成が必要
  - 投資、ファイナンス、LNG貿易への影響、測定・報告・検証・対策コストへの影響
  - エネルギーセキュリティ（安定供給・供給源の多様化）への影響
  - 新興国における天然ガス転換による排出削減機会への影響

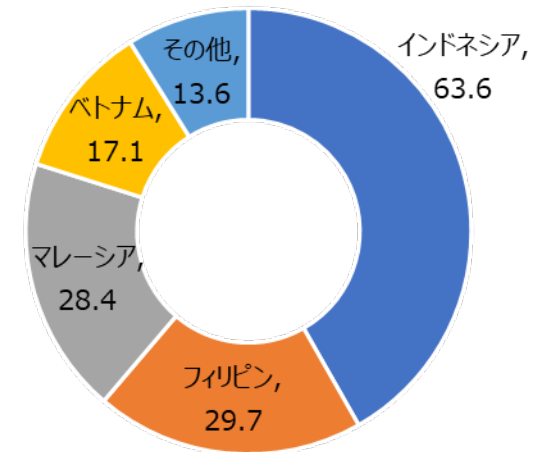
# 燃料アンモニアによる脱炭素化

- 既存火力発電の脱炭素化策として注目集める燃料アンモニア
  - 国内でも2030年に年間300万トン、2050年には年間3,000万トンの需要を想定
  - 潜在的な供給源は各国に存在。需要の拡大に合わせた早期の供給網の整備が課題
- 海外にも燃料アンモニアの需要ポテンシャルは多く存在
  - 東南アジアでは今後も火力発電用の化石燃料需要が拡大。火力発電の脱炭素化手段の一つとして燃料アンモニアの活用が有効

今後のASEAN地域における発電用化石燃料需要



2050年時点でのASEAN地域における発電用石炭需要見通し（APSケース）



BAU : Business as usual; APS: Alternative Policy Scenario (BAUシナリオに加えて追加的な省エネ政策などが取られるシナリオ)

出所 : ERIA, Energy Outlook and Energy Saving Potential in East Asia 2020 12

# 日本企業の水素供給チェーン構築の取り組み

- 日本企業は世界に先駆けて多様な水素の供給チェーンの構築を進めてきている。
  - アンモニアについては多様な供給源や将来的には多様な原料からの生産・調達が重要

関係国	関係日本企業	取り組み内容
サウジアラビア	三菱商事、日揮グローバル、三菱重工エンジニアリング、三菱造船、宇部興産、日本IILギ-経済研究所	サウジアラビアで製造したブルーアンモニアを日本に供給する実証試験を実施
ブルネイ	千代田化工、三菱商事、三井物産、日本郵船	ブルネイで生産した水素を有機ハイドライドをキャリアとして国内まで輸送し、発電用燃料として供給する実証試験を実施
豪州	三菱重工業	南豪州の再生電力によるグリーン水素・アンモニア事業開発を行う事業会社へ出資、同社の事業検討に参画
マレーシア	JERA	現地Petronasとの間でアンモニア・水素燃料のサプライチェーン構築を含む脱炭素分野等での協業に関する覚書を締結
豪州	川崎重工業、電源開発、岩谷産業、丸紅、住友商事	褐炭をガス化して水素を製造し、液化水素輸送船で2021年中に日本へ輸送し、技術実証を実施予定
国内	伊藤忠商事、伊藤忠IIL、宇部興産、上野トランステック	日本国内における船用アンモニア燃料の供給及び供給拠点の整備に関する共同開発に合意
インドネシア	三菱商事、三菱ガス化学	現地バンドン工科大学、PAU社との間でクリーン燃料アンモニア生産の為にCCUSに関する共同調査に合意
米国	大阪ガス、三菱重工	米国のアンモニア製造技術開発を行うStarfire EnergyにChevron、AP Ventures、New Energy Technologiesと共に出資
豪州	JERA	ブルー及びグリーンアンモニアのバリューチェーンの構築に関しYara Internationalとの協業を検討
シンガポール	伊藤忠商事、伊藤忠IIL、商船三井	VOPAK、Pavilion Energy、Totalとの間で、シンガポールにおける船用アンモニア燃料供給に関する共同開発に合意
豪州	IHI、丸紅	現地Woodsideと豪州・タスマニアにおいて、水力資源によるグリーンアンモニア製造・輸出の事業性を検討・調査する覚書締結
国内	IHI、出光興産	山口県の既設設備を活用したアンモニアサプライチェーン構築の共同検討
ロシア	伊藤忠商事、東洋エンジニアリング、JOGMEC	現地イルクーツク石油とともに東シベリアと日本間のブルーアンモニアバリューチェーン構築に向けた詳細検討を実施
UAE	INPEX、JERA、JOGMEC	現地ADNOCと共にアブダビ首長国におけるクリーン・アンモニア生産事業の事業化可能性に関する共同調査契約を締結

# 脱炭素化と安定供給をめぐる投資のジレンマ

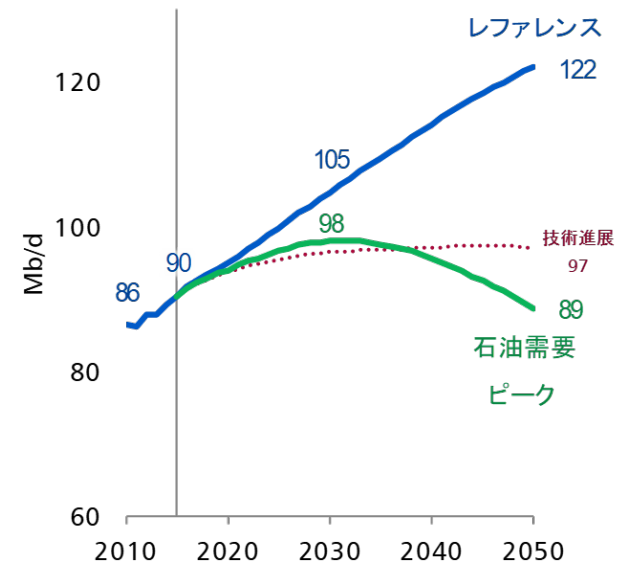
- 2021年の世界の上流投資額は、2010～19年平均の63%にとどまる。
  - 需要が回復し、投資の必要性が高まる一方、国際石油会社はグリーン関連分野への投資配分を引き上げ
- 移行期の存在とその間のエネルギー供給問題
  - インフラを要するエネルギー供給では、一足飛びの短期間でのエネルギー転換は困難
  - 「化石燃料需要ピークの到来」は「化石燃料時代の終焉」と同義ではない。
- 将来の需給ひっ迫を回避するために適切な投資は引き続き必要

## 主な欧米石油・ガス各社の今後の資本支出計画

会社	投資先の構成
Chevron	2021年は3億ドル以上をエネルギー転換に投資（会社全体の投資額は140億ドル）
Shell	2020年から2025年以降にかけて上流部門への配分を42%から25～30%に引き下げ、ガス・化学部門への配分も43%から30～40%に引き下げ、再エネ・販売部門への配分を16%から35～40%へ引き上げ
bp	低炭素電力・エネルギー部門（ガス含む）と消費者・モビリティ部門（潤滑油・水素含む）の2部門への投資比率を2019年の15%から2030年に40%に引き上げ
TotalEnergies	LNGに対する配分比率は2030年まで全体の投資額の15～20%を維持。再エネ・電力の比率は過去5年間平均の10%から2021～2025年は15%、2026～2030年は20%に引き上げ
ENI	2021～2024年平均で65%が上流部門。20%がグリーン・販売部門、15%が再エネ・電力
Repsol	2021～2025年の平均で44%が上流部門、25%が下流部門（バイオ燃料含む）、22%が低炭素発電、8%がその他
Equinor	2030年までに再エネ・低炭素分野への投資比率を2020年の4%から50%以上に引き上げ

出所：各社事業計画書などより筆者作成

## 当研究所による石油需要ピークシナリオ分析



出所：IEEJ Outlook 2017 14

- 基本原則としての**3E+S**

- 日本がこれまで過去の経験から学んできた、何度も立ち返って確認すべきエネルギーミックスの根本的な原則

- 化石燃料の有するレジリエンス価値

- 国際的に統合された市場、豊富な埋蔵量、既存インフラの存在、石油・石炭は長期間の備蓄が可能
- 特有のレジリエンス価値を有する化石燃料というオプションを放棄することの危険性

- 化石燃料は「悪」なのか？

- 気候変動対策の本質はGHGの排出削減であり、化石燃料そのものが「悪」なのではない。化石燃料を脱炭素化して利用する方策への検討を深めていく必要がある。

- 化石燃料利用の脱炭素化に関する新たなアイデアや技術が登場する可能性

- 今の燃料アンモニアへの関心の高まりを予測できていたか？
- 脱炭素化しながら化石燃料を利用するという技術・方法をさらに検討していくべき



- 化石燃料利用の脱炭素化を進めていく上で・・・
- 政府・政府関連機関
  - コンセプトとしての化石燃料利用の脱炭素化の位置づけの明確化と国際世論形成
  - 企業が化石燃料利用の脱炭素化を進める上でのインセンティブの付与・インフラ整備への支援
  - ブルー水素・アンモニア・CCUSを国際的に展開する際のルール形成への関与
  - 現実的な脱炭素化への国際協力（対インド太平洋地域、対資源国他）
- 企業
  - 脱炭素化と既存のエネルギー安定供給を維持するというミッションの両立
  - 既存のインフラを使いながら、脱炭素化を進めていくビジネスモデルの構築
  - 新技術に対する研究開発・コスト低減追求の継続