

2025 テクニカル・アップデート

Powering Japan's Hydrogen Future

日本の未来の水素社会のために

オーストラリア産石炭とCCSの併用メリット

日本の未来の水素社会のために

オーストラリア産石炭とCCSの併用メリット

3002033833

2025年9月

EPRIプロジェクト・マネージャー

J. エストラダ

EPRI

3420 Hillview Avenue, Palo Alto, California 94304-1338 USA 800.313.3774

▪ 650.855.2121 ▪ askepri@epri.com ▪ www.epri.com

保証の免責および責任の制限

この文書は、下記の団体・機関により、ELECTRIC POWER RESEARCH INSTITUTE, INC. (EPRI) が単独もしくは共同で支援する業務の報告としてとりまとめられたものです。EPRIまたはEPRIのメンバー、共同支援者、下記の団体・機関、あるいはそれらの人物・団体・機関の代理人として行動する者は何人たりとも、以下の行為を取るものではありません：

{A}つぎの事項についての明示的または黙示的にかかわらない、あらゆる保証または表明— (I) 本文書で開示された情報、器具・装置、手法、プロセス、または商品性および特定目的への適合性も含む類似の項目の使用について (II) かかる使用がいずれかの当事者の知的財産権を含む私有権を侵害する、またはこれらの権利に抵触するものではないということについて、または (III) 本文書が特定の利用者の状況に適しているということについて。

あるいは {B} 本文書または本文書で開示されている情報、器具・装置、手法、プロセスないし類似の項目の選択もしくは使用に起因する、損害またはその他の責任 (EPRIまたはEPRIの代理人が、かかる損害の可能性について知らされていた場合を含む、結果的損害を含む) について、一切の責任を負うこと。

本文中における商号ないし商標、製造者またはその他による商業製品、プロセスまたはサービスへの言及は、EPRIからのそれらに対する是認・推薦や推奨、支持を構成または示唆するものではありません。

この報告書は、EPRIが作成したものです。

誤解を避けるために言及しておく、電源開発 (J-Power) と独立行政法人 エネルギー・金属鉱物資源機構 (JOGMEC) のいずれも、本報告書の作成には関与しておらず、特定の場所・用地に関する言及はすべて、ライフサイクル・アセスメント (Life Cycle Assessment : LCA) 上の計算方法を策定するためのシュミレーション実証サイトとしてのものです。

お知らせ

EPRIについての詳細をご希望の方は、EPRIお客様支援センター (800.313.3774) までお電話いただくか、askepri@epri.com までEメールでお問い合わせください。

Together...Shaping the Future of Energy® [エネルギーの未来を、皆様と共に…]

© 2025 Electric Power Research Institute (EPRI), Inc. All rights reserved. Electric Power Research Institute, EPRI、および TOGETHER. SHAPING THE FUTURE OF ENERGYは、米国ならびに全世界において、Electric Power Research Institute, Inc.の登録商標です。

謝辞

この報告書は、EPRIが作成したものです。

主な調査員

A. Bean

P. Bobba

G. Booras

D. Dillon

G. Doty

J. Estrada

J. Marasigan

この報告書は、EPRIにより支援された調査を説明するものです。

本出版物は企業文書であり、文献において引用される際は、つぎのように表記されることとする：
Powering Japan's Hydrogen Future: Australia's Coal Advantage with CCS. EPRI, Palo Alto, CA: 2025.
3002033833。

要約

本研究では、日本における、輸入されたオーストラリア産黒炭からの、日本国内の参照用地での高度な二酸化炭素回収を併用した低炭素水素製造についての評価を行う。回収された二酸化炭素は、船舶による海上輸送およびマレーシアにおけるオフショアでの地質学的貯留のために、コンディショニングされる。ここで用いられる手法はデータに基づいたものであり、文書化されたAssumptions Register（仮定の記録）や複数の確立済みリファレンス・デザイン、そして複数の公開データソースに由来している。

この報告書は、米ドルと日本円で併記されたレポートを用いたプラント性能の技術的・経済的な分析と、あらかじめ定められた経時的な概要観測に基づく坑井から水素製造までの温室効果ガス強度のライフサイクル・アセスメント、そして日本の市場および供給についてのレビューを提供している。海上輸送に関しては、石炭の輸出と二酸化炭素の輸送の双方について、ベースラインと将来的な状況を反映させた燃料使用状況でモデリングを行った。実用導入についてのセクションでは、港湾での出荷・荷受け等の設備要件やリードタイムの長い設備についての留意点、そしてロンドン議定書に基づく二酸化炭素の越境輸送枠組の概要が説明されている。

なお、主な変動要因の感度解析は、この報告書の本文中に記されている。

キーワード

CCS

実現可能性

ガス化

水素

日本

海事

概要¹

本研究では、オーストラリアの高品質な黒炭が、二酸化炭素回収・貯留（Carbon Capture and Storage：CCS）と組み合わせられることにより、いかにして日本の野心的な水素社会への移行を下支えし得るかが模索されている。分析では、CCSと組み合わせた石炭からの水素製造は、クリーンで安定性もあり、コスト競争力のある選択肢を提供することで、日本が目標とする水素供給量を達成しつつ、信頼できるエネルギー・パートナーとしてのオーストラリアの役割も強化することが示されている。

このプロセスでは、日本におけるオーストラリア産輸入石炭からの水素製造と、関連する二酸化炭素（CO₂）の92.5%の回収、そして回収された二酸化炭素のマレーシア国内の地質学的貯留用地までの輸送が行われる。このアプローチにより、クリーン燃料向け補助金についての日本のガイドライン要件を満たすカーボン・インテンシティ（炭素強度）で、水素が提供される。なお、重要な点として、このアプローチでは、水素の長距離輸送やアンモニア・クラッキングに付随する追加コストと複雑性が発生することなく、前述のような水素の提供が行えることとなる。

この手法による水素製造コストは、二酸化炭素の回収・輸送・貯留分も含めて、水素1キロあたりUSD \$4未満と試算されている。これにより、この手法は再生可能エネルギーをベースとする水素や、CCSを活用するかたちでの天然ガス改質をはじめとする、昨今注目されている他の水素供給手段と比べて、競争力を持つこととなる。この手法に必要な技術は石炭のガス化、二酸化炭素の回収・輸送とオフショア貯留であり、世界各地で既に実用化されているものであることから、技術リスクは低く抑えられる。その代わりに主な課題となるのが、許認可や、二酸化炭素の越境貯留のためのロンドン議定書に基づく二カ国間での取り決め、そして適時的な実現である。

日本にとって、この事業への期待は非常に大きなものである。日本政府は、つぎのような目標を掲げている：

- 2030年までに年間300万トンの水素供給量達成
- 2040年までに同1,200万トン
- 2050年までに同2,000万トン

上記の目標を達成するためには、複数のサプライチェーンで早期に供給を開始する必要がある。本調査で検討されたスケールでは、12基前後のプラントを持つという建設プログラムならば、日本政府の2030年までの水素供給量目標の実現に足りると思われる。そのため、CCSと組み合わせた石炭の利用は、再生可能水素やアンモニア輸入と並行して、短期間に導入可能なスケラビリティのある選択肢を日本にもたらし、供給元の多様化と単一の技術や手法等への依存性抑止にも貢献できる。

この機会は、オーストラリアにとっても日本と同様に重要なものである。このモデルでは、オーストラリアでもっとも価値のある輸出品目のひとつである石炭が、いかにして変貌を遂げて、国内雇用と域内の脱炭素化の双方を支えるクリーン燃料になれるのかが示されている。この選択肢は、石炭が未来のオーストラリアのネットゼロ社会の一端を担えることを確実なものとするにより、同国の日本との貿易関係を強化しつつ、信頼できる低排出量エネルギーの供給国としての立場も補強するものである。

本調査の結果が最終的に示しているのは、CCSを併用した石炭からの水素製造は、再利用エネルギーと競合するものではないものの、同エネルギーを補完する選択肢のひとつであるという点である。この手法での水素製造は、水素供給量を迅速に、グローバルなベンチマーク幅の中に収まるコストで、なおかつ日本の政策設定のもとで「クリーン」と認められる条件を満たす排出量性能を有しながらスケールアップするための信頼できる道筋をもたらすものである。この事実は、両国の意思決定者にとって、貿易の保証や雇用の創出、重工業産業における排出量削減の加速をもたらす、実践的かつ政治的にも耐性の強い道筋を意味する。

テクニカル・サマリー

はじめに

本研究では、日本における、輸入されたオーストラリア産黒炭からの、高度な二酸化炭素回収を併用した低炭素水素製造の実現可能性についての評価を行う。回収された二酸化炭素は、船舶による海上輸送のためにコンディショニングされ、マレーシアにてオフショア貯蔵されることとなる。シュミレーションにおける参照用地には、工業・産業インフラとグリッドの互換性を有することから、広島県竹原市が選定された。本プロセスの工程構成には、酸素吹きによる噴流層ガス化、サワーシフト反応、酸性ガス除去、そして低圧・低温（Low-Pressure, Low-Temperature：LP/LT）状態での船積みのための複数段階での二酸化炭素圧縮などが含まれる。

主な数値の概要

- 水素の均等化コスト（Levelized Cost of Hydrogen：LCOH）：<USD \$4/kg (606円/kg)
- 二酸化炭素回収率：92.5%
- 炭素強度（Carbon Intensity：CI）：水素1kgあたり <3.4 kg CO₂（日本における補助金対象のしきい値を満たす数値）

技術面・経済面での分析

技術・経済分析のモデリングにおいては、石炭からの水素製造施設について、米NETL Case 5 およびIGCCの参照データを使用した。資本コストは2025年中頃の米ドル水準に引き上げられた後、文書化されているコスト要因に基づいて、日本向けにローカライズされた。運用コストには、石炭の納入、購入電力、水素の高純度化と、二酸化炭素の輸送・貯蔵タリフ（料金）等が含まれている。結果は固定為替レートを使用して、米ドルと日本円で表示されている。

- LCOHはUSD \$4/kg（606円/kg）未満の状態を抑えられ、他の水素供給オプションと比較しても競合力のあるコストである。
- LP/LTでの輸送向けに調整された二酸化炭素圧縮は、補助電源の必要性を軽減する。
- プラントの水素製造量：～2,000トン／日

ライフサイクル・アセスメント

ライフサイクル・アセスメントではGREET+ モデルを使用し、坑井から水素製造までの、石炭採掘から海

上輸送、ガス化、二酸化炭素圧縮、オフショア貯蔵にいたるまでの温室効果ガス排出量を定量化した。また、ここには2025年-2050年の経時的な概要も含まれた。評価対象となった海上輸送の燃料には、重油燃料（Heavy Fuel Oil：HFO）、液化天然ガス（LNG）、グリーン・アンモニアが含まれた。

- 水素製造における炭素強度（Carbon Intensity：CI）は、モデリングを行ったすべてのシナリオにおいて、水素1kgあたりCO₂ 3.4kg未満に収まっている。
- CI値は石炭の海上輸送時の燃料にグリーン・アンモニアを使用した場合にもっとも低くなっており、同燃料の上流工程における排出量がLNGやHFOと比較して大幅に低い点が反映されるかたちとなった。
- ライフサイクル・アセスメントにおいて評価された海上輸送燃料
 - 日本への石炭輸送：硫黄 0.1%の重油燃料（Heavy Fuel Oil：HFO）、液化天然ガス（LNG）、グリーン・アンモニア
 - マレーシアへの二酸化炭素輸送：LNG（ベースライン）およびブルー・アンモニア

市場についての背景分析

日本は2030年までに水素供給3 Mtを目標としており、この目標値は2050年には20Mtにスケーリングされている。補助金の条件としては、CIが水素1kgあたり ≤ 3.4 kg CO₂、製造量では ≥ 1,000 t/年という値を満たしている必要がある。また、コスト目標は2030年までに330円/kg、2050年までに220円/kgが設定されている。CCSを併用した石炭のガス化は、再利用可能エネルギーやアンモニアの輸入と並んで、現実的な選択肢である。

- 2030年の目標値は、スケールおよびキャパシティ共に参照規模のプラント15基で、達成可能と思われる。
- 使用停止となる石炭プラントからの既存インフラも活用できる可能性が有る。
- 電力会社等は、輸入やオンサイトでの電解を含む多様な戦略を検討している。

機会と障壁事項

実用導入は法務やロジスティクス、インフラ面での準備や対応力次第である。二酸化炭素の越境輸送はロンドン議定書に基づき規制されているが、二カ国間合意を結ぶことで実行できる。LP/LT（低圧・低温）の二酸化炭素輸送船は現在開発中であり、現行の船舶デザインは中型船である。マレーシアのCCS関連法制ではオフショア貯蔵が支持されているが、一般国民からの賛同とMRV（測定・削減・検証）の枠組みが重要事項となる。

- 二酸化炭素の輸出入については、二カ国間合意が必要である。
- 造船キャパシティと、船舶の標準化が主な課題となる。
- マレーシアの2025年制定 CCS法では、規制面での支持がもたらされている。
- 耐性の強い支持を構築するためには、一般国民への働きかけと、ステークホルダー・エンゲージメントが必要である。



輸出管理上の規制

EPRI製品へのアクセスおよびその使用は、適用されるすべての米国および外国の輸出関連法規制への完全な遵守を徹底する責任は、

あなた自身およびあなたの会社が負うものであることを明確に理解し、それを要件としたうえで付与されるものです。ここには、これに基づきアクセス権を付与される米国民権も米国永住権も有さない個人については、適用される米国および外国の輸出関連法規制に基づいてアクセスを許可された者であるよう徹底する義務が含まれます。

あなた自身またはあなたの会社がEPRI製品へのアクセスを合法的に取得できるか否か不明瞭な場合、あなたには、あなたの会社の顧問弁護士に相談して当該アクセスが合法であるか否かの判断を仰ぐ義務があることを認めるものとします。EPRIは、特定のEPRI製品に適用される米国輸出分類について、個別の事例ごとに非公式な評価を提供する場合がありますが、あなたとあなたの会社は、この評価が情報提供のみを目的としており、判断材料として拠り所とするためのものではないことを認めます。

米国輸出管理要件に関するあなた自身またはあなたの会社の義務は、あなた自身やあなたの会社がEPRIとエンゲージメントを持っている間だけでなくエンゲージメント終了後にも適用されます。誤解のないよう明確にすると、これらの義務はあなたが退職またはその他の理由であなたの会社を退社した後も継続し、EPRI製品へのアクセスを得た後に保持するいかなる知識も対象となります。

あなたとあなたの会社は、これに基づいた本EPRI製品へのアクセスまたは使用が、適用される米国または外国の輸出

関連法規制に違反する可能性がある場合に、EPRIおよび適切な当局機関に速やかに報告する義務を負うことを理解し、これを認めることとします。

EPRIについて

EPRIは1972年に設立された世界有数の卓越性を誇る、独立した非営利のエネルギー関連調査・開発機関であり、世界各地にオフィスを展開しています。皆様から信頼されているEPRIの専門家陣は、45カ国において450以上の企業とコラボレーションを行っており、世界各地の一般市民の方々が、クリーンで安全かつ信頼性の高い、高額を払うことなくアクセスできる電力を利用できるよう徹底すべく、イノベーションを推し進めています。Together...Shaping the Future of Energy® [エネルギーの未来を、皆様と共に…]

プログラム：

低炭素リソース・イニシアチブ (Low-Carbon Resources Initiative : LCRI)

3002033833

© 2025 Electric Power Research Institute (EPRI), Inc. All rights reserved.

Electric Power Research Institute、EPRI、

および TOGETHER...SHAPING THE FUTURE OF ENERGYは、米国ならびに全世界において、Electric Power Research Institute, Inc.の登録商標です。

EPRI

3420 Hillview Avenue, Palo Alto, California 94304-1338 USA 800.313.3774

▪ 650.855.2121 ▪ askepri@epri.com ▪ www.epri.com