

水素が塗り替えるアフリカの未来

電力・新エネルギーユニット

新エネルギーグループ

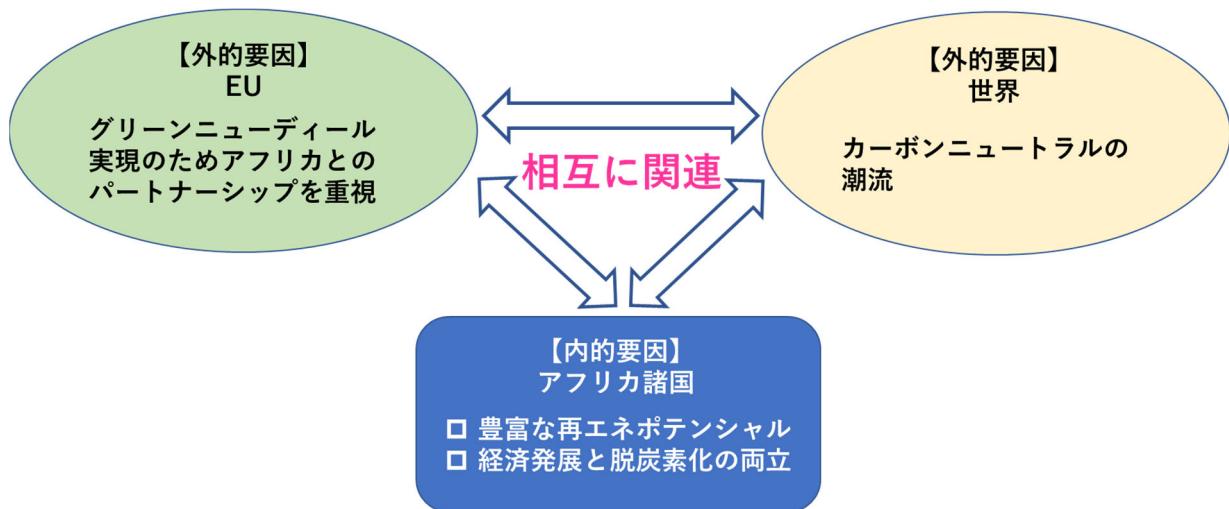
吉田 昌登

はじめに

各国政府が目標に掲げる2050年カーボンニュートラル実現のための切り札として、近年、水素利用への期待が世界的に高まっている。欧州委員会は「グリーン復興計画」を策定し、ポストCOVID-19の欧州経済の復興と同時に、強みを有する気候変動対策技術の市場でも世界をリードしようとしているが、そのなかでも中心的な役割を担うのが水素である。欧州はすでに再生可能エネルギーの普及が大きく進展し、電化の難しい産業・工業分野の脱炭素化に取り組んでいることから、水素導入の機運が高まることは不思議ではない。他方、「アフリカで水素」と聞けば多くの人は耳を疑うのではないだろうか。だが実際、驚くべきことに、アフリカは水素を原動力としてその姿を変容させようとしている。本稿は先ず、アフリカの水素に注目が集まる背景と具体的な取り組みを確認する。そのうえで、アフリカの水素推進国が乗り越えるべき課題と本邦企業へのインプリケーションについて考察する。

1. アフリカの水素に注目が集まる背景 ー水素をドライブする内的・外的要因とはー

「いまアフリカの水素が注目されている」と聞けば、アフリカでの水素の必要性と実現可能性の両方から懐疑的な印象を抱くかもしれない。事実、多くのアフリカ諸国は財政がひっ迫しており、巨額のプロジェクトを進める余裕はない。電力系統や発電設備といった主要なインフラもなく、法制度も整備されていない。先進的な技術もなく、スキルセットを備えた人材も不足するなど無いものだらけである。しかし実際、水素を推進するうえでカギとなる内的・外的要因が相互に、かつ有機的に絡み合うことで、アフリカの水素産業は合理的な理由の下で進展している(図1-1)。

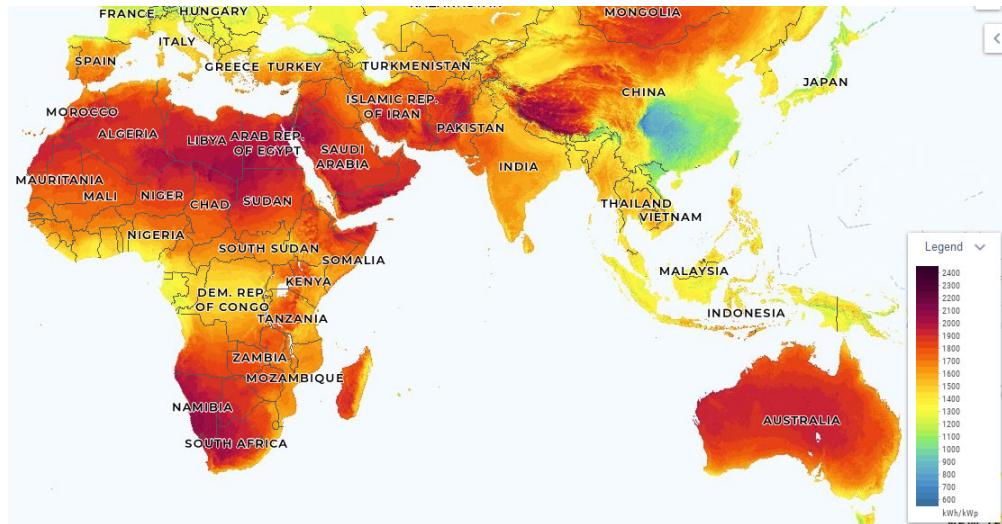


(出所) 筆者作

図1-1 アフリカの水素産業をドライブする内的・外的要因と関連性のイメージ

【内的要因その1】 恵まれた再生可能エネルギーポテンシャル

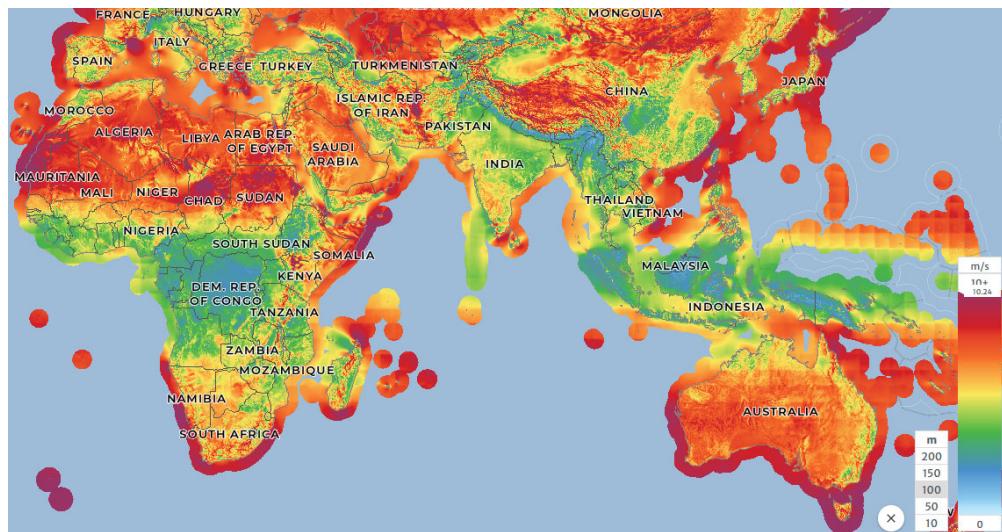
水素産業が成長している内的要因の一つは、アフリカの再エネ資源のポテンシャルはきわめて膨大なことである。下図1-2は太陽エネルギー資源量をマッピングしたものであるが、アフリカは殆ど全土にわたり2,200kWh/m²を超える太陽エネルギー資源量を有している。国際再生可能エネルギー機関(IRENA)は、アフリカ全土(陸上)の太陽光発電(Solar PV)の理論ポテンシャルを約1,500万TWh/年と見積もっている¹。



(出所) Global Solar Atlas, The World Bank Group, ESMAP, Solargis (2021)²

図1-2 全世界の太陽エネルギー資源量

一方、風力資源のポテンシャルも膨大である。下図1-3は全世界の風力資源量をマッピングしたものだが、北アフリカや南アフリカの沿岸部は7m/sを超える風況が得られる地域が広がっている。IRENAは、アフリカ全土(陸上)の風力資源の理論ポテンシャルを約100万TWh/年と見積もっている³。一部の国は洋上風力資源も豊富である。



(出所) Global Wind Atlas, The World Bank Group, ESMAP, Vortex, DTU (2021)⁴

図1-3 全世界の風力エネルギー資源量

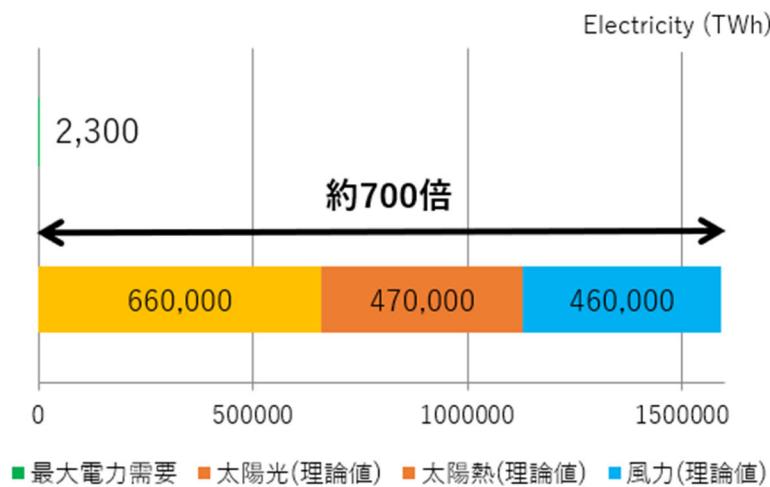
¹ IRENA(2021), *The Renewable Energy Transition in Africa*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, pp.37-38

² World Bank Group (2021), <https://globalsolaratlas.info/map?c=9.275622,23.642578,3>

³ IRENA(2021), *Ibid.*, pp.37-38

⁴ World Bank Group (2021), <https://globalwindatlas.info/>

ここで、強調したいのは、アフリカ全体の再エネ発電量のポテンシャルは、アフリカ域内で必要とされる電力需要をはるかに上回っている点である。国際エネルギー機関 (IEA)は、2018年時点で700TWhであるアフリカ全体の電力需要は、2040年には1,600～2,300TWhと最大3倍程度にまで拡大するものと推計している⁵。また、IRENAは、2040年におけるアフリカ全体の太陽光(Solar PV)・太陽熱(CSP)および風力エネルギー資源による発電電力量の理論ポテンシャルをそれぞれ66万TWh、47万TWh および46万TWhと見積もっている(本稿では、再エネ発電による電力を「クリーン電力」と定義)。理論値であり不確定要素は当然大きいものの、2040年時点におけるクリーン電力のポテンシャルはアフリカ全体の総電力需要の約700倍とケタ違いの規模である(図1-4)。



(出所) IEA (2019), IRENA (2014)を基に作成

図1-4 アフリカ全体の電力需要と再生ポテンシャルの比較(理論値、2040年)

【内的要因その2】水素をテコに経済発展と「エネルギーの貧困問題」の解決を一度に実現

多くのアフリカ諸国は、経済的な貧困に加えて、電気へのアクセスや健康被害のない調理用ガスへのアクセスのといったいわゆる「エネルギーの貧困問題」に直面している。失業率は依然として高く、雇用創出のための産業の育成は各国政府にとってきわめて優先度の高い政策課題となっている。COVID-19の影響を受けて足元は腰折れてしまっているが、今後、急激な人口増と若い労働力を活かして経済発展を上手く軌道に乗せなければならない。豊富な再エネ資源を活用した水素産業の内製化と対外直接投資によるプロジェクトの実現は、雇用の創出と経済発展の実現はもちろん、エネルギー安全保障をも同時に解決可能な理想的な取り組みといえる。

【外的要因その1】欧州グリーン・ニューディールの実現に不可欠なアフリカとのパートナーシップ

アフリカ全体での膨大な再エネポテンシャルを別の言葉で表現すると、輸出可能な再エネ発電による水素(「クリーン水素」と定義)が膨大に存在することを意味する。なぜなら、水素は再エネの輸送手段(キャリア)だからだ。

物理的に近接し、歴史的に関係も深い欧州がアフリカの再エネ資源を見逃すはずではなく、欧州全体の脱炭素化の成否を左右する重要なピースとして位置付けられている。2019年12月、欧州委員会委員長に就任したジョン・デンマーク・ライエン委員長は6つの重点施策を発表した。そのうちの1つが「欧州グリーン・ニューディール」であり、持続可

⁵ 電力需要は「総発電力-自家消費+ネット輸出入量-送配電ロス」と定義される、IEA (2019), *Africa Energy Outlook 2019*, France: International Energy Agency, pp.190-191

能でクリーンなエネルギーの広範な展開と貿易のため東欧(ウクライナ)や、北アフリカ諸国(モロッコやチュニジア)との協力関係による「欧洲・アフリカ相互に便益のある水素エコシステムの形成」が目指されている⁶。この欧洲グリーン・ニューディールの主な行動計画として投資家の注目を集めたのが「欧洲水素戦略⁷」である(図1-5)。ここでは、欧洲・アフリカ双方にとり有益な水素エコシステムの構築(グリーン・ニューディールから抜粋)や研究・イノベーション、アフリカによる規制政策や技術開発への協力が示されている。また、Africa-Europe Energy Initiativeを通じたクリーン水素に対する官民の認知度向上に向けた支援や、European Fund for Sustainable Developmentを通じた潜在的プロジェクトの検討も明記されている。

			フェーズ1 2020～2024年	フェーズ2 2025～2030年	フェーズ3 2030～2050年
定性目標			<ul style="list-style-type: none"> GW級再エネの導入 水電解槽の大型化(<100MW) CCS技術の推奨 規制・制度の確立 	<ul style="list-style-type: none"> EU水素市場の開放(～2030年) 再エネ水素コスト競争力強化 産業セクター(鉄鋼等)での水素需要増 再エネ中心の電力システムへの水素活用によるフレキシビリティの提供 Hydrogen Valleyの開発 欧洲全体での水素供給網や系統の整備 	<ul style="list-style-type: none"> 再エネ電力の25%を水素製造に利用 脱炭素化が困難なセクターでの水素活用(セクター統合の推進) 天然ガス代替としてバイオガスの活用
欧洲・アフリカ相互に有益な水素エコシステムの構築(グリーン・ニューディール) 研究・イノベーション、規制政策、物理的相互接続および技術開発への協力					
定量目標	水電解槽	設備容量	6GW	域内：40GW 域外：40GW 北アフリカ：約30GW(*) ウクライナ：約10GW	成熟域に到達
		CAPEX	300～600ユーロ/kW	250～500ユーロ/kW	200ユーロ未満/kW
	再エネ 水素	コスト	17～34円/Nm ³ (CCSを適用した化石燃料由来水素コストと同等)	11～23円/Nm ³ (CCSを適用した化石燃料由来水素コストと同等)	8～17円/Nm ³
		生産量	1百万トン	10百万トン	全セクターへの大規模導入
投資額			生産側：1,800～4,700億ユーロ エンドユーザー側：1,000～1,200億ユーロ		

(出所) A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe (July 2020)、Green Hydrogen for a European Green New Deal A 2 x 40 GW Initiative (March 2020)等を基に作成

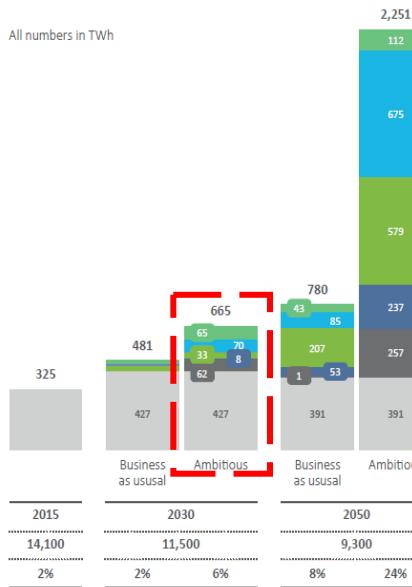
図1-5 欧州水素戦略サマリー

2050年カーボンニュートラルの実現には、今後の10年間に具体的な行動を起こすことが何より重要であり、欧洲水素戦略では水電解槽の設備容量やCAPEX、再エネ水素の製造コストや生産量に関して具体的な定量目標が設定されている。また、2030年の欧洲全体の最終エネルギー需要のうち水素の需要を1,700万トン/年(665TWh)と見積っている(図1-6)。左記1,700万トン/年のうち新規需要分は610万トン/年(238TWh)であり、その約70%に相当する440万トン/年を水電解(40GW)。内訳は、工業・産業部門における自家消費用で100万トン、水素専用で340万

⁶ EC (December 11, 2019), *The European Green New Deal*, Belgium: European Commission, p.21

⁷ EC (July 8, 2020), *A hydrogen strategy for a climate-neutral Europe*, Belgium: European Commission, p.20

トン)で供給することで総需要1,700万トン/年の約25%を満たすことが目指されている。そのために導入が必要な水電解槽の設備容量は、欧州域内で40GWと見積もられている。



Electrolyser Capacity	Total 2030							
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Domestic Market [MW]								
Ammonia North Africa	75	125	250	500	750	1,000	1,250	1,500
Ammonia Ukraine		50	100	200	250	300	400	500
Other (glass, steel, refineries)					10	20	30	40
Hydrogen refuelling stations						10	20	30
							40	100
Export Market [MW]								
Hydrogen North Africa (Hydrogen plants)	500	1,000	2,000	3,000	4,000	6,000	8,000	24,500
Hydrogen Ukraine (Hydrogen plants)	500	700	1,000	1,400	1,900	2,500	8,000	
Total (MW)	75	675	1,850	3,410	5,030	6,750	9,620	12,590
								40,000

(出所) Hydrogen Europe⁸

図1-6 欧州における水素需要予測（2030／2050年）　図1-7 水電解槽の導入設備容量（近隣協力国）

特に興味深いことに、欧州委員会は北アフリカの膨大な再エネポテンシャルの活用を 2050 年カーボンニュートラル実現に必要なピースとして折り込んでいる。具体的には、前述の欧州域内の水素生産量(水電解槽で 40GW 相当)に加えて、北アフリカ(現実的にはモロッコ)に約 30GW 相当の水電解槽を導入し、国内需要(アンモニア製造ほか、5.45GW 相当)以外の約 230 万トン/年(24.5GW、2030 年の欧州の水素総需要 1,700 万トンの約 14%)の欧州域内への輸入を見込んでいる(図 1-7)。クリーン水素を推進するアフリカ諸国には、欧州企業が世界をリードする最先端の気候変動対策技術が必要である。他方、欧州各国にとって、経済協力協定を活かした水電解槽といった得意とする先端技術の導入や、北アフリカでの具体的な水素製造プロジェクトの推進および製造されたクリーン水素の輸入による産業・工業部門の脱炭素化を同時に実現させる思惑が汲み取れる。

【外的要因その2】 カーボンニュートラルの世界的潮流

大半のアフリカ諸国は、これから本格的な経済発展を迎えるところである。そのため、これまで脱炭素化への取り組みが後回しにされても不思議ではなかった。しかしながら、その状況にも大きな変化が現れている。

下表1-1に整理するとおり、北アフリカ諸国や南アフリカはすでに野心的な気候変動対策目標を設定している。先進国の仲間入りをしたい心理も当然あるだろうが、クリーンな未来の実現に向けてポジティブな姿勢を自ら示すことで、諸外国からの対外直接投資の流入を加速させることを理解したうえでの対応と思われ、水素を産業クラスターとして育成することによるエネルギー自給率の向上に加えて、経済発展の実現と雇用創出を同時に狙う意図が垣間みえる。

⁸ Hydrogen Europe (April 2020), *Green Hydrogen for a European Green Deal A 2 x 40GW Initiative*, Brussels: Hydrogen Europe, P.8 (Figure 4) & P.27 (Table 2)

表1-1 アフリカ諸国の気候変動対策目標

対象国	気候変動対策の内容	目標年
モロッコ	全発電量に占める再エネ電源比率52%(太陽光20%、風力20%、水力12%) * 太陽光4.5 GW、風力4.2 GW、水力1.3 GW、合計10 GWの新設 3大エネルギー消費部門(交通輸送／住宅オフィス／製造業)で20%省エネ化	2030年
エジプト	全電源に占める再エネ比率42%	2035年
チュニジア	温室効果ガス排出量を2010年比で41%削減 全電力供給に占める再エネ比率30% (3.8 GW)	2030年
南アフリカ	太陽光・風力発電の大規模導入 (6.8GW) 0.5 GWの蓄電能力の導入 老朽化石炭火力の廃止 * 71.3%(2018年時点)を42.6%まで引き下げ	2022～24年 2022年内 2030年

(出所) Egypt Vision 2030 (エジプト)、Integrated Resource Plan 2019 (南アフリカ)等、各国発表を基に作成

2. アフリカにおける水素の産業化に向けた具体的な動き

前章では、アフリカでクリーン電力を活用した水素の産業化が進められている背景を内的・外的要因別に整理した。本章では、北アフリカ(特にモロッコ)および南アフリカに焦点を当て、水素の産業化に関する具体的な取り組みを確認していく。

【モロッコ】 化石燃料の輸入国がクリーン水素の一大輸出国に転身

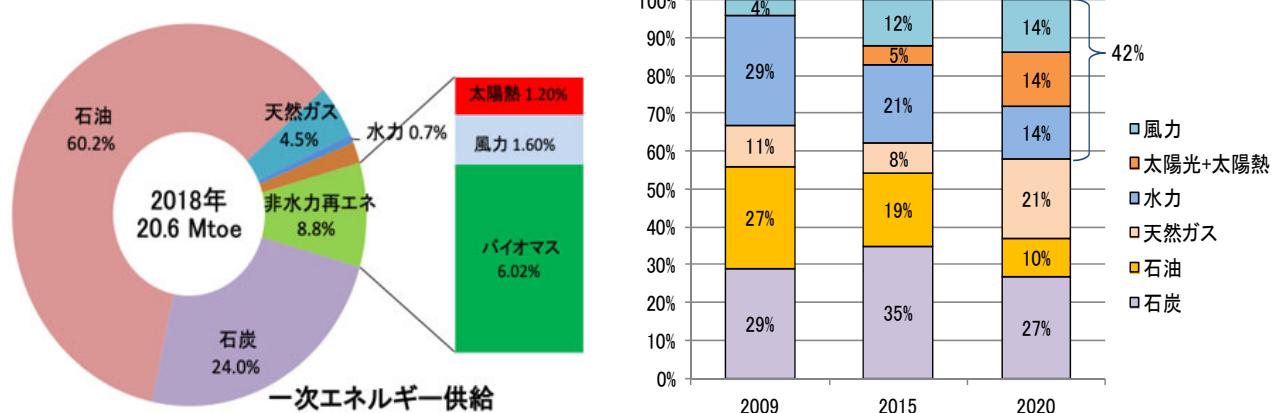
モロッコは、クリーン水素とPower-to-X(P2X)といったクリーン合成燃料のプロジェクトを進めることで、エネルギーの輸入国から輸出国への変容を遂げようとしている。具体的な内容は以下のとおりである。

欧州との経済協力をテコにクリーン水素とP2Xを推進

モロッコは、北アフリカ諸国の中で最も野心的な気候変動対策目標を設定している。一次エネルギーに占める化石燃料の割合は約90%(2018年時点、図2-1)と高い反面、エネルギー自給率は10%ときわめて低く、石油・石炭・天然ガスの殆どを輸入している。2009年に公表された「新国家エネルギー戦略」では、太陽・風力・水力発電をそれぞれ2GW、合計6GW導入することで、2020年までに総発電設備容量に占める割合をそれぞれ14%、合計で42%とする目標が設定された。2016年には、2030年までに総発電設備容量に占める再エネの比率を52%まで高めることと、再エネ発電設備を10GW(太陽4.5GW、風力4.2GW、水力1.3GW)以上新規に導入する目標に更新されたことで、近年再エネの比率が急速に高まっている(図2-2)。再エネ電源の開発は全て競争入札によるが、他の北アフリカ諸国に比べての政治的な安定は対外直接投資の流入にポジティブに寄与しており、恵まれた再エネポテンシャル⁹により、固定価格買取制度といったインセンティブは必要とせずとも数多くのプロジェクトが成功裏に進められている。2019年には850MWの風力発電ファームが0.028ユーロ/kWhという世界最安値水準のタリフで落札されているが、次の10年間では0.010～0.020ユーロ/kWhにまで低下すると予想される¹⁰など、いま世界で最も注目を集めれる再エネ市場の1つである。

⁹ 同国のサハラ砂漠の太陽光の照射量は3,000～3,600時間と世界最高水準。3,500kmに渡る海岸線の風速は10m/sに達し、135GW相当の風力発電ポテンシャルと推計される、DLP Piper (February 2021), *The Hydrogen Revolution in EMEA*, p.27

¹⁰ Ibid., p.27



(出所) IEA, World Energy Statistics and Balances 2020を基に作成 (図2-1)

(出所) MEME, "La nouvelle stratégie énergétique nationale : bilan d'étape," Janvier 2013, p.33.を基に作成 (図2-2)

図2-1 モロッコの一次エネルギー供給 (2018年) 図2-2 モロッコの電源構成推移 (2009-2020年)

モロッコ政府はエネルギー自給率向上のみならず、輸出余力の創出をも視野にクリーン水素の製造を進めている。2019年には水素ロードマップを策定し、省庁横断のHydrogen Commissionを設置している¹¹。国際協力では、欧州の先進技術と資金を活用したいモロッコ政府と、水電解槽など強みを有する技術の販売先として、また、欧州全体の2050年カーボンニュートラル実現に必要な水素の輸入先として、近隣国を重要なパートナーと位置付ける欧州委員会の思惑は一致しており、経済協力協定のもと具体的なプロジェクトの検討が進められている (表2-1)。

表2-1 モロッコと諸外国との協力関係・投資の実績 (再エネ・水素)

分野	年度	相手国・企業	内容
水素	2020年6月	ドイツ政府 (BMZ)	<p>クリーン水素の開発と利用に関する協力覚書締結¹²</p> <ul style="list-style-type: none"> モロッコ政府が提案するクリーン水素およびP2Xプロジェクトの推進 研究開発プラットフォームの設置
	2021年2月	ポルトガル政府	クリーン水素に関する協力に合意 ¹³
	2021年6月	IRENA (アブダビ)	<ul style="list-style-type: none"> クリーン水素の技術・市場予測調査の共同実施・官民パートナーシップの促進¹⁴ クリーン水素の世界・地域市場輸出に向けた水素バリューチェーンの構築の共同検討

¹¹ Morocco World News (January 21, 2021), <https://www.moroccoworldnews.com/2021/01/332775/energy-minister-celebrates-moroccos-green-hydrogen-achievements>, Ministry of Energy, Mines and Environment, <https://www.observatoireenergie.ma/en/actualites/energies-renouvelables-creation-dune-commission-nationale-de-lhydrogene/>

¹² European council on foreign relations (January 2021), *Power surge: How the European Green Deal can succeed in Morocco and Tunisia*, United Kingdom: European council on foreign relations, pp.6-7

¹³ Kingdom of Morocco (February 2, 2020), "Morocco, Portugal Strengthen Cooperation on Green Hydrogen," <https://www.maroc.ma/en/news/morocco-portugal-strengthen-cooperation-green-hydrogen>

¹⁴ S&P Global Platts (June 14, 2021), "Morocco eyes green hydrogen exports with IRENA renewables collaboration," <https://www.spglobal.com/platts/en/market-insights/latest-news/coal/061421-morocco-eyes-green-hydrogen-exports-with-irena-renewables-collaboration>

再エネ	2017年10月	シーメンス・ガメサ(スペイン)	欧州・アフリカ・同国市場向け風力発電ブレード工場と訓練施設を建設。1,100の直接・間接雇用を創出 ¹⁵
-----	----------	-----------------	---

水素の製造コスト低減には発電コストの低減が鍵となるが、前述のとおり、モロッコの再エネ発電コストは世界的にみても競争力が非常に高い。そのため、モロッコで製造されるクリーン水素に寄せられる期待も大きい。実際、水電解槽の設備費が300ユーロ/kW台まで下がり、稼働率が80%に達した場合には1ユーロ/kg-H₂の実現も可能との試算もなされている¹⁶。

P2Xに関しては、2018年に同国の太陽エネルギー・新エネルギー研究所(IRESEN)とGerman Corporation for International Cooperation and the German Moroccan Energy Partnership (GIZ-PAREMA)が共同で評価を実施しており、2030年にモロッコが世界のP2X市場の2~4%のシェアを獲得する可能性も指摘されている¹⁷。なお、現在モロッコは2050年に向けたP2Xロードマップを策定中¹⁸とみられている。

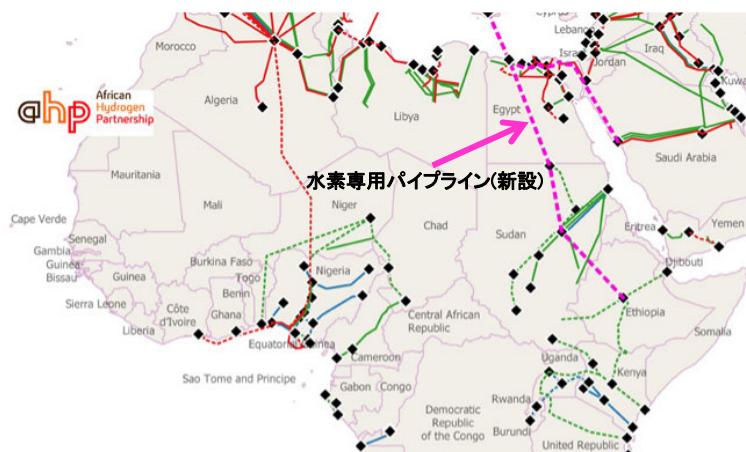
北アフリカー欧州間の水素専用パイプラインの可能性

将来、北アフリカから欧州市場への水素・P2X製品の輸送に専用パイプラインを利用することができれば、液化水素専用船と比べて大幅に輸送コストを削減できる。Hydrogen Europeによれば、エジプトからギリシャ経由でイタリアへ通じる水素専用パイプライン(図2-3中の桃色点線、将来的にエチオピアや中東まで延伸)の新設が潜在的に検討されており、エジプト-イタリア間の均等化輸送コストは0.2ユーロ/kg-H₂と試算されている(主要前提条件は表2-2)¹⁹。地理的優位性(モロッコ(タンジェ)と最も近接する欧州大陸の英領ジブラルタルまでの海上距離は36マイルであり、前述のエジプト-スペイン間パイプライン距離の1/37)を考慮した場合、モロッコ-スペイン間の水素専用パイプラインにより輸送コストの大幅な低減が実現できる可能性がある。

表2-2 パイプライン輸送の前提条件と試算結果

ルート	エジプト⇒ギリシャ⇒イタリア
全長	2,500km (1,350マイル)
容量	66GW (2 x 48インチ径)
投資額	165億ユーロ
稼働時間	4,500時間/年
水素輸送量	7.6百万トン/年
コスト	0.2ユーロ/kg-H ₂

図2-3 アフリカ大陸から欧州への潜在的水素輸送インフラ



(出所) van Wijk A. & Wouters (2019)を基に作成

(出所) Hydrogen Europe (2020), p.17

¹⁵ Siemens Gamesa (October 11, 2017), "Siemens Gamesa inaugurates the first blade plant in Africa and the Middle East," <https://www.siemensgamesa.com/newsroom/2017/10/siemens-gamesa-inaugurates-the-first-blade-plant-in-africa-and-the-middle-east>

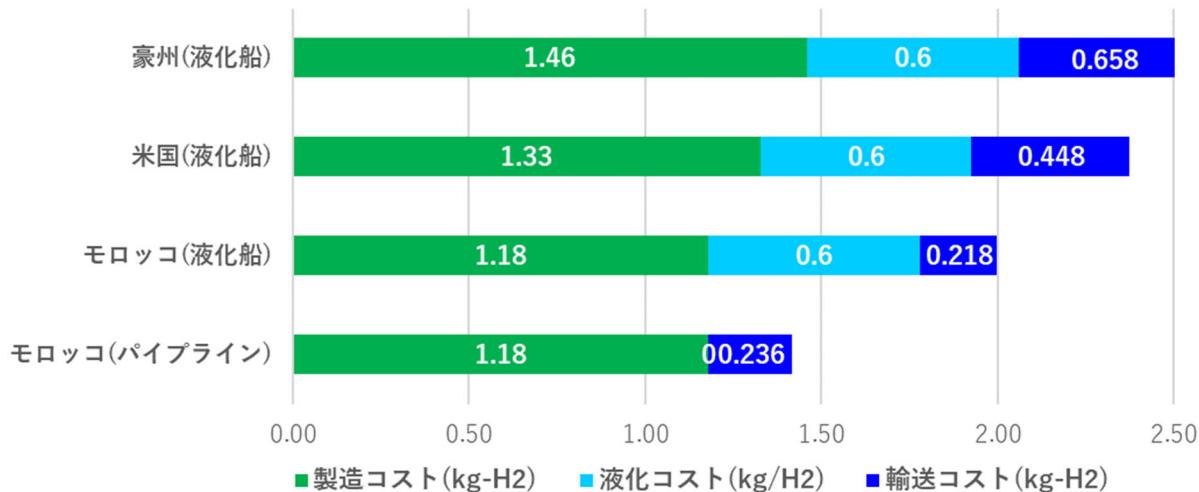
¹⁶ DLP Piper (February 2021), *op.cit.*, p.28

¹⁷ Infomineo (April 13, 2020), "Power to X: What role could Morocco play in this new paradigm?," <https://infomineo.com/power-to-x/>

¹⁸ IRESEN (June 2020), *Power-To-X In Morocco Driver of Mediterranean Energy Market Integration*, Morocco: Research Institute for Solar Energy and New Energies, p.12

¹⁹ Hydrogen Europe (June 2020), *op.cit.*, pp.15-17

ここで、モロッコで製造されるクリーン水素の価格競争力の優位性を確認してみたい。図2-4はモロッコで製造される水素のスペイン(バルセロナ)着価格を、米国・豪州で製造される水素と簡易試算により比較したものである。モロッコは液化水素専用船に加えて水素専用パイプラインの2パターン、米国・豪州は液化水素専用船のみとした。また、モロッコスペイン間のパイプラインコストは参考可能な試算が存在しないため、距離は異なるが保守的に前掲表2-2の試算値である0.2ユーロ/kg-H₂を用いた。競争力のある再エネ発電コストと欧州大陸に近い地理的優位性によりモロッコで製造されるクリーン水素の価格競争力はきわめて高いものと考えられる。



(注)クリーン水素製造コスト:モロッコ(1ユーロ/kg-H₂)、豪州(2豪ドル/kg-H₂)は2030年ターゲットと仮定

(注)液化コストは全ての国で暫定値として0.6ドル/kg-H₂を適用、液化水素輸送船サイズ:11,000トン-H₂

(注)全ケースにおいて、配送コストは一切含まない

図2-4 モロッコのクリーン水素の価格競争力比較（米国・豪州との対比、2030年）

欧州で需要が急拡大する「クリーン電力」輸出の可能性

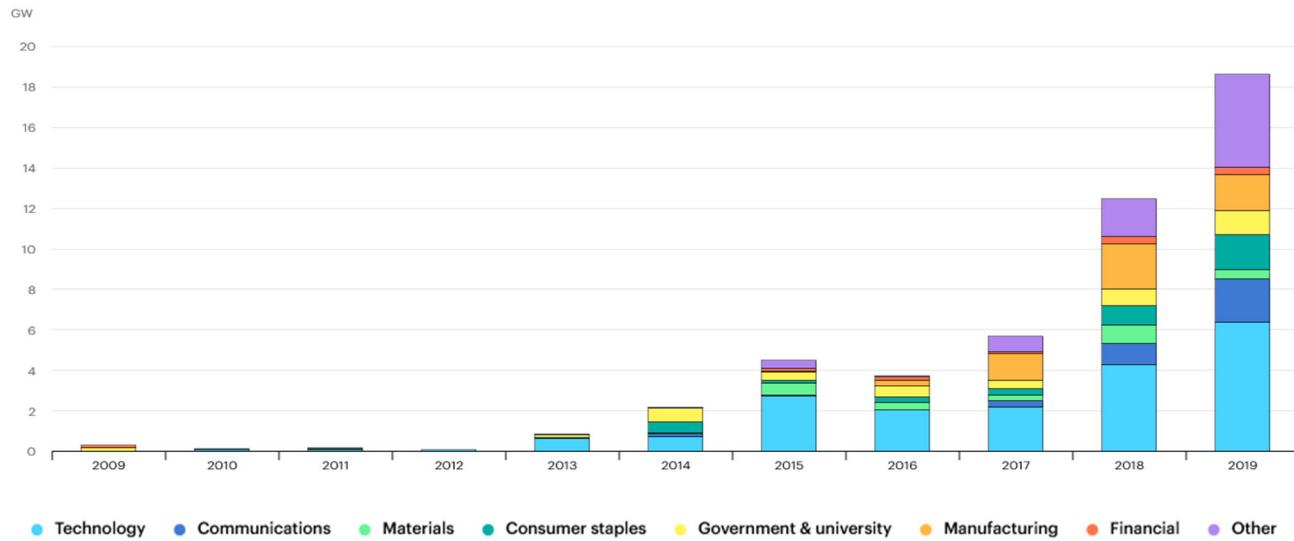
再エネを水素に変換せず、クリーン電力として輸出することも可能である。現在、スペイン—モロッコ間には海底送電線が2本敷設されている(1997年:0.7GW、2016年:0.7GW、合計1.4GW)。かつてはスペインから電力不足に苦しむモロッコへの送電に供されていたが、モロッコでSafi石炭火力発電所(2 x 693MW)が運転を開始した2019年以降、反対にモロッコからスペインへ送電されている²⁰。スペイン・モロッコ両国は3本目の海底送電線(同0.7GW)の敷設に向けて覚書を締結²¹しており、完成後の送電容量は合計2.1GWとなる見通しである。欧州における需要の急激な高まりを受けて、これら送電線は近い将来モロッコからスペインへのクリーン電力の輸出に供される可能性がある。その理由は、データやデジタルサービスの爆発的な増加に伴う世界規模でのデータセンター需要の急増がある。IEAによれば、全世界のインターネット・トラフィック数は2020～2022年で2倍の4.2zettabytesに達するなど、今後もデータやデジタルサービスの需要は指数関数的な伸びが続くものと予想されている²²。これに伴いデータセンター需要は全世界で増加の一途を辿っているが、当該分野での脱炭素化の牽引役はコープレート

²⁰ 欧州委員会による炭素国境調整メカニズム導入の検討開始後、スペインによる”化石燃料電力”の売電量は減少している、European Council of Foreign Relations (January 2021), *op.cit.*, p.12

²¹ *Ibid.*, p.12

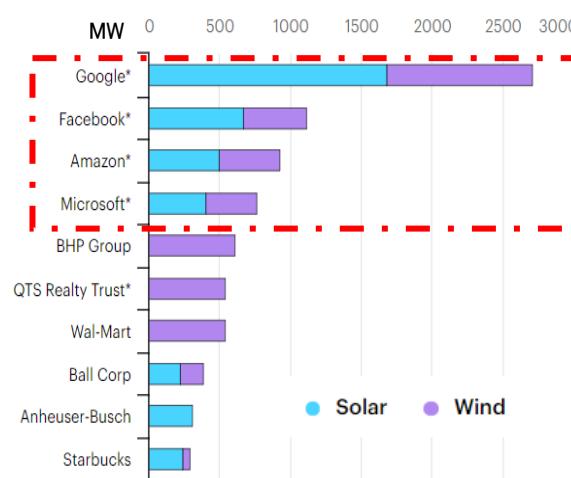
²² IEA (June 2020), “Data centres and data transmission networks,” <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>

PPA²³である(図2-5)。特にGAFAM(Google、Amazon、Facebook、AppleやMicrosoft)に代表される巨大IT企業は自家消費する電力を100%再エネとマッチさせるべくコーポレートPPAを急速に拡大しており、直近ではオフテカーランキングの上位に名を連ねている(図2-6)。実際、既に欧州では電力会社に対する顧客からの引き合いが後を絶たない状況であり、クリーン電力の奪い合いは一層激化するものと予想される。スペインや南フランスではデータセンターがすでに多数稼動中であるが、将来の需要増を見込んで数多くのデータセンター新設計画が公表されている(図2-7)。エネルギー多消費型のデータセンターのカーボンニュートラル実現にむけて、北アフリカ諸国²⁴のクリーン電力に寄せられる期待は今後ますます大きくなるものと予想される。



(出所) IEA (June 2020)

図2-5 全世界のコーポレートPPAの推移(部門別、容量ベース、2009-19年)



(出所) IEA (June 2020)

図2-6 コーポレートPPAランキング(2019年)



(出所) EQUINOX, Digital Reality, Cyrus One IR資料を基に作成

図2-7 南欧データセンターマップ(上位3社、2019年)

²³ 企業や自治体などが再エネ発電事業者か相対でクリーン電力を長期購入する契約²⁴ 2021年5月には、世界銀行の支援により、チュニジア-イタリア間の海底送電線(0.6GW、高圧直流)の事業化調査が開始されている、MEED (August 5, 2021), “Team starts Italy-Tunisia power link study,” <https://www.meed.com/team-starts-italy-tunisia-power-link-study>

【南アフリカ】「ゼロ・カーボン燃料」の一大供給拠点化にフォーカス

続いて、南アフリカにおけるクリーン水素に関する具体的な取り組みをみていく。物理的な距離から、南アフリカは欧州がカーボンニュートラルを実現のための経済協力の重要な相手国とはなっていない。しかしながら、豊富な再エネポテンシャルを活用したクリーン水素や合成燃料、クリーン・アンモニアなどの「ゼロ・カーボン船舶燃料」の生産・供給に注力することにより、南アフリカは経済発展とカーボンニュートラル実現の両立を目指している。

前掲表2-1のとおり、同国は積極的な気候変動対策目標を設定しており、その中心は老朽化した石炭火力発電所の廃止と大規模な太陽光・風力発電の導入である。具体的には、老朽化した設備の廃止により、2018年時点では電源構成の71%を占める石炭火力発電の割合を2030年までに43%まで低下させるとともに、2022～24年に太陽光・風力発電を新規に6.8GW導入する計画である(図2-8、図2-9)。次に再エネ資源のポテンシャルを確認したい。太陽光の平均日照時間と平均日射量はそれぞれ2,500時間/年、4.5～6.5kWh/m²/年と有望である²⁵。恵まれた風力資源は南部沿岸地域と近海地域に分布しており、「2016年統合エネルギー計画 (Integrated Energy Plan, IRP2016)」では2050年までに導入を計画する風力発電設備容量はベースケースで24GW²⁶である。現在再エネ発電の国際競争入札(太陽光1.0GW、風力1.6GW、合計2.6GW)が進行中であり、100を超えるプロジェクトの応札がある模様である²⁸。IRENAとスウェーデン王立工科大学は太陽光と陸上風力(対象は稼働率20%以上の設備)の理論ポテンシャルを83,000TWh/年と見積もっている²⁹。

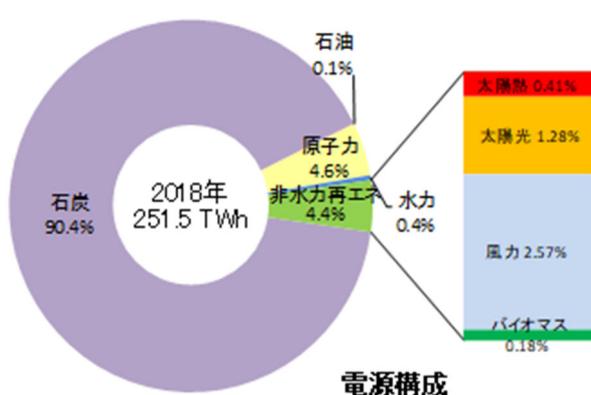


図2-8 南アフリカの電源構成 (2018年)

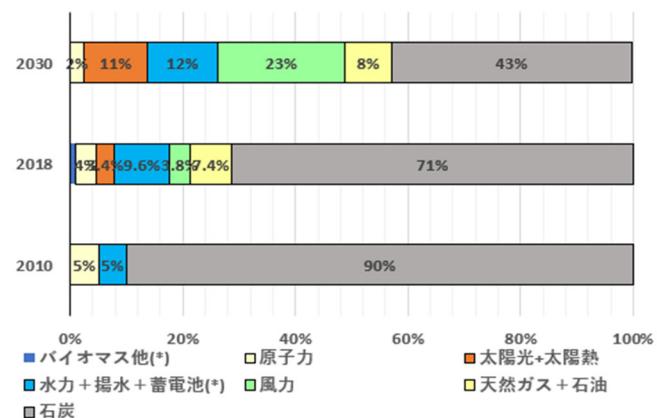


図2-9 南アフリカの電源構成推移 (2010-2030年)

水素に関しては同国の科学技術省が「水素・燃料電池技術研究開発戦略(Hydrogen South Africa、通称HySA)」³⁰を推進しており、陸上輸送、海上輸送、鉱山といったインダストリー別に具体的な取り組みが進められている。

²⁵ Department of Energy, "Renewable & Alternative Fuels," http://www.energy.gov.za/files/renewables_frame.html

²⁶ Department of Energy (November 2016), "Integrated Energy Plan,"

<http://www.energy.gov.za/files/IEP/2016/Integrated-Energy-Plan-Report.pdf>

²⁷ IRP2019において、2030年までに風力発電の設備容量を17.7GW導入する計画に更新された

²⁸ PV Magazine (August 23, 2021), "Sixty-three PV projects to compete in South Africa's 2.6 GW renewables tender,"

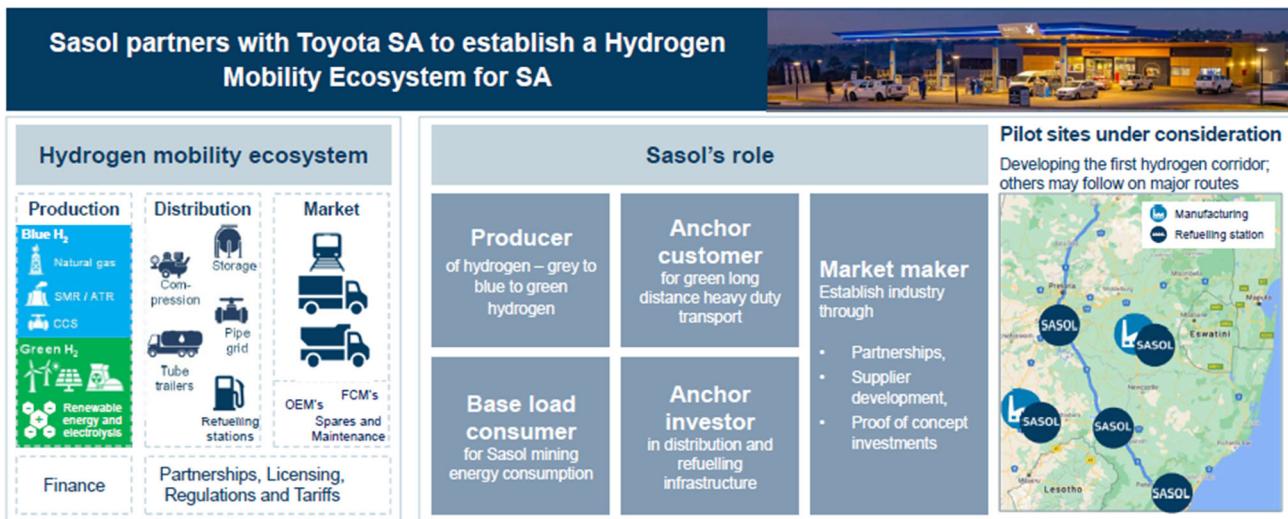
<https://www.pv-magazine.com/2021/08/23/sixty-three-pv-projects-to-compete-in-south-africas-2-6-gw-renewables-tender/>

²⁹ IRENA (2014), *Estimating the Renewable Energy Potential in Africa*, Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency, p.36

³⁰ Hydrogen South Africa, <https://www.hysystems.com/>

陸上輸送分野における取り組み: SASOLは再エネ水素を活用したクリーン合成燃料の製造と利用を推進

同国のエネルギー・総合化学企業であるSASOLは、陸上輸送分野の脱炭素化を進めている。2021年4月、同社はトヨタ南アフリカと共同でクリーン水素の製造・配送・利用まで一気通貫の実証に取り組むことを発表した³¹。両社は、ダーバンとヨハネスブルグを結ぶ幹線道路において燃料電池を動力とする重量長距離トラックを走行させるものである。燃料電池トラック車両の開発は日本のトヨタ本社で行い、水素を活用したクリーン合成燃料の製造と配送・給油設備への投資をSASOLが行う(図2-10)。かねてよりSASOLはGas-to-Liquid、Coal-to-Liquidといった合成燃料技術の開発と商業化に取り組んできたが、合成燃料の製造と利用でも市場をリードしようとしている。



CCS: Carbon capture and storage | Credit: Google Maps | SMR: Steam Methane Reforming | ATR: Autothermal Reforming | OEM: Original Equipment Manufacturer | FCM: Fuel Cell Manufacturer

(出所) SASOLプレゼンテーション資料³²

図2-10 クリーン合成燃料を活用した水素モビリティ・エコシステム実証の概要

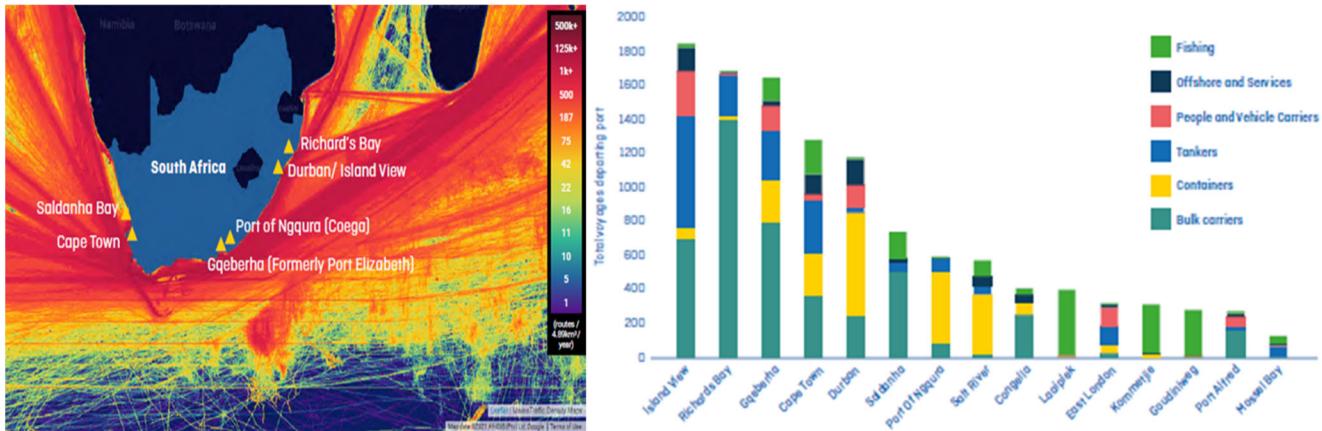
海上輸送分野における取り組み: 「ゼロ・カーボン船舶燃料」の製造・供給拠点を整備

世界全体でのカーボンニュートラルの実現には、海上輸送分野の脱炭素化も不可欠である。南アフリカは国内需要を満たして余りある豊富な再エネポテンシャルはもちろんのこと、海上輸送ルートの要衝に位置しており、世界的にみても非常に優位なポジションにある(図2-11、図2-12)。経済面に着目した場合、これまでのところ同国的主要な輸出產品は石炭・鉄鉱石・金属であるが、世界的な脱炭素化の潮流のなか、これらの中長期的な需要の減退は避けられない状況にある。そこで、新たな長期・安定収益源の確保と経済発展のための起爆剤とすることを企図して「ゼロ・カーボン船舶燃料」の製造・供給拠点の整備が進められている。一例として、Richards Bayに寄港する船舶のエネルギー消費量は27TWh/年と大きく、そのうち71%が国際海上輸送に供する大型ばら積み船である。そのため、水素に比べてエネルギー密度の高いクリーン・アンモニアの船舶への供給が有効とみられている。Richards Bayを含む主要港におけるゼロ・カーボン海上輸送技術の導入により、同国では2030年までに最大で1,750億ランド(1兆3,370億円)の陸上インフラ投資を呼び込める可能性も指摘されている³³。

³¹ SASOL (April 142021), “Sasol and Toyota South Africa Motors form green hydrogen mobility partnership, <https://www.sasol.com/media-centre/media-releases/sasol-and-toyota-south-africa-motors-form-green-hydrogen-mobility>

³² SASOL (April 13, 2021), 2nd Renewable Hydrogen and Green Powerfuels Webinar, “SASOL’s role in unlocking Hydrogen’s significant potential to contribute to energy security and trade,”

³³ Ricardo & EDF (June 2021), *South Africa: fueling the future of shipping*, United States: Environmental Defense Fund, p.28



(出所) Richard & EDF (Jun 2021)

図2-11 南アフリカ主要港の海上輸送トラフィック

図2-12 上位15港の航行数（出航ベース、2018年）

鉱山分野における取り組み：英Anglo Americanと仏ENGIEは鉱山産業の脱炭素化を推進

鉱山分野においても、脱炭素化に向けた取り組みが進められている。英Anglo Americanは、総合環境サービス企業であるフランスENGIEと共同で、鉱山採掘に利用される大型トラックの燃料電池駆動への転換を進めている。本プロジェクトでは、Anglo Americanが軽油燃料大型トラック(300トン積)の改造³⁴を担当し、ENGIEがAnglo AmericanのMogalakwena Platinum Group Metals鉱山に設置した太陽光発電により水電解槽(3.5MW)を稼働させてクリーン水素を製造し大型トラックに供給する³⁵(図2-13)。南アフリカ政府は水素産業を集積する「Platinum Valley構想」を進めているが、本鉱山と科学技術パークが開発の起点となっている³⁶。

(出所) METI HEMM (October 14, 2020)³⁷, FuelCellsWorks³⁸

図2-13 プロジェクトイメージ図 (Project RHyne)

³⁴ 軽油タンクを水素タンクと置換し、エンジンを水素燃料電池・バッテリーパックと置換する

³⁵ Anglo American (October 19, 2019, press release), “Anglo American partners ENGIE to develop world’s largest hydrogen powered mine truck,” <https://www.angloamerican.com/media/press-releases/2019/10-10-2019>

³⁶ allAfrica (October 19, 2020), “South Africa: Science and Innovation on South Africa’s Platinum Valley Project,” <https://allafrica.com/stories/202010200636.html>

³⁷ <https://www.nedo.go.jp/content/100925659.pdf>

³⁸ FuelCellsWorks (October 10, 2019), “Anglo American partners with ENGIE to develop World’s largest Hydrogen powered mine truck,” <https://fuelcellsworks.com/news/anglo-american-partners-with-engie-to-develop-worlds-largest-hydrogen-powered-mine-truck/>

3. 今後の課題

これまで述べてきたとおり、豊富な再エネポテンシャルを背景として、北アフリカ諸国や南アフリカの水素産業化に向けた取り組みは順調に進んでいるが、今後直面する可能性のあるリスクや課題は無いのだろうか？

北アフリカ諸国（特にモロッコ）は明確な気候変動対策目標と再エネ発電の大規模導入計画により、風力発電を中心に国際競争入札による外資主導の大型プロジェクトが数多く進展するなど、近年追い風を受けている。対外直接投資の継続には政情の安定が何よりも重要であり、小さな変化にも注視が必要である、水素に関しては、現在策定中とみられる「P2X Roadmap 2050」の内容に注目したいが、国際協力の面では、西サハラ問題への内政干渉を理由にドイツとの具体的なプロジェクトに関する協議が中断されている模様³⁹であり、大きなリスク要因となっている。同国における水素の産業化の進展には、ドイツとの協議再開とその後の具体的なプロジェクトの成否が試金石となるだろう。チュニジアの再エネポテンシャルも非常に高く、未だほとんど手付かずのため、欧州委員会は注目している。前掲表1-1の温室効果ガス排出量削減目標の実現には75%を占めるエネルギー部門のトランジションが不可欠であり、180億ドルもの資本投下が必要と見積もられている⁴⁰。昨今の政情不安は頭痛の種だが、モロッコ同様、欧州との経済協力をテコにした再エネ発電プロジェクトの進展が期待される。

同様に、南アフリカも明確な再エネ導入目標を定めており、ゼロ・カーボン船舶燃料の製造・供給という魅力的なインフラ投資機会が期待される。同国が直面する最大のリスクは、政情不安と国営電力会社の財政安定化である。経済発展のためにも対外直接投資は不可欠のため、政府による魅力的な政策メニューの立案が期待される。

おわりに

アフリカ諸国の未来を象徴するキーワードは「Leapfrog（カエル飛び）」である。総人口の46%は未だに家庭における電気のアクセスがない。一人当たりGDPも低く、未だ多くの国が貧困に苦しんでいる。法規制や電力系統などのインフラの整備も遅れている。一方、豊富なポテンシャルを背景に再エネの導入は着実に進展しており、今後も高成長が継続するものと期待される。このような特徴的な立場が、これまで定石とみなされてきた大規模・集中型電源モデルや経済とエネルギーの貧困からの“カエル飛び”を可能にするかもしれない。欧州各国の置かれている状況はそれぞれ異なるが、スペイン・ポルトガルなどの南欧諸国は太陽光・風力資源に恵まれており、日本と比較した場合、欧州全体での再エネポテンシャルは恵まれている。それでも、2050年カーボンニュートラル実現には電化の困難な産業・工業部門の脱炭素化が不可欠であり、水素が果たすべき役割は大きい。一方、域内の全ての水素需要を域内生産のみで満たすことは不可能なため、ドイツやポルトガルはモロッコ等の北アフリカ諸国との経済協力をベースに具体的にプロジェクトを進めるなど、戦略的かつ着実に歩みを進めている。これらのアフリカ諸国のカントリーリスクは残念ながら低いとはいえないが、今後は欧州企業が有する水素・アンモニア関連の先進技術の実験場となることも想定される。日本企業に求められることは、欧州拠点からアンテナを高く張り、個別の事業のリスクとリターンを十分に精査のうえ、先端技術に関する知見の習得を目的に、欧州企業とのパートナーシップのもと是々非々で水素・アンモニア製造プロジェクトへの参加を精査することであろう。また、日本政府は、欧州-アフリカ諸国の国際協力を参考に、日本を水素・アンモニアの需要国としてターゲティングする豪州・チリ・中東諸国とのG2Gでの国際協力体制の構築など、これまで以上に踏み込んだ支援が期待される。

お問い合わせ : report@tky.ieej.or.jp

³⁹ Morocco World News (May 31, 2021), “Morocco Blocks Green Hydrogen Deal With Germany Over Western Sahara,” <https://www.moroccoworldnews.com/2021/05/342672/morocco-blocks-green-hydrogen-deal-with-germany-over-western-sahara>

⁴⁰ European council of foreign relations (January 2021), *Power Surge: How The European Green Deal Can Succeed in Morocco and Tunisia*, United Kingdom: European Council of Foreign Relations, pp.10-12