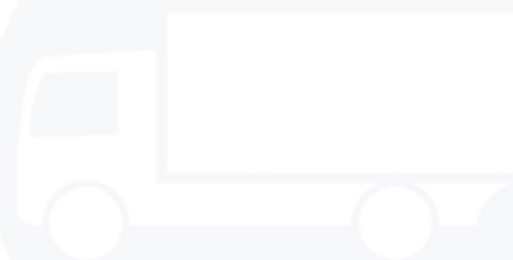


H<sub>2</sub>

# グリーン水素による アジアの脱炭素化 の可能性について

2023 年 1 月  
一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

H<sub>2</sub>



## 目次

エグゼクティブ・サマリー .....	4
<b>1. 調査の背景と目的 .....</b>	<b>8</b>
<b>2. 分析対象と方法論 .....</b>	<b>10</b>
2.1. 分析対象 .....	10
2.2. 方法論 .....	11
2.2.1. 水素需要ポテンシャル .....	11
2.2.2. 水素供給ポテンシャル .....	13
<b>3. 分析結果 .....</b>	<b>14</b>
3.1. ASEAN 加盟国の気候および水素に関する政策 .....	14
3.1.1. 気候関連政策の概観 .....	15
3.1.2. 再生可能エネルギーの導入目標 .....	15
3.1.3. 水素関連政策とロードマップ .....	16
3.2. ASEAN 各国の産業部門や運輸部門で脱炭素化が困難な分野における水素の役割 .....	17
3.2.1. 産業部門における水素需要ポテンシャル .....	17
3.2.2. 運輸部門における水素需要ポテンシャル .....	18
3.3. 水素供給ポテンシャル .....	19
<b>4. 結論 .....</b>	<b>22</b>
4.1. 域内需要の充足 .....	22
4.2. ASEAN 地域外へのグリーン水素の輸出 .....	25
<b>5. ASEAN 地域におけるグリーン水素ポテンシャルの活用に関する提言 .....</b>	<b>27</b>
5.1. 域内グリーン水素サプライチェーンの構築 .....	27
5.2. 再生可能エネルギーの導入拡大のさらなる推進 .....	28
5.3. ASEAN 地域でのグリーン水素開発における日本の役割 .....	30

参考文献.....	32
APPENDIX 1.....	35
APPENDIX 2.....	37
APPENDIX 3.....	41

## 執筆者

一般財団法人 日本エネルギー経済研究所

中村博子、永田敬博、關思超、林健太郎、柴田善朗

# グリーン水素によるアジアの脱炭素化の可能性について

## エグゼクティブ・サマリー

### 序

水素は、脱炭素社会の実現に向けた打開策として世界的に注目されている。低炭素の水素は、さまざまな資源から製造することができるため、世界の至る地域で水素を製造することができる。

ASEAN の各加盟国は、野心的な脱炭素化目標の設定とその達成に向けた努力を続けている。ASEAN 地域においてグリーン水素経済が発展すれば、クリーンで持続可能なエネルギーへの移行を加速させ、ひいては地域経済の脱炭素化に貢献することができる。しかし、ASEAN 地域は、再生可能エネルギーやそれを利用したグリーン水素製造のポテンシャルを十分に活用できていない。

本研究では、電化による脱炭素化が最適解ではない hard-to-abate 部門において ASEAN 域内で製造されたグリーン水素が利用できるポテンシャルを分析した。

### ASEAN 地域におけるグリーン水素の需給ポテンシャル

電化が可能なすべての部門において再生可能エネルギー由来の電気が利用され、残りの電化による脱炭素化が難しい hard-to-abate 部門でグリーン水素が利用されるという前提に立ち、IEA (2022b)及び 2050 年の予測に基づいて水素の需要のポテンシャルを評価した。産業部門の高温度帯の熱需要と運輸部門の一部（大型車、航空・海上・鉄道輸送）を分析の対象とした。

エネルギー効率の改善にもかかわらず、2050 年には経済成長に伴い、産業・運輸両部門でエネルギー消費量が大幅に増加すると考えられる。ASEAN 地域全体の産業部門における水素需要ポテンシャルは 152Mtoe であり、これは産業部門全体の最終エネルギー消費の 40%に相当する。ASEAN 全域の運輸部門における水素需要ポテンシャルは 166Mtoe であり、運輸部門の最終エネルギー消費の 44%を占める。

ASEAN 地域ではまず、再生可能エネルギーによる発電の普及拡大が優先されるべきであるため、再生可能エネルギー由来の電力は、まず化石燃料による火力発電の代替として使われ、その上で、未開発の再生可能エネルギーを水素製造に利用されると仮定して、水素の需要ポテンシャルを評価した。ERIA (2021)及びIRENA & ACE (2022)における再生可能エネルギーポテンシャルを基に、同地域のグリーン水素のポテンシャルを推計した。

2050 年の総発電量と、2050 年以降に増加する電化需要に対応するための追加的な発電量を再生可能エネルギーで賄うと仮定しても、再生可能エネルギーの未開発分を水素製造に利用できる。ASEAN 地域全体で、2050 年の潜在的な水素需要の 3 倍の量の水素を供給できるポテンシャルを有する（図）。したがって、最も悲観的なケースでも、ASEAN 地域全体で見ると、域内の水素需要を賄うために十分なグリーン水素の供給ポテンシャルがある。グリーン水素を域内各国が融通し合うことによって、地域資源を活用した地域全体の脱炭素化に貢献できる。

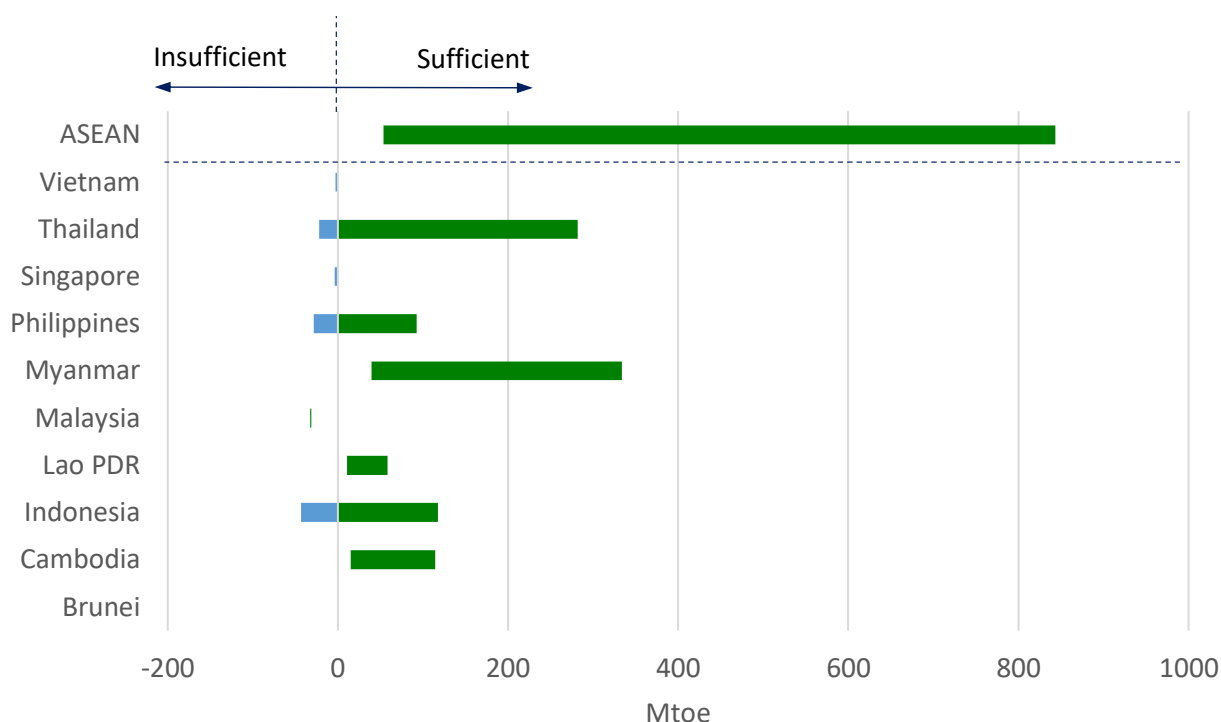


図. グリーン水素の供給量の過不足 (2050)

## ASEAN 地域の機会と課題

グリーン水素の製造は、ASEAN 地域の地政学に一定の変化をもたらさう。ミャンマー、ラオス、カンボジアなどの低所得国に、この地域のエネルギー供給国となる機会が訪れる。しかし、ASEAN のほとんどの加盟国において、国家水素戦略は策定されておらず、水素は国家のエネルギー計画にも登場しない。さらに、この地域の再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活用するためには、さまざまな課題がある。例えば、資金援助や資金調達スキームの不足、経験不足や規制枠組みの不在、政府機関間の調整不足のほか、再生可能エネルギーの大規模な系統接続に必要な系統増強のニーズが高いなど、インフラが追いついていないことなどが挙げられる。また、各国の電力開発計画や再生可能エネルギーの導入目標も、再生可能エネルギーのポテンシャルから大きく乖離している。したがって、ポテンシャルを最大限に活用するためには政策的措置が必要である。

エネルギー資源に恵まれない日本は、水素の時代が到来しても、依然としてエネルギー輸入国である可能性が高い。2030 年に 300 万トン、2050 年に 2,000 万トンの水素導入を目指す日本にとって、ASEAN 地域はその近接性から、グリーン水素の主要供給源として有望である。近接していることが利点であるだけでなく、ASEAN 地域からのグリーン水素の輸入は、エネルギーの輸入先の多様化に寄与し、ひいては日本のエネルギー安全保障の向上に貢献することになる。

また、シンガポールは、2021 年に船舶用燃料を約 5,000 万トン供給しており、バンカリングハブとしての世界的な重要性も考慮する必要があるだろう。ASEAN 全域からシンガポールに、域内で生産された e-fuel を相応量集めることができる。これは、ASEAN 地域にとって大きなビジネスチャンスとなる可能性がある。

## 再生可能エネルギーのさらなる推進

グリーン水素が脱炭素社会に向けた現実的かつ最適なソリューションとなるためには、その製造に使われる再生可能エネルギーは、まず電力として直接利用することで二酸化炭素排出量を削減することが可能な部門の脱炭素化に最大限活用した上で、残っている分であるべきである。したがって、再生可能エネルギーの開発に向けた投資が先行するべきであり、そのためには、各国で再生可能エネルギーの大幅普及に向けた政策が導入されていることが不可欠である。これにより、再生可

能エネルギーの発電コストが下がり、その結果、発電コストが占める割合が最も大きいグリーン水素の製造コストを下げることにつながるだろう（IEEJ, 2021）。

## 日本の役割

日本は、水素に関する技術開発について ASEAN 各国と緊密に協力することによって、域内の水素市場の構築と拡大、そしてコスト低減において重要な役割を果たすことができる。中には、再生可能エネルギーの導入が十分に進んでいない国もあるため、再生可能エネルギー、さらには水素に関するビジネス環境を確立する上で、先行者利益を享受できる可能性がある。日本のインフラ整備、輸送・貯蔵技術、法規制、安全基準などに関する経験は、ASEAN の水素市場の構築に貢献する。

2023 年は「日本・ASEAN 友好協力 50 周年」にあたる。日本は、ASEAN 諸国のエネルギートランジションを支援するために多くの協力枠組みを構築してきた。これらの枠組みの下で、日本は、地域固有の事情やニーズを考慮した、野心的だが実現可能な脱炭素化政策の設計を支援することもできる。このような支援には、技術面及び資金面の支援、地域の課題や解決策を明らかにするための詳細な調査、それに基づくマスタープランの策定支援、ステークホルダー対話の実施などが挙げられる。



## 1. 調査の背景と目的

今世紀半ばまでに全世界で CO2 排出量をネットゼロにすることが急務とされる中（IPCC、2021）、東南アジア、とりわけ東南アジア諸国連合（ASEAN）の多くの加盟国は、野心的な脱炭素化目標の設定と達成に向けた努力を続けている。再生可能エネルギーや低炭素水素は、経済の脱炭素化の鍵となる。ASEAN 地域は、太陽光、風力、水力などの再生可能エネルギーの導入ポテンシャルが大きい。これらの再生可能エネルギー資源は、グリーン水素の製造に利用することができるが、その可能性はこれまで十分に検討されてこなかった。ASEAN 地域におけるグリーン水素経済の発展によって、地域全体のクリーンで持続可能なエネルギーへの移行とエネルギー自給率の向上、ひいては地域のエネルギー安全保障の強化をもたらさう。

低炭素型水素は、幅広い資源から製造することができる。この多様性により、世界中ほぼどこでも水素を製造することが可能である。しかし、エネルギー資源が限られている日本では、水素も輸入に頼らざるを得ない。その点、ASEAN 地域は近いため、そのポテンシャル次第では、将来、日本への水素供給源となる可能性がある。

日本では、東日本大震災後にエネルギーシステム、特に発電部門の脱炭素化の課題に直面し、翌年の 2012 年に水素調達の議論が始まった。日本は、原子力発電の増強や自然エネルギーの大量導入において、社会受容や土地制約などの課題を依然として抱えている。日本は再生可能エネルギーの設備容量の拡大に向けて大きな努力を行ってきたが、世界的に見ても再生可能エネルギーの導入ポテンシャルの低さが目立つ（IRENA, 2021b）。そのため、日本は早期から水素を脱炭素化の突破口と考え、世界で初めて水素国家戦略を策定し<sup>1</sup>、2050 年に約 2000 万トンの水素需要の創出を目指す<sup>2</sup>。

---

<sup>1</sup> 経済産業省(2017)「水素基本戦略」

<sup>2</sup> 経済産業省(2020)「2050 年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」

近年、日本政府や民間企業の主な関心対象は、ブルー水素やブルー燃料アンモニアの輸入であったが、本研究ではグリーン水素に注目する。（その理由については 2.1 節で説明する。）

本調査では、ASEAN 域内で生産されたグリーン水素を利用して域内経済の脱炭素化を実現する可能性を、産業部門及び運輸部門での利活用に焦点を当てて検証する。また、日本など域外への水素輸出の可能性についても検討する。

## 2. 分析対象と方法論

### 2.1. 分析対象

本研究では、電化による脱炭素化が難しい hard-to-abate 部門において ASEAN 域内で製造されたグリーン水素が利用できるポテンシャルを分析した。これらには、電化による脱炭素化が困難な産業、そして運輸部門の一部が含まれる。

本分析では、太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再生可能エネルギーを用いて水電解により製造される「グリーン水素」に注目する。一部の ASEAN 加盟国諸国は化石燃料資源を有し、ブルネイやマレーシアなどでは、化石燃料から製造し、その過程で発生した CO<sub>2</sub> を回収・貯留する「ブルー水素」の国際的なサプライチェーン構築に向けたプロジェクトが進められている。しかし、本研究では、ブルー水素が利用可能な地域においても、次の理由から、ブルー水素を考慮しない。

第一に、グリーン水素はカーボンフットプリントが低いため、世界的に高まっている化石燃料の使用に反対する市場や政治的圧力の影響を受けない。第二に、昨今のエネルギー危機によって、ブルー水素に固有の課題と弱点が明らかになった。ブルー水素とその派生物の価格は、化石燃料の価格変動に影響されるリスクがあるため、昨年に見られたように急騰する可能性がある<sup>3</sup>。再生可能エネルギーの価格は、石油・ガスの市場動向とは無関係に下落しているため、石油・ガスの価格が高騰すれば、グリーン水素の競争力が高くなり、より魅力的な選択肢となるかもしれない。第三に、再生可能エネルギーはより広範な場所に資源が存在するため、どの国もそれらの国内資源を活用することでグリーン水素の輸出国になりうる。ブルー水素は石油・ガスの産出国から輸入されることになるが、グリーン水素のサプライチェーンはより多様化し、従来のエネルギー輸出国を超えて広げることができるため、地域のエネルギー安全保障の向上に寄与する。

---

<sup>3</sup> 例えば、経済産業省・燃料アンモニア・サプライチェーン官民タスクフォース（2022）は、ガス価格が 0.5 米ドル/mmbtu 上昇すると、アンモニア価格が 18 米ドル/t-NH<sub>3</sub> 上昇すると示した。

## 2.2. 方法論

### 2.2.1. 水素需要ポテンシャル

水素は、技術的にはさまざまな用途に使用することができる。しかし、より費用対効果の高いソリューションがある場合に水素を利用することは不合理である。そこで、本分析では、電化による脱炭素化が困難な「hard-to-abate」部門で水素が利用されることを想定した。水素需要ポテンシャルは、電化による脱炭素化が困難なすべての部門がグリーン水素でカバーされると仮定して算定した。産業部門における高温の熱需要、運輸部門における大型車、航空・海上・鉄道輸送を、hard-to-abate な部門として検討した。これまでの研究（ERIA(2019)など）では、発電分野での水素利用を重視しているものもあるが、ASEAN 地域では、再生可能エネルギーのポテンシャルがあるにもかかわらずその導入が進んでいないため、水素発電の前に 2050 年に向けて再生可能エネルギーの導入拡大を優先させるべきだろう。発電部門を再生可能エネルギーによって可能な限り脱炭素化した後に初めて、余剰の再生可能エネルギー由来の電力や未利用・未開発の再生可能エネルギーを水素製造に利用すべきである。したがって、本分析では、発電部門での水素利用は考慮していない。

本分析では、現在の最終エネルギー需要と 2050 年の予測に基づき、以下の方法論によって水素需要ポテンシャルを評価する。

#### (1) 産業部門

- i. IEA (2022b) に基づき、ASEAN 各国の産業部門における 2019 年の最終エネルギー需要を業種別、エネルギー種別に把握する。
- ii. 既往研究 (MRI, 2018) に基づき、化石燃料の総消費量に対する高温 ( $\geq 400^{\circ}\text{C}$ ) 熱需要のシェアを業種ごとに把握する (表 1)。MRI (2018) は日本の産業を分析対象としているが、本分析では、日本の各業種のエネルギー消費構造が ASEAN 各国にもあてはまるものと仮定する。

- iii. 各業種における化石燃料の総消費量に上記の業種別の高温熱需要シェアを乗じることで、水素需要ポテンシャルを推計する。なお、熱需要には加熱（バーナー）と蒸気（ボイラー）があるが、化石燃料を用いるバーナー／ボイラーと水素バーナー／ボイラーの変換効率は同じと仮定する。

表 1. 化石燃料消費における熱需要（ $\geq 400^{\circ}\text{C}$ ）の割合（業種別）

鉄鋼	98%
化学・石油化学	33%
非鉄金属	98%
非金属鉱物	92%
交通設備	44%
機械	44%
食用・タバコ	12%
紙パルプ・印刷	58%
木材・木材製品	58%
繊維・皮製品	5%
その他	44%

出所: MRI (2018)

## (2) 運輸部門

- i. IEA (2022b) に基づき、ASEAN 各国の 2019 年の最終エネルギー需要を輸送手段別に把握する。
- ii. 道路運輸については、小型車は現在ガソリンと LPG を燃料とし、バッテリー電気自動車 (BEV) への転換対象とし、今回の分析の対象外とする。大型車はディーゼルを燃料としていると想定し、大型トラックやバスは、走行距離と積載量の観点から燃料電池自動車 (FCEV) への置換対象とする。
- iii. 同様に、航空・海上・鉄道輸送に使用されるすべての燃料は、潜在的に水素で代替される可能性がある。ただし、これらの輸送手段では、水素から製造される合成燃料 (e-fuel) が選択される可能性があることに留意する必要がある。

- iv. 燃料電池トラック・バスの燃費は、車種・容量により異なるため、ディーゼル車と比較して大きくも小さくもなりうる。したがって、FCEV とディーゼル車では同じ燃費を想定している。航空輸送、海上輸送、鉄道輸送についても、同様の仮定を置いている<sup>4</sup>。

上記の手法に基づき、2019 年の産業部門と運輸部門における水素需要ポテンシャルを推計した。2050 年の水素需要ポテンシャルは、2019 年の水素需要ポテンシャルに、ERIA（2021）で予測された 2050 年の ASEAN 地域の産業・運輸部門の最終エネルギー消費量の 2019 年の消費量に対する比率を乗じることで推計した。また、現在実用化されている低炭素技術が普及した後に水素が導入されると仮定し、BAU（business-as-usual）ではなく、低炭素技術の普及が進むと予測する APS（Alternative Policy Scenario）に基づき試算した。

### 2.2.2. 水素供給ポテンシャル

ASEAN 地域では、再生可能エネルギーによる発電の普及拡大が優先されるべきであるという前提に立ち、再生可能エネルギー由来の電力は、まず化石燃料による火力発電の代替として使われ、その上で、未開発の再生可能エネルギーを水素製造に利用されると仮定して、水素の供給ポテンシャルを評価した。評価にあたっては、以下の方法論を用いた。

---

4 従来型ディーゼルバスやディーゼルトラックの燃費は、それぞれ 3.6~9.1MJ/km と 3.6~19MJ/km（国土交通省資料より筆者推定；[https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha\\_fr10\\_000044.html](https://www.mlit.go.jp/jidosha/jidosha_fr10_000044.html)）、FCEV は 9MJ/km（7.5kg-H<sub>2</sub>/100km（水素 LHV：120MJ/kg）より換算；データ元：Hydrogen Europe "Green Hydrogen Investment Support" P.26, [https://profadvanwijk.com/wp-content/uploads/2020/05/Hydrogen-Europe\\_Green-Hydrogen-Recovery-Report\\_final.pdf](https://profadvanwijk.com/wp-content/uploads/2020/05/Hydrogen-Europe_Green-Hydrogen-Recovery-Report_final.pdf)）である。より詳細な評価を行うには、効率が車種ごとに異なることを考慮する必要がある。

- i. ASEAN 各国の再生可能エネルギーの導入ポテンシャル（潜在的な設備容量）<sup>5</sup>を、既往研究（ERIA, 2021; IRENA & ACE, 2022）から把握し、設備利用率（IRENA Data & Statistics 等に基づく）から再生可能エネルギーのポテンシャル（潜在的な発電量）を算出する。
- ii. 水素供給ポテンシャルは、再生可能エネルギーのポテンシャル（TWh）から、①2050年の総発電量と、②2050年時点の化石燃料最終消費量のうち電化可能な用途は全て電化されることを考慮した、追加的に発生する発電量（すなわち、化石燃料の最終消費から水素で代替可能なもの（上記で推定した産業・運輸部門の水素需要ポテンシャル）を差し引いたもの）を除いて残った再生可能エネルギーの発電量を基に推定する。2050年の最終エネルギー消費量は、ERIA（2021）のAPS予測による。実際には、電源の脱炭素に向けては炭素回収・貯留（CCS）付き火力発電等が発電量の一部を占めると考えられるため、全発電量を再生可能エネルギーで賄うと仮定して推計した水素供給ポテンシャルは保守的な見積りとなる。化石燃料消費の代替に必要な電力量は、所与の変換効率を用いて計算する<sup>6</sup>。電気分解からの水素製造電力消費原単位は  $4.5 \text{ kWh/Nm}^3\text{-H}_2=50.4 \text{ kWh/kg-H}_2$  とする。
- iii. なお、再生可能エネルギーの時間単位の出力変動は考慮していないことに留意されたい。

## 3. 分析結果

### 3.1. ASEAN 加盟国の気候および水素に関する政策

---

<sup>5</sup> ここでは「ポテンシャル」とは、再生可能エネルギーの理論的なポテンシャルに技術特性や土地の利用可能性などの制約を加味した技術的なポテンシャルを指す。経済的な検討は行っていない。考慮された制約の詳細は、論文によって異なる。

<sup>6</sup> 産業部門及び家庭分野では、化石燃料を使用する機器のエネルギー効率を80%、電気機器のエネルギー効率を90%とした。運輸部門では、従来型自動車と電気自動車の効率をそれぞれ0.5km/MJと2.8km/MJと想定した。

### 3.1.1. 気候関連政策の概観

ASEAN 地域では、ほとんどの国が 2050 年頃にカーボンニュートラルを達成するという野心を表明しているが、その目標達成に向けて多くの課題に直面している。カーボンニュートラルの目標は、国別貢献（NDC）によって支えられており、その多くはこの 2 年間に更新されている。インドネシア、フィリピン、タイ、ベトナムは、先進国からの十分な支援があれば達成可能な、より野心的な条件付き目標も盛り込んでいる。

石炭火力発電所を持たないシンガポールとブルネイに加え、ベトナムも 2040 年代までに石炭を廃止することを約束している。カンボジア、インドネシア、フィリピンも新規の石炭火力発電所建設に投資しないことを表明している。これらの国は、天然ガスを増やし、長期的には再生可能エネルギーを導入拡大する計画である。（ASEAN 地域のカーボンニュートラル目標、温室効果ガス削減目標、脱石炭政策について、Appendix 1 を参照。）

### 3.1.2. 再生可能エネルギーの導入目標

図 1 に、ASEAN の各加盟国一次エネルギー供給の構成を示す。ミャンマーを除くすべての国が化石燃料に大きく依存している。すべての国において、バイオマス発電が再生可能エネルギーの大部分を占める。インドネシアとフィリピンは、地熱発電も導入している（一次エネルギー供給のそれぞれ 8%と 16%を占める）。現在、太陽光発電と風力発電は、どの国においても 1%未満である。

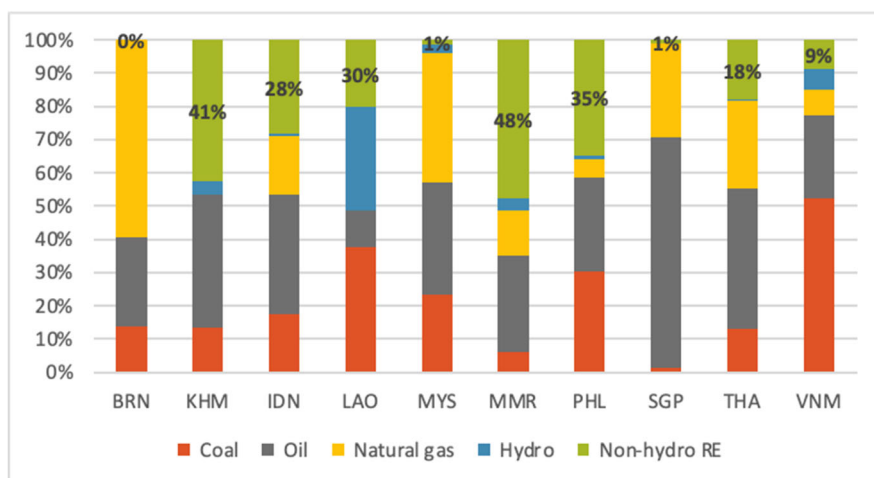


図 1. ASEAN 加盟国の一次エネルギー供給の構成 (2020)



出所：IEA (2022b)に基づき筆者作成

注:

- 1) 図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。
- 2) 図中の％は、一次エネルギー供給に占める水力以外の再生可能エネルギーの割合を示す。

全ての ASEAN 加盟国が再生可能エネルギーの導入拡大に向けて目標を設定している（各国の再生可能エネルギー導入目標については Appendix 2 を参照）。一部の国では、エネルギー計画の更新に伴い目標を見直し、より野心的な目標を採択している。ほとんどの国は、目標達成のために太陽光発電の大規模な導入に大きく依存することになる。インドネシア、フィリピン、ベトナムは、長期的に洋上風力発電の導入も目指す。

### 3.1.3. 水素関連政策とロードマップ

水素は、多くの国のエネルギー開発計画において、脱炭素社会を支える有望な新技術として言及されているが、水素戦略を策定しているのはシンガポールのみである。一部の国は、水素戦略やロードマップを策定中である。インドネシアの「国家エネルギー計画（RUEN）」は、水素開発のためのアクションプランを含む。マレーシアの「国家エネルギー政策 2022-2040」は、水素ロードマップ、水素国家戦略、並びに関連規制を策定するための取組みを示す。また、長期的（2031-2040年）には、サラワク州に国際競争力のある水素エネルギーハブを構築することを目指す。ブルネイは、日本やシンガポールなどのアジア諸国と水素サプライチェーン構築の協力に関する覚書を締結している。また、民間企業による水素に関する調査や実証プロジェクトも進められている（各国の水素関連政策について Appendix 3 を参照）。

## 3.2. ASEAN 各国の産業部門や運輸部門で脱炭素化が困難な分野における水素の役割

水素は、原料、エネルギーキャリア、貯蔵手段として利用できるため、多くの部門の脱炭素化の鍵となることが期待されている。また、燃料として、a) 運輸部門の燃料電池車、b) 発電（水素と天然ガスまたはアンモニアと石炭の混焼や専焼）、c) 産業部門のボイラーや加熱炉等で利用できる。

本研究では、電化による脱炭素化が困難な産業プロセスや運輸における水素利用に着目し、電力部門での水素利用については、再生可能エネルギーによる発電が優先されることを想定し、考慮しない。なお、工業用原料として利用されている既存のグレー水素をグリーン水素で置換することは検討していない。

### 3.2.1. 産業部門における水素需要ポテンシャル

図 2 に産業部門の国別水素需要ポテンシャルを示す。ASEAN 各国では、省エネが進む一方で、経済成長により 2050 年の産業部門のエネルギー消費量が大きく増加するため、水素需要ポテンシャルも大きくなる。国別ではインドネシアの水素需要ポテンシャルが目立って大きく、2050 年に 62Mtoe となる。次いで、ベトナム（39Mtoe）、タイ（22 Mtoe）、マレーシア（12Mtoe）の水素需要ポテンシャルが大きい。ASEAN 全体では水素需要ポテンシャルが 152Mtoe であり、産業部門全体の最終エネルギー消費量の 40%を占める。

業種別ではセメントの需要ポテンシャルが最も大きく、鉄鋼が次に大きい。鉄鋼の水素需要ポテンシャルとしては、高温熱需要の他に、従来のコークスを用いて鉄鉱石を還元する高炉法から水素による直接還元法（DRI）への転換による水素需要も考えられる。しかし、ASEAN 地域において将来的に高炉が導入される可能性はあるものの、現在の製鉄は電炉が主流であることから、本研究では、還元剤としての水素需要は検討しないこととした。セメントと鉄鋼における水素需要ポテンシャルもインドネシア、ベトナム、タイが大きい。

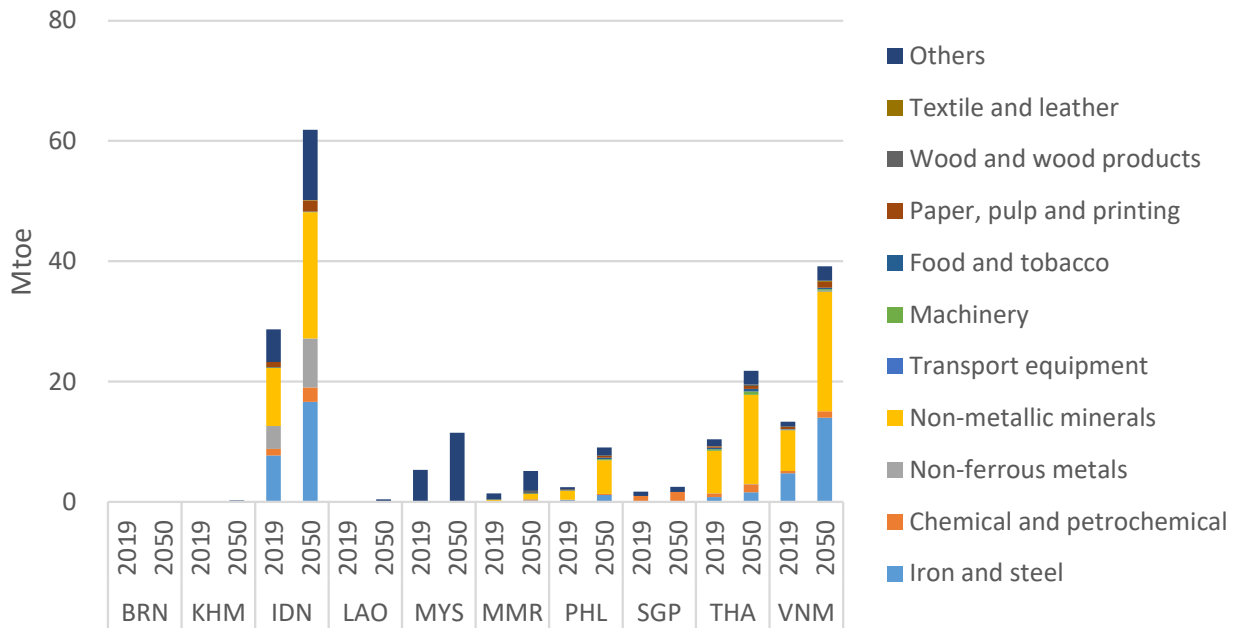


図 2. 産業部門における水素需要ポテンシャル (2019 年、2050 年)

注:

図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。

### 3.2.2. 運輸部門における水素需要ポテンシャル

図 3 に運輸部門の国別水素需要ポテンシャルを示す。経済成長により 2050 年の運輸部門のエネルギー消費量が大きく増加することによって水素需要ポテンシャルも大きくなる。国別では人口の多いインドネシアが非常に大きく 2050 年の水素需要ポテンシャルは 73Mtoe となる。次いで、ベトナムは 29Mtoe、マレーシアは 21Mtoe、フィリピンは 19Mtoe、タイは 12Mtoe となっている。ASEAN 全体では 166Mtoe であり、運輸部門全体の最終エネルギー消費量の 44% を占める。輸送モード別では自動車は全体の約 8 割強を占める。

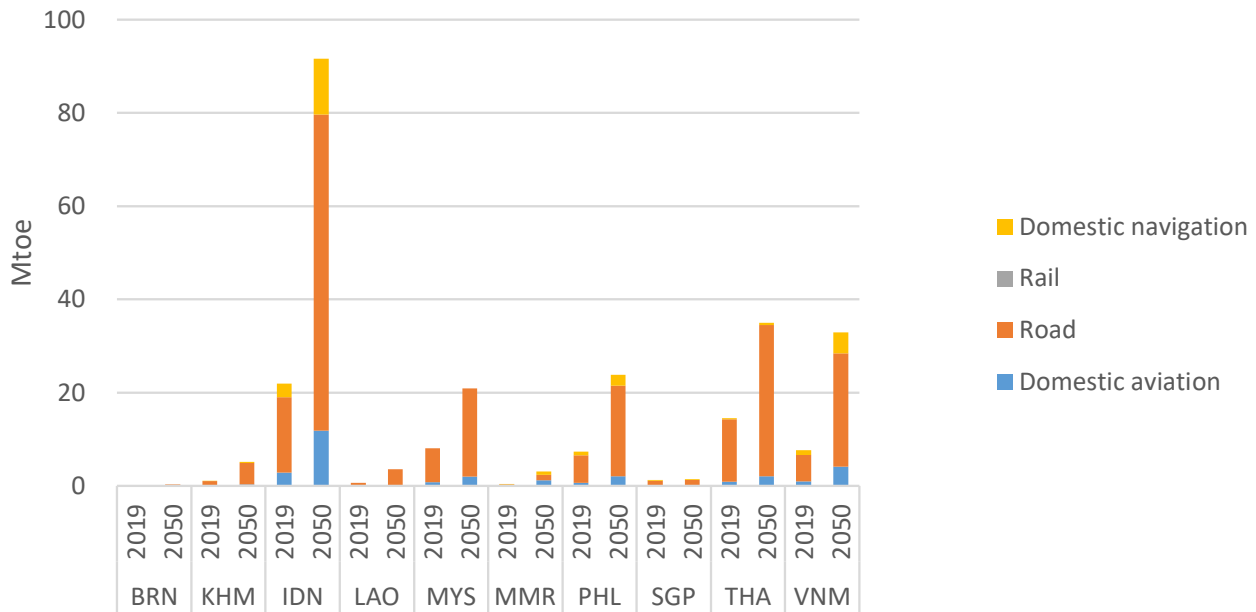


図 3. 運輸部門における水素需要ポテンシャル（2019 年、2050 年）

注：

図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。

### 3.3. 水素供給ポテンシャル

図 4 に再生可能エネルギーのポテンシャルと 2050 年の総発電量を比較する。再生可能エネルギーのポテンシャルの RE P1 は ERIA 2021、RE P2 は IRENA & ACE 2022 に基づくものであり、太陽光、陸上風力、洋上風力、バイオマス、水力、地熱を対象としている。ERIA 2020 の 2050 年の総発電量と 2050 年以降の電化需要に対応するために必要な発電電力量（図中の PG 2050）の全てを再生可能エネルギーで賄うと仮定した場合でも、多くの国で再生可能エネルギーのポテンシャルは総発電量を上回ることから、未開発の再生可能エネルギーを水素製造に利用できることがわかる。特に、カンボジア、インドネシア、ラオス、ミャンマー、タイ、ベトナムの水素製造ポテンシャルが大きいことがわかる。

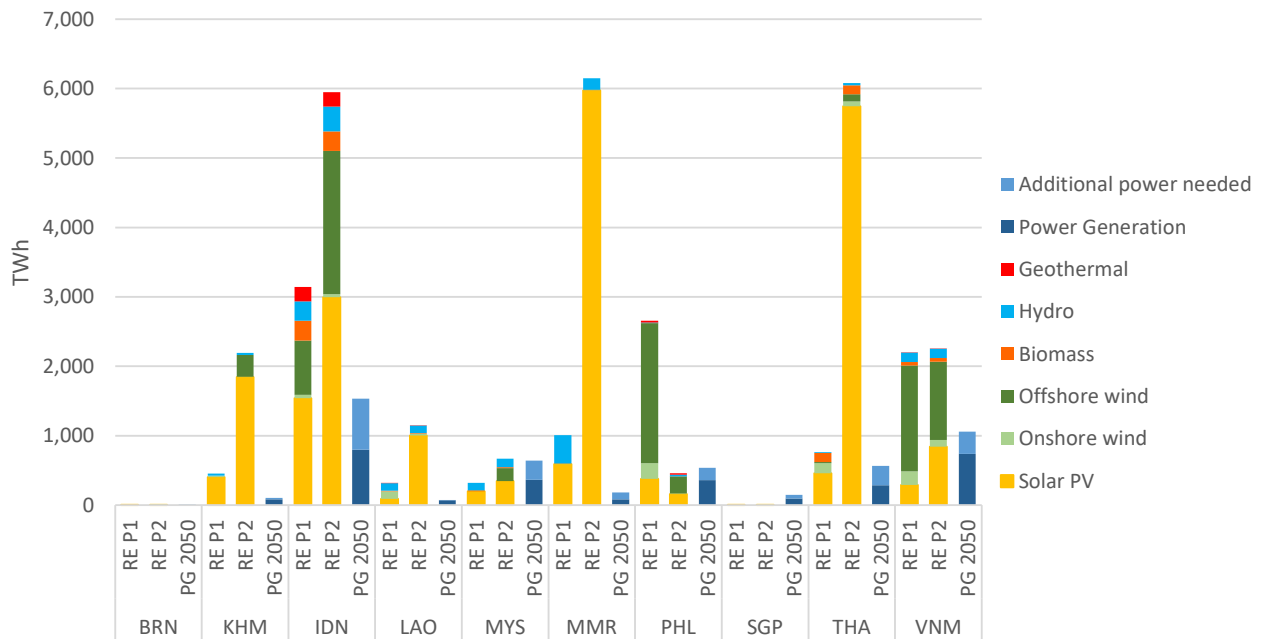


図 4.総発電電力量と再生可能エネルギーのポテンシャルの比較

注:

- 1) 図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。
- 2) Power generation (発電)は、ERIA(2021)のAPSに基づく2050年の発電量を示す。Additional power needed (追加的に必要な電力)、2050年以降の電化の進展によって起こる新しい電力需要を示す。これは、2050年に残存する化石燃料の消費量のうち電化が可能な分を基に推計した。
- 3) ASEAN地域では、太陽光発電が再生可能エネルギーの大きな割合を占めるようになる。太陽光発電は日中しか利用できないため、水電解装置の稼働率が低く、水素製造コストが高くなることが予想される。しかし、水電解装置のコストが十分に下がれば、大きな課題ではなくなる。

ASEAN全体では2050年の総発電電力量が2,900TWh、2050年以降の電化需要に対応するために必要な発電電力量が2,000TWh、合計4,900TWhであるのに対して、再生可能エネルギーのポテンシャルは11,000~25,000TWhであることから、6,000~20,000TWhの再生可能エネルギーがグリーン水素製造に利用できる。

グリーン水素の製造ポテンシャルは、特にカンボジア、インドネシア、ラオス、ミャンマー、タイ、ベトナムで大きい。

## 4. 結論

### 4.1. 域内需要の充足

第 3 章の分析をもとに、2050 年の水素需要ポテンシャルを水素供給ポテンシャルで満たすことができるかどうかを確認した（図 5）。水素の需要ポテンシャル、供給ポテンシャル共に少ないマレーシア、ブルネイ、シンガポールを除くすべての国において、楽観的な水素供給ポテンシャルが水素需要ポテンシャルを上回る。ミャンマーとタイは、供給ポテンシャルが需要ポテンシャルを大きく上回る。ASEAN 地域全体では、2050 年に水素の需要ポテンシャルの 3 倍の供給ポテンシャルを有する。

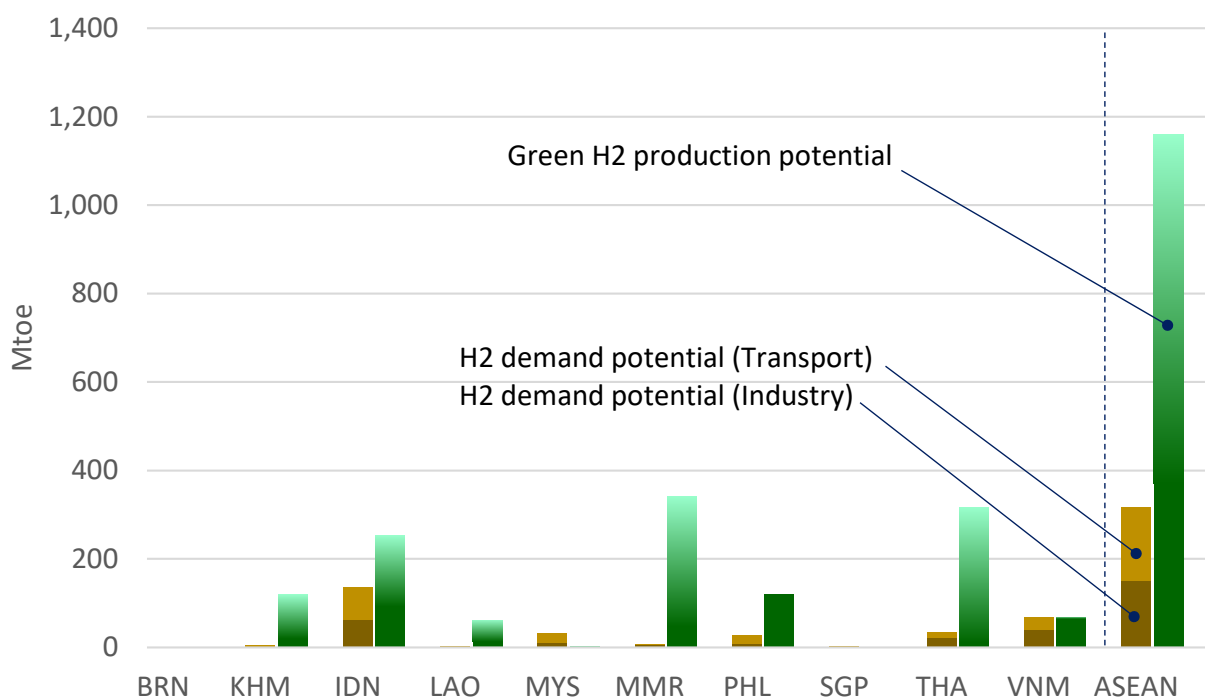


図 5. グリーン水素の需給ポテンシャルの比較 (2050)

注:

図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。

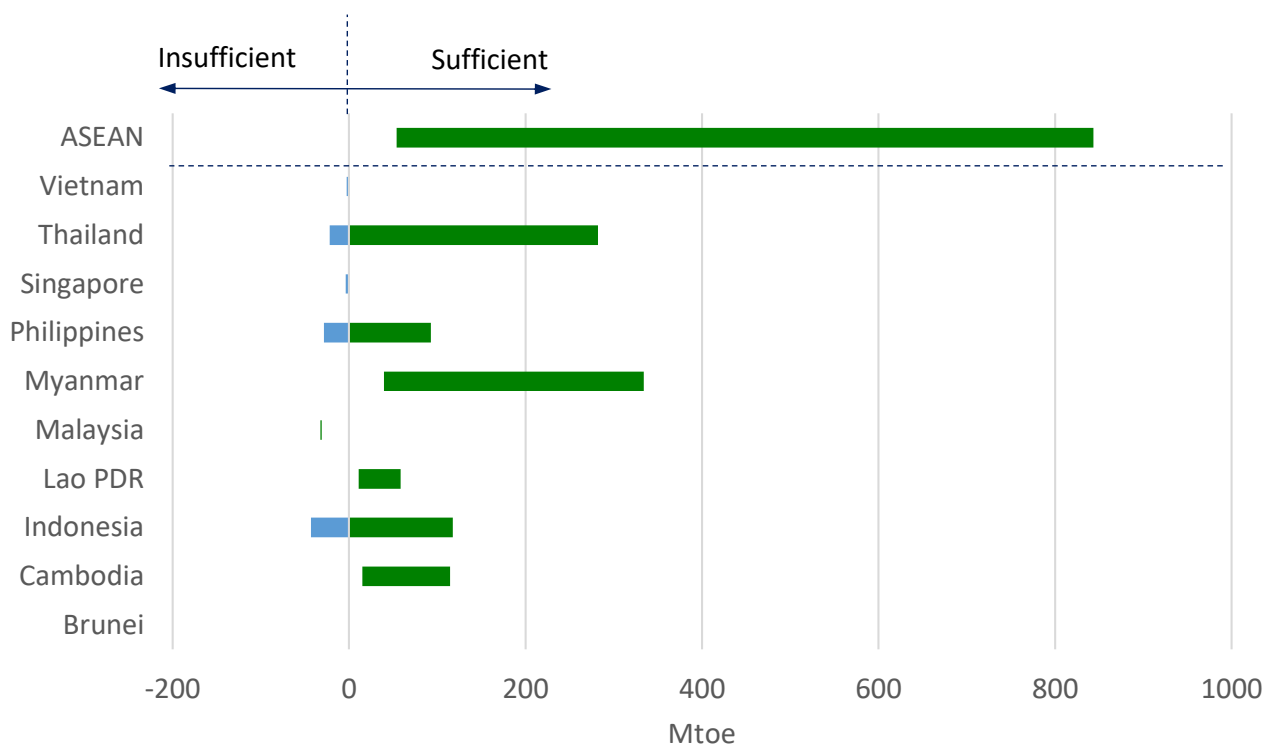


図 6. グリーン水素の供給ポテンシャルの過不足 (2050)

注:

1) 図中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。

図 6 は、国別の 2050 年における水素供給ポテンシャルの過不足を示す。ミャンマー、ラオス、カンボジアは、国内需要を十分に満たしうる水素供給が可能である。一方、ブルネイ、マレーシア、シンガポール、ベトナムでは需要が供給を上回る。タイ、フィリピン、インドネシアでは、水素供給ポテンシャルが十分に開発されない場合に、国内供給量が不足する可能性がある。



ASEAN 地域全体では、54～843Mtoe の余剰グリーン水素がある<sup>7</sup>。したがって、最も悲観的なケース（54Mtoe の余剰グリーン水素）でも、ASEAN 地域全体の水素需要を満たすに十分なグリーン水素の供給ポテンシャルがある。したがって、グリーン水素を域内で融通すれば、地域資源を利用して、地域全体における hard-to-abate 部門の脱炭素化を実現しうる。

グリーン水素の製造によって ASEAN 地域の地政学が変わる可能性がある。ミャンマー、ラオス、カンボジアといった低所得国には、この地域のエネルギー供給源にこの地域のエネルギー供給国となる機会が訪れる。しかし、ASEAN のほとんどの加盟国において、国家水素戦略は策定されておらず、水素は国家のエネルギー計画にも登場しない。さらに、この地域の再生可能エネルギーのポテンシャルを最大限に活用するためには、さまざまな課題がある。例えば、資金援助や資金調達スキームの不足、経験不足や規制枠組みの不在、政府機関間の調整不足のほか、再生可能エネルギーの大規模な系統接続に必要な系統増強のニーズが高いなど、インフラが追いついていないことなどが挙げられる。また、各国の電力開発計画や再生可能エネルギー導入目標も、そのポテンシャルから大きく乖離している。したがって、ポテンシャルを最大限に活用するためには政策的措置が必要である。

表 2. 再生可能エネルギーの導入目標とポテンシャルの比較 (GW)

	再生可能エネルギー導入目標	供給ポテンシャル(RE P1)
<b>IDN</b>	552 GW (2060) (National Grand Energy Strategy 案)	1,884 GW
<b>MYS</b>	18 GW (2035) (MyRER)	225 GW
<b>PHL</b>	61 GW (2040)	963 GW

<sup>7</sup> 本分析が 2050 年以降の経済成長を考慮していないことに留意されたい。エネルギー消費量が経済成長とともに増加する際、水素製造に利用可能な未開発の再生可能エネルギーは減少する。

	(NREP 2020-2040)	
<b>THA</b>	19 GW (2037) (AEDP 2018)	378 GW

出所：各種文献を基に筆者により作成

注:

- 1) 図中で使用する国コードは次の通り。IDN：インドネシア、MYS：マレーシア、PHL：フィリピン、THA：タイ。
- 2) 各国の再生可能エネルギー導入目標を最も悲観的なシナリオの場合の再生可能エネルギーのポテンシャルと比較する。インドネシアの再生可能エネルギー導入目標は国家エネルギー計画（National Grand Energy Strategy）案<sup>8</sup>、マレーシアはマレーシア再生可能エネルギーロードマップ（Malaysia Renewable Energy Roadmap）、フィリピンは国家再生可能エネルギー計画 2020-2040（National Renewable Energy Plan 2020-2040）、タイは代替エネルギー開発計画 2018 に基づく。ベトナムは、2023 年 1 月 31 日現在新しい電源開発計画(PDP8)が未公表のため表に含めない。

## 4.2. ASEAN 地域外へのグリーン水素の輸出

ASEAN 全体では、54～843 Mtoe の余剰グリーン水素のポテンシャルがあり、それは約 20～300 Mt-H<sub>2</sub> に相当する。これは、同地域がグリーン水素の供給者となりうることを意味する。

日本は 2030 年に 300 万トン、2050 年に 2,000 万トンの水素を導入することを目標としているが、ASEAN 地域は日本にとってグリーン水素の主要供給国となる可能性を持っている。ASEAN 地域は日本に近く、この地域からのグリーン水素の輸入は日本のエネルギー輸入の多様化に寄与し、エネルギー安全保障に貢献する。

---

<sup>8</sup> MEMR (February 4, 2022, プレスリリース) “Indonesia to Introduce Grand Energy Strategy during G20 2022” <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/pemerintah-kenalkan-gsen-pada-presidensi-g20-indonesia>

また、シンガポールが世界的に重要なバンカリングハブである点も考慮すべきだろう。シンガポールは世界有数のバンカリングハブとして、2021年には約5,000万トンの船舶用バンカー燃料を供給している<sup>9</sup>。国際海事機関（IMO）<sup>10</sup>を中心に船舶用燃料の低炭素化が求められる中、グリーン水素は船舶用燃料の脱炭素化において重要な役割を果たす。シンガポール海事港湾庁（Maritime and Port Authority of Singapore）は、世界の海運業界のバンカリングのニーズに応えるため、様々な低炭素・ゼロ炭素燃料ソリューションの提供を目指す（MPA, 2022）。MPAは、水素とそのキャリア（アンモニア、eメタノールを含む）、およびバイオLNGが、中長期的に国際海運の脱炭素化において重要な役割を果たす可能性があると期待する。グリーン水素の余剰供給量（約50～840Mtoe）をe-fuelに転換すれば、約40～600Mtoe<sup>11</sup>のe-fuelを供給することが可能である。シンガポールのバンカーオイルの全販売量を賄う量のe-fuelを域内で製造することはできないが、ASEAN地域全体から域内で製造されたe-fuelをシンガポールに集めることは可能である。これは、ASEAN地域に大きなビジネスチャンスをもたらす可能性がある。

---

<sup>9</sup> Maritime and Port Authority of Singapore (n.d) Bunkering Statistics <https://www.mpa.gov.sg/port-marine-ops/marine-services/bunkering/bunkering-statistics>

<sup>10</sup> IMOは炭素原単位（輸送量当たり排出量）を2030年までに40%以上、2050年までに70%削減することを目指す。

<sup>11</sup> 70%の変換効率を仮定。

## 5. ASEAN 地域におけるグリーン水素ポテンシャルの活用に関する提言

### 5.1. 域内グリーン水素サプライチェーンの構築

ASEAN 地域は、2050 年に予測される発電量を大幅に上回る再生可能エネルギーの導入ポテンシャルを有する。この余剰の再生可能エネルギーのポテンシャルを水素製造に活用することで、同地域の hard-to-abate の産業部門や輸送部門の脱炭素化に寄与することができる。

しかし、ASEAN 加盟国の中には、国内水素需要を十分に賄える水素供給ポテンシャルを有する国もあれば、水素の供給量が不足する国もある。また、水素の需要地は、必ずしも生産拠点に近いとは限らないため、新たな国際サプライチェーンやネットワークの構築が必要となる。域内のサプライチェーンと流通網を構築することで、すべての ASEAN 各国がグリーン水素を利用できるようになる。

ASEAN 域内で製造されるグリーン水素は、世界の他の地域で製造される水素と比較して、必ずしもコスト競争力のある選択肢とは言えないかもしれない。IEEJ (2021) などは水素の輸出国から輸入国までの距離が水素のコストには大きく影響しないことを指摘しているが、ASEAN 域外からの水素輸入量を少なく抑えることは、域内のエネルギー安全保障の強化に寄与する。また、域内で生産することで、水素を活用した経済成長も可能になる。

しかし、域内のグリーン水素サプライチェーンの構築には多くの課題がある。まず、域内でどの水素キャリアや流通形態が望ましいかを検討する必要がある。現在、液化水素、メチルシクロヘキサン (MCH)、アンモニア、e-メタンなど、さまざまな水素キャリアについて世界中に多くの研究が行われている。各キャリアのメリットとデメリットを、コスト、インフラの利用可能性、最終利用などのさまざまな要因に照らして、慎重に検討する必要がある。

グリーン水素をどこで製造するかも重要になる。すなわち、再生可能エネルギー発電設備の近くで水素を製造し、パイプライン、ローリーまたは船で輸送するか、あるいは再生可能エネルギー由来の電力を国際送電線によって輸送し、いわゆる水素ハブで（理想的には港付近で）水素を製造するか、どちらの方がコスト効率的かという視点が求められる。IRENA (2020a)によると、最適な送

電線の建設は難しくコストがかかるため、水素キャリアによる輸送の可能性もある。これは、ASEAN 地域のグリーン水素市場の発展にも寄与する。

これらの意思決定は、出荷港、受入港、貯蔵施設などのインフラが、域内で望まれる水素キャリアと一致するように、域内全体の合意のもとで行われることが重要である。現在、水素やその派生物は主に石油精製、肥料、石油化学産業で使用されており、既存の法律や規制、あるいはそれらが未整備であることが、インフラ整備や水素とその派生物を取り扱うこと自体の障壁になる可能性がある。グリーン水素市場の発展に伴い、輸出国と輸入国の間にミスマッチが生じないよう、域内各国に共通の水素認証スキームも不可欠となるであろう。

多くの日本企業が、多様な水素キャリアを利用した水素の商用サプライチェーンの開発に先進的に取り組んでいる。日本への水素の国際海上輸送に成功し<sup>12</sup>、現在、その技術のスケールアップに取り組む。日本には 80 年以上にわたって水素を取り扱っており、国内の液体水素の流通ネットワークが確立されている。日本は、インフラ、輸送・貯蔵技術、法規制、安全基準などにおける経験の共有によって、ASEAN 地域の水素市場の発展に貢献できる。

## 5.2. 再生可能エネルギーの導入拡大のさらなる推進

グリーン水素が脱炭素社会の実現に向けた現実的かつ最適なソリューションとなるためには、その製造に用いられる再生可能エネルギーが、より効率的な諸用途に必要な電力として利用した上で、未利用であることが重要となる。すなわち、再生可能エネルギー由来の電力として直接利用するこ

---

<sup>12</sup> 技術研究組合 CO2 フリー水素サプライチェーン推進機構 HySTRA (<https://www.hystra.or.jp>)は、豪州ラトロブバレーで褐炭ガス化・水素精製し、日本に液化水素の形で海上輸送できることを実証した。次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合 AHEAD (<https://www.ahead.or.jp/jp/>) は、水素をトルエンに付加し MCH に転換する「有機ケミカルハイドライド法」によってブルネイから日本に水素を輸送する国際水素サプライチェーンの実証に成功した。

とで、二酸化炭素排出量を削減できる部門の脱炭素化に、再生可能エネルギーを最大限に活用することが最優先されるべきである。したがって、グリーン水素の製造に必要な再生可能エネルギー由来の電力を確保するためにも、まずは再生可能エネルギー資源の開発に投資するべきである。

そのためには、各国で再生可能エネルギーの大量導入に向けた政策が不可欠である。政策の後押しがあれば、再生可能エネルギーの発電コストを下げることができ、ひいては発電コストが大きな割合を占めるグリーン水素の製造コストをも下げることができる（IEEJ, 2021）。

ASEAN 地域における再生可能エネルギーの導入拡大の阻害要因のひとつに、化石燃料補助金が挙げられる。多くの ASEAN 諸国は、一般市民が化石燃料を安価に利用できるように補助金を支給してきた<sup>13</sup>。再生可能エネルギーに比べて化石燃料のコストを低くする効果があれば、これらの補助金によって、化石燃料の方が、見かけではコスト優位性を持つことになる（Bridles & Lucy, 2014）。化石燃料に配分された公的資金は、再生可能エネルギーに投資されるべきである。その後、グリーン水素が普及すれば、グリーン水素由来の燃料を使用した自動車の使用を奨励する政策措置を導入することができるだろう。

また、ASEAN 諸国では、太陽光発電や風力発電などの変動再生可能エネルギーの導入拡大に向けて電力システムの強化を進める必要がある。

既存の石炭火力発電所でのアンモニアの混焼に関する議論が続く中、本分析では同技術を考慮していない。それは、水電解によって水素を製造し、それをアンモニアに転換して石炭火力発電所で使用するプロセスでは、エネルギー効率が全体で 20～30%まで低下するためである。

---

<sup>13</sup> 2021 年には、ブルネイ、インドネシア、マレーシア、タイ、ベトナムは化石燃料補助金を導入していた。GDP に対する補助金の割合は、それぞれ 1.5%、2.7%、1.0%、0.6%、2.3%であった。インドネシア、マレーシア、タイは、化石燃料補助金を改正し、運輸部門の化石燃料に対する補助金を廃止している。（IEA, 2022a）

なお、本研究ではグリーン水素の経済性分析は行っていない。2050年の同地域の水素のコストは、他地域や他国に比べて競争力がなく（IRENA, 2022b）<sup>14</sup>、域外からグリーン水素を輸入した方が費用対効果が高くなるとの見方もある。しかし、水素の地産地消は、域内のエネルギー安全保障に資する。日本は、ASEAN 諸国との水素関連技術開発における協力を通じて、域内の水素市場の構築と発展において重要な役割を果たし、さらにはコストの低下に寄与することができる。

### 5.3. ASEAN 地域でのグリーン水素開発における日本の役割

ASEAN 地域の再生可能エネルギー開発には、日本の官民両部門が大きく貢献しうる。再生可能エネルギー市場がまだ十分に整備されていない国もあるため、再生可能エネルギービジネス、ひいては水素ビジネスの環境整備において先行者利益を享受できる可能性がある。これまで日本が主導してきた海外での水素関連技術開発は、国際水素サプライチェーンの中でも水素キャリアや水素の利用に注目しがちであった。グリーン水素サプライチェーンの上流つまり再生可能エネルギーや水電解を含む水素製造に対する投資や政府支援の強化は、ASEAN 地域の電力セクターの脱炭素化を加速させるだけでなく、日本の関係者に対して、グリーン水素製造に向けた再生可能エネルギー由来の電力の利用を容易にする。また、ASEAN 地域は他の潜在的な輸出国に比べて日本に近いため、エネルギー安全保障の観点からも優位である。

2023年は「日本・ASEAN 友好協力 50 周年」にあたる。日本は長年にわたり、ASEAN 諸国のエネルギー移行を支援するための多くの協力枠組みを構築してきた。これらの枠組みの下で、日本は、地域固有の事情やニーズを考慮した、野心的でありながら実現可能な脱炭素化政策の設計を支援しうる。このような支援には、技術的・資金的な支援だけでなく、地域の課題や解決策を明らかにす

---

<sup>14</sup> ASEAN 地域における需給分析に基づく水素の平準化コスト（LCOH）は、2050年に推定される水素需要に基づき USD2.0 と推定される。このコスト水準は、分析対象となった国・地域の中で、ウクライナ、日本、韓国に次いで高い。

るための調査、それらに基づくマスタープランの策定支援、ステークホルダーとの対話の実施などが含まれる。



## 参考文献

- Bridle, Richard and Lucy Kitson (2014). The Impact of Fossil-Fuel Subsidies on Renewable Electricity Generation. International Institute for Sustainable Development. Retrieved on December 19, 2022 from <https://www.iisd.org/system/files/publications/impact-fossil-fuel-subsidies-renewable-electricity-generation.pdf>
- ERIA (2018). *Demand and Supply Potential of Hydrogen Energy in East Asia*. ERIA Research Project Report 2018, No. 01.. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. Retrieved on December 19, 2022 from <https://www.eria.org/publications/demand-and-supply-potential-of-hydrogen-energy-in-east-asia/>
- ERIA (2021). *Outlook and Energy Saving Potential in East Asia 2020*. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. Retrieved on December 19, 2022 from <https://www.eria.org/uploads/media/Books/2021-Energy-Outlook-and-Saving-Potential-East-Asia-2020/Energy-Outlook-and-Saving-Potential-East-Asia-2020-1504.pdf>
- ERIA (2022). *Decarbonisation of ASEAN Energy Systems: Optimum Technology Selection Model Analysis up to 2060*. ERIA Research Project Report 2022 No. 05. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia. Retrieved on December 19, 2022 from <https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/RPR-2022-05/Decarbonisation-of-ASEAN-Energy-Systems-Optimum-Technology-Selection-Model-Analysis-up-to-2060-NEW.pdf>
- IEA (2022a). Fossil Fuel Subsidies Database. <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-product/fossil-fuel-subsidies-database#>)
- IEA (2022b). *World Energy Statistics 2022*. International Energy Agency
- IEEJ (2021) 「グリーン水素国際サプライチェーンの経済性に関する分析」  
<https://eneken.ieej.or.jp/data/9898.pdf>
- IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University

Press, Retrieved on December 19, 2022 from

[https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_FullReport\\_small.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_FullReport_small.pdf)

IRENA (n.d.) Data and Statistics. Retrieved on December 19, 2022 from <https://www.irena.org/Data>

IRENA (2022a). *Global hydrogen trade to meet the 1.5° C climate goal: Part I – Trade outlook for 2050 and way forward*, International Renewable Energy Agency. Retrieved on December 19, 2022 from

[https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA\\_Global\\_hydrogen\\_trade\\_part\\_1\\_2022\\_.pdf](/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Global_hydrogen_trade_part_1_2022_.pdf)

IRENA (2022b). *Global hydrogen trade to meet the 1.5° C climate goal: Part III – Green hydrogen cost and potential*, International Renewable Energy Agency. Retrieved on December 19, 2022 from

[https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA\\_Global\\_Hydrogen\\_Trade\\_Costs\\_2022.pdf?rev=00ea390b555046118cfe4c448b2a29dc](/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/May/IRENA_Global_Hydrogen_Trade_Costs_2022.pdf?rev=00ea390b555046118cfe4c448b2a29dc)

IRENA & ACE (2022). *Renewable energy outlook for ASEAN: Towards a regional energy transition (2<sup>nd</sup> ed.)*. International Renewable Energy Agency & ASEAN Centre for Energy. Retrieved on December 19, 2022 from [https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA\\_Renewable\\_energy\\_outlook\\_ASEAN\\_2022.pdf?rev=ef7557c64c3b4750be08f9590601634c](/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_outlook_ASEAN_2022.pdf?rev=ef7557c64c3b4750be08f9590601634c)

Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) (n.d). Bunkering Statistics

<https://www.mpa.gov.sg/port-marine-ops/marine-services/bunkering/bunkering-statistics>

Maritime and Port Authority of Singapore (MPA) (2022). *Maritime Singapore Decarbonisation Blueprint: Working Towards 2050*, Retrieved on December 19, 2022 from

<https://wwwcdn.imo.org/localresources/en/OurWork/Environment/Documents/Air%20pollution/Maritime%20Singapore%20Decarbonisation%20blueprint.pdf>

MRI (2018). Heisei 29 nen Shin-enerugi nado no sokushin no tame no kisho chosa (netsu no jukyu oyobi netsu-kyokyu kiki no tokusei nado ni kansuru chosa) chosa hokokusho (Study report: FY2017 Basic study for the accelerated deployment of new energy (study on heat supply and demand and the characteristics of heat supply equipment)). Mitsubishi Research Institute & Ministry of Economy,

Trade and Industry. Retrieved on December 19, 2022 from

[https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11590486/www.meti.go.jp/meti\\_lib/report/H29FY/000018.pdf](https://warp.da.ndl.go.jp/info:ndljp/pid/11590486/www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000018.pdf)

経済産業省・燃料アンモニア・サプライチェーン官民タスクフォース（2022）「燃料アンモニアの供給コスト分析について（中間とりまとめ）」

[https://www.meti.go.jp/shingikai/energy\\_environment/nenryo\\_anmonia/supply\\_chain\\_tf/pdf/20220928\\_0.pdf](https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/nenryo_anmonia/supply_chain_tf/pdf/20220928_0.pdf)

## APPENDIX 1

### ASEAN 地域における気候関連目標

表 A に各 ASEAN 加盟国のカーボンニュートラル目標年、温室効果ガスの削減目標、脱石炭政策の有無について整理する。

表 A. ASEAN 地域における気候関連目標

国名 <sup>1)</sup>	カーボンニュートラル目標年	2030 GHG 排出削減目標(NDC)				脱石炭政策
		削減目標の種類	条件なし目標	条件付き <sup>2)</sup> 目標	基準年	
BRN	2050	排出量	20%	-	BAU	Yes
KHM	2050	排出量	41.7%	-	BAU	Yes <sup>4)</sup>
IDN	2060	排出量	29%	41%	BAU	Yes <sup>4)</sup>
LAO	2060	その他	60%	-	基準年	No
MYS	2050	炭素原単位	45%	-	2005	Yes <sup>4)</sup>
MMR	2050	その他	245 MtCO <sub>2</sub> の排出削減貢献	-		No
PHL	-	排出量	2.71%	75%	BAU	Yes <sup>4)</sup>
SGP	2050	炭素原単位	36% <sup>4)</sup>	-	2005	Yes
THA	2050 <sup>2)</sup>	排出量	20%	25%	BAU	No
VNM	2050	排出量	9%	27%	BAU	Yes

出所：NDC およびその他資料に基づき筆者作成

注:

- 1) 表中で使用する国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、MMR：ミャンマー、PHL：フィリピン、SGP：シンガポール、THA：タイ、VNM：ベトナム。
- 2) 条件付き目標は国際的な財政支援、技術支援・開発、そして人材育成の有無に依存する。
- 3) タイは、2050年にカーボンニュートラル、2065年にGHG排出量のネットゼロを目指す。
- 4) 新規事業は承認されないという趣旨。

- 5) シンガポールは 2030 年に排出量のピークアウトを目指し、その結果、2030 年に 2005 年比 36%の排出削減につなげる計画である。

## APPENDIX 2

## ASEAN 地域における再生可能エネルギー導入目標

**ブルネイ：**「ブルネイ・ビジョン 2035 (Brunei Vision 2035)」<sup>15</sup>では、2035 年に再生可能エネルギーの導入量を 10%まで拡大することを目標とする。同目標は、国家気候変動政策<sup>16</sup>の中で更新され、2035 年までに太陽光発電を中心とする自然エネルギーの割合を 30%とすることを目標とする。

**カンボジア：**カンボジアの「エネルギー基本計画 (BEP)」<sup>17</sup>は、2030 年に石炭 (35%)、水力 (55%)、その他再生可能エネルギー (10%) の発電構成を推奨する。これは 2021 年 12 月に発表された「カーボンニュートラル長期戦略」<sup>18</sup>で更新され、2050 年までに太陽光、水力、バイオマス、その他の再生可能エネルギーを発電構成の 35%とすることが約束された。中でも太陽光発電は全体の 12%を占めることになる。

---

<sup>15</sup> Wansan Brunei 2035, <https://www.wawasanbrunei.gov.bn/sitepages/Home.aspx>

<sup>16</sup> Brunei Climate Change Secretariat (2020) *Brunei Darussalam National Climate Change Policy*, <http://www.mod.gov.bn/Shared%20Documents/BCCS/Brunei%20National%20Climate%20Change%20Policy.pdf>

<sup>17</sup> General Department of Energy (GDE), Cambodia (2019). *Cambodia Basic Energy Plan*, <https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/Cambodia%20Basic%20Energy%20Plan.pdf>

<sup>18</sup> Kingdom of Cambodia (2021) *Long-Term Strategy for Carbon Neutrality (LTS4CN)*, <https://ncsd.moe.gov.kh/resources/document/cambodia-LTS4CN-En>

**インドネシア**：2014年に制定した「国家エネルギー政策（National Energy Policy）」<sup>19</sup>に基づき、2025年までにエネルギーミックスの23%を再生可能エネルギーでまかない、2050年までに31%を再生可能エネルギーとすることを目指す。また、2060年には、総発電容量587GWを太陽光361GW、水力83GW、風力39GW、原子力35GW、バイオエネルギー37GW、地熱18GW、海流13.4GWで構成し、新・再生可能エネルギー100%を目指す「国家エネルギー戦略（GSEN）」を策定中であると発表している<sup>20</sup>。

**ラオス**：ラオスは、2011年に発表した「ラオス再生可能エネルギー開発戦略（Renewable Energy Development Strategy of Lao PDR）」<sup>21</sup>の下、2025年に再生可能エネルギーの比率を30%にすることを目標に掲げる。

**マレーシア**：2021年、エネルギー天然資源省（KeTSA）は、2025年までに国内の電源構成に占める再生可能エネルギーの割合を31%にする目標を設定した<sup>22</sup>。「マレーシア再生可能エネルギー口

---

<sup>19</sup> Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 79 of 2014 on National Energy Policy, <https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/Government%20Regulation%20No.%2079%3A2014%20of%202014%20%28EN%29.pdf>

<sup>20</sup> MEMR (February 4, 2022 プレスリリース) “Indonesia to Introduce Grand Energy Strategy during G20 2022” <https://www.esdm.go.id/en/media-center/news-archives/pemerintah-kenalkan-gsen-pada-presidensi-g20-indonesia>

<sup>21</sup> Lao People’s Democratic Republic (2011) *Renewable Energy Development Strategy in Lao PDR* <https://data.laos.opendevlopmentmekong.net/en/dataset/renewable-energy-development-strategy-in-lao-pdr>

<sup>22</sup> Department of Energy, Malaysia (2021). Twelfth Malaysia Plan 2021-2025 (RMK12), <https://rmke12.epu.gov.my/en>

ードマップ（Malaysia Renewable Energy Roadmap）」<sup>23</sup>,では、「新設備導入目標（New Capacity Target）」シナリオは、上記国家目標を達成し、2035年には40%の再生可能エネルギーシェアを目指す。この目標は、2030年に経済全体の炭素原単位（対GDP）を2005年比で45%削減するというマレーシアの気候変動に関する国際公約に一致する。

**ミャンマー：**「国家電化計画（NEP）」<sup>24</sup>は、2030年までに全国の電化率を100%とすることを想定している。米国国際貿易庁によると、電力エネルギー省（MOEE）は、2021年までに総発電量の8%を再生可能エネルギー由来とし、2025年までにそのシェアを12%に引き上げることを目標に、再生可能エネルギー法を起草した<sup>25</sup>。2022年4月、ミャンマー情報省（MOI）と投資・対外経済関係省（MIFER）は共同で、政府が外国投資の拡大を図りながら、再生可能エネルギー資源の開発を加速させる予定であると発表した<sup>26</sup>。

**フィリピン：**フィリピンの「国家再生可能エネルギー計画（NREP）2020-2040」<sup>27</sup>は、発電構成における再生可能エネルギーの割合を2030年までに35%、2040年までに50%にするという目標を設定する。この目標を達成するためには、フィリピンは2040年までに、太陽光発電27GW、風力

---

<sup>23</sup> Sustainable Energy Development Authority, Malaysia (2021). *Twelfth Malaysia Plan 2021-2025 (RMK12)*, <https://rmke12.epu.gov.my/en>

<sup>24</sup> World Bank (n.d.) “National Electrification Program,” <https://projects.worldbank.org/en/projects-operations/project-detail/P152936>

<sup>25</sup> International Trade Administration, (July 28, 2022) “Burma – Country Commercial Guide” <https://www.trade.gov/country-commercial-guides/burma-energy>

<sup>26</sup> Bloomberg (April 22, 2022) “Myanmar Govt to Accelerate Energy Projects Amid Power Shortages”, <https://www.bloomberg.com/press-releases/2022-04-21/myanmar-govt-to-accelerate-energy-projects-amid-power-shortages-l29d0bp8>

<sup>27</sup> Department of Energy, Philippines (2022). *National Renewable Energy Program 2020-2040*, [https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/renewable\\_energy/nrep\\_2020-2040\\_0.pdf](https://www.doe.gov.ph/sites/default/files/pdf/renewable_energy/nrep_2020-2040_0.pdf)



発電 17GW、水力発電 6GW、地熱発電 250GW、バイオマス 364MW など、さらに 102GW の再生可能エネルギー発電設備を導入しなければならない。

**シンガポール**：2022 年 2 月、財務大臣が 2022 年度予算において、2024 年から炭素税を段階的に引き上げ<sup>28</sup>、今世紀半ば頃までにネットゼロエミッションを達成することを目指すと発表した。

2021 年 2 月に発表した「シンガポール・グリーンプラン 2030 (Singapore Green Plan 2030)」<sup>29</sup>では、太陽光発電を 5 倍に増やして 2GWp (2030 年に予測される電力需要の約 3%) とすることを目指すと発表している。

**タイ**：「代替エネルギー開発計画 2018-2027 (Alternative Energy Development Plan 2018-2027)」<sup>30</sup>において、2037 年までにタイのエネルギー総消費量に占める再生可能エネルギーの割合を 30% (輸入水力発電を含む) まで引き上げることを目標とする。

**ベトナム**：2015 年、政府は再生可能エネルギーの国家開発戦略を発表し、2030 年までに再生可能エネルギーが一次エネルギー供給と総発電量のそれぞれ約 32%、2050 年までに 43% を占めることを目標としている<sup>31</sup>。これらの目標は、現在審議中の「電力開発計画 VIII (PDP8)」で更新される予定である。

---

<sup>28</sup> National Climate Change Secretariat, (February 18, 2022) "Singapore Will Raise Climate Ambition to Achieve Net Zero Emissions by or Around Mid Century, and Revises Carbon Tax Levels from 2024"

<https://www.nccs.gov.sg/media/press-release/singapore-will-raise-climate-ambition/>

<sup>29</sup> "Singapore Green Plan 2030" <https://www.greenplan.gov.sg>

<sup>30</sup> Ministry of Energy, Thailand (2020), *Alternative Energy Development Plan 2018 (AEDP 2018)*, <https://policy.asiapacificenergy.org/sites/default/files/Alternative%20Energy%20Development%20Plan%202018-2037%20%28AEDP%202018%29%28TH%29.pdf>

<sup>31</sup> Decision No. 2068/QD-TTg, 2015, <https://lawnet.vn/en//vb/Decision-No-2068-QD-TTg-approving-the-development-strategy-of-renewable-energy-2030-2050-2015-48915.html>

表 B. 一部の ASEAN 加盟国における再生可能エネルギー導入目標

国名 <sup>1)</sup>	現在のシェア (2020)	目標シェア (目標年)	出所
BRN	0%	30% (2035)	Brunei Darussalam National Climate Policy (2020) <sup>32</sup>
KHM	28%	35% (2050)	Long-term Strategy for Carbon Neutrality (2021) <sup>33</sup>
IDN	26%	31% (2050)	National Energy Policy (2014) <sup>34</sup>
MYS	16%	40% (2035)	Malaysia Renewable Energy Roadmap (MyRER, 2021) <sup>35</sup>
PHL	21%	50% (2040)	National Renewable Energy Plan (NREP 2020-2040) <sup>36</sup>
THA	18%	30% (2027)	Alternative Energy Development Plan (AEDP 2018-2027) <sup>37</sup>
VNM	35%	43% (2050)	Development Strategy of Renewable Energy of Vietnam <sup>38</sup> ; to be updated in PDP8.

出所: IEA (2022b) およびその他文献

注:

- 1) 表中で使用される国コードは次の通り。BRN：ブルネイ、KHM：カンボジア、IDN：インドネシア、LAO：ラオス、MYS：マレーシア、PHL：フィリピン、THA：タイ、VNM：ベトナム。
- 2) 基本的に各国の電源構成について再生可能エネルギーシェアや目標を示すが、インドネシアとタイに関しては、それぞれ一次エネルギーの構成とエネルギー総消費量について示す。

## APPENDIX 3

<sup>32</sup> Brunei Climate Change Secretariat (2020). *op.cit.*

<sup>33</sup> Kingdom of Cambodia (2021). *op. cit.*

<sup>34</sup> Government Regulation of the Republic of Indonesia Number 79 of 2014 on National Energy Policy, *op. cit.*

<sup>35</sup> Sustainable Energy Development Authority, Malaysia (2021). *op. cit.*

<sup>36</sup> Department of Energy, Philippines (2022). *op. cit.*

<sup>37</sup> Ministry of Energy, Thailand (2020). *op. cit.*

<sup>38</sup> Decision No. 2068/QD-TTg, 2015, *op. cit.*

## ASEAN 地域における水素戦略

**ブルネイ：**ブルネイは水素に関する国家戦略を策定していないが、アジアで日本やシンガポールなどと水素サプライチェーン構築の協力に関する覚書を締結している。日本の新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の資金援助を受け、次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合（AHEAD）<sup>39</sup>は、2020年に世界で初めてブルネイで生成したメチルシクロヘキサン（MCH）の日本への国際輸送と安定的な水素を分離する国際実証試験に成功した。

**インドネシア：**インドネシアの「国家エネルギー計画（RUEN）」は、2050年までの新・再生可能エネルギー開発計画の中に水素開発に関する規制枠組みの整備、技術や製造に関するキャパシティビルディング、インセンティブの提供などの総合的なアクションプランを含む。「国家エネルギー戦略（GSEN）」では、グリーン水素発電を2031年に導入し、徐々に増やして2060年には約52GWにすると試算している。これは、電源構成の10%に相当することになる<sup>40</sup>。

2022年には、ドイツ・インドネシア商工会議所（EKONID）が水素ビジネスデスク（HBD）<sup>41</sup>を立ち上げ、インドネシアにおけるグリーン水素を中心とした水素の開発に関する情報を提供している。また、日本とインドネシアは、水素や燃料アンモニアを含む技術や選択肢を活用した現実的なエネルギー・トランジションの実現に関する協力覚書（MOC）に署名している<sup>42</sup>。さらに、「日本はアジア・ゼロエミッション共同体（AZEC）」の協力枠組みのもと、日本の公的機関からの資

---

<sup>39</sup> 次世代水素エネルギーチェーン技術研究組合(Advanced Hydrogen Energy Chain Association for Technology Development; AHEAD) <https://www.ahead.or.jp/jp/>

<sup>40</sup> MEMR (February 4, 2022, press release) *op. cit.*

<sup>41</sup> “Hydrogen Business Desk” <https://www.hydrogen-indonesia.id/home>

<sup>42</sup> 経済産業省（2022年1月13日）「日本国経済産業省とインドネシア共和国エネルギー・鉱物資源省との間のエネルギー・トランジションの実現に関する協力覚書」  
<https://www.meti.go.jp/press/2021/01/20220113003/20220113003-2.pdf>

源・資金を動員してインドネシアのエネルギー移行を支援する意向を発表している<sup>43</sup>。また、民間企業レベルでも、様々な水素関連の技術協力について合意形成が進んでいる。

**マレーシア**：「第12次マレーシア計画」<sup>44</sup>は、運輸部門における水素技術の発展を奨励し、エネルギーに関する将来の成長見通し、特に水素を含むクリーンで持続可能な資源に由来する新エネルギーのポテンシャルを検討する総合的な国家エネルギー政策の策定に言及している。「国家エネルギー政策 2022-2040」<sup>45</sup>は、水素ロードマップ、水素国家戦略、関連規制の策定に向けた取り組みを含む。また、長期的（2031-2040年）には国際競争力を有する水素エネルギーハブをサラワク州に設立することを目指す。

水力発電による複数の水素製造プロジェクトについて、地元企業と日本<sup>46</sup>、韓国、フランスなどの企業が共同で進めることが発表されている。また、マレーシアの豊富な太陽光資源を活用し、グリーンアンモニアを製造・販売するためのフィージビリティスタディも発表されている<sup>47</sup>。

---

<sup>43</sup> 外務省(2022年11月14日)「アジアゼロエミッション共同体(AZEC)構想に関する共同発表」

<https://www.mofa.go.jp/mofaj/files/100420414.pdf>

<sup>44</sup> Department of Energy, Malaysia (2021). op. cit.

<sup>45</sup> Economic Planning Unit, Prime Minister's Department, Malaysia, (2022) National Energy Policy 2022-2040 (NEP2022-2040), [https://www.epu.gov.my/sites/default/files/2022-09/National%20Energy%20Policy\\_2022\\_2040.pdf](https://www.epu.gov.my/sites/default/files/2022-09/National%20Energy%20Policy_2022_2040.pdf)

<sup>46</sup> 例えば、ENEOS、住友商事、SEDC Energy Sdn Bhd はサラワク州の水力発電を利用して製造した水素をMCHに転換するCO<sub>2</sub>フリーの水素サプライチェーンを検討している  
([https://www.eneos.co.jp/english/newsrelease/2020/pdf/20201023\\_01.pdf](https://www.eneos.co.jp/english/newsrelease/2020/pdf/20201023_01.pdf))

<sup>47</sup> IHI (Dec. 15, 2022 プレスリリース) “IHI and Gentari sign MoU to explore Green Ammonia Production and Sales in Malaysia”  
[https://www.ihico.jp/en/all\\_news/2022/resources\\_energy\\_environment/1198122\\_3488.html](https://www.ihico.jp/en/all_news/2022/resources_energy_environment/1198122_3488.html)

**シンガポール**：シンガポールは、2022年10月に「国家水素戦略」を発表した<sup>48</sup>。2050年のネットゼロ達成に向け、水素を脱炭素社会の実現に向けた主要な手段として位置づけているが、定量的な目標は掲げていない。シンガポールは、日本、オーストラリア、ニュージーランド、チリなどの各政府と水素分野での協力協定を締結している。また、多様な水素キャリアーを利用して低炭素水素をシンガポールに供給するための国際水素サプライチェーンに関する企業間の MOU の締結も進んでいる<sup>49</sup>。

**タイ**：「代替エネルギー開発計画 2015-2037 (AEDP2015)」<sup>50</sup>で、水素を「代替燃料」カテゴリーに含め、2036年までに輸送用として10Ktoeの導入目標を掲げていたが、AEDP2018ではこのカテゴリーが削除されている。

---

<sup>48</sup> Ministry of Trade and Industry, Singapore (2022). *Singapore's National Hydrogen Strategy*, <https://www.mti.gov.sg/Industries/Hydrogen>

<sup>49</sup> 例えば、Sembcorp Industries、千代田化工建設、三菱商事は2021年、MCHを利用した水素サプライチェーンの検討に関するMOUを締結している。(<https://www.sembcorp.com/en/media/media-releases/energy/2021/october/sembcorp-industries-chiyoda-corporation-and-mitsubishi-corporation-sign-mou-to-explore-supply-chain-commercialisation-of-decarbonised-hydrogen-into-singapore/>); 伊藤忠、EDF、Tuas Power は、グリーンアンモニアサプライチェーンの構築と、発電や船用燃料などの利用形態の検討についてMOUを締結している。(<https://www.itochu.co.jp/en/news/press/2022/221026.html>).

<sup>50</sup> Ministry of Energy, Thailand (2015). *Alternative Energy Development Plan 2015 (AEDP 2015)*, <https://www.eppo.go.th/images/POLICY/ENG/AEDP2015ENG.pdf>