

# 第46回 IEEJエネルギーウェビナー 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

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

## (1) 背景と目的

## (2) 分析対象と方法論

## (3) 分析結果

## (4) 結論

- ❖ 低炭素水素はさまざまな資源から製造することができるため、世界各地で製造が可能。
- ❖ 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、地域経済の脱炭素化、エネルギーセキュリティの強化にも貢献することができる。
- ❖ 同地域は、太陽光、風力、水力などの再エネの大きな導入ポテンシャルを有するが、再エネ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のが現状である。
- ❖ ASEAN地域は日本からも近いいため、そのポテンシャル次第では、将来、日本への水素供給源にもなりうる。

本研究では、電化による脱炭素化が困難な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。

# 背景と目的：ASEAN各国の一次エネルギーの状況

- ❖ ミャンマーを除くすべての国の化石燃料依存度が高い。
- ❖ すべての国においてバイオマス発電が再エネの大部分を占める。
- ❖ 太陽光発電と風力発電はどの国も1%未満。

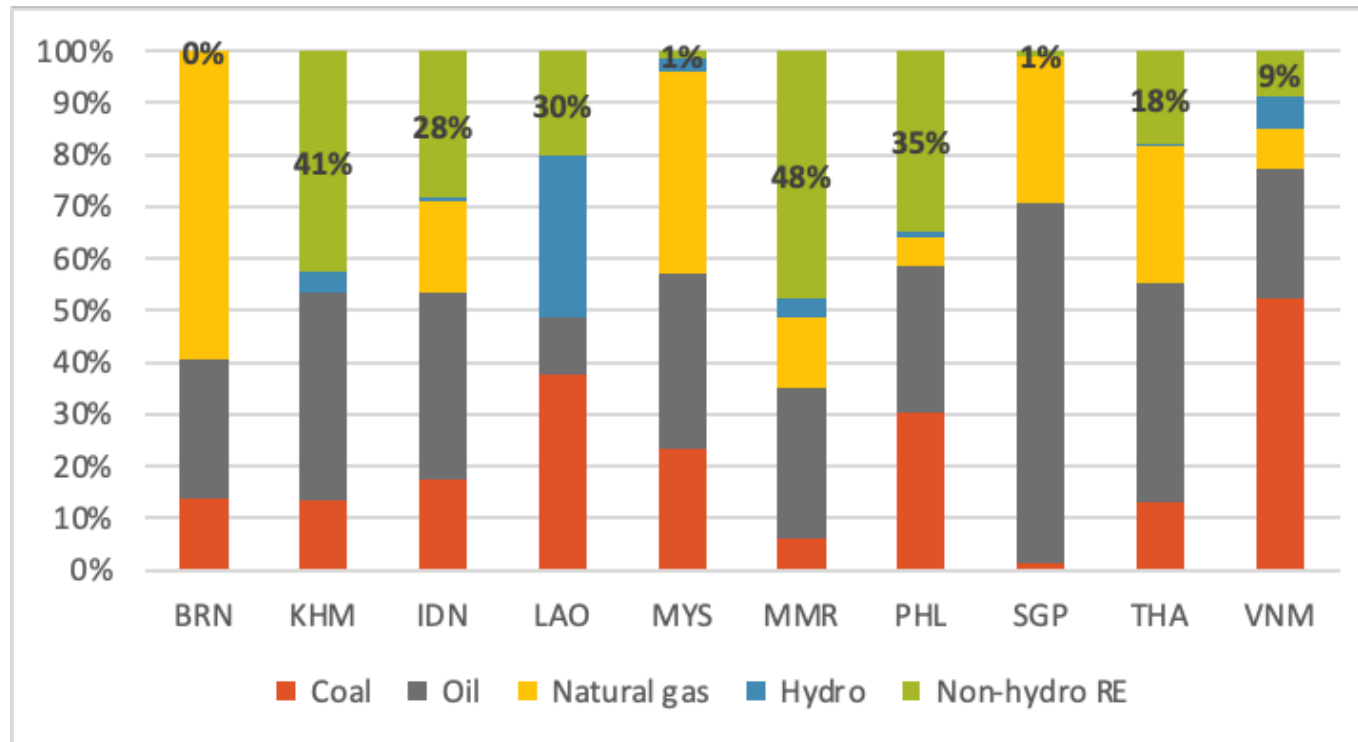


図. ASEAN加盟国の一次エネルギー供給の構成 (2020)

出所：IEA (2022b)に基づき筆者作成

# 背景と目的：ASEAN各国の気候関連政策

- ❖ ほとんどの国がCN目標を掲げ、NDCを2年以内に更新している。
- ❖ 多くの国が脱石炭、または新規の石炭火力発電事業は承認しないことを約束。
- ❖ 脱炭素、再エネの導入拡大は急務。

表. ASEAN地域における気候関連目標

国名 <sup>1)</sup>	CN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	排出量	60%	-	BAU	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>5)</sup>	-	2005	Yes
THA	2050 <sup>2)</sup>	排出量	20%	25%	BAU	No
VNM	2050	排出量	9%	27%	BAU	Yes

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。

出所：各国NDC およびその他資料に基づき筆者作

(1) 背景と目的

**(2) 分析対象と方法論**

(3) 分析結果

(4) 結論

# 分析対象

- ❖ ASEAN地域において、**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。**  
※発電部門は対象外。
- ❖ 太陽光、風力、水力、地熱、バイオマスなどの再エネを用いて水電解により製造される「**グリーン水素**」に注目。

## <理由>

1. グリーン水素はカーボンフットプリントが低い。  
→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。
2. 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。
3. 再エネはより広範な場所に資源が存在。  
→従来、エネルギー輸出国でなかった国もグリーン水素の輸出国になりうる。
4. グリーン水素のサプライチェーンはより多様化できる。  
→地域のエネルギー安全保障の向上に寄与する。

# 方法論：水素需要ポテンシャル（産業部門、2019年）

1. 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。
2. 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（右表）。
3. 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のシェアを乗じることで、水素需要ポテンシャルを推計。

※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と同じと仮定。

表. 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) 平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査 (熱の需給及び熱供給機器の特性等に関する調査)



# 方法論：水素需要ポテンシャル（運輸部門、2019年）

1. 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。

2. 道路輸送：

- 小型車（燃料＝ガソリンとLPG） → バッテリー電気自動車（BEV）への転換対象
- 大型車（燃料＝ディーゼルと想定） → 燃料電池自動車（FCEV）への転換対象。

※燃費はFCEV とディーゼル車で同じと想定。

3. 航空・海上・鉄道輸送：すべての燃料が水素で代替されると仮定。

※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。

※燃費は従来燃料と水素で同じと想定。

$$\begin{aligned} \text{2050年の水素需要ポテンシャル} &= \text{2019年の水素需要ポテンシャル} \\ &\times (\text{2050年のASEAN地域の産業・運輸部門の最終エネルギー消費量} \\ &/ \text{2019年のASEAN地域の産業・運輸部門の最終エネルギー消費量}) \end{aligned}$$

# 方法論：水素供給ポテンシャル（2050年）

ASEAN地域では、**再エネ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、再エネ由来の電力は、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、**未開発の再エネが水素製造に利用されると仮定**。

1. ASEAN各国の再エネの導入ポテンシャル（潜在的な設備容量）を既往研究から把握。
2. 設備利用率をIRENA Data and Statisticsから把握。
3. **再エネのポテンシャル（潜在的な発電量）を算出**。

$$\begin{aligned} \text{2050年の水素供給ポテンシャル} &= \text{再エネのポテンシャル (TWh)} \\ &\quad - \left( \text{①2050年の総発電量} + \text{②追加的に発生する発電量} \right) \end{aligned}$$

※「追加的に発生する発電量」= 2050年の産業・運輸部門の水素需要ポテンシャル  
2050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

(1) 背景と目的

(2) 分析対象と方法論

**(3) 分析結果**

(4) 結論

# 分析結果：水素需要ポテンシャル（産業部門）

- ❖ 省エネも進むが、経済成長により2050年の産業部門のエネルギー消費量が増加。  
→水素需要ポテンシャルも拡大。
- ❖ インドネシアの2050年の水素需要ポテンシャルは域内最大で、62Mtoe。
- ❖ ASEAN全体では水素需要ポテンシャルが152Mtoe。産業部門全体の最終エネルギー消費量の40%に相当。

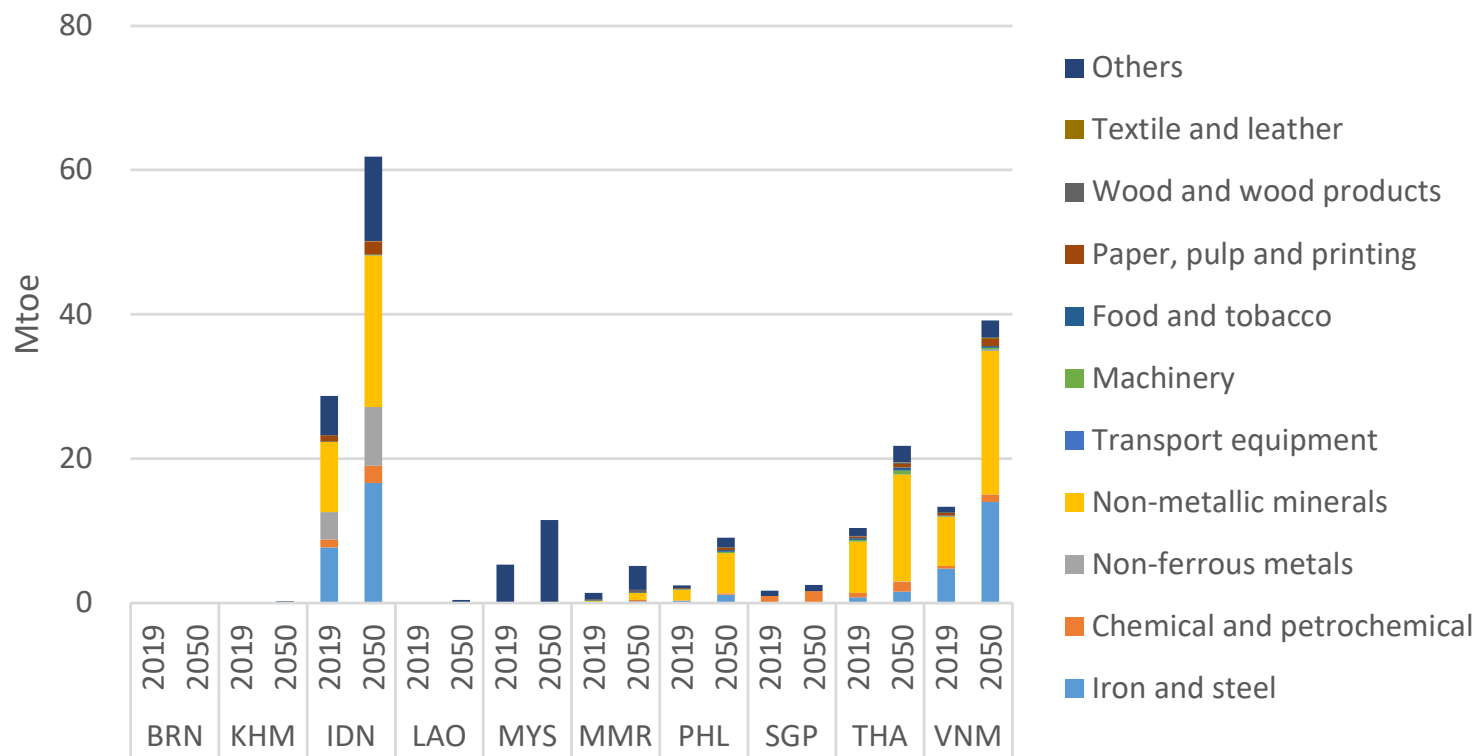
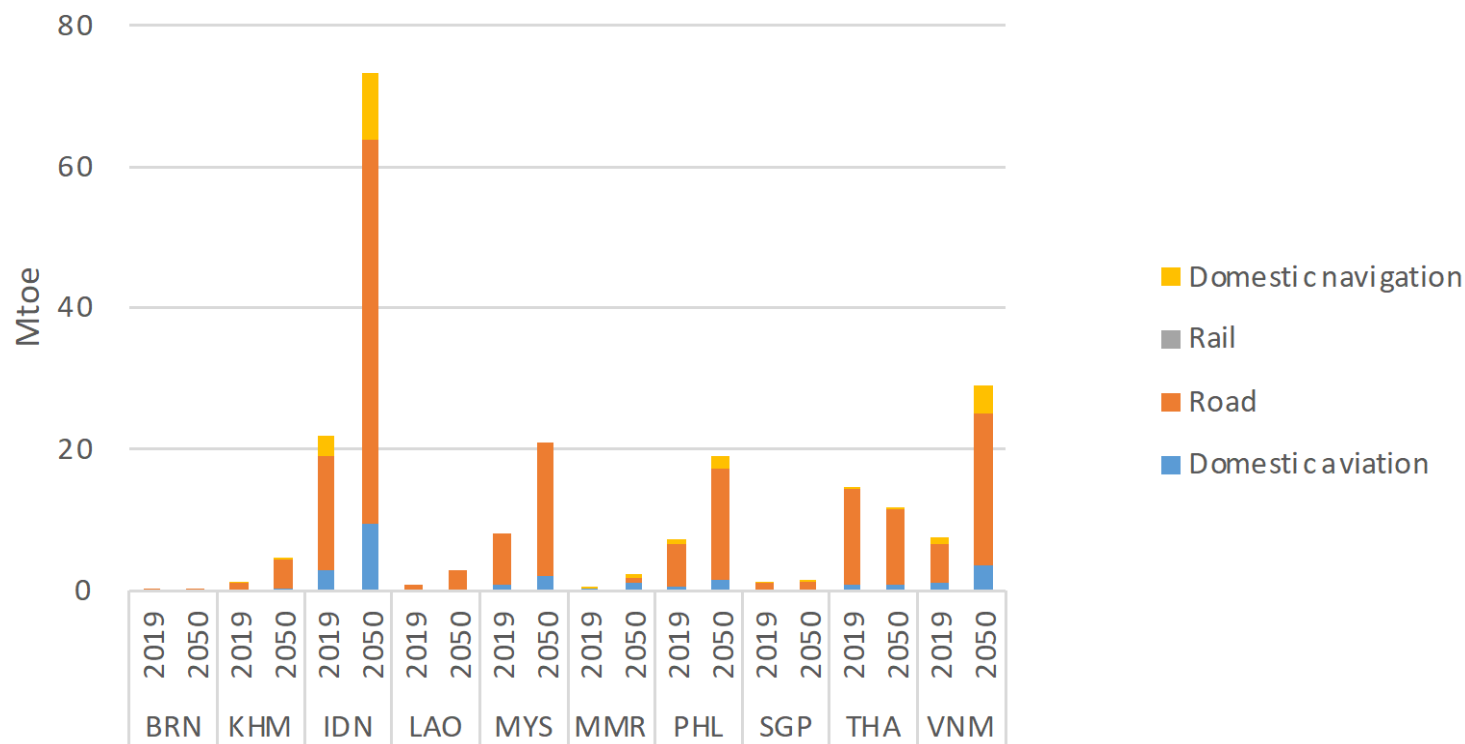


図. 産業部門における水素需要ポテンシャル (2019年、2050年)

# 分析結果：水素需要ポテンシャル（運輸部門）

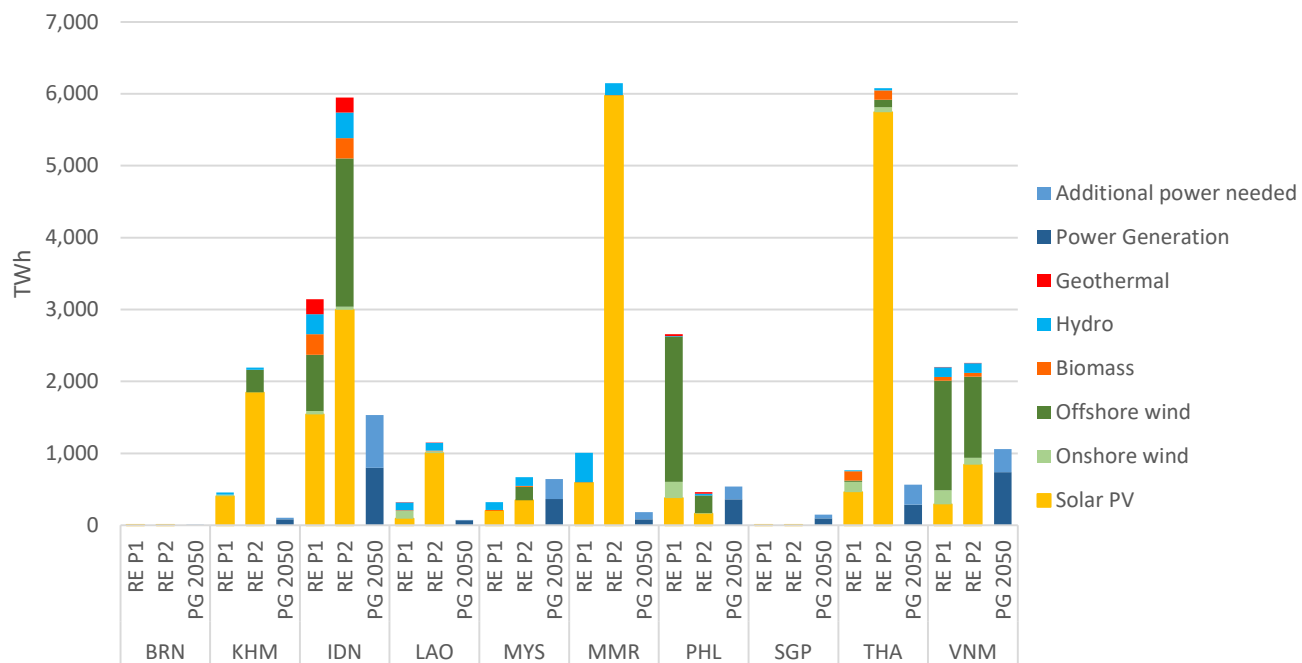
- ❖ 経済成長により2050年の運輸部門のエネルギー消費量が増加。  
→水素需要ポテンシャルも拡大。
- ❖ 人口の多いインドネシアの2050年の水素需要ポテンシャルは域内最大で73Mtoe。
- ❖ ASEAN全体では166Mtoe。運輸部門全体の最終エネルギー消費量の44%に相当。
- ❖ 輸送モード別では自動車が全体の約8割強を占める。



図．運輸部門における水素需要ポテンシャル（2019年、2050年）

# 分析結果：水素供給ポテンシャル

- ❖ 再エネポテンシャルについて、2つの例（RE P1, RE P2）を示す。
- ❖ 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）の全てを再エネで賄っても、多くの国で再エネのポテンシャルは総発電量を上回る。
- ❖ したがって、未開発の再エネを水素製造に利用できる。
- ❖ 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。

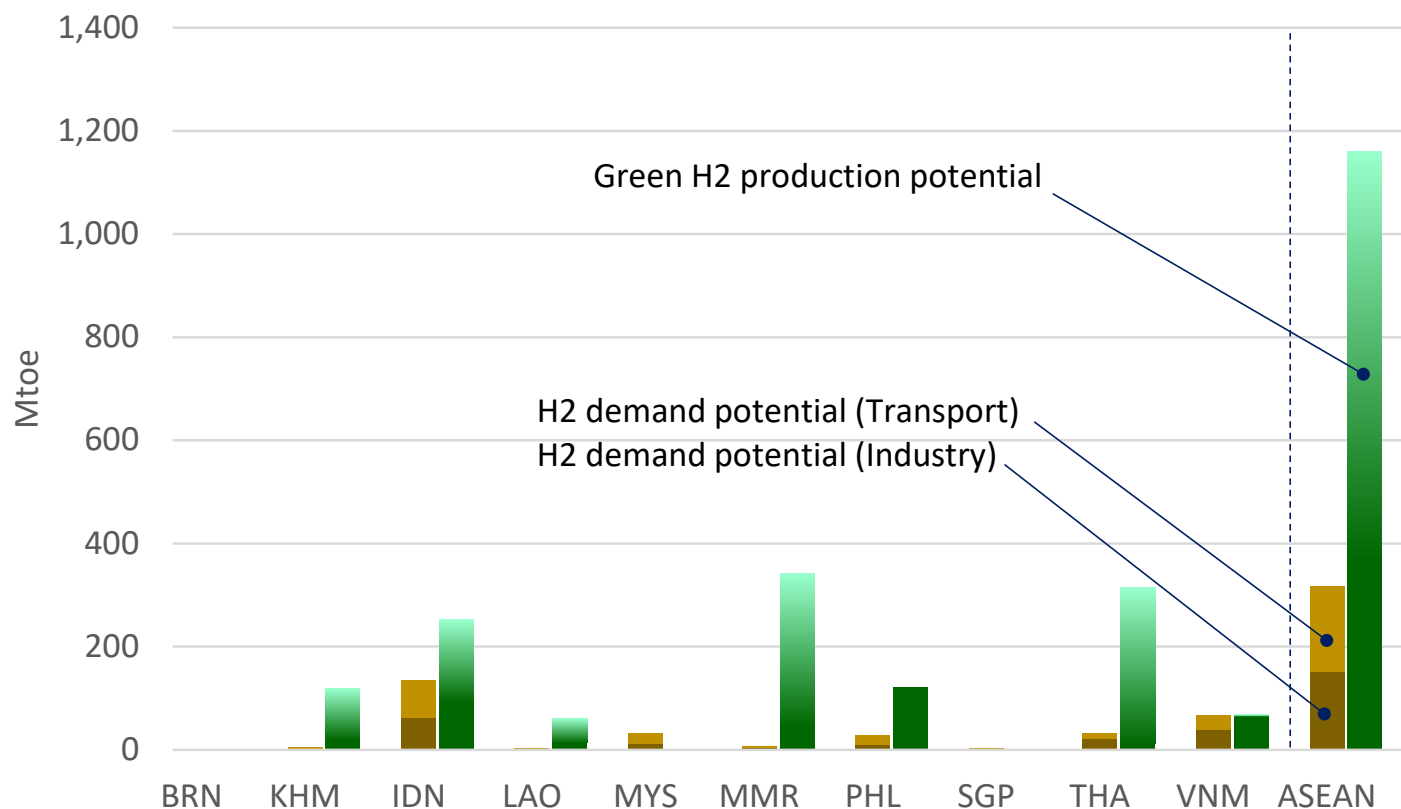


- ❖ **ASEAN全体で、2050年の総発電量が2,900TWh、2050年以降の電化需要に対応するために必要な発電量が2,000TWh、合計4,900TWh。**
- ❖ **再エネのポテンシャルは11,000～25,000TWh。**
- ❖ **6,000～20,000TWhの再エネがグリーン水素製造に利用可能。**

図．総発電量と再生可能エネルギーのポテンシャルの比較

# 分析結果：グリーン水素の需給ポテンシャルの比較

- ❖ 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、シンガポールを除き、楽観的な水素供給ポテンシャルは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．グリーン水素の需給ポテンシャルの比較 (2050)

# 分析結果：グリーン水素の供給ポテンシャルの過不足 (2050)

- ❖ ミャンマー、ラオス、カンボジアは、国内水素需要を十分に満たしうる。
- ❖ 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。
- ❖ 悲観的なケースでも、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。  
(54～843Mtoeの余剰グリーン水素)

→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部門の脱炭素化が可能。

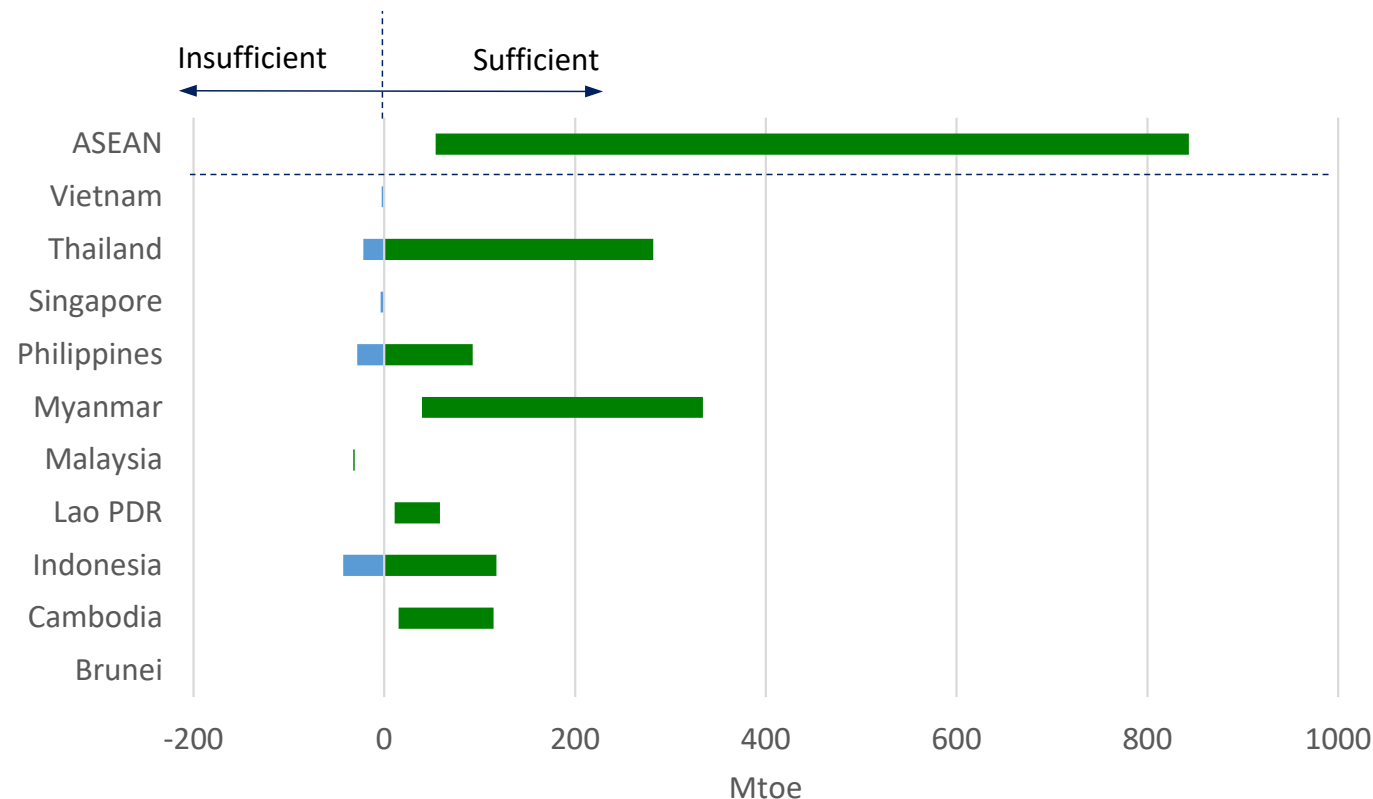


図 .グリーン水素の供給ポテンシャルの過不足 (2050)



(1) 背景と目的

(2) 分析対象と方法論

(3) 分析結果

**(4) 結論**

# 結論：グリーン水素がもたらすASEAN地域の地政学の変化

- ❖ グリーン水素の製造によってASEAN地域の地政学が変わりうる。
- ❖ ミャンマー、ラオス、カンボジアといった低所得国には、同地域のエネルギー供給国となる機会が訪れる可能性も。
- ❖ しかし、ASEANのほとんどの加盟国において、水素に関する国家戦略や計画を未策定。

**表. 各国のエネルギー計画等における水素の位置付け**

ブルネイ	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。
インドネシア	「国家エネルギー計画（RUEN）」に水素開発のためのアクションプラン。
マレーシア	「国家エネルギー政策2022-2040」：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ことに言及。 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。
シンガポール	国家水素戦略を公表（2022年）

# 結論：再エネポテンシャルの最大限の活用に向けた政策課題

- ❖ 各国の電力開発計画や再エネ導入目標は、ポテンシャルから大きく乖離。
- ❖ 再エネ導入に向けて政策的課題が多く存在。
  - ・ 資金援助や資金調達スキームが不足。
  - ・ 経験不足や規制枠組みが不在。
  - ・ 政府機関間の調整不足。
  - ・ インフラの不足（再エネの大規模な系統接続に必要な系統増強など）

表．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) (NREP 2020-2040)	963 GW
<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

# 結論：ASEAN地域外へのグリーン水素の輸出

- ❖ ASEAN全体では、余剰グリーン水素のポテンシャル54～840 Mtoe ≒ 約20～300 Mt-H<sub>2</sub>
- ❖ **日本に対する主要なグリーン水素供給国となりうる**。日本に近いASEAN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。
  - ※日本は2030年に300万トン、2050年に2,000万トンの水素導入を目標とする。
- ❖ グリーン水素は**船用燃料の脱炭素化**において重要な役割を果たす。世界有数のバンカリングハブのシンガポールのバンカーオイルの全販売量（2021年、約5,000万トン）を賄う量のe-fuelを域内で製造することはできないが、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のe-fuelを供給することが可能**。
- ❖ 域内で製造された**e-fuelをシンガポールに集めれば、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。

# 結論：域内グリーン水素サプライチェーンの構築

- ❖ 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、**新たな域内国際サプライチェーンやネットワークの構築が必要**。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可能に**。
- ❖ **グリーン水素の地産地消は、域内のエネルギー安全保障の強化に寄与**。
- ❖ あらゆる課題に関する**域内の合意が重要**。
  - コスト、インフラの利用（転用）可能性、最終利用の形態などのさまざまな要因に照らした、**水素キャリア**の選択。
  - グリーン水素の製造地、**エネルギーの輸送手段**（国際送電線、パイプラインなど）の選択。
  - キャリアに合わせた**インフラ**（出荷港、受入港、貯蔵施設など）**整備**。
  - **共通の水素認証スキーム**。

# 結論：再生可能エネルギーの導入拡大のさらなる推進

- ❖ 再エネは、**直接利用することで、二酸化炭素排出量を削減できる部門の脱炭素化に最大限に活用することが最優先。**
- ❖ 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、**水素製造に用いられる再エネが、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。**
- ❖ **まずは再エネ資源の開発への投資。**
- ❖ 各国で再エネ導入拡大に向けた政策が不可欠。
  - 化石燃料補助金の撤廃。
  - 変動再エネの導入拡大に向けた電力システムの強化

# 結論：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に資する。**
- ❖ グリーン水素サプライチェーンの**上流**（=再エネ発電や水電解技術を含む水素製造）**に対する投資や政府支援の強化**
  - ASEAN地域の電力セクターの脱炭素化の加速
  - 日本の関係者によるグリーン水素製造用の再エネ電力へのアクセス向上
- ❖ **グリーン水素ビジネスの環境整備**において先行者利益を享受しうる。
- ❖ 2023年は「**日本・ASEAN友好協力50周年**」の年。ASEAN諸国のエネルギー移行を支援するための協力枠組みの下で、**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。**
  - 技術的・資金的な支援
  - 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
  - 地域の課題や解決策を明らかにするための調査
  - 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。

化石燃料の総消費量に対する高温（ $\geq 400^{\circ}\text{C}$ ）熱需要：

MRI (2018) 平成29年度新エネルギー等の導入促進のための基礎調査（熱の需給及び熱供給機器の特性等に関する調査）

ASEAN各国の産業・運輸部門の最終エネルギー消費（2019年）：

IEA (2022) World Energy Statistics 2022. International Energy Agency

ASEAN各国の産業・運輸部門の最終エネルギー消費量（2050年）：

ERIA (2021). Outlook and Energy Saving Potential in East Asia 2020. Economic Research Institute for ASEAN and East Asia <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>

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）：

RE P1: ERIA (2022). Decarbonisation of ASEAN Energy Systems: Optimum Technology Selection Model Analysis up to 2060. ERIA Research Project Retrieved on December 19, 2022 from

<https://www.eria.org/uploads/media/Research-Project-Report/RPR-2022-05/Decarbonisation-of-ASEAN-Energy>

RE P2: IRENA & ACE (2022). Renewable energy outlook for ASEAN: Towards a regional energy transition (2nd ed.). International Renewable Energy Agency & ASEAN Centre for Energy. [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA\\_Renewable\\_energy\\_outlook\\_ASEAN\\_2022.pdf?rev=ef7557c64c3b4750be08f9590601634c](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Sep/IRENA_Renewable_energy_outlook_ASEAN_2022.pdf?rev=ef7557c64c3b4750be08f9590601634c)

ASEAN各国の発電設備の設備利用率：

IRENA Data & Statistics



**ご清聴ありがとうございました。**