

NEDOエネルギー・地球環境分野成果報告会2026

プログラムNo. 602-3-14

契約件名 競争的な水素サプライチェーン構築に向けた技術開発事業／
総合調査研究／水素バリューチェーン構築に向けたLCA検討調査

発表：2026年7月23日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

発表者名 石本祐樹

*団体名 (一財)エネルギー総合工学研究所、(一社)水素バリューチェーン推進協議会
問い合わせ先 (一財)エネルギー総合工学研究所E-mail: ishimoto@iae.or.jp

事業概要

1. 期間

開始：2025年10月 終了：2026年 3月

2. 最終目標

本調査では、水素利活用によるライフサイクルでの温室効果ガス（GHG）削減効果を定量的に評価する。発電、製鉄、モビリティ、産業・業務・民生など幅広い需要分野を対象に、輸入・国産やグリーン／ブルー水素と輸送・貯蔵技術を組み合わせた類型化バリューチェーンを設定する。国内外の文献調査や事業者ヒアリングで諸元を収集し、国際標準に基づくGHG排出量算出方法を決定、決定した方法論に基づき、GHG排出量とエネルギー効率を併せて試算する。評価は足元と将来の2つの時間断面で実施し、従来エネルギーや他の低炭素化技術と比較することで、水素導入による削減ポテンシャルや優位性を明確化する。

3. 成果・進捗概要

評価対象としたバリューチェーンは輸入・国産に大きく分かれ、輸入は液化水素、MCH、アンモニア等で水素等を供給する場合と日本国内で輸入LNGの改質や水電解を用い、圧縮水素トレーラーや液化水素で輸送する場合を想定した（WtT, Well to Tank）。これらの水素を発電、産業（製鉄、原料水素）、熱利用、モビリティ（乗用車、トラック等）といった多様な需要技術で利用した際の製品・サービスのWtW（Well to Wheel）のCI値およびエネルギー効率（製品・サービスあたりの一次エネルギー投入量）を評価した。

その結果、いわゆるグレー水素を用いる場合、全体的な傾向として、今回用いた前提条件の範囲では、移行期と将来のいずれの場合も従来技術にくらべて劣後するケースが多いが、ブルー水素やグリーン水素を用いた場合、従来技術に比べてCI値が低く、GHG排出量を削減できることが分かった。特に、将来において系統電力のCO₂排出係数が低下し、低炭素燃料の利用が想定できる場合にその効果が顕著である。

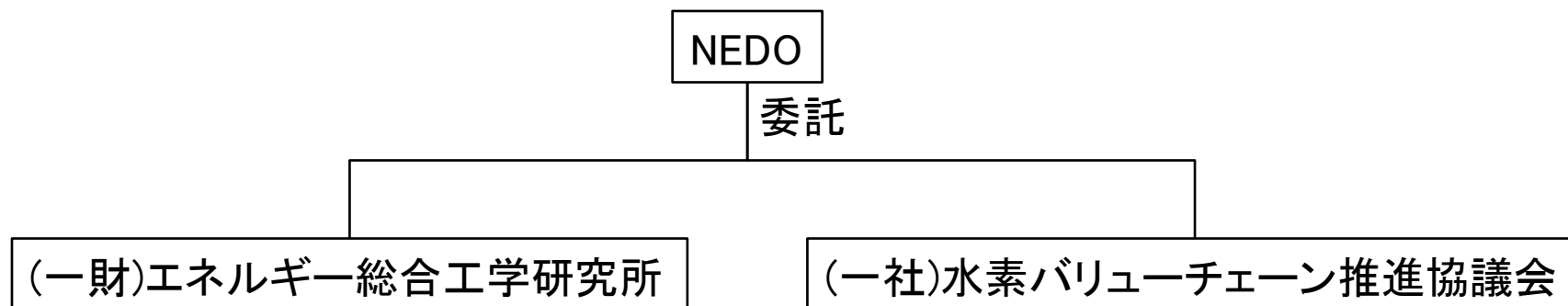
また分析したGHG排出量の結果は数表に整理し、ユーザーが任意の組み合わせのバリューチェーンを分析できる形式とした。

1. 事業の位置付け・必要性

将来へ向けた水素バリューチェーンを構築し、カーボンニュートラル実現における水素の役割を果たしていくためには、水素が代替しようとするエネルギーまたは原料バリューチェーンと比較し、温室効果ガス削減の観点からみた特徴/優位性を定量的に見積り、適切なポートフォリオを策定する必要がある。こうした定量的把握は、今後の水素関連技術開発の方向性を定めるとともに、環境価値の顕在化と将来のカーボンプライシングの適用においては必須の要素である。また、海外での水素利活用によるカーボンニュートラル戦略を適切に把握し、我が国の特徴を生かした、国際競争力のあるカーボンニュートラル戦略策定にも資するものとなる。

2. 研究開発マネジメントについて

実施体制



3. 実施内容

調査項目 1 評価対象のバリューチェーンの構成要素と類型化バリューチェーンの検討

- 類型化水素バリューチェーンの検討（主：JH2A, 副：IAE）
- 類型化水素バリューチェーン及びその構成要素のGHG排出量及びエネルギー効率の算出のための調査（主：IAE、副：JH2A）
- 代替される従来技術及び水素のGHG排出量、エネルギー効率の調査（主：IAE、副：JH2A）



調査項目 2 GHG排出量算出の方法論の検討及びGHG排出量及びエネルギー効率の試算

- GHG排出量評価方法論の検討と決定。GHG排出量の試算に必要な各種燃料、電力等のCO2排出係数について検討・調査（主：JH2A, 副：IAE）
- 決定した方法論及び調査した各種排出係数に基づく、バリューチェーン全体及び構成要素からのGHG排出量及びエネルギー効率の試算（主：IAE、副：JH2A）
- 水素以外の低炭素化バリューチェーンによるGHG 排出量やエネルギー効率の試算（主：IAE、副：JH2A）



調査項目 3 代替しようとするエネルギーまたは従来水素(原料利用の場合)との比較評価

- ②の結果を用いて水素および他の低炭素化バリューチェーン、代替技術との比較を実施し、水素を用いることによるGHG排出量の削減効果の評価。いわゆるグリーン水素のみではなく、グレー水素やブルー水素の活用によるGHG排出量削減についても評価を実施。

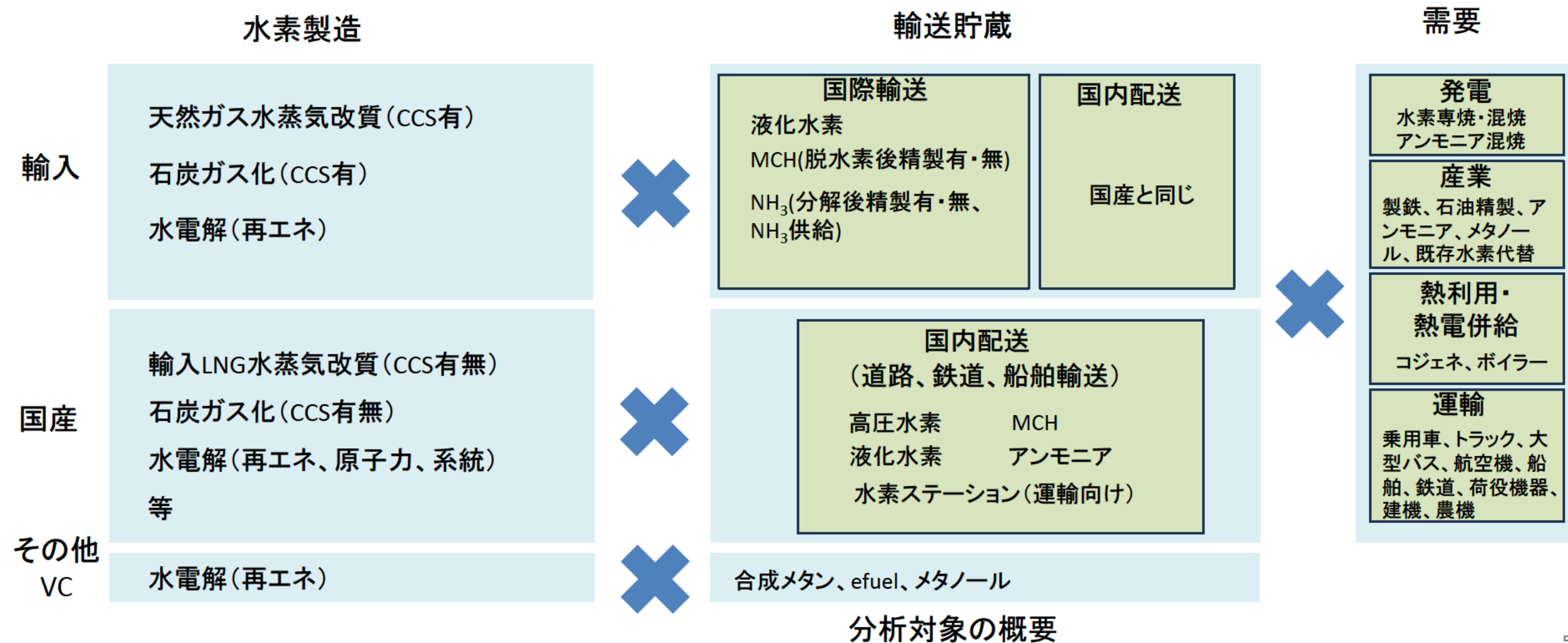


④報告書の作成

- 報告書の作成を行う。

4. 分析対象

分析対象の工程を組み合わせにより多数のサプライチェーンが構成されるため、ここでは既存のNEDOプロジェクトなどを参考に、類型化バリューチェーンを設定し、分析の対象とした。



4. 分析対象（ご参考）

類型化バリューチェーン（供給側）

番号	製品	輸入/国産	2025-2030代 移行期	2040-2050 将来	水素製造	キャリア合成	国際輸送	再変換
1	水素	輸入	○	○	SMR + CCS	液化	液水国際輸送	気化（揚地に含む）
2	水素	輸入	○	○		水添	MCH国際輸送	脱水素・精製無
3	水素	輸入	○	○				脱水素・精製有
4	水素	輸入	○	○	-	NH3合成※	NH3国際輸送	分解・精製無
5	水素	輸入	○	○	-			分解・精製有
6	水素	輸入	○	○	石炭ガス化 + CCS	液化	液水国際輸送	気化（揚地に含む）
7	水素	輸入	○	○		水添	MCH国際輸送	脱水素・精製無
8	水素	輸入	○	○				脱水素・精製有
9	水素	輸入	○	○	-	NH3合成※	NH3国際輸送	分解・精製無
10	水素	輸入	○	○	-			分解・精製有
11	水素	輸入	○	○	水電解（再エネ）	液化	液水国際輸送	気化（揚地に含む）
12	水素	輸入	○	○		水添	MCH国際輸送	脱水素・精製無
13	水素	輸入	○	○				脱水素・精製有
14	水素	輸入	○	○	-	NH3合成	NH3国際輸送	分解・精製無
15	水素	輸入	○	○	-			分解・精製有
16	アンモニア	輸入	○	○	-	NH3合成※	NH3国際輸送	-
17	アンモニア	輸入	○	○	水電解（再エネ）	NH3合成		-
18	合成メタン	輸入	○	○		サバティエ、液化	e-メタン国際輸送	
19	合成燃料	輸入	○	○		FT合成	ケミカルタンカー	
20	eメタノール	輸入	○	○		MeOH合成	メタノールタンカー	
21	水素	国産	○	○	水電解（再エネ）			
22	水素	国産	○	○	水電解（原子力）			
23	水素	国産	○	○	水電解（系統）			
24	水素	国産	○	○	石炭ガス化			
25	水素	国産	○	○	石炭ガス化 + CCS			
26	水素	国産	○	○	輸入天然ガス改質			
27	水素	国産	○	○	輸入天然ガス改質 + CCS			
28	水素	国産	○	○	国産天然ガス改質			
29	水素	国産	○	○	国産天然ガス改質 + CCS			

4. 分析対象（ご参考）

需要技術一覧

	利用手段			出力			対象	既存技術（ガス化・電化も含む）
	部門	利用機器	水素の用途	生産物/サービス	単位	CI		
	発電	水素混焼ガスタービン	燃焼	送電端発電量	kWh	g-CO2/kWh	LHV基準の熱効率はLNGと同等	天然ガス
	発電	水素専焼ガスタービン	燃焼	送電端発電量	kWh	g-CO2/kWh	LHV基準の熱効率はLNGと同等	天然ガス
	発電	アンモニア混焼石炭火力	燃焼	送電端発電量	kWh	g-CO2/kWh	LHV基準の熱効率は石炭火力と同等	石炭
	産業	石油精製(既存水素⇒低炭素水素)	原料他	原油処理量	t-crude	t-CO2/t-crude	Complex refinery、水蒸気改質・副生水素	グレー水素
	産業	製鉄	原料他	粗鋼	t	t-CO2/t	高炉の水素吹き込み／直接水素還元	天然ガス・石炭
	産業	アンモニア(既存水素⇒低炭素水素)	原料他	アンモニア	t-NH3	t-CO2/t-NH3	ハーバー・ボッシュ法	天然ガス
	産業	メタノール(既存水素⇒低炭素水素)	原料他	メタノール	t-MeOH	t-CO2/t-MeOH	CO2合成	天然ガス
	産業	原料代替(既存水素⇒低炭素水素)	原料他	※還元剤利用	—	—	半導体・ガラス・食品 還元剤としての水素利用（水素消費量算出と低炭素化の影響評価）	グレー水素
	産業	熱電併給	燃料電池	電力・熱	kWh	g-CO2/kWh	温度区分による分類（PEFC/SOFC）、電力・熱は按分	ガス・系統電力
	業務	熱電併給	燃料電池	電力・熱	kWh	g-CO2/kWh	温水（65℃）数十kW級、電力・熱は按分	ガス・系統電力
	家庭	熱電併給	燃料電池	電力・熱	kWh	g-CO2/kWh	温水（65℃）数kW級、電力・熱は按分	ガス・系統電力
	産業	熱利用	燃焼	熱	MJ	g-CO2/MJ	ボイラ（200-500℃）、水素バーナ（1000℃級）	ガス
	業務	熱利用	燃焼	熱	MJ	g-CO2/MJ	給湯・ボイラ、コジェネ（電力・熱は按分）	ガス
	家庭	熱利用	燃焼	熱	MJ	g-CO2/MJ	給湯・ボイラ	ガス
	モビリティ	乗用車	燃料電池	輸送人数・走行距離	人km	g-CO2/人km	中型（5人乗り）	ガソリン
	モビリティ	乗用車	燃焼	輸送人数・走行距離	人km	g-CO2/人km	中型（5人乗り）	ガソリン
	モビリティ	トラック	燃料電池	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	小型（2-3t級）、中型（4t級）、大型（10t級）	軽油
	モビリティ	トラック	燃焼	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	小型（2-3t級）、中型（4t級）、大型（10t級）	軽油
	モビリティ	バス	燃料電池	輸送人数・走行距離	人km	g-CO2/人km	路線バス（80人）	軽油
	モビリティ	バス	燃焼	輸送人数・走行距離	人km	g-CO2/人km	路線バス（80人）	軽油
	モビリティ	航空機	燃料電池	輸送人数・飛行距離	人km	g-CO2/人km	旅客機（150人、航続距離 5000km級）	ジェット燃料
	モビリティ	内航船	燃焼	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	500t級、500km	重油・LNG
	モビリティ	内航船	燃料電池	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	500t級、500km	重油・LNG
	モビリティ	外航船	燃焼	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	10000t級、10000km	重油・LNG
	モビリティ	外航船	燃料電池	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	10000t級、10000km	重油・LNG
	モビリティ	鉄道	燃料電池	輸送量・走行距離	t-km	g-CO2/t-km	旅客、500km	軽油・系統電力
	モビリティ	荷役機器	燃料電池	稼働時間	h	g-CO2/h	フォークリフト	軽油・系統電力
	モビリティ	建機・農機	燃料電池	稼働時間	h	g-CO2/h	トラクター、ショベルカー	軽油・系統電力

4. 分析の手法

想定時期、バリューチェーンの水素取扱量

想定時期

	移行期(2025～2030年代)	将来(2040～2050年)
考え方	技術的成立性が確認され、実証から初期普及へと移行する段階に相当し、一定の性能達成を前提としつつも、コストや普及条件には不確実性が残る状態として位置づける。	各技術が十分に成熟し、広範な普及が進んだ段階を想定する。この段階における諸元は、市場平均的な実績値ではなく、技術開発の積み重ねや物理的制約を踏まえて論理的に到達し得る性能水準、すなわち技術的ポテンシャルを示す目標値として扱う。

バリューチェーンの水素取扱量

	輸入	国産
取扱量	25億Nm ³ -H ₂ /年(FCV約220万台、または合計60万kWの水素専焼発電所)	水素製造規模と需要家の消費量が必ずしも一致しないため、それぞれについて1台、1隻による輸送など適切と考えられる規模を想定

4. 分析の手法

バリューチェーン全体及び構成要素からのGHG排出量及びエネルギー効率の試算

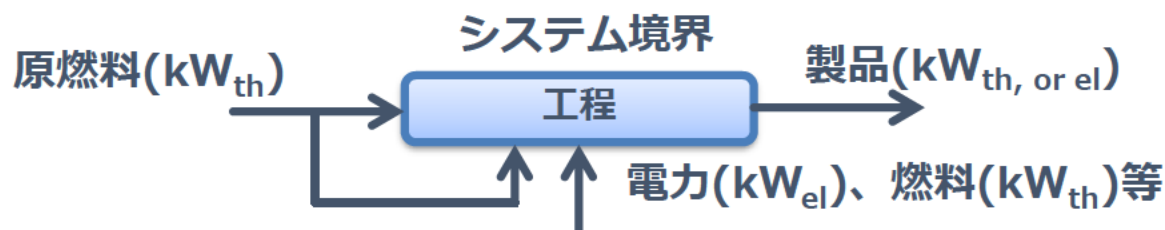
- ISO/FDIS 19870-1を参照し、システム境界内のライフサイクルのGHG排出(原燃料、電力起因)を計上、機能単位である水素等1kgまたは需要技術の製品・サービス(例 人・km)当たりのGHG排出量(炭素集約度、Carbon Intensity, CI)を算出。CO₂とメタン(天然ガスの上流排出)を計上した。
- ただし、補足情報として記載することが要求されている設備由来のエミッションは捨象した。

GHG排出量算出の式(サプライチェーン)

$$\text{水素等当たりGHG排出量 (CI値)} = \frac{\text{システム境界内へ投入したエネルギー等に起因して発生するGHG量}}{\text{システム境界から出力される水素等に含まれるエネルギー量または提供便益量}}$$

エネルギー効率算出の式(工程・サプライチェーン)

$$\text{エネルギー効率} = \frac{\text{システム境界から出力される製品やエネルギーキャリアのエネルギー量(燃焼熱)}}{\text{システム境界内へ入力するエネルギー量(一次エネルギー投入量換算)}}$$



4. 分析の手法

- 燃料の排出係数は、温対法の排出係数（HHV基準）を燃料熱量のLHV/HHV比を用いてLHVベースに変換し、燃料の採掘等上流部分の排出係数を加えて用いた。
- 将来（2040-2050年）に2050年を想定した将来において、削減が相対的に難しい熱供給においても低炭素燃料や排熱利用などによって目標に近い削減を行っていると想定し、燃料のCO₂排出係数は70%削減を想定した。
- 電力のCO₂排出係数は、対応する年代の送電端ベースの値を需要端ベースに換算して用いた。

原燃料のCO₂排出係数

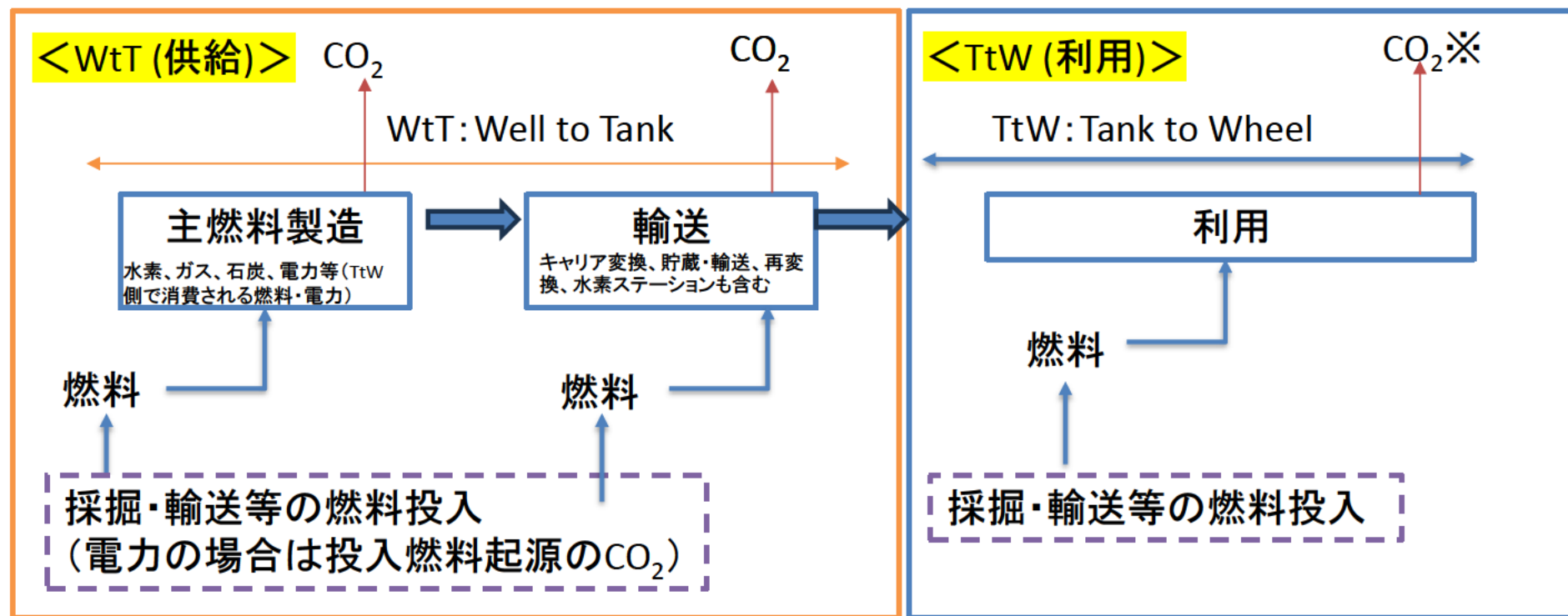
燃料種	燃焼のCO ₂ 排出係数 ①	採掘・輸送 ②		採掘・輸送＋燃焼 ①＋②	
		移行期 (2025～2030年代)	将来 (2040～2050年)	移行期 (2025～2030年代)	将来 (2040～2050年)
	kgCO ₂ /MJ	kgCO ₂ /MJ	kgCO ₂ /MJ	kgCO ₂ /MJ	kgCO ₂ /MJ
一般炭	0.0929	0.00768	0.00384	0.10057	0.09673
ガソリン	0.0706	0.00228	0.00114	0.07291	0.07177
軽油	0.0722	0.00228	0.00114	0.07445	0.07331
船用低硫黄燃料油	0.0733	0.00228	0.00114	0.07561	0.07447
液化天然ガス(LNG)	0.0550	0.01020	0.00510	0.06520	0.06010
天然ガス	0.0566	0.00080	0.00040	0.05743	0.05703
将来(2040～2050年)ケースの低炭素燃料	-	-	-	-	上記の70%減(燃料として利用する場合)

電力のCO₂排出係数

	移行期 (2025～2030年代)	将来 (2040～2050年)	単位
海外(豪州)	137	20	g-CO ₂ /kWh
国内	315	36	g-CO ₂ /kWh

4. 分析の手法

供給側であるWell to Tank (WtT)と利用側のTank to Wheel (TtW)を組み合わせるWell to Wheelの炭素集約度を試算する。

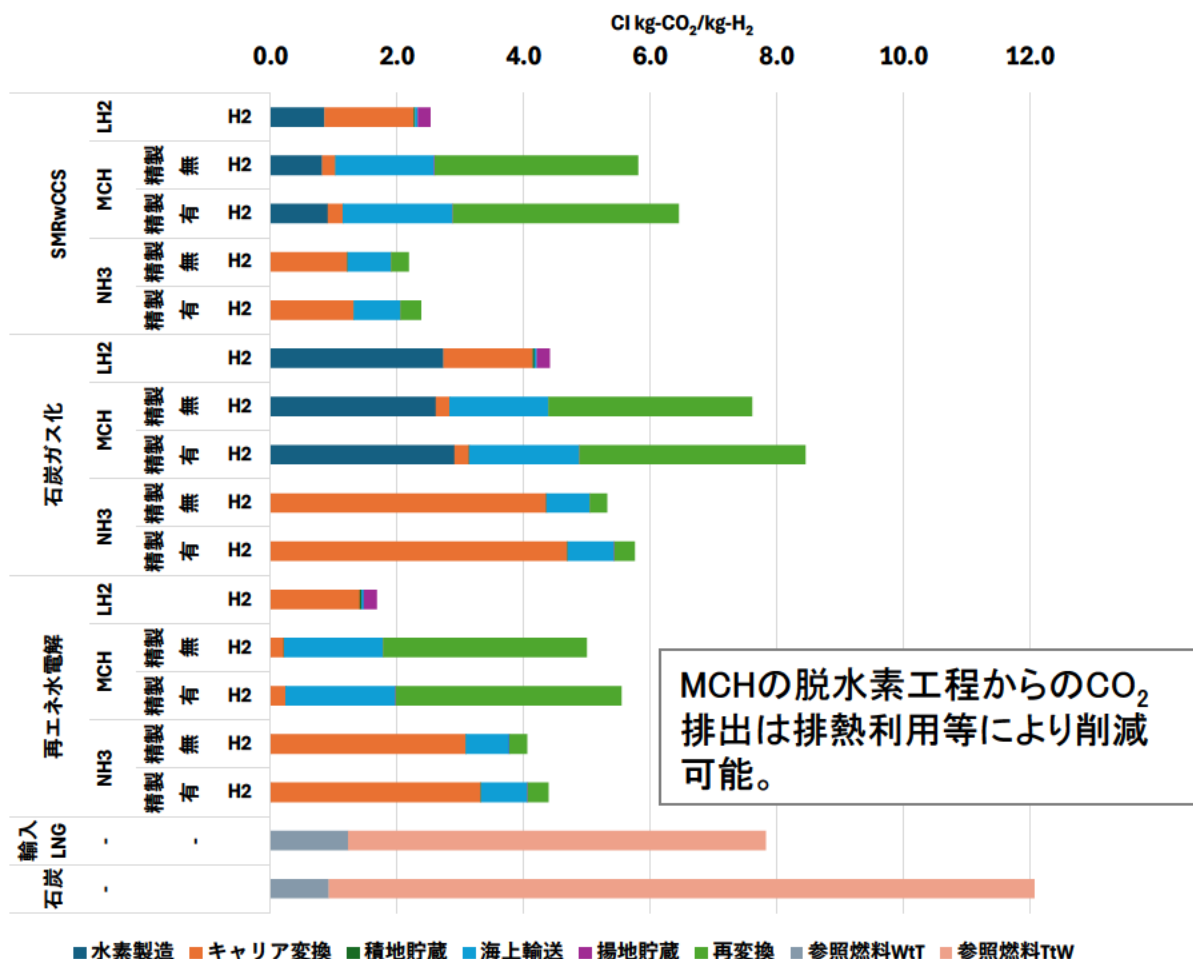


- 本調査における水素需要技術の評価範囲は、水素が需要機器に供給された後の利用段階とし、一般に「Tank to Wheel」と呼ばれる範囲を対象とする。ここでいうTank to Wheelは車両に限らず、燃料またはエネルギーキャリアが需要機器に投入され、その機器が機能を発揮して便益を提供するまでの段階を指す。
- モビリティ: 車載タンク、産業: 工場の貯槽、家庭: タンク

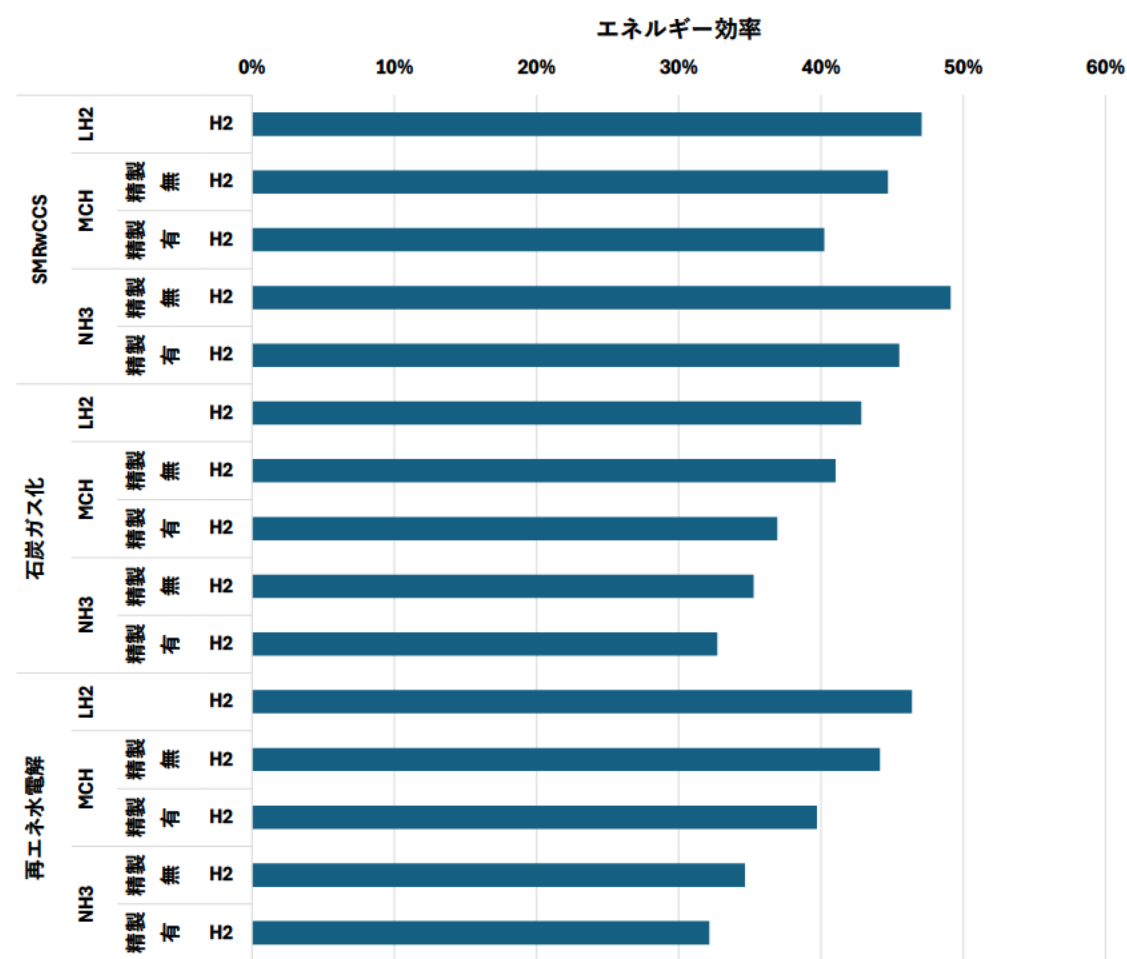
5. 分析結果 供給側WtT(輸入)のCI値およびエネルギー効率(移行期(2025～2030年代))

- CCS付天然ガス水蒸気改質とCCS付の石炭ガス化は輸送のキャリアと精製の有無が同じ場合、石炭の相対的に高いCO₂排出係数により、石炭ガス化を水素製造法とするバリューチェーンのCI値が高い。石炭上流のGHGマネジメントも効果的。
- 水素製造技術が再エネ水電解の場合は、水素製造からのCO₂排出量がゼロとなるため、WtTのCI値が大幅に改善

輸入水素WtT 移行期(製造国電力：系統電力)



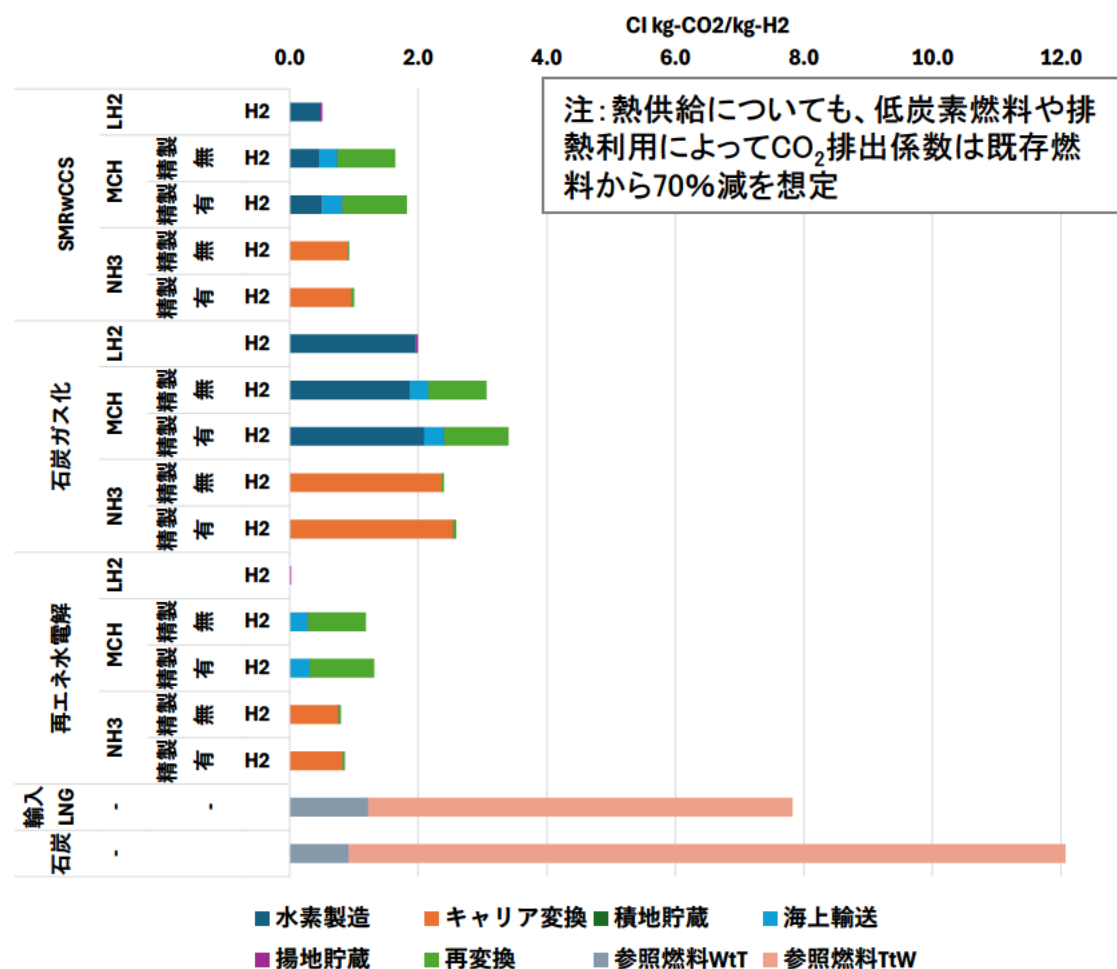
輸入水素WtT 移行期(製造国電力：系統電力)



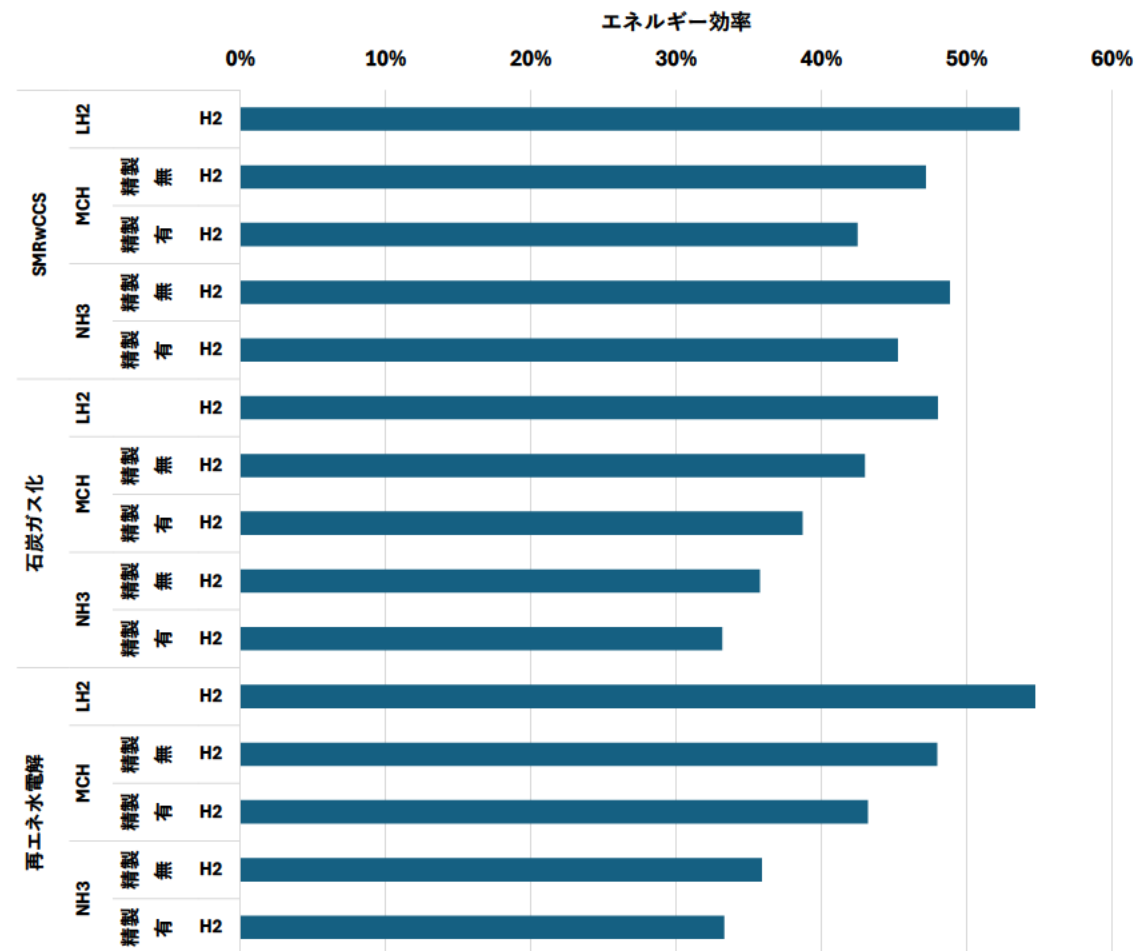
5. 分析結果 供給側WtT(輸入)のCI値およびエネルギー効率(将来(2040～2050年))

- 製造国側の動力等の電力に再エネ電力を用いることで電力によるCO₂排出がなくなるため、製造国側において電力を多く消費する液化水素やアンモニアのキャリア合成工程の寄与が改善。
- MCHは脱水素工程のCO₂排出については、排熱の利用をはじめとする近隣の設備との熱的統合を行うことでこの工程のCO₂排出量を抑えることも可能

輸入水素WtT 将来(製造国電力：再エネ電力)



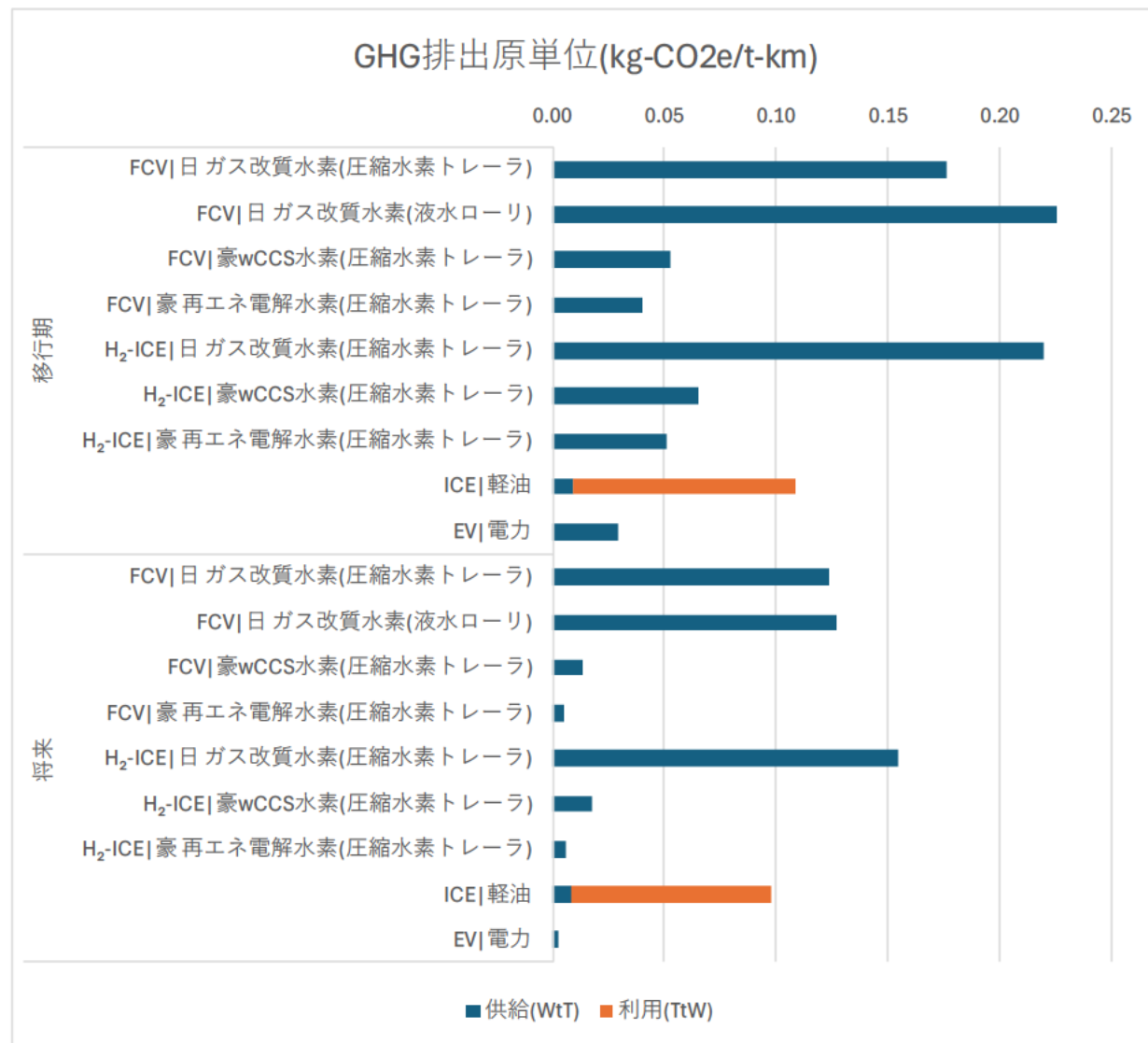
輸入水素WtT 将来(製造国電力：再エネ電力)



※再エネ電力の供給は、バリューチェーンの設備の一部として再エネ電力設備を持つほか、クレジットを用いるなどいくつかの方法が想定

5. 分析結果

大型トラックWtWの分析結果、移行期(2030年代)、将来(2040～2050年代)



- CI_{WtW} の観点では、水素利用は供給段階の排出が支配的であり、水素の製造起源により大きく変動する。
- FCTトラックは、低炭素水素を前提とすることで大幅な低減が可能であり、他技術と比較して低い水準となる。
- H₂-ICE(内燃機関)は同一水素を用いる場合でもFCTトラックに比べて消費量が増加するため、FCTトラックより高い水準に位置する。ICEは利用段階排出が支配的であり一定の水準にとどまるのに対し、水素利用は供給条件の改善によりそれを下回る可能性を有する。
- EVは電源構成に依存するが、将来(2040～2050年)においては水素利用と同様に低い水準となる。

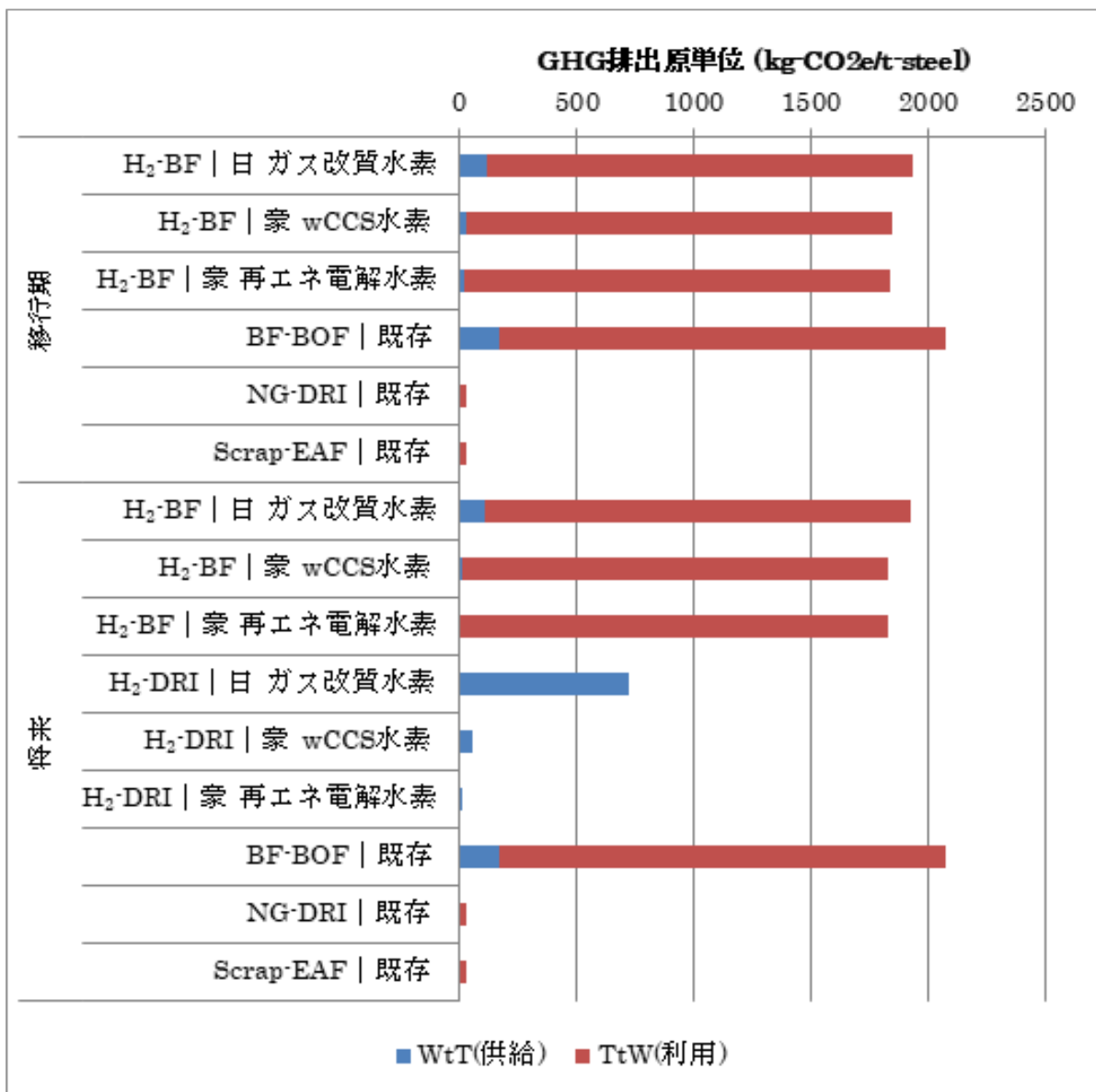
日 ガス改質水素: 国内グレー水素、圧縮水素配送

豪 wCCS水素: CCS付天然ガス改質、液化水素輸入、圧縮水素配送

豪 再エネ電解水素: 再エネ水電解、液化水素輸入、圧縮水素配送

5. 分析結果

製鉄 WtWの分析結果、移行期(2030年代)、将来(2040～2050年代)



- 水素利用は、製鉄における炭素還元プロセスを代替することにより、プロセス起源のCO₂排出を大幅に削減し得る有効な脱炭素手段。
- 高炉における水素利用は、既存のコークス還元を前提としたプロセスにおいて、水素を補助的な還元剤として導入するもの。高炉への部分的な水素導入では炭素依存構造が残るため削減効果は限定的。
- 水素直接還元は、鉄鉱石の還元を水素により行うことで、炭素を用いない還元プロセスへ転換するもの。還元工程におけるCO₂排出がほぼ排除されるため、需要端のCI_{WtW}は水素の製造方法に依存する。一方で、本プロセスは電炉を前提とするため電力消費が大きく、水素製造も含めて電力依存度が高い構造となる。このため、一次エネルギー投入量は増加する傾向にあり、電力の供給条件がシステム全体の効率を左右する。
- 水素利用の評価にあたっては、製造段階を含めたエネルギー供給構造との整合を前提とする必要がある。

日 ガス改質水素: 国内グレー水素、圧縮水素配送

豪 wCCS水素: CCS付天然ガス改質、液化水素輸入、圧縮水素配送

豪 再エネ電解水素: 再エネ水電解、液化水素輸入、圧縮水素配送

BF 高炉

DRI 直接還元製鉄

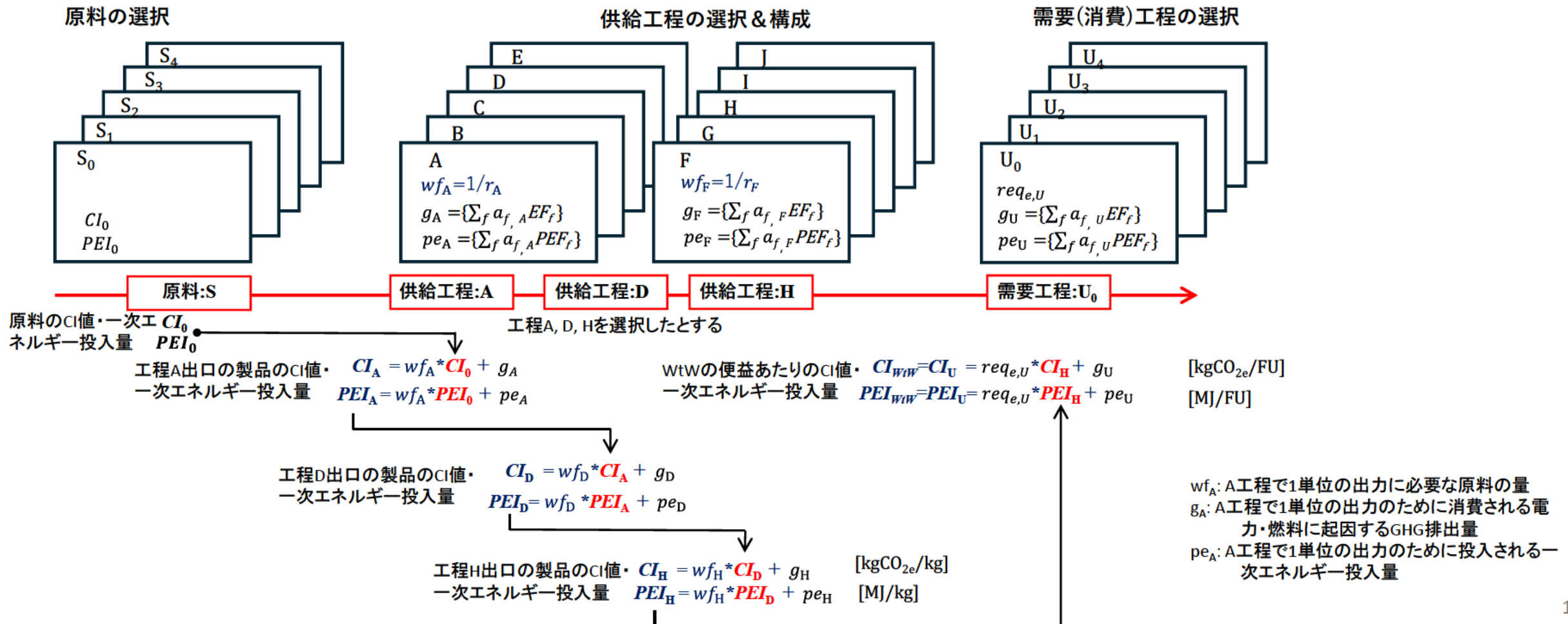
BOF 転炉

NG-DRI 天然ガスベース直接還元製鉄

Scrap-EAF スクラップ電炉

6. 任意の工程を組み合わせたバリューチェーンの製品CI値の試算の方法

- 各工程における損失・追加のGHG発生があるため、任意のサプライチェーンを経た需要の便益(または製品)のCI値は、計算結果の数値を単純に足し合わせるだけでは求められない。(例外は、サプライチェーン内で製品の損失がなく保存される場合。つまり図の中で 各工程の wf_x が全て1の場合)
- そこで、各工程における損失・追加のGHG発生を考慮し、その工程に起因して発生するCO2排出量を次の工程に反映していくこと(逐次代入)によって任意の工程を組み合わせたバリューチェーンの製品CI値を計算できる。



7. 今後の見通しについて

- 成果の利用方法
 - 各需要を含む国産・輸入の水素サプライチェーンを広く分析し、類型化したバリューチェーンの炭素集約度や一次エネルギー投入量を評価した。この結果は、水素利用によるGHG削減効果等を定量的に示した材料として広くご利用いただける。
 - 各工程の数表にある数値を本報告書に記載した方法論で逐次計算することによって、任意のバリューチェーンをユーザー側において評価することができ、事業評価の1つのツールとしてご利用いただける。
- 今後の課題と対応方針
 - 新規な工程・需要技術の追加、個別の工程のエネルギー効率の改善をさらに考慮することなど精緻化によりさらに有意義な成果を出せると考えられる。