

2022年度 JPECフォーラム

石油精製段階のエネルギー消費量・CO₂排出量に
関する解析

2022年5月11日

一般財団法人石油エネルギー技術センター
製造プロセス技術部

— 禁無断転載・複製 ©JPEC 2022 —

目次

1. 背景、目的
2. 我が国の石油精製におけるCO₂排出量の現状
3. CO₂排出量削減施策・技術動向
4. 製油所のCO₂排出量施策のケーススタディ
5. まとめ

国内の石油需要減少等の厳しい経営環境にある中、国内供給インフラを経済合理的かつ効率的に維持し、将来にわたり安定供給を確保していくためには、日本企業の経営基盤を強化していかなければならない。一方で、カーボンニュートラルに向けた動きが加速している中で、石油の精製段階におけるCO2排出量は、これまでの製油所の競争力強化手段に加えて、今後新しい競争力指標とも成り得るデータだと言える。

本調査は、ケミカルシフトの進展状況やデジタル化による効率化状況を踏まえた上で、エネルギー消費量及びCO2排出量に関する解析を行うことを目的とする。

日本の目標

2050年 カーボンニュートラル
2030年 ▲46% (2013年対比)

➤ CO2排出削減量の見える化は重要

石油業界のカーボンニュートラルに向けたビジョン (目指す姿)

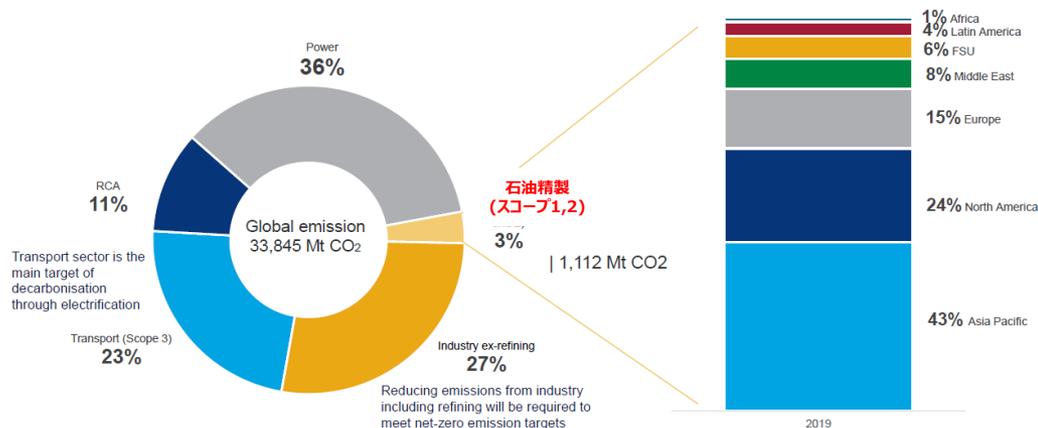


石油業界は、サプライチェーンや製品の脱炭素化の取り組みの加速化や、既存インフラが活用できる革新的な脱炭素技術(①CO2フリー水素、②合成燃料、③CCS・CCU(カーボンリサイクル)など)の研究開発と社会実装に積極的にチャレンジすることで、事業活動に伴うCO2排出の実質ゼロ(カーボンニュートラル)を目指すとともに、供給する製品の低炭素化等を通じて、社会全体のカーボンニュートラルの実現に貢献します。



2. 我が国の石油精製におけるCO2排出量の現状

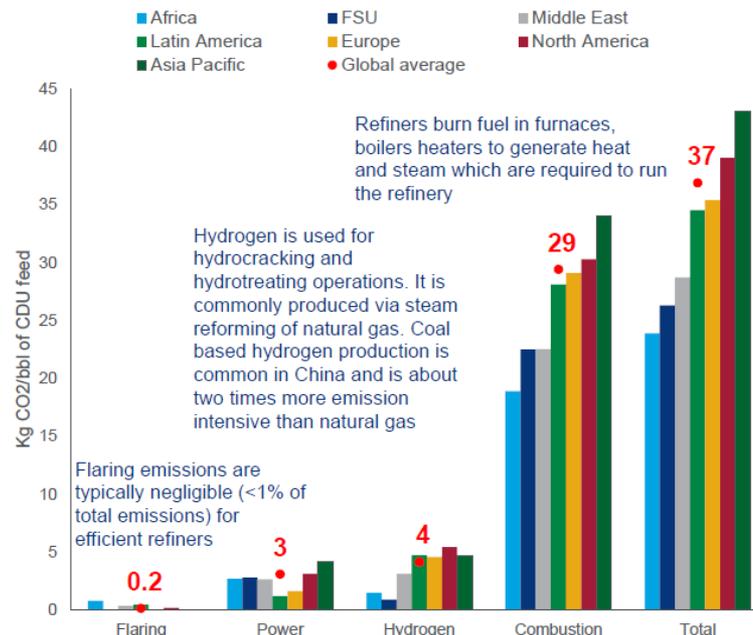
エネルギー部門毎のCO2排出源(2019)



出所：ERTC2021(Wood Mackenzie)

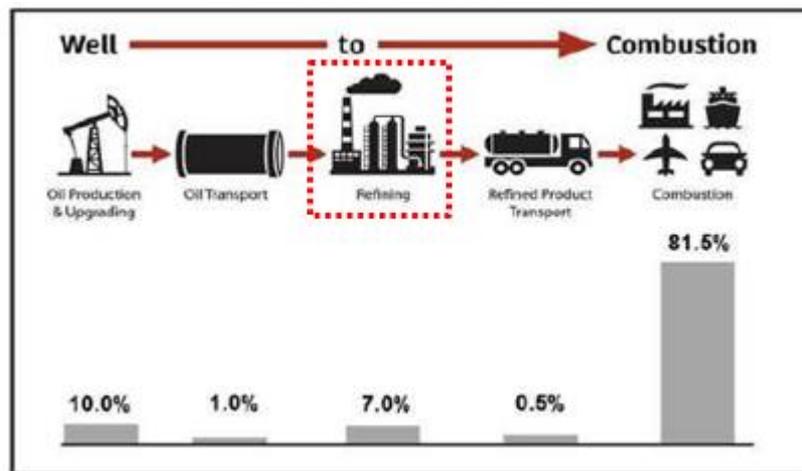
➤ 製油所におけるCO2排出源は、主に燃焼炉やボイラーによる燃料燃焼

地域毎の製油所からのCO2排出源(2019)



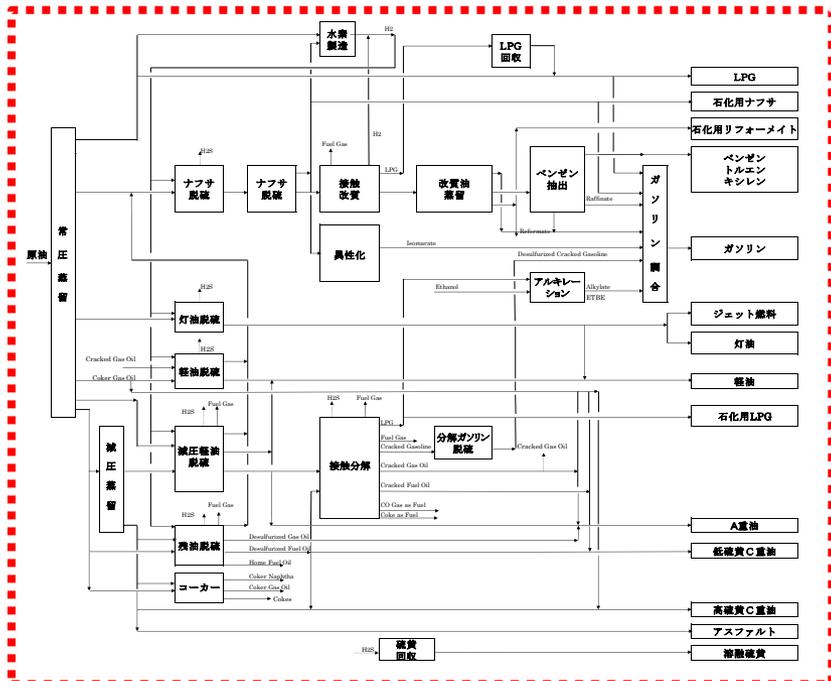
出所：ERTC2021(Wood Mackenzie)

LCAにおけるGHG排出量の割合



出所：ARC Financial Corp(2005)

2. 我が国の石油精製におけるCO2排出量の現状



モデル製油所

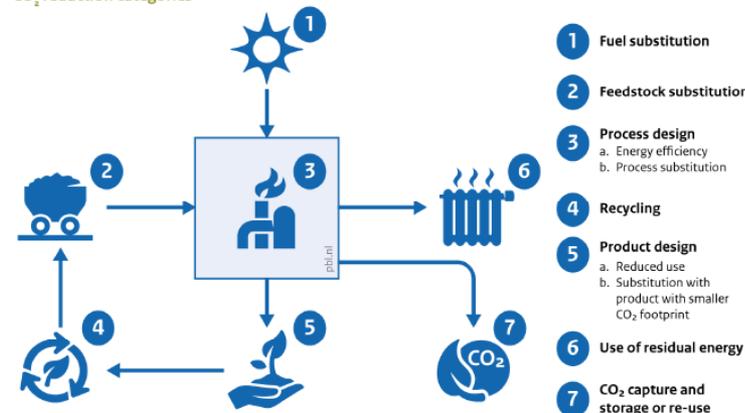
- 日本全体のモデル製油所を用いて、製油所を構成する装置毎にCO2排出量を推算(2019年度調査)
- 接触分解、常圧蒸留、水素製造装置からの排出量大

	CO2排出量 ktCO ₂ /年 2020年	比率 (%)
1 常圧蒸留装置	7,213	21.8
2 減圧蒸留装置	104	0.3
3 ナフサ脱硫装置	421	1.3
4 灯油脱硫装置	861	2.6
5 軽油脱硫装置	1,816	5.5
6 減圧軽油脱硫装置	2,171	6.6
7 残油脱硫装置	1,801	5.5
8 ナフサ蒸留	55	0.2
9 接触改質装置	1,960	5.9
10 LPG回収	8	0.0
11 改質油蒸留	31	0.1
12 ベンゼン抽出	17	0.1
13 アルキレーション装置	160	0.5
14 接触分解装置	9,019	27.3
15 水素製造	5,849	17.7
16 分解ガソリン脱硫装置	407	1.2
17 異性化装置	15	0.0
18 コーカー	453	1.4
19 水素化分解装置	555	1.7
20 ETBE装置	13	0.0
21 溶剤脱歴装置	3	0.0
22 プロピレン分留装置	3	0.0
23 パラキシレン装置	52	0.2
24 トランスアルキ装置	32	0.1
合計	33,018	100.0

3. CO2排出量削減施策・技術動向

➤ CO2排出量削減にむけてについては、Concawe PBL(オランダ環境評価庁)等で検討されている。

CO₂ reduction categories



Source: PBL

MIDDENプロジェクト

番号	カテゴリー	技術	関連するプロセス
①	燃料変換	電気燃焼炉	ガス燃焼装置を提供するすべてのプロセスに適用できる可能性があります (例：大気圧蒸留、分解プロセス、改質)
		電気ボイラー	蒸気ボイラー
		電気シャフト機器	蒸気シャフト機器
		ブルー/グリーン水素 (燃料)	ガス燃焼装置を提供するすべてのプロセスに適用できる可能性があります (例：大気圧蒸留、分解プロセス、改質)
②	原料変換	FCCユニットでバイオマスからの熱分解バイオオイルの共処理 (5-10%)	FCC装置での共処理
		プロセスの原料としてのブルー/グリーン水素	すべての水素化処理および水素化分解プロセス
③	プロセス形式	熱分解バイオオイルのアップグレードによるバイオ燃料生産のための独立型プラント	LPG、ガソリン、灯油、軽油/ディーゼルの代替プロセス
		燃料生産のためのバイオマスガス化とフィッシャー・トロプシュ合成	LPG、ガソリン、灯油、軽油/ディーゼルの代替プロセス
⑥	廃熱利用	内部または外部でのプロセス熱の使用	過剰な熱を伴うすべてのプロセス
⑦	CO2回収と貯蔵又は再利用	CO2回収と貯蔵	主に水素製造、FCC、ガス化装置に適用可能
			現在のすべてのスタックに適用できる可能性がありますが、スペース要件によって制限されます

3. CO2排出量削減施策・技術動向

Concawe

2段階のアプローチ

	ステップ 1	ステップ 2
アプローチ	CO2 reduction technologies report (Concawe2019年8月レポート)	Refinery 2050 report (Beyond CO2 efficiency)
CO2節約の スコープ	製油所内 (直接 および 間接排出) スコープ1,2	製油所の外の製品の最終使用まで スコープを拡大 スコープ3
技術	EU精製システム全体でCO2排出量を削減する技術。	製油所のCO2排出量を削減する技術 (ステップ1で確認)+低化石炭素原料 (製油所内での配置または処理)
時間軸	2030年までに現実的に達成可能なもの 2050年に向けた幅広い展開	2050年を見据えた2030年以降の将来の展開の可能性
需要	2030年の需要シナリオに基づく 2030年以降のセクター /製品収量の活動レベルに変化はない	セクターの活動レベルと製品利回りの両方に影響を与えるさまざまなルートと 2050 の需要シナリオを探索
原料	原油	原油は徐々に化石燃料以外の原料 (例えばバイオ原料+e-Fuel)に置換

3. CO2排出量削減施策・技術動向

削減技術(CO2排出量)のまとめ

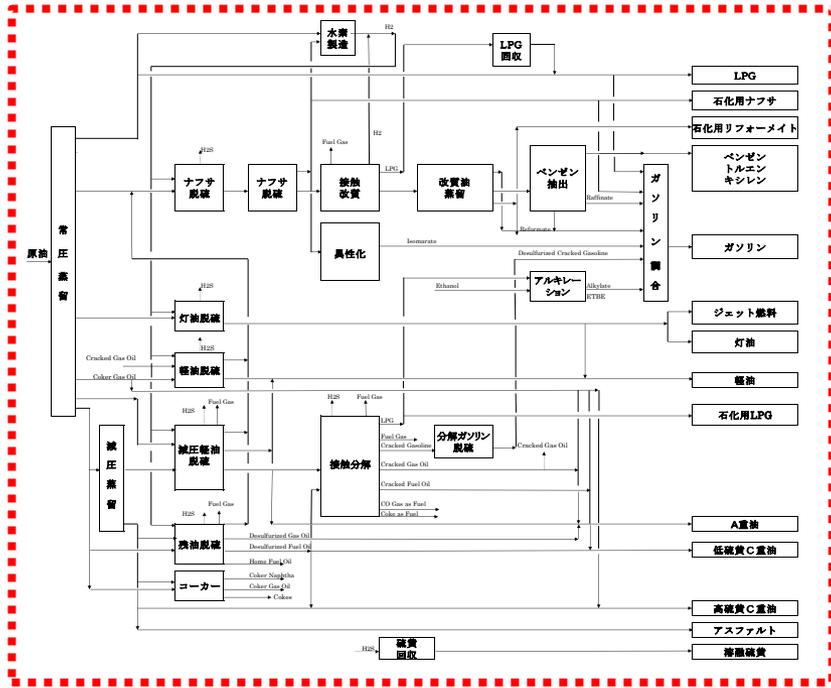
CO2削減策

A	1.エネルギー 効率 (EE)	(1)製油所 プロセス の効率	①継続的な改善：設備投資を伴う対策と小規模プロジェクトの組み合わせによる継続的な改善。 ・触媒の改良や新型のモーター ・熱交換器などのハードウェアの改良 等	
			②新規の大型投資：製油所既存設備の大規模な変更やプラントの新設	
			③ユニット間の熱統合	
		(2)製油所の低グレード熱の外部への供給や電気への変換		
B	2.低炭素エネルギー源(LCE)の利用	(1)ガスおよび電力網の脱炭素化	→ 燃料の低炭素化、再生可能電力	
		(2)液体燃料燃焼の低減		
		(3)燃料ガスからの水素・LPGの回収		
		4)外部低炭素電力の利用増加	①電動化：回転機器等における電気の使用割合増加	
			②発電：自家発電の低炭素原料由来への置換	
	③燃料燃焼ボイラーから電気ヒーターへの熱源の置換			
	④電気分解：再生可能電力を使用した電気分解による水素の生成	→ グリーン水素導入		
C	3.CO2 キャプチャ (CC)	(1)製油所のCO2排出量の一部を捕獲(および貯蔵)する。		

製油所のCO2排出量施策のケーススタディについて、モデル製油所を用いて検討した。

検討にあたり、いくつかの個別対策を列挙、1つ1つの対策のポテンシャルを求めて、さらに、2030年において技術的に可能であろう対策を組み合わせてCO2削減量を推算した。

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ



モデル製油所

	CO2排出量 ktCO2/年 2020年	比率 (%)
1 常圧蒸留装置	7,213	21.8
2 減圧蒸留装置	104	0.3
3 ナフサ脱硫装置	421	1.3
4 灯油脱硫装置	861	2.6
5 軽油脱硫装置	1,816	5.5
6 減圧軽油脱硫装置	2,171	6.6
7 残油脱硫装置	1,801	5.5
8 ナフサ蒸留	55	0.2
9 接触改質装置	1,960	5.9
10 LPG回収	8	0.0
11 改質油蒸留	31	0.1
12 ベンゼン抽出	17	0.1
13 アルキレーション装置	160	0.5
14 接触分解装置	9,019	27.3
15 水素製造	5,849	17.7
16 分解ガソリン脱硫装置	407	1.2
17 異性化装置	15	0.0
18 コーカー	453	1.4
19 水素化分解装置	555	1.7
20 ETBE装置	13	0.0
21 溶剤脱歴装置	3	0.0
22 プロピレン分留装置	3	0.0
23 パラキシレン装置	52	0.2
24 トランスアルキ装置	32	0.1
合計	33,018	100.0

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

削減技術(CO2排出量)のまとめ

CO2削減策

A	1. エネルギー効率 (EE)	(1) 製油所 プロセス の効率	<ul style="list-style-type: none"> ① 継続的な改善：設備投資を伴う対策と小規模プロジェクトの組み合わせによる継続的な改善。 ・触媒の改良や新型のモーター ・熱交換器などのハードウェアの改良 等 ② 新規の大型投資：製油所既存設備の大規模な変更やプラントの新設 ③ ユニット間の熱統合
		(2) 製油所の低グレード熱の外部への供給や電気への変換	
B	2. 低炭素エネルギー源(LCE)の利用	(1) ガスおよび電力網の脱炭素化	→ 燃料の低炭素化、再生可能電力
		(2) 液体燃料燃焼の低減	
		(3) 燃料ガスからの水素・LPGの回収	
		4) 外部低炭素電力の利用増加	<ul style="list-style-type: none"> ① 電動化：回転機器等における電気の使用割合増加 ② 発電：自家発電の低炭素原料由来への置換 ③ 燃料燃焼ボイラーから電気ヒーターへの熱源の置換 ④ 電気分解：再生可能電力を使用した電気分解による水素の生成 → グリーン水素導入
C	3. CO2 キャプチャ (CC)	(1) 製油所のCO2排出量の一部を捕獲(および貯蔵)する。	

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

ケーススタディ：個別対策と2030年(2050年)時点での組み合わせによる評価

目標：2030年時点で達成可能な技術の組み合わせによるCO2削減

- 項目：①エネルギー効率
②燃料の低炭素化
③再生可能電力(再生電力)
④グリーン水素導入
⑤CCS導入

CO2削減のための個別対策

番号	分類	個別対策項目	
1	エネルギー効率	①-A	製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)
2	エネルギー効率	①-B	常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)
3	エネルギー効率	①-C	FCCのコークス制御(FCC装置の省エネ10%)
4	燃料の低炭素化	②	100%LNG
5	再生可能電力	③-A	電力のみ再生可能電力100%
6	再生可能電力	③-B	燃料も含め全て再生可能電力100%
7	グリーン水素導入	④	再生可能電力による電解水素製造またはグリーン水素輸入100%
8	CCS導入	⑤-A	水素製造時に分離されるCO2のみ回収
9	CCS導入	⑤-B	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を10%回収
10	CCS導入	⑤-C	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を50%回収

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

ケーススタディ：個別対策と2030年(2050年)時点での組み合わせによる評価

【個別対策】

項目：①エネルギー効率、②燃料の低炭素化、③再生電力、④グリーン水素導入、⑤CCS導入

①エネルギー効率；

- ①-A：製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)
- ①-B：常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)*
- ①-C：FCCのコークス制御(FCC装置の省エネ10%)

①-A：石油連盟 2020年度目標と2030年度目標の差分 原油換算47万kl分

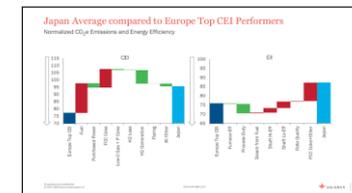
①-B：2020年度実施した“常圧蒸留装置周りの汚れ制御”のインパクト

①-C：2020年度実施したソロモン分析におけるJAとEUの主要EIIギャップ因子

* 製油所の脱炭素化開発研究事業にて実施中

②燃料の低炭素化；100%LNG

ベース燃料ガス(57.6gCO₂/MJ) を、LNG(55.84gCO₂/MJ)に変更



4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

ケーススタディ：個別対策と2030年(2050年)時点での組み合わせによる評価

【個別対策】

項目：①エネルギー効率、②燃料の低炭素化、③再生電力、④グリーン水素導入、⑤CCS導入

③再生電力；

③-A：電力のみ再生可能電力100%

③-B：燃料も含め全て再生可能電力100%

・ベースケースでの電力の設定 144.0gCO₂/MJを、再生可能電力の売電に変換

④グリーン水素導入；再生可能電力による電解水素製造またはグリーン水素輸入100%

・いずれも製油所内での水素製造時は、0gCO₂/MJ

⑤CCS導入；

⑤-A：水素製造時に分離されるCO₂のみ回収

⑤-B：⑤-A + 燃焼排ガスからCO₂を10%回収

⑤-C：⑤-A + 燃焼排ガスからCO₂を50%回収

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

【個別対策検討結果】

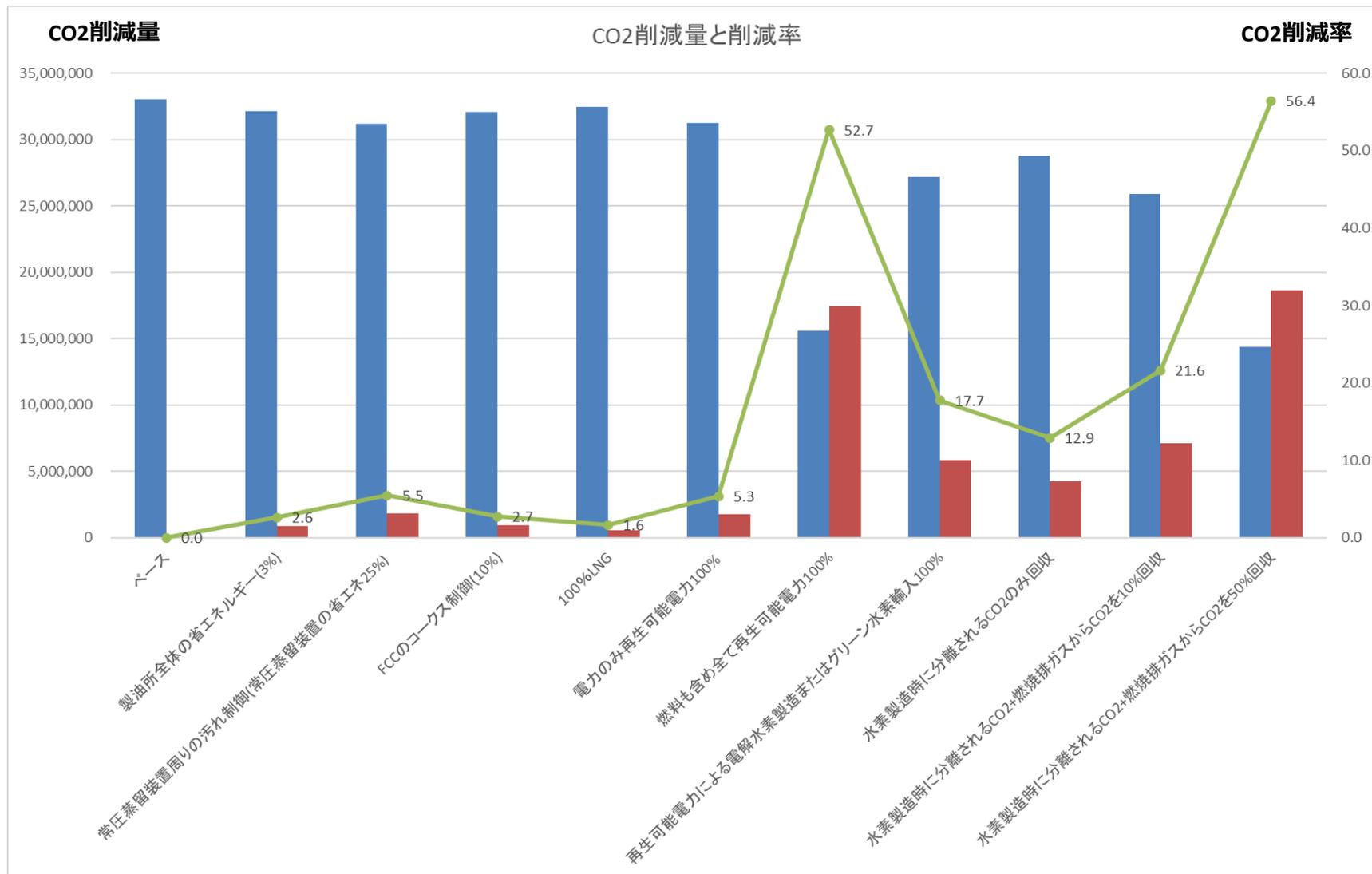
個別対策毎のCO2削減比較

個別対策項目		CO2排出量 (kt-CO2)	CO2削減量 (kt-CO2)	CO2削減率 (%)	分類
ベース		33,018	0	0.0	-
①-A	製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)	32,155	864	2.6	エネルギー効率
①-B	常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)	31,214	1,804	5.5	エネルギー効率
①-C	FCCのコークス制御(FCC装置の省エネ10%)	32,116	903	2.7	エネルギー効率
②	100%LNG*	32,486	532	1.6	燃料の低炭素化
③-A	電力のみ再生可能電力100% *	31,256	1,763	5.3	再生可能電力
③-B	燃料も含め全て再生可能電力100%	15,611	17,407	52.7	再生可能電力
④	再生可能電力による電解水素製造またはグリーン水素輸入100%	27,170	5,849	17.7	グリーン水素導入
⑤-A	水素製造時に分離されるCO2のみ回収	28,762	4,257	12.9	CCS導入
⑤-B	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を10%回収	25,889	7,130	21.6	CCS導入
⑤-C	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を50%回収	14,381	18,638	56.4	CCS導入

* : 製油所ガスの対応要

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

【個別対策】



4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

【個別対策検討結果】

個別対策毎のCO2削減比較

個別対策項目		CO2排出量 (kt-CO2)	CO2削減量 (kt-CO2)	CO2削減率 (%)	実現可能性 (2030年)
ベース		33,018	0	0.0	-
①-A	製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)	32,155	864	2.6	✓
①-B	常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)	31,214	1,804	5.5	✓
①-C	FCCのコークス制御(FCC装置の省エネ10%)	32,116	903	2.7	
②	100%LNG*	32,486	532	1.6	✓
③-A	電力のみ再生可能電力100% *	31,256	1,763	5.3	
③-B	燃料も含め全て再生可能電力100%	15,611	17,407	52.7	
④	再生可能電力による電解水素製造またはグリーン水素輸入100%	27,170	5,849	17.7	✓
⑤-A	水素製造時に分離されるCO2のみ回収	28,762	4,257	12.9	
⑤-B	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を10%回収	25,889	7,130	21.6	
⑤-C	水素製造時に分離されるCO2+燃焼排ガスからCO2を50%回収	14,381	18,638	56.4	

* : 製油所ガスの対応要

次に、2030年時点で、技術的に可能な項目を組み合わせることでCO2排出量を計算

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

ケーススタディ：個別対策と2030年(2050年)時点での組み合わせによる評価

【2030年時点での組み合わせによる評価例】

項目：①エネルギー効率、②燃料の低炭素化、③再生電力、④グリーン水素導入、⑤CCS導入

【2030年】

①エネルギー効率；

①-A：製油所全体の省エネルギー(全体の省エネ3%)

①-B：常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)

②燃料の低炭素化；100%LNG

④グリーン水素導入；グリーン水素輸入100%

- ・100%LNGへの変換については、コンビナート内のLNG受入基地との連携要
- ・グリーン水素輸入コンビナート内の受入基地からパイプライン等で転送



結果；26.8%

4. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ

【参考】ケーススタディ：個別対策と2030年(2050年)時点での組み合わせによる評価

【2050年時点での組み合わせによる評価例】

項目：①エネルギー効率、②燃料の低炭素化、③再生電力、④グリーン水素導入、⑤CCS導入

【2050年】

①エネルギー効率；

①-A：製油所全体の省エネルギー(全体省エネ3%)

①-B：常圧蒸留装置周りの汚れ制御(常圧蒸留装置の省エネ25%)

②燃料の低炭素化；100%LNG

③再生可能電力；

③-A：電力のみ再生可能電力100%

④グリーン水素導入；グリーン水素輸入100%

⑤CCS導入；

⑤-C：⑤-A + 燃焼排ガスからCO2を50%回収

・③-Bの全エネルギーの再生可能化は、適用機器の技術開発に時間要と判断

・グリーン水素が導入前提のため、水素製造装置へのCCS導入(⑤A)は、対策不要

結果；65.9%

今年度調査した項目	分かったこと
1. 我が国の石油精製におけるCO2排出量の現状	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 日本全体のモデル製油所を用いて、CO2排出量を装置毎に算出した。 ➤ 接触分解、常圧蒸留、水素製造装置からの排出量が多い。
2. CO2排出量削減施策・技術動向	<ul style="list-style-type: none"> ➤ CO2排出量を削減する施策を、エネルギー効率、低炭素エネルギー源の利用、CO2貯蔵等に分類した。
3. 製油所のCO2排出量施策のケーススタディ	<ul style="list-style-type: none"> ➤ 個別のCO2排出量削減に関してそのポテンシャルを求めた。 ➤ 2030年において、技術的に達成可能な組み合わせによる削減量(約27%)を求めた。水素製造装置の削減ポテンシャルが大きい。

本調査は経済産業省・資源エネルギー庁の
「令和3年度燃料安定供給対策に関する調査事業
(製油所の競争力に係る技術動向に関する調査)」

として JPEC が実施しています。
ここに記して、謝意を表します。