

一般財団法人 油脂工業会館

第53回表彰

油脂産業優秀論文

最優秀賞

2050年温室効果ガス排出ゼロへの油脂産業の貢献

「PALMコークス」の創製と二酸化炭素資源化システムの構築

日油株式会社

ながさわ	あつし
長澤	敦
ぼうち	あきら
坊地	昌

## 目 次

はじめに	1
<b>第1章 油脂産業の実情と課題</b>	
1-1 GHG排出抑制に向けた油脂産業の取り組み	2
1-2 原料サプライチェーンを考慮したGHG排出抑制	3
<b>第2章 鉄鋼業の実情と課題</b>	
2-1 国内基幹産業である鉄鋼業のCO <sub>2</sub> 排出量	4
2-2 製鉄プロセスとCO <sub>2</sub>	6
2-3 GHG排出抑制に向けた鉄鋼業の取り組み	8
<b>第3章 油脂産業と鉄鋼業の課題解決への手段</b>	
3-1 パーム由来廃棄物を活用したコークス代替品の提案	9
3-2 コークス代替品としての原料調達の課題	11
3-3 PALMコークスの創製	12
3-4 PALMコークス活用によるCO <sub>2</sub> 削減効果と経済性	17
<b>第4章 CO<sub>2</sub>資源化システムの構築</b>	
4-1 カーボンニュートラル化されたCO <sub>2</sub> の活用に向けた課題	19
4-2 PALMコークス由来のグリーン水素	20
4-3 グリーンメタノールの製造	21
4-4 グリーンメタノールの誘導体化	22
4-5 PALMコークスを活用したCO <sub>2</sub> 資源化システムの全容	27
おわりに	30
注釈・略語	32
参考文献	34

## はじめに

石化原料の活用により、科学技術は目覚ましい発展を遂げ、人々の生活は豊かになった。一方で、CO<sub>2</sub>を含む温室効果ガス（以下、GHG）は際限なく排出され、地球の大気バランスを大きく崩してしまった。地球のCO<sub>2</sub>濃度は、産業革命前の1750年と比較して48%も増加していると言われ、もはや看過できない問題となっている。国連気候アクション・サミット2019で、弱冠16歳の環境活動家グレタ・トゥーンベリ氏が、世界は経済活動を優先して地球温暖化対策から目を背け続けている、と痛烈に批判したことも大きな話題を呼んだ。

今日に至るまで、地球温暖化対策の国際協議は、幾度となく行われてきた。これを受け、風や太陽光といった自然からエネルギーを生み出す技術や、非石化燃料で自動車や飛行機を動かす技術などが次々と開発され、地球温暖化に歯止めをかけることが期待された。だが、想定以上に事態は深刻だった。このままだと今世紀末までに最大4.8℃も平均気温が上昇するとの見解が2013年にIPCC<sup>\*1</sup>により示されたのだ。このような中、2020年、ついに主要先進国が「2050年GHG排出実質ゼロ」、すなわちカーボンニュートラル<sup>\*2</sup>の実現を目指すに至った。“ゼロ”という厳しい数値目標を定めたことで、各国の地球温暖化対策により一層の努力が求められるのは必至だろう。

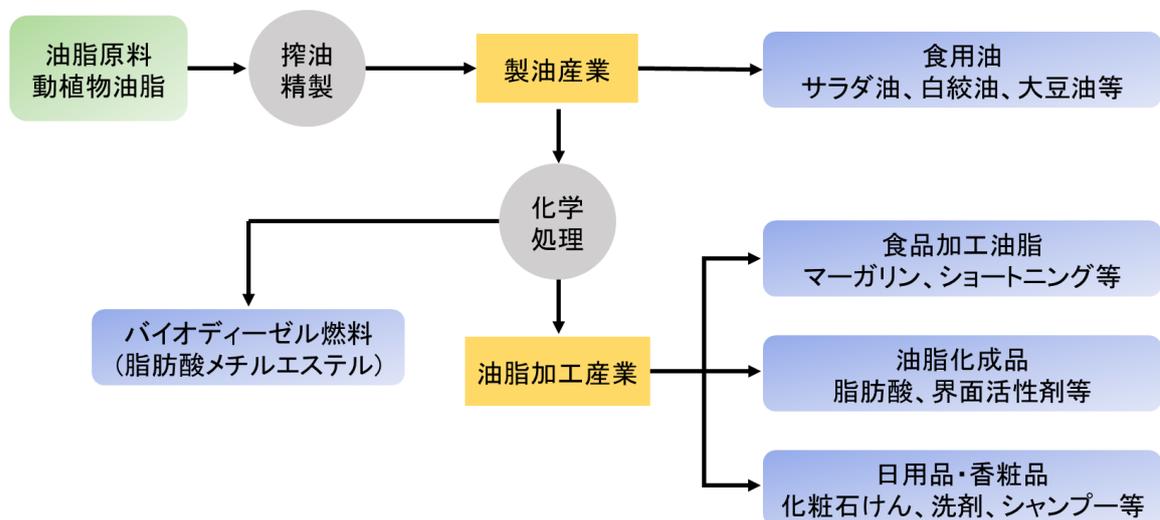
一方、地球温暖化対策は、経済産業活動のブレーキになるとの懸念もあるが、必ずしもそうではない。この背景には、世界で既に3,000兆円超に上るESG投資<sup>\*3</sup>の活発化がある<sup>1)</sup>。近年、企業の持続的な成長のためには環境問題等に積極的に取り組むことが重要であるとの考えが企業や投資家の間で浸透している。つまり、地球温暖化への対応なくして産業界の未来はないとの見方が広がっているのである。未来に向けた持続的な発展のためにも、カーボンニュートラルを実現するためのイノベーションが全世界に求められている。

## 第1章 油脂産業の実情と課題

### 1-1 GHG排出抑制に向けた油脂産業の取り組み

油脂産業では、油脂原料を搾油、精製、化学処理することにより様々な製品を創り出す。国内では、動植物油脂を海外から輸入して精製油を製造、販売するとともに、これらを化学処理することで、食品や日用品の原料となる脂肪酸や界面活性剤などを生み出している（図1）。国内の油脂産業で発生するCO<sub>2</sub>は、加工時のエネルギー由来が主であり、2019年国内主要各社<sup>\*4</sup>のCO<sub>2</sub>排出量の合計は約100万tであった。これは、同年の国内CO<sub>2</sub>総排出量12億1,200万t<sup>2)</sup>に占める排出割合として0.1%未満であり、国内油脂産業は比較的GHG排出が少ない産業と言える。

GHG排出量は少ないが、関連各社はESG戦略として脱炭素を掲げ、様々な取り組みを進めている。例えば、植物由来界面活性剤の開発、エネルギーの高効率化、副産物の有効活用などが一例として挙げられる。また、花王株式会社やライオン株式会社では、包材に使用されるプラスチック削減やバイオプラスチックの利用といった一歩先の取り組みも進めており、引き続き各社の取り組み強化が望まれる。



財団法人 油脂工業会館 油脂産業アライアンス研究会 「油脂産業の未来～アライアンスによる油脂産業のイノベーション～」より抜粋

図1. 日本の油脂産業の構造

## 1-2 原料サプライチェーンを考慮したGHG排出抑制

先に述べたように、国内油脂産業は海外から輸入した動植物油脂の加工を主としているため、国内GHG排出量は少ない。だが最近、化学業界では、原料からのサプライチェーン<sup>※5</sup>全体でGHG排出抑制に取り組む動きがある。先日、日本化学工業協会の森川会長は、「自らの生産活動に限定せず、製品・サービスを通じてサプライチェーン全体のGHG排出削減に貢献していく」と語り、その重要性を指摘した<sup>3)</sup>。そこで筆者らは、油脂産業の主要原料の一つであるパーム油のサプライチェーンに目を向けた。

パーム油は、世界に流通する植物油脂の約3割を占める。1haあたりに得られる年間の粗油量は約6,000Lとその他の油糧作物と比較しても極めて高く、年間を通して安定に得られる。世界のパーム油の85%は、インドネシア、マレーシアで生産されている<sup>4)</sup>。これらの地域では、日本でガソリンの価格変動が気にされるのと同じような感覚で、パーム油の価格変動が気にされるほどの一大産業である。パーム油の需要は年々増加しており、森林伐採などの環境破壊を防止するための国際的な認証制度「持続可能なパーム油のための円卓会議(RSPO)」など、サプライチェーン全体でのケアが国際的にも進められている。

パーム油の生産工程では、アブラヤシの木に実った30kgほどの果房から、ぎっしり実った小さな赤い果実を取り出して洗浄する。果実のうち果肉部分を圧搾することでパーム油、中心部の種子部分を圧搾することでパーム核油が得られる。得られた粗油は、精製過程を経て製品となる。実は、この生産工程では、搾油後のパームヤシ殻やパーム空果房、パーム古木(経年による生産量低下に伴って約25年周期で伐採)など大量の廃棄物が排出されており、それらの有効活用が現地での課題となっている(図2)。このうち、パームヤシ殻等は燃料ペレットに加工して使用されている。しかし、パーム空果房(EFB)やパーム古木(OPT)、パーム剪定枝葉(OPF)は有効利用法が見出されておらず、農地等に放置されて腐敗し、土壌病害の蔓延や、分解による年間約227万tのメタン発生などの問題を誘発している<sup>5)、6)、7)</sup>。メタンはGHGの一つで、CO<sub>2</sub>の25倍の温室効果があると言われ、これら廃棄物の放置による発生量は、CO<sub>2</sub>排出量換算で年間5,678万tにもものぼると試算される<sup>8)</sup>。

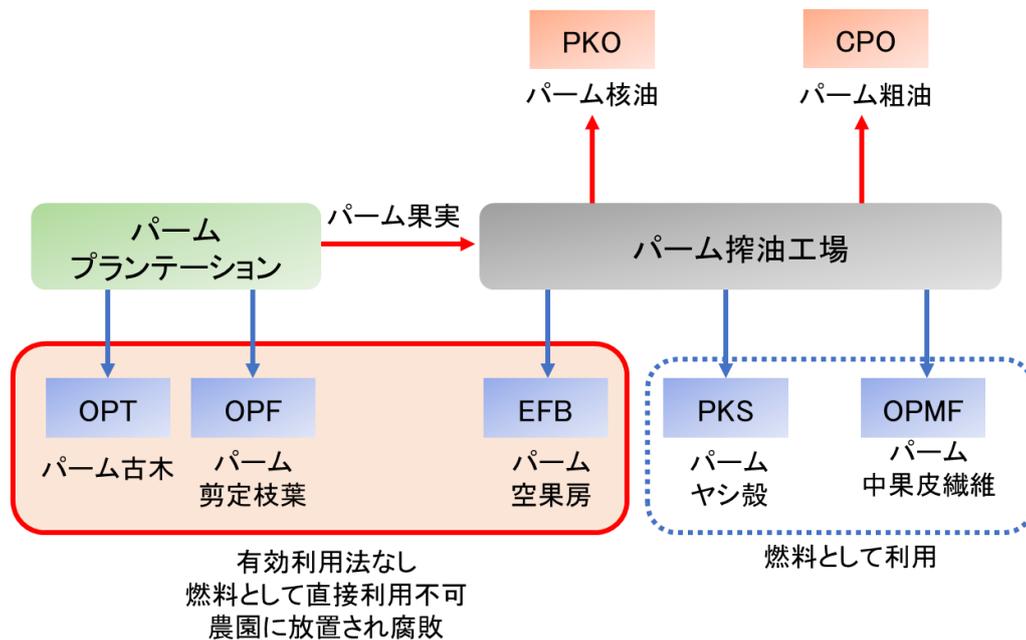


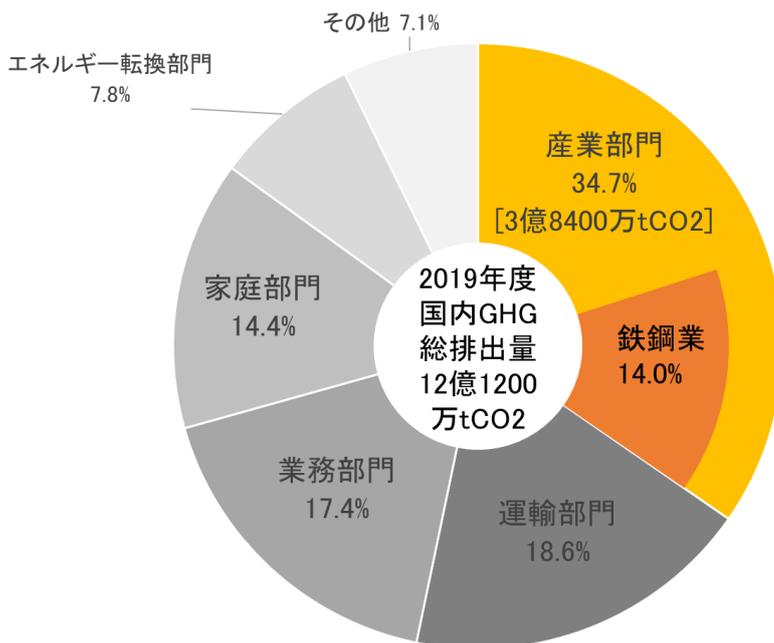
図 2. パーム産業の製品と廃棄物

1-1 節で述べたように、日本では、搾油後のパーム油を海外から輸入し、各種加工を施すことで製品化していることから、パーム油製造時に現地で発生する廃棄物の問題は見過ごされてきた。しかし、原料から製品まで、一連のサプライチェーン全体として見たとき、パーム由来廃棄物から発生するGHGの削減は、油脂産業として目を背けてはならない重要な課題である。

## 第2章 鉄鋼業の実情と課題

### 2-1 国内基幹産業である鉄鋼業のCO<sub>2</sub>排出量

最新の報告によると、日本のCO<sub>2</sub>排出量は12億1,200万t（2019年時点）であり、2050年GHG排出ゼロへの道のは険しい。日本のCO<sub>2</sub>排出量の部門別内訳をみると、産業部門が最も大きく約35%を占めている（図3）<sup>2)</sup>。



国立環境研究所 2019年確報値 電気・熱分配後

図 3. 日本の部門別GHG排出量 (2019年)

産業部門の中で、最大の排出量を占めるのは鉄鋼業である。日本の鉄鋼業は、古くは砂鉄と木炭を用いた日本独自のたたら製鉄に始まり、近代になって鉄鉱石とコークスを高炉で反応させる洋式製鉄に至るまで、あらゆる産業の基礎素材である鉄を生み出してきた。鉄の生産量が国力を表すことを例えた「鉄は国家なり」の格言に従うように、今や日本の鉄鋼業は世界トップクラスの技術力を誇り、確かな技術と地位を確立している。

ところが、その目覚ましい発展の影で、鉄鋼業では大量のCO<sub>2</sub>が排出されてきた。その量は、2019年では1億5,500万tにものぼり、国内CO<sub>2</sub>総排出量の実に14%を占める<sup>2)</sup>。とはいえ、日本の鉄鋼業は、世界的に見ても非常に高いエネルギー効率を達成していることも忘れてはならない。図4に示すように、エネルギー原単位<sup>※6</sup>は、主要先進国の中で最も小さい。しかし、現在の製鉄プロセス上、CO<sub>2</sub>の発生は避けられず、その削減が非常に難しいのである。ここ10年でのCO<sub>2</sub>の排出原単位指数<sup>※7</sup>を化学産業と比較しても、化学産業が着実な減少傾向にあるのに対し、鉄鋼業では6年前から同水準で推移している(図5)。鉄鋼業におけるCO<sub>2</sub>削減のハードルが非常に高いことが伺える。

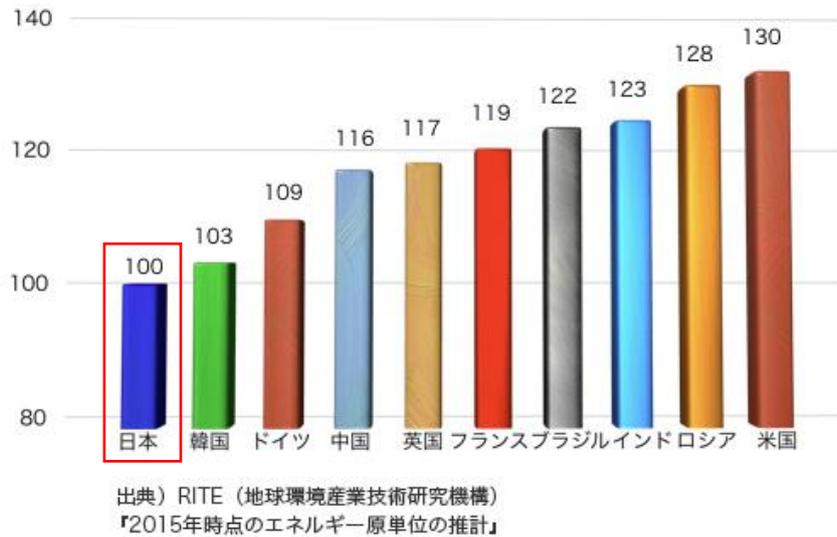
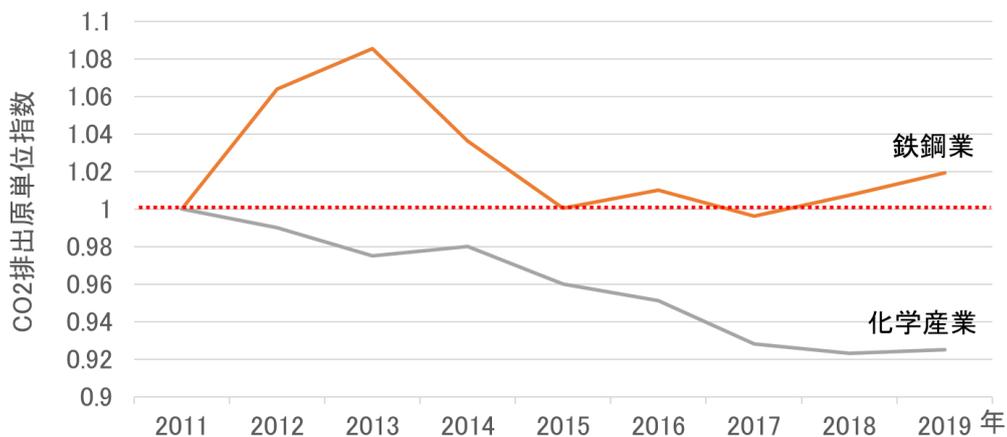


図 4. 鉄鋼業（高炉・転炉法）のエネルギー原単位の国際比較  
（ただし、日本を 100 とする）



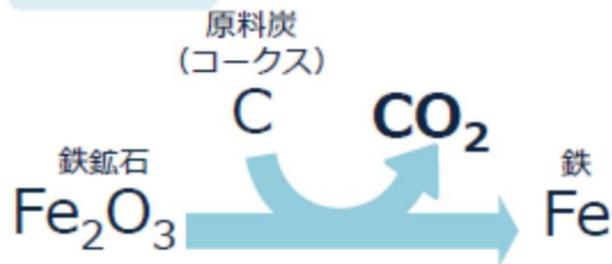
国立環境研究所 2019年確報値(電気・熱分配後)  
経産省鉄鋼需給動態統計調査  
日本化学工業協会 化学産業における地球温暖化対策の取組み

図 5. 日本のCO<sub>2</sub>の排出原単位指数の推移

## 2-2 製鉄プロセスとCO<sub>2</sub>

鉄鋼業において、なぜCO<sub>2</sub>の発生は避けられず、これほどまでに発生してしまうのであろうか。それは、製鉄プロセスで鉄鉱石とコークスの反応から鉄を得る際、大量のCO<sub>2</sub>が副生するからである（図 6）。

## 炭素還元



日本製鉄 カーボンニュートラルビジョン2050より抜粋

図 6. 鉄鉱石とコークスの反応

製鉄プロセスとは、以下に示すものである（図 7）。まず、材料の石炭を約 1,200°C の炉で 10～20 時間ほど蒸し焼き（乾留）にし、コークスにする。この際、大気を遮断して乾留することで、揮発成分が水素や炭化水素となってコークス炉ガスとして排出され、純粋な炭素部分だけが残って、石炭はコークスに改質される。次に、このコークスは鉄鉱石とともに高炉と呼ばれる炉に装入される。高炉はその名の通り、30 階のビルに相当する高さの巨大な設備で、製鉄所のシンボリック存在である。高炉下部にある送風口から約 1,000°C の熱風を吹き込むことで、コークスが燃焼して一酸化炭素が発生し、高炉内は 2,000°C 近くに上昇する。発生した一酸化炭素は激しく炉内を吹き回すのぼり、溶けた鉄鉱石の主成分である酸化鉄から酸素を奪い取る。この時、溶岩のように真っ赤に溶けた鉄（銑鉄）と大量の  $\text{CO}_2$  が生成するのである。

このプロセスで発生するガスは高炉ガスと呼ばれ、 $\text{CO}_2$  の他、窒素や水素等が含まれる。この時排出される  $\text{CO}_2$  は、約 1 億 4,000 万 t であり<sup>9)</sup>、鉄鋼業で排出される  $\text{CO}_2$  の大部分を占めている。このため、高炉で発生するコークス由来の  $\text{CO}_2$  を削減できれば、GHG 排出ゼロに向け大きく前進する。

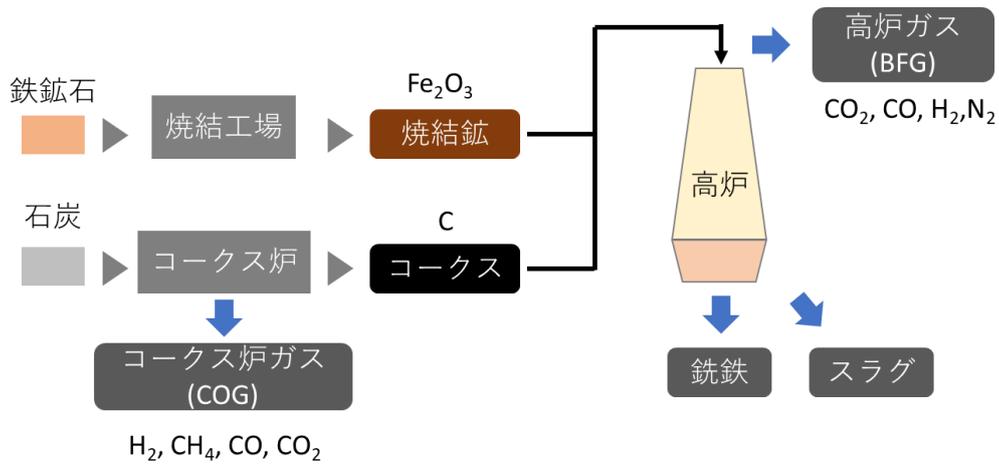
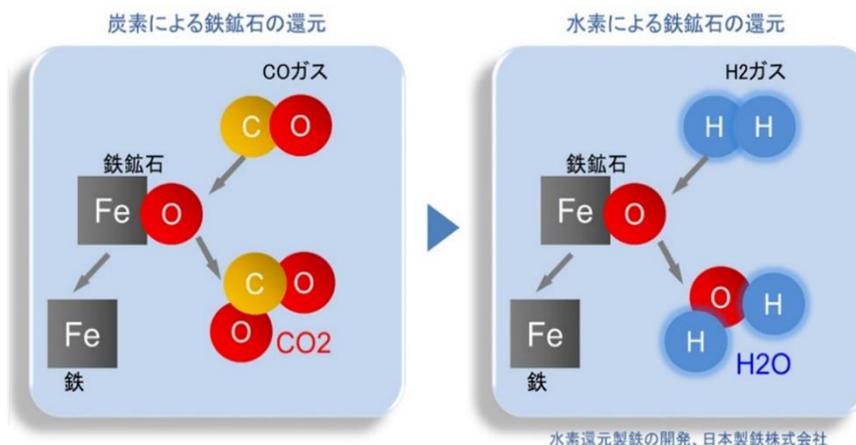


図 7. 製鉄プロセスの概略と排出ガス

### 2-3 GHG排出抑制に向けた鉄鋼業の取り組み

日本の鉄鋼業は、ESGに配慮した製鉄技術の開発を世界に先駆けて積極的に進めている。現在では、省エネルギー化によって環境負荷を低減し、世界最高水準のエネルギー効率で高品質の鉄鋼製品を生み出していることは、既に述べた通りである。

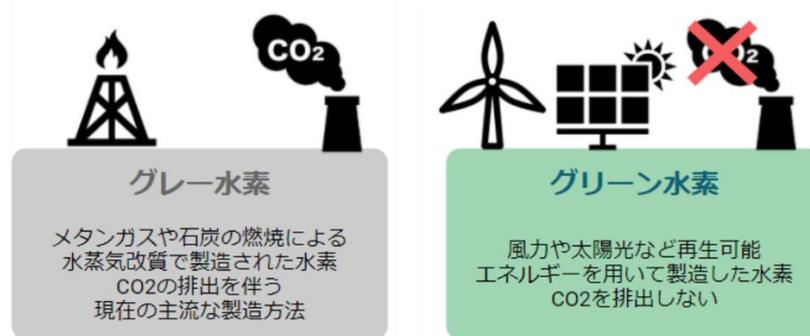
このような中、更なるCO<sub>2</sub>削減には抜本的な技術対策が不可欠であるとして、「革新的製鉄プロセス技術開発 (COURSE 50<sup>※8</sup>)」がスタートした。この中で特に注目されているのが、水素を活用した水素還元製鉄と呼ばれる手法である。コークスを用いた従来の方法では、一酸化炭素で鉄鉱石を還元するためCO<sub>2</sub>発生が避けられないのに対し、水素還元製鉄で発生するのは水である (図 8)。



水素還元製鉄の開発、日本製鉄株式会社  
 チャレンジゼロ イノベーション事例 「水素還元製鉄による鉄鋼製造プロセスのゼロエミ化」  
<https://www.challenge-zero.jp/jp/casestudy/209>

図 8. コークスによる製鉄プロセスと水素による水素還元製鉄

将来的には、電炉を用いた電気炉製鋼法<sup>※9</sup>での生産割合を増やすとともに、100%水素還元による製鉄プロセスを活用することでCO<sub>2</sub>削減を目指している。ただし、これらの方法は、太陽光や風力などの再生可能エネルギーや、そのエネルギーで水を電気分解することで得られる「グリーン水素」を用いることが前提条件となる（図9）。しかしながら、グリーン水素を安価で大量に確保することや、既存の高炉設備での対応が難しいことから、技術的なハードルは非常に高い。



日本貿易振興機構(ジェトロ)シドニー事務所 オーストラリアにおける水素産業に関する調査より抜粋

図9. グレー水素とグリーン水素

### 第3章 油脂産業と鉄鋼業の課題解決への手段

#### 3-1 パーム由来廃棄物を活用したコークス代替品の提案

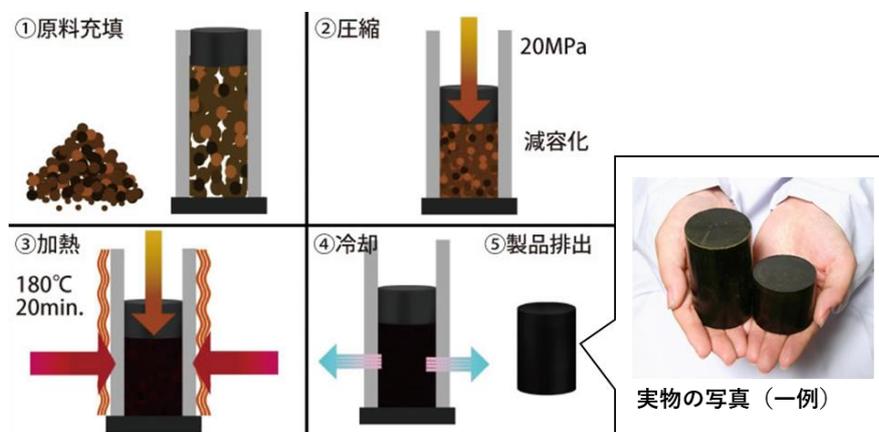
これまで、2050年GHG排出ゼロに向けた油脂産業と鉄鋼業の取り組みと課題について述べてきた。各業界の課題をまとめると、次のようになる。

- 油脂産業…パーム由来廃棄物から発生するGHGの削減
- 鉄鋼業……高炉プロセスで発生するCO<sub>2</sub>の削減

これらの課題に対し、筆者らは、コークス代替品を用いた新たな製鉄プロセスを提案する。ここでは、当初コークス代替を目標に開発されていたバイオコークスに着目し、その原料としてパーム由来廃棄物であるOPT、EFB、OPFを活用すること

で、油脂産業と鉄鋼業両方の課題を解決できると考えた。

バイオコークスとは、近畿大学 井田民男教授により開発されたバイオマス<sup>※10</sup> 燃料である<sup>10)</sup>。バイオコークスは、様々なバイオマスを植物の石化プロセスを模した高温高圧（180℃、20MPa）の条件で圧縮成形することにより、原料歩留まり 100%で得られる（図 10）。これにより、バイオコークスは、自然界で通常 3,000 万年かかる石化プロセスを僅か 40 分に短縮できるとともに、1,000℃以上の高温で燃焼する燃料となる。実際に、間伐材やそば殻などを原料としたバイオコークスがボイラー用固形燃料として実用化されており<sup>11)、12)</sup>、最近では燃料以外の用途としてガス化溶融炉<sup>※11</sup>での実証実験も行われている<sup>13)、14)</sup>。



DOWAエコシステム株式会社 DOWAエコジャーナル その道の人に聞く  
「バイオコークスの研究と未来」より抜粋

図 10. バイオコークスの製造方法

バイオコークスをコークス代替として使用できた場合でも、鉄鉱石との反応により  $\text{CO}_2$  は発生するが、発生した  $\text{CO}_2$  は植物由来であることから、カーボンニュートラルとみなすことができる。つまり、バイオコークスを用いた製鉄プロセスを実現できれば、コークス由来の  $\text{CO}_2$  排出量は実質ゼロになるのである。さらに、パーム由来廃棄物をバイオコークスの原料にすれば、廃棄により発生していた GHG もゼロにすることができる。この仕組みを構築することで、油脂産業と鉄鋼業の両方で大幅な GHG 削減に貢献できる可能性がある。

上述の仕組みが可能であれば、すぐにでもバイオコークスをコークス代替品として活用したいところである。だが、バイオコークスをそのままコークス代替品として使

用することはできない。これは、水分や不純物の含有量が少なく、高い発熱量や高炉内の数千℃の高温に耐える強度、といったコークス代替品に求められる多くの厳しい使用条件を、バイオコークスが満たしていないからである。これまでも、間伐材をはじめとした多様なバイオマスからなるバイオコークスに関して、鉄鋼業への活用が検討されてきたものの、実用化には至っていない。また、経済産業省の委託により、株式会社建設技術研究所が高炉プロセス用コークス代替の可能性を調査した際も、揮発分が高いという問題を解決できなければ代替は難しいと結論付けている<sup>15)</sup>。このため、バイオコークスの高炉適用には、その性能をコークス同等まで高めるためのブレイクスルーが求められている。

### 3-2 コークス代替品としての原料調達の課題

コークス代替品として使用するための大きな課題の一つとして、原料調達が挙げられる。鉄 1t 当たりに必要なコークスの量は約 420kg であり<sup>16)</sup>、2019 年の国内銑鉄生産実績 7,491 万 t で換算すると 3,146 万 t の均一な品質の代替コークスが必要となる。バイオコークスは、ほぼ全てのバイオマスから製造できることが利点である一方、品質を均一にすることが難しいという問題がある。これは、製造時に原料となるバイオマスの水分や炭素分、揮発分などの個性がそのまま残るからであり、原料がバイオコークスの性能を決めると言っても過言ではない。実際、レモンの皮由来のバイオコークスではレモンのいい香りがするというから驚きである。

通常、これほど膨大かつ均一なバイオマスの入手は困難を極める。ところが、有効活用法が見出されていない OPT と EFB、OPF は非常に好適であると筆者らは考えている。なぜなら、図 11 に示す通りこれらの発熱量は約 16,000~19,000kJ/kg で似通った性質を持つとともに、それぞれ 1,950 万 t/年、2,000 万 t/年、4,000 万 t/年（乾燥重量換算）も廃棄されているからである<sup>6)、7)、17)</sup>。これは、均一な品質を製造するための代替コークスの原料として十分な量である。

パーム部位	発熱量(kJ/kg)
古木(OPT)	17,500
空果房(EFB)	18,900
剪定枝葉(OPF)	15,800
中果皮繊維	11,100~19,100
殻	17,200~20,200

Tombomumet, Pemanfaatan Limbah Pabrik Kelapa Sawit Sebagai Pembangkit Listrikから抜粋

図 11. パーム由来廃棄物の部位別発熱量

### 3-3 PALMコークスの創製

原料調達の課題は解決したことから、次の課題は高炉での使用に適した品質への改良である。鉄鉱石の還元剤であるコークスだが、鉄鉱石を溶かすための熱源や、高炉内に装入された大量の鉄鉱石を支え、溶けた銑鉄の通路を確保するスペーサーという重要な役割も担っている。そのため、水分や揮発分等を低減させ、熱源としての発熱量やスペーサーとしての強度を高めることが重要視される。これらの性能を担保すべく、筆者らは「①パーム由来廃棄物の前処理」、「②既存コークス炉を活用した乾留プロセス」、「③脂肪酸ピッチの添加」という3つの特長のある技術を組み合わせることで、コークス代替品としての品質を達成する独自の方法を提案する。詳細を以下に説明する。

#### ① パーム由来廃棄物の前処理

先述の通り、バイオコークスの性質は原料に大きく依存する。このため、高品質のバイオコークスを作るためには、原料となるOPT、EFB、OPFを適切に処理して用いる必要がある。

バイオコークスの品質を高めるにあたり、重要となるのが水分の除去である。水分は、バイオコークスの発熱量や強度に影響を与える要因の一つとして報告されている<sup>18)</sup>。一般的なバイオコークスは、水分を3~10%を含む。一方、パーム由来廃棄物は、水分含有量が60~70%と高く、また不純物として土壌のカリウム分<sup>\*12</sup>を2~5%と多量に含むため、水分とカリウム分の除去が必須となる。

ここで筆者らは、E F Bの燃料ペレットへの加工プロセス技術の転用が可能である  
と考える<sup>7)</sup>。このプロセスを用いれば、従来の粉碎、脱水、乾燥工程に加えて、一定  
時間の浸せき（脱灰）工程を追加することで、水分とカリウム分を十分取り除くこと  
ができる。また、O P Tの燃料ペレットへの応用に向けた実証実験では、O P Tを破  
砕後に脱灰し、湿式摩砕を経て、脱水、乾燥して得られたペレットで、カリウム分を  
0.5%以下まで低減できる結果が得られている<sup>7)</sup>。

上述の前処理により、原料中に含まれる大量の水分と不純物を除去することで、一  
般的なバイオコークスと同等の性質にすることができる。一般的バイオコークスの  
水分量や揮発分、発熱量は、コークスの原料となる石炭に近い性質であるため、コ  
ークス代替として用いるためには、上記の性能をコークス同等まで更に高めることが必  
要となる（図 12）。

	バイオ コークス	石炭	コークス
発熱量 (kJ/kg) <sup>(1)</sup>	15,000～ 20,900	26,080～28,880	29,010
水分 <sup>(2)</sup>	3～10%	9～11%	ほぼ0%
揮発分 <sup>(2)</sup>	30～40%	18～37%	5%以下
灰分 <sup>(2)</sup>	3～5%	8～14%	10%以下

(1) 経済産業省資源エネルギー庁 エネルギー源別標準発熱量

(2) 株式会社建設技術研究所 3Rシステム化可能性調査事業－鉄鋼業における植物  
由来廃棄物を原料としたバイオコークスの活用法と循環システム構築に係る調査－

図 12. バイオコークス、石炭、コークスの比較

## ② 既存コークス炉を活用した乾留プロセス

上述の方法により、バイオコークスの水分や不純物を低減して品質を高めると、コ  
ークス原料である石炭と同等の性能が得られる。だが、コークスとして用いるため  
には、揮発分は5%以下、水分量はほぼ0%にまで更に低減することが求められる。こ  
れは、コークスの揮発分や水分量が多いと燃焼し難く、発熱量が低下して高炉内の温度

を十分高めきれず、鉄鉱石を十分に溶解することができないからである。

石炭の場合、揮発分の低減のためコークス炉で乾留し、コークスにする手法が用いられている。そこで、筆者らは得られたバイオコークスをコークス炉で乾留する方法が有効であると考えた。この手法により、揮発成分を低減させると同時に水分量の低減も可能であり、発熱量の大幅な改善が見込まれる。間伐材由来のバイオコークスの乾留は検証された例があり、揮発分をコークス同等の5%未満、水分をほぼ0%まで低減できることが確認されている<sup>19)</sup>。更にこの方法は、従来のコークス炉をそのまま活用することができるため、新たな設備投資も不要で経済的である。

### ③ 脂肪酸ピッチの添加

発熱量に加え、スパーサーとしてのコークス強度<sup>\*13</sup>も重要な性能の一つである。高炉の中では、層状に積み重なるコークスの間を高温で溶けた鉄が激しく雨のように流れ落ちて高炉底に溜まる仕組みになっている。このため、コークス強度が足りず積まれたコークスが崩れてしまうと、溶けた鉄が底に流れ落ちるのを邪魔してしまう。

コークス強度を高める加工は種々検討されており、その一つとして、乾留時、脂肪酸ピッチを石炭に対して1%添加することでコークス強度が向上するという方法が報告されている<sup>20)</sup>。脂肪酸ピッチは、精製脂肪酸の蒸留時に5~10%程度副生するダイマー酸やトリマー酸などの混合物であり、パーム由来だけで年間約49万t発生していると推定される<sup>21)</sup>。これらは、一部燃料として使用されているが、多くは廃棄されているのが現状である。そこで、筆者らはパーム由来精製脂肪酸の製造時に発生する脂肪酸ピッチをバイオコークスの改良に有効活用できないかと考えた。この方法によれば、脂肪酸ピッチを加えることで乾留時の炭素の結晶化を促進し、コークス強度を高めることができる。

脂肪酸ピッチは、OPTやEFB、OPFとともに、パーム由来精製脂肪酸の製造時に現地で発生しており、約45万tの添加必要量（2019年の銑鉄生産実績に基づき1%添加した時）も十分確保が可能である。使用方法も、脂肪酸ピッチをバイオコークス製造時に添加するだけでよく、現地で作業が完結することから、簡便で実用性も高い。

以上の改良により、筆者らは、高炉で使用可能なコークス代替品が得られると考えた。これまで述べてきた高炉適用に向けた課題とその対策を図 13 にまとめる。

	課題	技術	効果
①	パーム由来廃棄物に含まれる不純物の除去と水の分離	パーム由来廃棄物の前処理	燃料ペレットの加工プロセス技術によるカリウム低減と水との分離
②	揮発成分と水分量の低減	既存コークス炉を活用した乾留プロセス	コークス炉で乾留することで揮発成分と水分量を低減
③	コークス強度の向上	廃棄物である脂肪酸ピッチの添加	脂肪酸ピッチを添加して乾留することでコークス強度が向上

図 13. 高炉適用に向けたバイオコークスにおける課題とその対策

まず、適切に処理したOPT、EFB、OPFに脂肪酸ピッチを添加した「改質バイオコークス」を得る。次に、改質バイオコークスを乾留して発熱量と強度を向上させることで、コークス代替品としての性能まで高める。この方法により得られた高炉に使用可能なコークス代替品を、筆者らは、PALM (Palm-trash as Activated and Low-volatility Modified=活性化され低揮発性に改良されたパーム廃棄物) コークスと名付けた (図 14)。PALMコークスのマテリアルバランスをまとめると図 15 のようになる。PALMコークスは、現在使用されている製鉄プロセスをそのまま利用できる点でも非常に魅力的である。

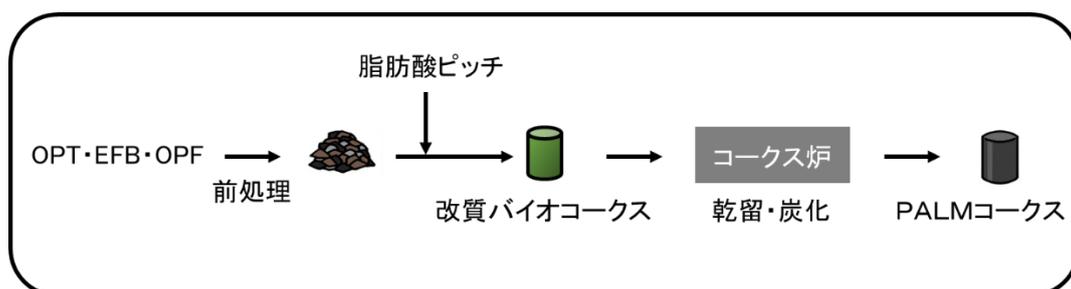


図 14. P A L Mコークスの製造方法

項目	数量(万t)	備考
OPT発生量 <sup>(1)</sup>	6,500	水分70%含有 <sup>(1)</sup>
OPT乾燥重量	1,950	
EFB発生量 <sup>(1)</sup>	5,000	水分60%含有 <sup>(2)</sup>
EFB乾燥重量	2,000	
OPF乾燥重量 <sup>(3)</sup>	4,000	
OPT・EFB・OPF合計乾燥重量	7,950	バイオコークス原料として使用可能な量

項目	数量(万t)	備考
高炉で必要なコークス量	3,146	7,491(2019年銑鉄生産実績)×0.42
必要なバイオコークス量	4,494	バイオコークスの揮発分含有率からコークス炉での炭化収率70%と仮定 <sup>(4)</sup>
必要なOPT・EFB・OPF量	4,494	バイオコークス化収率100%

項目	数量(万t)	備考
世界脂肪酸生産量 <sup>(5)</sup>	880	
東南アジアでの生産量	616	全体の約7割が東南アジアでの生産 <sup>(5)</sup>
脂肪酸ピッチ発生量	49	脂肪酸生産量に対して8%発生と仮定
必要な脂肪酸ピッチ量	45	バイオコークスに対して1%添加 <sup>(6)</sup>

項目	必要量(万t)	原料ソース量(万t)
バイオコークス	4,494	7,950
脂肪酸ピッチ	45	49

- (1) IHI 技報 Vol.59 No.4 (2019) パーム産業における未利用バイオマスの有効利用と最適なプロセス開発
- (2) 独立行政法人国際協力機構(JICA) インドネシア国アブラヤシ殻等のバイオマス燃料化に関する案件化調査業務完了報告書
- (3) 繊維と工業 Vol166, No8, オイルパーム ～木質バイオマス資源としての新展開～
- (4) 株式会社建設技術研究所 3Rシステム化可能性調査事業－鉄鋼業における植物由来廃棄物を原料としたバイオコークスの活用法と循環システム構築に係る調査－
- (5) 日本石鹼洗剤工業会 「次世代エネルギーが油脂産業にもたらす環境変化」～油脂製品部会 第11回 海外調査団報告～
- (6) 特許4912042号

図 15. P A L Mコークス製造のマテリアルバランス

### 3-4 PALMコークス活用によるCO<sub>2</sub>削減効果と経済性

PALMコークスをコークス代替として高炉で用いることで、パーム由来廃棄物から発生するGHGと、製鉄時に発生するCO<sub>2</sub>の両方を削減することができる。ここでは、PALMコークスの活用によるCO<sub>2</sub>削減効果と経済性について検証する。

#### CO<sub>2</sub>削減効果

まず、OPTとEFB、OPFの活用によるパーム由来廃棄物を発生源とするGHGの削減効果について考える。放置された年間7,950万tもの未利用のOPTやEFB、OPFが腐敗し発生するメタンの量は、227万tでありCO<sub>2</sub>換算では年間5,678万tである。パーム由来廃棄物の内4,494万tをPALMコークスとして活用した場合、CO<sub>2</sub>換算で3,210万tのGHGを削減することが可能であり、ひいてはサプライチェーン全体として油脂産業のGHG排出削減に貢献できる。

次に、製鉄の高炉プロセスで発生するCO<sub>2</sub>の削減量について考える。現在、国内14か所(25基)の高炉から発生しているCO<sub>2</sub>量は年間約1億4,000万tである。言うまでもなく、植物由来原料から発生するCO<sub>2</sub>は実質ゼロというカーボンニュートラルの考えから、PALMコークスの活用により、高炉プロセスで発生しているコークス由来の年間約1億4,000万tものCO<sub>2</sub>を実質ゼロに置き換えることが可能となる。

以上、両者を合計することによるCO<sub>2</sub>削減量は、年間1億7,210万tと見込まれる。PALMコークスを活用した製鉄プロセスが2050年GHG排出ゼロに与えるインパクトが非常に大きいことは一目瞭然である。

#### 経済性

PALMコークスを用いた製鉄プロセスの経済性について考える。今回、パーム由来廃棄物(EFB、OPT、OPF、脂肪酸ピッチ)を使って海外の現地で改質バイオコークスに加工し、それを日本に輸入してPALMコークスにすることで製鉄プロセスに用いることを想定した。また、銑鉄生産時に必要となるPALMコークス(3,146万t/年)を生産した際のコストおよびそれを用いた製鉄プロセスで得られる鋼材価格を試算することで評価を行った。

まず、改質バイオコークスの原料はパーム由来廃棄物であり原料コストを無視でき

ることから、回収および輸送費のみを考慮した。また、E F BとO P T、O P Fを前処理する破砕機等の設備およびバイオコークス製造機を初期設備投資とし、製造に係る人件費、設備維持費、ユーティリティ費用、日本への輸送コスト等を考慮した改質バイオコークス製造コストは、約 32 円/kg となった (図 16)。

改質バイオコークス年間生産コスト(年間4494万t製造時)			
項目		金額(百万円)	備考
初期設備投資 <sup>(1)</sup>		1,491,522	破砕機、ふるい機、水洗・圧搾装置、乾燥機、改質バイオコークス製造装置
OPT・EFB・OPF回収費用 <sup>(2)</sup>		283,396	
脂肪酸ピッチ回収費用 <sup>(2)</sup>		2,698	
改質バイオコークス陸上輸送費用		53,980	トラックで100km 12円/km/t <sup>(1)(3)</sup>
改質バイオコークス輸送費用		215,920	40ftコンテナで輸送 3243円/t <sup>(4)</sup>
減価償却費		213,075	7年
人件費 <sup>(1)</sup>		148,445	
ランニングコスト	維持費 <sup>(1)</sup>	144,531	初期設備投資の3%
	ユーティリティ <sup>(1)</sup>	364,366	
計		1,426,411	製造コスト32円/kg
売上げ	改質バイオコークス	1,572,900	販売単価35円/kg
収支		146,489	

- (1) みずほ情報総研株式会社 平成26年度 地球温暖化対策技術普及等推進事業(タイにおけるバイオコークス技術の導入によるJCMプロジェクト実現可能性調査)に記載されている1基3.07億円(生産能力10t/日)をもとに設備スケールを上げた想定で1基110.5億円(生産能力1,000t/日)として計算  
(2) 林野庁資料 第5章 燃料の生産方法  
(3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 インドネシア国におけるパームオイル工場廃液の燃料化事業  
(4) 公益財団法人 日本海事センター 主要航路運賃動向

図 16. 改質バイオコークスのコスト収支

次に、製造された改質バイオコークスは石炭同様、製鉄所のコークス炉で乾留され、PALMコークスとなる。従来製鉄とエネルギー効率と同じとして、コークスをPALMコークスに置き換えて高炉プロセスに使用した場合、鋼材価格は約 98 円/kg と試算された (図 17)。一方、完全水素製鉄により製造した場合の鋼材価格は、グリーン水素の価格を最も安価な条件(現在、世界が目指している目標価格)で仮定し、新たな設備投資を考慮しない場合でも約 109 円/kg と見込まれることから、PALMコークスを用いた製鉄によるコストメリットは大きいといえる。

項目	価格(円/kg)			備考
	従来コークス	PALM コークス	完全水素 製鉄	
還元材価格	12.6	35.0	275 <sup>(1)</sup>	コークス炉での処理コストは含まず
製鉄時のコスト	5.2	14.7	25.6	
置き換え時のコスト アップ	-	9.5	20.4	従来コークス使用時とのコスト差
鋼材価格 <sup>(2)</sup>	88.2	97.7	108.6	

従来コークスとPALMコークスを使用した製鉄時のコストは銑鉄1t製造時に420kgのコークスを使用する想定で計算。完全水素製鉄は銑鉄7,500万t製造に必要な水素量を700万tと仮定、水素の価格は将来的に価格が下がったケースを想定し275円/kgで計算<sup>(1)</sup>。

(1) 日本製鉄 カーボンニュートラルビジョン2050

(2) 鉄鋼新聞「鉄鋼市場価格」2021年7月異形棒鋼価格の中心値

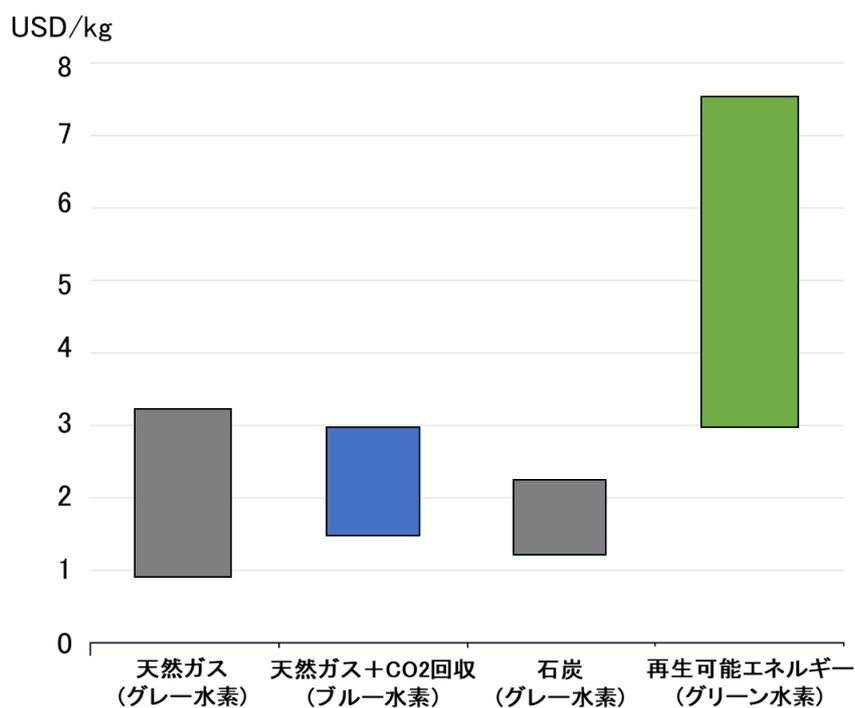
図 17. 各製鉄プロセスを経て得られる鋼材価格の比較

## 第4章 CO<sub>2</sub>資源化システムの構築

### 4-1 カーボンニュートラル化されたCO<sub>2</sub>の活用に向けた課題

これまで、PALMコークスを用いた製鉄プロセスにより、年間1億7,210万tものCO<sub>2</sub>排出量を削減する計画を提案してきた。ここからは、2050年GHG排出ゼロに向け更なる高みを目指して、高炉から排出されたカーボンニュートラルなCO<sub>2</sub>を有効活用し、排出量をマイナスにするカーボンネガティブを達成するCO<sub>2</sub>資源化システムを展開する。

CO<sub>2</sub>の資源化には、CO<sub>2</sub>を様々な形に変換する技術の開発が求められる。近年、CO<sub>2</sub>資源化について、メタンやエチレン、ギ酸、メタノールなどの有機化合物への変換に関する研究が盛んに行われている<sup>22)、23)、24)、25)</sup>。これらの物質への変換には、キ原料として“水素”を新たに調達する必要がある。ところが、水素製鉄に向けた課題と同様、グリーン水素の大量確保は未だに大きな課題となっている。太陽光発電などの方法で製造されるグリーン水素は、そのエネルギー生成効率の低さから、量を確保できないばかりか、価格もグレー水素<sup>\*14</sup>の約3～7倍と非常に高価なのが現状である(図18)。このため、CO<sub>2</sub>の資源化では、専ら新たなグリーン水素の確保に苦慮することとなる。



IEA Hydrogen production costs by production source, 2018より抜粋

図 18. 水素の国際価格帯 (米ドル)

#### 4-2 PALMコークス由来のグリーン水素

ここで、筆者らが提案したPALMコークスを用いた製鉄プロセスに今一度立ち戻ってみよう。本プロセスでは、PALMコークスへの乾留時に揮発分として約56%の水素が含まれるコークス炉ガスが発生する<sup>26)</sup>。この水素は、バイオマス由来の再生可能な水素とみなせることから、筆者らはこの水素を広義の“グリーン水素”と定義した。一方、高炉プロセスからは高濃度のカーボンニュートラルな“CO<sub>2</sub>”が排出される(図19)。つまり、高価で大量確保が難しいグリーン水素と高濃度のCO<sub>2</sub>とが、同じ場所にすでに揃っているという何とも幸運な状況に気付かされる。かくして、本システムでは、最大のネックとなっていたグリーン水素を新たに調達することなくCO<sub>2</sub>資源化システムを構築することができるのである。

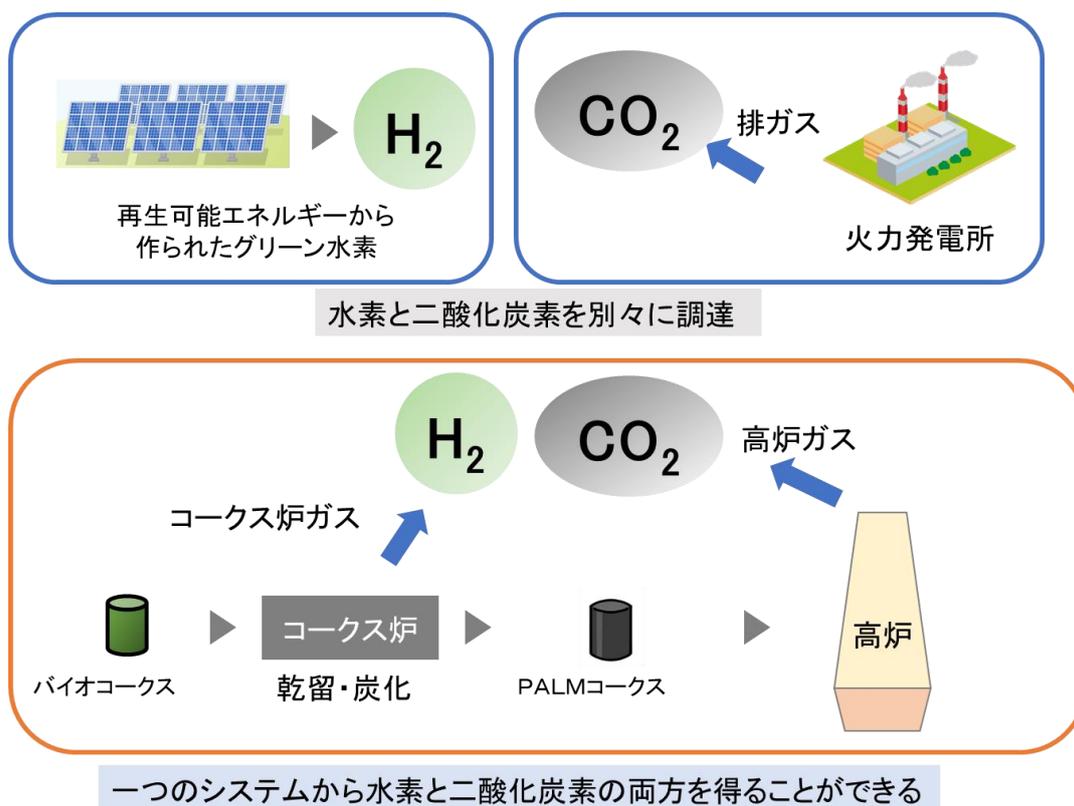


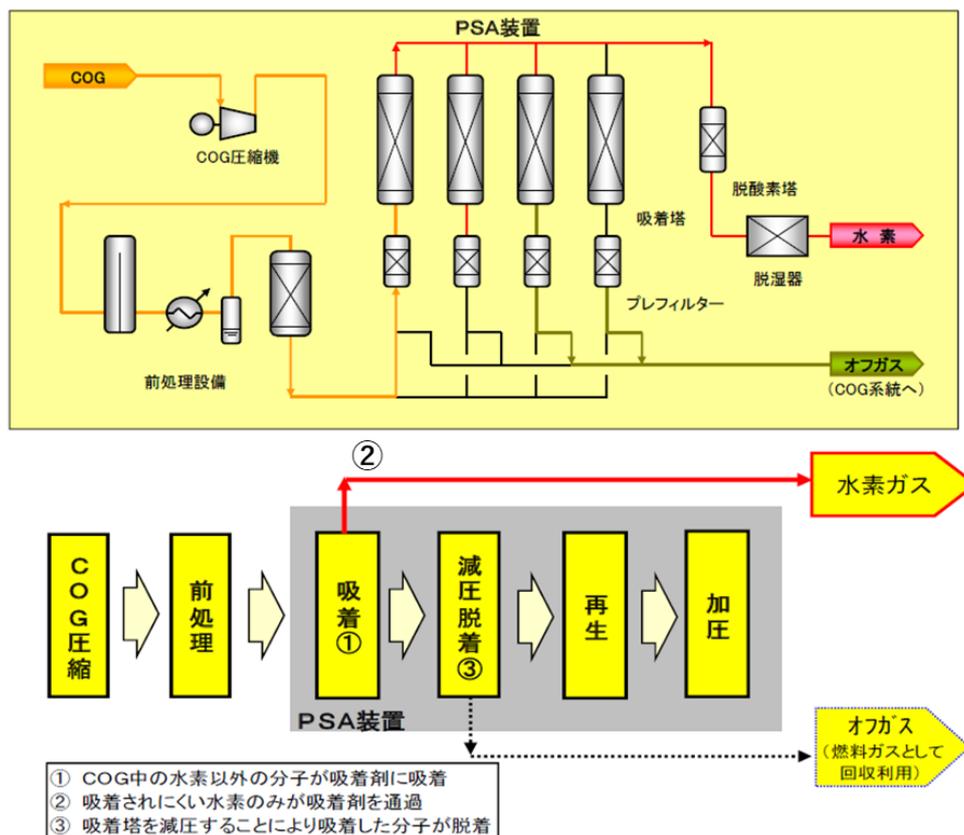
図 19. CO<sub>2</sub>資源化に伴うグリーン水素の確保

#### 4-3 グリーンメタノールの製造

今回、PALMコークスを用いた製鉄プロセスで同時に得られるカーボンニュートラルなCO<sub>2</sub>とグリーン水素を用いて、植物由来のグリーンメタノールを生成することで、カーボンネガティブを実現するシステムを提案する。数あるCO<sub>2</sub>の変換物質の中から、筆者らがメタノールに着目したのは、応用幅が広いことに加え、油脂産業のESG戦略に深く関われることも大きな理由として挙げられる。つまり、生成したグリーンメタノールを活用することで、油脂産業におけるカーボンネガティブ化にも貢献できると考えたからである。

CO<sub>2</sub>の資源化が実用段階まで進んだ例は少ないが、2000年代から盛んに開発が行われてきたメタノールへの資源化は、工業化まで至った貴重な例である<sup>27)</sup>。中でも、三井物産株式会社は、米国の化学品大手セラニーズ社と合弁会社を設立し、2021年にはCO<sub>2</sub>を原料としたメタノールを年間13万t製造できるよう設備増強を決定しており<sup>28)</sup>、メタノールへの変換は実現性が非常に高い。

本システムでは、上記に倣い、コークス炉から発生する水素と高炉プロセスで発生する高濃度のCO<sub>2</sub>をそれぞれ分離回収技術(図20)<sup>※15</sup>を用いて取り出し<sup>29)</sup>、<sup>30)</sup>、触媒条件下で反応させてメタノールを得る。さらに高炉ガス中の水素まで活用すれば製鉄プロセスで発生するCO<sub>2</sub>から、最大年間1億t<sup>※16</sup>もの莫大な量の植物由来グリーンメタノールを製造することが可能である。



新日鉄住金(現日本製鉄) 2017年関東地域エネルギー温暖化対策推進会議資料より抜粋

図 20. コークス炉ガスからの水素製造供給フロー

#### 4-4 グリーンメタノールの誘導体化

メタノールは、MTO (Methanol To Olefins) プロセスにより、転化率ほぼ100%で、プラスチックの原料となるエチレン、プロピレンといったオレフィン類へ変換することができる<sup>31)</sup>。また、エチレンの直接酸化により、エチレンオキシド (EO) に誘導体化することも可能である<sup>32)</sup>。以下では、グリーンメタノールやその誘導体の活用方法について、一案を提示する (図21)。

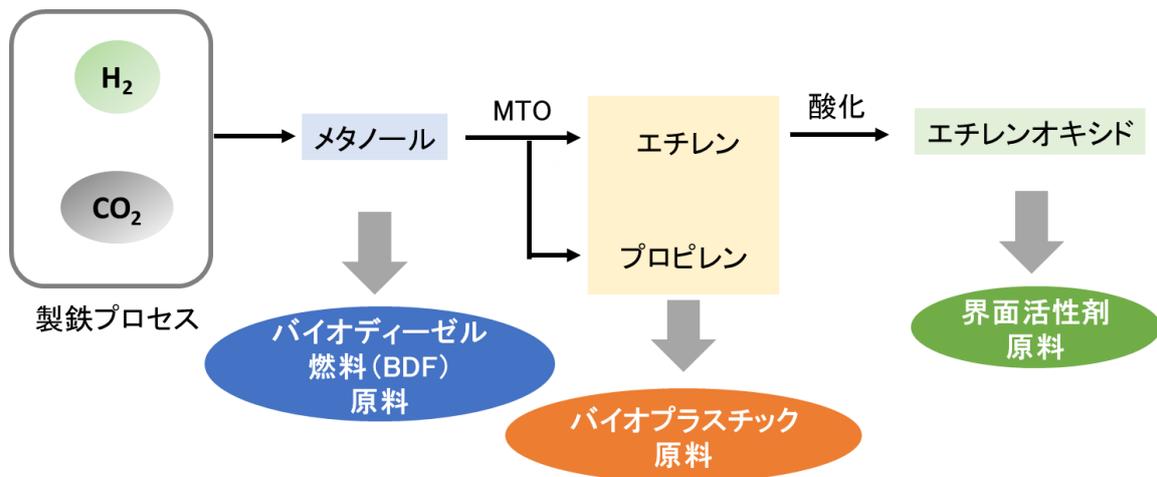


図 21. グリーンメタノールを用いたCO<sub>2</sub>の資源化

①バイオディーゼル用メタノール

バイオディーゼルは、脂肪酸メチルエステルを主成分とした脂肪酸誘導体の一つであり、パーム油や菜種油といった植物油とメタノールとのエステル交換反応により得られ、石化燃料の代替となるバイオ燃料として利用されている（図 22）。その名称から、一見、100%植物由来と思われるのだが、実は原料に使用されるメタノールは主に石化由来である。これをグリーンメタノールに置き換えることができれば、100%植物由来のバイオディーゼルの製造が可能となる。

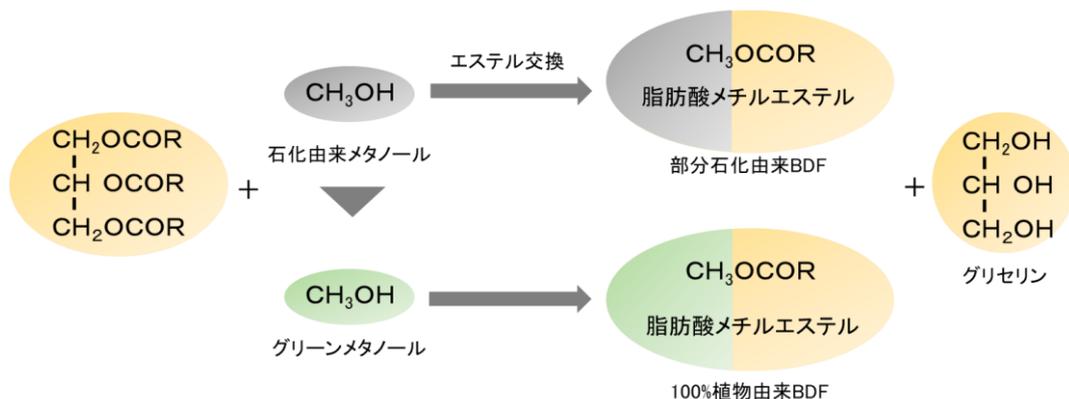


図 22. バイオディーゼルの製造方法

②自然由来界面活性剤用EO

油脂産業の主要製品の一つに、衣類用洗剤や乳化剤として使用される非イオン界面

活性剤がある。このうち、日用品や化粧品などに用いられるポリエチレングリコール系非イオン活性剤の親水性部であるオキシエチレン基は、石化由来が主であるが、使用用途からも植物由来への切り替え意識が高まっている。ここで、グリーンメタノールの誘導体であるEOを用いれば、植物由来PEG系界面活性剤に加え、各種PEG化成品への展開も可能である（図23）。

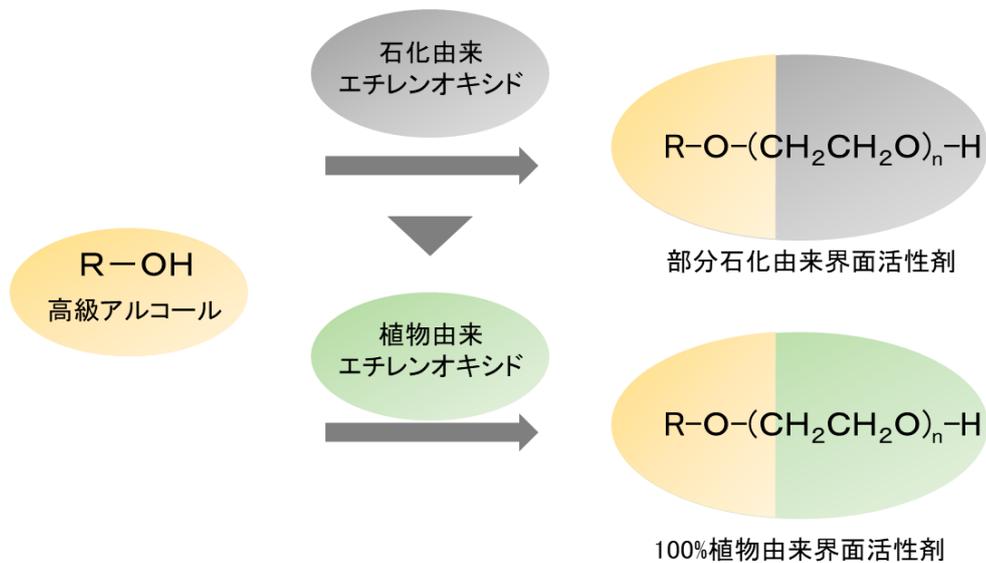


図 23. 植物由来界面活性剤の製造方法

### ③ バイオプラスチック用オレフィン

MTOプロセスにより得られたエチレンやプロピレンといったオレフィン類は、プラスチックの原料となる他、各種化成品の基礎原料としても有用である（図24）。1-2節で述べたように、油脂産業ではESG戦略として、包材のバイオプラスチックへの置き換えが進んでいる。グリーンメタノール由来のエチレンから得られるバイオプラスチックを油脂産業製品の包材にも活用することで、ESG戦略を更に加速させることができる。

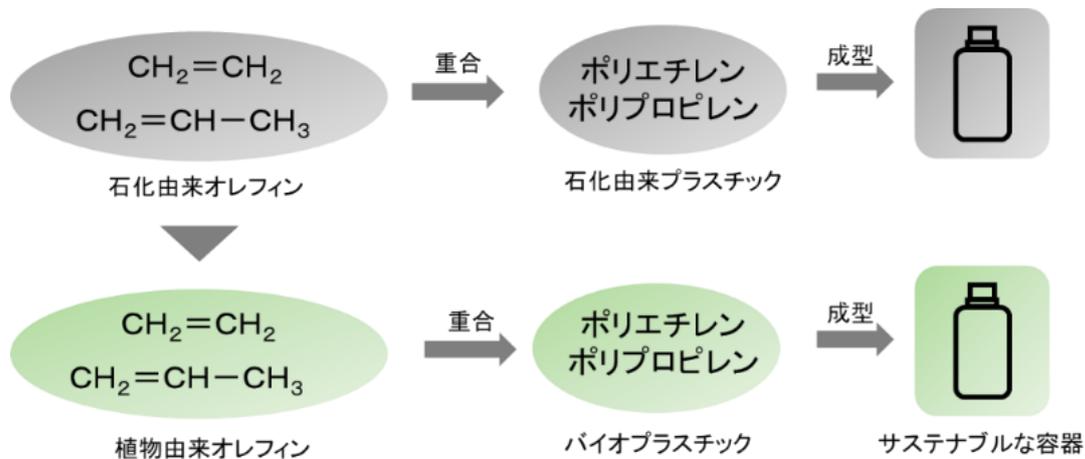


図 24. バイオプラスチックの製造方法

以上で述べたグリーンメタノール、植物由来界面活性剤用EO、バイオプラスチック用のオレフィンの製造コストは、それぞれ56.7円/kg、252.8円/kg、175.3円/kgと試算された(図25)。これらは、石油由来品と比較すると1.1~2倍の価格となってしまうが、カーボンニュートラルに向けた今後の世界的な潮流を考慮すれば、十分現実的な価格である。また、本システムにおいて、バイオディーゼルの製造量1,700万t/年<sup>33)</sup>、非イオン界面活性剤の製造量25.4万t/年<sup>34)</sup>、国内で包装や容器、コンテナ類に使用されたプラスチック368万t/年<sup>35)</sup>に使用するグリーンメタノール1,500万t/年を供給することは容易い。

(図 25-A) メタノール製造コスト(年間1,500万t製造時) <sup>(1)</sup>			
項目		金額(百万円)	備考
初期設備投資	メタノール製造設備	64,605	コンプレッサー、反応器、蒸留器他 <sup>(2)</sup>
原料水素		632,700	285万t × 222円 <sup>(3)</sup> /kg
原料二酸化炭素		84,000	2,100万t × 4円 <sup>(4)</sup> /kg
減価償却費		9,229	7年
人件費 <sup>(2)</sup>		1,835	
ランニングコスト	維持費	1,915	初期設備投資の3%
	ユーティリティ <sup>(2)</sup>	121,505	
計		851,184	
原価		56.7円/kg	石化由来品価格: 30円/kg

(1) 国内に300万t/年のプラント5基設置を想定。製造数量はバイオディーゼル燃料用メタノール、MTOプロセスで使用するメタノール量の合計値から算出

(2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「バイオマスからのガス化ガスおよび捕集CO<sub>2</sub>を利用したメタノール、液体燃料の生産」

(3) エネルギア総合研究所 エネルギア総研レビュー No.2 「バイオマスからのクリーンガス生産技術の開発」

(4) 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター 「CCS(二酸化炭素回収貯留)の概要と展望」

(図 25-B) エチレンオキシド製造コスト(エチレンオキシド20万t製造時) <sup>(1)</sup>			
項目		金額(百万円)	備考
初期設備投資	エチレンオキシド製造設備 <sup>(2)</sup>	2,584	
原料エチレン <sup>(3)</sup>		49,960	28.5万t × 175.3円/kg
減価償却費		369	7年
人件費 <sup>(2)</sup>		45	
ランニングコスト	維持費	78	初期設備投資の3%
	ユーティリティ <sup>(2)</sup>	100	
計		50,552	
原価		252.8円/kg	石化由来EO価格 : 234円/kg

(1) 製造数量は国内非イオン界面活性剤量からEOの必要数量から算出

(2) 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「バイオマスからのガス化ガスおよび捕集CO<sub>2</sub>を利用したメタノール、液体燃料の生産」

(3) 環境省 IPPU分野 温室効果ガス排出・吸収量算定方法の詳細情報 2.B.8 d 酸化エチレン製造

(図 25-C) MTOオレフィン製造コスト(エチレン+プロピレン合計400万t製造時) <sup>(1)</sup>			
項目		金額(百万円)	備考
初期設備投資	オレフィン製造設備 <sup>(2)</sup>	100,000	
原料メタノール		680,400	1,200万t × 56.7円/kg
減価償却費		14,286	7年
人件費 <sup>(3)</sup>		326	
ランニングコスト	維持費	3,000	初期設備投資の3%
	ユーティリティ <sup>(4)</sup>	3,371	
計		701,383	
原価		175.3円/kg	石化由来MTOエチレン価格 : 88~154円/kg

- (1) 製造数量は国内の包装・容器・コンテナ用プラスチック使用量とEO製造に使用する量の合計値、エチレン:プロピレン質量比率は50:50で算出  
(2) 触媒学会シニア懇談会 触媒懇談会ニュース No.46  
(3) 国立研究開発法人科学技術振興機構 低炭素社会戦略センター「バイオマスのがス化ガスおよび捕集CO<sub>2</sub> を利用したメタノール、液体燃料の生産」  
(4) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代火力発電等技術開発次世代火力発電技術推進 事業CO<sub>2</sub>排出削減のための要素技術検討 2018~2019年度報告書」

図 25. CO<sub>2</sub>資源化のための製造コスト

A: グリーンメタノール B: エチレンオキシド C: オレフィン

#### 4-5 PALMコークスを活用したCO<sub>2</sub>資源化システムの全容

図 26 に本論文で述べてきたPALMコークスを用いたCO<sub>2</sub>資源化システムの全容をまとめた。まず、油脂産業で課題となっていたパーム由来廃棄物を有効活用したPALMコークスを用いて、膨大なCO<sub>2</sub>を発生させる製鉄の高炉プロセスをカーボンニュートラル化する。それと同時に、パーム由来廃棄物が放置されることで発生していたGHGも削減する。次に、高炉で発生したCO<sub>2</sub>を、同じく製鉄プロセスで発生するグリーン水素と反応させることでグリーンメタノールを製造し、それを油脂産業のESG戦略と絡めて活用することで、カーボンネガティブ化を達成する。

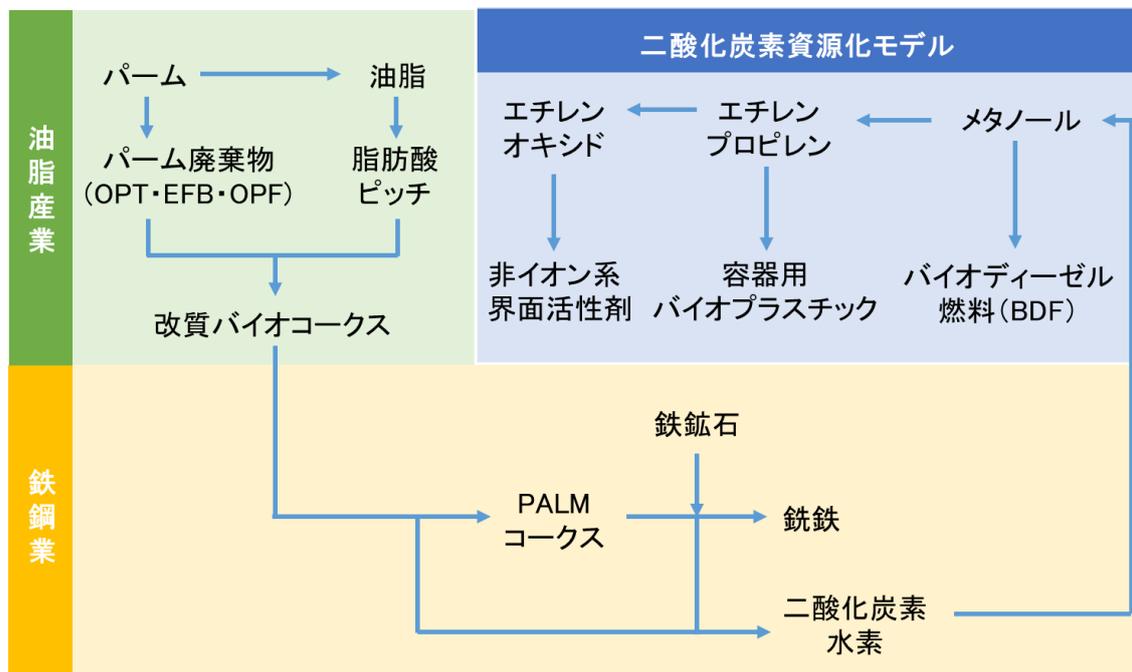


図 26. P A L Mコークスを用いたCO<sub>2</sub>資源化システムの全容

このシステムは、海外のパームプランテーションやパーム油製造工場、鉄鋼業をはじめ、多くの業種を超えた協業無くして成立させることは出来ない。無論、その間を取り持つことができるのが油脂産業であることは間違いない。なぜなら、このシステムはP A L Mコークスなしでは成立し得ないからである。

ここで油脂産業は、東南アジアの現地関連各所と連携し、現地でパーム由来廃棄物の改質バイオコークスを製造する。鉄鋼業は、これを日本に輸入しP A L Mコークスに変換することで、コークス代替として使用する。さらに製鉄所近郊に新たにメタノール製造設備を導入し、排出されるCO<sub>2</sub>を資源化する。製造したグリーンメタノールを反応させ、各種反応品を製造する。あるいは、植物由来のメタノールとして直接販売しても良いかもしれない。各プロセスをまとめると図 27 のようになる。

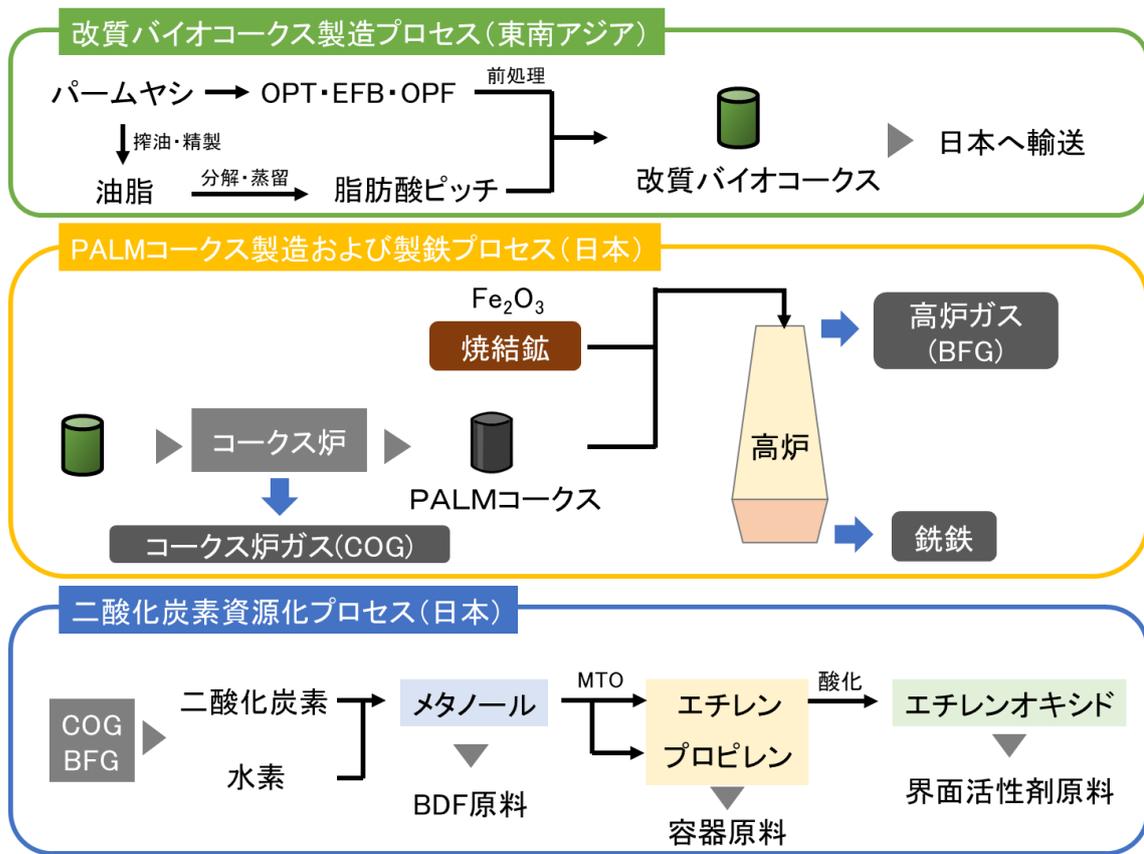


図 27. PALMコークスの製造からCO<sub>2</sub>資源化システムまでの各プロセス

このPALMコークスを中心としたビジネスを展開することで削減できるCO<sub>2</sub>は、エネルギー由来のCO<sub>2</sub>を計上しても、合計1億9,867万tと見込まれ、現在の日本のCO<sub>2</sub>排出量のおよそ16%に値する(図28)。これにより、油脂産業および鉄鋼業のGHG削減に大きな効果が得られることは明白であり、ひいては、2050年GHG排出ゼロに向けて非常に大きな役割を果たすに違いないと確信している。

工程	CO <sub>2</sub> 収支(万tCO <sub>2</sub> )		備考
	従来プロセス	PALMコース プロセス	
放置OPT・EFB・OPFからのメタンガス(CO <sub>2</sub> 換算)	3,210	-	バイオコースに使用する量から算出(嫌気性分解によるメタンガス発生) <sup>(1)</sup>
バイオコース製造時	-	495	4300万t × 0.115 <sup>(2)</sup>
陸上輸送時 <sup>(3)(4)</sup>	70	44	PALMコース 100km 石炭 160km
海上輸送時 <sup>(4)</sup>	250	206	石炭およびバイオコースの海上輸送 4494 × 排出係数 × 輸送距離 (石炭はオーストラリア、バイオコースはインドネシアで計算)
コース炉処理時	1,768	0	鉄鋼生産時の10% <sup>(5)</sup>
高炉	14,272	823	鉄鋼生産時の80% <sup>(5)</sup> 、PALMコース使用時は石灰石分のCO <sub>2</sub> のみ計上
小計	19,570	1,568	
メタノール製造用 二酸化炭素	-	-2,100	メタノール生産量1,500万t
メタノール製造時排出 二酸化炭素	-	120	0.08 <sup>(6)</sup> × 1500万t(メタノール生産量)
MTOプロセス排出 二酸化炭素	-	108	0.27 <sup>(6)</sup> × 400万t(オレフィン生産量)
EO製造時排出 二酸化炭素	-	7	0.33 <sup>(7)</sup> × 20万t(EO生産量)
資源化プロセス小計	-	-1,865	
全体	19,570	-297	

- (1) 森林総合研究所 平成27年版 研究成果選集木材の直接メタン発酵技術の開発  
(2) 一般財団法人石炭エネルギーセンター 平成29年度CO<sub>2</sub>排出削減対策強化誘導型技術開発・実証事業(多原料バイオコースによる一般廃棄物処理施設でのCO<sub>2</sub>排出量25%削減の長期実証)  
(3) 環境省大臣官房廃棄物・リサイクル対策部 インドネシア国におけるパームオイル工場廃液の燃料化事業  
(4) 国土交通政策研究所 物流から生じるCO<sub>2</sub>排出量のディスクロージャーに関する手引き  
(5) 日本製鉄 カーボンニュートラルビジョン2050より  
(6) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「次世代火力発電等技術開発次世代火力発電技術推進事業CO<sub>2</sub>排出削減のための要素技術検討 2018～2019年度報告書」  
(7) 環境省 IPPU分野 温室効果ガス排出・吸収量算定方法の詳細情報 2.B.8 d 酸化エチレン製造

図 28. 本システム運用によるCO<sub>2</sub>排出量収支の全体像

## おわりに

某日、筆者は宮崎駿監督の「もののけ姫」を久しぶりに鑑賞する機会があった。奇しくもこの映画は、製鉄を生業とするたたら場の民と自然を守るもののけ達の対立を描く話だ。主人公アシタカは、経済活動か自然保護かという葛藤を抱えながら、最後、森とたたら場の共生を誓うのだ。自然を守らなくてはならない、だが文明の発展を止

めることもできないというジレンマを抱えたまま、それでも解決の道を模索しながら生きていくという覚悟の表われとして理解することもできる。

人間と自然が手を取り合って生きていくことの難しさは、これまでの歴史を見ても明らかである。科学の進歩により、人間は経済活動を優先し自然を侵略し続けてきた。だが、どちらかのみを優先するのではなく、互いの必要性を理解し歩み寄ることで、共に生きる道を切り開いていくことができる。

2050年GHG排出ゼロという目標の達成には、分野や領域を超えた協力を継続していくことが不可欠である。油脂産業が中心となった本システムは、その取り組みの一つとなるに違いない。

## 注釈・略語

- ※1【**I P C C**】国連気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change）の略。
- ※2【**カーボンニュートラル**】CO<sub>2</sub>の排出量と除去量を差し引きゼロにすること。
- ※3【**E S G投資**】E S G（Environmental・Social・Governance）の頭文字）に配慮した企業に投資家が積極的に投資すること。
- ※4【**国内主要各社**】7社（株式会社A D E K A/花王株式会社/三洋化成工業株式会社/新日本理化株式会社/第一工業製薬株式会社/日油株式会社/ライオン株式会社（50音順））が発行するCSRレポートに記載のCO<sub>2</sub>排出量の合計値96万tを用いた。
- ※5【**サプライチェーン**】製造業において、原材料調達・生産管理・物流・販売までを一つの連続したシステムとして捉えたときの名称。
- ※6【**エネルギー原単位**】単位生産量当たりのエネルギー消費量。
- ※7【**排出原単位指数**】単位生産量当たりのCO<sub>2</sub>排出量を表す指数。
- ※8【**C O U R S E 5 0**】CO<sub>2</sub>の排出抑制と分離・回収で、CO<sub>2</sub>排出量を30%削減する技術を開発するというもの。2050年までの実用化を目指している。
- ※9【**電気炉製鋼法**】電極と鉄スクラップとの間にアークを飛ばし、その熱を利用して精錬する方法。現在、粗鉄生産量のうち約25%が、この方法で生産されている。
- ※10【**バイオマス**】再生可能な生物由来の有機性資源を指す。
- ※11【**ガス化熔融炉**】廃棄物を高温燃焼（1,000℃～1,500℃）してガスとスラグに分解する焼却炉。特に、コークスと石灰石を用いるものをシャフト炉式という。
- ※12【**カリウム分**】カリウムは燃焼させると酸化されて酸化カリウムになり、比較的低温で溶解して炉内に絡みつき、伝熱阻害や凝集塊の形成等のトラブルの原因となる。
- ※13【**コークス強度**】回転ドラム中で150回転した時の碎け度合い（ドラム強度）や、CO<sub>2</sub>雰囲気下1,100℃で2時間処理した後の熱間反応後強度といった指標がある。
- ※14【**グレー水素**】天然ガスや石炭等の石化燃料を水素とCO<sub>2</sub>に分解することで得られる水素。2020年に生産された水素は、グレー水素が約95%を占める。
- ※15【**分離回収技術**】物理吸着法、化学吸着法、膜分離法等がある。例えば、コークス炉の水素は分離されて水素ステーションの一部として実用化されており、高炉の二酸化炭素はパイロット試験で分離の有効活用性が確認されている。

※16 **【年間 1 億 t】** 製造には、コークス炉ガスに加え、高炉ガスに約 4%含まれるグリーン水素も回収して用いる。ENEOS株式会社では、ハイブリッド分離膜を用いた高炉ガスからの水素分離について、パイロット評価が実施されている（ENEOS Technical Review, 第 58 巻, 第 1 号 (2016 年 2 月))。

## 参考文献

- 1) 経済産業省, 2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略, 2020/12/25  
<https://www.meti.go.jp/press/2020/12/20201225012/20201225012-2.pdf>
- 2) 国立研究開発法人国立環境研究所, 温室効果ガスインベントリ, 日本の温室効果ガス排出量データ 2019年確報値 <https://www.nies.go.jp/gio/aboutghg/index.html>
- 3) 化学工業日報, 「日化協 カーボンニュートラル 化学産業としてのスタンス策定 国際競争力へ重要」, 2021/5/24, 朝刊, 1P
- 4) 認定特定非営利活動法人 FoE Japan, パーム油と森林  
<https://www.foejapan.org/forest/palm/>
- 5) 森林総合研究所, 平成27年版研究成果選集「木材の直接メタン発酵技術の開発ー放射能汚染バイオマスにも適応可能な新技術ー」
- 6) 田中良平, 繊維と工業, Vol. 66, No. 8, (2010) P264-P267
- 7) 小熊崇大ら, IHI 技報, Vol. 59, No. 4, (2019) P77-P89
- 8) 環境省, 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.7), 第II編 温室効果ガス排出量の算定方法
- 9) 経済産業省, 水素を使った革新的技術で鉄鋼業の低炭素化に挑戦, 2018/06/28  
<https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/course50.html>
- 10) 特許 4088933 号
- 11) Yukari Fuchigami, *et al.*, J. Wood Sci., 62, (2016) P93-P100
- 12) 近畿大学バイオコークス研究所, アーカイブ(2015/6/8 参照)  
<https://www.kindai.ac.jp/bio-coke/archive/>
- 13) 角間崎純一ら, 廃棄物資源循環学会誌, Vol. 28, No. 1, (2017) P53-62
- 14) 近畿大学, シンガポール国でバイオコークス使用実証事業に着手, 2021/3/3  
[https://www.kindai.ac.jp/news-pr/news-release/2021/03/index\\_2.html](https://www.kindai.ac.jp/news-pr/news-release/2021/03/index_2.html)
- 15) 株式会社建設技術研究所, 平成20年度経済産業省委託調査 3Rシステム化可能性調査事業ー鉄鋼業における植物由来廃棄物を原料としたバイオコークスの活用法と循環システム構築に係る調査ー報告書, 平成21年3月
- 16) 一般社団法人日本機械学会, 機械工学辞典, 「コークス比」
- 17) 独立行政法人国際協力機構 (JICA), インドネシア国アブラヤシ殻等のバイオマ

ス燃料化に関する案件化調査業務完了報告書，2016年11月

18) Mami Kanda, *et al.*, Mechanical Engineering Journal, Vol.8, No.1, (2021)  
P1-P9

19) 株式会社石橋，未利用森林資源のバイオコークス化・炭化による有効利用技術の構築，平成27年3月11日

20) 特許4912042号

21) 日本石鹼洗剤工業会，油脂製品部会 海外調査団 2018，次世代エネルギーが油脂産業にもたらす環境変化 [https://jsda.org/w/01\\_katud/yushichousa2018.html](https://jsda.org/w/01_katud/yushichousa2018.html)

22) 天尾豊，表面科学，Vol.38, No.6, (2017) P297-P302

23) NanotechJapan Bulletin, Vol.13, No.5, (2020) 企画特集「10<sup>-9</sup>INNOVATIONの最先端」<第76回>-1

24) 小河脩平ら，化学と教育，66巻，2号，(2018) P68-P71

25) 鎌田博之，IHI 技報，Vol.59, No.1, (2019) P16-P20

26) 新日鐵住金株式会社，関東地域エネルギー温暖化対策推進会議資料，水素エネルギー社会に向けた新日鐵住金の技術開発の取り組み事例紹介，2017/1/13

27) 三井化学株式会社，アニュアルレポート2010年3月期，P28

28) 三井物産株式会社，米国でのCO<sub>2</sub>を有効活用したメタノールの増産計画を決定，2021/3/26 [https://www.mitsui.com/jp/ja/topics/2021/1240905\\_12154.html](https://www.mitsui.com/jp/ja/topics/2021/1240905_12154.html)

29) 水素・燃料電池実証プロジェクト，国内初のハイブリッド型水素ステーション，2011年3月 <http://www.jari.or.jp/Portals/0/jhfc/station/chubu/centrair.html>

30) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，試験高炉でCO<sub>2</sub>削減・分離・回収技術の有効性を確認—製鉄プロセスのCO<sub>2</sub>排出量30%削減に向け前進—，2017/3/24 [https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5\\_100742.html](https://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100742.html)

31) 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構，「次世代火力発電等技術開発次世代火力発電技術推進 事業CO<sub>2</sub>排出削減のための要素技術検討 2018～2019年度報告書」

32) 環境省，IPPU分野 温室効果ガス排出・吸収量算定方法の詳細情報，2.B.8 d 酸化エチレン製造

33) 一般社団法人日本植物油協会，10.資料集，表16 原料油種別バイオディーゼル

## 生産量の推移

34) 経済産業省, 生産動態統計年報 化学工業統計編 (2020 年)

35) 中央環境審議会循環型社会部会プラスチック資源循環小委員会, 産業構造審議会産業技術環境分科会廃棄物・リサイクル小委員会プラスチック資源循環戦略ワーキンググループ合同会議 (第7回) 参考資料2, プラスチックを取り巻く国内外の状況

令和4年2月21日

〒103-0027 東京都中央区日本橋三丁目13番11号

一般財団法人 油脂工業会館

☎東京03(3271)4307 (代表)

<https://www.yushikaikan.or.jp/>