

# 炭酸鉄合成の実用性検証

## Feasibility Study of Iron Carbonate Synthesis

馬場 将人\*  
Masato Baba

中島 徹也  
Tetsuya Nakajima

前田 徹  
Toru Maeda

カーボンニュートラルの実現にはCO<sub>2</sub>排出量の削減と同時にCO<sub>2</sub>吸収量を増大させることが必要となる。CO<sub>2</sub>吸収量を増大させる方法には、CO<sub>2</sub>を原料とするものづくりであるカーボンリサイクルがある。ここでは当社製造現場と親和性のある鉄とCO<sub>2</sub>から機能性素材である炭酸鉄（商標名：metacol）を生産する方法について報告する。炭酸鉄を自社製品に活用し、排出されたCO<sub>2</sub>を材料循環に取り入れて大気から隔離し続けることを目指す。原理検証、機能性評価、装置設計、工場実証、知財保護を経て、今後は顧客価値を検証する。CO<sub>2</sub>収支マイナスの達成と採算性を確認し、カーボンリサイクルを通じたカーボンニュートラルへの貢献を目標とする。

To achieve carbon neutrality, it is necessary to reduce CO<sub>2</sub> emissions and increase the amount of CO<sub>2</sub> absorption simultaneously. One method to increase CO<sub>2</sub> absorption is through carbon recycling, which involves the production of functional material and iron carbonate (trademark: metacol), using iron and CO<sub>2</sub>, which can be applied at our manufacturing site. This paper reports on this method. We aim to utilize iron carbonate in our own products, incorporating the emitted CO<sub>2</sub> into material circulation and continuously isolating it from the atmosphere. Through principle verification, functional evaluation, equipment design, factory verification, and intellectual property protection, we will proceed to validate customer value. We will confirm achieving a negative CO<sub>2</sub> balance and profitability, and aim to contribute to carbon neutrality through carbon recycling.

キーワード：CO<sub>2</sub>、カーボンニュートラル、カーボンリサイクル、鉄、機能性素材

## 1. 緒 言

カーボンニュートラルとは、CO<sub>2</sub><sup>\*1</sup>を主とする温室効果ガスの排出量と吸収量が均衡した状態を意味し、その実現には排出量の削減と同時に吸収量の増大が必要となる。CO<sub>2</sub>の吸収量を増大させる方法には、EOR<sup>\*2</sup>、CO<sub>2</sub>の直接利用<sup>\*3</sup>、カーボンリサイクル<sup>\*4</sup>がある<sup>(1)</sup>。

カーボンリサイクルはCO<sub>2</sub>を原料とするものづくりであり、その製品には、化学品、燃料、鉱物、その他（BECCS<sup>\*5</sup>、ブルーカーボン/マリンバイオマス<sup>\*6</sup>、風化促進<sup>\*7</sup>、植物利用<sup>\*8</sup>など）がある<sup>(1)</sup>。カーボンリサイクルで調達した原料を元に生産活動を行い、排出されるCO<sub>2</sub>を再びカーボンリサイクルに回すことで、CO<sub>2</sub>を材料循環に取り入れて大気から隔離し続けることができる<sup>(1)</sup>。

当社ならではのカーボンニュートラル技術の実用化を目指し、当社製造現場と親和性のある金属とCO<sub>2</sub>から機能性をもつ鉱物を生産するカーボンリサイクルの可能性を検証した。CO<sub>2</sub>の排出量より吸収量が多い状態を示すCO<sub>2</sub>収支マイナスの達成と、採算性の確認を目標とした。

## 2. 炭酸鉄とは

炭酸鉄は鉄とCO<sub>2</sub>からなる鉱物である。炭酸鉄は鉄鉱石の一種である菱鉄鉱<sup>\*9</sup>の成分として世界中で産出され<sup>(2)</sup>、鉄の腐食過程において発生するグリーンラスト<sup>\*10</sup>からも生成される<sup>(3)</sup>。またCO<sub>2</sub>の吸収量を増大させる方法のうち、

実用段階にあるCCS<sup>\*11</sup>、EOR、風化促進において、炭酸鉄は最終産物のひとつである<sup>(4),(5)</sup>。このように鉄によるCO<sub>2</sub>の吸収は自然界で起きており、その産物である炭酸鉄は意外にも身近な物質である。しかし炭酸鉄は工業的には生産されておらず<sup>(6)</sup>、カーボンリサイクルへの活用事例も報告されていない。

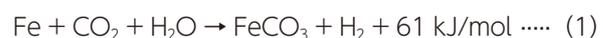
従来、炭酸鉄は合成に特殊な条件が必要とされてきた<sup>(6)</sup>。一方、炭酸鉄はCO<sub>2</sub>と鉄と水を原料に、普遍的な条件で合成される場合もあることから、3つの社会問題（鉄のリサイクル・CO<sub>2</sub>削減・水素供給）を一挙に解決する有望技術として期待されている<sup>(7)</sup>。

当社はこれらの先行知見を参考に、炭酸鉄は普遍的な条件で合成でき、また自社製品に活用可能な機能性素材であると仮定し、当社製造現場と親和性のある鉄とCO<sub>2</sub>から炭酸鉄をつくるカーボンリサイクルを検証した。

## 3. 検討経緯

### 3-1 炭酸鉄合成の原理の検証

炭酸鉄合成は、鉄とCO<sub>2</sub>と水から炭酸鉄と水素が合成される発熱反応となっている。反応式を以下に示す。



この反応を実験で確認した。エアポンプに接続した散気

管をビーカーに投入し、その上方に不織布に包んだ鉄粉を吊り下げた。鉄粉が水没するまで注水し、エアポンプの稼働により散気管から発生する気泡と接するよう位置を調整した。これを反応装置とする。

電源を備えた密閉容器に、エアポンプを電源に接続した上で、反応装置とCO<sub>2</sub>濃度計とを封入した(図1)。

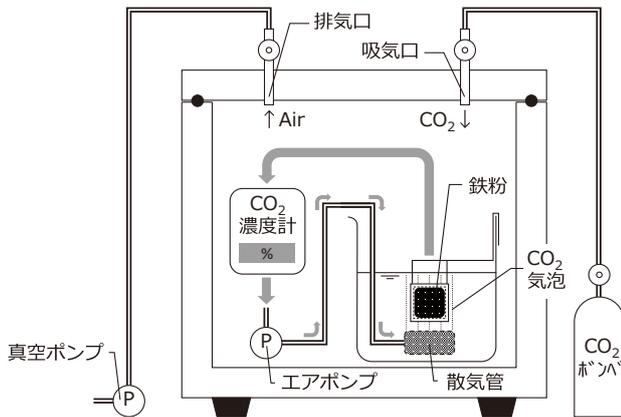


図1 炭酸鉄合成の原理検証装置

密閉容器に排気口と吸気口を設け、それぞれ真空ポンプとCO<sub>2</sub>ボンベに接続した。真空ポンプを稼働させて密閉容器内を負圧にした後、CO<sub>2</sub>ボンベを開栓してCO<sub>2</sub>を注入する操作を、容器内のCO<sub>2</sub>濃度が100%に到達するまで繰り返した。反応装置を稼働すると、容器内の雰囲気は散気管により気泡となり鉄粉に接した。時間の経過に伴うCO<sub>2</sub>吸収量の増大は鉄粉の設置により促進された(図2)。

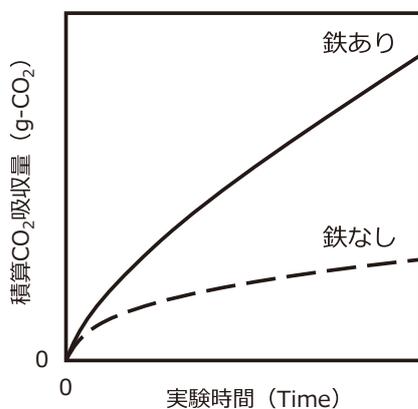


図2 鉄によるCO<sub>2</sub>吸収反応 グラフ

評価用炭酸鉄の入手を目的に、反応装置を300 L級にスケールアップし、稼働時間を7日まで延長した、反応後の沈殿物をX線解析した結果、炭酸鉄のみが検出され、鉄は検出されなかった。また沈殿物を電子顕微鏡観察した結果、炭酸鉄に分類される三方晶系の結晶が観察された(図3)。

以上、常温常圧における鉄によるCO<sub>2</sub>の吸収と、炭酸鉄の合成を確認した。

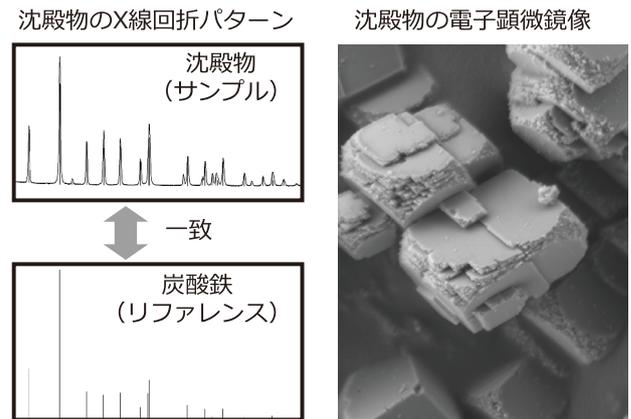


図3 沈殿物の解析結果

### 3-2 炭酸鉄の機能性の検証

炭酸鉄は9種類の評価にて安全性が確認され、粉塵爆発しない不燃物であった。またUV反射性や消臭性を発揮した。炭酸鉄は樹脂に対し最大60% (重量%) まで充填でき、炭酸鉄樹脂複合材は、剛性、放熱性、難燃性などが向上した。炭酸鉄は常磁性であり電気伝導率も小さいため、鉄とは異なる用途が期待された(表1)。

以上、炭酸鉄は鉄とは異なる機能性をもち、自社製品への活用も考えられる素材であることを確認した。

表1 炭酸鉄の機能性

項目	項目	代表値
粉末	安全性	経口毒/変異原/皮膚感作/皮膚刺激/連続皮膚刺激/皮膚光感作/皮膚光毒/眼刺激/ヒトパッチ試験にて安全性を確認
	アンモニア消臭性	あり
	紫外赤外吸収	あり
	磁性	鉄より小さい(常磁性)
	電気伝導率	鉄より小さい(絶縁性)
	粉塵爆発性	なし
60%樹脂複合材	剛性	約150%向上
	放熱性	約170%向上
	難燃性	約140%向上

### 3-3 炭酸鉄合成装置の検証

炭酸鉄合成の反応式が示す通り、炭酸鉄の合成実験では可燃性の水素ガスが発生した。工場実証に先立ち、漏出した水素ガスがCO<sub>2</sub>排出源の火気により着火する危険が予知された。

対策として、CO<sub>2</sub>排出源から回収したCO<sub>2</sub>を炭酸塩に変換して水素を発生しないCO<sub>2</sub>回収・固定化部と、炭酸塩と鉄から炭酸鉄を合成して水素が発生するCO<sub>2</sub>資源化部を分けて、個別の反応装置を開発した。この工程変更により、工場実証における水素ガス着火の危険性をなくした上で、回収したCO<sub>2</sub>を、パイプラインやポンプを使用することなく、固形の炭酸塩として運搬できるようにした。同時に、追加のエネルギー投入なしに炭酸塩と鉄から炭酸鉄を合成する方法を実証した。

CO<sub>2</sub>回収・固定化装置を工場に設置し、CO<sub>2</sub>収支マイナスを達成できるか検証した。住友電工焼結合金(株)本社工場、当社大阪製作所、当社伊丹製作所での工場実証を経て、CO<sub>2</sub>収支を確認した(図4)。

以上、炭酸鉄合成を通じてCO<sub>2</sub>収支マイナスを達成できることを確認した。

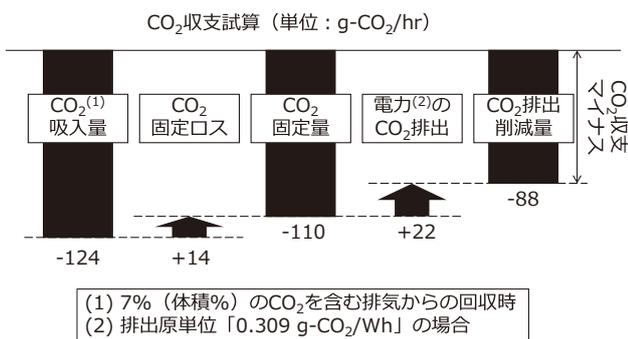


図4 CO<sub>2</sub>回収・固定化装置のCO<sub>2</sub>収支

### 3-4 知的財産の保護

実用化に備え、炭酸鉄素材、合成方法、炭酸鉄合成装置、炭酸鉄樹脂複合材とその用途やビジネスモデルの特許を出願した。また技術ブランドの商標「metacol」を出願した。

### 3-5 炭酸鉄と装置の顧客価値の検証

開発したCO<sub>2</sub>回収・固定化装置(写真1)を、東急不動産(株)が保有する東急リゾート&ステイ(株)が運営する、東急リゾートタウン蓼科内に所在する蓼科東急ゴルフコースに設置されている、「森のバイオマスボイラー」に導入し、排煙から回収したCO<sub>2</sub>を原料にしたゴルフティーおよびボトル&スリーブを提供し、カーボンニュートラルを超えたカーボンマイナス実現に貢献した<sup>(8)</sup>。引き続き炭酸鉄と装置の顧客価値を検証し、採算性を確認する。



写真1 CO<sub>2</sub>回収・固定化装置外観

## 4. 結 言

当社ならではのカーボンニュートラル技術の実用化を目指し、当社製造現場と親和性のある鉄とCO<sub>2</sub>から機能性をもつ鉱物を生産するカーボンリサイクルの可能性を検証した。

原理検証では常温常圧における鉄によるCO<sub>2</sub>の吸収と、炭酸鉄の合成を確認した。炭酸鉄が鉄とは異なる機能性を有する素材となることを確認。炭酸鉄合成装置を設計し、工場実証を経てCO<sub>2</sub>収支マイナスを確認した。実用化に備え知的財産を保護した。

今後は炭酸鉄と装置の顧客価値の検証を経て、採算性を確認する。鉄とCO<sub>2</sub>から炭酸鉄をつくるカーボンリサイクルを通じてCO<sub>2</sub>の排出量と吸収量が均衡したカーボンニュートラルへの貢献を目指す。

## 5. 謝 辞

本開発において、炭酸鉄合成の理論に関し東京都市大学江場宏美教授に厚いご指導をいただきました。

本開発は大阪府カーボンニュートラル技術開発・実証事業の助成を受けたものです。

## 用語集

※1 CO<sub>2</sub>

室温では無色無臭の気体。人間及び動物の呼吸や有機物の燃焼で空气中に排出される。固体はドライアイス。地球の平均気温を上げる温室効果ガスの中で、もっとも影響度が大きいとされる。炭酸ガス。

## ※2 EOR

EOR (Enhanced Oil Recovery：原油増進回収) は、原油の回収率をあげるための技術。通常の生産方法では回収率が低い地層や、生産開始からの年月経過などにより生産効率が下がった生産井などに適用。

※3 CO<sub>2</sub>の直接利用

CO<sub>2</sub>を産業ガスとして溶接用シールドガスや炭酸水などの飲料・食品分野、医療分野で利用したり、ドライアイスにして生鮮食品の冷温保管・輸送などに利用。

## ※4 カーボンリサイクル

CO<sub>2</sub>を資源として考えて製品や燃料に再利用し、CO<sub>2</sub>排出を減らす取り組みのこと。排出されたCO<sub>2</sub>を回収・再利用することで、地球温暖化の改善につながるなどのメリットが期待されている。

## ※5 BECCS

バイオマス発電と二酸化炭素の回収・貯留技術である CCS (Carbon Capture and Storage)<sup>\*10</sup>を組み合わせた技術。

## ※6 ブルーカーボン／マリンバイオマス

大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が海洋生態系によって取り込まれ、長期間、海洋に貯留されること。そのうち海藻によるものがマリンバイオマス。

## ※7 風化促進

天然の岩石を粉砕、比表面積を拡大することで、岩石に含まれるカルシウムやマグネシウムなどが炭酸塩として大気中のCO<sub>2</sub>を鉱物化・半永久的に固定化する自然作用を人工的に促進させる技術。

## ※8 植物利用

植物が光合成により太陽エネルギーを利用してCO<sub>2</sub>を糖類に固定化する作用を利用する技術。

## ※9 菱鉄鉱

炭酸鉄を主成分とする鉱物 (炭酸塩鉱物) の一種。方解石グループの鉱物。多く菱面体の結晶をなし、三方晶系。淡黄色・褐色などでガラス光沢がある。炭酸鉄鉱。シデライト。

## ※10 グリーンラスト

鉄の腐食過程で生成する二価の鉄原子と三価の鉄原子から成る混合原子価の水酸化鉄系鉱物。

## ※11 CCS

Carbon dioxide Capture and Storageの略語。CO<sub>2</sub>を分離・回収し、地中などに貯留する技術。

・metacol、metacolロゴは住友電気工業(株)の商標又は登録商標です。

## 参考文献

- (1) 経済産業省、「カーボンリサイクル技術ロードマップ」、pp.1、令和元年6月(令和3年7月改訂)
- (2) 大町 北一郎、「鉄鉱石の種類と生産量の推移」、地質ニュース8月号、No.96、pp.60-66 (1962)
- (3) 小原 紀、村尾 玲子、篠田 弘造、鈴木 茂、「鉄鉱石中の鉱物相の水溶液中での構造変化」、鉄と鋼、Vol.107、No.6、pp.534-541 (2021)
- (4) 倉本 真一、「海のカーボンニュートラル 新技術開発」グリーンイノベーション戦略推進会議 兼 グリーンイノベーション戦略推進会議第6回ワーキンググループ発表資料、資料3-6、pp.3-4 (2022)
- (5) 独立行政法人エネルギー・金属鉱物資源機構、「CO<sub>2</sub>貯留メカニズムとリスクマネジメント」、第三回 産業保安基本制度小委員会/カーボンマネジメント小委員会資料、pp.2-4 (2023)
- (6) R. Neerup, I. A. Løge, and P. L. Fosbøl, FeCO<sub>3</sub> Synthesis Pathways: The Influence of Temperature, Duration, and Pressure, ACS Omega, 8, 3404–3414 (2023)
- (7) H. Eba and K. Sakurai, Fixation of Carbon Dioxide and Production of Hydrogen Gas by Iron Power at Room Temperature, Transactions of the Materials Research Society of Japan, Vol.32, No.3, pp.725-727 (Sept.2007)
- (8) [https://sumitomoelectric.com/jp/sites/japan/files/2024-07/download\\_documents/prs081.pdf](https://sumitomoelectric.com/jp/sites/japan/files/2024-07/download_documents/prs081.pdf)

## 執筆者

馬場 将人\* : アドバンストマテリアル研究所 主席  
博士 (理学)



中島 徹也 : 特殊線事業部 主席 兼  
アドバンストマテリアル研究所 主席



前田 徹 : アドバンストマテリアル研究所 主幹  
博士 (工学)



\*主執筆者