

## TODAY

## (一社) 日本化学工業協会の概要及び課題



一般社団法人日本化学工業協会  
専務理事 進藤 秀夫

このたび、JRCM ニュースに寄稿の機会を頂戴し、誠にありがとうございます。(一社) 日本化学工業協会(「日化協」)の専務理事を務める進藤秀夫と申します。簡単に弊協会の概要と、取り組んでいる重要課題をご紹介します。

**1. 日化協の概要**

日化協は1948年に設立され2011年に現在の一般社団法人に移行いたしました。約180の企業と約80の団体が会員となっています。日化協の目的は、化学工業に関する生産、流通、消費等の調査研究並びに化学工業に関する技術、労働、環境、安全等に係る諸問題の調査研究並びに対策の企画及びその推進等を行い、化学工業の健全な発展を図り、もって我が国経済の繁栄と国民生活の向上に寄与することです。

**2. 日化協の重点課題**

2024年5月に日化協の会長に就任した岩田圭一会長(住友化学(株)代表取締役社長)は、重点目標として「GXの取り組み推進」、「国際協調の推進」、「安全・化学品管理の取り組みの着実な実施」の3点を掲げました。以下簡単にご紹介いたします。

**(1) GXの取り組み推進**

GX(グリーン・トランスフォーメーション)とは、定義上は「化石燃料エネルギーに依拠しない経済社会への転換」であり、小職の認識で言えば「炭素排出削減と経済成長が両立する社会の実現」ということとなります。日化協では、カーボンニュートラルや資源循環経済といった観点に基づき、政府の動向や世界の動きを注視するとともに、こうした取り組みに化学産業がソリューション・プロバイダーとして幅広く貢献できることを主張しております。

本年7月には協会内にGX推進部会をキックオフさせ、2050年カーボンニュートラルに向けたロードマップの深掘りを行うとともに、わが国のNDC(排出削減に向け、国が決定する貢献)の見直しや炭素排出権取引市場の整備などの動きに対して、業界の意見を適切に整理し発信してまいります。

また、カーボンニュートラルや循環型社会の実現

に当たっては、巨額の設備投資、原燃料の転換及び安定供給の確保など、相応のコストが伴うものであり、サプライチェーン全体での協業やそれらを支える制度設計が求められます。とりわけ「環境価値」(製品の環境面での付加価値)を、一般消費者をも含めて、ユーザーが広く受容する社会を醸成していくことが必要不可欠です。こうした環境価値の「見える化」のため、GHG排出量や環境負荷への寄与度を定量的に評価できるカーボンフットプリント(CFP)について、化学産業として取りまとめた算定ガイドラインを活用した普及活動を進めております。

また、循環型社会の実現に向けて、リサイクル品の社会認知を早期に向上させることを目的に、化学品のリサイクル率確認登録制度の試験運用を開始しました。試験運用を通じて、制度のブラッシュアップを進めてまいります。

**(2) 国際協調の推進**

サステナブルな社会の実現に向け、世界の化学産業にとって共通の課題を解決するため、国際協調をより推進していく必要があります。日化協ではこれまでに、国際的な化学物質管理のための戦略的アプローチ(SAICM)の達成と、SAICMの後継となる、新たな化学物質に関するグローバル枠組み(GFC)の立案と採択に向けて、国際化学工業協会協議会(ICCA)における活動を中心に、国際連携を図ってまいりました。

更に最近では、プラスチック汚染終結に関する法的拘束力のある国際文書(条約)策定に向けた政府間交渉委員会(INC)への対応にあたり、化学品に係るグローバル枠組み(GFC)に基づく産業界の貢献の検討に当たって、会員企業・団体の声を集約し、ICCAを通じ国際社会に日本の意見を積極的に発信しています。

**(3) 安全・化学品管理の取り組みの着実な実施**

安全、化学品管理の取り組みは、化学産業が存続するための基盤であり大前提です。化学産業は、社会生活にとって不可欠な化学製品を、安定的に社会に供給する責任を担っています。保安防災におけるデジタル化・スマート化や、リスクベースの化学品管理の普及に努めてまいります。

以上の3つの重点的課題を中心に、日化協は日本の化学産業の持続的発展に向け様々な取り組みを進めてまいります。(一財)金属系材料研究開発センター(JRCM)とも協力の機会があれば誠に幸甚です。

NEDO 戦略的省エネルギー技術革新プログラム／テーマ設定型事業者連携スキーム  
**「鉄鉱石の劣質化に向けた高級鋼材料創生のための革新的省エネプロセスの開発」**  
**(2019～2023年度実施)の成果概要**

金属系材料研究開発センター	環境・プロセス研究部	主席研究員	松尾 充高
金属系材料研究開発センター		特別研究員	齋藤 公児
JFE スチール株式会社	スチール研究所	研究技監	岸本 康夫
日本製鉄株式会社	製鉄研究部	部長	樋口 謙一
株式会社神戸製鋼所	精錬・凝固研究室	室長	石田 斉

1. 目的と概要

現在、我が国の鉄鉱石の輸入は年間 1.6 兆円で、そのうち豪州とブラジルに 90%依存しているが、両国産の鉄鉱石は今後劣質化（鉄分含有量の低下）が予測されている。これにより、高炉スラグ量が増加し、高炉の還元材比の上昇による増エネ・増 CO<sub>2</sub> 排出や、生産性の低下を招き、我が国の鉄鋼業の国際競争力が大きく低下する恐れがある。さらに、豪州産の鉄鉱石は鋼材の特性を劣化させるリンの濃度上昇も予測され、脱リン工程である製鋼の負荷増加と製鋼スラグ増加による増エネ・増 CO<sub>2</sub> 排出、また、高級鋼の競争力低下も懸念される。一方、豪州には高鉄分、高リン鉄鉱石資源が未開発で残されていることから、これまでに無い「鉄鉱石の脱リン処理・不純物除去プロセス」を新たに構築することにより、これら鉄鉱石の有効活用を図り、上記の資源劣質化による国際競争力低下を回避することが必要である。

2018～2019 年度の NEDO 先導研究プログラムでの基礎検討に引き続き、本プログラムでは上記の「鉄鉱石の脱リン処理・不純物除去プロセス」を構築することを目的に、日本製鉄（株）、JFE スチール（株）、（株）神戸製鋼所、（一財）金属系材料研究開発センター（JRCM）の 4 者と、共同研究先である東北大学、九州大学、秋田大学、北海道大学、日本工業大学、東京大学、大阪大学、大阪公立大学、福岡工業大学、中部大学、日本大学、広島大学で取り組んだ。本プロセスの構築のためには、(a) 鉄鉱石中のリン賦存・不純物分布状態の評価、(b) 鉄鉱石の脱リン処理・不純物除去、(c) 脱リン超微粉鉄鉱石の塊成化、(d) リン回収・資源化、(e) 全体プロセス評価が必要であり、本プログラムでは、これらについて 2019～2023 年度の 5 年間で取り組んだ。

なお、この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業の結果として得られたものがある。

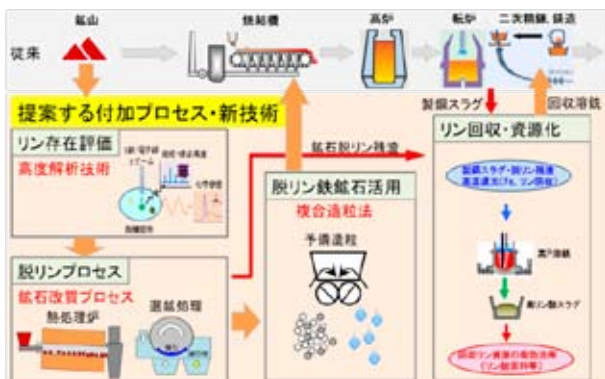


図1 本技術開発成果のプロセスイメージ

2. 得られた成果

2-1. 鉄鉱石中のリン賦存・不純物分布状態の評価  
**【担当：日本製鉄】**

鉱物粒子解析装置（MLA）を用いた鉄鉱石中に含まれるリンの形態別定量評価フローを確立した。豪州産高リン鉄鉱石を評価した結果、リンの主要形態はゲーサイトへのリン酸イオンの吸着であり、含まれているリン酸塩鉱物はごく微量であることを明らかにした。また、ゲーサイトは Al, Si などの不純物を含むことを明らかにした。

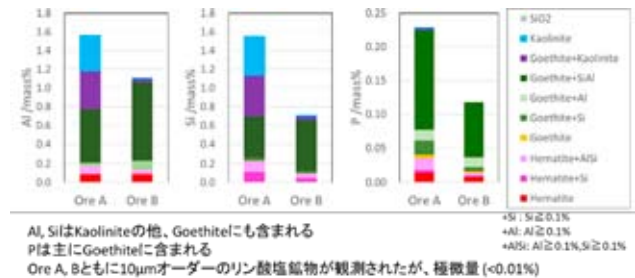


図2 MLA解析の例：鉄鉱石中 Al, Si, P の分配

ゲーサイト中の不純物とリン吸着量、吸着形態、反応性の関係解明に取り組んだ。

鉄鉱石中ゲーサイトの微細組織、不純物濃度分布は多様である。ゲーサイトの元素分布・定量分析の結果、結晶サイズ、微細気孔とリン濃度の間の相関傾向を見出した。

ゲーサイトに吸着するリン酸イオンの形態を赤外吸収分光法で評価し、量子化学計算により構造モデルの最適化を行った結果、リン酸イオンが単座配位でゲーサイトの Fe に結合しており、吸着時の pH によりリン酸イオンのプロトンの数が異なることを明らかにした。湿式のゲーサイトへのリン吸着反応解析を行い、pH、温度（25～40℃）、ゲーサイト中 Fe の Al 置換による反応挙動の違いの基礎知見を得た。これらの知見は、高リン鉄鉱石の成因の推定に役立てる。

脱リン技術開発グループと連携し、脱リン処理後鉄鉱石中のリンの形態別定量解析を行い、反応過程の考察を行った。

以上のように、開発目標である鉄鉱石中リンの分析・解析技術開発および反応解析を達成し、脱リン処理に適した鉄鉱石の選定や、脱リン方法の選択指針となる知見を得ることが可能となった。

2-2. 鉄鉱石の脱リン処理・不純物除去

2-2-1. 還元+粉碎・磁選による鉄鉱石脱リン技術の開発

**【担当：日本製鉄】**

(1) 還元気化脱リン法の開発

1kg/h スケールの脱リン試験装置で、鉄鉱石 1 トン当

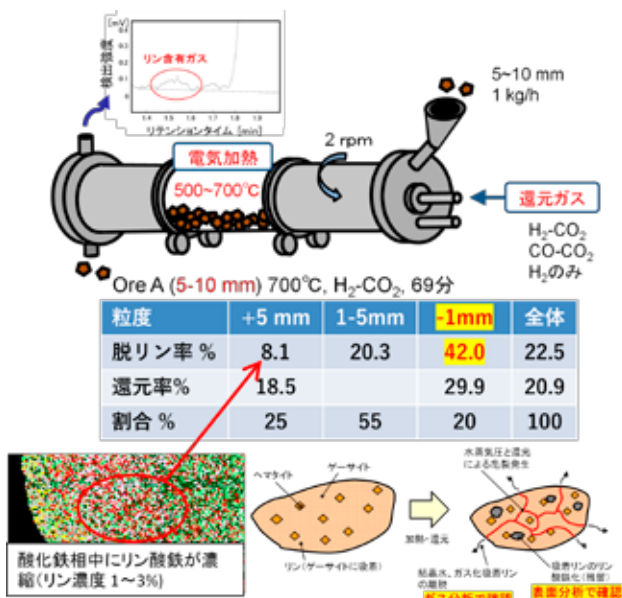


図3 還元気化脱リン試験結果

たりのリンの 820 g 以下への低減（脱リン率 20%以上に相当）を達成した。試験操業、設備条件の検討を加えて、1 t/d の次期連続脱リン処理装置の概念設計を完了した。

## (2) マイクロ波加熱技術を利用した高リン鉱石乾式脱リン技術の開発

連続脱リン処理の反応モデルを作成した。鉄鉱石 1 トン当たりのリンの 714 g 以下への低減（鉱石脱リン率 30%以上に相当）を到達した。また、低温、マグネタイト混合による高い脱リン率を達成し、そのメカニズムを明らかにした。

## (3) 鉄還元反応における不純物量の電磁波変数依存性

電磁界の制御で、微小領域の温度勾配を制御しつつ、装置大型化の条件を提示した。狭部温度測定は 3 μm まで達成し、電磁界それぞれの加熱特性を把握した。350 g 試料の加熱実験で、450°C までの加熱に成功した。

## (4) 還元反応を利用した高リン鉱石中のリンのガス化除去

ガス流速及び処理時間の影響を明確化した。鉄鉱石 1 トン当たりのリンの 870 g 以下への低減（鉱石脱リン率 15%以上に相当）を達成した。低温、粗粒での高い脱リン率を達成。昇温時の亀裂生成挙動の脱リンへの関与を見出した。

## (5) 鉱物処理技術を利用した鉄鉱石からの脱リンと不純物低減プロセスの開発

鉄鉱石の連続処理に適用可能な 1 トン当たりのリンの 714 g 以下への低減（鉱石脱リン率 30%以上に相当）を達成した。鉄回収率や鉄品位の向上と、不純物の高効率除去の処理条件を明確化した。浮選 + アルカリ乾燥処理で、高い鉄回収率、脱脈率、脱リン率を達成した。

## (6) アルカリ処理を用いる低品位鉄鉱石アップグレーディングプロセスの開発

流通式アルカリ水熱処理で、高い鉄回収率、脈石率、脱リン率を達成。アルカリ溶液の循環利用を達成可能な除去元素の分離回収法を構築し、Si, Al, P の高い回収率を達成した。

## (7) 鉄鉱石脱リン設備の開発

還元気化方式に適する脱リン炉方式として外熱式キルン方式を選定した。商業規模である鉱石処理量 50 万 t/y 規模における、プロセス説明、プロセスフロー、物質収支・熱収支、配置図、主要機器仕様、脱リン炉計画策定までを完了した。

## (8) 鉄鉱石の電熱気化脱リン技術の開発

高リン鉄鉱石の電熱気化脱リン処理における最適処理条件を決定した。減圧下の電熱気化脱リンにおいて、低真空条件でも高い脱リン率を達成した。さらにはスケールアップならびに実用化に向けたフィジビリティスタディとして電力消費量を推算した。

## 2-2-2. 鉱石リン / 不純物除去技術の開発（焙焼 / 還元 / 粉碎 / 分離）【担当：神戸製鋼所】

焙焼⇒還元⇒粉碎⇒分離による乾式リン除去プロセス開発に取り組み、リン除去率 ≥ 30% + 鉄歩留 ≥ 80% を達成した。焙焼段階における粗粒石灰石添加（東北大学共同研究）や本プロジェクトで新たに知見した砕石焙焼（Al-Si-P-O としてリンを固定）により、粗大なリン濃縮相を生成させることでその後の粉碎分離性を向上させることが技術の重要なポイントである。1400°C 対応高温 SEM を用いた in-situ 観察により、これら技術コンセプトのメカニズム解明も進展した。

また、低酸素分圧 + 塩基度上昇によるリン超濃縮相（C5PS 相）の生成促進条件も見出した。これより、実機焙焼プロセスとして酸素分圧調整型のグレート方式を選定し、脱リンプロセス導入時の省エネルギーを評価した結果、原油換算で  $6.1 \times 10^4$  kL/t 溶鉄の省エネとなることを明らかにした。

## 2-3. 脱リン超微粉鉄鉱石の塊成化【担当：JFE スチール】

高リン鉄鉱石を事前に脱リンした場合、ヘマタイト主体の鉄鉱石は還元されてマグネタイト主体になり、また、その粒径も微粉化すると想定される。微粉の鉄鉱石は通常の焼結プロセスにおいては大きな減産要因となる。そこで本テーマでは、焼結プロセスで使われる鉄鉱石原料の 50% を脱リン後微粉鉱石で置き換えて、減産影響を低減するための技術開発を行った。

大阪公立大学、東北大学、日本大学との共同研究を通じて、脱リン後の微粉鉱石を別ラインで事前造粒する複合層焼結プロセスによって、焼結プロセスで減産せずに脱リン後還元微粉鉱石を 50% 使用できる造粒・焼成条件を見出した。また、プロセス化に向けたスケールアップの課題を提案した。

## 2-4. リン回収・資源化【担当：JFE スチール】

製鋼スラグ中の鉄およびリンを回収・資源化するプロセスの要素技術を東京大学、東北大学、日本工業大学、福岡工業大学および広島大学との共同研究を通じて開発・評価し、将来の実証化に耐えうる成果を得た。また今後の実証化に向けた技術課題についても整理した。



図4 リン資源化研究成果  
左：黄リン化、右：肥料化（ダイズ圃場試験）

(1) 10t/日規模のキルン高温還元実験を行い、鉄の約 95% を還元し、得られたメタル中にリンの約 61% を含ませる条件を見出した。

- (2) 高温還元で得られる高リン濃度のメタルから、リンの約66%をリン濃縮スラグとして濃化する処理条件を見出した。
- (3)(1) 高温還元と(2)リン濃縮処理を合わせて、40%以上のリンを資源化原料として回収見込みである。
- (4) 高温還元後に残る低Fe、Pスラグを緻密化することで、JIS 砕石相当の特性を得ることができ、コンクリート製品の骨材として利用可能であった。
- (5)(2) で得られたリン濃縮スラグは、以下のいずれの方法でもリン資源化可能であり、リン資源としての需要やプロセス化する際の周辺環境などを考慮して選択することが出来る。
- (5-1) 酸浸出した後に黄リン化する手法については、酸浸出で高いリン浸出率を得る条件、および高濃度のリン酸溶液から黄リン生成する条件をそれぞれ明らかにした。ただし、酸浸出液そのままではリン酸濃度が低く、黄リン生成は困難であるため、酸浸出液のpHを調整して得られるリン酸カルシウム系の沈殿物を再度酸浸出するなどの手段が必要となる。
- (5-2) そのまま肥料として活用する手法について、湛水条件(イネ、クワイ等)および畑地条件でも根圏pHが低くなるマメ科の作物において市販肥料同等の肥料効果が得られた。また、CaやMgの吸収が増加傾向にあり、有害元素の吸収の増加は見られなかった。
- (6) 実証化に向けた課題として、経済性・持続性を考慮したリン資源原料の受け入れ先確立が挙げられる。  
現状、リン酸製造はコスト低減が課題、肥料化は需要家に受け入れて頂くことが課題である。

## 2-5. 全体プロセス評価【担当：日本製鉄】

一貫製鉄システムのエネルギー解析をツール化し、モデル製鉄所での実機化に向けた粗FSを実施した。

入力データのアップデートと鉄鉱石リン上昇後のモデル製鉄所のエネルギーフローを予測した。

鉄鉱石の脱リン試験結果に基づくと、脱リン処理鉄鉱石は、製鉄所当たりで40万t/年となり、還元気化脱リン工程導入による省エネ量は20.8万kL/年と評価された(目標は19.2万kL/年)。

一貫製鉄所全体へエネルギーシステムモデルを拡張した。拡張モデルでのKPIによるプロセス評価を実施した結果、乾式および湿式脱リン処理において指標に大きな差異はないことがわかった。

## 2-6. 鉄鉱石の脱リン及びリン資源化技術調査

### 【担当：JRCM】

2019年度から2023年度までの本プロジェクト期間において、高リン鉄鉱石からの脱リンおよびそれに関連する選鉱処理、ならびに、鉄鋼スラグおよびそれ以外のものからのリン資源化技術に関して、特許、文献調査を行い、技術動向と主要技術の抽出を行った。また、リン資源の市場動向に関する調査も合わせて行った。

## (1) 鉄鉱石の脱リン選鉱技術

特許、文献ともに最近の報告件数が増加傾向となっており、その大半は中国による発表である。背景に、中国が自国産鉄鉱石の積極的利用を検討していることがあるものと思われる。浸出、焙焼、磁選、等の基礎実験が行われている一方で、脱リンを目的とした大規模実施の報告は見られなかった。

一方、アルセロールミッタルがカザフスタンに所有するリザコフスク鉱山においては、パイロット規模での開発まで至っているが、当初の目的を達成しておらず、中断されている模様である。世界的には鉄鉱石からの脱リン処理技術は確立されている例は無いものと思われる。今後の鉄鉱石の劣質化を考慮すると、本技術の重要性、価値は増してゆくものと予想される。

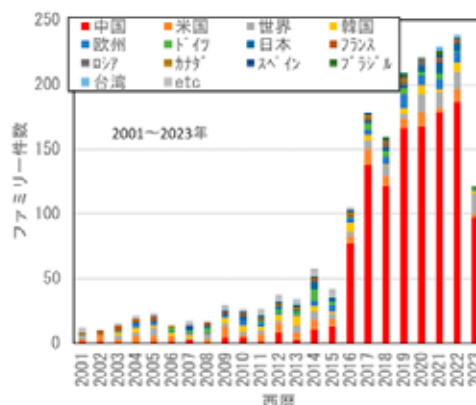


図5 各国の特許出願状況

## (2) リン資源化技術

世界的なリン資源の枯渇に伴い、リン資源およびリン製品の価格は高まりつつあり、また、不安定化している。リン鉄石以外の資源からのリン回収については、特に、欧州を中心に下水汚泥や家畜の糞尿からのリン回収に関し、研究開発が盛んに行われている。しかし、本調査の範囲では、未だ、工業的に優れた技術が確立されている状況ではないと思われる。一方、リン含有鉄鋼スラグからのリン回収に関しては、日本での研究が中心に行われている。資源の集積度という点で、上記下水汚泥等に対する優位性があり、かつ、我が国に持ち込まれるリンの相当な部分を占める鉄鉱石に由来するリン資源回収に対しては、今後も積極的な研究開発が重要であると思われる。

## 3. まとめ

豪州鉄鉱石のリン濃度は、2035年頃から上昇することが直近の調査で判明してきている。今後は、リン濃度の上昇トレンドに対応して、本プロジェクトで策定した脱リンプロセスの設備基本プランのスケールアップや商業機概念設計へ繋げる。

また、リン回収および資源化技術については、周辺環境の変化を考慮し、事業として成立するタイミングを図り、実用化検討を行う。

The Japan Research and Development Center for Metals  
JRCM NEWS / 第450号

内容に関するご意見、ご質問はJRCM 総務企画部までお寄せください。  
本書の内容を無断で複写・複製・転載することを禁じます。

発行 2024年10月1日  
発行人 小紫正樹  
発行所 一般財団法人 金属系材料研究開発センター  
〒105-0003 東京都港区西新橋一丁目5番11号 第11 東洋海事ビル6階  
TEL (03)3592-1282 (代) / FAX (03)3592-1285  
URL <http://www.jrcm.or.jp/> E-mail [jrcm@oak.ocn.ne.jp](mailto:jrcm@oak.ocn.ne.jp)  
※送付先の変更・中止等は上記E-mailに御連絡をお願いいたします。