

## 技術報告

# 広畑製鐵所における環境調和型プロセス技術について

## Environmental Friendly Process Technology at Hirohata Works

井 口 雅 夫\*  
Masao IGUCHI山 崎 強  
Tsuyoshi YAMAZAKI松 本 和 孝  
Kazutaka MATSUMOTO

## 抄 録

新日本製鐵広畑製鐵所においては、1993年に鉄鉱石に比べ還元エネルギーが不要なスクラップを積極活用する冷鉄源溶解法という新たな鉄源溶解プロセスを実用化した。このプロセスを利用し、廃タイヤなどの原燃料リサイクルを積極的に展開してきた。新日本製鐵広畑製鐵所が取り組んできた製鐵ダスト、廃タイヤリサイクル活動の状況とこれを支える環境調和型プロセスについて概要を紹介した。

## Abstract

**In 1993, Nippon Steel Corporation Hirohata Works developed SMP (Scrap Melting Process), which used positively scrap steel with less energy consumption than iron ore as resources of hot metal. And utilizing this process, Hirohata Works has promoted thermal recycling of waste tire etc. In this report, we introduces the progress of recycling of steel-making dust and waste tire, and environmental friendly process supporting this.**

## 1. 緒 言

鉄鉱石に比べ還元エネルギーが不要なスクラップを積極活用することは、省エネルギーに寄与することはもちろんのこと、資源枯渇の問題や炭酸ガス発生増に伴う地球環境問題を解決するという観点からも重要な課題の1つである。この認識から冷鉄源溶解炉を活用した資源の有効利用を中核的な位置付けとし、スクラップのリサイクル活動を積極的に展開してきた。

近年、経済活動や消費生活の多様化により、排出される廃棄物の増大が地球的規模で環境問題化しており、これらの廃棄物の排出抑制と再利用、適正処理の推進が重要となってきた。そのため、スクラップに加え、製鐵ダストや廃タイヤ等を資源として積極活用するゼロエミッション化へ向けた取り組みを行っている。本稿では、新日本製鐵広畑製鐵所が取り組んできた製鐵ダスト、廃タイヤリサイクル活動の状況とこれを支える環境調和型プロセスについて概要を紹介する。

## 2. 原燃料リサイクルの重要性

製鐵所で発生する酸化鉄の粉であるダストは、酸化度が高いことに加えCaOやSiO<sub>2</sub>といった酸化物を含有してお

り、そのままの状態では現状の製鐵プロセスでは使用し難い。そのため、製鐵ダストに還元材である炭材を加え、回転炉床式還元炉(RHF: Rotary Herth Furnace)で9割程度還元し鉄源として使用することにより、社内外製鐵所間におけるゼロエミッション化を目指している<sup>2,3)</sup>。

溶解炉の燃料として石炭を使用しているが、石炭の代替として市中の廃タイヤを溶解炉に投入し、熱源として活用している<sup>4)</sup>。更に、廃タイヤをキルン炉で乾留処理し、ガス、油、鉄分に分離回収することで、製鐵所内での原燃料代替材として活用を図り、国内の燃料系廃棄物についてもゼロエミッション化に貢献している。

そのままでは利用し難い資源(難使用資源)に処理を施すことで、製鐵原料として再利用を図り、系外排出廃棄物の少ないプロセスを目指している。

## 3. 環境調和型プロセスの構築

新日本製鐵広畑製鐵所は、1993年に高炉を休止し、溶銑製造として、転炉型の冷鉄源溶解プロセス(SMP: Scrap Melting Process)を開発した。SMPでは、スクラップをはじめとして、様々な原燃料のリサイクルを行っており、1999年に、燃料として廃タイヤの資源化を実現した。また、原料としては、2000年に、回転炉床式還元炉(RHF)

\* 広畑製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ グループリーダー 兵庫県姫路市広畑区富士町1 〒671-1188

を設置して、製鐵所で発生する鉄含有ダストを予備還元して還元鉄（DRI：Direct Reduced Iron）を製造し、SMPにて溶解して溶銑製造を行っている。

このダストリサイクル構造の更なる高効率化、ダスト処理能力、生産性の向上を狙い、2005年にRHFを1基増設して2基体制とし、DRI溶解炉（DSP：DRI Smelting Process）を併設することで製鐵ダストの一貫溶銑化プロセスを構築した。2008年、2011年には更なるダスト処理能力の向上、および多様な製鐵ダストのリサイクル推進を目的に3、4基目のRHFとDRIをHBI（Hot Briquet Iron）に塊成化するプロセスを導入し、既存のSMPにて製鐵ダストリサイクルの拡大を実現した。

溶解炉（SMP、DSP）とRHFという2つの設備の強みは、主に、高温炉での分離機能の高さと原燃料選択の自由度の高さにある（原料の成分、形状など自由度が非常に高い）。このプロセスにより、高品質の溶銑が得られ、発生したガス、スラグ、及び、ダストは回収され再資源化される。

溶解炉（SMP、DSP）、RHFを中核とした広畑製鐵所での環境調和型プロセス技術とリサイクル活動の拡大について述べる。

#### 4. 冷鉄源溶解プロセス（SMP）について

SMPは、図1に示すように既存の転炉を改造し、炉底から微粉炭が吹込める構造になっている。溶解工程の作業フローを図2に示す。溶銑が炉内に入った状態で、スクラップ等を装入し、上吹き酸素と底吹き微粉炭との燃焼熱

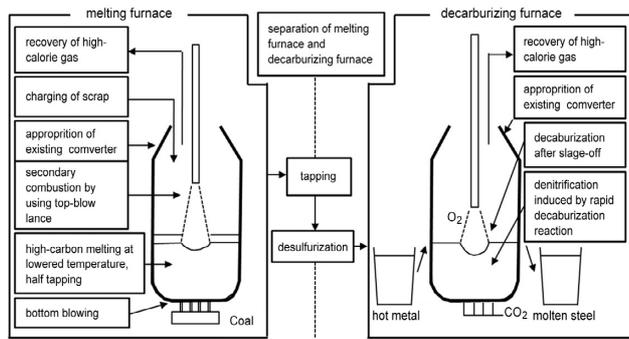


図1 転炉利用の冷鉄源溶解プロセス（SMP）  
Scrap melting process of ladle furnace use

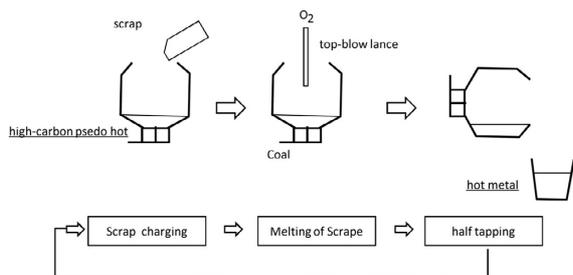


図2 溶解作業フロー  
Melting process flow

を利用することで、原料を溶解する。また、微粉炭による浸炭が同時に起こり、高炉法同等の温度で溶解が可能となっている。溶解終了後は、出銑、排滓を行い、溶銑を残した状態で原料装入、溶解を繰り返して行う。SMPの特徴は以下の点に要約される。

- (1) 高炭素溶銑の連続残湯による高速かつ安定した溶解
- (2) 溶銑製造以降は従来工程と同等処理を実施することで高純度鋼の安定製造
- (3) 低温溶解による耐火物負荷軽減
- (4) 二次燃焼率に制御による溶解熱源確保と回収ガス利用の両立
- (5) シュート装入、炉上連続投入等で原燃料選択の自由度が大きい

#### 5. SMPを活用した廃タイヤ資源化

経済活動や消費生活の多様化により、排出される廃棄物の増大が地球的規模で環境問題化しており、これらの廃棄物の排出抑制と再利用、適正処理の推進が重要となってきている。このような状況のもと、広畑製鐵所では、1999年よりSMPにて廃タイヤカット品を、鉄スクラップおよび微粉炭の一部代替として使用してきた（図3）。廃タイヤの主な成分を、表1に示す。タイヤ成分は、微粉炭に近い成分で、タイヤ補強材のスチールコードは、鉄分として回収し、ゴムの部分は、高温でガス化・回収し、製鐵所内で高カロリーの燃料ガスとして利用している。廃タイヤの再利用に加えて、SMPで原料のシュート装入方法を利用し、廃ゴムクローラーの資源化も実行している。

#### 6. 廃タイヤガス化設備について

鉄源溶解プロセスにおける廃タイヤ使用技術を確立し、さらなる廃タイヤのリサイクル量拡大を目的として検討を進めてきた。廃タイヤを熱分解処理することによって、処理後の産物が製鐵で使いやすい製品へと分離回収できることを見出し、新しいタイヤガス化リサイクルシステムを開発した。

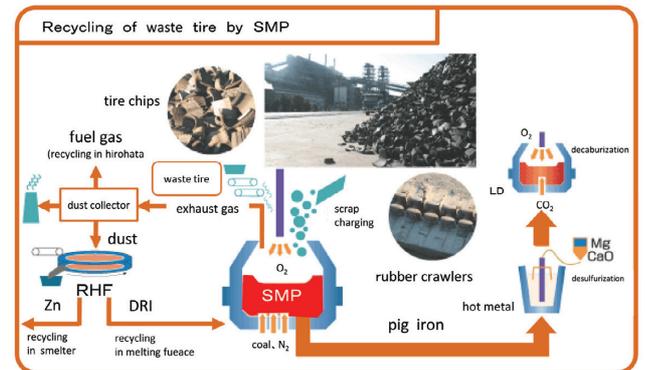


図3 SMPを活用した廃タイヤの資源化  
Recycling of waste tire by SMP

表1 廃タイヤの構成成分(重量%)  
Compositions ingredient of waste tire (mass%)

	TB bias	TB radial	PC bias	PC radial	Radial tire of pickup truck	Radial tire of mini-vehicle
Gum	40-55	40-50	30-55	35-55	40-50	35-55
Carbon	15-30	15-30	20-35	20-30	22-30	20-30
Sulfur	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-3	0.5-1.5	1-3
Softener	2-10	1-5	7-20	3-12	2-11	2-12
Zinc oxide	1-2.5	0.5-2.6	1-1.5	1-4	1-2	1-4
Vulcanization materials	2-13	3-10	2-8	1-7	1-7	1-7
Fiber (nylon polyester)	7-15	0-4	5-18	2-10	2-10	2-8
Steel	3-10	15-40	2-10	5-16	5-17	5-16

	Bike	Scooter	Self-sealing tire	Construction vehicle tire		Flap
				Bias	Radial	
Gum	30-50	35-55	45-60	40-55	40-55	35-55
Carbon	25-35	25-35	10-30	20-30	20-30	20-35
Sulfur	0.5-1.5	0.5-1.5	0.5-2	0.5-2	0.5-2	0.5-1
Softener	7-22	6-22	3-10	2-20	0-10	8-24
Zinc oxide	1-2	0.5-1.5	1-2.5	1-3	1-3	1-2
Vulcanization materials	1-5	1.5-5	1-25	2-16	2-16	1-15
Fiber (nylon polyester)	5-11	3-10	0-15	5-25	0-20	0-2
Steel	3-12	2-6	3-10	0-5	0-30	0

“ゼロ・エミッション構想”(ある産業から出るすべての廃棄物を新たに他の分野の原料として活用し、あらゆる廃棄物をゼロにすることを目指す構想)を地域の環境調和型経済社会形成のための基本構想として位置づけ、併せて、地域振興の基軸として推進することにより、先進的な環境調和型のまちづくりを推進することを目的として、1997年に国のエコタウン事業が創設された。広畑製鐵所は、兵庫県の“ひょうごエコタウン事業”の中核として、2003年より参画することになった。既存設備のSMPを活用した廃タイヤの資源有効利用に加えて、2004年に乾留キルン炉による廃タイヤのガス化リサイクル事業(関西リサイクル(株))を立ち上げた。関西地区を中心に、関東、中部地区の広い地域にわたって集荷されたカット済み廃タイヤを世界最大級の外熱式ロータリーキルンで熱分解処理する。

タイヤガス化設備概要を図4に示す。廃タイヤは破碎後に外熱式ロータリーキルン炉に装入され、無酸素雰囲気下でタイヤの構成物質、特に、ゴム分が熱分解されガス化する。高温のガスは油化設備にて冷却され、油と高カロリーガスとに分離回収される。熱分解されない残部(カーボン、鉄ワイヤー)はキルン出側で分離される。

タイヤガス化設備ならびに冷鉄源溶解炉でのタイヤ利用に関する製品内訳と利用先を図5に示す。製鉄プロセスを再資源化製品の利用先とすることで、分離されたガス、乾留カーボン、鉄ワイヤーといった製品を有効活用することができる。

広畑の地域(SMPと廃タイヤガス化リサイクル事業合

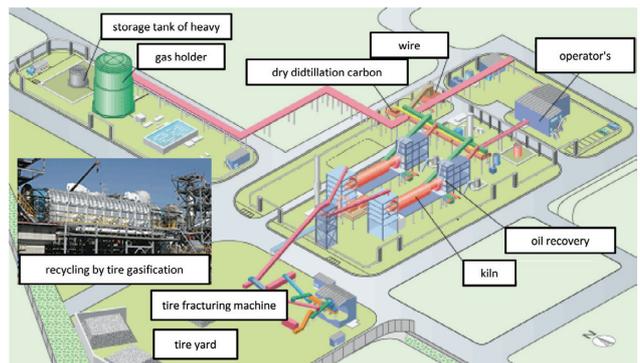


図4 タイヤガス化処理概要図  
Outline of tire gasification processing

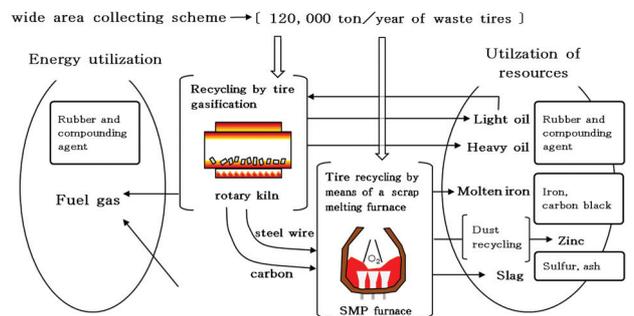


図5 廃タイヤのリサイクルシステム  
Recycling system of waste tire

わせて)だけで、全国で発生する廃タイヤの10%を超える処理が可能となっている。2つの方式の年間処理能力12万トン、地球資源削減に換算すると、天然資源にして年間約14万トン、省エネルギーとして年間約10万キロ

リットルの重油に相当する。

### 7. RHF の設備と操業の概要

製鐵所で発生する鉄分含有ダストをより有効に利用する目的で、2000年に回転炉床式還元炉（RHF）を導入した。RHF設備は、発生した鉄分含有ダストに還元材として石炭を添加した原料をブリケット状の生ブリケットを製造し、それに熱を加えて予備還元して還元鉄（DRI）を製造するものである。プロセスフローを図6、図7に示す。

ブリケットは炉内での急激な加熱によりブリケットが爆裂しないよう乾燥機で水分除去し、RHF炉床に投入する。乾燥ブリケットは直径21.5mのRHF炉の中で約1300～1350℃の高温で加熱、還元する。製品DRIは約1000℃の高温の状態で排出スクリーによって排出される。一方、RHF炉から排出される排ガスの顕熱を利用して、炉の燃焼用空気とブリケット乾燥用空気を予熱し、燃料消費量の低減を図っている。また、ブリケット中の酸化鉄還元中に亜鉛が同時に還元によって揮発、除去された後に、排ガス系の中で酸化亜鉛になり、粗酸化亜鉛としてバグフィルターで回収される（図8、表2）。

RHFは6ゾーンに分かれており、各ゾーンは生産量やダスト還元による吸熱量に応じて1100～1350℃の間で適宜調整している。それぞれのゾーンは天井にある仕切り

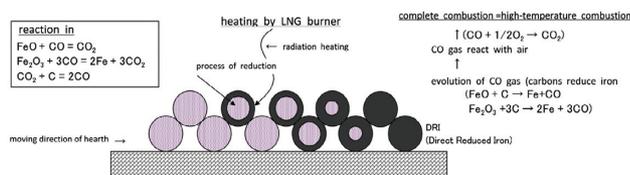


図8 RHFの炉内反応の模式図  
Reduction reaction in RHF

表2 原料ダストおよび成品DRIの代表的な組成  
Typical ingredient of raw material dust and DRI

	T.Fe	M.Fe	FeO	C
Dust	62%	4%	61%	2%
DRI	77%	63%	18%	4%

壁で分割されている。未還元造粒物の装入部直後にある1ゾーンでは、造粒物が還元に必要な温度まで速やかに加熱され、なおかつ急速な加熱に起因する熱歪みによって造粒物が爆裂しないように温度を調整している。2ゾーン目以降は、生産性と燃料原単位のバランスを取りながら炉温を調整している。各ゾーンには、温度調整用のバーナーを設置し、また、還元によって発生するCOガスを完全燃焼させるための適量のエアーを吹き込んでいる。

製造したDRIは、SMPに装入し、溶解し、溶銑製造を行っている。

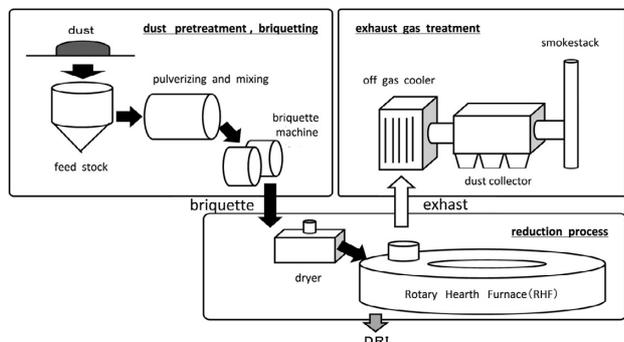


図6 ダストリサイクル設備の全体フロー  
Dust recycle equipment flow

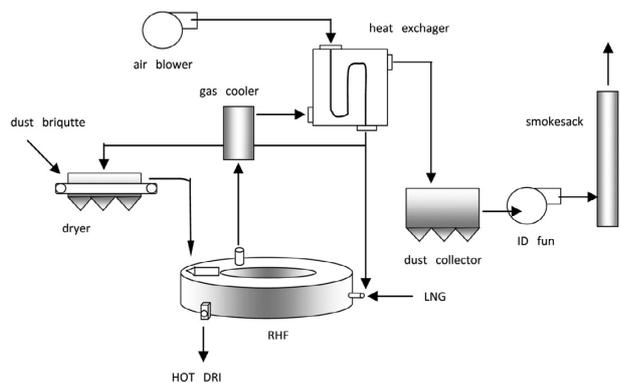


図7 RHFの設備構成  
Equipment of RHF

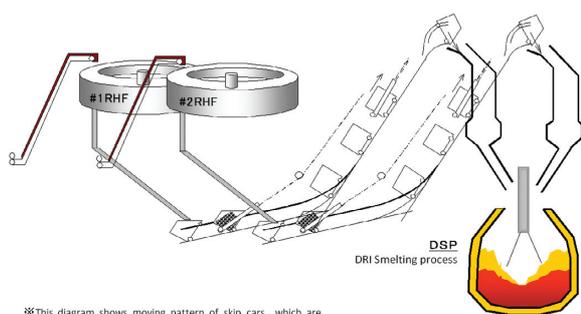
### 8. DRI溶解炉（DSP）の設置とダストリサイクルの拡大

2005年に、ダスト処理能力の拡大のためRHFの2号機を増設した。仕様は1号機と同様のものとし、処理能力は2倍とした。熱効率向上、リサイクル促進を目的に2基のRHFに隣接させてDRI専用の溶解炉（DSP）を増設し、ダストから溶銑まで製造する一貫プロセスを構築した。従来法ではRHFから離れたSMP炉へDRIを輸送して供給していたが、新しく設置したDRI溶解炉はRHF出側直下に配置することで、エネルギーロスの更なる低減を果たしている。

DSPは、SMPと基本構成が同じで、上吹き酸素と底吹き微粉炭の燃焼熱で溶解を行う。熱間のDRIを炉上から連続的に投入するため、専用のRHFとDSPをつなぐスキップコンベアと原料投入装置を付与した溶解設備を設置した（図9）。

### 9. RHF増設による更なるダストリサイクル体制の構築

2008年、2011年には更なるダスト処理能力の向上、および多様な製鐵ダストのリサイクル推進を目的に3、4基目のRHFとDRIをHBIに塊成化するプロセスを導入し、既存のSMPにて製鐵ダストリサイクルの拡大を実現してきた。



※This diagram shows moving pattern of skip cars, which are installed in each system of RHF

図9 RHF-DSP設備の模式図  
Schematic diagram of RHF-DSP



図10 No. 3RHF全景図  
Whole view of No. 3RHF

図10に3基目のRHF設備の全景図を示す。仕様は1・2号機と同等のものとし、併せて、SMPで効率的なダストリサイクル拡大を実現するために、DRIを高温のまま圧縮し密度を高めることで、酸化の要因となる水分、空気の内侵を防ぐHBI製造設備の導入を図った。

図11にHBI製造設備の概略図およびDRI、HBIの外観を示す。

HBI設備の導入により ①DRIの還元度を落とすことなくSMPで使用可能、②冷却することで既存のSMPの原料投入設備において、溶解中に連続的に原料を投入可能となりダスト処理能力の大幅な拡大を実施し、約50千t/月の処理体制を構築した。

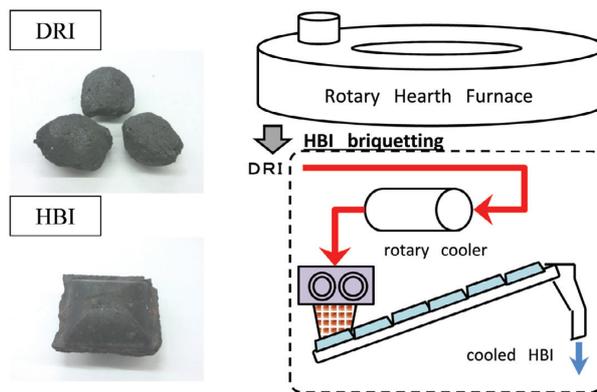


図11 HBI製造設備概略図  
Outline of HBI production equipment

## 10. 結 言

広畑製鐵所では、SMPを中心に、廃タイヤ、製鐵所で発生する鉄含有ダストのリサイクルを展開してきた。今後もSMP、RHFを活用して、他ではリサイクルが困難な原燃料の活用にもチャレンジして、より先進的で環境調和型製鐵所を深化させていきたい。

### 参照文献

- 1) 大貫一雄 ほか:新日鉄技報.(351), 47 (1994)
- 2) 織田博史 ほか:新日鉄技報.(376), 28 (2002)
- 3) 市川 宏 ほか:新日鉄技報.(376), 32 (2002)
- 4) 中尾安幸 ほか:新日鉄技報.(376), 20 (2002)



井口雅夫 Masao IGUCHI  
広畑製鐵所 製鋼部 製鋼技術グループ  
グループリーダー  
兵庫県姫路市広畑区富士町1 〒671-1188



松本和孝 Kazutaka MATSUMOTO  
広畑製鐵所 製鋼部長



山崎 強 Tsuyoshi YAMAZAKI  
広畑技術研究部 主幹研究員