NIPPON STEEL

季刊 ニッポンスチール
Quarterly magazine

鉄の循環

2019
Vol. 03

日本製鉄株式会社

Contents

特集 鉄の循環

4 自動車リサイクルの現場を行く
鉄から鉄へ 何度でもよみがえる

8 **鉄はさらに高度な資源循環を実現できるポテンシャルを秘めています**
東北大学大学院 環境科学研究科 教授 松八重 一代 氏

10 **ごみ拾い活動を通じて人と人をつなげたい**
特定非営利活動法人グリーンバード 代表 福田 圭祐 氏

12 資源循環Q&A
なぜリサイクル？もっとリサイクル！

14 Eco-Process
製鉄所の資源循環テクノロジー
日本製鉄のものづくり

24 特別企画 技術対談
利他の心、全体最適の発想がより良い社会につながる
東京大学 先端科学技術研究センター 教授 西成 活裕 氏
日本製鉄(株) 代表取締役副社長 井上 昭彦

32 Photo Essay 製鉄所の風景
ブリキはおいしい

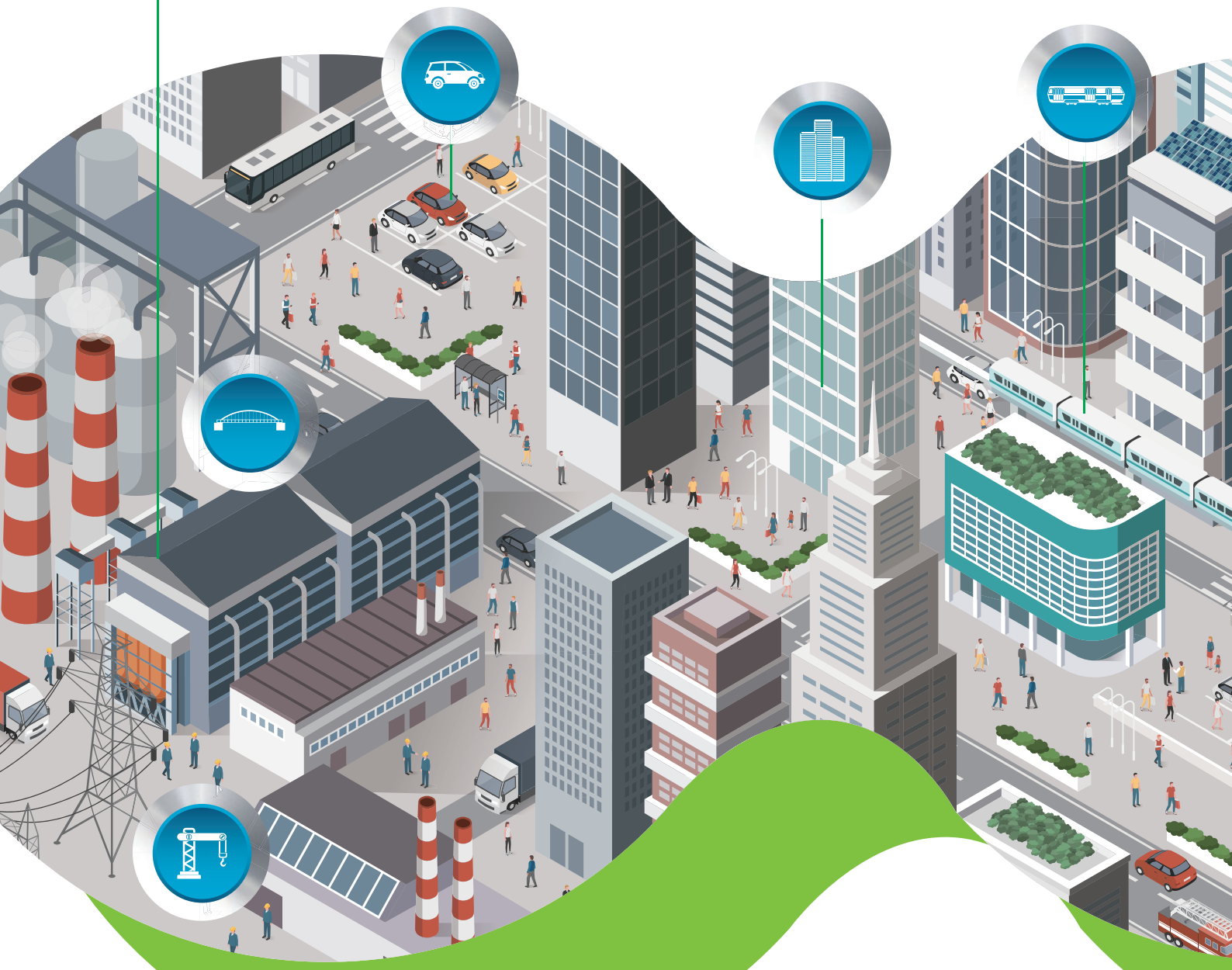
34 News Clip
日本製鉄グループの動き

日本製鉄株式会社 広報誌 季刊 ニッポンスチール
Vol.03 2019年12月16日発行
〒100-8071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
TEL.03-6867-4111 https://www.nipponsteel.com/

編集発行人 総務部 広報センター所長 大西 史哲
企画・編集・デザイン・印刷 株式会社 日活アド・エイジェンシー

●本誌掲載の写真および図版・記事の無断転載を禁じます。
●ご意見・ご感想をぜひ綴じ込みはがきでお寄せください。

鉄の循環



鉄は私たちの暮らしに密接にかかわっています。身近で使われる鉄には、缶、家電、自動車、鉄道、ビル、橋など数えあげれば限りがありません。それぞれ役割を終え、分別回収された鉄スクラップは、製鉄所で原料として使われ、新たな鉄鋼製品によみがえり、再び私たちの豊かな暮らしを支えています。さらに、そのリサイクル性に優れた鉄をつくる工程においても、さまざまな資源の有効活用が行われています。日本製鉄は社会や他産業と連携して、これからも資源循環の輪を回していきます。

徹底した
分別解体による
部品・素材の回収

自動車リサイクルの現場を行く

鉄から鉄へ
何度でもよみがえる

廃車となった使用済み自動車は、どのように解体され、鉄をはじめとする素材ごとに分別され、再資源化されているのでしょうか。自動車リサイクルの現場を訪ねました。

プレスされた
鉄スクラップ

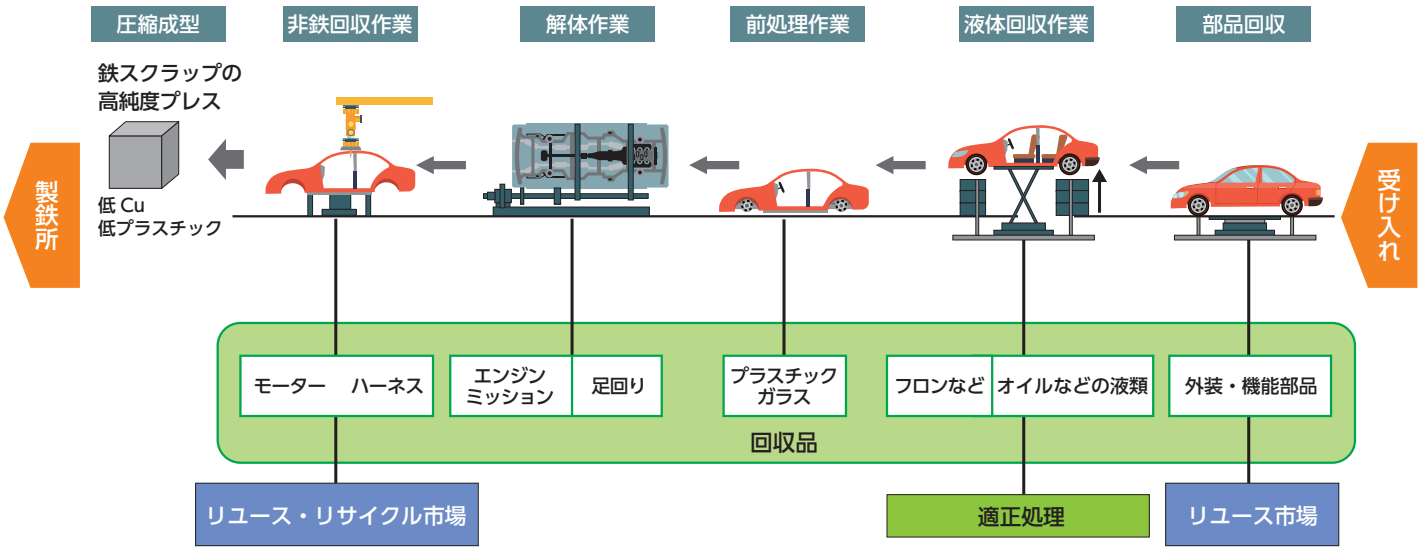
鉄は100%リサイクル

使用済み自動車は国内で年間約350万台にのぼっています。金属でできた部品はリユースやリサイクルされる道筋があり、使用済み自動車の総重量の約8割は鉄スクラップなどとしてリサイクルされていましたが、シュレッダーダストと呼ばれる破砕くずは、産業廃棄物として埋め立てられてきました。ところが1990年代後半から、最終処分場が不足してきたこと、これに伴って処分費用が高騰してきたことなどから、使用済み自動車の不法投棄・不適正処理の懸念が生じました。またカーエアコンに冷媒として充填されているフロン類は適正に回収処理されないとオゾン層破壊や地球温暖化問題を引き起こす要因となってしまうこと、エアバッグ類は自動車解体時に専門的技術が必要とされることなどの課題を抱えていました。こうした問題を解消し、持続可能な循環型社会を構築するため、2005年1月から自動車リサイクル法が全面的に施行されました。

「東日本資源リサイクルは自動車リサイクル法に基づいて、解体自動車の全部再資源化の実施委託に係る認定を受け、05年1月から富津工場を稼働しています。廃車・事故車などの使用済み車両は千葉県、東京都、神奈川県の1都2県から回

自動立体倉庫
パーツを梱包したうえで保管し、
インターネットなどを通じて販売します。

部品回収
販売できるパーツを取り外し、機能を確認します。



収しています。鉄スクラップを使っている君津製鉄所では、神奈川方面へ船で鉄鋼製品を輸送していますが、その帰り便を利用して使用済み車両を運ぶなど、日本製鉄グループとも連携しています。鉄は100%リサイクルされているのですが、車の解体・破砕後に残るプラスチックくずやガラスの破片などは技術・コストの両面からリサイクルされていないのが現状です。こうしたなかでもリサイクル率95%以上を達成しています。徹底した分別解体による部品・素材の回収で、まだ使える部品をリユースすることと、素材としてリサイクルすることに努めています」（東日本資源リサイクル・清水義晴社長）

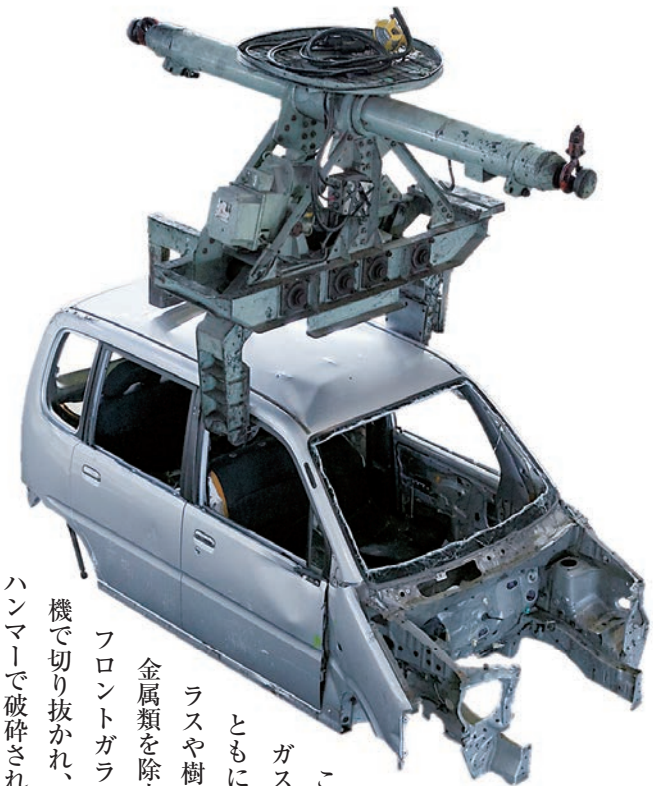
東日本資源リサイクル(株) 代表取締役社長 **清水 義晴**氏

選別された鉄スクラップは製鉄所に送られる

解体　車体を反転し、下部の部品を取り外します。

製鉄所との連携により一貫したリサイクルシステムを構築

東日本資源リサイクル富津工場の工程をたどりながら、素材である鉄がどのように再資源化されているのかを紹介します。車両が搬入されると、まずマーケットニーズがあり、使用可能な部品が取り外されます。対象となる回収部品は主にタイヤ、フェンダー、バンパー、ヘッドライトなどです。取り外した部品は1万5000点収容可能な自動倉庫に保管し、中古部品ネットワークを通じて販売されています。リユース品を採取したあと、環境に影響を与える燃料やオイルなど液類を回収したうえで、ピュアな鉄にするための前処理作業を行います。ここではフロンガスを回収するとともに、フロントガラスや樹脂類などの非金属類を除去しています。フロントガラスは専用切断機で切り抜かれ、ドアガラスはハンマーで破砕されます。



続いてメインの解体作業では、車体を反転させてエンジン、ミッション、排気系統、足回り部品を取り外します。足回り部品やエンジンは洗浄され、使用可能なものは販売され、リユースされます。さらに電気系統(ハーネス類)、熱交換器類、モーターなどに含まれる銅やアルミニウムといった非鉄と、鉄を選別し、資源としてリサイクルできる状態にします。こうして全ての部品が除去され、ピュアな鉄として再利用可能な車体は、400トン油圧プレス機で3方向から圧力をかけ、500×700×400～1000ミリの大きさに成形されます。このような流れで回収された鉄は、製鉄所との連携により、一貫したリサイクルシステムが構築されています。

プレス　400トン三方締め油圧プレス機で、鉄スクラップをサイコロ状プレスに仕上げます。

製鋼工場
（転炉）

出荷　君津製鉄所と取り決めている識別表示などを行って保管し、定期的に製鋼工場へ出荷します。

「出荷した鉄スクラップは君津製鉄所の転炉で溶かされ、鉄鋼製品としてよみがえって自動車やビルなどに使われ、いつの日か再び鉄スクラップとして回収されるというライフサイクルが繰り返されています。自動車はハイブリッド車や電気自動車、さらには燃料電池車がつくられるようになり、車社会の構造自体が大きく変化しています。例えば、複合素材の適正処理に加え、リサイクルの新たな技術開発とシステム構築が求められます。関係事業者などと連携して、これからも循環型社会の課題解決に向けて責任を全うしていきます」（清水社長）

東日本資源リサイクル（株）

2004年4月に吉川工業（株）、日鉄物流君津（株）、日本製鉄の3社出資で設立。
千葉県富津市のリサイクル工場は3,000台／月をリサイクルする能力を持っている。

鉄はさらに高度な資源循環を実現できるポテンシャルを秘めています

東北大学大学院 環境科学研究科 教授
松八重 一代 氏

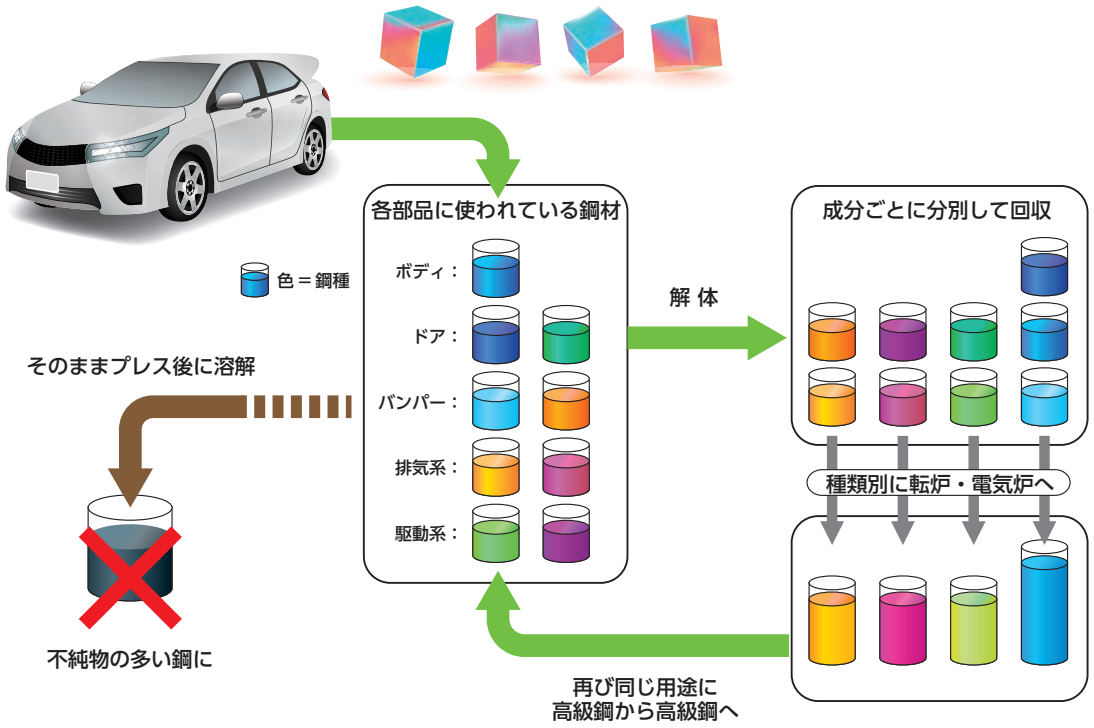
レアメタルの循環利用を考える

鉄スクラップは昔から当たり前のようにリサイクルされてきました。製鉄所で溶かされ、何度でも繰り返し新たな鉄鋼製品に生まれ変わる、資源循環のフロー(flow：流れ)ができています。鉄は循環性に優れた素材の代表格なのです。日本の鉄鋼業は現在、年間約1億トンの製品を生産しています。マス(mass：量)が大きいからこそ、鉄鋼業が鉄スクラップの受け皿になっているといえます。資源循環は静脈側だけでは産業として成り立ちません。動脈側の活動が停滞すると、発生した再資源化原料の受け入れが少なくなり、資源循環のフローは回らなくなってしまいます。鉄のマスフローは資源循環にとって重要であると考えています。

鉄はさらに高度な資源循環を実現できるポテンシャルを秘めています。強度や加工性、耐熱性、耐食性など、それぞれの部位に求められる特性を付与するため、鉄鋼材料にはニッケルやクロム、マンガンなどのレアメタルが使われています。近年、資源価格が上昇するなか、使用済み自動車は廃棄物というより循環資源の塊と捉えるようになってきており、レアメタルをどのように管理するかという視点が加わってきました。スクラップヤードメタラジー(Metallurgy：冶金学)を理解することが必要な時代がやってきます。使用済み自動車は、自動車リサイクル法によって再資源化と適正処理が義務付けられており、鉄鋼材料そのものは確かに循環利用されていますが、今後さらに合金元素を使っている鋼種をうまく活用することがポイントになると思います(**左上図**)。

また、製鉄所では、リン資源を回収し、持続可能な管理を促す高度な資源循環を実現できるポテンシャルを秘めています。リンは動植物に必須の栄養元素であり、農業用肥料として欠かせないものです。日本はリン鉱石の全量を海外依存していますが、世界的な需要の高まりや輸出国の外交政策などにより、安定確保が困難になる事態も起こり得ます。鉄づくりの過程で副産物として発生する鉄鋼スラグには、リンが多く含まれています。リンは鉄鋼製品の製造において大敵であり、技術力の高い日本の鉄鋼業では、独自の溶銑予備処理技術を駆使して脱リンを行っています。社会においてリン濃化が起こるプロセスは下水処理プロセスと、製鋼プロセスのみです。スラグ生産を介して数少ないリン濃化プロセスを有する鉄鋼業の役割は重要であり、大量に鉄鋼生産を行う日本では、マスも確保できることからリン再資源化のポテンシャルを持っていると言えます。

鉄鋼材料に使われるレアメタルの高度循環を促す視点



自動車に使われている鉄鋼材料のさらなる高度な物質循環を促すためには、LCAの観点で循環させる必要性を確認した上で、一企業や一業種だけでなく、車のライフサイクル全体にかかわるステークホルダーの連携強化が必要不可欠となる。

見える化することの重要性

レアメタルの回収やリンの再資源化を促すためにも、原料採取から製造、流通、消費、廃棄、リサイクルに至るライフサイクル全体で発生する環境社会影響を定量評価するLCA(Life Cycle Assessment：ライフサイクル評価)で見える化することが重要になります。社会科学と工学技術をつなぎ、技術導入にかかわる環境・社会への影響を可視化することは、私たち大学側の使命だと考えています。

近年、プラスチックごみの海洋流出による海洋汚染が国際的に深刻な課題となってきています。こうしたなか東北大学は2019年4月、全国の大学に先駆けて、国が進める「プラスチック・スマート」の推進を宣言しました。その取り組みの1つとして、「東北大学プラスチック・スマート戦略のための超域学際研究拠点」が10月に立ち上げられ、私は拠点長を務めています。Smart U-S-R-A（利用・代替・回収・アクション）をつなぎ、東北大学の知を融合して社会が抱えるプラスチック問題の解決に向けて貢献しようというものです。

プラスチックごみをどのように処理すべきか。日本ではプラスチック製品の原料に再生するマテリアルリサイクル、燃料として再利用するサーマルリサイクル、そして化学原料に再生するケミカルリサイクルが行われています。リサイクル手法はプラントを持っているか、持っていないかで大きく変わります。製鉄所ではコークス炉などのプラントを利用して、廃プラスチックをケミカルリサイクルしています。国内の製鉄所にプラントがあるため、鉄だけでなく化学原料や電力を供給でき、ごみを減らす機能も持ち得るのです。

世界全体ではなく、日本のCO_2排出量の削減だけを考えたとき、海外に製鉄所を立地させればいいではないかという短絡的な議論に陥ることがあります。しかし国内に素材産業がある意味とは何だろうかと考える必要があります。海外立地によって失う価値とは何か。失って気づくのでは遅い。そこを見える化しなければ、価値に気づけません。資源循環という視点からも、日本の鉄鋼業が製鉄プラントを持っている価値は大きいと評価できます。今後のさらなる技術革新に期待を寄せています。

（談）

ごみ拾い活動を通じて人と人をつなげたい

特定非営利活動法人グリーンバード 代表　**福田 圭祐氏**

日本製鉄 コラボそうじ

この日は日本製鉄のコーポレートカラーである水色のビブスを着用し、80人を超える参加者が渋谷の街をきれいにした。

グリーンバードとは、「きれいな街は、人の心もきれいにする。」をコンセプトに、2002年に東京の原宿・表参道に誕生したNPO法人です。活動内容は、皆お揃いの緑のビブスを着用した街のごみ拾い。ボランティア参加の事前登録や清掃用具の持参は不要で、いつでも誰もが自由に参加できることが特徴です。

一度ごみを拾った人は、街にごみが散乱していることを実感し、グリーンバードの合言葉でもある「ポイ捨てカッコ悪いぜ！」という思いが多くの方の共感を呼び、仲間も増え、今では子どもから大人まで幅広い世代が参加してくれています。現在の年間参加者数は3万3000人。国内外90チームを拠点に活動する、一大プロジェクトに成長しました。例えば姫路チームでは、カヌーやカヤックでどんぶらこしながら川や海のごみを拾ったり、姫路城マラソンで走りながらごみ拾いランをするなど、普段とは目線を変えた工夫で、活動の様子を街の人にアピールしています。

さらに一歩踏み込んで、今までごみ拾いにかかわらなかった人や興味のない人を巻き込むためには、その人たちが好きな分野や時代のトレンドに合った話題と連動させることが必要だと考えています。そこでラグビーワールドカップ2019日本大会では、「ごみ袋でトライ！プロジェクト」を展開しました。ごみを入れて袋の上下を結ぶとラグビーボールになるごみ袋をつくり、スタジアム来場者に配布しました。そしてスタジアム周辺に設けたミニトライゾーンというごみ置き場に、ごみでラグビーボールの形になったごみ袋をトライすることを呼びかけました。ごみ拾いに楽しさを加えることで、子どもも大人も拾い集めたごみ袋を手にうれしそうにトライしてくれました。「ごみ袋を記念に持って帰りたいのでごみは出しません」

ごみ袋でトライ！プロジェクト

ごみのないスタジアムづくりの実現を目指し、2019年ラグビーワールドカップ日本大会の全48試合で実施した。

川下りカヌーでごみ拾い

（グリーンバード姫路チーム）

カヌーに乗りながらトングで川に漂流するごみを拾い集めた。

「人生初のトライとなりました！」など、たくさんの方々から声をかけていただき、ごみのないスタジアムづくりの実現に確かな手応えを感じました。

また企業とのコラボごみ拾いにも力を入れています。今年は日本製鉄とも原宿・表参道、渋谷と名古屋で3回実施しました。ごみ拾い後の懇親会では、ボランティア参加者たちが知っているようで知らない拾い集めたごみの行方やリサイクル性に優れる鉄についての知識を深めるクイズなどで、有意義なひとときを過ごすことができました。近々、北九州でも実施予定です。

ごみ拾いで大切なことは、「やらされている」のではなく、主体的に「やってみたい」という気持ちで参加してもらうことです。私たちは常に地域を支えるコミュニティーリーダーでありたいと思っています。希薄になりつつある人と人とのつながりを深めてもらい、参加者それぞれの可能性を広げてもらえるとうれしいですね。2020年5月30日のごみゼロの日に20万人のボランティア参加を目指すイベントを企画中です。ぜひご参加をお待ちしています。（談）

福田 圭祐氏

なぜリサイクル？もっとリサイクル！

改めてリサイクルをする意義について
考えてみましょう。

Q1 リサイクルする必要ってあるの？

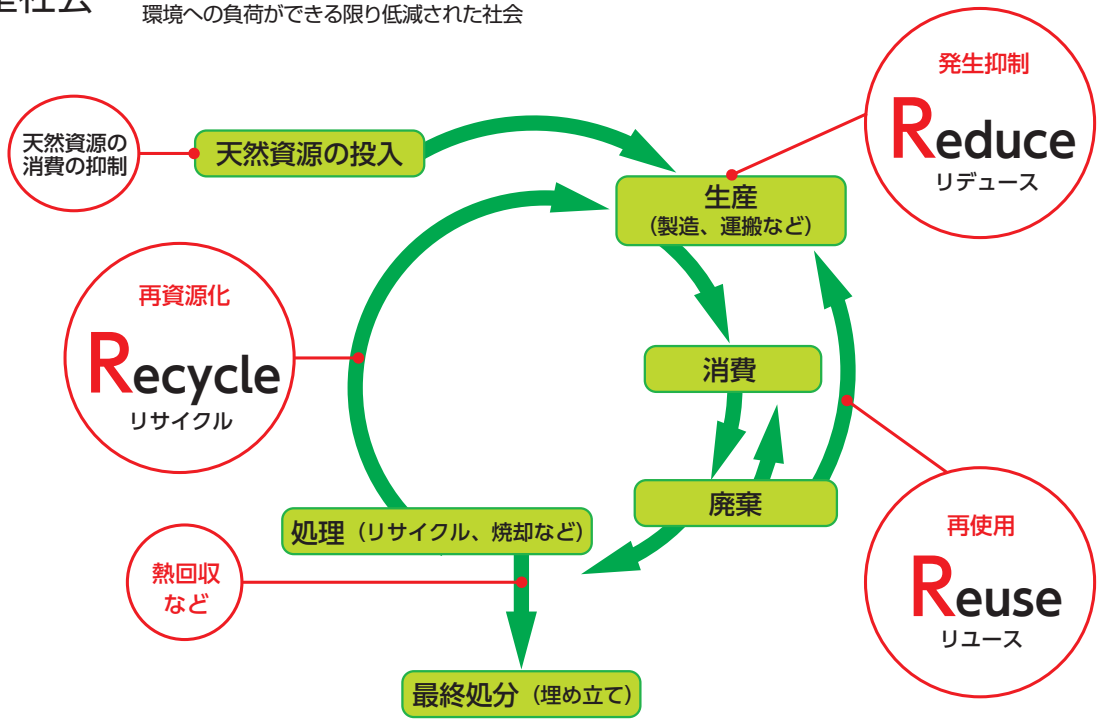
A1 資源を有効に使い、ごみの発生を抑えて、環境への負荷を少なくするために必要なのです。

皆さんの家庭から排出されるごみ（一般廃棄物）の総排出量は、年間4,289万トンにのぼり、東京ドーム約115杯分に相当します。1人1日当たり920グラムのごみを排出しています（環境省調べ）。さらに産業廃棄物も大量に排出されており、最終処理場が足りなくなる恐れがあります。一方、豊かな暮らしを支えている資源の枯渇も将来的に懸念されています。

私たちが排出しているごみは、もともと資源からつくられています。使用済みの製品をごみとして捨ててしまうのではなく、再び原材料として有効に使えば、新たな資源の採取やごみの発生を抑えることができます。環境への負荷をできる限り低減した「循環型社会」を築くため、リサイクル（Recycle：再資源化）すること、さらに進んでリデュース（Reduce：発生抑制）すること、リユース（Reuse：再使用）することの3Rを推進することが大切になります。

循環型社会

適正な3Rを推進し、天然資源の消費を抑制し、
環境への負荷ができる限り低減された社会



Q2 分別した資源物はどのようにリサイクルされているの？

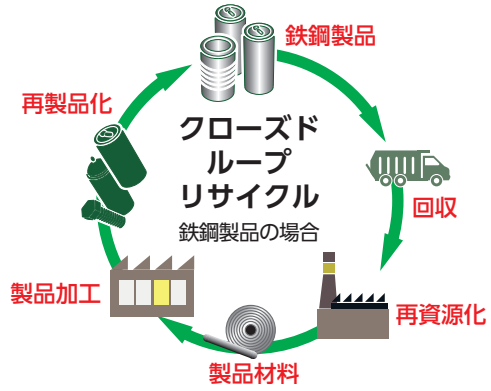
A2 再資源化される状態で大きく分けてマテリアルリサイクル、ケミカルリサイクル、サーマルリサイクルの３つの方法で資源循環が行われています。さらに再資源化される性質のちがいにより、クローズドループリサイクル、カスケードリサイクルがあります。

マテリアルリサイクル

素材としての再利用で、単一素材化が基本的な条件となります。分別や異物除去の徹底が必須で、再資源化や再商品化を促進するため、種類の判別を容易にするリサイクルマークが製品や容器などに表示されています。

なかでも、鉄は磁石にくっつくため分別が簡単で、材料の持つ本来の性質を保ったまま同じ製品の材料として無限にリサイクルできます。このことを「クローズドループリサイクル」といいます。

一方、性質の劣化や変化を伴うため、同じ製品にリサイクルされない場合は、「カスケードリサイクル」と呼ばれています。カスケードとは階段状に落下する滝という意味です。有限のリサイクルで、最終的には廃棄されます。



ケミカルリサイクル

使用済みの資源をそのままではなく、化学反応により組成変換したあとに再生利用を図ることをいいます。代表例の１つに、製鉄所で行われている廃プラスチックのコークス炉化学原料化があります

サーマルリサイクル

ごみを焼却したときに発生する熱によって、蒸気を回収したり、発電することをいいます。焼却は通常廃棄物の容積を減らす目的で行われますが、その際の熱を回収すれば、リサイクルになります。ただし、燃え残った燃焼灰などの廃棄物処分が必要となります。

サーマルリサイクル

Q3 自分ひとりだけ頑張っても社会は変わらないんじゃない？

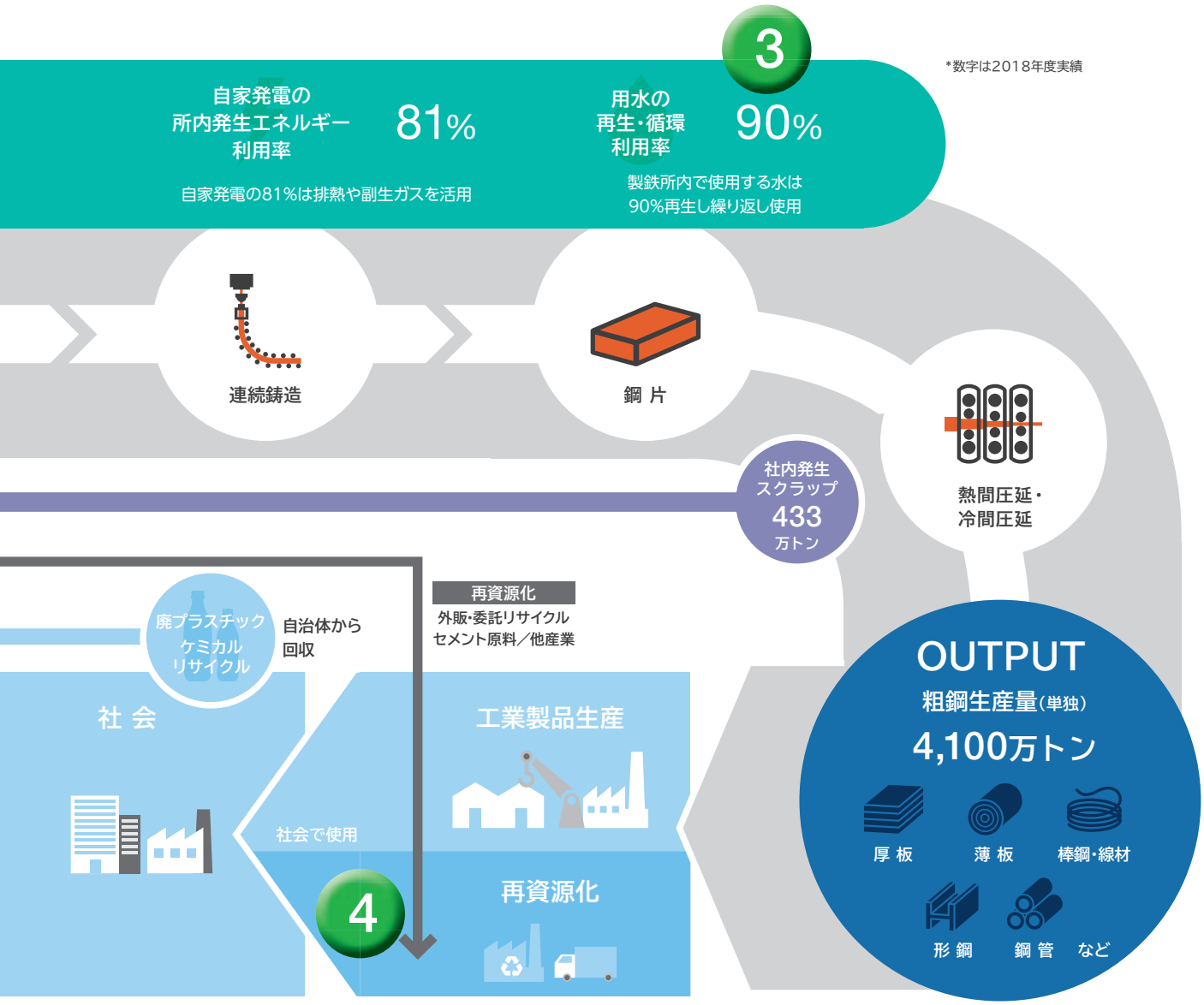
A3 一人ひとりの活動が家族や友人、企業、社会にまで影響を与えることもあります。ポイ捨てをしない、清掃ボランティアに参加する、しっかり分別して回収するなど、身近なところから行動していきましょう。

家庭で不要になったものを分別して排出することで、それは資源となり新たな製品に生まれ変わります。製品づくりに再生資源が使用されることで、資源の無駄遣いが防げます。街や川、海などを汚すポイ捨てや放置は環境破壊につながるのみならず資源リサイクルの面も含めて二重に問題があります。「分ければ資源、混ぜればごみ」という認識を持って、循環型社会をつくっていきましょう。

製鉄所員による清掃ボランティア活動

Eco-Process
製鉄所の資源循環テクノロジー
日本製鉄のものづくり

日本製鉄は製鉄プロセスやインフラを最大限に活用して、リサイクルとゼロエミッション化を推進しています。製鉄所内で発生するスクラップや副産物などを循環利用するだけではなく、社会や他産業で発生するごみの再資源化にも取り組み、持続可能な循環型社会の構築やSDGs(持続可能な開発目標)の実現に向けて貢献しています。



1 鉄スクラップのリサイクル ····· P16-17

海外で採掘された鉄鉱石や鉄鉱石を還元するためのコークスの原料になる石炭、そして社会から発生したスクラップを主な原料として、鉄鋼製品を生産しています。

2 副生ガスの回収利用 ····· P18

高炉、コークス炉や転炉から発生する副生ガスを、鋼材加熱用の燃料ガスや製鉄所構内にある発電所のエネルギー源として、100%有効に活用しています。

3 水のリユース ····· P19

製品や製造設備の洗浄や冷却に使用する水は、90%を再生し繰り返し利用しています。

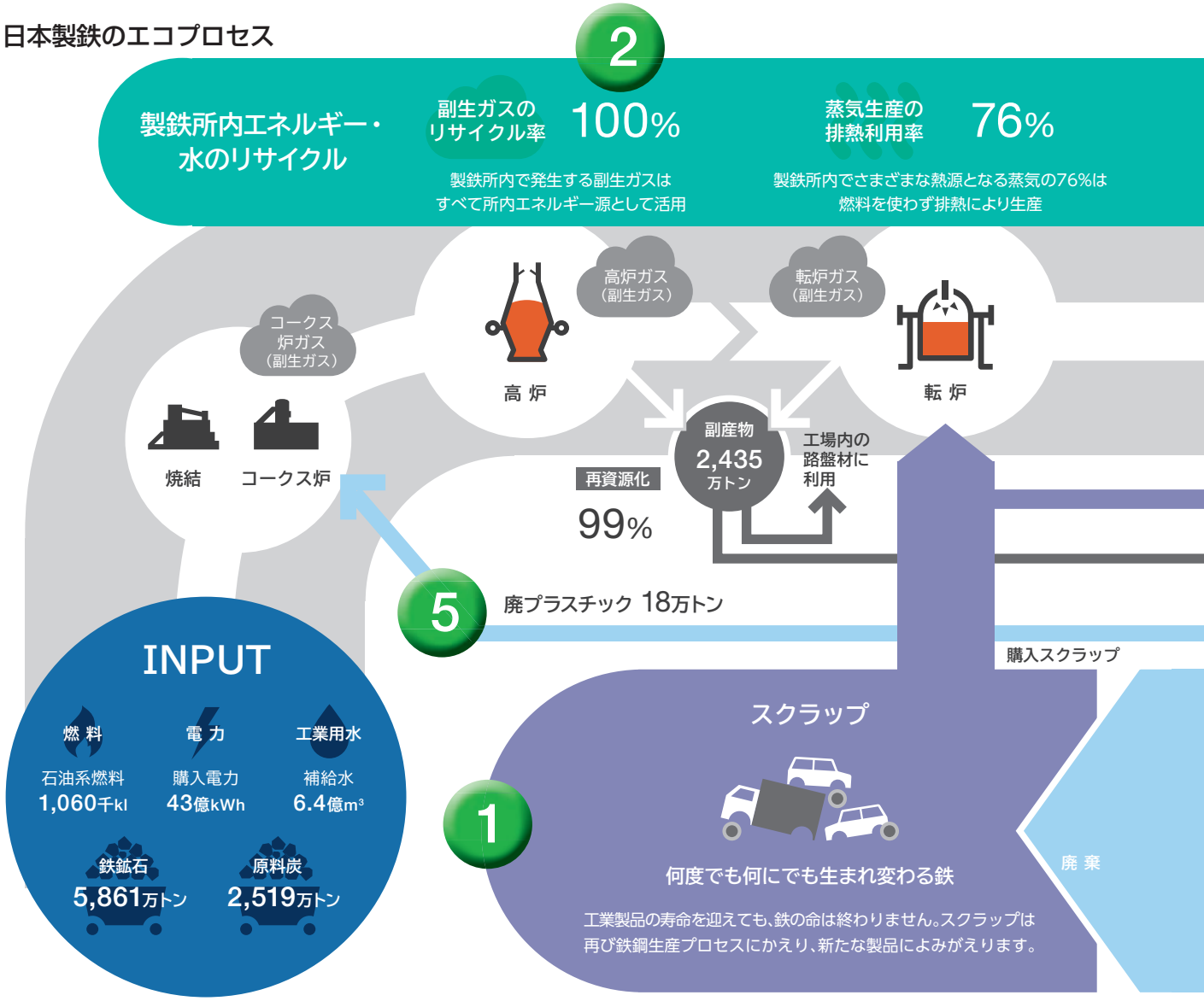
4 副産物のリサイクル ····· P20-21

鉄1トンを生産すると約600キロの副産物が発生します。ダストは製鉄所内で原料として再利用するとともに、鉄鋼スラグは環境・建設資材などとして社会や他産業で有効に活用されています。

5 廃プラスチックのリサイクル ····· P22-23

高炉の還元剤となるコークス(石炭を蒸し焼きにしたもの)を製造するコークス炉に、主に家庭から回収され事前処理した容器包装廃プラスチックを投入することで熱分解して、100%リサイクルしています。

日本製鉄のエコプロセス



1

鉄スクラップ

クローズドループリサイクル

さまざまな製品に姿を変えながら
社会に蓄積されています。

鉄スクラップを転炉に装入

鉄スクラップを溶融する転炉

製鉄所の鉄スクラップヤード

鉄鋼蓄積とともに増える鉄スクラップ

鉄はビルや橋などの建築物、自動車、鉄道、道路、家電製品、飲料缶など、インフラや耐久消費財を構成する主な素材として、私たちの豊かな暮らしや社会を支えています。それら鉄鋼材料が製品としての寿命を終えたあと、そのほとんどが鉄スクラップとして回収され、製鉄所で新たな鉄鋼材料として生まれ変わっています。鉄は再生時に不純物をほとんど取り除けるため、品質が低下することなく、新たな鉄原料として無限のリサイクル(クローズドループリサイクル)が可能です。これは他の素材にない優れた特性です。このため一度、天然資源から生み出された鉄鋼材料は、さまざまな製品に姿を変えながら社会で使用・蓄積されています(**図**)。

日本の1人当たりの鉄鋼蓄積は、1958年には1トンに過ぎませんでしたが、2015年では10・7トンに達しています。鉄鋼蓄積の増加とともに鉄スクラップの発生も増加してきました。一方、世界の1人当たりの鉄鋼蓄積は現在4トンですが、発展途上国で今後SDGs(持続可能な開発目標)の達成に向け、経済成長とともに貧困や格差が解消し、先進国並みの豊かな暮らしを実現するためには、世界の1人当たりの鉄鋼蓄積は10トンまで増えていくことになります。世界の鉄鋼蓄積を満たすため、鋼材需要はこれからも増えていきます。ただし、鉄スクラップの発生が増加しても、それだけでは需要はまかなえず天然資源も引き続き必要となります。

粘り強い鋼を生み出す転炉に入れて溶かす

それでは鉄スクラップが製鉄所でどのようにリサイクルされているのかを見てみましょう。鉄スクラップはスクラップヤードから製鋼(転炉)工場に運ばれ、ずんぐりとしたつぼ型の転炉に入れられます。そして転炉に溶けた銑鉄(溶銑)を注ぎ込みます。銑鉄は鉄鉱石(酸化鉄)とコークス(石炭を蒸し焼きにしたもの)を高炉で化学反応させ、鉄鉱石から酸素を除去(還元)して取り出した鉄分です。炭素分を多く含んでいる銑鉄は硬くてもろいため、転炉で炭素を徹底的に減らし、粘り強い鋼を生み出しています。

「圧力を上げた酸素を高速で吹き込むと、炭素などと急速に反応して高熱が発生します。もし溶銑だけで操業すると、転炉内の温度は約1800~1900℃にも達し、高過ぎて

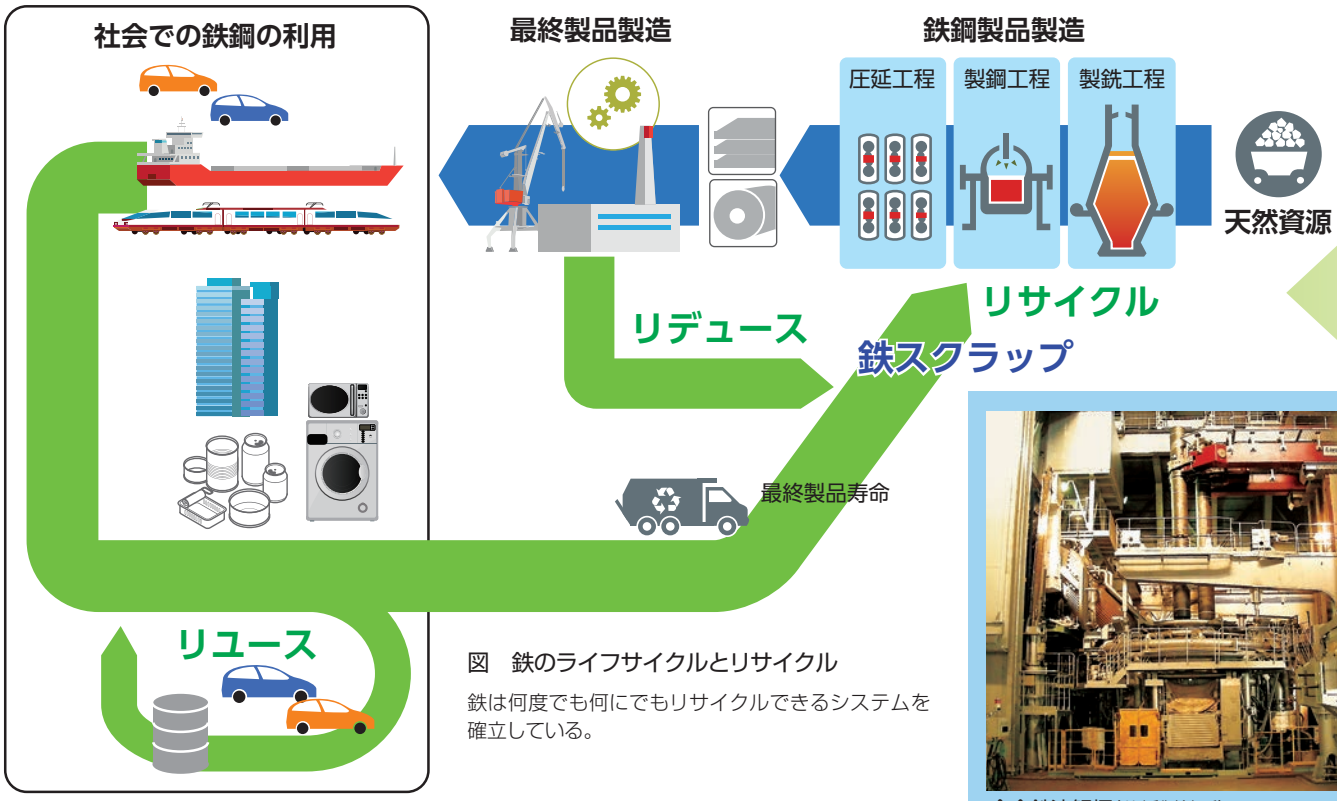
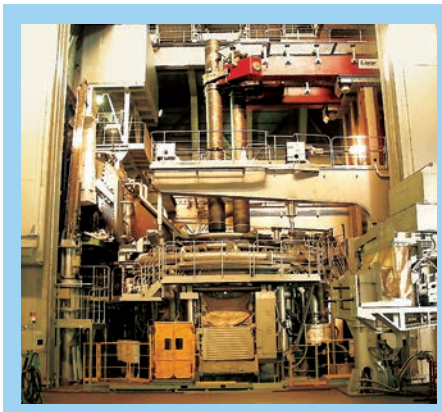


図　鉄のライフサイクルとリサイクル

鉄は何度でも何にでもリサイクルできるシステムを確立している。



合金鉄溶解炉(八幡製鉄所)
クロム含有スクラップのリサイクルを可能にした。

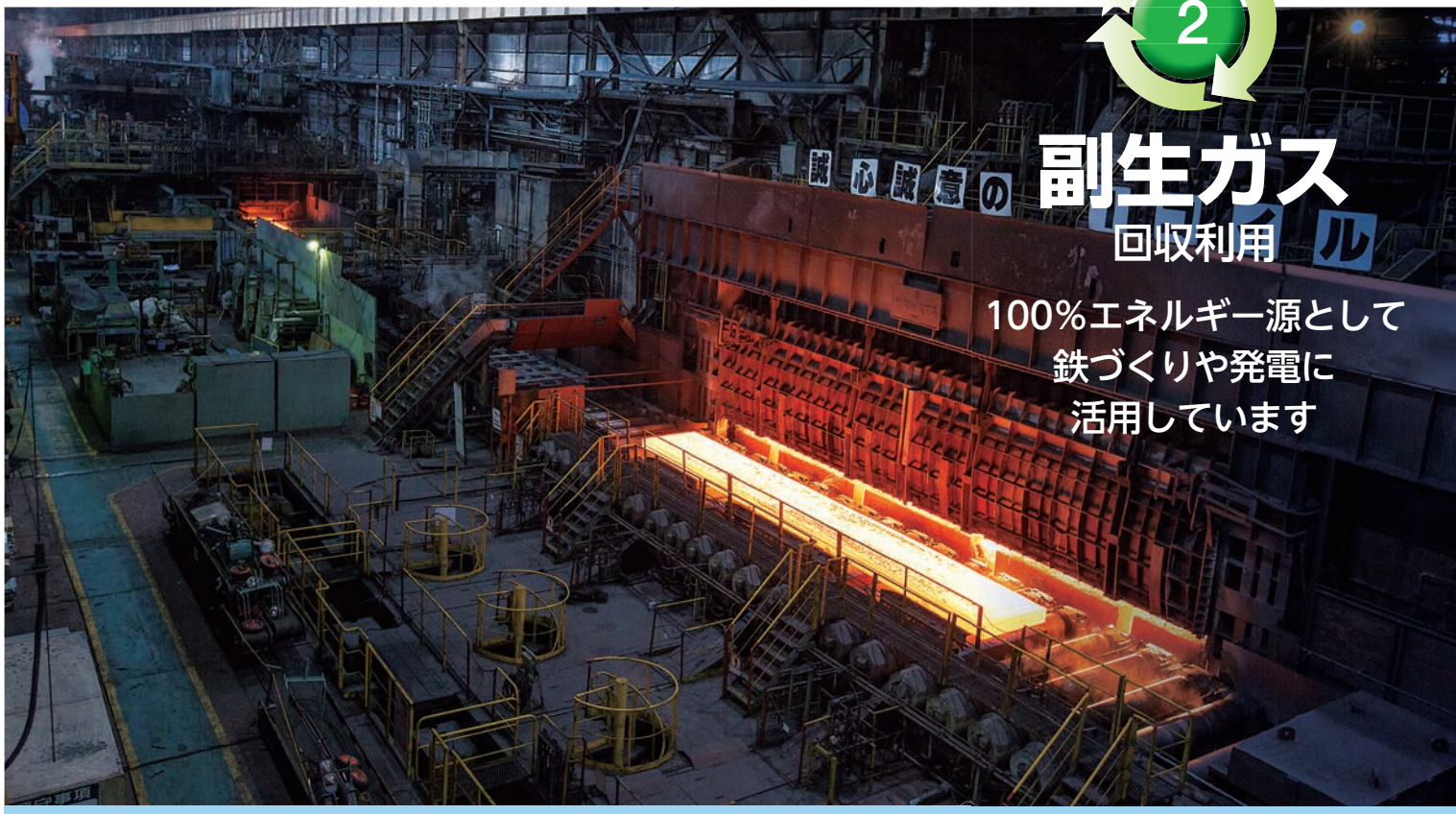
正常に操業できません。そのため、この熱を利用して鉄スクラップを溶融させています。転炉は新たなエネルギーを必要とせずに鉄スクラップを再利用できる省エネルギー性能に優れた装置といえます。転炉が1回の工程で精錬する鋼は約300トンで、そのうち鉄スクラップは約10~15%を占めています。このとき課題となるのが、鉄スクラップ中に含まれるトランプエレメントと呼ばれる不純物です。鉄はアルミなどの他素材に比べると、トランプエレメントとなる元素は少ないものの、例えば自動車の各部品を起動させる導線などに使われている銅は、数少ないトランプエレメントの一つです。トランプエレメントが鋼中に濃化すると、割れや疵の原因となり、鋼材の品質特性に影響を及ぼします。そこで、スクラップの分別・導線の除去などによって混入を防いだり、トランプエレメント無害化技術の開発を促進して、引き続き鉄スクラップのリサイクル拡大に取り組んでいきたいと考えています」(製鋼技術部・曽根英彰主幹)

こうしたなか、日本製鉄はさらなる技術革新によって、製鉄所内で発生する高クロム含有鉄源(ステンレス鋼の鉄スクラップ、高クロムダストなど)の完全リサイクルを可能にしました。10・5%以上のクロムを含ませた鋼はステンレス鋼と呼ばれ、耐食性に優れた特性を持っています。八幡製鉄所におけるクロム系ステンレス鋼の製造には転炉プロセスが採用されていますが、溶銑に対して酸素を用いた脱炭を行い、その反応熱によるフェロクロム合金の溶解を同時に行っていました。ただし、大量のクロムが酸化してしまうことから、転炉内へ高価なフェロシリコン合金を投入して還元していました。しかしながら、この方法ではコストがかさむうえ、還元効率も悪く、酸化クロムを多く含むスラグを排出せざるを得ず、特別な処理が必要となっていました。また、転炉の熱源も不足するため、製鉄所内で発生する高クロム含有鉄源の利用には限界がありました。

そこで、日本製鉄では、合金鉄溶解炉による資源循環システムを開発しました。このプロセスでは、転炉においては還元処理を実施せず、酸化クロムを非常に多く含むスラグをそのまま合金鉄溶解炉に移し替えて、フェロクロム合金を溶解しながら還元します。導入した八幡製鉄所では、クロムの酸化ロスとスラグ発生量を削減し、環境負荷低減と生産性向上を実現しています。2018年に第64回大河内賞で最高賞の大河内記念生産特賞、19年に文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞し、功績と成果が高く評価されました。

日本製鉄は絶え間ない技術革新で、これからも鉄スクラップの利用拡大を推進していきます。

日本製鉄(株)
製鋼技術部　製鋼技術室
曽根 英彰 主幹



2

副生ガス 回収利用

100%エネルギー源として鉄づくりや発電に活用しています

加熱炉　副生ガスを活用してエネルギー効率を高めている。

無駄なく使い尽くし省エネ化を図る

鉄スクラップは製鋼工場の転炉で、高炉でつくられた銑鉄とともに溶かされ、不純物を取り除き、粘り強い鋼となります。溶けた鋼は鋳型に注ぎ込まれ、連続鋳造機で冷やしながら長さ約10メートル、厚さ約240ミリの鋼片（スラブ）に固められます。スラブは熱延工場に運ばれ、圧延機で厚さ1・2～25・4ミリの板の帯に薄く長く押し延ばすため、加熱炉で約1200℃に再加熱されます。加熱炉の燃料には重油や天然ガスが使われていますが、日本製鉄では1970年代から省エネルギーに取り組み、高炉やコークス炉、転炉から発生する副生ガスを100%再利用し、エネルギー効率を高めています。

「副生ガスには窒素のほか、一酸化炭素や水素、メタンなど発熱量の高い成分が含まれており、加熱炉へのリジェネバーナー導入などにより、燃焼時のエネルギー効率の向上を高めています。また製鉄所構内にある発電所のエネルギー源としても活用しています。室蘭、釜石、鹿島、君津、名古屋、和歌山、広畑、八幡、大分の各製鉄所には自家発電設備や電力会社との共同火力発電所を持っています。これらの発電設備は製鉄所内で使う電力をまかなうだけでなく、電力会社を通して地域への供給も行っています。総発電量は年間約400億キロワットアワーで全国の電力消費量の4%に相当します。足元では副生ガスを効率良く電気に変えるための発電設備の導入や発電設備大型化などを進めています。未来に向けては、副生ガスのさらなる有効利用などを通じ、低炭素化に挑戦していきます。高炉による水素還元技術の確立までを見据えていくと、副生ガスの有効利用の可能性はさらに拡がっていくと考えています。副生ガスの回収利用は限りない可能性を秘めています」（エネルギー技術部・中司宏主幹）

日本製鉄(株)
エネルギー技術部　エネルギー技術室
中司 宏 主幹

ガスホルダー
副生ガスを燃料として再利用するために貯蔵する。

発電所
副生ガスだけでなく、バイオマスも燃料に活用。鹿島製鉄所では梱包用木材パレットをチップ化した廃木材やコーヒーかす、釜石製鉄所では間伐材など林地残材を使用し、CO_2削減と森林保全に貢献している。

3

工業用水
リユース

約90%再生して
繰り返し利用しています

熱延工程　冷却時に水が使われ、水蒸気が立ち上っている。

水処理設備
回収された水は薬品を投入して不純物を沈殿させ、浄化している。

1トンの鉄をつくるために約200トンの水が必要

加熱炉で約1200℃に熱せられた板状のスラブは、すべての圧延機を通過すると厚さ1・2～25・4ミリに薄く延ばされ、終点で巨大なトイレットペーパーのようなコイル状に巻き取られます。加熱炉装入から巻き取り完了までの熱延ラインは、コンピュータで制御され、高精度な品質管理をダイナミックに、かつスピーディーに行っています。このとき鋼材の表面疵の原因となる酸化皮膜を洗い落としたり、冷却するために大量の水が使われています。

「通常1トンの鉄をつくるために約200トンの水が必要とされ、毎日数百万トンの水を使う製鉄所もあります。一部は海水を使用していますが、その多くは工業用水(淡水)です。使える水の量は限られていますので、水の回収システムを構築することで、極力新しい水の使用を削減してきました。リサイクル率は全社平均で約90%を達成しており、徹底的に循環利用してきた成果だと思います。残りの10%には蒸発して失われたりする分もあるため、ほとんどをリユースしているといえます」(エネルギー技術部・高橋直哉上席主幹)

こうした製鉄所のエコプロセスを経て、鉄スクラップはいろいろな鋼材に生まれ変わっています。さまざまな用途や製品に使われ、鉄鋼材料の軽量化や長寿命化によって、CO_2削減など環境負荷の低減に貢献しています。製鉄所の資源循環テクノロジーは、低炭素社会の構築に不可欠なものとなっています。

冷却塔
冷却で発生した温水は再冷却して利用する。

日本製鉄(株)
エネルギー技術部　エネルギー技術室
兼　土木建築技術部　水道技術室
高橋 直哉 上席主幹

ジオタイザー®

建設残土や農地土などの泥土に混合して利用可能な土に改良。ポルトランドセメントや石灰を用いた改良に比べて粉じんが少なく、改良材製造時のCO_2排出量を大幅に抑制可能、安価なため工事費を縮減できる。

4

鉄鋼スラグ
マテリアルリサイクル

環境・建設資材として
さまざまな用途で
活躍しています

道路用路盤材

高炉スラグおよび製鋼スラグを破砕・整粒し舗装用素材として製造したもので、単体または混合して路盤材として使用されており、日本製鉄では年間約400万トンが利用されている。鉄鋼スラグ路盤材は施工性や耐久性に優れるとともに、天然骨材枯渇への対応という社会的ニーズが高まるなか、天然の砕石、砂利、砂の代替による自然環境の保全や、採掘時の使用エネルギーとCO_2排出量の削減に貢献する環境資材として高く評価されている。

高炉セメント（茨城県・小山ダム）

日本では、およそ100年前から使われており、石灰石を焼成して製造される普通ポルトランドセメントに、焼成の不要な水砕スラグを粉砕した高炉スラグ微粉末(エスメント)を混合させるため、石灰石や焼成エネルギーを約40%節約することができ、省資源と自然環境の保全につながるとともに、高炉セメント1トン当たり約330キログラムのCO_2排出量を削減できることから、地球温暖化防止の対策としても期待されている。日本製鉄では年間約1,300万トンの高炉スラグが生成されるが、そのうち国内・輸出合わせて約900万トンは高炉セメントに利用されており、従来から護岸やダムなどの海洋・河川構造物、道路・鉄道構造物、地盤改良など土木工事の多くに使われ、最近では建築分野の使用実績が増えている。

副産物からつくる地球にやさしい工業製品

製鉄所で鉄1トンをつくるために、鉄鋼スラグやダストなどの副産物が約600キロ発生します。日本製鉄では2017年度2329万トンの副産物が発生しましたが、リサイクル率99%という高い水準を維持し、最終処分量を国の目標数値を下回る約23万トンに抑え、ゼロエミッション化を推進しています。

こうしたなか長年取り組んできたのが、鉄鋼スラグのリサイクルです。鉄鋼スラグには高炉スラグと製鋼スラグがあります。高炉スラグは、高炉で溶けた銑鉄をつくる際に、鉄鉱石に含まれるシリカなどの鉄以外の成分や還元材として使われるコークス中の灰分が、副原料の石灰石と結合して、分離・回収されたものです。銑鉄1トン当たり約300キロ生成されます。一方、製鋼スラグは、高炉で生まれた銑鉄を粘り強い鋼にする転炉で、1トン当たり約100~150キロ生成されます。石灰などの副原料を加えて酸素を吹き込み、銑鉄に含まれる炭素やリンなどを取り除き、鋼に精錬するときに生まれた酸化物が製鋼スラグとなります。

「鉄鋼スラグは昔から製鉄所建設のためのセメントの原料や埋立用資材にも使われてきました。リサイクル材活用による天然資源の節約など、環境負荷低減が社会的なテーマになり始めた1970年代以降は、さらなる利

ビバリー®ユニット（北海道増毛町の海岸に埋設）

海藻類の生育に必要な鉄分を供給し、磯焼けした海の藻場再生とCO_2固定化の技術開発に貢献。ビバリー®シリーズは2019年第2回エコプロアワードで優秀賞を受賞した。

カタマ®SP（福岡県北九州市のメガソーラー防草対策）

適量の散水と重機の転圧を行うだけで舗装表面から固化が進行。林道・農道などの簡易舗装、メガソーラーの敷地の防草舗装用として効果を発揮している。

日本製鉄(株)
スラグ・セメント事業推進部 市場開拓室
菅原 敬介 室長

ダスト
クローズドループリサイクル

鉄や亜鉛を回収して
100%再資源化しています

君津製鉄所 RHF（回転炉床式還元炉）

還元鉄ペレット

用技術の開発やＪＩＳ（日本工業規格）などの制定に鉄鋼業全体で取り組んできました。鉄鋼スラグは天然鉱物由来の石灰を主成分とし、化学成分や冷却プロセスの違いなどにより、スラグ特有の幅広い性質を持っています。こうした特性を活かし、日本製鉄が開発した鉄鋼スラグ製品は、さまざまな用途に応じて製造・品質管理を行い、環境基準をクリアした工業製品として、ＪＩＳ相当品やグリーン調達の特定調達品目に認定されています」（スラグ・セメント事業推進部・菅原敬介室長）

日本各地の道路・港湾・空港などのインフラを支えるセメント原料や道路の路盤材などの建設資材、海や土壌などの環境修復・改善につながる環境資材として、鉄鋼スラグは大きな役割を果たしています。

カルシア改質土

青潮の原因となる海底の深掘りの埋戻し材や浅場・干潟の造成材、また埋立て材などの港湾土木工事用資材として利用でき、浚渫土活用の観点から、海域環境改善や港湾機能の維持・発展などに利用されている。

肥料

農地の土壌を改善するカルシウムや農産物の生育を助けるけい酸・りん酸・鉄分・微量元素など、さまざまな栄養分が含まれ、土づくり肥料として農作物の品質向上、生産性拡大に貢献している。

ゼロエミッションの実現と競争力の強化

製鉄プロセスでは副産物としてダストが鉄分換算で約5%発生します。ダストとは高炉や転炉の排ガスに含まれる微粉末で、酸化鉄や炭素などが含まれています。日本製鉄の各製鉄所では、集塵機で吸引・収集したダストの再資源化によって、鉄鉱石やコークスの使用量を長年削減してきました。しかし亜鉛など揮発性の高い不純物が多く含まれているダストの場合は、直接リサイクルすることができませんでした。

「このようなダストは、以前はセメント原料として外販するか産業廃棄物として処理していました。そこでドーナツ型の回転炉床式還元炉（RHF）で高温還元して、製鉄ダストから還元鉄を製造するとともに、亜鉛を分離回収する処理技術を世界で初めて開発し、2009年度には、大河内記念生産賞を受賞しました。現在は君津、広畑、大分（光地区）の各製鉄所で稼働しており、社内で発生するダストを100%リサイクルできる体制を構築しています。ゼロエミッションの実現とともに、鉄鉱石や亜鉛鉱石、還元用の炭素（石炭、コークス）などの省資源、省エネルギーによるCO_2排出抑制に大きく寄与しています。君津では100カ所に集塵機を設置して隅々までダストを収集しており、鉄の所内リサイクルと回収した亜鉛の販売で、製鉄所の競争力強化にもつなげていきたいと考えています」（君津製鉄所資源化推進部・冨野伸一郎室長）

日本製鉄（株）君津製鉄所
資源化推進部　ダストリサイクル室
冨野 伸一郎 室長

5

廃プラスチック
ケミカルリサイクル

**地域社会や他産業と連携し
全国回収量の約3割を
リサイクルしています**

君津製鉄所のプラスチックリサイクル設備

搬入された廃プラスチック

素材の役割と機能を評価したうえで適正なリサイクルを推進

日本製鉄は一般家庭から回収された容器包装プラスチックを、既存生産設備であるコークス炉の機能を活かし、ケミカルリサイクルで100%再資源化しています。

容器包装プラスチックの品目は多種多様にあります。日本製鉄では適正なリサイクルを推進していくため、ペットボトルは含まない容器包装廃プラスチックを受け入れています。ペットボトルは単一素材で分別回収しやすいため、再生原料にしてペットボトルや作業服などをつくるマテリアルリサイクルに適しているからです。

一方、容器包装プラスチックの高機能化が進み、複合材が多くの製品に使われるようになっています。例えばラミネートフィルムは、水分や酸素を通さない層、紫外線を遮断する層、耐熱性のある層などをうまく組み合わせることで、食品などの内容物の劣化や腐敗を遅らせる機能を発揮しています。多種類のフィルム状の樹脂を密着させているため、再生原料にすることが難しく、マテリアルリサイクルには適していません。その他プラスチック製容器包装として分別収集されるポリ袋・ラップ類、カップ・パック類、トレイ類、チューブ類、フタ類もマテリアルリサイクルに向かず、ケミカルリサイクルやサーマルリサイクルを進めていくことが望ましいとされています。

日本製鉄は現在7カ所の製鉄所で廃プラスチックの受け入れ体制を確立し、容器包装リサイクル法のもと、プラスチックリサイクルに参画している全国742の市町村と組合のうち269カ所(2017年度)と提携し、全国で回収される量の約3割にあたる年間約20万トンを処理しています。また三菱商事ファッション(株)から化学繊維のユニフォーム、中央化学(株)から食品トレイを回収するなど、他産業とも連携して廃プラスチックをリサイクルしています。製鉄所別の累計処理量は、君津114万トン、名古屋57万トン、八幡53万トン、大分39万トン、室蘭37万トンで、全社累計処理量300万トンを超えました(2018年11月14日に達成)。ごみの減容(リデュース)、再資源化(リサイクル)、CO_2削減による地球温暖化防止に貢献しています。

Let's Play!

楽しく学べる ゲームコンテンツ公開中

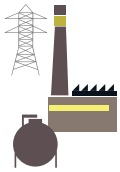
コークス炉化学原料化法をモチーフにした、リサイクル活動を楽しみながら学ぶゲームコンテンツ「**つなげて作ろう！ リサイクルの輪！パズル DE プラスチック**」を公開しています。スマートフォンやパソコンでアクセスするとプレイできます。

スコア画面　　プレイ中の画面

スマホでアクセスするとすぐにプレイできます

高炉へ投入し、鉄鉱石の還元剤として鉄づくりに使用しています。

コークス〔高炉還元剤〕20%



製鉄所内にある発電所などで発電燃料として使用しています。

コークス炉ガス〔発電燃料〕40%

熱分解

コークス炉

プラスチック樹脂などの化学原料に加工しています。

炭化水素油〔石油化学原料〕40%

生まれ変わるプラスチック

回収・リサイクル

造粒物

化学のチカラでコークス、プラスチック原料、エネルギーに生まれ変わる

廃プラスチックが製鉄所でどのようにケミカルリサイクルされているのかを紹介します。一般家庭から自治体が分別収集した廃プラスチックは圧縮・梱包され、製鉄所のプラスチックリサイクル工場に運ばれてきます。工場では廃プラスチックを破砕し、コークス炉に入れることができる品質と形状にするため、造粒物と呼ばれる小さな塊に圧縮・成形します。事前処理された造粒物は、石炭とともにコークス炉内の炭化室と呼ばれる密閉室で、無酸素状態のまま約1200℃まで加熱されます。

コークス炉とは、石炭を蒸し焼きにしてコークスをつくる設備です。コークスは炭素を主成分とした塊で、石炭よりも高い発熱量と強度を持っています。その特性を活かして、高炉内の温度を約2200℃まで高め、鉄鉱石に含まれる酸素を除去(還元)することに使われています。廃プラスチックは、このコークスの原料になることができます。

石炭と廃プラスチックの造粒物は、20時間ほど蒸し焼きされるとコークスへと姿を変えるとともに、発生する揮発成分から炭化水素油と副生ガスができます。コークスは製鉄原料、炭化水素油は日鉄ケミカル&マテリアル(株)の化学工場でプラスチック原料に再生し、副生ガスは製鉄所内の加熱炉や火力発電所などのエネルギーとして利用されています。

「なぜ既存生産設備であるコークス炉の機能を活かせたのかというと、プラスチックと石炭が同じ組成を持つ有機物だからです。プラスチックの原料には石油が使われていますが、石炭と同様に炭素と水素などが複雑に結びついた化合物であるため、廃プラスチックもコークス炉内で熱分解することによって、有害物質の残留がなく、液体の炭化水素油、気体のコークス炉ガス、固体のコークスという安定した物質となります。新たに海洋プラスチックごみや廃プラスチックの輸出が大きな問題となっています。これからも国の政策に対応して、コークス炉化学原料化法による取り組みを通じて、循環型社会の形成に貢献していきます」(君津製鉄所資源化推進部・大谷康彦室長)

日本製鉄(株) 君津製鉄所
資源化推進部　プラスチックリサイクル室
大谷 康彦 室長

東京大学 先端科学技術研究センター教授

西成 活裕 氏

◉ プロフィール　にしなり・かつひろ

1967年東京都生まれ。東京大学工学部卒業、同大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻博士課程修了。その後、ドイツのケルン大学理論物理学研究所などを経て現職に。専門は数理物理学(非線形動力学)と渋滞学。世界で初めて「渋滞学」を提唱し、2006年に出版した『渋滞学』(新潮社)で講談社科学出版賞、日経BPビズテック図書賞を受賞し注目を集める。現在は物流分野への応用まで広がる研究の傍ら、数多くの企業の業務改善についてアドバイスを行い、20年の東京オリンピック・パラリンピック組織委員会のアドバイザーも務める。その他の著書に『無駄学』(新潮社)、『とんでもなく役に立つ数学』(朝日出版社)、『シゴトの渋滞学』(新潮社)、『東大の先生！ 文系の私に超わかりやすく数学を教えてください！』(かんき出版)などがある。

利他の心、全体最適の発想がより良い社会につながる

“高速道路などの自然渋滞はなぜ起こるの？”と、皆さんも一度は疑問に思ったことがあるのではないでしょうか。数学の基礎研究から社会に役立つ実用的な「渋滞学」にたどり着き、その見識を社会のさまざまな“停滞”解消に応用されている東京大学教授の西成活裕氏。「渋滞」のメカニズムとその回避方法を知ることで、視野が広がり、車だけではない世の中のさまざまな流れが見えてくると言われています。本年の技術対談では、渋滞学とは何か、そしてその今後の応用展開の可能性について伺うとともに、製鉄所の生産・物流効率化へのヒント、研究者へのエールをいただきました。

日本製鉄(株) 代表取締役副社長

井上 昭彦

利他の心を導き人間の意識を変える「渋滞学」

井上　今回の西成先生との対談をご依頼する前まで、実は「渋滞学」という学問の存在をあまり知りませんでした。ご著書『渋滞学』で、走行する車が車間距離を40メートルとって走れば渋滞はなくなると書かれており、そのメカニズムと応用展開に大変興味を持ちました。初めに、「渋滞学」というのは何なのか、改めて教えていただけますか。

西成　ひとことで言うと、文字どおり渋滞について数学的な視点から調査・研究し、その解消方法を探る学問です。これまで各分野でさまざまな努力がなされてきた渋滞解消に関する知見を〝分野横断的〟な発想で考える研究でもあります。また、車だけでなく、歩く人の流れや生産ライン、物流の滞り、ひいては組織の遅い意思決定なども一種の渋滞です。そうした流れの停滞を統一的に扱う試みが私の渋滞学です。

車については、今お話のあった40メートルより車間距離が詰まると、減速の連鎖反応が起きて渋滞に至ります。最も渋滞が起こりやすい場所は自然に減速して後続車との車間が詰まりやすい上り坂。例えば、中央自動車道にある小仏トンネルの実験では、時速約17キロで渋滞にはまったとき、3台のペースメーカー車がそれぞれ40メートルの車間距離をとり連なって走ることで、時速27キロまで速度が上がりました。車間距離が渋滞を吸収し徐々に緩和していくわけです。

井上　ご著書のなかで、渋滞学の基礎的な数理モデルとして使われているASEP(※1)による渋滞のメカニズムの説明が大変わかりやすく、目から鱗でした(**下図参照**)。訴求力があるので自動車運転教習の講習などでも使ったら良いと思いました。また、ここ君津・富津地区に約2万人の日本製鉄関係の従業員がいるので、皆に見せて広めても良いかなとも思います。

西成　ぜひお願いしたいですね。車の渋滞の場合、最終的には人間の意識変化が重要です。人間は早く先に行くためには前に詰める方が良いだろうという直感、欲求があるのでなかなか受け入れられませんが、自分のことだけを考えず、〝利他〟を考えて車間をゆったりとれば巡り巡って最後は自分もハッピーになれますし、そういう社会が理想ですね。

原理と実用の両立。その答えが「渋滞学」

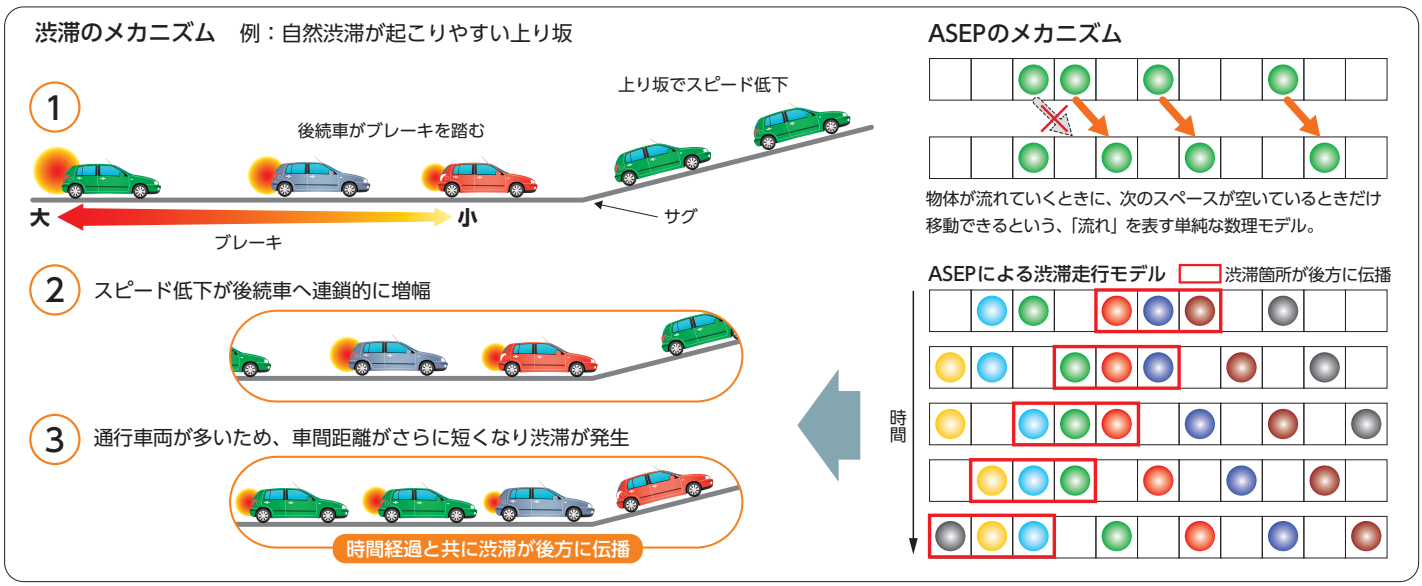
井上　西成先生は学生時代に航空宇宙工学を専攻され、そこから渋滞学へたどり着かれました。その経緯をお聞きしたいのですが、そもそも子どものころはどんな少年だったのですか。

西成　父は電子系の技術者で、実験の一環として自宅でICをはんだ付けしてラジオ製作などをしていました。家のなかを歩いていると足の裏にICが刺さったりしましたが(笑)、小学生の私も理系の事象に興味を持つようになり、コイルとコンデンサーを使って自分でもラジオをつくりました。そのラジオから音が聞こえたときはうれしかったですね。でも、自分は部活で楽器を演奏していたこともあって、そもそもなぜ音が聞こえるのかが不思議で、そこから実際のものづくりよりも、基礎となる〝原理〟に興味が出て「オームの法則」などの本を読み漁りました。また、当時アニメドラマの『宇宙戦艦ヤマト』が流行っていて、神秘的な宇宙の果てはどうなっているんだろうと考えたりしていました。

井上　そこから渋滞学へ、というのはなかなか結び付きませんが、その後何か転機があったのですか。

西成　宇宙や星、自然科学の原理原則への興味から、物理学をやろうと思って東京大学に入学しましたが、母から「あなたの勉強って社会の役に立つの?」と聞かれ、うまく説明できずに絶句してしまいました。当時学んでいた水や空気の流れを数学的に分析する流体力学の説明が母には通じない。それに自分でも学んでいて〝ちょっと違うんじゃないか〟と思い始めていました。原理原則を学びながら社会に役立つことをやる。そうすれば自分の興味も満たせるし、親にも胸を張って説明できると考えました。

そんな悩みを持っているときに、遠くから眺め



※1　ASEP：Asymmetric Simple Exclusion Process(非対称単純排除過程)。

た道路の車の流れが水の流れに見えた。そのときにピンときて、水の流れを分析する流体力学を、車や人、物などまったく新しい世界で使えないか、社会のさまざまな流れに対して科学で何かできないかと思ったんです。それなら好きな研究をしながら社会の役にも立てる。そこから「渋滞学」という名称も生まれました。

井上　「渋滞学」は過去にはなかった学問だけに、学会などで認められて注目されるまで相当なご苦労があったのではないでしょうか。

西成　おっしゃるとおりです。最初は物理・数学の学会で「流体力学の分析手法を使って渋滞の研究をやる」と壇上で説明し始めると、聴講者のほとんどが席を立っていなくなる状況でした。物理学者も数学者も興味を示してくれず、悔しいというかショックでしたね。国に研究費を申請しても数学と交通両方の知識を持って審査できる教授がいなくて、結局研究費は自腹です。

　そんな周囲からまったく認められない時期が5～6年続き挫折しかかったときに、尊敬する先輩が「人生は諦めるかやり抜くかだけ。できないというのは諦めただけで、やり抜けばできないことはない。4～5年の研究じゃあまだ甘い。まずは7～8年やれ」と。そのアドバイスでもう数年続けようと決心しました。

井上　松下幸之助さんも「成功の秘訣は、成功するまで諦めないこと」と言っていますが、そのとおりですね。

西成　諦めずに続けているうちに、学会でも退席する人が減り、「よく聞くと西成先生の話はまともで、例えばこれに使えるんじゃないか」と言ってくれる味方が増えました。共同研究や取材の依頼もあり、そこから一気に形勢が逆転して、テレビやさまざまなメディアで取り上げられるようになり、その後出版した『渋滞学』が私の人生を大きく変えるきっかけとなりました。発売翌月の学会は立ち見が出るほど大盛況で驚きました。

全体最適を導く手法を社会に発信

井上　渋滞学の観点は、さまざまな社会の事象に通じるとおっしゃっています。例えば、大型台風上陸時に堤防を決壊・越流させない川の流れの分析や、私たちのような製造業の生産ライン、物流の効率化にも活かせますね。

西成　私は今そういったことを皆さんと考えたいと思っています。社会の流れは人、車、物に大別できます。これまで約30年取り組んできた研究と100件以上の国・自治体・企業との共同プロジェクトを通して、渋滞を解消するアイデアも蓄積されています。

　最近では、東京オリンピック・パラリンピック競技大会組織委員会のメンバーとして、開催時の「混雑の解消・緩和」をテーマにアドバイスさせていただいています。例えば駅から競技場まで人を誘導するルートについて、混んで詰まったときはルートを切り替え、移動距離をあえて延ばして人が流れるようにするなど、混雑の状況に応じて選択できる複数の誘導ルートを決めています。川の防災も同様に、流れを止めるという発想ではなく、複数の別の流れ（ルート）をバッファーとして確保するなど、決壊・越流を防ぐ対策をあらかじめ決めておくことが大切です。

走行実験の指揮をとる西成先生

音楽好きでも知られる西成先生。中学時代は吹奏楽部に所属

井上　私たち日本製鉄も「国土強靱化対策」の一環として、堤防の決壊防止への効果が期待される鋼矢板などの土木製品をはじめ、多彩な鉄鋼製品を提供していますが、渋滞学の着想は、1カ所の決壊を防ぐと、別の場所が決壊・越流するケースもある。理想は、インフラ整備を行った上で、川があふれずに海までちゃんと流れるようにすることだと思います。「渋滞学」は、そのためにどうしたらいいのかを考える強力なツールになりますね。

西成　そうだと思います。特定の部分だけをうまく流してもトータルでどこかが決壊・越流するなら流さないほうが良い可能性もあります。渋滞学は「全体最適」がキーワードなんです。

　近年は、工場からの相談も受けます。流れという意味では生産ラインも同じで、1つの工程だけ頑張ると全体として流れが悪くなって在庫が増えるケースがあります。部分最適ではなく、例えば、多能工化(※2)により、あるネック工程の仕事を別の人が受け持てるようにすることでトータルのラインバランスを考えるほうが、実は改善になるという事例が山ほどあります。

井上　日本製鉄でも工程間の半製品の滞り(在庫)をいかになくすかが1つの課題です。各ラインの生産性とキャパシティーを前提に問題を解くのか、キャパシティーを別の工程に振り分けるのか、そうした前提次第で答えは大きく変わりますね。

西成　企業規模が大きくなるほど担当部署ごとの部分最適に走りやすくなります。例えば、機械は部分であるモジュールを組み合わせれば動きますが、生物は脳や胃、腸など部分を並べて組み合わせても全体として機能せず、そこにプラスアルファがあるからこそ生命体です。企業の組織や生産工程も同じで、すべてに相関があり各部分を足し合わせただけでは全体にならない。部分最適だけの追求は何かを見失う可能性があります。

井上　かつて日本がものづくりで欧米に追いつこうとしている時代に、日本製鉄でも各セクション、あるいは製鉄所間が競い合って生産性を高めた時期もありますが、今はそれだけではだめだという感覚を皆が持っています。例えば、5つのセクションがラインになっている場合、2つ目の生産性を落として犠牲バントを打たせたほうが、後の流れが良くなり生産性が上がるケースもあるわけですね。工程の責任者は自分のセクションの成績が下がることに抵抗があるかもしれませんが、それを上の人間がきちんと評価してあげる。そういうことに踏み込んでいかないといけませんね。

西成　過去に相談を受けた企業で、営業部門が目標売上の3倍の数字を出した結果、営業がバンバン発注するので物流コストが上がり、最終的に企業トータルで赤字になった事例もあります。極端に言うと、営業が頑張らないほうが良かったということです。企業が大きくなると一番大事な全体が見えにくくなります。

　渋滞学の考え方は、特定の部分だけが渋滞すると、トータルのスループットが落ちるので、どこが律速ポイントになっているのかを考え、そこをうまくコントロールしてバッファーとなる〝ゆとり〟をとって全体最適化する、いわば〝急がばまわれ〟です。ときには〝頑張らない〟という逆説的な改善も有効ですね。

エネルギーが循環するダイナミックなものづくり

井上　本日はこの対談の前に、日本製鉄の君津製鉄所と研究開発拠点である富津ＲＥセンターをご見学いただきました。ご感想があればお聞かせください。

西成　実は御社の製鉄所の見学は2回目なんです。小学生のときに八幡製鉄所を見学しましたが、正直なところ熱かったこと以外は何も覚えていません(笑)。今日は改めて製鉄所をじっく

企業や自治体などからの講演依頼も多い

※2　多能工化：作業者が他の工程も受け持つことができるように教育・訓練すること。

り拝見し、まず製鉄所のスケールの大きさを見て、それ自体がひとつの街、社会だなと思いました。東京の千代田区と同じ面積だという敷地規模の大きさ、製鋼工場や熱延工場の熱とダイナミックなものづくりの姿に感動しましたし、圧延工程では鋼板の厚みや温度などが精密に制御されていて、鉄づくりが大変な進化を遂げていると感じました。また、排熱回収や水の循環利用など、環境・省エネルギー対策について徹底されており驚きました。

井上　水の循環・再利用率は90パーセントで、製造工程で発生するガスはエネルギー源として100パーセント活用し、使用電力の81パーセントは工場から出る排熱やガスを利用して自家発電しています。また、工場内で発生するダストに含まれる鉄分は集塵機で回収して原料として100パーセント再利用しています。製銑・製鋼工程で発生する副産物のスラグは、セメントや道路の舗装材として利用されるだけでなく、近年では藻場を再生する「海の森づくり」の資材として高く評価されています。さらに自治体が回収した容器包装プラスチックも、コークス炉を利用して100パーセントリサイクルしており、日本製鉄全体で日本の回収量の約3割を再資源化しています。これらの取り組みは、エネルギー大量消費型産業である鉄鋼業としての使命だと考えています。

西成　ものすごい努力ですね。あともう1つ工場を見学していて思ったのは、人間（職人芸）とAI（人工知能）の関係です。一部AIなども導入されていると思いますが、鋼板の品質管理をはじめ、最終的には人の目で判断している。現在は多くの企業で工場を無人化し積極的にAIを導入していますが、それでいい会社とそれではだめな会社があると確信しました。AIは人間に置き換わるのではなく、人間をサポートする方向に向かうべきだと思います。例えば「5年前に似たようなことがあった」など、人間は長年の経験値からいろいろな前提がわかった上で物事を考えますが、その職人の勘のような前提までをAIに入れるのは無理です。AIに「フレーム問題」（※3）は絶対に解けないと思います。工場のものづくりを見て、人間はいろいろなことがわかった上で判断する職人芸の塊であり、企業の無形資産だと改めて実感しました。

日本製鉄 君津製鉄所・富津REセンター見学風景

第４高炉前

製鋼工場

熱延工場

富津REセンター

※3　フレーム問題：限られた処理能力しかないAIは、現実に起こり得る問題すべてに対処できず、何がフレームかについて判断できないことを示すもので、第一次・第二次AIブームの壁となった問題。

多くの物が行き交う製鉄所の物流を考える

井上　製鉄所見学時に、西成先生のご専門「渋滞学」の観点から興味を持たれたことがあれば教えてください。

西成　「物流」ですね。溶銑を入れた400トン近くのトーピードカーが線路を走る姿を見て、製鉄業の物流に大変興味を持ちました。製鉄所全体としてどのくらいの物流量があるのですか。

井上　鉄鋼業の物流は、重量ベースで日本全体の数十パーセントを占める膨大な量です。1965年に操業を開始した君津製鉄所の線路の総延長はJR山手線の2周分もありますが、その後はプロセスの連続化も進み、君津の後に稼働した大分製鉄所では、効率的なレイアウトで物が流せるようになっています。また名古屋製鉄所では、製鋼以降を無軌道台車やキャリアパレットの道路輸送に切り替えて最短ルートで物を運ぶ仕組みにしています。いずれにせよ、鉄鋼業にとって原料ヤードから製銑、製鋼、圧延と鉄を運ぶ物流効率の向上は、製造時の熱効率も左右するため、常に大きなテーマですね。

西成　どこがボトルネックで、いかに最適化すればリードタイムが短縮できるのか。お話を聞いて研究者魂に火がつきました(笑)。物流面だけで言えばミニ高炉での多品種少量生産も考えられますが、生産効率を考えると難しいですね。

井上　昨年4月にはインテリジェントアルゴリズム研究センターをつくり、スケジューリングを含めた生産最適化に向けて数値計算のさらなる活用を進めています。生産効率を高めるため、鉄鋼製品を多彩なバリエーションがある品種ごとにロットを組んで連続生産しながら、一方で物流効率を高めて構内在庫を極限まで圧縮するというトレードオフの難題に対して、今後ぜひお知恵をお借りしたいと思います。

西成　製造する品種によってボトルネックが変わり、多くの制約条件があるなかで相当難しい組み合わせをすでに最適化されているのだと思います。本来は一品ずつつくれればいいのですが、組立産業のようにはいきませんね。

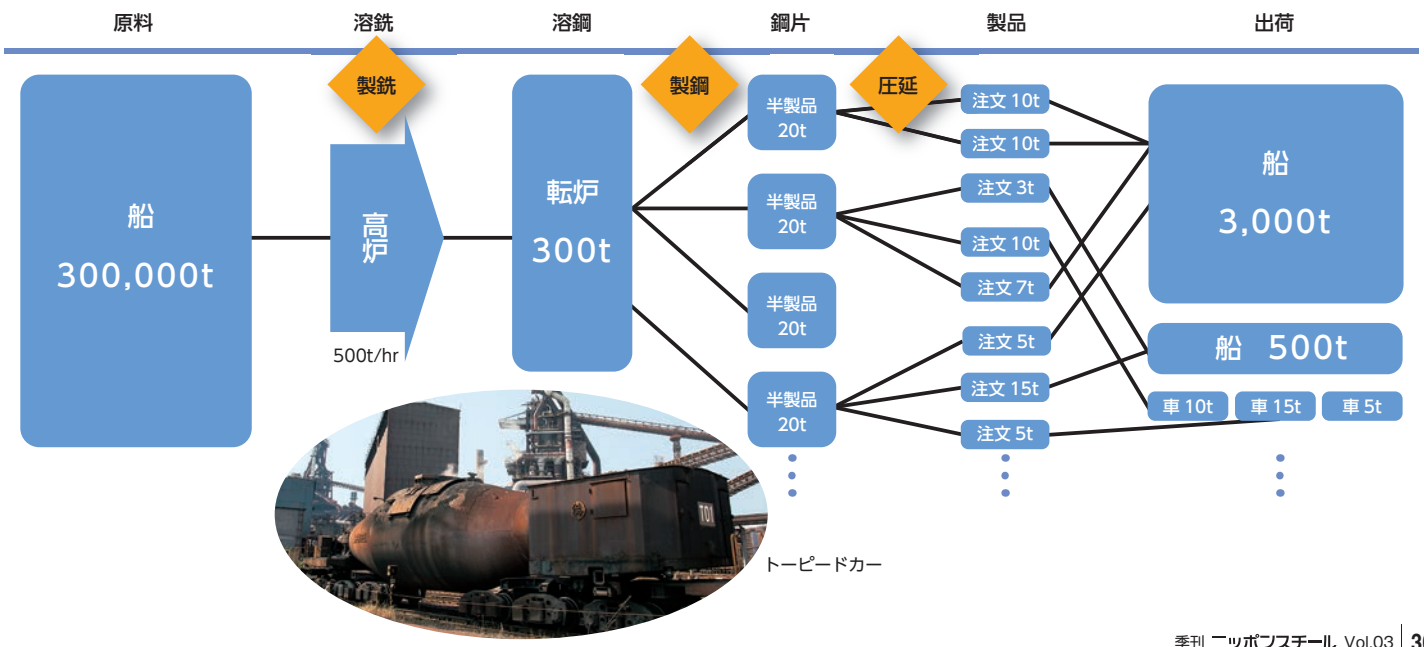
井上　私たちも既存の生産設備を効率的に動かすというだけでなく、君津の構内に試験炉がある「COURSE50」の水素還元技術開発も含めて、今までと違った新たな製鉄プロセス開発などのブレイクスルーも視野に入れて、一貫で見たときにどのようにつくるのが最も効率が良いかという、本来あるべき理想形を議論しておく必要があると感じています。

社会を支え続ける基幹産業 日本製鉄へのエール

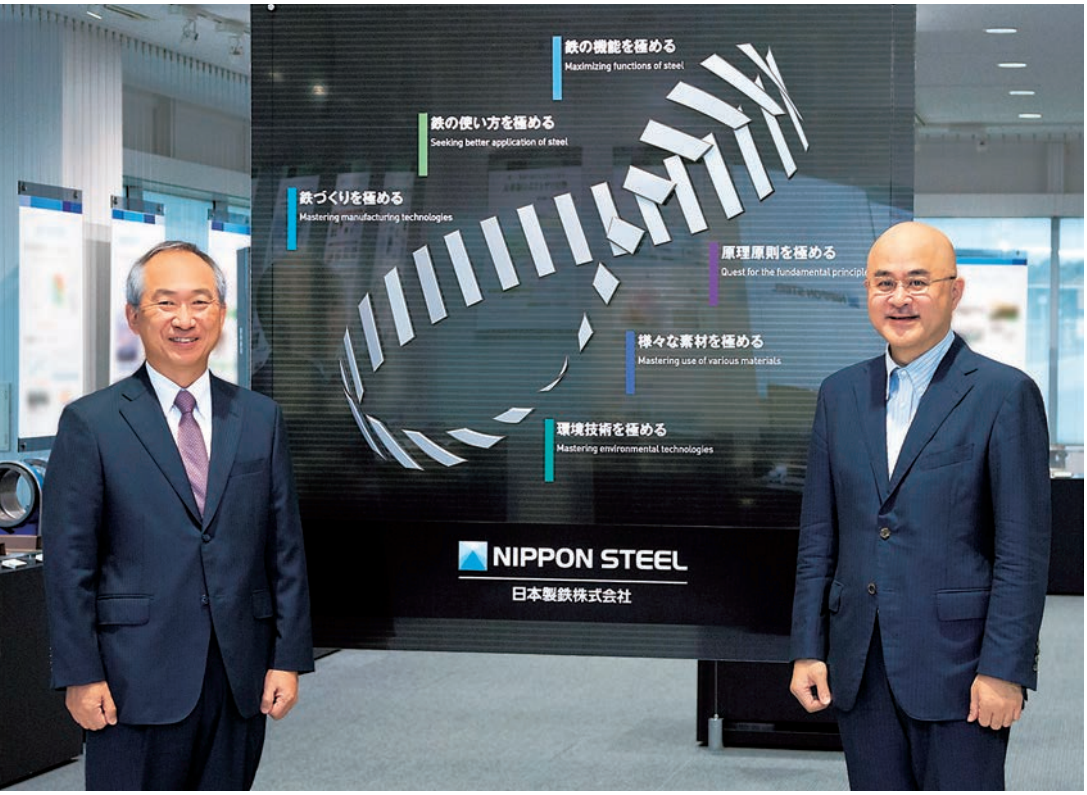
井上　本日のお話のなかで、私たちのものづくり、特に生産・物流の高効率化への貴重なご意見を伺うことができました。引き続きいろいろ教えていただければうれしく思います。西成先生の今後の取り組みについてお聞かせいただけますか。

西成　先ほどの製鉄所構内のお話も含めて、物流の世界で東京大学から情報発信できないかと考えているところです。今一般的に、物流は社会のインフラとして最も重要でありながら、低

高炉から多彩な製品をつくり分ける製鉄プロセスの例



い位置付けにあるような気がします。アマゾンなどのネット販売が社会に定着するなかで、実は物流はデータサイエンスやＡＩが活用できる最先端分野だと思っています。国際物流も含めて世の中の物の流れが増えてドライバーも不足している社会のなかで、何か役に立てないかという強い思いがあり、今はリソースを物流にシフトしています。



井上　東京大学では従来、経営や経済の観点から物流を研究した事例はありますが、理系の立場から先進物流を考える機会がなかったので、本年７月、ＡＩやデータベースを使って数学的、科学的に物流を研究する場をつくり、社会に役立つ人材の育成に取り組み始めました。先ほどの生産と物流の相関などについて、設備故障率や高級品の混在率など詳細を掌握した上で、数学的にデータ分析して企業活動をサポートする人材です。

井上　一方でそうした人材の活躍の場をつくるのは企業の役割ですね。

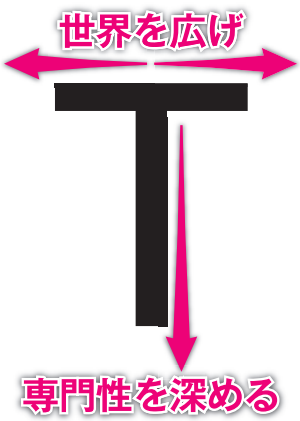
西成　ぜひお願いします。物流の科学的な知識を身につけた理系の大学院生を、物流の問題を抱えている企業に輩出して社会の役に立ってもらいたいですね。大学にできることはそうした人材供給だと思っています。海外を見渡すと、今はスタンフォード大学や中国の清華大学の人材がベンチャー企業をつくって物流の新たなソリューションを生み出しています。私も来年４月から大学院生向けにこれまで日本では焦点があまり当たらなかった物流の講義を立ち上げます。東京大学の歴史で初めてのことです。

井上　将来が楽しみです。最後に日本製鉄グループの社員、研究者へメッセージをいただければうれしく思います。

西成　今後の技術革新や多様な時代変化のなかで、専門性も大事ですが、知識の幅を持った「Ｔ型人間」（※4）がより重要になってくると思います。日ごろ学生にも言っていますが、自分と関係ないものは世の中にはなく、すべてがつながっている。多様な分野の人間と交流しながら思考を広げていくことが大切です。専門は忘れるぐらいどんどん広げて、一組織のなかにいても全体を見渡せるような視野を持ってほしいと思います。御社は日本を背負って立つ企業です。ぜひ懐と視野の広い社員の方々が活躍して日本をもっと良くしていただければと思います。また産学連携という意味で、一緒に何かをやってお役に立てればと考えています。

井上　こちらこそよろしくお願いします。本日は日本製鉄のものづくりにとって示唆に富むお話を伺い勉強になりました。今後もご指導いただければうれしく思います。本日はお忙しいなかお時間をいただきありがとうございました。

（この対談は、２０１９年10月18日に、日本製鉄 富津ＲＥセンターで開催されました）



※４　Ｔ型人間：何か１つの専門分野に精通して、下方向に深い知識を持ちつつ、他の分野に対しても横方向に広がる幅広い知見を持つ人材。

製鉄所の風景

ブリキはおいしい

撮影　瀬尾浩司 HIROSHI SEO（撮影場所：日本製鉄株式会社八幡製鉄所）

ブリキといえば？　年配の方々には、まずは懐かしいブリキのおもちゃだろうか。一方、若い世代だとなかなかすぐには出てこないかもしれない。ま、コーヒーでも飲んでゆっくり考えて……それ、そのコーヒー缶にブリキが使われているのである。

言葉は知っているものの、ブリキが実際どんな使われ方をしているか、すぐに答えられる人は少数派だろう。でも、休憩で飲む缶コーヒーも、デザートのパイン缶も、近ごろブームのサバ缶も、実はその多くにブリキが使われている。

そもそもブリキとは、薄い鋼板に錫（すず）をめっきしたものを指す。それが缶に多く使われるのは、薄くて強いという鉄の特長があるからだ。ただし、鉄はさびる。そのさびを止めるためにめっきが施されているわけだが、その役割はさび防止だけでないと、入社以来ブリキ一筋の野田正和さん（薄板事業部ブリキ営業部）が教えてくれた。

「例えばパイナップル缶の場合、その鮮度とおいしさを保つためには錫めっきが欠かせません。錫がパイナップルが酸化するのを防いでくれているのです。産地や肥料の量によって成分が異なるので、それぞれに応じた最適なめっき量を提案しています。また、レトルト殺菌するミルクコーヒーやココアなどの缶飲料では、缶底を叩いてその音の振動数を解析し、製品の内圧を判別する打検によって、密封不良や殺菌不足を確認できることも大きな特長です」

薄くて丈夫な鉄が缶素材にぴったりだというのはわかりやすいが、食べ物や飲み物のおいしさや安全性を守っていたとは驚きだ。

「自動車や機械は約10年、建物や橋は約25～30年が寿命だといわれていますが、缶は非常に短い」（野田さん）。たしかに、ひとたび開けてしまえば、あとは廃棄される運命だ。けれど、日本ではスチール缶のリサイクル率が90％を超えている。家庭で分別排出すれば、自治体で分別収集し、国内の製鉄所でリサイクルされる循環システムができ上がっているからだ。「鉄は何度でも何にでもよみがえる」と言われるゆえんがここにある。

日本で初めてブリキが製造されたのが１９２３（大正12）年のこと。以来、薄さ、軽さ、そして強度を求める技術革新は続いた。現在、日本製鉄のスチール缶は業界最軽量となる16・2ｇ（蓋を除く）を実現している。缶の重さは一般的な2ピース缶に比べて約40％も軽くなり、商品を運ぶときのCO_2排出量も大幅に減った。

スチール缶は極めて環境にやさしく、リサイクル性に優れた製品なのだ。

手軽に、安心して缶詰を食べたり、缶飲料を飲んだりできるのは、ブリキのおかげなのである。ということで、今日もおいしくいただきます！

（ライター　小平吾朗）

◉ 瀬尾浩司氏が撮影した鉄の魅力を紹介するモノクロムービー「SHAPE」をご覧いただけます　https://youtu.be/xJXqa4zILx4

製鉄所組織の統合・再編成について

日本製鉄は、製造現場の自律性・効率性を高め「つくる力」の再構築を確実に実現するための組織・業務運営見直しの一環として、製鉄所組織の統合・再編成を実施します。

統合・再編成にあたっては、業務の標準化やＩＣＴの進展などにより、遠隔地間をまたぐ業務運営が可能になってきていることを踏まえつつ、製鉄所の地理的関係、製造品種・ライン構成、鉄源分譲などの生産・品質・物流面の関係、人的資源や技術・技能・ノウハウのさらなる結集の観点などから、２０２０年４月１日より６製鉄所体制とします。

今般実施する製鉄所組織・業務運営見直しなどを通じて、「つくる力」の再構築を実現し、製鉄事業競争力の強化を図るとともに、お客様や地域の皆様をはじめとしたステークホルダーの方々から信頼を得られるよう、全力で邁進していきます。

６製鉄所体制

東日本製鉄所	鹿島製鉄所、君津製鉄所、棒線事業部 釜石製鉄所、チタン事業部 直江津製造所を統合・再編成
関西製鉄所	和歌山製鉄所、鋼管事業部 尼崎製造所、交通産機品事業部 製鋼所を統合・再編成
瀬戸内製鉄所	広畑製鉄所、日鉄日新製鋼（株）（20年４月、日本製鉄と合併予定）の呉製鉄所、堺製造所、東予製造所、大阪製造所を統合・再編成
九州製鉄所	八幡製鉄所、大分製鉄所、チタン事業部 光チタン部を統合・再編成
室蘭製鉄所	棒線事業部 室蘭製鉄所
名古屋製鉄所	

シーバース原料入荷量累計８億トン達成

大分製鉄所は、８月22日にシーバースでの原料入荷量累計８億トンを達成しました。１９７１年８月より鉄鉱石・石炭などの入荷を開始し、48年での記録達成となりました。

シーバースは、製鉄所の護岸から４００メートル伸びた桟橋の先にある長さ約１キロメートルの荷役用岸壁であり、大分製鉄所が世界で初めて採用した設備です。このシーバースには、40万トンクラスの超大型船の着桟が可能です。

今後も、大分製鉄所の高位安定生産を支えるべく、安定操業を継続していきます。

シーバースでの荷役の様子

楽しく学べるゲームコンテンツ第３弾を公開

10月28日、日本製鉄が行っているプラスチックリサイクル「コークス炉化学原料化法(※)」をモチーフにした、リサイクル活動について楽しみながら学ぶゲームコンテンツ第３弾「つなげて作ろう！リサイクルの輪！パズル ＤＥ プラスチック」を公開しました。

日本製鉄の優れたリサイクルへの取り組みを広く認知していただくため、君津製鉄所をモデルにした特設サイトを開設しさまざまな学習コンテンツを公開しています。当ゲームはスマートフォンおよびパソコンでプレイが可能です。

日本製鉄は、容器包装プラスチックの回収率向上とリサイクル意識の醸成を図り、リサイクルに積極的に取り組むことで、省エネ・CO_2削減、循環型社会の形成に貢献していきます。

スコア画面　　プレイ中の画面

スマホでアクセスするとすぐにプレイできます

※製鉄原料の１つである石炭を高熱で処理するための設備であるコークス炉を有効活用し、全国の家庭から自治体経由で分別回収された容器包装プラスチックを、コークスや発電燃料になるガスとプラスチック原料となる油に熱分解するリサイクル法

木造住宅向け接合金物を共同開発

日本製鉄は住宅用金物メーカーの(株)タツミと共同で、新型金物「TCW」を開発しました。

日本製鉄は、スチールハウス工法(NSスーパーフレーム工法®)における薄板の利用技術を用いて、接合金物として最適な素材と形状を提案。それをベースに(株)タツミが金物工法のノウハウや金物製造技術を融合させ、従来に比べてコンパクトながら耐力が向上した新型金物の開発に成功しました。

新型金物は400MPa鋼のスーパーダイマ®を使用し、2個のL型金物を柱接合面で重ね合わせた構成。接合金物における重要部分と過剰部分の最適化が図られています。

日本製鉄は常に世界最高の技術とものづくりの力を追求し、製品の開発・提供を通じて、社会の発展に貢献していきます。

新型金物 TCW

「建設技術展2019近畿」に出展

日本製鉄グループ(※)は、10月23・24日の2日間、マイドームおおさかで開催された「建設技術展2019近畿」に出展しました。

本技術展は、企業や行政関係機関、学校などが多彩な技術や工法を展示・紹介。建設技術のより一層の高度化や広範囲な技術開発の促進へとつなげるとともに、工事への新技術活用を促すことを目的としています。

日本製鉄グループは「しなやかで、強い。鉄が日本をまもる。」をテーマに、「道路・鉄道」「河川・港湾・砂防」「街づくり」の分野で「国土強靱化」施策に貢献する製品や工法を提案しました。

日本製鉄グループは、国連で採択された「持続可能な開発目標」(SDGs)にも合致した、質の高い、信頼できるインフラ開発に取り組んでいきます。

展示会の様子

※日本製鉄、日鉄エンジニアリング(株)、日鉄ケミカル&マテリアル(株)、日鉄日新製鋼(株)、日鉄鋼板(株)、日鉄建材(株)、日鉄ステンレス(株)、ジオスター(株)、日鉄テクノロジー(株)、日鉄防食(株)、日鉄パイプライン&エンジニアリング(株)

第15回全日本学生室内飛行ロボットコンテストに協賛

9月27~29日、日本航空宇宙学会が主催する「第15回 全日本学生室内飛行ロボットコンテスト」が開催されました。

本コンテストは学生を対象としたオリジナル制作の航空機型ロボットによる競技大会で、日本製鉄は航空機の機体に使用されるチタン素材を提供するメーカーとして、若手技術者の人材育成を支援する観点から2014年度より協賛しています。今回の「日本製鉄賞」は、崇城大学のマルチコプター部門飛行チーム「HIGOコプター」が受賞しました。

今後も、日本製鉄はものづくり立国日本を支える若手技術者の育成に尽力するとともに、ドローンをはじめ、活用が注目される飛行ロボット分野の技術開発にも、引き続き貢献していきます。

表彰式の様子

日本製鉄賞を受賞した
崇城大学の「HIGOコプター」

広報誌バックナンバー

これまで鉄道、船、橋、缶、車などをテーマに特集を組んできました。QRコードを読み取ることで、バックナンバーをご覧いただけます。
https://www.nipponsteel.com/company/publications/quarterly-nipponsteel/index.html
なお、定期送付ご希望の方は上記アドレスよりお申し込みください。

鉄には、先進の引き出しがいっぱい。

もっと強く、しなやかに、機能的に。日本製鉄は長年にわたって鉄を進化させてきました。たとえば、衝突時のエネルギーを吸収する船舶用厚板、超高強度で軽量かつ良成形性も実現する自動車用ハイテン、燃料電池車の普及を支える水素用鋼管など、世界最高の技術力を注ぎ多様な製品を開発しています。鉄は、理想強度では今の約10倍の強さが可能と言われる素材。秘められた可能性を、極限まで引き出す挑戦は続きます。これまでも、これからも、先進の鉄を世界中の人のそばに。

NIPPON STEEL