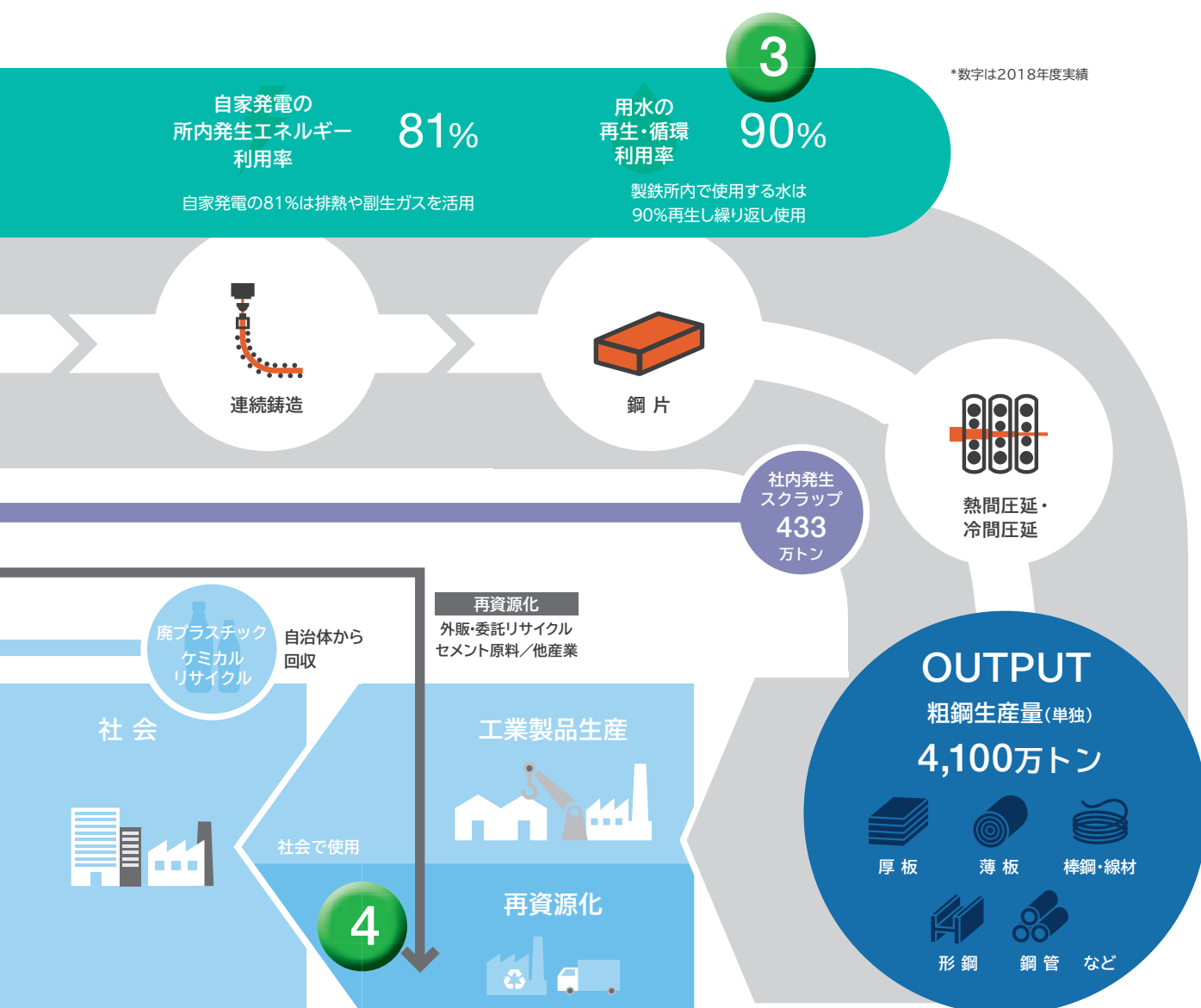


Eco-Process

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。

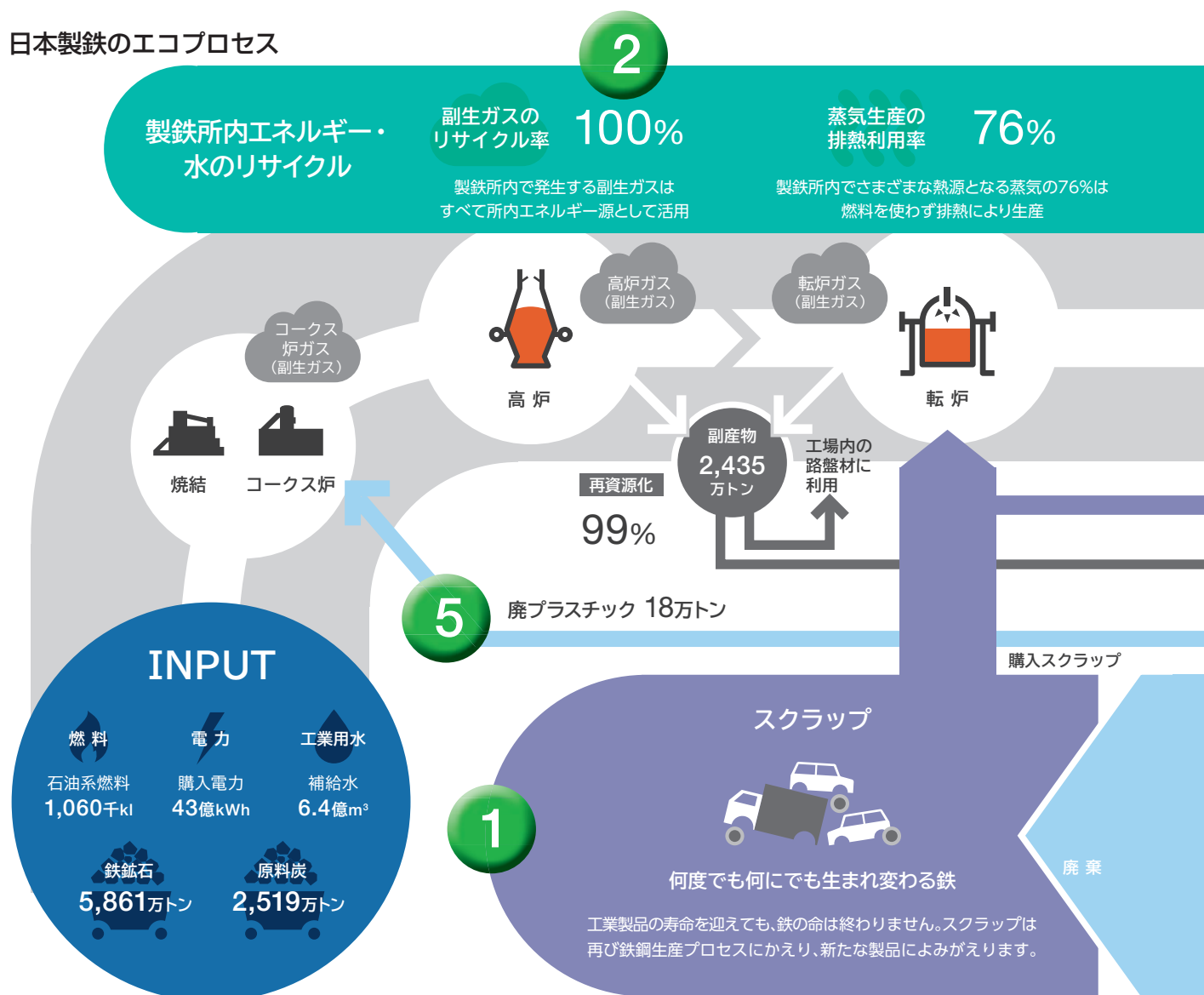
4 副産物のリサイクル P20-21

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





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

鉄鋼蓄積とともに増える 鉄スクラップ



製鉄所の鉄スクラップヤード

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。それか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】。

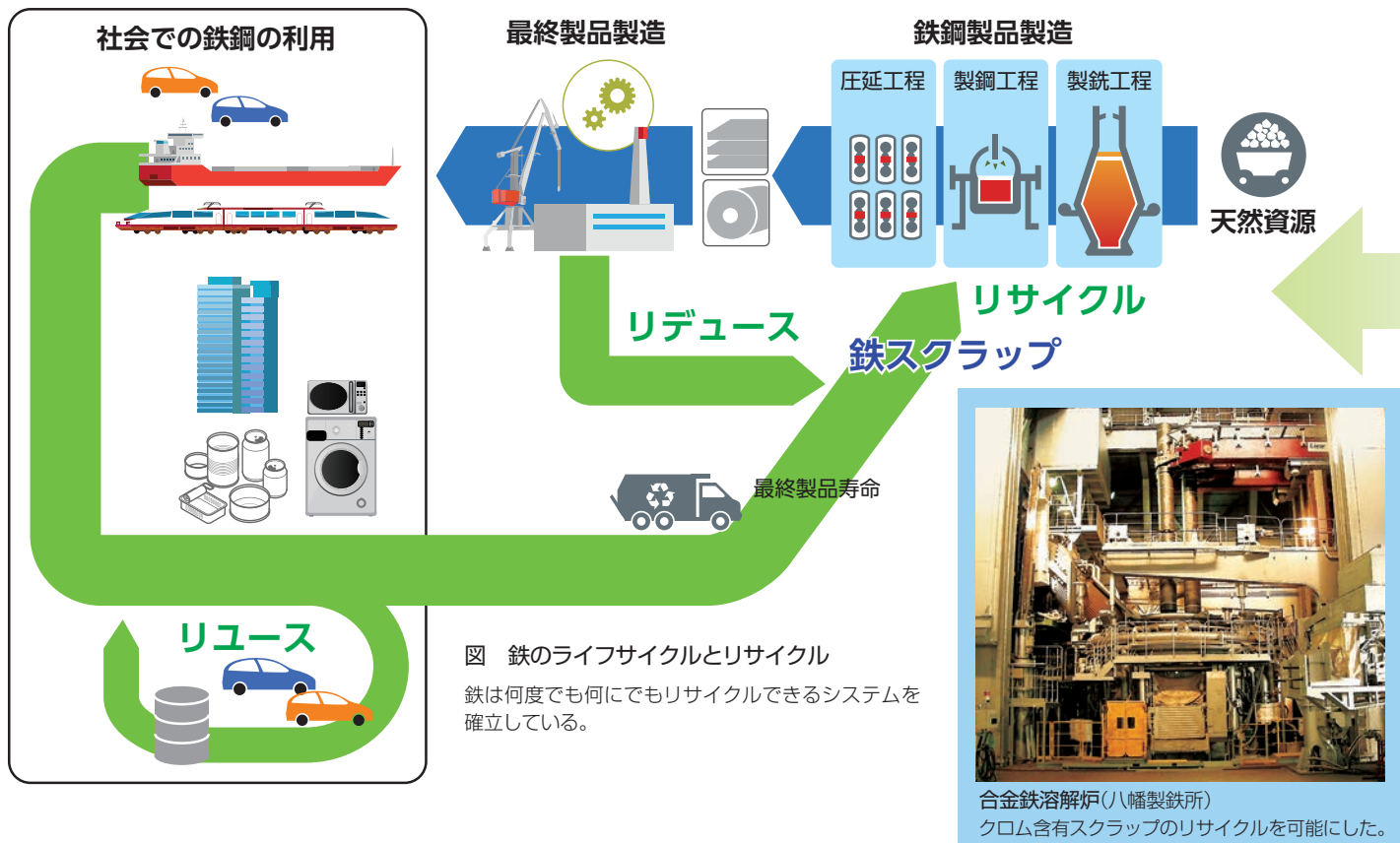
日本の1人当たりの鉄鋼蓄積は、1958年には1トンに過ぎませんでしたが、2015

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ます。そして転炉に溶けた鉄(溶鉄)を注ぎ込みます。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。もし溶鉄だけで操業すると、転炉内の温度は約1800〜1900℃にも達し、高過ぎて



日本製鉄(株)
製鋼技術部 製鋼技術室
曾根 英彰 主幹

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・曾根英彰主幹)

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つことから、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。

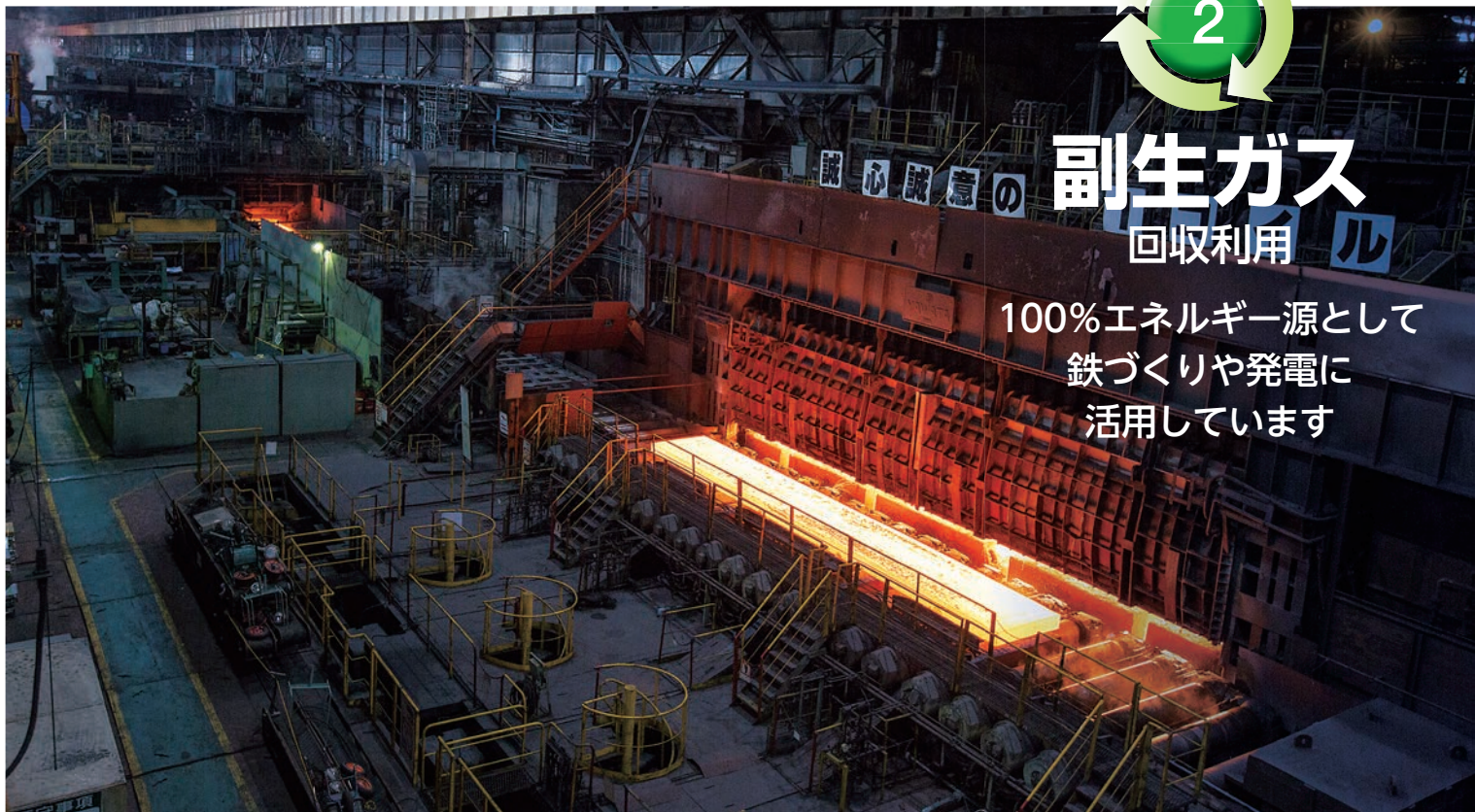
そこで、日本製鉄では、合金鉄溶解炉による資源循環システムを開発しました。このプロセスでは、転炉においては還元処理を実施せず、酸化クロムを非常に多く含むスラグをそのまま合金鉄溶解炉に移し替えて、フェロクロム合金を溶解しながら還元します。導入した八幡製鉄所では、クロムの酸化ロスとスラグ発生量を削減し、環境負荷低減と生産性向上を実現しています。2018年に第64回大河内賞で最高賞の大河内記念生産特賞、19年に文部科学大臣表彰科学技術賞(開発部門)を受賞し、功績と成果が高く評価されました。

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。



副生ガス 回收利用

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か長さ約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、加熱炉へのリジエ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広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）



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、CO₂削減と森林保全に貢献している。



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。



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



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

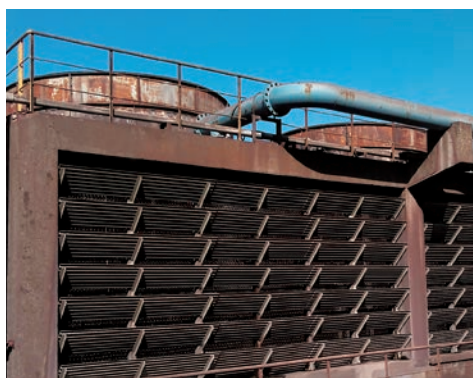


熱延工程 冷却時に水が使われ、水蒸気が立ち上っている。



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。



冷却塔

冷却で発生した温水は再冷却して利用する。

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、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

「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

「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



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



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



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CO₂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。



道路用路盤材

高炉スラグおよび製鋼スラグを破碎・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、天然の碎石、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CO₂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CO₂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232.9万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、高炉で溶けた鉄鉄をつくる際に、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。鉄鉄1トン当たり約300キロ生成されます。一方、製鋼スラグは、高炉で生まれた鉄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、鉄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



©(株)渋谷潜水工業

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CO₂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화가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

鉄や亜鉛を回収して
100%再資源化しています

ダスト クローズドループリサイクル



君津製鉄所 RHF(回転炉床式還元炉)



還元鉄ペレット

「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

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。

ゼロエミッションの実現と競争力の強化

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

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(石灰、コークス)などの省資源、省エネルギーによるCO₂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・富野伸一郎室長)



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
富野 伸一郎 室長



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。

製品として、JIS相当品やグリーン調達の特定期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。

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、製品に使われるようになっていきます。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）、CO₂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を使用しています。

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%



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

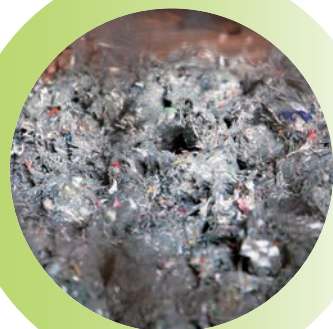


回収・リサイクル



コークス炉

熱分解



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碎し、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。



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

「なぜ既存生産設備であるコークス炉の機能を活かせるのかというと、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)