



アイアンサイクル

鉄の輪がつなぐ 人と地球

リサイクル素材の王者が地球環境を守り社会を支える



JISF 一般社団法人 日本鉄鋼連盟

The Japan Iron and Steel Federation

建設環境研究会

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 鉄鋼会館 TEL.03-3669-4815 FAX.03-3667-0245
<http://www.jisf.or.jp>

環境保全は建設分野の最優先課題 ソリューションは鉄にあります。

近年、天然資源の枯渇、地球温暖化による気候変動や有害物質による環境汚染が人類共通の課題となっており、いち早い対応が急務となっています。
なかでも国土の発展と密接に関わり、多くのエネルギーや資源を用いる建設分野は環境への配慮がさまざまな形で求められています。
このパンフレットでは、鉄鋼業の環境への取り組み、環境にメリットのある鉄の特徴、そして環境に優しい取り組みに貢献する鋼材を紹介していきます。
皆様の環境配慮の取り組みの一助となれば幸いです。



地球温暖化防止

P.4-5

社会的要請

地球温暖化を促す温室効果ガスの排出抑制が求められています。

ソリューション

日本の鉄鋼業には優れた省エネ技術、省資源や長寿命につながる高機能鋼材があります。

地球にやさしい鉄

日本の省エネ設備の普及率は高く、世界の省エネ効率を達成しています。また、高機能鋼材は省エネ製品の重要な構成要素として温室効果ガスの排出抑制に寄与しています。



コークス乾式消火設備

自動車用モーター用電磁鋼板



循環型社会への適応

P.6-9

大量に資源を消費し、廃棄するフロー指向から、蓄積した資源の有効活用や循環利用をするストック指向へシフトすることが求められています。

鉄鋼製品はほぼすべてがリデュース、リユース、リサイクル可能です。また、鋼材の高いリサイクル性を考慮したLCA手法が規格化されています。

循環する鉄

完全にリサイクルすることのできる鉄は循環型社会の推進に大きく貢献します。



スチール缶スクラップ

溶解されたスクラップ



自然環境・人間社会との調和

P.10-15

自然や生命を支える生態系を壊さない開発や、自然や人間社会への影響が最小となる製品の使用が求められています。

自然と調和し、生態系を壊さず、環境を守ることを可能にする鉄鋼製品がたくさんあります。

自然、社会と調和する鉄

環境に及ぼす負荷が小さく、自然と社会に融合した製品をそろえています。



橋梁に使用された耐候性鋼材



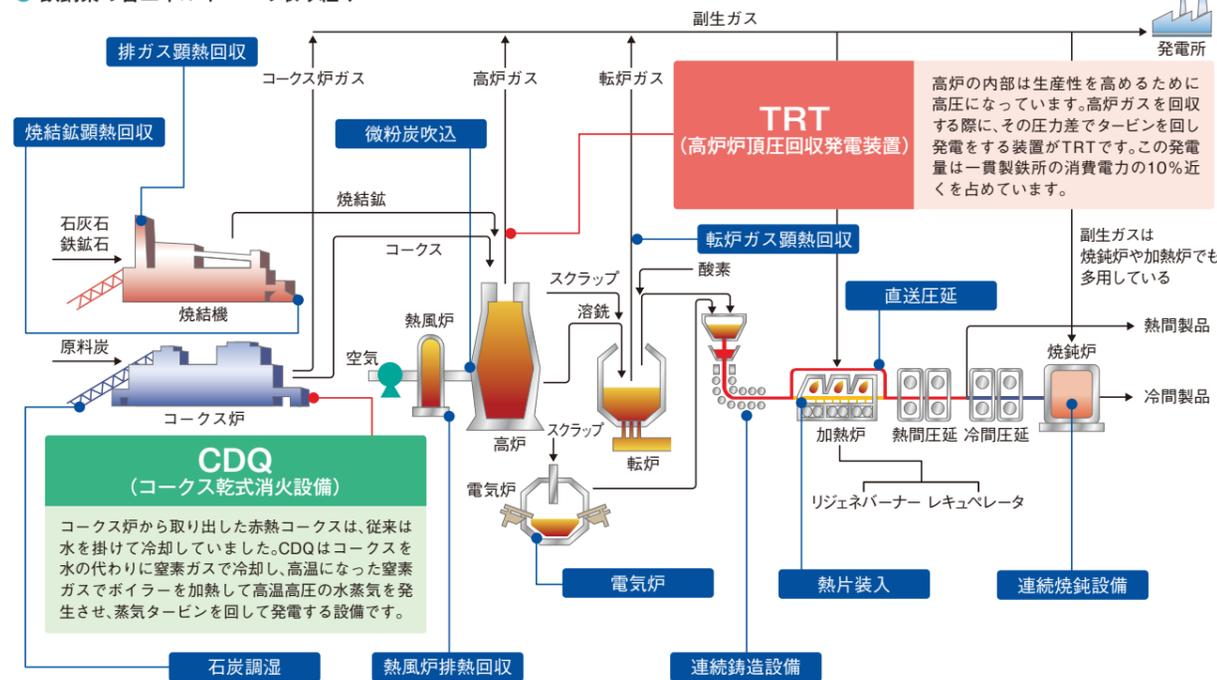
地球温暖化防止に対する鉄鋼業の取り組み

日本鉄鋼連盟は鉄鋼業の優れた省エネ技術を生かし、低炭素社会実行計画を推進しています。この自主的な取り組みの基本コンセプトは、「エコプロセス」、「エコプロダクト」、「エコソリューション」の3つのエコと「革新的技術開発」の4本柱です。この4本柱で地球規模での省エネ、温暖化対策にこれからも貢献していきます。

エコプロセス

鉄鋼業では1970年代に2度にわたり石油危機を経験し、これまでにさまざまな省エネルギー対策に取り組んできました。製造プロセスの連続化やコークス乾式消火設備などの大型エネルギー回収設備の導入を行い、1990年代初頭には、石油危機前に比べ、エネルギー消費量を20%減らし、それ以降はさらなるプロセス改善により、現在では1990年に比べ、さらに10%の削減を達成しました。また、高効率発電が可能な設備を随時導入し、さらなる省エネルギー対策、地球温暖化防止に取り組んでいます。

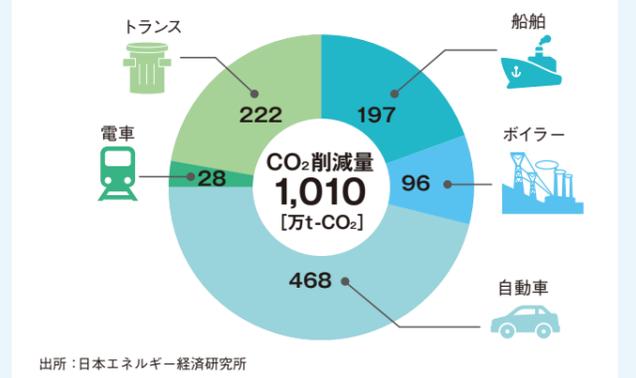
● 鉄鋼業の省エネルギーへの取り組み



エコプロダクト

高機能鋼材の供給を通じて、最終製品として使用される段階において排出削減に貢献しています。日本において、製造された高機能鋼材を用いた製品が2018年度に国内で貢献しているCO₂排出抑制量は右記5製品だけでも1,010万トン、海外貢献分を含めると合計3,106万トンと推定されています。この中で最もCO₂排出削減量が多い製品は自動車用高強度鋼板で、自動車の軽量化による燃費改善に大きく寄与しています。

● 高機能鋼材による日本におけるCO₂排出削減効果 (2018年度)



革新的技術開発

日本の鉄鋼業はこれまで開発してきたさまざまな省エネ設備をすでにほとんど導入しているため、改善の余地が非常に少なくなっていますが、さらなる省エネを目指し、革新的な製鉄プロセスとしてCOURSE50プロジェクトとフェロコークスの開発に取り組んでいます。

COURSE50 (CO₂ Ultimate Reduction System for Cool Earth 50) プロジェクト

水素による鉄鉱石の還元と高炉ガスからのCO₂分離回収により、生産工程におけるCO₂排出量を約30%削減。2030年頃までに1号機の実機化、高炉関連設備の更新タイミングを踏まえ、2050年頃までに普及を目指しています。

フェロコークス

高炉内還元反応の高速化・低温化機能を発揮するフェロコークス及びその操業プロセスを開発し、製鉄プロセスの省エネルギーと低品位原料利用拡大の両立を目指す革新的技術開発を行っています。

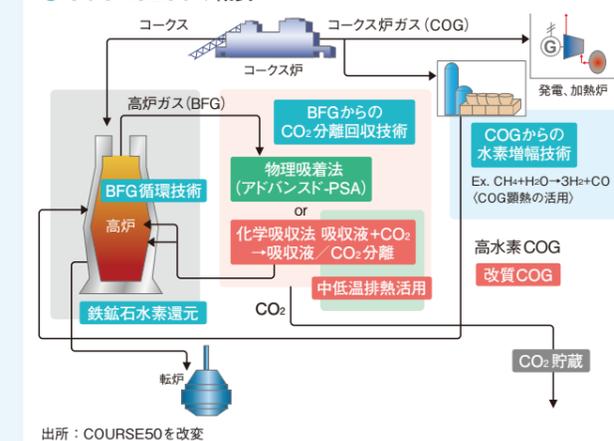
エコソリューション

これまでのエコプロセスの取り組みの結果、日本の鉄鋼業は世界で最もエネルギー効率が良い製造技術を保有しています。しかし、国内のみで高い省エネ技術を使用するだけでは、地球全体の地球温暖化防止にはつながりません。特に、今後は新興国の鉄鋼生産が伸びて行くことが予想されており、日本鉄鋼連盟では主要省エネ設備の普及率が低い国に対して、日本の高い省エネ技術を海外に移転、普及するよう国際連携を進めています。

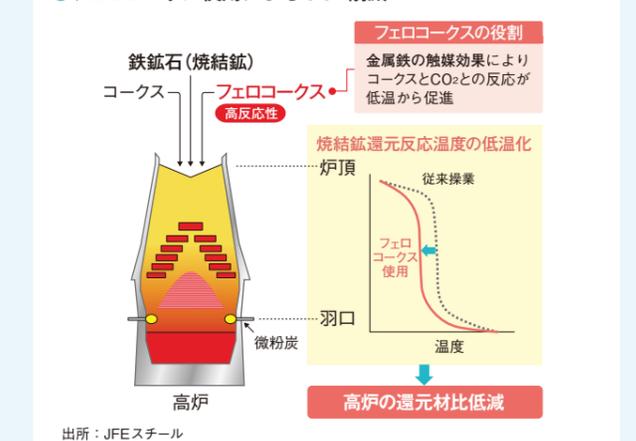
● 鉄鋼の製造エネルギー効率比較 (高炉法)



● COURSE50の概要



● フェロコークス使用によるCO₂削減



ゼロカーボン・スチールへの挑戦

COURSE50・フェロコークスの開発によって得られる知見を足掛かりとして、最終的には製鉄プロセスからのゼロエミッションを可能とする水素還元製鉄技術に挑戦します。



なぜ、鉄はリサイクル素材の王者なのか

リサイクルに優れた素材とは

リサイクルの観点から鉄を観察すると、①選別の容易さ、②自立的、経済合理的なリサイクルシステムが確立、③再生時の環境負荷の少なさ、④再生時の品質低下の少なさ、⑤再生用途の多様さといった長所が見えてきます。地球上に存在する素材で、鉄以外にこれらを備えたものはあるでしょうか？

① 選別

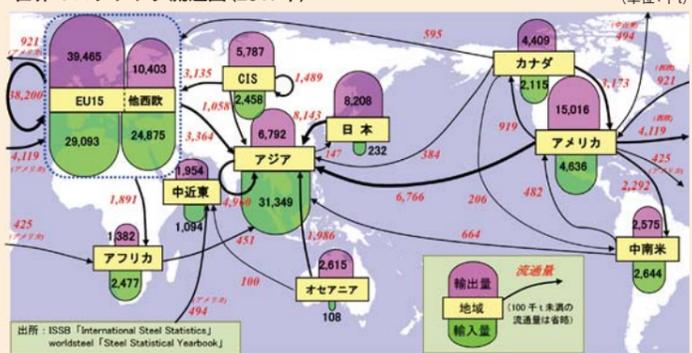
鉄は磁石にくっきます。仮に、廃棄物に混入しても、選別がとても簡単です。



② 経済合理性

鉄スクラップは「廃棄物」ではなく「有価物」。市場原理に基づき世界中で取引されています。

世界のスクラップ流通図(2017年)



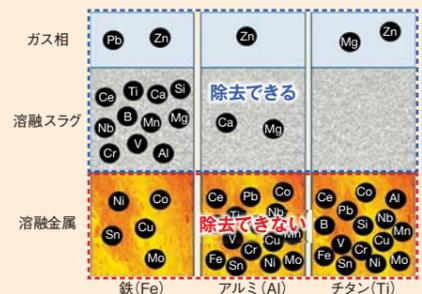
③ 再生時の低環境負荷

一度、鉄鉱石を鉄にしてしまえば、その後はずっと鉄のまま大がかりな処理をせずに基本的には再溶解するだけで再生できるため、環境負荷は、最初の鉄鉱石から鉄を作るよりもとても低く抑えることができます。



④ 品質維持

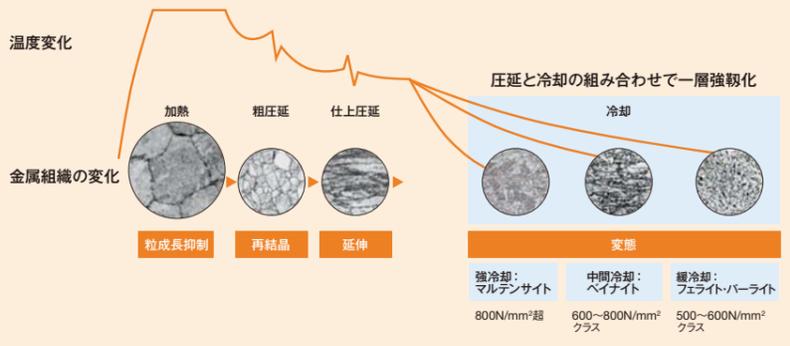
再生時、鉄の不純物はその多くをスラグとして除去することができます。また、除去できない物質も、ほとんどは磁気選別で混入を防げます。



出所：平木 岳人「第23回産業資源循環学会研究発表会(2012)23_269」を改変

⑤ 用途多様性

鉄は、溶解時に組織構造が「リセット」され、改めて造り込みによる「組織制御」によって多種多様な製品へと生まれ変わることができます。



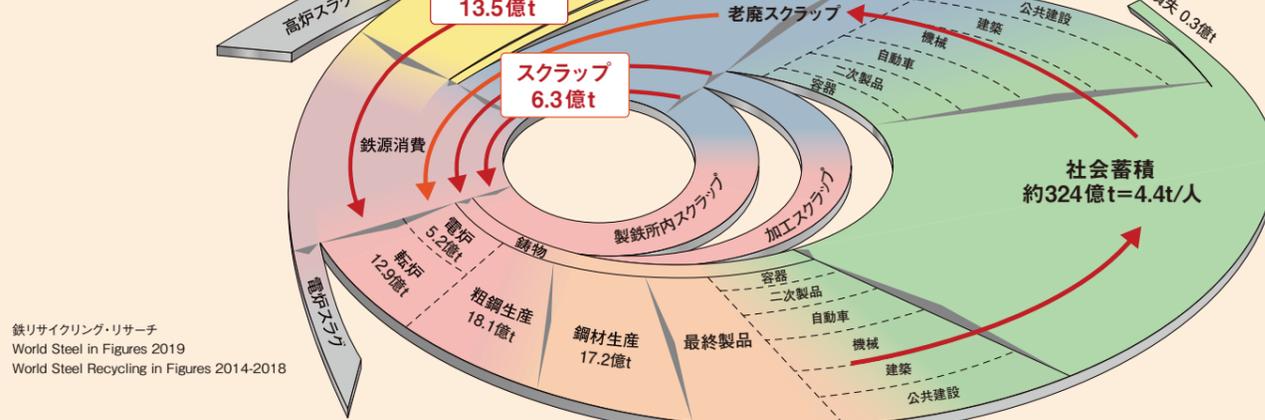
出所：Nippon Steel Monthly 2007.6

普段の生活の中でリサイクルを意識することのない鉄。「鉄くず」という言葉があるくらい、捨てられてしまいうイメージもありますが、実は「リサイクル素材の王者」です。それは、きめ細かく分別しなくてもリサイクルが容易で、何度でも何にでも生まれ変わることができる性質と仕組みがすでに備わっているから。身近にある鉄、実は地球上で類い稀なリサイクル性に優れた素材なのです。

世界の鉄鋼循環(2018年)

鉄は、高炉製法によりその社会蓄積を少しずつ増加させながら、高炉製法及び電炉製法の両方で有効に再利用されており、捨てられることはほとんどありません。日本や欧米等の成熟した社会では、一人当たりの鉄の蓄積量は10t程度であるのに対し、世界平均はまだ4t程度。当面は、高炉と電炉両輪での生産が必要です。

※ DRI：直接還元鉄。主として天然ガスを使用し鉄鉱石を還元。



鉄リサイクリング・リサーチ World Steel in Figures 2019 World Steel Recycling in Figures 2014-2018

世界の鉄鋼生産量(製法別)

鉄鉱石は、需要に応じた採取が可能ですが、鉄スクラップは社会からいわば「滲み出てくるもの」であるため、電炉が主原料としているスクラップを簡単に増やすことはできません。今後、鉄スクラップの発生量は少しずつ増加しますが、当分の間は高炉製法が生産量の牽引役を担うことになります。

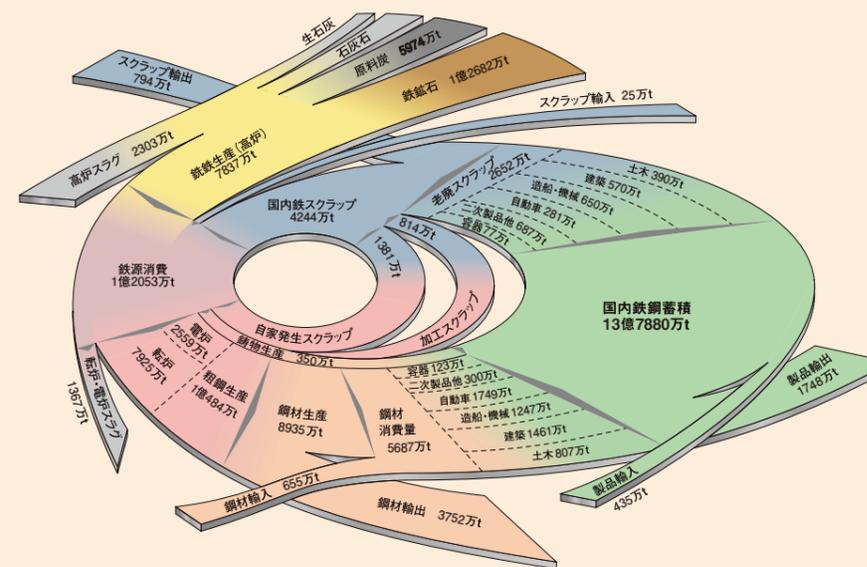
● 世界の製法別粗鋼生産の推移



出所：worldsteel

日本の鉄鋼循環(2017年度)

日本における鉄鋼循環は、世界のそれと似ていますが、鉄鋼製品や鉄スクラップの輸出入がある点で少し異なります。

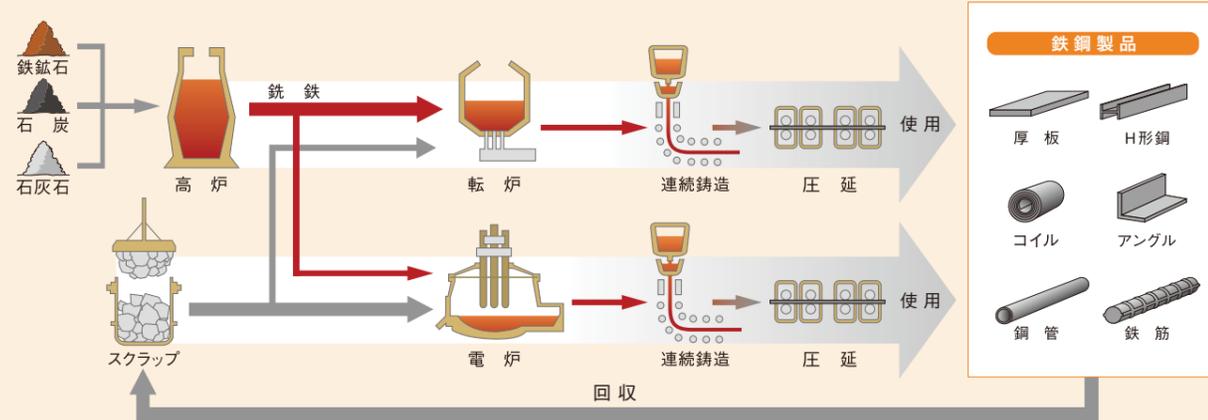




鉄鋼製品の環境負荷の考え方

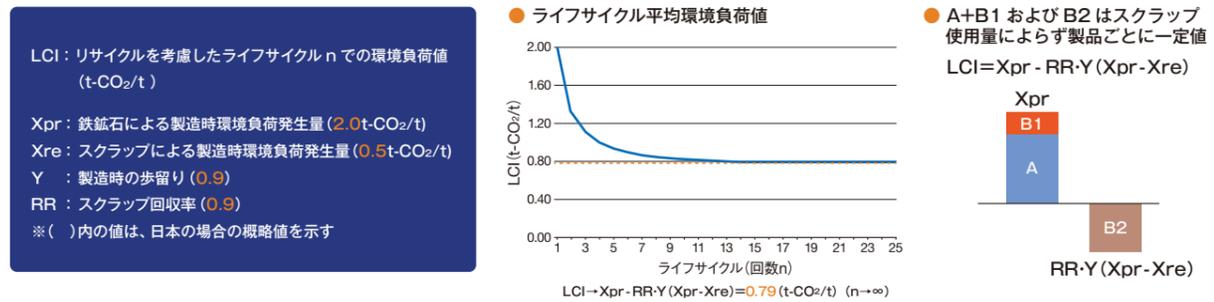
鉄鋼製品の製造プロセスと循環

鉄の製法は、高炉法と電炉法に大別されます。高炉法は、主に鉄鉱石から銑鉄を作り、転炉で炭素や不純物を減らして鋼を作る製法です。一方、電炉法は主として鉄スクラップを電気アーク炉等の熱で溶解して鋼を再生する製法です。ただし、高炉法でもスクラップを使用していると共に、電炉法でも銑鉄を使用する場合があります。なお、高炉法の場合のスクラップ溶解は銑鉄の熱を利用するため、溶解のためのエネルギーは不要です。



鉄鋼製品の環境負荷の考え方

上記のようにスクラップを介して循環している鉄鋼製品の環境負荷、例えばCO₂排出量はどのように考えるべきでしょうか。電炉製法での主原料である鉄スクラップは、元は鉄鉱石から高炉製法で作られたものであり、鉄のライフサイクルを考える上ではこれらを一繋がりとし、生涯分の総環境負荷を総生産量で除したライフサイクル全体の平均値で評価することが、鉄鋼製品のようにほぼ全量が無限に循環している材料では適切です。



私たちの生活を支えるさまざまな製品(最終財)は、寿命が来るとその役割を終えて捨てられますが、リサイクル性に優れた素材はその後も別の製品に形を変えてその役割を果たし続けます。その代表選手である鉄は何度でも何にでも生まれ変わるため、その環境負荷は、製造や再生の断面のみでとらえるのではなく何代にもわたる生涯の生産量と生涯の環境負荷量で評価するのが妥当であり、この考え方が国内外で規格化されています。

規格化の経緯

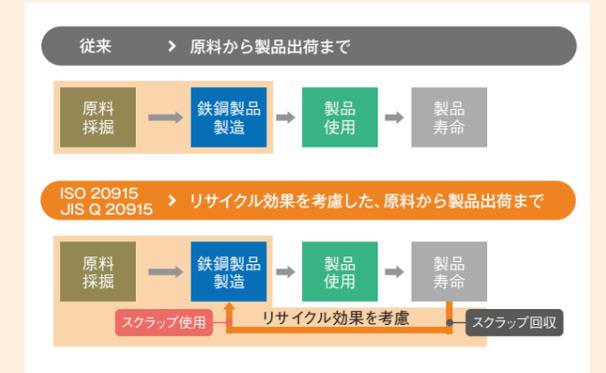
ISO 20915規格及びJIS Q 20915は、鉄鋼製品の環境負荷計算でリサイクル効果を考慮した初の規格です。リサイクル効果を定量的に見る化し、リサイクル推進の方向性を示しています。

- 1997年 世界鉄鋼協会が、鉄鋼のスクラップリサイクルを考慮したライフサイクルインベントリ(LCI)計算法をMethodology Reportで整理
2015年 ISO/TC 17にて日本から規格化提案
2018年11月 ISO 20915「Life cycle inventory calculation methodology for steel products」規格発行
2019年6月 JIS Q 20915「鉄鋼製品のライフサイクルインベントリ計算方法」発行



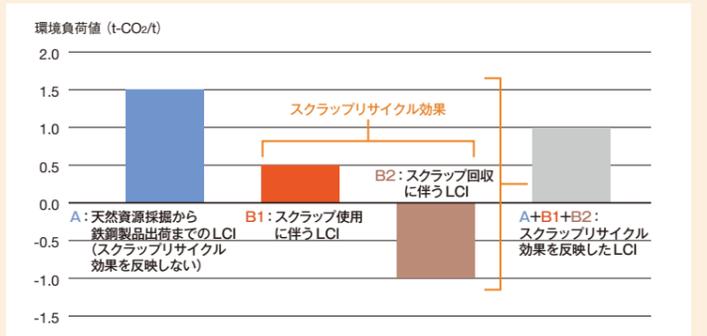
環境負荷計算の範囲

ISO 20915規格及びJIS Q 20915の計算範囲は、原料採取～製品出荷までに加えて、リサイクル効果を考慮することが従来と異なります。



規格の考え方

原料採取～製品出荷まで(A)に加え、スクラップ使用量に応じた環境負荷の加算(B1)と、将来のスクラップ回収に伴う減算(B2)の合計値(A+B1+B2)を製品の環境負荷とします。なお、現実には左ページでも述べたようにA+B1や、B2はスクラップ使用量に関係なく製品ごとに一定になります。



JIS Q 20915「図3 鉄鋼製品のLCIの概念」をもとに作成

規格に基づく環境負荷値の公開

日本鉄鋼連盟や世界鉄鋼協会では、会員会社から定期的に操業実績データを収集し、主要製品に関する国内、世界の環境負荷平均値を算定し公開しています。

- 日本鉄鋼連盟
データ収集時期 2014年度の操業実績
対象製品 16鉄鋼製品(熱延鋼板、冷延鋼板、鋼管 ほか)
参加企業 16社(高炉4、電炉12)。国内粗鋼生産の85%

- 世界鉄鋼協会(worldsteel)
データ収集時期 2013~2017年のいずれかの1年の操業実績
対象製品 17鉄鋼製品(熱延鋼板、冷延鋼板、鋼管 ほか)
参加企業 欧、亜、中東、豪、北中南米、アフリカ29か国の34企業(世界の22%の粗鋼を生産)の115サイト2.5億トン分(世界粗鋼生産の14%相当)

2014年度GWP実績日本平均値(RR=0.931) 単位: t-CO₂/t

Table with 5 columns: Product Name, LCI(A+B1+B2), A, B1, B2. Rows include Hot-rolled steel, Cold-rolled steel, Coated steel, Thick plate, UO pipe, Pipe, Rod, and Sheet.



社会との調和に貢献する鋼材

鉄はビルや橋、道路等の身近な建物を支える構造部材として使用されている私たちの生活に欠かせない材料です。鉄鋼材料はリデュース、リユース、リサイクル性に優れており、環境循環型社会の模範となっています。

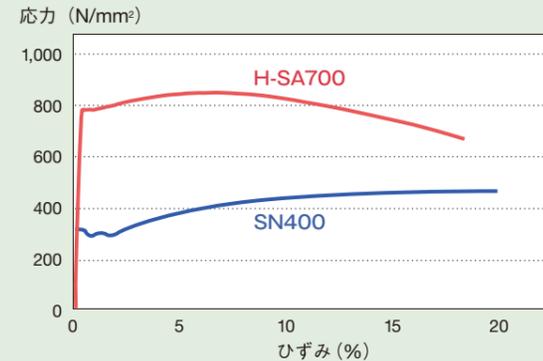
高強度鋼

日本鉄鋼連盟は、「府省連携 革新的構造材料を用いた新構造システム建築物研究開発プロジェクト(平成16年度～平成20年度)」に参画し、建築構造用高強度780N/mm²鋼材「H-SA700」を実用化しました。東京スカイツリーでは「H-SA700」と同等の特性を持つ780N/mm²級高強度鋼が使用されています。これは従来鋼の約2倍の引張強度を持たせて建物の耐震性を向上させるために開発された革新的な建築構造用高張力鋼です。高強度、高品質の鋼材を使用することでスケルトン・インフィルシステムの考え方と相まって、安全・安心で環境にやさしい長寿命の建築システムを実現します。

● 建築構造用高強度鋼材(780N/mm²)を使用した東京スカイツリー®



● 高強度鋼と一般鋼の応力-歪関係



特徴

- 震度7の地震に対しても主要構造が損傷しない、超耐震性能を実現します。
- 大スパン、大架構のスケルトンが、用途変更や可変対応を容易にします。
- 新しい構造システムが、部材のリサイクル、リユースを可能にします。

耐候性鋼

耐候性鋼は写真に示すように竣工直後にさびむらがある場合でも、年数の経過とともに均一な褐色へと変化します。塗装せずにそのまま使用することができるためメンテナンス費用の低減が可能です。

● 経年変化事例 (裸使用の例)



特徴

- 表面に緻密な保護性さびを生成することで、
- 無塗装により長期供用が可能、防食塗装のLCCが低減します。
 - 保護性さびの落ち着いた色調による意匠性、景観保全に役立ちます。
 - 適用環境に応じた適正な使用技術を整備します。

橋梁のリユース

ある場所で使用されていた橋梁を、別の場所に移設して再利用する「リユース」が全国各地で行われています。中には、リユースにより100年以上にわたって社会に役立っている橋梁もあります。

別用途に転用してリユースされたケース

北海道の夕張川で使われていた1906年建設の鉄道用橋梁が、1000km以上離れた神奈川県横浜みなとみらいまで移設され、遊歩道の橋梁としてリユースされています。



函館本線 夕張川橋梁を横浜みなとみらい汽車道に

分割してリユースされたケース

1916年に建設された8連からなる茨城県の常磐線利根川橋梁が、鉄道用として新潟県新津市の阿賀野川、富山県高岡市の庄川、岐阜県飛騨市の第二高原川の3ヵ所に分割して同じく鉄道用としてリユースされています。



仮設材

鋼材は、さまざまな建設現場でさまざまな形態で仮設用資材として繰り返し使用されています。



仮設鋼矢板、切梁、腹起し

枠組み足場

足場材

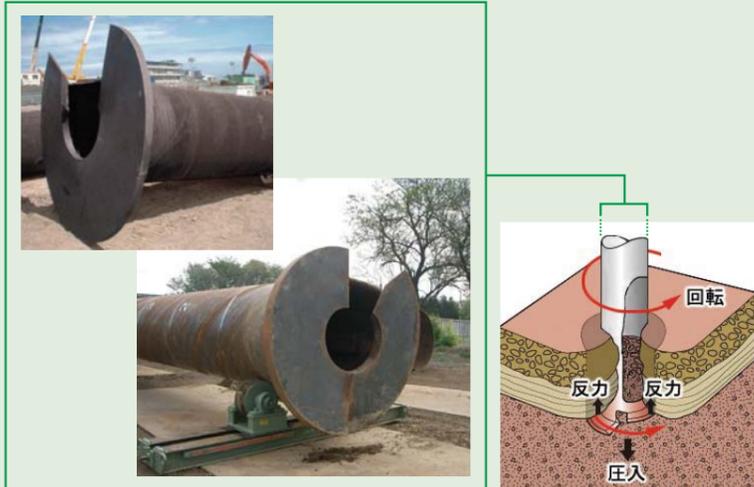


自然環境との調和に貢献する鋼材

建設工事では自然との調和が大切です。ここで紹介する鋼材は環境に及ぼす負荷が小さく、環境保全に貢献しています。また、長い役目を終えた後も、スクラップとして回収され再び有効にリサイクルされます。

低排土鋼管杭工法

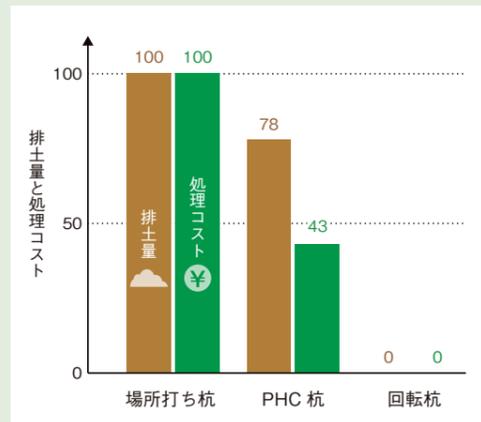
低排土鋼管杭は先端に螺旋状の羽根を溶接した鋼管杭です。施工に当たっては、鋼管を回転圧入しますが、杭の先端に設けた螺旋状の羽根の効果により、低騒音、低震度でスムーズな杭の貫入と低排土施工を実現しました。先端の螺旋羽根は、大きな先端押し込み支持力とアンカー効果による大きな引抜き抵抗力の確保にも効果を発揮しています。



杭先端の例

杭圧入メカニズム

● 排土量、排土処理コストの他工法との比較
～建築基礎での試算例～



※建築基礎での試算例/場所打ち杭を100とした比較

特徴

- 杭先端に羽根/翼を取り付けた鋼管杭を回転しながら地盤に圧入することで、低振動・低騒音・無排土で杭打設が可能です。
- 排土量・排土処理費の不要化が実現できます。
- 逆回転して杭を引抜くことで、再利用が可能です(愛知万博での建築基礎杭等)。

環境配慮型斜面崩落防止工

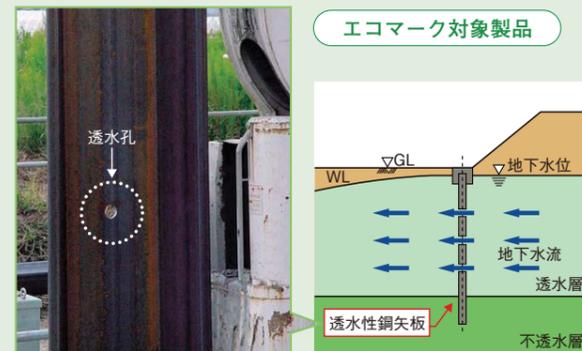


育成基盤

特徴

ワイヤーロープ、支圧板、ロックボルト等で構成された環境配慮型斜面崩落防止工で、植生(草木)をほとんど(エコマーク認定基準: 30%未満)伐採することなく自然斜面を保全できます。

透水性鋼矢板

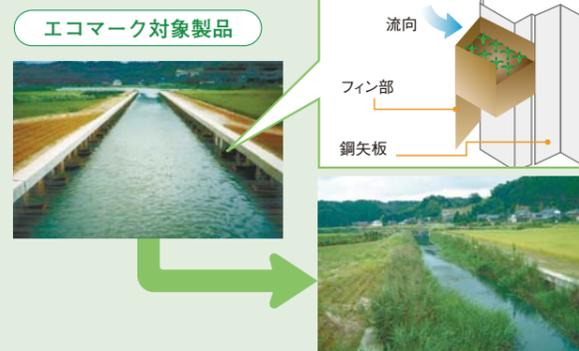


エコマーク対象製品

特徴

透水孔を設けた鋼矢板を用いることで、既存の水循環を妨げることなく生態系や環境に配慮した鋼矢板壁を形成します。開孔率が0.4%(φ55~φ70@1000)程度あれば、元流量の80%以上確保できる解析結果が得られています。

植栽フィンを利用した鋼矢板護岸



エコマーク対象製品

特徴

多年草抽水植物の育成基盤となる土壌を保持した緑化用植栽フィンを、鋼矢板護岸に取り付けることで、その構造的機能を損なうことなく、鋼矢板面を覆い隠す緑化が可能です。

透過型鋼製砂防堰堤



エコマーク対象製品

特徴

自然のありのままを残しながら、自然の猛威をコントロールできます。平常時は土砂の流れを遮ることはなく、河床の低下、海岸線の後退等を防ぎ生態系の保全に効果があります。

不透過型鋼製砂防堰堤



エコマーク対象製品

特徴

現地発生土砂・礫を中詰材として活用(エコマーク認定基準:70%以上)することにより、生態系に影響することなく堰堤を構築できます。廃棄物(残土処分)量を大幅に削減でき、環境負荷を低減します。



その他の環境貢献 (鉄鋼プロセス、鉄鋼スラグの有効活用)

鉄鋼スラグの有効活用

鉄鋼スラグは、鉄鉱石から鋼を作り出す還元・精錬段階で生まれるシリカ(SiO₂)などの鉄以外の成分が、石灰(CaO)と熔融・結合した副産物であり、高炉で鉄鉱石を熔融・還元する際に発生する高炉スラグと、鉄を精錬する製鋼段階で発生する製鋼スラグに大別されます。

高炉スラグ(水砕スラグ)



出所：鉄鋼スラグ協会

高炉スラグ(徐冷)



製鋼スラグ(転炉系)



鉄鋼スラグは、工場生産による安定した品質をベースに、省エネルギー・省資源、CO₂削減を可能にする「地球にやさしい資材」として利用されています。鉄鋼スラグ製品は、高炉セメントやコンクリート用骨材、道路用路盤材、土工・港湾用、地盤改良材、肥料、ロックウールなど社会の基盤作りに欠かせない製品となっており、その多くはグリーン購入法指定調達製品に指定されています。

東京湾アクアライン(高炉セメント)



出所：鉄鋼スラグ協会

鉄鋼スラグ混入路盤材 施工例

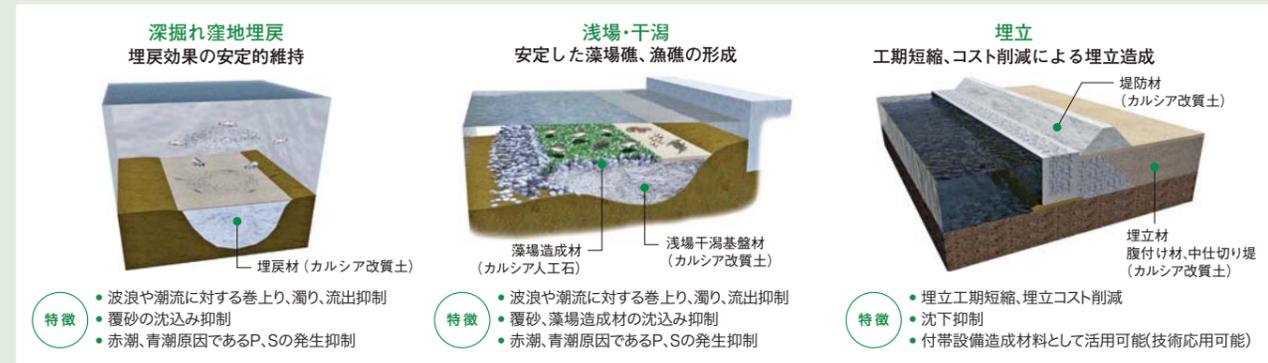


名古屋港飛島ふ頭(土工用地質改良材)



港湾工事や河川工事を行う際は、地盤を強化するため海底や河川底に堆積した土砂や堆積泥(ヘドロ)を事前に除去する浚渫が必要です。除去した堆積泥は浚渫土と呼ばれ産業廃棄物として処理が必要となります。この浚渫土に製鋼スラグを混合することで強度を改善する『カルシア改質技術』に関する研究が進んでいます。施工実績を積み上げ効果の確かさが実証されたため、2016年度から国土交通省による公共事業への採用が開始されました。

● 浚渫土の利活用技術

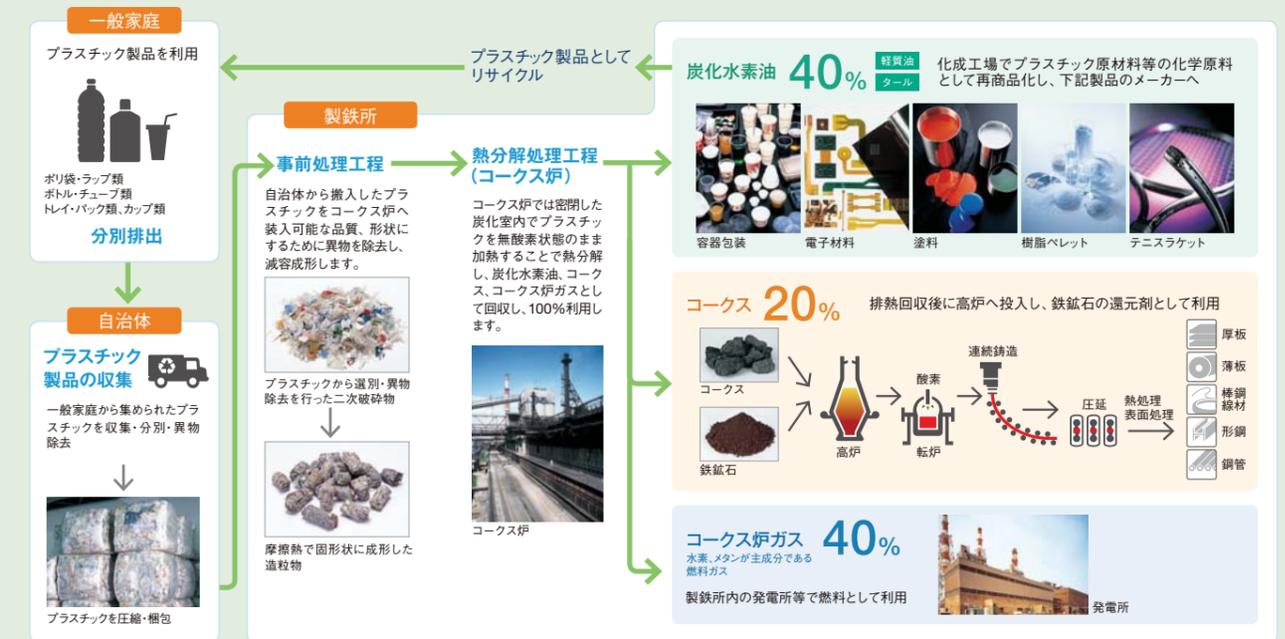


出所：カルシア改質土研究会HP(抜粋)

鉄鋼業はその製品だけでなく、製造工程で発生する副産物の有効活用や製造プロセスの特徴を生かした廃棄物の資源化にも取り組んでいます。ここでは、その代表例として鉄鋼スラグの建設利用と廃プラスチックのケミカルリサイクルについて紹介します。

コークス炉、高炉での廃プラスチックのケミカルリサイクル

海を漂う廃プラスチックは「プラスチック汚染」と言われ、海洋環境に深刻な影響を及ぼしています。人体への影響すら懸念される事態となっています。鉄鋼業では、廃棄物の有効利用を目的に廃プラスチックをコークス炉の原料や高炉の還元剤として使用する技術の開発に取り組んできました。廃プラスチックは炭素(C)と水素(H)でつくられた化合物ですが、コークス炉に装入されると1,100~1,200°Cの高温下で油分(タール、軽油)約40%、コークス約20%、コークス炉ガス約40%の化学原料に転換され、ほぼ全量が原料化できることが確認されました。プラスチックを原料として使用することで、自治体で焼却処理する際に発生するCO₂の削減にもつながっており、地球温暖化防止にも貢献しています。



コークスの品質を低下させずに石炭に混合する廃プラスチックの量を増加させるためには、廃プラスチックを事前に適切な粒形に揃えて、高比重を調整することが重要です。この事前処理技術や操業技術を改善すれば、処理量をさらに増加できる可能性があります。コークス炉での廃プラスチック処理は2000年から実機適用を開始し、着実に量を拡大しています。今後さらなる社会貢献が期待されています。

