



鉄ができるまで

Making
of
iron &
steel

鉄ができるまで

CONTENTS

1 鉄の工場へようこそ…4

- 鉄をつくる工場の特徴 …… 5
- 海辺にある一貫製鉄所 …… 6
- 製鉄所はひとつの都市 …… 7



2 海から製鉄所へ…8

- 鉄鉱石の大部分は粉鉱石 …… 9
- コークスの役目と副産物 …… 10
- 高炉の中の石灰石、微粉炭 …… 12
- 鉄スクラップは貴重な鉄資源 …… 12
- 原料のための船と港 …… 13

3 高炉の中で…14

- 鉄が豪雨のように降る …… 15
- 操業の知恵と技術開発 …… 16
- "生きもの"を制御する …… 17
- 重油から微粉炭へ転換 …… 17
- 高炉から次はどこへ? …… 17
- 未来につながる鉄づくり …… 19



4 鋼が生まれる…20

- 転炉による精錬とは? …… 21
- 上から下から上下から …… 21
- 電気の熱を使う精錬も …… 23
- よりピュアに・柔軟に …… 24
- "滝と氷河"の連続 casting …… 24
- 連続 casting で板をつくる夢 …… 25



5 鋼材への変身…26

- 熱間圧延と冷間圧延 …… 27
- 板の性質が決まる工程 …… 28
- 複雑な断面のつくり方 …… 30
- 鋼管のいろいろな製法 …… 31
- 人目につかない強力鋼材 …… 32

Making
of
iron &
steel



9 地球のために……48

CO ₂ の削減に向かって……	49
大気汚染物質への対策……	49
ばいじん・粉じん・廃棄物……	50
水は90%以上リサイクル……	50
よりよい環境を創造する……	51



8 省エネと創エネ……44

三種類の省エネルギー……	45
副生ガスをいかす製鉄所……	46
新しい省エネへの期待……	47

7 ユニークな鉄たち……40

ギヤに軸にバネに活躍……	41
ハイテクとファッション……	42
広がる高張力鋼の世界……	43



6 錆とたたかう……34

とけた亜鉛に浸すめっき……	35
合金だってめっきできる……	36
片面だけのめっき技術……	37
錆で錆を防止する厚板……	38
ステンレスの自然治癒力……	38
色つきのステンレスも……	39



あなたは鉄を知っていますか？

鉄を知らない人は、いない。現代社会を構築しているハードの多くは鉄によって形づくられ、私たちの日常生活も、鉄の大きな恩恵を受けている。

あまりにも身近な親しい物質であるだけにあらためて鉄とは何か、考えるまでもないと思うかもしれないが、その反面、案外基本的なことが知られていないのも、鉄である。

まず、鉄と鋼^{はがね}とは、どちらがうのだろうか。鉄橋、鉄道、鉄塔、鉄骨。ビールやジュースのスチール缶、ナイフ、フォーク、ゼムクリップ。鉄で出来ているこれらの品物は、厳密にいうと鋼の製品だ。

鉄はふつう、ごくわずかながら炭素、けい素、マンガン、りん、硫黄を含んでいる。この五つの元素のうち、鉄の性質を最も大きく左右するのは炭素で、その量によって鉄はきわめて敏感に、硬くなったり軟かくなったりする。炭素が1.7%以上の鉄を銑鉄と呼び、1.7%未満のものを鋼というが、社会で使われている鉄の大多数は自由自在に加工でき、しかも強靱な鋼である。

その鋼をつくる製鉄の世界で、最も問題となるのはppm*だということも、意外な事実ではないだろうか。

鋼は、炭素に限らず他の元素によって微妙に特性を変えるため、元素の種類と含有量を制御すると、さまざまな品質をつくり出すことができる。その含有量の制御の水準が、現在ではppmのオーダーなのだ。そう言えば鋼から生産される鋼材も、ミクロン**のレベルで平坦度や厚さの精度を問題にしている。かつてはトンのイメージが支配していた製鉄は、すでに、がらりと様変わりしてしまった。

このようなデリケートな生産を可能にし、また、複雑化する注文に的確に対応するためには、コンピュータの力を活用しなければならない。日本の鉄鋼業は早くからこの点に着目し、コンピュータ化をすすめてきた。産業界の中で、最も先進的なコンピュータ・ユーザーは鉄鋼業で、現代の鉄はコンピュータでつくられていることも、理解してほしい。

最近では、さまざまな新しい素材が登場して、素材の多様化時代を迎えている。しかし、鉄は豊かな資源に恵まれ、機能性と経済性を最もよく兼ね備えた材料である。

ではこれから、その鉄がいまどのようにしてつくられているか、どのような鉄が生まれているか、製鉄の世界へご案内しよう。

きっと新しい発見が、あなたを待ち受けているだろう。

*全量に対して100万分のいくつの割合かを表わす単位

**100万分の1mを表わす長さの単位

1

鉄の工場へようこそ



鉄をつくる工場の特徴

海辺にある一貫製鉄所

製鉄所はひとつの都市

鉄の工場というと、最初にどんなイメージが浮かぶだろうか。塔のように高い高炉(溶鉱炉)がそびえる製鉄所。これが、多くの人の第一印象にちがいない。

しかし、鉄をつくる工場には、いろいろなものがある。(1)高炉で鉄鉱石から鉄鉄をつくり、それを鋼にし、板などの鋼材をつくる鉄鋼一貫製鉄所。(2)高炉を持たず、鉄スクラップを電気炉で溶かして鋼をつくり、鋼材を生産する電炉工場。(3)高炉も電気炉も持たず、半製品の供給を受け、圧延設備で鋼材をつくる単純圧延工場(単圧工場)。大きく分けるとこの三種類が“鉄をつくる工場”である。もちろん、鉄を加工してさまざまな製品を製造するメーカーも多数あるのは、いうまでもない。

鉄をつくる工場の特徴

一貫製鉄所の特徴はいくつか挙げることができるが、何よりも、製鉄所全体として合理的、経済的な生産体制がとられていることだろう。たとえば、高炉でつくられた溶けた鉄鉄は冷やさずにそのまま次の製鋼工程の転炉へ装入することができるので、失われる熱が少なく、エネルギーもいい。高炉をはじめ転炉、コークス炉などから発生するガスは、残らず所内のエネルギー源として活用される。鉄鉄や鋼を生産する時に分離された鉄鋼スラグも、セメントやコンクリート骨材などの用途にいかされる。鋼から多様な鋼材をつくる工場が所内に配置されているので、輸送コストの面でも有利である。

これに対して電炉工場や単圧工場の特徴は、設備などの資本負担が比較的小さいこと、作業面で迅速な切り替えがしやすく、多品種少量生産に適していることなどが挙げられる。鉄をつくる業界には、年間生産量1,000万トンを超す一貫製鉄所とともに、年産数十万トン、数万トンの工場がそれぞれ数多く共存している。

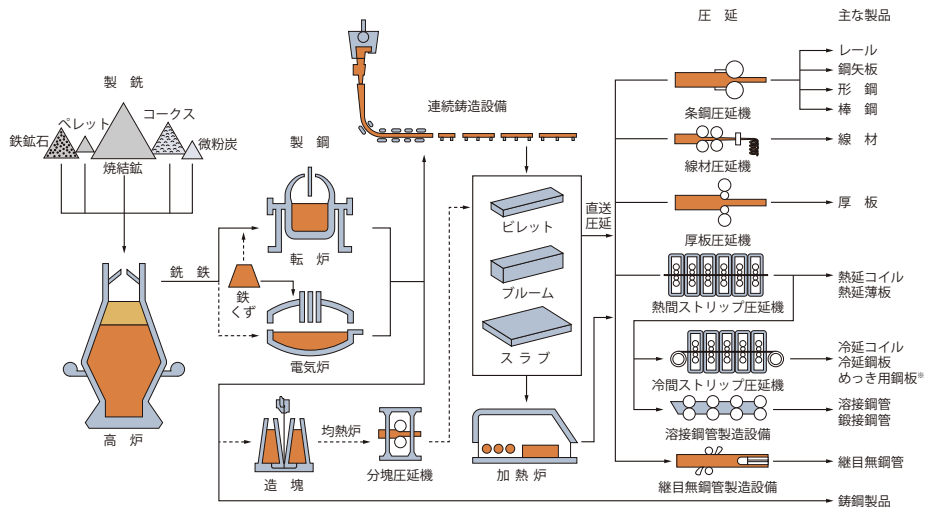
粗鋼年産能力1,000万トン製鉄所の
主要設備一覧

製 鉄	
日産27,000t	
高炉4基	内容積2,500~3,000m ³ (2基) 4,000~5,000m ³ (2基)
焼 結 炉	日産30,000~40,000t(3基)
コークス炉	日産12,000t(5基)

製 鋼	
250t/ch	上底吹転炉(3基)
300t/ch	上底吹転炉(2基)
年産1,000~1,150万t	
●連続铸造機	
スラブ連続2基	530万t(年産能力以下同じ)
ブルーム連続1基	120万t
●分塊圧延機	
スラブ用1基	600万t
ビレット用3基	290万t

製品 圧 延	
熱間ストリップ圧延機1基	600万t
冷間ストリップ圧延機1基	430万t
厚板圧延機1基	210万t
大形形鋼圧延機1基	110万t
線材圧延機1基	100万t
表面処理設備(溶融亜鉛めっき、電気亜鉛めっき、電気ブリキライン等)	140万t
鋼管圧延機(UO鋼管、スパイラル鋼管、電鍍鋼管、鍛接鋼管設備等)	115万t
その他	

鉄鋼の製造工程



※表面処理設備をへて電気ブリキ、電気亜鉛めっき鋼板、溶融亜鉛めっき鋼板などの製品に



海辺の一貫製鉄所

海辺にある一貫製鉄所

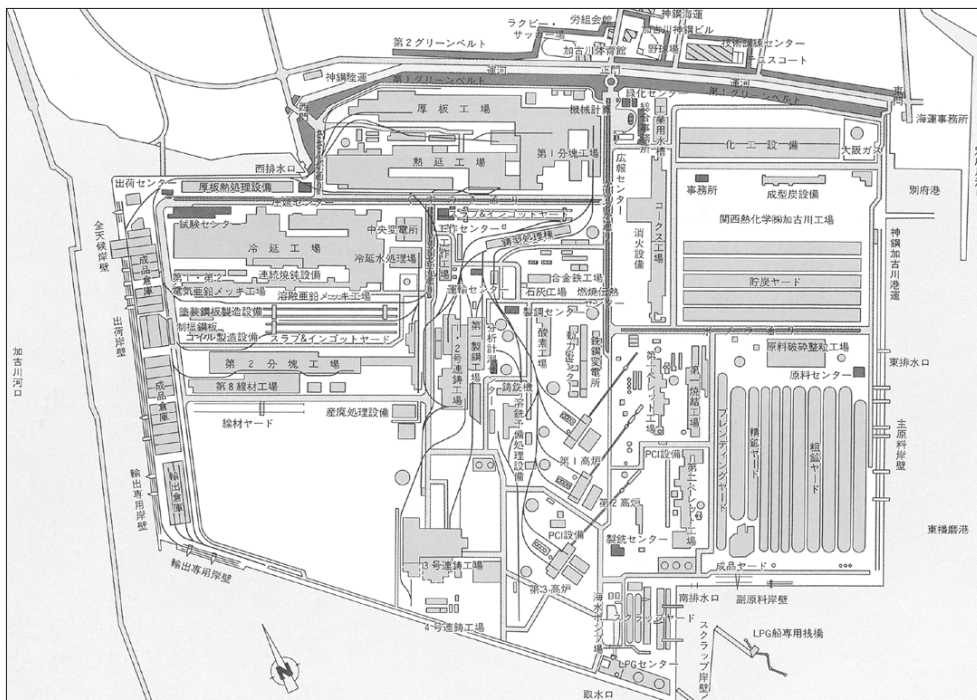
一貫製鉄所の規模は、粗鋼(圧延・鍛造の素材となる鋼および铸鋼)の年間生産量で語られる。現在、日本にある一貫製鉄所の大部分が数百万トンの能力を持ち、最新鋭の製鉄所の中には1,000万トンを超えるものもある。

日本の一貫製鉄所が海外の一貫製鉄所と大きく異なるのは、日本の場合、大部分が、海を埋め立てた臨海地域に立地していることだ。もともと鉱物資源に恵まれない日本は、製鉄原料の鉄鉱石や石炭のほとんどを海外に依存し、世界中から原料を購入している。そのため、一貫製鉄所は海に面した広大な土地を確保し、港を開き、原料ヤード(置場)を設け、つくった製品のほとんどを再び港から国内の消費地や海外へ送り出しているのである。

では、その一貫製鉄所の広さはどのくらいあって、そこにはどのくらいの従業員が働いているのだろうか。

初めて訪れた人は、製鉄所の敷地内に路線バスが走り、交差点には信号が点滅しているのを見てびっくりする。年産600万～1,000万トン級の製鉄所は、およそ700～1,700万²⁾(東京の日比谷公園は17万m²)の面積を持ち、その中に各種の工場やヤードや事務所などを配置しているから、それらの施設を結ぶ連絡バスが定時運行されているのは当然なのだ。

この広大な敷地の中で働く人が少ないことも、訪問者を驚かせる。かつて大製鉄所の従業員数は1万人内外が標準だったが、生産設備・工程の大型化、自動化、連続化や、コンピュータによる総合管理システムの導入によって、今では2,500～3,500人で運営される製鉄所も珍しくなっている。



製鉄所配置図

製鉄所はひとつの都市

一貫製鉄所の仕事は、原料の事前処理に始まり、銑鉄をつくる製銑、銑鉄から鋼をつくる製鋼、鋼から鋼材をつくる圧延、鋼材にめっきなどをおこなう表面処理工程などが連なっている。それぞれの部門にどのような設備があり、どのような作業がおこなわれているかは、別表(主要設備一覧)と製鉄所の平面図、そして各論のページを参照することにして、こうした生産活動を支える付帯設備について、紹介することにしよう。

よく、製鉄業は輸送業だとも言われる。大量の原料を受け入れる港湾には、クレーンやアンローダーなどの荷役機械が働いている。工場と工場の間は鉄道で結ばれ、路上を町の一般道路では通行できない巨大な輸送車が走っている。製品を納める大倉庫が並び、その岸壁から製品を積み出す専用船が出航していく。

このように輸送関係だけを見ても膨大な設備が活動しているが、水やエネルギー関連の施設もまた、数多い。

一貫製鉄所は設備や製品の冷却に大量の水を使うが、その水を供給し、回収し、浄化して再利用するための大がかりな設備を持っている。エネルギー面では、発生ガスを回収したり配給するパイプライン、ガスホルダー、自家発電所、変電所があり、酸素発生設備や副産物の精製工場などが稼働している。

製鉄所は、生産し、輸送し、生活するための機能を合理的に配置した、ひとつの都市と言ってもいいだろう。

都市である製鉄所には、豊かな緑も必要だ。製鉄所では道路沿いに並木を植え、緑地を設けて、美しい環境をつくる努力を続けている。その緑の印象も、現代の製鉄所のイメージとなっている。

2

海から製鉄所へ



主原料岸壁

- 鉄鉱石の大部分は粉鉱石
- コークスの役目と副産物
- 高炉の中の石灰石、微粉炭
- 鉄スクラップは貴重な鉄資源
- 原料のための船と港

日本の一貫製鉄所は海に面している。製鉄所の岸壁につづく広大なヤードには、海外から運ばれてきた各種の原料が、山をなして整然と連なっている。その原料とはどんなものかを見ることにしよう。

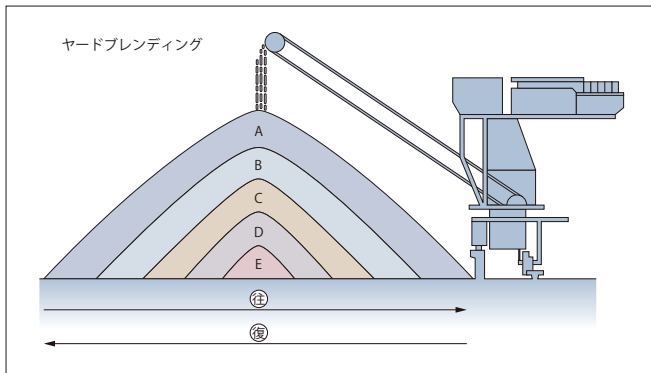
鉄の原料。それはむろん鉄鉱石である。だが、鉄鉱石だけでは、鉄はつくれない。鉄鉱石を溶かして鉄分を取り出す高炉には、コークスや石灰石、石炭と一緒に入れる必要がある。また、鋼をつくる製鋼工場の炉には、鉄スクラップやフェロマンガ、フェロシリコンなどいろいろな副原料を装入しなければならない。

そこで、ここでは鉄鉱石、コークス、石灰石、微粉炭、製鋼原料について、それぞれのプロフィールを描いてみたい。

鉄鉱石の大部分は粉鉱石

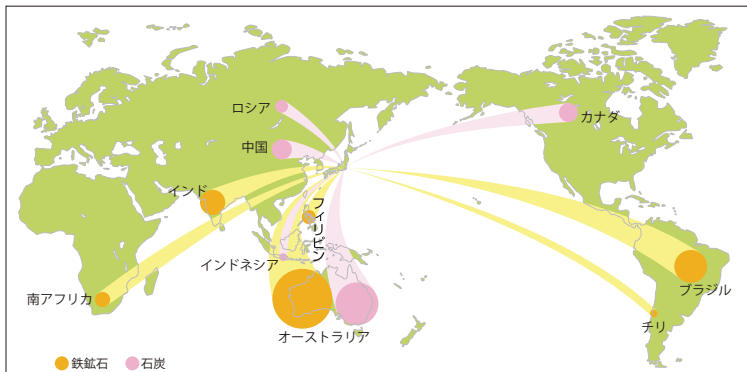
鉄鉱石にはさまざまな種類がある。主なものは赤鉄鉱、磁鉄鉱、褐鉄鉱などで、日本で実際に使われているのは鉄分の含有率60%前後のものがほとんどである。これらの鉄鉱石はほぼ全量を海外に依存していて、その大部分がオーストラリア、ブラジル、インドから輸入されている。

鉄鉱石ということばから連想されるのは、おそらくゴロゴロした石の姿だろう。ところがそのような塊鉱石はむしろ少数派で、5mm以下の粉状になった鉱石が圧倒的に多い。この粉鉱石の扱いはなかなかむずかしく、高炉へ入れる前にいくつかの事前処理をしなければならない。まず、産地も性質もまちまちな粉鉱石の配合をそろえて、なるべく同じようなブレンド



ヤードブレンディング

走行するスタッククレーンは、鉄鉱石を落としながらヤードを往復し、鉄鉱石の長い山脈をつくっていく。この時スタッククレーンに送り込む鉄鉱石の種類(たとえばA～E)を、時間を決めて切り替えていくと、山脈のどこの断面をとっても図のような同じ配合になる。そこで今度は、リクレーマという機械を、図下の矢印のように往復させて断面をかきとれば、均一なブレンドの鉄鉱石を得ることができる。



わが国の主要原料輸入ソース



原料ヤード

の鉱石を高炉へ装入するために、ヤードでは異なった種類の粉鉱石を積み重ねて、横に長い山脈をつくる。これをヤードブレンドिंगというが、この山脈を端から切り出していけば、金太郎アメのように、どこを切ってもほぼ同じ配合の粉鉱石が取り出せるのである。

こうして切り出した粉鉱石を、高炉に入れることは、まだできない。というのは、粉鉱石をそのまま装入すると、高炉は目づまりを起こし、炉内を下から上へ流れる還元ガスの流れを阻害してしまう。そこで、粉鉱石に粉コークスと5～15%の石灰石を混ぜ、一定の大きさに焼き固める。この工程を焼結という。

粉鉱石の固め方には、もう1つ、ペレットにする方法もある。ペレットは微粉鉱石に水と粘結剤を加えて直径10～30mmの球状にし、焼き固めたものである。

焼結鉱(自溶性焼結鉱)は、単に粉鉱石を塊状にするだけでなく、鉄鉄の品質を高め、高炉の生産性をアップさせることが知られている。近年、日本の高炉の操業効率はずいぶん向上したが、そこにこのような事前処理技術の進歩が貢献していることは、いうまでもない。



焼結機



ペレット



焼結鉱

コークスの役目と副産物

「高炉」の項でも説明するが、コークスは高炉製鉄にとって、なくてはならない存在だ。これは、三つの重要な役割を担っている。

その第一は、鉄鉱石(鉄分と酸素が化合した酸化物)を炭素で還元して鉄分を取り出す役割。第二は、高炉の中で還元ガスや溶けた鉄の通路を確保する役割。第三は、鉄鉱石や石灰石を溶かす熱源としての役割である。この第二の役割からも推測できるように、高炉用コークスは簡単につぶれたり崩れたりしない硬さと強さを持ったものでなければならない。しかも粒度が適当な大きさにそろっていて、灰分・水分・硫黄分などの少ないことが条件だ。このような性質のコークスをつくるには、粘結性に富む強粘結炭を用いる必要がある。石炭は現在

日本では産出していないので、全量海外から輸入している。石炭の輸入先はオーストラリア、中国、カナダの三国が全体の85～90%程度を占めている。

コークスの製造は、製鉄所内のコークス炉でおこなわれる。洗炭し、銘柄別に積まれた石炭を粉砕・整粒した上で、強粘結炭に多少の弱粘結炭を配合し、コークス炉に装入する。この炉で十数時間かけて蒸し焼きにすると、コークスの出来上がりである。従来は、焼き上がったコークスに水をかけて消火するのが一般的で、その時、もうもうと上がる水蒸気は製鉄所の活気を示す光景の一つだったが、最近では水を使わずにチッ素やアルゴンなどの不活性ガスで消火、冷却し、不活性ガスの熱を回収して発電などに利用するコークス乾式消火設備(CDQ Coke Dry Quenching)が活躍するようになってきている。

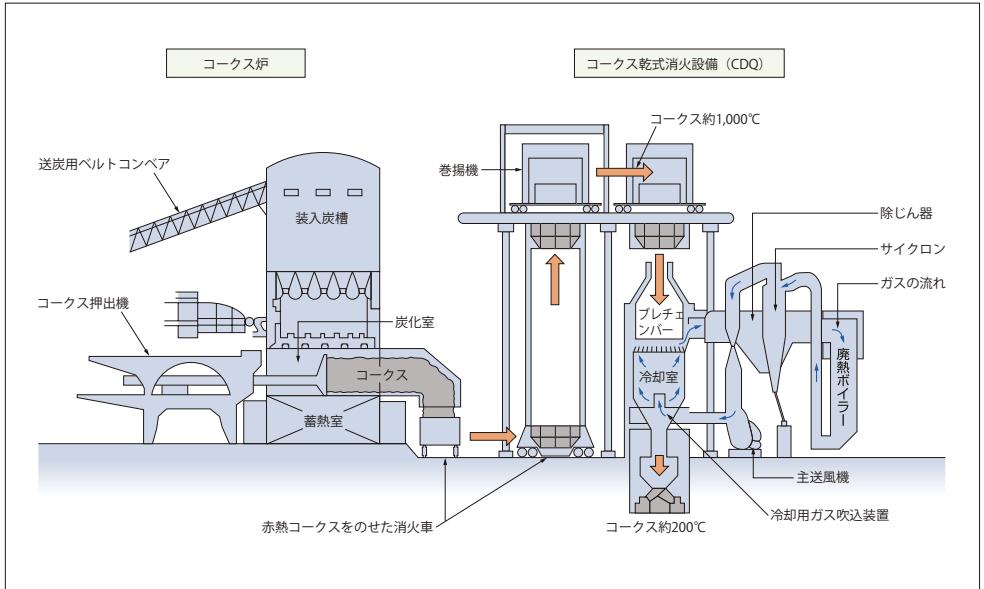
コークスには、いくつかの重要な副産物がある。石炭を蒸し焼きにする時、コークス炉から大量のタール油、ピッチ、ガスなどが発生するが、これらを原料にさまざまな化学製品がつくられているのである。たとえばタール油からはナフタリンや染料、ピッチからは炭素繊維、ガスからは純水素やC₁化成品。一貫製鉄メーカーの多くは、コークスを起点にこのような製品をつくり出す化学メーカーとしての顔も持っているのである。



コークス炉



コークス



コークス炉とコークス乾式消火設備

高炉の中の石灰石、微粉炭

石灰石の名前は、すでに焼結鉱の説明の中に登場した。粉鉱石と混合して焼き固められる——というくだりである。高炉原料としての石灰石は、直接装入されることはなく、すべてこのように焼結鉱に含まれる形で高炉に入っていく。その役割は、鉄鉱石の鉄以外の成分と化合して高炉スラグをつくることだ。いたって地味な脇役ではあるが、鉄づくりにはなくてはならない存在だといえよう。(3 高炉の中で 参照)

微粉炭については、これも「高炉の中で」でくわしくのべるが、高炉では還元材として微粉化した石炭(非微粘結炭)を炉底近くの羽口から熱風とともに吹き込んでいる。石油ショック以前は重油が用いられていたが、現在日本の高炉の全てで微粉炭吹き込みが行なわれており、鉄鋼業における全石炭輸入量の6割程度を占めるまでに増加している。

鉄スクラップは貴重な鉄資源

次は、鋼をつくる製鋼の原料について説明しよう。製鋼には転炉と電気炉が用いられ、主原料は高炉で鉄鉱石から生まれる銑鉄と鉄スクラップである。ただし転炉は銑鉄がメインで鉄スクラップは少量なのに対し、電気炉は反対で、鉄スクラップが主、銑鉄はごくわずかに配合するか、あるいはまったく使用しないことも多い。

銑鉄については「高炉」の項にゆずって、ここでは鉄スクラップをクローズアップしよう。

わが国の電気炉製鋼の割合は、粗鋼生産量の25～30%で推移しており、鉄スクラップは鉄の資源として非常に大きな地位を占めている。発生源別には、自動車のスクラップ、空缶、シャーリングの断裁スクラップのように市中で発生するものと、製鉄所内で発生するものがあるが、電炉メーカー(電気炉によって鋼をつくるメーカー)は大部分、国内市中からの回収スクラップに依存し、一方、一貫製鉄メーカーの製鋼工場では主に自社内の発生スクラップを使っている。

鉄スクラップの活用は、資源のリサイクルという面でたいへん好ましいが、まったく問題がないわけではない。鉄鋼製品が高級化するにつれて、特別な性質を与えるためにさまざまな微量元素を添加したり、素材表面をめっきしたりしている。このような特殊な成分の鉄をどう分別し、新しい鉄としてどうかすかが、これからの製鋼にとって大きな課題となっている。

製鋼では主原料のほかに、不純物を除いたり、強度・硬度・靱性を向上させたり、耐熱性・耐食性を高めたりするために、さまざまな副原料を鋼の中に投入する。それがフェロアロイ（合金鉄）といわれる、シリコン、マンガン、クロムなどと鉄との合金で、きわめて多くの種類が目的に応じて使い分けられている。このほか、ほたる石、生石灰なども、すぐれた鋼をつくるための材料として欠かすことはできない。

原料のための船と港

製鉄の各種原料の多くが、海外からの輸入品であることから、その輸送手段についてふれておきたい。

世界中から、品質の良い、安定した価格の原料を大量に買っている日本では、多くの鉱石船、石炭船、兼用船が活躍している。

その輸送距離は世界的にみても群を抜いて長い、これを克服するために、大量輸送のできる10万～30万トン級の大型船が次々に就航している。こうした大型船を受け入れる製鉄所の港湾設備も、大型化、自動化を積極的に進め、総合的に原料コストを引き下げる努力が重ねられている。



鉱石船

高炉の中で



高炉

- 鉄が豪雨のように降る
- 操業の知恵と技術開発
- "生きもの"を制御する
- 重油から微粉炭へ転換
- 高炉から次はどこへ?
- 未来につながる鉄づくり

鉄鉱石という「石」から、鉄鉄という「鉄」をつくり出す炉。

それが、高炉(溶鉱炉)である。見上げるほど高くそびえ立っているの、一貫製鉄所のシンボルとして知られるこの炉は、大型化が著しく進展し、いまの日本では高さ100m以上、内容積4,000m³以上、一日におよそ1万トンもの鉄鉄を生み出す、世界最大級の設備が主流になっている。

鉄が豪雨のように降る

高炉の本体は、やぐらのような鉄骨に周囲を支えられているため、よく見えないが、形は細長いトックリ型で、そのてっぺん(炉頂)から原料が装入される。炉頂に向かって延々と斜めに立ち上がっているのが、鉄鉱石、コークスなどの原料を運び上げるコンベアである。これらの原料は、炉に入ったあと、どのようにして鉄鉄に変わっていくのだろうか？

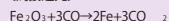
主原料の鉄鉱石には、鉄分が約60%含まれている。だが鉄分は酸素としっかり化合しているの、それを取り出すには、当然酸素を除去(還元)する必要がある。そのための還元材として使われるのがコークスで、高炉の鉄づくりはコークスなしには考えられない。

高炉の内部を描いた模式図を見てみよう。炉の真ん中に、炉心コークスと呼ばれるコークスの山がある。そしてその周囲には、てっぺんから装入された鉄鉱石とコークスとが、層をな

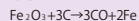
鉄鉱石の還元

鉄と酸素の化合物である鉄鉱石の還元には水素、一酸化炭素などのガスによって行なう間接還元と、コークス、石炭など固体の還元材による直接還元がある。間接還元が発熱反応であるのに対して、直接還元は吸熱反応であり、高炉の場合、炉の上部では主として間接還元が行なわれ、下部では主として直接還元が行なわれる。通常の高炉操業では間接還元の占める率が60～70%、直接還元の割合が30～40%である。両者の化学反応の一例を示すとつぎのとおり。

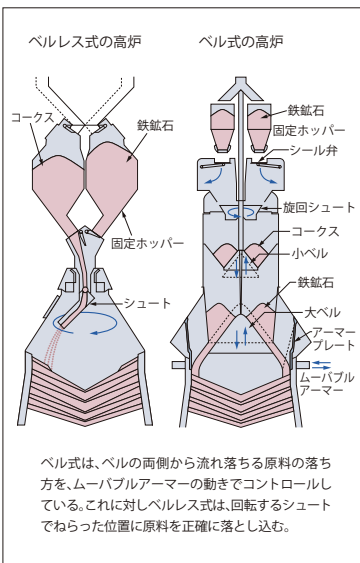
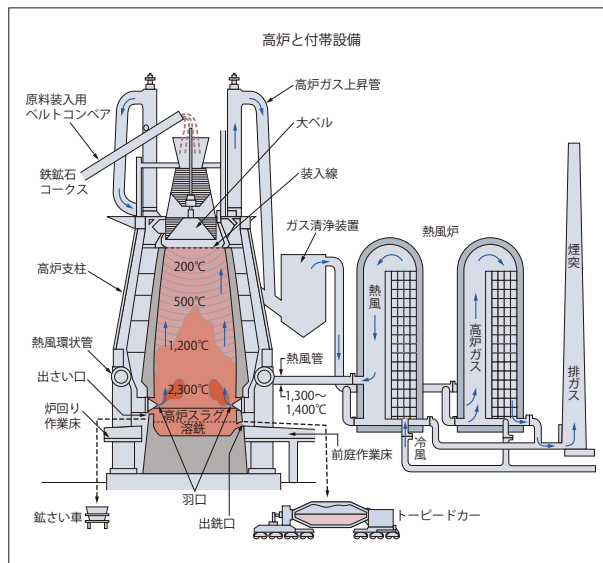
〔間接還元〕



〔直接還元〕



高炉 空高くそびえる高炉は、鉄鋼一貫製鉄所のシンボル。上部から原料を装入し、下部から約1,200℃の熱風を吹き込み、鉄鉱石を還元・溶解させ、鉄鉄をつくる。



して交互に積み重なっている。これらのコークスは、炉の下から吹き込まれる熱風や酸素と反応して一酸化炭素や水素などのガスを発生する。この熱いガスは激しい"上昇気流"となって炉内を吹き上げる。鉄鉱石を溶かしながら酸素を奪い取っていく(間接還元)。溶けた鉄は炉の中を豪雨のように流れ落ち、コークスの炭素と接触してさらに還元(直接還元)され、炉底の湯溜り部にたまる。豪雨と言ったのは、誇張ではなく、日産1万トン級の高炉では毎時500mm～700mmというものすごい勢いで、溶けた鉄が降り続けているからである。

灼熱する原料と、ガスの奔流と、止むことを知らない鉄の雨と。高炉の中は、固相・気相・液相が入り乱れた、想像を絶するダイナミックな世界なのだ。

操業の知恵と技術開発

このような高炉の働きは、近年、多くの技術開発によってめざましく向上してきた。

炉内の還元反応をスムーズにすすめるには、まず鉄鉱石とコークスの積み重ね方を精妙にコントロールしなければならない。たとえば鉄鉱石は炉の周辺部に厚く、一方、コークスは炉の中心部に厚く入れたほうがいいとされているが、そのためには傾斜角を自由に変えられる回転シュートを使い、ねらった位置へ、ねらった厚さに装入する、きめの細かな技術も実用化されている。

吹き込む熱風の圧力を高くして炉内を高圧にし、還元ガスと原料をじっくり接触させる高圧操業も、一般化した技術である。接触時間が長くなれば、それだけコークスがよく反応し、コークス比(鉄鉄1トンをつくるのに使うコークスの重量)を下げるができるし、その分、鉄鉱石の占める割合がふえるから、高炉の容積当たりの出鉄量(つくり出す鉄鉄の量)も増えるという好結果が生まれる。

高圧の炉内を吹き飛ばした還元ガスは、炉頂に達しても常圧の2～3倍の圧力を持っている。そこで、これをタービン発電機へ導いて発電する炉頂発電システム(TRT)が実用化されているのも、操業技術の発展が生んだ効果の一つだろう。(8) 省エネと創エネ 参照)

直接還元製鉄の話

高炉製鉄法は、鉄鉱石を高炉に入れて炭素で鉄中の酸素を取り除き4.5%程度の炭素を含んだ溶融鉄をつくる。次に転炉で鉄鉄に入った炭素等を酸素をつかって取り除いて鋼をつくらしている。それとは別に、鉄鉱石から溶融鉄鉄を経ないで、銅をつくる、直接製鉄法という技術がある。鉄鉱石を還元炉に入れ、天然ガス(水素、一酸化炭素)などを用いて鉄(酸化鉄)の酸素を90%以上除去し、海綿鉄と呼ばれる中間素材をつくる。それを電気炉で最終的に精錬して残りの酸素や不純物を取り除き、鋼にする。この製法は、天然ガスなどの還元材が非常に安価でないと経済的に成り立たないという問題点がある。

高炉で鉄鉄1トンをつくるのに要する原料

品 目	数 量
鉄 鉱 石	338kg
焼 結 鉱	1,165kg
ベ レ ッ ト	99kg
コークス	382kg
石灰(微粉炭)	120kg
電 力	67.2kWh

"生きもの"を制御する

だが、高炉操業の進歩と言えば、何よりもセンサーとコンピュータの存在にふれないわけにはいかない。

高圧・高温の高炉内を肉眼で見ることは、不可能だ。このため昔は、ベテランのオペレータが長年の経験とカンで炉内の状況を推測し、原料の入れ方や熱風の吹き込み方を調節していた。それでも"生きもの"である高炉は、しばしば体調をくずして、ガスが流れなくなる・鉄鉱石が還元されないまま下まで落ちてくる、といったトラブルが発生した。こうしたトラブルを防ぎ、安定した操業を効率よくつづけるために導入されたのが、数々のセンサーと、その情報を処理するコンピュータである。

現在の高炉には、1,000点を越す数のセンサーが炉体全体に取りつけられている。あるものは炉壁の温度を測り、またあるものは還元ガスの温度分布や圧力、成分を測っている。装入した原料の表面プロフィールを見ているものもあれば、熱風の湿分を測定しているものもある。これらの情報(状態因子)はコンピュータによって集中管理され、高炉が今どんな炉況にあるか、それに応じてどんな操業をすべきかといった情報や指針としてフィードバックされてくる。

高炉は、こうしてある程度自動的に制御されるようになったが、さらに進んで、ベテラン・オペレータの経験をコンピュータの判断に導入するエキスパートシステムの手法も、各社で盛んに取り入れられている。

重油から微粉炭へ転換

日本の高炉は、かつては熱風や酸素といっしょに重油を吹き込むことで炉内の反応を促進させていたが、二度の石油ショックを転機に、高炉への重油吹き込みの代わりに微粉炭の吹き込み(PCI Pulverized Coal Injection)がおこなわれている。わが国の高炉の微粉炭吹き込み量は世界最高のレベルにある。

高炉には、出銑比といって、銑鉄の日産トン数をその高炉の内容積で割った指数がある。生産効率を表わすこの数値は、第一次石油ショックが到来した1973年の2.04をピークに、鉄鋼需要に連動して十数年間下降線をたどっていたが、その後回復し、近年過去最高の水準となっている。これは1973年当時の重油吹き込みに対して、微粉炭吹き込みがほぼ匹敵する効果を挙げてきた表われと考えられている。微粉炭吹き込みにより、非微粘結炭等の安価な石炭の利用が可能になるという価格のメリットや安定供給、さらにはコークス使用量の減少により省エネルギーがはかられる。

高炉から次はどこへ？

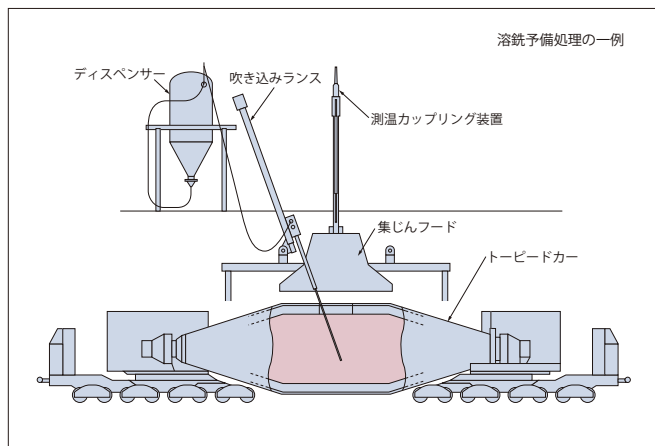
以上のようなさまざまな反応や技術によって、銑鉄は生まれる。

大型高炉の底部には4〜5カ所の出銑口があって、火の河のような銑鉄がほとぼしっているが、高炉から出てくるのは銑鉄ばかりではない。高炉スラグも、火の色の河となって流れ出してくる。

鉄鉱石の中には鉄分のほかに、脈石という鉄以外の成分が含まれている。この脈石部分も高炉の中で溶けるため、鉄分に混り込まないように石灰石と化合させてしまう必要がある。こうしてできたものが高炉スラグで、高炉原料の一つ、石灰石は、ここで役に立つのである。高炉スラグは比重が鉄より軽く、高炉の湯溜り部にたまと、溶けた鉄(溶銑)の上に層をなすので、この比重差を利用して鉄と分離させ、出さい口から高炉の外へ排出する。こうした高炉スラグの利用価値は高く、これを微粉砕してセメントに配合したものが、強い化学抵抗性・

水密性を発揮する「高炉セメント」で重要な建設材料になっているし、また、道路用路盤材、コンクリート骨材などの用途に大いに活用されている。

さて、肝心の鉄銑は、高炉から出たあと、どこへ行くのだろうか。ほとんどは溶けたまま、ラグビーボールのような形の貨車(トービードカー)等に積まれて次の製鋼工場へ運ばれて行くが、最近は製鋼工場へ行く前に溶銑予備処理と言って、鉄銑に含まれているけい素、りんや硫黄を除去する工程を経由するようになった。これは、よりクリーンな鋼をつくるための重要なキ―テクノロジーとして普及している。

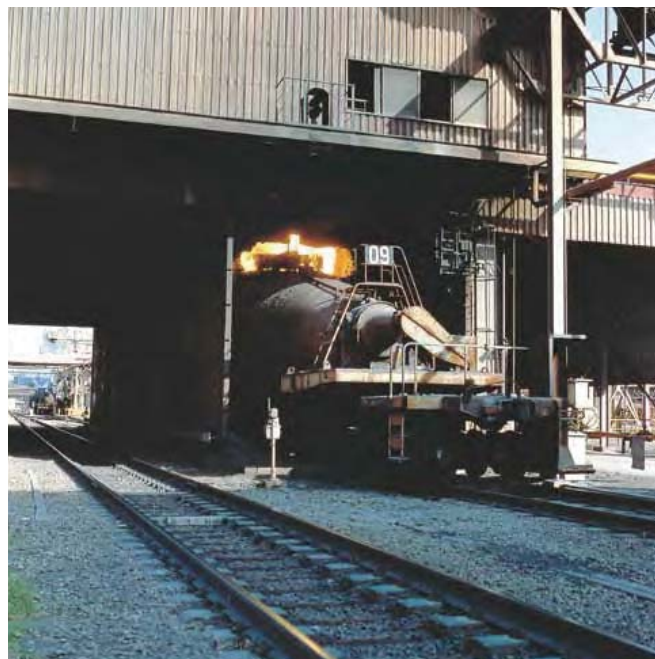


鉄銑の種類と用途

鉄銑は、用途によって鋼の原料になる製鋼用鉄銑と、鋳物の原料となる鋳物鉄銑とに分かれる。成分によっても普通鉄銑と、特殊鉄銑(リンの低い低リン鉄銑、銅の少ない低銅鉄銑、高マンガン鉄銑など)に区別されるが、用途としては製鋼用、成分的には普通鉄銑が圧倒的である。

鋳物用の鉄銑は、鋳鉄機で1個が15~20kgのなまこ(海鼠)型の塊に固めるのでナマコ鉄とも呼ばれる。これは鋳造メーカーで、コークス、石灰などとともにキューボラという炉に装入され、溶かして鋳型で成形される。鋳鉄製品は、水道管、自動車のエンジン、機械部品、鉄びんなど家庭用品に広く活用されている。

ふつうの鋳物は鋼にくらべると伸びがなく、もろいが、黒鉛を含有させてマグネシウム、セリウムなどによって球状化し、鋼に近い強靱な性質を与えた鋳物、球状黒鉛鋳鉄(ダクタイル鋳鉄・ノジュラー鋳鉄)もつくられている。このほか、機械的性質を高めた可鍛鋳鉄(マリアブル鋳鉄)もある。



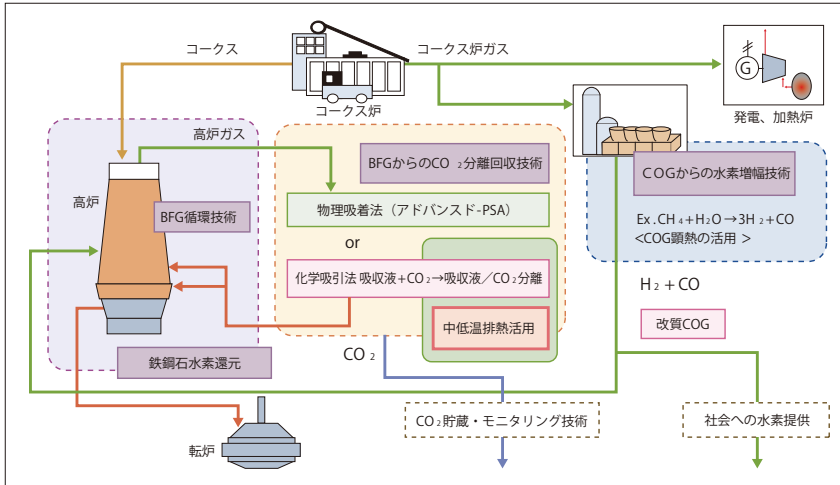
トービードカー

未来につながる鉄づくり

鉄鋼業界では、限られたエネルギーを有効に使い、環境負荷を低減するような次世代につながる鉄鋼技術の開発・普及にも積極的に取り組んでいる。

COURSE50

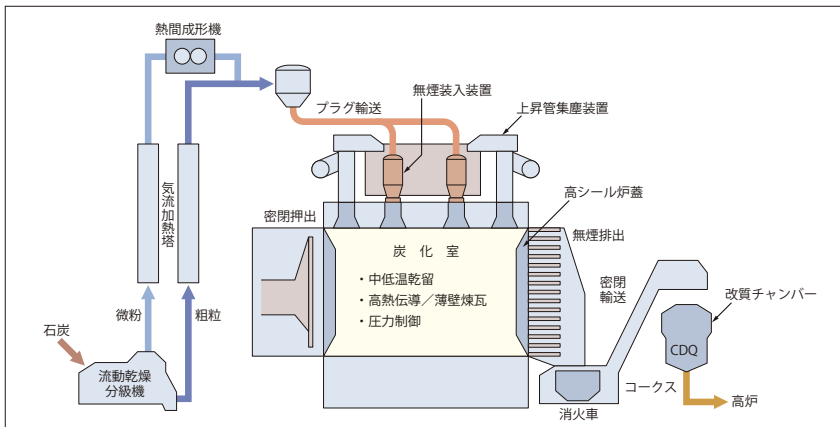
製鉄所内で発生するコークス炉ガスを改良して増幅させた水素による鉄鉱石の還元と未利用排熱を活用した高炉ガスからのCO₂分離回収により、総合的に約30%のCO₂を削減する抜本的な技術開発。



COURSE50

次世代コークス製造技術 (SCOPE21)

石炭を急速加熱、中低温(約900℃)乾留することで、既存設備に比べ生産性を2.4倍に向上させるとともに、21%の省エネルギーを達成できる。また、コークス化性の低い非微粘結炭の使用比率を現状の20%から50%に拡大できることから、資源の有効利用も可能となる。



SCOPE21

4

鋼が生まれる



転炉

- 転炉による精錬とは？
- 上から下から上下から
- 電気の熱を使う精錬も
- よりピュアに・柔軟に
- "滝と氷河"の連続鑄造
- 連続鑄造で板をつくる夢

日常、私たちが「鉄」と呼んでいる金属は、多くの場合「鋼」である。その鋼を、鉄鉄からつくり出すのが製鋼。鉄鉄を精錬して、鋼に変える工程だ。

高炉で生まれた鉄鉄は、炭素分をたっぷり(4~5%)含んでいるため、硬く、もろい。これをねばりのある強靱な鋼にするには、炭素を徹底的に減らし、また、溶鉄予備処理でも取りきれなかったりん、硫黄、けい素などの不純物を極力除去する必要がある。これが、製鋼の目的である。

製鉄の長い歴史をふり返ってみると、強くてねばりのある鋼をいかにつくり出すかに、最も多くの努力が費やされたと言える。現在、製鋼法の主流となっているのは転炉法。この技術は、1世紀を超える年月の間に改良と発明を重ねて、人類に「鋼の時代」をもたらしている。

■ 転炉による精錬とは？

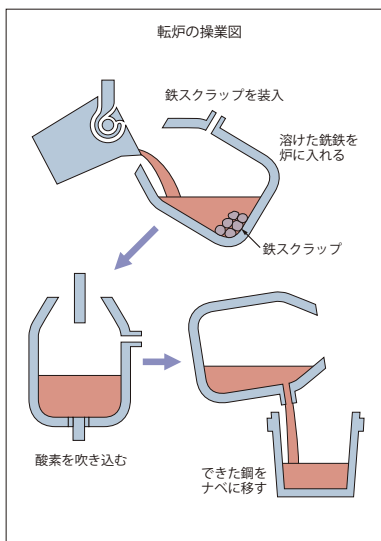
転炉は、高炉に比べるとかなり対照的だ。高炉が細長いトックリ型なのに、転炉はずんぐりした壺型。不動の姿勢をとっている高炉に対して、転炉は炉体を動かすことができる。高炉で鉄と反応するのはコークス中の炭素だが、転炉では純酸素、といった具合である。

ここで、転炉でおこなわれる精錬の様子を見ることにしよう。転炉にはまず、少量の鉄スクラップが装入される。続いて、高炉から運ばれてきた溶鉄(溶けた鉄鉄)が取鍋という巨大な鍋に入れられ、クレーンに吊られて空中を渡ってくる。待ちかまえていた転炉は炉体を傾け、大きな口をあけて鉄鉄を呑み込み、炉体を立てて精錬を始める。

精錬は、鉄鉄に生石灰などを入れてから、酸素を吹き込むことによって行なわれる。

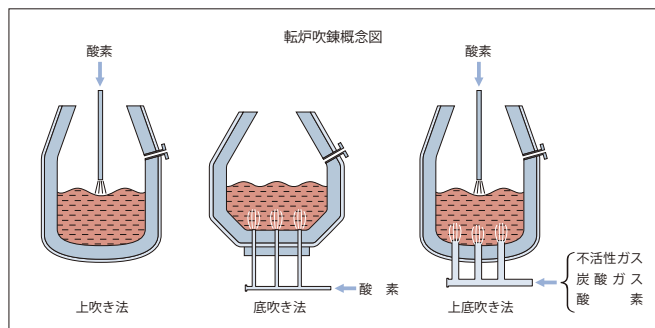
1cm²当たり8kgから15kgという大きな圧力をかけて吹きつけられる高純度の酸素は、鉄鉄の中の炭素をはじめ、けい素、マンガンなどと急速に反応し、高熱(酸化熱)を発生して溶融させる。この酸化反応で生じた酸化物や、りん、硫黄などの不純物は生石灰などと化合して、転炉スラグとして固定される。

1回に精錬する300~350トンの溶鉄に、酸素を吹きつける「吹錬」は、わずか20分以内。炉の中の鉄鉄が鋼になると、仕上げに成分調整や酸素除去のために少量のフェロマンガ、フェロシリコン、アルミニウムなどを加えてから、転炉は装入時とは反対側に炉体を傾け、白熱した鋼を取鍋の中へ流し出す。



■ 上から下から上下から

このように酸化熱を利用する転炉は、「火を使わずに溶鋼をつくる方法」(発明者ヘンリー・ベッセマーの言葉)である。発明されておよそ90年ほどの間は、鉄鉄に空気を吹き込んでいたが、今世紀の中頃オーストリアで、純酸素を吹き込む現在の技術の原型が誕生した。この



技術の登場によって、日本では当時主流だった平炉が1977年までに完全に姿を消してしまっ

った。
純酸素を吹き込む転炉(純酸素転炉、LD転炉)は、最初、上から酸素を吹き込んでいた。これに対し、炉底から酸素を噴出させて、鉄を攪拌しながら炭素との反応を強力にすすめる下吹き(底吹き)の炉が、大型転炉では日本で初めて実用化された(底吹き法)。さらに続いて、炉の上下両方向から酸素や攪拌用の不活性ガスを吹き込む上下吹き(上底吹き)転炉も開発され、鉄鋼の先進国では、上下吹きが製鋼の主役になっている。

このような転炉自身の進歩と共に忘れられないのは、高炉と同様、コンピュータセンターの存在である。製鋼の主な目的は銑鉄の炭素を減らすことにあるが、さらに炭素の量を正確にコントロールすることとなる。つまり、鋼は炭素量のごくわずかな増減によって硬くなったり軟らかくなったり、微妙に性質を変える(表参照)ので、最も望ましい性質の鋼をつくり出すために、転炉にはさまざまなセンサーが取り付けられ、その情報によってコンピュータが酸素の吹き込み方などの、操業を制御して、多種多様な鋼をつくり分けているのである。

含有成分による鋼の種類

	鋼の種類	成分特長	製品の例
炭素鋼	極軟鋼	C(炭素) 0.12%以下	自動車、冷蔵庫、洗濯機などの薄い鉄板、電信線、プリキ板、トタン板
	軟鋼	0.12%~0.30%	船舶、建物、客車、鉄橋などの棒鋼、形鋼、鋼板、ガス、水道の管、針金、釘
	硬鋼	0.30%~0.50%	汽車、電車の車輪、車軸、歯車などの機械部品、ばね
	最硬鋼	0.50%~0.90%	機関車の車軸、レール、ワイヤロープ、ばね
	炭素工具鋼	0.60%~1.5%	かみそり刃、刃物類、やすり、バイト、ゼンマイ、ペン先、さく岩機の刃先
低合金鋼	けい素鋼	Si 0.5%~5%	モーター、トランス
	構造用合金鋼	Ni 0.4%~3.5% Cr 0.4%~3.7% Mo 0.15%~0.7%	ボルト、ナット、軸、歯車、タービン翼
	合金工具鋼	Cr 1.5%以下 W 5.0%以下 Ni 2.0%以下	バイト、ダイス、ポンチ、ヤスリ、タガネ、帯鋸
	軸受鋼	Cr 0.9%~1.6%	軸受、ベアリング
	高張力鋼	Cu, Ni, Cr 各1%以下	建築、橋梁、船舶、鉄道、鉱山、自動車
高合金鋼	ステンレス鋼	Ni 8.0%~16% Cr 11.0%~20%	食器、家具、化学工業機械部品、自動車、建築材、車両
	耐熱鋼	Ni 13.0%~22% Cr 8.0%~26%	特殊エンジン
	高速度鋼	W 6.0%~22% V, Co	強力バイト、ドリル

添加元素が鋼の性質におよぼす影響

Ni(ニッケル)およびCr(クロム)
共に少量で硬さと強さを増す。大量では耐食性、耐熱性を増大する。両元素の共存によってこれらの性質は相乗的に増加する。

W(タングステン)
高温での硬さと強さを著しく増すので、高速度鋼としてバイト等に用いられる。

Mo(モリブデン)
Wと同じような性質を与えるが、効果はWの2倍である。

V(バナジウム)
Moの作用に似ているが、さらに強力である。普通単独では用いない。

Co(コバルト)
Niに似た作用をする。普通単独では用いない。

Al(アルミニウム)
アルミニウムは鋼表面を窒化して硬化させることができる。

Ti(チタニウム)
Alに似た作用をする。またステンレス鋼の耐食性をさらに強化する。

Nb(ニオブ)
Tiに似た作用をするが、鋼に強さと韌性を与える。

Cu(銅)
鋼に適量含ませることによって、大気中、海水中などにおける耐食性を向上する。

B(ホウ素)
ごく微量の添加によって、鋼の芯部まで硬さを増加させる。

電気の熱を使う精錬も

製鋼の世界には、転炉と並んでもう一つ、有力な設備・電気炉(電炉)がある。

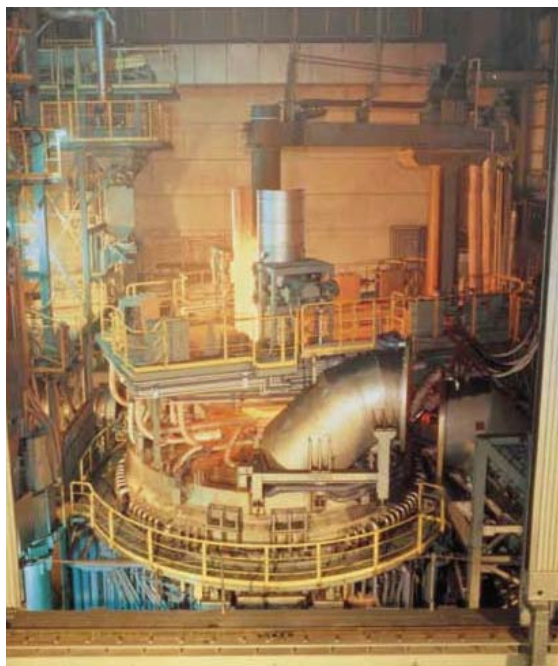
電気炉はその名の通り電気の熱を利用して鋼を製造する炉だが、その鋼の原料は溶鉄ではなく、鉄スクラップである点が、転炉と大きくちがっている。電気炉にはアーク式と高周波誘導式とがある。アーク式は電極と鉄スクラップとの間にアークを飛ばして、その熱で精錬する方式で、直流式と交流式がある。一方の高周波誘導式は、ルツボの周りにコイルを巻いて高周波の電流を通し、鉄スクラップに誘導電流を発生させてその抵抗熱で精錬する方式である。これはアーク式よりずっと小規模な、特殊用途に用いられるので、より一般的なアーク式を取り上げる。

アーク式電気炉の形は、ふたのついた鍋そっくりだ。そのふたには、黒鉛で出来た太い電極が垂直にさし込まれている。電流を通すと鍋の中の鉄スクラップとの間にアークが発生し、電弧熱で鉄スクラップは溶けていく。その時、より高温をねらって酸素を吹き込み反応熱を得る。この工程を酸化精錬というが、それに続いて酸素や硫黄を除く還元精錬が行なわれる。酸化精錬と還元精錬、二段構えの精錬が、アーク式電気炉製鋼の特徴である。

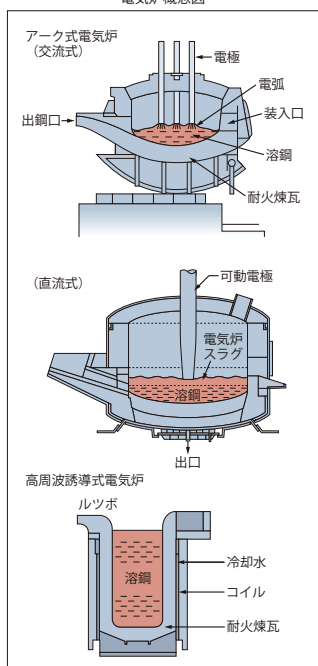
還元精錬では、酸化精錬で出来た酸性の電気炉スラグを炉の外へかき出してから、粉コークス、生石灰などを加えて、還元性の電気炉スラグを形成させる。粉コークスと生石灰などが高い熱によってカーバイド(炭化カルシウム)になり、強力な脱酸、脱硫効果を発揮するのである。スラグを常時還元性に保つため、さらに粉コークス、フェロシリコンなどを加えながら、鋼を目的とする成分に導いていくのが、プロセスのあらすじだ。こうして鋼が出来るまでに、1～2時間。1つの炉でつくれる量は50～120トンで、超大型では200トンクラスの炉もある。

電気炉製鋼の最も大きな特色は、比較的小ロットの、多品種生産に適していることだろう。

電気炉概念図



アーク式電気炉 (交流式)



よりピュアに・柔軟に

いま、日本の社会では、鉄への品質要求がどんどん高度化し、多様化している。もっとファインな鉄、もっと自由に成形できる鉄をという声が、強くなっているのだ。その厳しい声が向けられる先は、やはり製鋼である。

転炉では、吹き込まれた酸素が炭素と結びついて、炭素を大幅に減らした溶鋼^{ようこう}とけた銅)をつくり出している。しかし、それでも銅の中にはまだ、ppmオーダーの酸素その他の不純物が残る。そこでこれらの成分を取り除くために、出来たばかりの溶鋼を取り鍋に移し、不活性ガスを吹き込んで酸素などを減らす二次処理がおこなわれていたが、最近ではさらに進んで、溶鋼をもう一度別の炉に入れ、成分を調整する二次精錬というプロセスが、少なくとも高級鋼のためには不可欠だと考えられるようになってきた。二次精錬の方法はいろいろあるが、真空の容器に溶鋼を入れ、不活性ガスで攪拌しながら、好ましくない酸素・水素などの成分をガスとして抜いてしまう真空脱ガス技術が広く用いられている。

"滝と氷河"の連続 casting

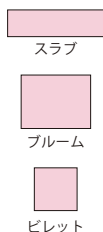
さて、鋼が出来上がった。今度はそれを、固めなければならない。板や棒やH形鋼のような鋼材を溶鋼から直接つくり出すことはできないので、連続 casting 設備によって溶鋼はいったん鋼片という半製品に固める。

連続 casting は、滝と氷河をイメージするとわかりやすいだろう。大きな設備の最上階で、溶鋼は鑄型へ"滝"のように注がれる。その鑄型を冷却し、中で固まってきた鋼を鑄型の底から連続的に引き出して、垂直に、あるいはカーブさせつつ、下へ降ろしていく。湯のように溶けていた鋼が、分厚い固まりになって切れ目なくゆっくり流れ下っていく。こうして固まった鋼片は、ガストーチで所定の長さに切り分けられ、スラブ、ピレット、ブルームなどと呼ばれる半製品(図)になる。

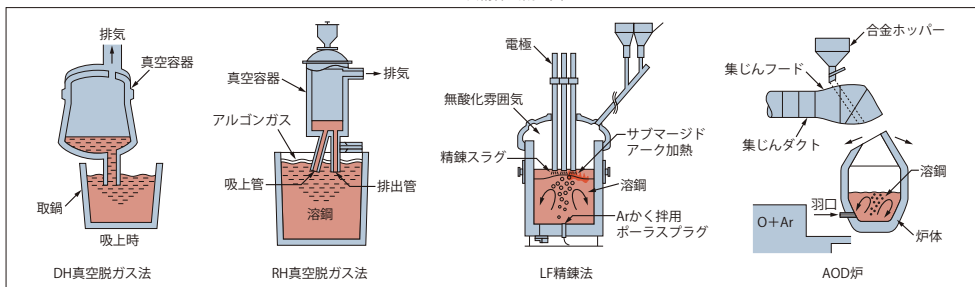
連続 casting のメリットは、同一断面の鋼片なら"無限に"量産できることで、この連続性が生産性を大いに高めている。近年は、鑄込みをつづけながら鑄型の幅を変更して、中断することなしに断面サイズの異なった鋼片をつくる技術も普及し、生産性はいつそう向上した。このような連続 casting で溶鋼を固めている割合を連続 casting 率というが、現在、日本では95%を超えている。

連続 casting されない溶鋼は、旧来の造塊という方法で固められている。造塊は、溶鋼をインゴットケース(鑄型)に注ぎ、自然に固めるもので、出来た鋼塊は加熱炉に入れ、均熱してから分塊圧延機でスラブやブルームの形状にする。連続 casting は、この造塊・加熱・分塊の各工程を省略することができ、工程上も、エネルギー的にもきわめて有利なことから、飛躍的な普及をとげたのである。

半製品断面形状



主な二次精錬法概念図



連続鋳造はさまざまな技術開発によって進歩してきたが、そのひとつに電磁誘導攪拌がある。固まっていく"氷河"の内部では、固まりやすい元素と固まりにくい元素とが分かれてしまう偏析という現象が起こる。これを防いで全体を均質化するために、鋳型やその周辺に電磁石を作用させ、溶鋼をかき回そうというのがこの技術で、すぐれた品質の鋼をつくり出す力のひとつになっている。

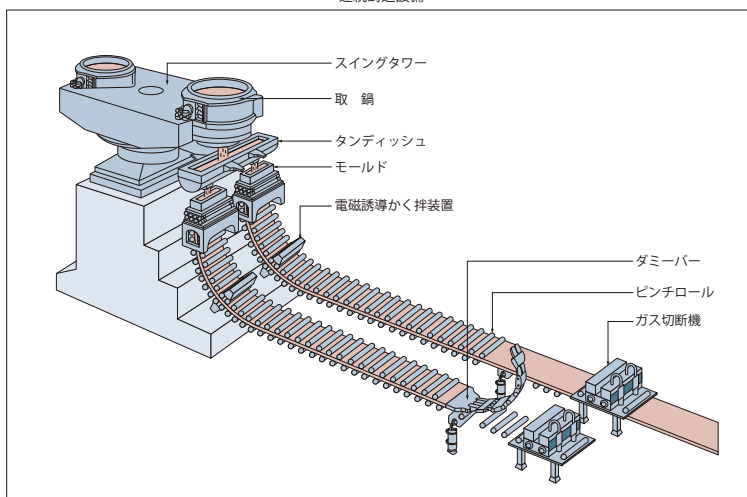
連続鋳造で板をつくる夢

連続鋳造は、製鉄史の中でも指折りの技術革新といえるが、これをもっと進めて、溶鋼から直接、板などの製品をつくることはできないものだろうか？

次の項(5 鋼材への変身)で紹介するように、連続鋳造で生まれた半製品はそれぞれ再加熱してから、圧延機にかけられて最終的なかたちをとのえる。最近では連続鋳造されたスラブを熱いまま、(再加熱せずに)熱間圧延機にかけて板をつくるダイレクトローリングも行なわれているが、それにしても、いったん分厚いスラブ(厚さは200～400mmもある)にしたものを圧延することに変わりはない。

これに対して、はじめから、より薄い、最終製品の板に近い形状に溶鋼を鋳込もうとする試みも行なわれているのは当然で、20～50mm厚のスラブをつくる薄スラブ連鋳、さらに薄い厚さをねらう極薄スラブ連鋳(ストリップ・キャスター)など、次世代連続鋳造設備の研究開発が進んでいる。ただ、いまのところそれらの対象は生産量の少ない品種に限られていて、一度により大量の溶鋼を薄スラブに連続鋳造するものは一部を除いて開発されていない。つくられるスラブの品質や生産効率、設備能力などにまだ課題は多いが、将来は連続鋳造と下工程の圧延とがもっと近づき、直結していくことになる。その意味で連続鋳造は、なお夢多い技術といえることができる。

連続鋳造設備



鋼材への変身



冷延コイル

- 熱間圧延と冷間圧延
- 板の性質が決まる工程
- 複雑な断面のつくり方
- 鋼管のいろいろな製法
- 人目につかない強力鋼材

鉄は、固いと多くの人々が思っている。しかし、製鉄関係者にとっては、鉄は軟らかいというのが実感だ。なぜなら、製鉄所では鉄を薄くのばしたり、長く引っ張ったり、特殊な断面を持たせたり、まるで粘土細工のように自在に形を変えているからである。

このように使用目的に応じて使いやすい形状につくり上げた製品を、鋼材と呼んでいる。

鋼材をつくる最も主要な方法は、上下のロールにはさんでおしのばす圧延である。圧延のほかにも、溶鋼を目的の形に鑄込む鑄造、鋼塊を叩いて必要な形にしていく鍛造、熱した鋼片をダイスに通す押出しなどがあるが、板やレールやパイプなど、一般にもなじみの深い鋼材はほとんど圧延でつくられる。

圧延には、素材の鋼片を加熱しておしのばす熱間圧延と、そこで出来たものを常温でさらのばす冷間圧延とがあり、つくられる製品は多種多様だ。ではまず、板(鋼板)の圧延から見てみよう。

熱間圧延と冷間圧延

鋼板は、船、橋梁、建築などに用いられる厚板と、自動車、家電製品、缶、垂鉛めつき鋼板などに使われる薄板に大別される。厳密には厚さ6mm以上のものを厚板、3mm未満のものを薄板、その間の3mm以上6mm未満のものを中板と区分、さらに150mm以上のものを極厚板と呼ぶが、通常は3mmを境に厚板・薄板の二つに区別している。一般用の鉄ではないが、変圧器やモータの鉄芯などになる電磁鋼板も薄板の仲間である。

鋼板の素材は、大きなタタミのような形のスラブ(鋼片)。厚板の場合は加熱炉で1,000℃以上に熱したスラブを粗圧延機にかけ、一定の厚みまで薄くしてから、次に仕上圧延機の間を何度も往復させて目的の厚みに伸ばしていく。

これに対して薄板は、複数の粗圧延機と仕上圧延機を一直線上に並べ、素材を一方向に一回だけ走らせて、厚さ190mm～260mmのスラブを2～3mm程度の板の帯に押し伸ばす。長い板の帯(1kmに達するものもある)は、すべての圧延機を通過すると、終点で、巨大なトイレットペーパーのようなコイルに巻き取られる。この設備が熱間圧延機、いわゆるホット・ストリップミルである。

帯鋼とは

鋼板の世界では、よく帯鋼とか広幅帯鋼ということばを耳にする。トイレットペーパーのような帯状に巻いた長い鋼板(ストリップ)のごとく、熱間圧延または冷間圧延でつくられた薄板の呼び名である。(熱間圧延したものの中には、厚板の一種のプレート・イン・コイルも含まれている)

このうち、幅600mm以上のものを広幅帯鋼、600mm未満のものを帯鋼と称する。また、熱間圧延したストリップを熱延コイル、冷間圧延したストリップを冷延コイルということもある。



熱間広幅帯鋼圧延機(ホットストリップミル)



冷延コイル



熱延コイル

熱間圧延だけで製品を仕上げる厚板に対し、薄板は熱間圧延について冷間圧延をおこなう場合が多い。冷間圧延は板厚をさらに薄くするだけでなく、表面を美しく、かつ均一にすることができるので、自動車のボディ用や家電用などの鋼板は、ほとんどが冷間圧延によってつくられる冷延鋼板だ。

冷間圧延は、ホット・ストリップミルと同様、直線上に配置した5～6台の圧延機の間に鋼板を通しておこなわれる。各圧延機の回転速度は先へいくほど速くなるので、板は圧延機のロールにおされると同時に引っ張られ、ぐんぐん厚みを減らし、0.0数mmという紙のような薄さに達するのである。

板の性質が決まる工程

ここで、圧延という工程の持つ意味をあらためて考えてみよう。もちろん文字通り素材をおしのばす仕事ではあるが、それだけに止まらず、圧延は鋼材の内部的な性質を決定する役目も担っているのだ。

たとえば厚板圧延では、圧延機の力と鋼板の温度とを精密に関連づけて、鉄の結晶組織を微細化している。鉄の結晶は外からの力と温度に応じて形が激しく変化するので、これをうまくコントロールすれば、よりねばり強く、細かい組織に変えることができる。

一方、薄板の熱間圧延ラインでは、仕上圧延の直後に大量の水を板に噴射しているが、この水のかけ方によっても板の性質は面白いように変化する。こうした微妙な制御技術によって、圧延ラインは鋼板の内質にも深く関与しているのである。

もう一つ、圧延に関連して忘れてはならない技術がある。焼鈍だ。圧延された鋼板は、受けた圧下力による歪みが内部に蓄積されて、硬化している。この力を解放して、加工しやすい軟らかさを取り戻すのが焼鈍で、具体的には鋼板を加熱・冷却する操作である。薄板の場合、かつてはコイルのまま炉に入れ、およそ一週間かけて焼鈍するのが通例だったが、今ではわずか10数分で処理できる連続焼鈍が一般的になった。連続焼鈍は、冷延鋼板のコイルを巻き戻し、再び長い帯にして、長大な炉の中をハイスピードで通過させる。重要なのは、ここでも加熱の温度と時間、冷却の温度と時間のコントロール(加熱・均熱・徐冷・急冷というヒートサイクル)によって、鋼板にさまざまな特性を自由に与えていることで、自動車用の高張力鋼板や缶用鋼板など高級品種の製品を生産するためには、不可欠の存在になっている。

熱処理とは

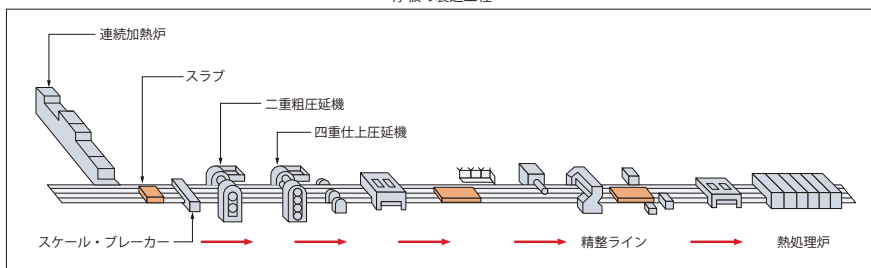
鉄の使用目的に応じて、加熱あるいは冷却することにより物理的、機械的、化学的性質を変化させることをいう。

- 焼き入れ＝鋼の硬さや強さを増すため加熱したあと水または油など冷却剤の中で急速に冷却する方法。
- 焼き戻し＝焼き入れた鋼の靱性を増し、あるいは硬さを減らす目的で変態点以下の適当な温度に加熱したあと冷却する操作。
- 焼きなまし(焼鈍)＝鋼を切削、加工しやすいように軟らかくしたり、結晶組織の調整や、内部応力を除去するための操作。
- 焼きならし(焼準)＝鋼は加工工程で亀裂が生じやすくなるため、変態点以下の適当な温度に加熱したあと静かに大気中で冷却する操作。

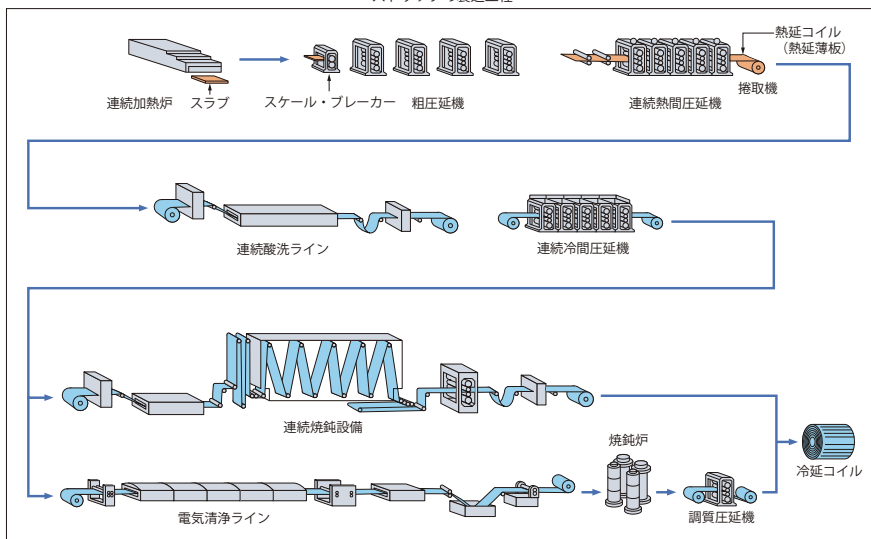


厚板圧延機

厚板の製造工程



ストリップの製造工程



主な条鋼の種類



複雑な断面のつくり方

話を鋼板から、条鋼の製造にすすめよう。条鋼とは図のようにいろいろな形の断面を持った長い鋼材で、レールや鋼矢板(シートパイル)のように、そのまま最終的に製品として使われるものも少なくない。大別すると、形鋼、棒鋼(丸棒・角棒)、線材に分かれ、形鋼と棒鋼は一般に、直径・辺・高さなどが100mm以上のものを大形、50mm以上を中形、50mm未満を小形と分類している。

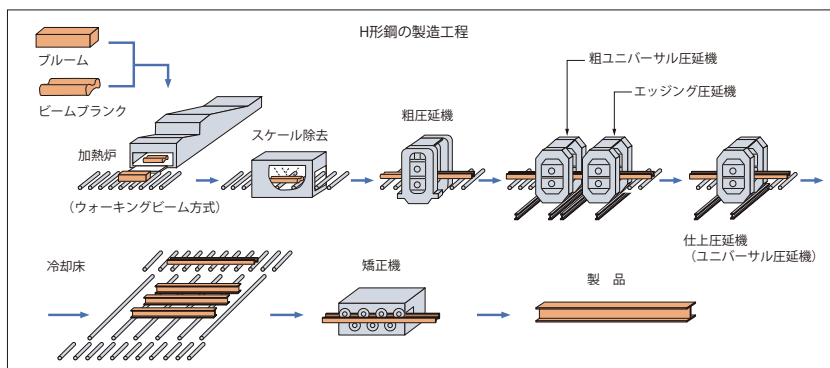
このようにいろいろな断面の条鋼を、どうやってつくるのだろうか。大多数の条鋼は、上下の圧延ロールに製品の断面形状と同じ孔型を刻んで、そこに熱した鋼片を通す熱間圧延によってつくられる。ただし、いっぺんに目的の形状にはできないので、たとえば丸棒の場合は、素材の鋼片(四角い柱のようなビレット)を、初めは菱形、次は楕円、そして最後は円のように、ロールの孔型を少しずつ変えた圧延機を順次連続的に通過させ、徐々に断面形状を整えていく。

このような孔型圧延とは少しちがうのがH形鋼の圧延で、Hの形にフィットする水平ロールと縦ロールで上下左右からはさみつけるように圧延する。その場合、Hの字の横棒(ウェブという)の長さ(内り)は水平ロールの幅によって決まるから、内りのは水平ロールを交換しないかぎり、常に一定である。ところがHの二本の縦棒(フランジ)の厚みを変えても内りは変わらないので、フランジの厚みがちがうH形鋼どうしをつなこうとすると、つなぎ目でガクン

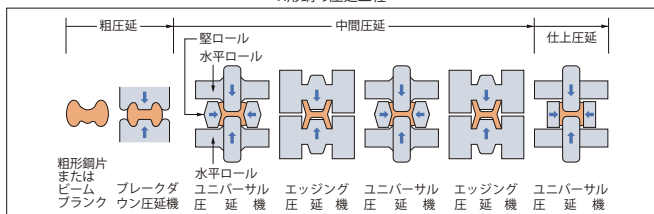
線材の話

一般に“針金”の名で知られる線材は、炭素が0.15~0.25%程度の鋼でつくられ、鉄線、釘、金網などの材料になる。製鉄所でつくられた線材を、伸線メーカーと呼ばれる加工メーカーが常温のままダイスを通して引き抜き、必要な太さにしてから、最終製品に加工される。いわゆる針金は、鉄線に垂鉛メッキをしたものである。

こうした普通線材に対して、特殊線材と呼ばれる種類は、炭素が0.09%以下の低炭素線材と、0.25~0.60の高炭素線材にわかれている。前者は溶接棒の心線、電線などになり、後者はタイヤのスチールコード、洋傘の骨、スポークなどに使われる。このほか、特殊鋼線材としてさらに硬くて強いピアノ線などがあり、ピアノの弦やコンクリートの中に入れるPC鋼線などに利用されている。



H形鋼の圧延工程



と段差がついてしまい、非常に使いにくい。そこで、水平ロール自身が幅を動かしてウェブの長さを自由に変え、フランジの厚みが変わっても外のリを一定にする技術が開発され、H形鋼の使いやすさを大きく向上させている(外法一定H形鋼)。

以上のような圧延のほか、熱間押し出しという方法でつくられる条鋼もある。これは、トコロテンの作り方と同じ考え方で、製品の断面形状と同じ孔を持ったダイスに熱した鋼片を強い力で押し込み、その孔から押し出す方法で、圧延では六角形・八角形といった複雑な形の小形条鋼を生産するのに用いられている。

また、帯状の薄板を常温のまま成形機に通し、さまざまな断面に加工する薄肉(4mm以下)の条鋼は、軽量形鋼とよばれ、建設資材として活用されることが多い。

鋼管のいろいろな製法

鋼材には板、条鋼と肩を並べる有力な仲間、鋼管(パイプ)がある。太さは直径3,000mmを超すものから数mmのものまであって、用途もつくり方も、多種多様だ。断面が円形で、しかも中空の鋼管は、重さの割に外からの力に強いので、水道管、ガス管、ボイラーチューブ、電気配線用チューブ、石油の油井管、石油・天然ガスの輸送管など、中にものを通す用途だけでなく、建築の足場、街路灯、石油掘削用のヤグラ、さらには何本もの鋼管をつないで並べ護岸や重量構造物の基礎にするといった、構造材としても使われている。

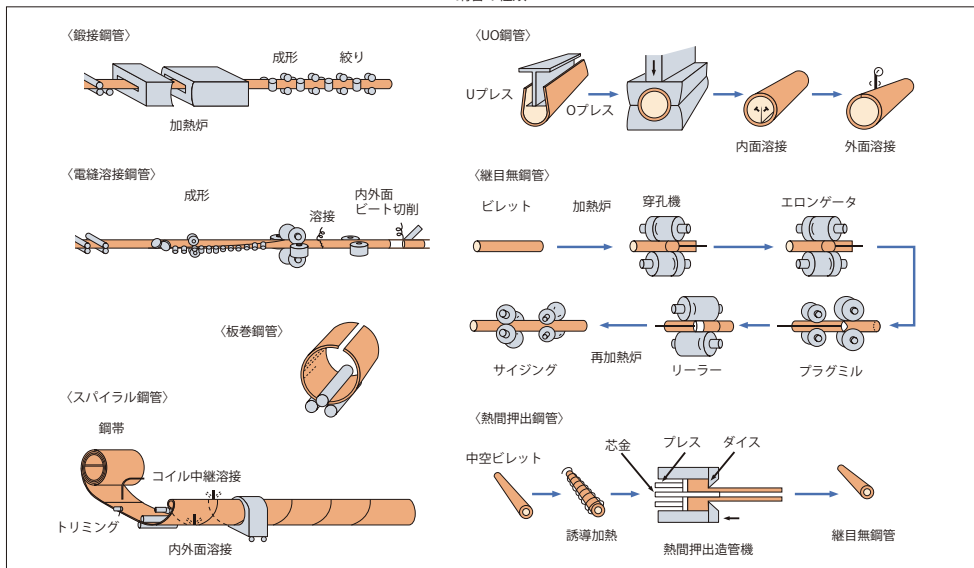
これらの鋼管を製法別にみると、継目無鋼管と、継目のある溶接鋼管とに大別できる。

継目無鋼管は、他の鋼管とはちがって熱間圧延でつくられる。素材は多くの場合、断面を丸く成形した鋼片で、これを加熱し、その中心を穿孔機でくりぬいて中空にした後、長い心金をさし込む。次に、その状態で圧延機にかけ、心金と圧延ロールとの間にはさむ形で、中空の素材を薄く長くのばしていくのである。こうして出来た鋼管は、磨きロールにかけたり、寸法を矯正したりして、製品になる。その名の通りどこにも継目のない継目無鋼管は、圧力やねじれにきわめて強いので、石油の掘削用パイプとして使われることが多い。



油井用継目無鋼管

鋼管の種類



一方の溶接鋼管は、板を曲げて、継目を溶接または鍛接でつなぐ鋼管である。つくり方によって電縫鋼管、スパイラル鋼管、UOプレス鋼管、板巻鋼管、鍛接鋼管などの種類がある。代表的なものの一つ、電縫鋼管は、常温の帯鋼を成形ロールを通してパイプ状にし、継目を連続的に電気抵抗溶接、またはガス溶接してつくる。強度が大きく、管の太さや肉厚も均一、表面が平滑といった特長があり、一般配管用から構造用まで、広い用途に用いられている。

スパイラル鋼管は、広幅の帯鋼をらせん状(スパイラル)に巻きながら継目を溶接する鋼管で、太さを自由に設定できるほか、強度も大きい。また、UOプレス鋼管は厚板をU字型に曲げてからO字型に成形し、接合部を内外面から溶接した大径管である。この二つはどちらも、油送用、構造用として使われている。

これらの溶接管とはちがって鍛接管は、熱した帯鋼をダイスの孔から引き抜きながらパイプ状にし、同時に板の縁をロールで圧着してつくる。中小径管の量産に適した方法で、用途は一般配管用と構造用である。



UO管製造



UO管製造

人目につかない強力鋼材

鋼材の紹介の最後に、鋳鋼、鍛鋼、粉末冶金という、ややおもむきの異なる一群を取り上げよう。

鋳鋼は、溶鋼を鋳型に注いで固め、目的の製品に近い形をつくるもので、圧延鋼材ではつくれない複雑な形状の製作に用いられる。たとえば鉄道車両の台枠、車輪、連結器。船のプロペラ軸を支えるスタンチューブ、錨。吊橋のワイヤーを留めるサドル。機械の歯車など、人の目にはつきにくい、非常に重要な役割を果たしているものが多い。その役割柄、特殊鋼でつくられる場合もあり、一例を挙げると鉄道レールの分岐部などは、とくに摩耗に強い高マンガン鋼を鋳込んでつくられている。鋳造で出来た製品は機械加工によって最終的な形に仕上げられるが、小さいものには機械仕上げを必要としない精密鋳造法が用いられている。

鍛鋼は、造塊法でつくった鋼塊を加熱して、強力なハンマーやプレスで叩きながら成形加工する鋼である。圧延鋼材や鋳造品では無理な形状・強度を要求される場合に使われるのがふつうで、原子炉の格納容器・压力容器、船用エンジンのクランクシャフト、自動車の車軸・歯車など、高い性能を厳しく求められる用途ばかりだ。鍛鋼は叩いて形をつくるだけでなく、叩くことによって同時に鋼を鍛えていくため、その鍛錬の効果が鋼の中心にまで及ぶように、強力なハンマーやプレスが使われ、大きいものになると1万トン級の巨大なプレスも珍しくない。

粉末冶金は、微細な鉄の粉を金型に詰めて圧縮成形し、それを融点以下の温度で焼き固め、一気に目的の製品をつくる技術である。現在これを最も多く使っているのは自動車部品で、従来の切削や鍛造にくらべると、複雑な形状の部品ははるかに容易につくることができる。鉄の粉を固めると、微細な鉄粉は圧縮され、焼結される間にたがいの原子が交流し、完全に一体化する。その強度をいちだんと高めるために、最近ではマンガン、クロム、ニッケルなどの合金元素を配合した合金粉も使われている。粉末冶金用の鉄粉は、製鉄所で発生する酸化鉄や、精選された鉄スクラップからつくられる。そのサイズは直径0.1mm程度。これこそ、最も小さな“鋼材”と言える。



ポンプケーシング（鋳鋼製品）



ノズル（鍛造製品）



鍛造品



粉末冶金製品

半凝固加工

現在の鋼材は、とけた液状の鋼を鋳込み（鋳造）、鋳込んで固めた鋼をさらに圧延したり鍛造したり（熱間加工）してつくられている。つまり熱間加工製品は、二段がまえのプロセスである。

これに対して、鋳造と熱間加工をひとつにまとめて、製品をつくってしまうという画期的な開発が始まっている。

半凝固加工というこの技術は、鉄が融点付近で固相と液相が混ざり合ったシャーベット状態の時、強い力で攪拌し、鉄の微細な粒子と液体が共存するスラリーをつくって、それを最終製品に近い形に固めるものだ。

ふつうの鋳造にくらべると、はるかに緻密で均一な金属組織が出来、しかも半凝固状態なので小さな加圧力で簡単に加工することができる。また、鉄と混合しにくいセラミックの粒子なども容易に混ぜることができ、従来にない複合材料をつくれるといった特長があり、研究の進展が期待されている。

6

錆とたたかう



溶融亜鉛めっき設備（CGL）

- とけた亜鉛に浸すめっき
- 合金だってめっきできる
- 片面だけのめっき技術
- 錆で錆を防止する厚板
- ステンレスの自然治癒力
- 色つきのステンレスも

鉄は、自然のままではやがてさびる。鉄は酸化しやすいという性質、これは鉄の宿命的な性質である。錆には昔から塗装が有効な手段とされているが、それとは別に、いろいろな技術の挑戦が重ねられ、塗料やペンキを塗らなくても簡単にはさびない多様な鋼材がつくり出されている。

代表的なものの一つは、鋼材の表面にめっきや塗装焼き付けをほどこした表面処理材で、古くからなじみ深い亜鉛をめっきしたトタン、すずをめっきしたブリキがある。

このように酸素にふれないようさびにくい物質で鋼材の外面を覆う表面処理に対し、鋼自身の性質を変え、内面からさびにくくしたものがステンレスである。

表面処理は、製鉄所の表面処理工場でおこなうだけでなく、鉄の加工メーカーで加工製品に対しておこなう場合も多く、その方法もきわめて多種多様だが、ここでは主に製鉄所から出荷される表面処理材を取り上げ、つづいてステンレスの話題を紹介していくことにする。

とけた亜鉛に浸すめっき

製鉄所で表面処理される鋼材は、鋼板(冷延鋼板=薄板)である。かつてはトタン、ブリキに代表された表面処理鋼板は、現在、種類も量も比較にならないほど増加している。たとえば、自動車には溶融亜鉛めっき鋼板、電気亜鉛めっき鋼板、合金電気めっき鋼板、塗装鋼板等があるほか、片面だけにめっきした鋼板や、表と裏とでめっきの厚みを変えた差厚めっき鋼板など、さまざまな種類の表面処理鋼板がニーズに応じて生産され、使い分けられている。量的にみると、冷延薄板の半分以上が亜鉛めっき鋼板として市場に送り出されている。

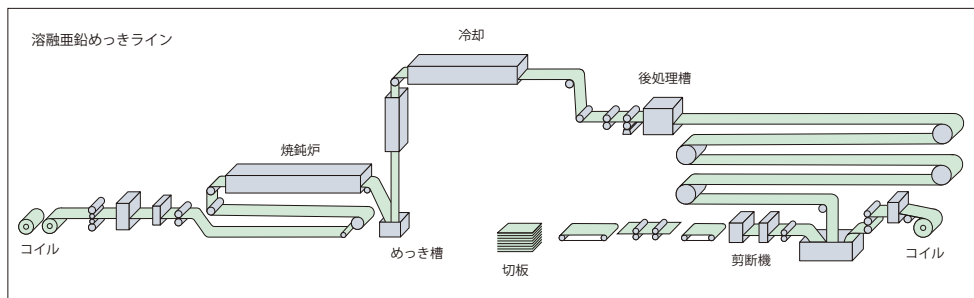


溶融亜鉛めっき鋼板のエンドレスの帯

表面処理鋼板の種類

表面処理鋼板

- ― 亜鉛めっき鋼板
 - ― 溶融亜鉛めっき鋼板
 - ― 合金化溶融亜鉛めっき鋼板
 - ― 溶融亜鉛-アルミニウム合金めっき鋼板
 - ― 電気亜鉛めっき鋼板
 - ― 電気亜鉛系合金めっき鋼板
- ― アルミニウムめっき鋼板
- ― ターンめっき鋼板
- ― ブリキ
- ― TFS(ティンフリースチール)
- ― 銅めっき鋼板
- ― 塗装鋼板
 - ― 塗装亜鉛めっき鋼板
 - ― 溶接可能塗装鋼板



ここでは大きく溶融めっき、電気めっき、塗装という三つの系列に分けて、表面処理の説明をすすめよう。

溶融めっきは、とけた亜鉛に鋼板を浸して表面に亜鉛を付着させるもので、コイルを巻き戻し、帯状に連続的にめっきする方法と、一定の寸法に切りそろえた板を1枚ずつ浸漬してめっきする方法とがある。亜鉛を表面にめっきするのは、ごく薄い酸化皮膜の形成により内部の鋼板が保護されること、鋼に対して亜鉛が犠牲的に防食作用を果たすからである。自動車用鋼板だけでなく、屋根材、外壁材として使われるトタン(亜鉛鉄板、通称:ファインスチール)も溶融亜鉛めっきの製品である。溶融めっきの特徴は、亜鉛をたっぷり付けられることで、とくにさびやすい条件で使われる鋼板にはこのめっき法が選ばれる。

合金だつてめっきできる

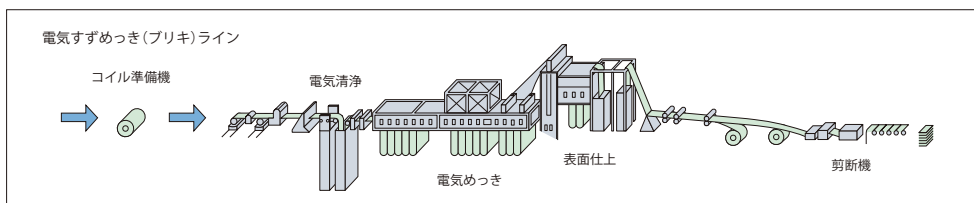
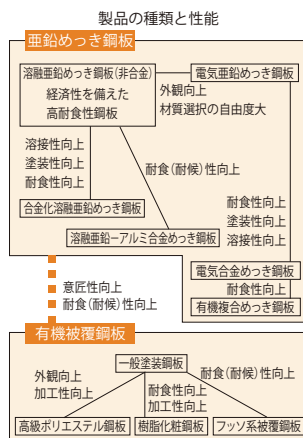
第二の電気めっきは、めっき浴をくぐる鋼板の両側に電極(陽極)を置いてめっき金属を析出させ、鋼板の表面(陰極)に付着させる技術である。これは溶融めっきにくらべると、より薄いめっきができるので、その分、鋼板の溶接がしやすくなるほか、通電量をコントロールすることによって目付量(めっき金属の付着量)を自由に変えることができるという特色がある。

電気めっきは亜鉛めっきのほか、さまざまなめっきに活用される。たとえば、ずずを電気めっきしたものはいわゆるブリキ、缶用表面処理鋼板である。ブリキもかつては溶けたずずの中に浸してめっきする方法をとっていたが、現在では大多数がこの電気めっきによって生産され、またずずの代わりにクロムを電気めっきするティンフリー鋼板もつくられている。

めっき浴に亜鉛とニッケル(クロムとコバルト、あるいはモリブデンとコバルトなどの場合もある)を共存させてメッキする合金電気めっきは、電気亜鉛めっきにくらべて5倍以上の耐食性を示すことで知られている。また、アルミニウムとけい素との合金電気めっきも、高い耐熱性を発揮するめっきとして注目されている。

第三の塗装は、いわゆるペイント塗装ではなく、亜鉛を含んだ特殊な塗料を鋼板表面に塗布して焼き付ける方法で、多様な塗料が開発されている。

このほか、薄板あるいは亜鉛鉄板の表面に塩化ビニルを塗って焼き付けたり、塩化ビニル

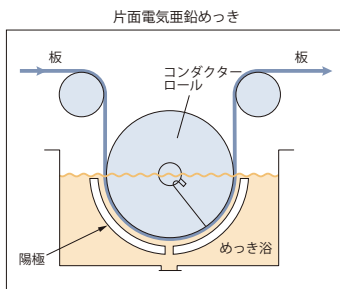


フィルムを圧着させたりする樹脂化粒鋼板も表面処理の一つに数えられるし、薄板の表面にガラス質の釉薬を焼き付けたホーロー鋼板や、アクリル積層鋼板、ふっ素樹脂をコートしたテフロン鋼板なども、錆とたたかう仲間である。

片面だけのめっき技術

めっきの世界で話題を呼んだのは、自動車からの要求で開発された片面めっきだろう。自動車の車体は、塗装性を考えると表側は表面処理していないほうが望ましい。その一方、車体の錆は内側に発生しやすいので、片面だけを表面処理した鋼板をというニーズが起こった。これに対して、溶融めっきがとった方法は、まず薄板の片面にめっきの阻止剤を塗り、適度な温度に加工してからめっき浴をくぐらせて、不要な片側のめっきを剥がすというものだった。また、電気めっきでは、陽極の片側だけに通電してめっきする方法や、鋼板の片面をロールにぴったり巻きつけながらめっき浴をくぐらせる方法などが採用された。もちろん塗装系の鋼板も、片側だけを塗装・焼き付けする品種をつくり出して、自動車の要求に応えている。

表面処理への期待は、自動車だけのものではない。家電製品は、従来、製品として組み立てたものに塗料を塗って焼き付けるのが普通だったが、あらかじめ塗装済みの鋼板を加工することができれば大きな省力化になる。この観点から開発されたのが、PCM(プレ・コートッドメタル)という塗装鋼板である。この鋼板は塗装した後、加工されるので、厳しい折り曲げなどにも耐え、キズや汚れにも強くなければならないが、こうした条件を満たして、家電メーカーの負担を大きく軽減している。

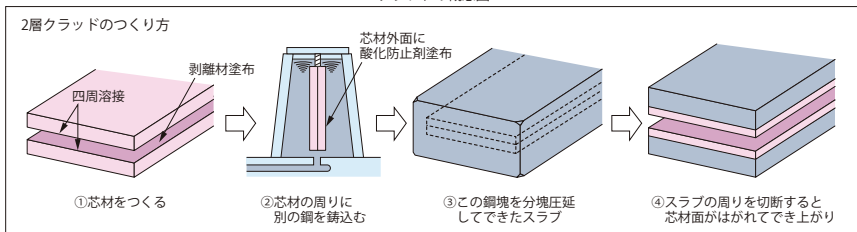


自動車内・外板



冷蔵庫

クラッドの概念図



錆で錆を防止する厚板

ここで、薄板以外の鋼材にも目を向けてみよう。厚板、条鋼、鋼管などの鋼材は、通常の塗装、あるいは被覆によって錆に立ち向かうことが多く、薄板のような表面処理を施されることはない。だがその中に、自ら錆とたたかう性質を持っている厚板がある。

耐候性鋼板というこの厚板は、初め表面に錆の層を発生する。その錆は文字通り赤い錆色をしているが、時がたつにつれ、緻密な黒褐色の硬い錆の層に変わって進行を止め、今度は錆自身が鋼板の表面をガードして、それ以上の腐食を許さなくなるのである。表面処理とは言いにくいだが、立派に錆とたたかっている鉄の一つで、橋梁、船舶、ビル、車両、タンクなどに多くの実績を持っている。

ステンレスのクラッド材も、ぜひここに登場させよう。クラッドとは“着物を着た”という意味で、異なった品種の鋼を重ねて密着させ、複合的な性能を発揮させる材料だ。ステンレス・クラッドは普通鋼(炭素分の低い軟鋼)をステンレスではさみ、軟鋼の加工しやすさとステンレスの耐食性・耐熱性を合体させたもので、厚板として化学反応容器などに使われるほか、薄板に圧延し、ナベなどの家庭用品にもいかされている。

ステンレスの自然治癒力

ステンレスは、錆を寄せつけない、少なくとも非常にさびにくい鉄として、だれにでも知られている。白く輝くメタリックな素肌のままで、いつまでも使うことのできるステンレス。この金属がさびにくい理由は、何なのだろうか。

ステンレスは、鉄とクロムとニッケルの合金鋼だ。鉄はクロムを12%以上含むと、表面に100万分の数mmという非常に薄い膜(酸化膜)を生じる。この膜は、たくましい復元力もっていて、傷口が開いても即座に空気中の酸素と手を結び、新しい皮膜を生成して、地金を保護する。いわば、人体の自然治癒機能のような働きを示すのである。この性質は不動態といわれ、理論的にはクロムの量が多ければ多いほど、皮膜は強固になる。

クロムの他に、ニッケルやモリブデンを加えることもあるが、その場合は各成分のバランスが重要で、ニッケルは最小8%とされている。ステンレスは、この成分によって、18%のクロムと8%のニッケルを含んだ18クロム8ニッケル(オーステナイト系)、クロム18%だけの18クロム(フェライト系)、13%のクロムを含む13クロム(マルテンサイト系)の三つに大別されている。このうち、最も生産量の多いものは、18・8と通称される非磁性のオーステナイト系ステンレスで、耐熱性、低温特性にもすぐれているところから、先端的な産業分野で幅広く利用されている。



厨房用品

色つきのステンレスも

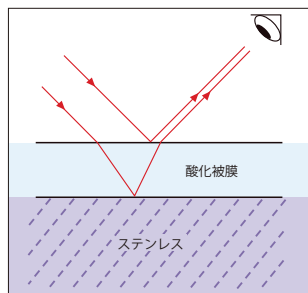
ステンレスの製造メーカーは、ステンレスの鉄スクラップを主原料として、これを電気炉で溶解して生産する。専門メーカーと、いわゆる高炉メーカーとがある。

一般的な製造法は、転炉あるいは電気炉で、炭素を減らす精錬をおこなってから、真空脱ガス装置で二次精錬し、不要な元素のほとんどを取り除くもので、その後は連続 Casting、熱間圧延まで、普通鋼と同じである。

普通鋼と違ってするのは、次の冷間圧延だ。ステンレスは非常に硬いので、普通鋼を圧延する連続圧延機では、なかなか目的の薄さに伸ばすことができない。そこで、ロールを上下に10本ずつ、20本も組み合わせたゼンジミルという特殊な圧延機を使って、板を何度も往復させ、必要な薄さに伸ばしていく。このゼンジミルを何台も一直線上に並べ、板を一向方に走らせて圧延する連続式の圧延機もある。また、普通鋼の圧延機でステンレスを圧延し、より安いコストで大量に生産しようとする試みも、おこなわれている。

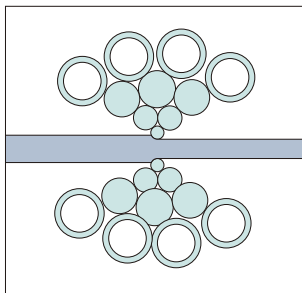
ステンレスは錆に強いという長所とは別に、冷たいイメージを受けやすい。そこで、鏡のように磨き上げるだけでなく、わざと髪の毛のような細い筋(ヘアライン)をつけたり、模様(エンボス)を押しつけたり、あるいは酸化皮膜を特に厚くして光の反射角を変え、自然にいろいろな色を発色させるカラーステンレスをつくったり、使いやすく、親しみやすいステンレスを生み出す技術がいろいろ開発されている。

発色カラーステンレス



発色の原因は従来の科学発色ステンレスと同じく、ステンレス鋼の表面に生成されたきわめて薄く透明な酸化皮膜表面で反射された光と、ステンレス鋼の表面で反射された光の干渉現象によりステンレス鋼の美麗な表面肌を生かし、かつ表面に色彩を持たせたステンレス。

ゼンジミル・ミルのロール配列



硬いステンレスをより薄く圧延するために、ゼンジミルという特別の圧延機が使われる。これは20本のロールを組み合わせ、全部の力を板に接する上下2本のロールに伝えるもの。非常に圧下率の大きな圧延ができる。

ユニークな鉄たち



風力発電機

ギヤに軸にバネに活躍

ハイテクとファッション

広がる高張力鋼の世界

いままでは、主に普通鋼を念頭に置いて説明を続けてきた。普通鋼とは、鉄のほかに微量の炭素、けい素、マンガン、りん、硫黄を含む、成分的には一般の鋼で、これら以外の元素を特別に添加した鋼を特殊鋼、あるいは合金鋼と総称している。ステンレスもその意味では特殊鋼の範疇に入るが、これは別個に独立した品種として扱われることが多い。

(6 鋼とたたかう 参照)

特別な元素を加えたもののほかに、炭素の割合を高くしたり、熱処理を加えたりして、ある性能と目的に特化した特殊鋼もある。これらの特殊鋼と、その他、独自の機能や形状を持ったユニークな鉄たちを見渡してみる。

ギヤに軸にバネに活躍

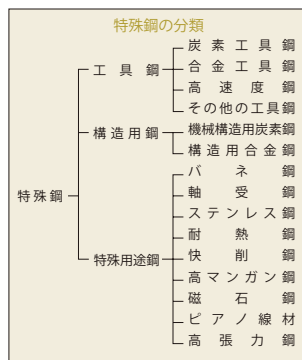
どの産業分野でも、技術の革新、製品の高度化・多様化の勢いは、止まることを知らない。それともなって、素材としての鉄には、強度、靱性、耐食性、耐熱性、溶接性、加工性などのよりよいものを、という要求が押し寄せている。近年、普通鋼もこれらの性質を大幅に向上させたが、いちだんと飛び抜けた高い特性を発揮するものとして、多くの特殊鋼が開発されてきた。

工具鋼は、その代表的な品種である。切削加工に使われるバイト、ドリル、タップ、カッター、線材を細く伸線加工するためのダイス、その他の刃物など、用途はきわめて広い。これらの中には炭素成分だけを高めた炭素工具鋼、タングステン、クロム等を含む合金工具鋼、またタングステン、クロム、バナジウムを添加した高速度鋼などがあり、用途に応じて使い分けられている。

構造用鋼は、シャフト、ギヤ等、きわめて大きな力がかかる重要な機械部品に用いられる鋼で、高炭素鋼、あるいはニッケル、クロム、モリブデンなどを含有する合金鋼である。

軸受鋼は、その名の通り、車両、モーター等、あらゆる機械の回転部分に使われる品種で、高い炭素分とクロムを加え、耐摩耗性を向上させた鋼だ。

バネ鋼は、自動車や鉄道車両の板バネ、コイルバネ、内燃機関の弁に使われる弁バネ、さら



特殊鋼でつくられた製品

にはもっと小さいゼンマイバネなどをつくる種類で、炭素だけを高くしたもののほか、けい素とマンガンを入れたもの、クロムとバナジウムを入れたもの、けい素とクロムを入れたものなどがあり、いずれも強靱な弾性を発揮する。このほかバネには、高速度鋼やステンレスが使用されることも少なくない。

ハイテクとファッション

特殊鋼の世界は、先端的な技術や社会の動向を鏡のように反映する。たとえば最近は、さまざまな分野で超高温や超低温への要求が著しく、こうした要求に対応して極限の温度条件にも耐える耐熱鋼、超耐熱鋼、極低温用鋼などが、次々に開発されている。

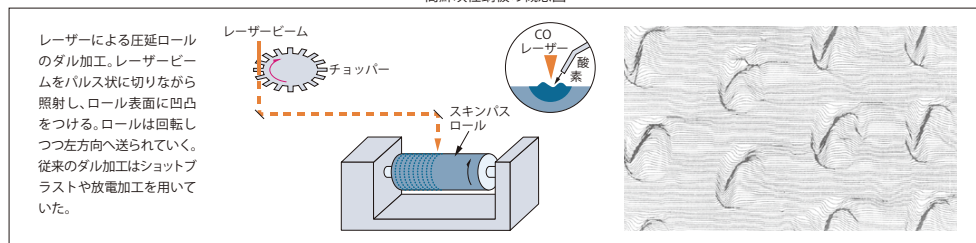


LNG船

さらに、海洋やウォーターフロント開発のためには、耐食性のきわめて高い耐海水性鋼。超電導磁石を活用するリニア鉄道のためには、磁性を持たない非磁性鋼。省エネルギーのためには、変圧器の鉄損を激減させるアモルファスメタル。これらはすでに実用化され、あるいは実用化を目前にしている今後有望なハイテク特殊鋼の例である。

ファッション化する時代の傾向とともに、実用性とファッション性を両立させた鉄鋼製品も数多く生まれている。建材の分野では早くからプリント鋼板、エンボス鋼板などが内装・外装材として使われてきたが、自動車用の薄板にも肌の美しさを追及する製品が現われた。自動車の車体用鋼板(レーザーダール加工)はプレス成形されるので潤滑油を保持する微細な凹凸を表面につけなければならないが、この凹凸の配列を規則化し、塗装がとくに均一に美しく仕上がるように配慮して、自動車のボディの鮮映性をあざやかに高めているのである。

高鮮映性鋼板の概念図



広がる高張力鋼の世界

高張力鋼という名称は、一般にもかなり広く知られるようになった。高張力とは鉄の引っ張り強さを示す言葉で、たとえば40kg鋼とは1mm²当たり40kg程度までの引っ張りに耐えることを表わしている。この高張力鋼は、成分の調整によってつくられるものが多かったので、かつては特殊鋼の一分野とされていたが、近年は特別な成分を加えずに、圧延や熱処理のしかただけで高張力を発揮する品種も増えている。

もっとも高張力鋼の定義は、必ずしも一定していない。厚板では60kg以上を高張力鋼と呼ぶのに対して、薄板は30数kgでも高張力鋼と分類することがある。また、継目無鋼管や特殊線材の中にはゆうに100kgを超す高張力をそなえたものもあるが、これらが高張力鋼管・高張力線材と呼ばれることは少なく、品種・用途によって事情が異なっているので、注意が必要である。

高張力鋼が開発されたねらいは、軽量化とコストの低減だった。ある引っ張り強さの構造物をつくらうとする場合、高張力鋼を使えば普通鋼よりも薄い板厚の鋼材ですむ。つまり構造物自体が軽くできるので、橋梁などはそれだけ長い支間で設計することが可能になる。事実、近年日本で架けられた長大橋は、60kg級、80kg級の高張力厚板がなければ考えられなかった。現在、高張力鋼は宇宙ロケット用に200kgを超す品種も開発されているが、一般的な用途のためには100kg級の厚板の普及が待望されている。

鋼材の引っ張り強さを高めて軽量化に役立てようという考え方が自動車にも応用され、より軽い、より燃費の少ない車をつくり出していることは、いうまでもない。一般に高張力鋼板は強いだけに硬くて成形加工しにくい、自動車用高張力薄板の分野では、プレス加工される時は軟らかく、深絞りも可能で、車の形になり焼き付け塗装されてから目的の高張力を発現するという、きわめてつごうのよい品種も開発された。

8

省エネと創エネ



CDQ (コークス乾式消火設備)

■ 三種類の省エネルギー

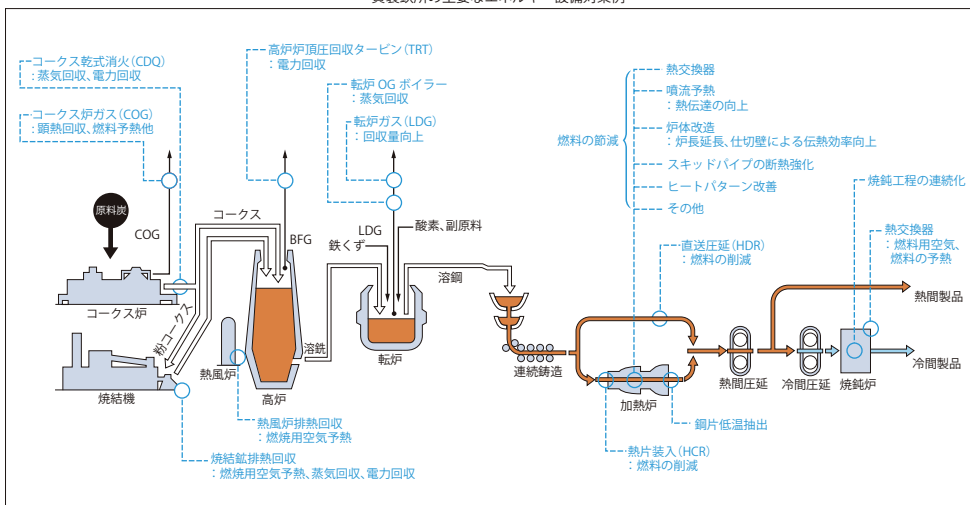
■ 副生ガスをいかす製鉄所

■ 新しい省エネへの期待

いま日本では、年間約1億トンの鉄が作り出されている。そのためには、当然たくさんのエネルギーを使わなければならない。鉄づくりに必要なエネルギーは、日本の最終エネルギー消費の10%強を占め、鉄鋼業は最大規模のエネルギー需要産業となっている。それだけに、最も真剣に省エネと取り組んでいる産業の一つである。

ここではその実態を紹介するが、製鉄はエネルギーを単に消費するだけでなく、一面ではエネルギーをつくり出しているという事実を強調しておきたい。一貫製鉄所の中には、所内で生産したガスを精製し、地域に都市ガスとして供給する責任を負っている所もある。鉄のエネルギー問題は、省エネと創エネ、二つの観点から考える必要があるのだ。

一貫製鉄所の主要なエネルギー設備対策例



三種類の省エネルギー

一貫製鉄所で用いるエネルギーは、約8割が石炭系で、電力系、石油系が約2割である。オイルショック以来、日本の製鉄所は脱石油対策をすすめ、大量の重油を消費していた高炉を完全にオイルレス化している。(③ 高炉の中で 参照)

エネルギー消費原単位(鉄鋼業の全エネルギー消費量を粗鋼生産量で割った値)は1973年(第一次オイルショックの年)当時にくらべ、2割以上も減少している。

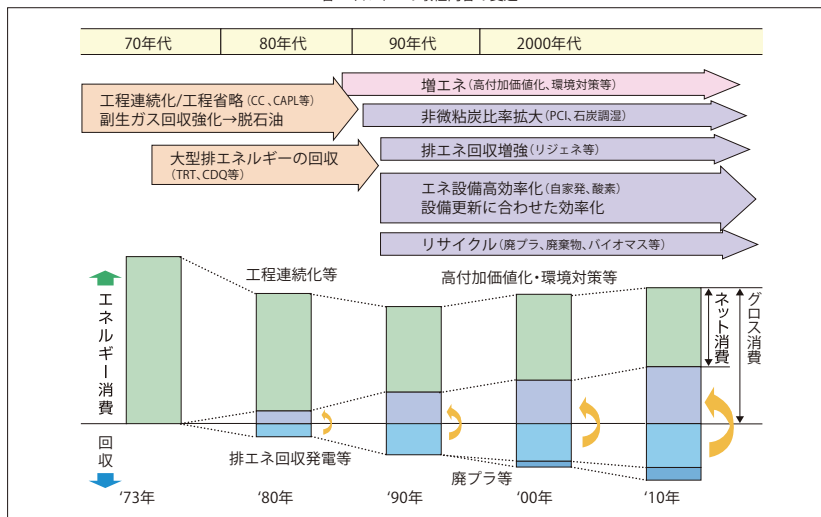
このようなめざましい省エネルギーは、

- ①効率のいい設備の導入と操業技術の向上
 - ②生産工程の省略と連続化
 - ③排エネルギーの回収と活用
- の三つによって達成されている。

①のわかりやすい例としては、熱間圧延のために鋼片を加熱する加熱炉の炉体を改造したり、鋼片を排熱で予熱したり、加熱のパターンを改善するといった工夫がある。②では、分塊圧延から連続製造へのシフトが、端的な実例である。(④ 鋼が生まれる 参照) 日本の連続比率は95%を超え、世界最高水準であり、試算によると、連続製造の採用によって粗鋼1トン当たり400MJ程度の省エネルギーが実現された。

近年、各メーカーが力を注いでいるのは③で、これが、一次エネルギーから二次エネルギーを生み出す「創エネ」にかかわっている。

省エネルギーの取組内容の変遷



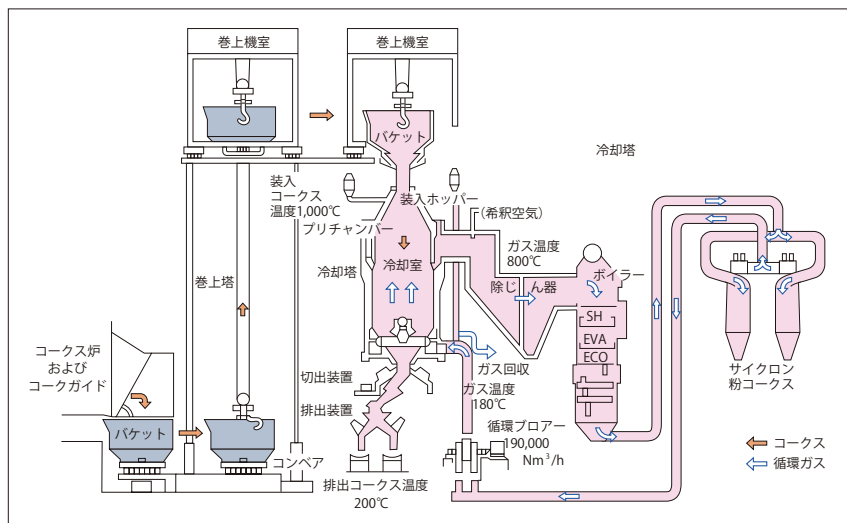
副生ガスをいかす製鉄所

一貫製鉄所では、コークス炉、高炉、転炉から発生するガスを、重要なエネルギー源として活用している。

まず、コークス炉で石炭を蒸し焼きにする時に副生するガス(コークス炉ガス)は、有用な化学成分を一部取り出したあと、たくわえられる。また、高炉の炉内で鉄鉱石を還元したガス(高炉ガス)は、炉頂からパイプで外に導かれる。転炉でも溶鋼への酸素の吹きつけによる、吹錬中に大量のガス(転炉ガス)が出るので、そのほとんどを回収している。コークス炉ガス、高炉ガス、転炉ガスはそれぞれ除塵装置を通してクリーンになり、混合されて(Mガス、圧延



自家発電設備



CDO設備のフロー概要

工程の加熱炉、コークス炉や、高炉へ吹き込む空気を熱する熱風炉、ボイラー、自家火力発電所などの熱源に使われるのである。こうした副生ガスの合計は、年間約800PJにも達している。

また、高炉ガスを回収する時には、その圧力(炉頂圧)を電力に交換している。高炉は、鉄鉱石の還元反応を促進するため、内部の気圧を高める、高圧操作をおこなっている。炉内を吹き上げる還元ガスの圧力は、炉頂で2気圧から3気圧になるので、これをタービンに入れて発電し、同時にガスの圧力を使いやすいレベルにまで下げるという一石二鳥の効果を得ている。

新しい省エネへの期待

排エネルギーには、副生ガスのほかに、大量の排熱がある。粗鋼1トン当たりの排熱は約1万MJあるが、特にコークスの顕熱、焼結鉱の顕熱、転炉ガスの顕熱、加熱炉の排ガスの顕熱など、高温の熱が回収され、いろいろな用途に利用されている。

このうち赤熱コークスを不活性ガスで消火する、乾式消火設備(CDQ)によってコークスの顕熱は電力に変えられている。コークスの顕熱は石炭1トン当たり約1.4GJもあるのに、かつてはこれに水をかけ、水蒸気にして空気中に捨てていた。その熱を捨てずにボイラーで高温高压の蒸気に変え、蒸気タービンに吹き込んで発電するシステムがCDQで、製鉄所の排熱利用のシンボリックな存在である。

このような炉頂圧発電、CDQ発電など、副生ガス以外の回収エネルギーは、年間約120PJに達している。

また、製鉄所で回収されている排熱のうち温度の低い排熱も利用する方向で研究開発が進められている。

J(joule)

仕事、エネルギー、熱量、電力量のSI組立単位。記号はJ。

1ニュートンの力が働いて、その方向に1メートル動かす時の仕事。

1J = 0.239cal

PJ = 10^{15} J

GJ = 10^9 J



CDQ（コークス乾式消火設備）

9

地球のために



緑の中の製鉄所

- CO₂の削減に向かって
- 大気汚染物質への対策
- ばいじん・粉じん・廃棄物
- 水は90%以上リサイクル
- よりよい環境を創造する

人々は身近な地域の問題を考えるのと同じように、地球について思いをめぐらすようになった。それだけ全地球的な環境問題が、私たちの身近に迫っているのである。

これに対して、鉄鋼業は何を実行し、これから何をしようとしているのだろうか。

公害が初めて社会問題になった時代から、日本の製鉄所は、生産への投資と同様の重みで、資源・エネルギーの効率的利用、省エネ・環境保全のための設備設置と技術開発を並行して行ってきた。

CO₂の削減に向かって

こうした総合的な努力の結果、日本の製鉄所では主要な省エネ技術や設備を開発・実用化し、ほぼすべての装備を整えている。地球環境産業技術研究機構の調査による日本と海外の鉄鋼業のエネルギーの使用効率（粗鋼1トン当たりのエネルギー消費原単位）を日本を100として比較すると、ロシア143、米国130、中国123、EU（27）121、韓国102などとなっており、世界最高水準のエネルギー効率を達成している。【エコプロセス】

そこで日本鉄鋼業は、世界規模での地球温暖化を防止する為、いち早く国際協力関係を構築し、専門家による環境保全・省エネ交流会や診断調査等を通じて、世界最高レベルの技術の共有化を行い、グローバル・セクター・アプローチを推進している。なお、国際エネルギー機関では、日本で普及している先進省エネ技術を世界全体に移転・普及した場合のCO₂削減ポテンシャルは3.4億トンに達すると試算している。【エコソリューション】

また、鋼材は様々な用途や製品に使われているが、他の製造業との連携で開発した高機能鋼材を使うことで、最終製品として使用される段階においてCO₂削減に貢献し、低炭素社会の構築を支えている。【エコプロダクト】

地球温暖化問題は日本国内の削減だけでは解決しない。今後世界の鉄鋼需要は大幅な増加が見込まれているなか、日本鉄鋼業は「エコプロセス」、「エコソリューション」、「エコプロダクト」の3つのエコにより、世界最高水準のエネルギー効率で高機能鋼材を供給するとともに、日本の優れた省エネ技術や設備を世界に移転・普及させることで、世界規模での地球温暖化対策に貢献していく。

大気汚染物質への対策

硫黄酸化物(SOx)等による大気汚染に対しては、すでに多くの対策が長年にわたって実効を上げてきた。

製鉄所で発生する硫黄酸化物は、その60～80%が焼結機から出、残りは加熱炉、ボイラーなどの熱源に使われる重油やCガスから発生する。これに対しては、まず焼結機排ガス中の硫黄酸化物を除去する排煙脱硫装置を業界として開発するとともに、製鉄各社も独自の研究をすすめて、最近では湿式脱硫法だけでなく、排水処理がいらぬ乾式脱硫法などの、すぐれた装置を移動させている。また一方では、燃料の硫黄分をへらすために、低硫黄重油への切り替え、LPG、LNGの使用、Cガスの脱硫などを進めた結果、硫黄酸化物の排出量は激減している。

高温工程の多い製鉄所では、窒素酸化物も発生しやすい。これに対しても業界をあげて研究開発を促進しようと、鉄鋼業環境保全技術開発基金を中心に、技術の確立に努めてきた。現在採用されている防除技術には、窒素酸化物の発生そのものを抑制する方法と、発生した窒素酸化物を除去する方法とがあり、とくに前者は、低NOxバーナーや低空気比燃焼など燃焼技術の改善が進んで、大きな効果を上げている。窒素酸化物を抑制する技術としては脱硝があり、各社とも多くの脱硝設備を設置しているが、より有効で寿命の長い触媒の開発、よりコンパクトな設備の開発などに向けて、研究が続いている。

一方、近年では大気汚染防止法による排出削減の指定を受けた有害大気汚染物質のダイオキシンやベンゼン等について自主管理計画を策定の上、大幅な排出削減を達成している。



焼結機排煙の脱硫脱硝設備

ばいじん・粉じん・廃棄物

ばいじん・粉じんとたたかってきた歴史は古い。ばいじんは、高炉、焼結機、コークス炉、転炉、電気炉などから発生するが、いまではほとんどすべての施設に、強力な集じん機が取り付けられている。その方法も、高炉、転炉など発生源への局所集じんばかりでなく、高炉なり転炉なりの建屋全体に対する建屋集じんもおこなっている。

原料ヤードを中心に発生しやすい粉じんも、自動散水装置や散水車が活躍し、また、コンベアをカバーでおおい、コンベアの連結箇所には集じん機をつけるといった配慮によって、大幅に減少している。

製鉄所内から高炉、転炉、電気炉などのスラグ、汚泥、ばいじん（ダスト）等が、年間4,000万トン生成するが、これらの多くはセメントの原料、土木・建築材料として再資源化される。とくに高炉スラグはセメント用などに100%有効利用されている。

意外に思われるかもしれないが、ばいじんもリサイクルの模範的な例である。ダストといっても半分は酸化鉄、つまり立派な鉄資源。そこで集じん機で捕集した90%以上を焼結鉱や、ペレットにして、再び高炉で利用、省資源の役に立てている。

なお、業界では廃棄物の最終処分量に関する自主行動計画（2015年度に40万トン程度の達成を目指す）を策定し、これら再資源化されてもなお最終処分せざるを得ないものの減少化を図っている。

産業廃棄物

廃棄物の処理及び清掃に関する法律（廃掃法）で「事業活動に伴って生じた廃棄物のうち、燃えがら、汚でい、廃油、廃酸、廃アルカリ、廃プラスチック類、その他法令で定める廃棄物」と定義されるものをいう。産業廃棄物でもっとも多いのは、工場からでた廃水を処理するときにできる汚でいである。次いでコンクリートの破片など建設廃材、畜産業からでる家畜のふん尿、製鉄所の炉からでる鉱さいなど。

水は90%以上リサイクル

鉄鋼業はさまざまな工程で、たくさんの水を利用する。全産業が使う淡水（回収水を含む）の約28%、1日に3,870万³を消費しているが、そのうち回収水の割合（循環率）は平均90%、製鉄所によっては97%という値をマークしている。これは全製造業のうちに、最も高い水準だ。つまり、鉄の工場は大量の水を使うけれども、そのほとんどは排水を再生したもので、外部から新規の水を補給することは、きわめて少ないのである。

この排水には、どんなものがあるのだろうか。高熱の工程が多いだけあって、排水の90%近くは設備や製品の冷却排水だ。そのうち、熱交換器などを通じて間接的な冷却に使われたものは、冷えてから再び循環使用される。一方、直接製品などに触れて冷却、洗浄、あるいは集

じんに用いられた水は、懸濁物質や酸化鉄分、油分、有機物、酸、アルカリ、重金属等を含んでいるので、それぞれの物質に応じた処理を重ねた上、きれいな水として再利用されている。

鉄鋼業がこれほど水の循環率を高めている背景には、カスケード方式と分離処理という考え方がある。カスケード方式は、最も質のいい水を必要とする工場には新水を供給し、その再生水は多少質が落ちた水でもかまわない他の工場に回す。さらにその再生水を、それに適応する別の工場へ給水するというように、劣化した水をその程度に応じて順次送っていく方式で、これと表裏一体の関係にあるのが水質ごとの分離処理である。

もしこのような分離処理をしないで各種の排水をすべて混ぜてしまうと、最も質のよくない水に合わせた処理をすべての水に対しておこなうことになり、合理的ではない。こうした知恵によって、水は経済的にリフレッシュされながら、工場の中をめぐりつづけているのである。

なお、このような水処理技術によって、河川海域など公共水域への排水においては、水質汚濁防止法の基準はもちろんのこと、自治体の条例や協定など各種基準も遵守されている。

よりよい環境を創造する

騒音に対しては、音源の設備を改良したり、防音壁や防音カバーを設置するなど総合的な対策がとられている。工場内の騒音が外部にとどかないようにする配慮が、建屋の構造の面から、工場レイアウトの面からも、十分おこなわれている。

以上、大気汚染、廃棄物、排水、騒音などの防除対策をみてきたが、これをさらに進めて、自らが望ましい環境を創出しようという積極的な行動も現われている。製鉄所の緑化はその一つで、地域の風土に根ざした樹木を広大な構内や周辺に植え、「郷土の森」をつくって人間と生きものたちの共存をはかろうという試みが行われている例は、珍しくない。

また、製鉄所周辺の環境が良好かどうか監視するために、自動計測機器による観測や、パトロール班によるチェックなどを続けているのも、知られざる努力と言えよう。

地域との好ましい関係は、そのまま地球との好ましい関係につながる。このことを、鉄鋼業は明確に認識している。



緑の中の製鉄所



編集・発行 一般社団法人 日本鉄鋼連盟

〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町3-2-10 (鉄鋼会館)
TEL (03) 3669-4822 (広報) FAX (03) 3664-1457
●ホームページURL <https://www.jisf.or.jp>