

長期温暖化対策ビジョンから読み解く 「二二世紀、鉄鋼は売るか買いか？」

小野 透

ただいま御紹介いただきました小野でございます。よろしくお願いいたします。

普段、「二二世紀、鉄鋼は売るか買いか？」というようなタイトルはつけないのですが、今日の会に合わせて、思い切ってつけさせていただきますました。

今日の内容は大きく二つです。鉄、あるいは鉄鋼業について知っていただくのが第一部です。

第二部では、二〇一八年一月に公表した日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョンについて御紹介させていただきますと思います。

一、鉄を知る

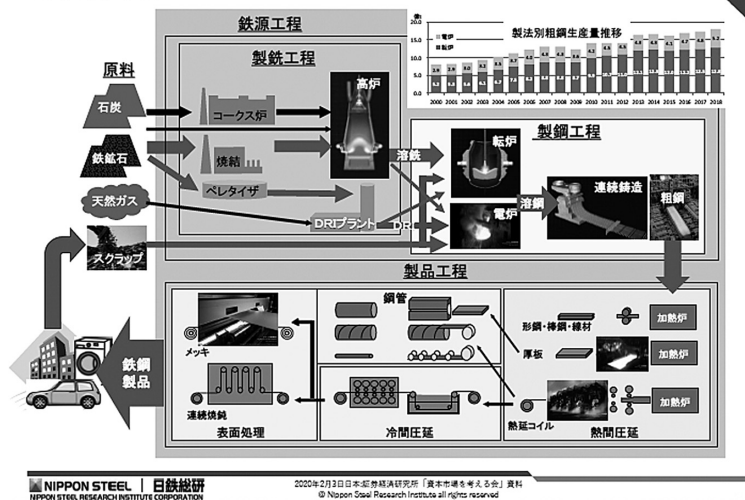
（鉄鋼製造プロセス）

まずは簡単な鉄鋼製造プロセスをご紹介します（図表1）。

原料になるのは、鉄鉱石、還元剤としての石炭・天然ガス、そしてスチールスクラップです。鉄鉱石は、「 Fe_2O_3 」と同じ Fe_2O_3 です。これをFeに還元する必要がありますので、「高炉」という設備でカーボンを使って Fe_2O_3 から酸素を奪い

图表 1

鉄鋼製造プロセス



その溶けたスチールを、厚みや幅などさまざまな種類の鑄造ができる連続鑄造装置で連続的に固めたものが「粗鋼」です。大きなまぼこ板のような「スラブ」、あるいは「ブルーム」など、形状によって呼び方はいろいろですが、粗鋼が生まれます。鉄鋼生産量を表す「粗鋼」とはこれのことです。現在、世界全体の粗鋼生産量は一八〇一九億トンで、半分は中国です。

さらに「粗鋼」は、熱間圧延で所望の形状、組織につくり上げ、さらに冷間圧延で加工度を上げたり、鋼管のようにシェーピングをしたり、あるいは表面にメッキなどの表面処理をして鉄鋼製品ができあがります。以上が鉄鋼製造の大きな流れです。

従来は全て高炉で原料を還元していましたが、近年は、シェールガスが出てきて天然ガスの値段が安くなったことも追い風になり、還元剤に天然

ガスを使うDRI (Direct Reduced Iron) プラントができています。世界全体では、北米や、天然ガスの豊富な中東などを中心にDRIが約一億トン、高炉由来の銑鉄が約一二億トン生産されています。

また、スクラップも原料になります。鉄は、世の中に出て仕事をして役に立った後、ほとんど全て戻ってきます。かつ、このスクラップは、銑鉄石に戻るのではなく、還元された「鋼」の状態のまま戻ってくるという特徴があります。製銑工程におけるエネルギー消費、あるいはCO₂の排出量は全プロセスの中の約七五%を占めますが、スクラップを使えばそこをパスできるメリットがあります。

(鉄鋼生産量)

鉄は、世の中の出来事に非常に敏感です。例え

ば、世界恐慌が起きるとあつという間に四分の一ぐらいまで生産が落ちたり、戦後復興の中、石油危機で突然生産拡大がとまったり、リーマンショックで落ちたりしながら、その後また生産量が上がって現在に至っています。

国別の年間生産量を見ると、中国は、一九九六年に初めて一億トンを超えて以降、ほぼ毎年、五〇六〇〇万トンずつふやしてきており、今や一億トン弱です。日本は、戦後、一九五〇年に五〇〇万トンまで復旧し、その後高度経済成長の波に乗って一九七四年に一・二億トンまで駆け上がっています。今の中国ほどではないかもしれませんが、当時、当時は世界的に見てもすごい勢いででした。臨海製鉄所ができたのもこの時代です。これから同じような成長が予測されるのはインドです。OECDを含めた各国の粗鋼生産量の推移を見ると、どの国もあるときに突然ふえています。

インドの粗鋼生産量は、今はまだ一億トンほどですが、人口が多いので、いずれ中国のようになるのではないかと想定されます。

国別・地域別の累積粗鋼生産量では、中国が一・二億トンで圧倒的に世界一位です。日本は五七億トン、アメリカは八四億トンです。近代製鉄が始まって以降、世界の累積粗鋼生産量は約五七七億トンと推計されています。

次に世界鉄鋼メーカートップテンの変遷（一九八〇～二〇一八年）をみると、一九八〇年は、一位が新日鐵、三位がNKK、六位が住金、七位が川鉄です。そのほかに、アメリカのUSSやBethlehem Steel、欧州のThyssenなどが入っています。これが一九九〇年になると、アメリカが衰退し、韓国のPOSCOが出てきます。さらに二〇〇〇年になると、中国の上海宝山が九位に入ってきて、アメリカは影も形もない状況です。

そして、二〇一〇年に中国が三社入り、直近の二〇一八年ではほとんど中国のメーカーです。この中には、合併した会社もありますが、中国は一九九〇年代半ば以降、年間五～六〇〇〇万トンずつ、すなわち日本製鉄一社分以上の製鉄所を毎年ふやしてきたので、その結果と言えます。

ちなみに、現在生産量トップのArcelorMittalは、ArcelorとMittalが一緒になった会社で、本社がルクセンブルクにあるので欧州に分類されていますが、完全にグローバル企業です。

（日本の鉄鋼業の現状）

さて、日本国内の鉄鋼業に話を移します。

日本の粗鋼生産量は、一九七四年に一・二億トンを記録して以降、年間一・一～二億トンぐらいの間で推移しています。需要別に見ると、一九九〇年には七五％は純内需、つまり、建物や道路、

列車や自動車など、国内で使われるために生産されてきました。そして、鉄鋼製品を輸出する直接輸出が一〇％弱、自動車などの製品に姿を変えて輸出される間接輸出が二〇％で、直間輸出の合計は三割ほどでしたが、二〇〇〇年以降は純内需が減少し、特に直接輸出がふえています。

この理由の一つは、我々の需要家である自動車メーカーが海外生産にシフトしたことがあげられます。トヨタは、世界のトヨタブランド一〇〇〇万台のうち七〇〇万台を海外で生産しています。例えばプリウスを中国でもつくりたいときは、日本と同じ品質や加工性の鉄が必要になるため、直接輸出がふえることになります。足元では四〇〇〇万トン弱が直接輸出されています。金額は約四兆円です。

一方、輸入はそれほど多くありません。これが一つの大きな特徴です。ご存知のように日本が保

護貿易をやっているわけではなく、理由は二つあると思っています。一つは品質です。日本の製品は、中国材では実現できないような優れた品質を持っています。もう一つは、日本のマーケットに魅力がないからだと思っています。日本での売値が安いので、日本に輸出してももうからないということです。残念ながら日鉄グループは赤字の状況ですが、その理由の一つとして、「付加価値に見合うだけの価格にはなっていないのではないか」と思われます。

鉄は日本の基幹輸出品目の中で長年にわたりトップテンに入っていますが、実は、鉄が上位に来るのは必ずしもよいことだとは思っていません。むしろ、鉄で輸出するよりは日本国内でできるだけさらに付加価値をつけて、例えば自動車として輸出したほうがよいと思います。その意味で、最近、鉄の順位が上がってきていることは気

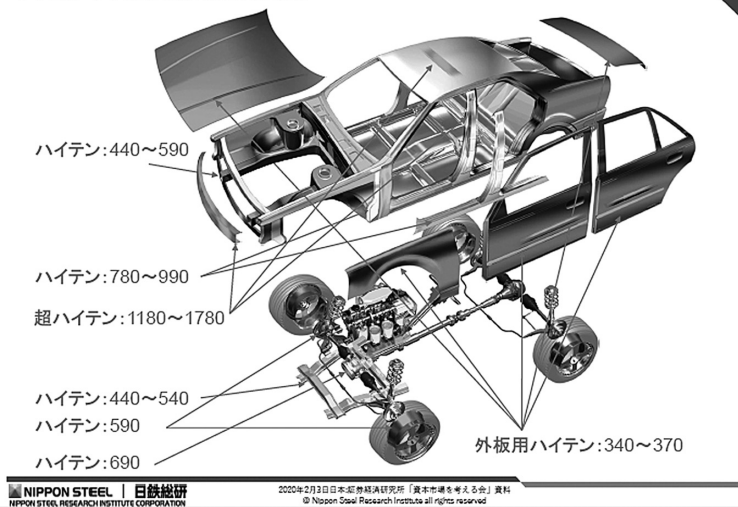
になります。

次に、中国と、日本、韓国、世界との鉄鋼貿易の関係を見てみます。日本は、中国からの輸入は若干ありますが、輸出がはるかに多く売り勝っています。一方韓国は完全に中国に売り負けており、世界全体で見ると中国が輸出国になっているという構図です。この関係から、日本の鉄鋼業は依然として国際競争力を維持していることがわかります。

なぜ日本の鉄鋼業はいまだに強いのか。それは、鉄に限らず、日本の素材メーカー共通の強さの源泉だと思えますが、需要家のさまざまな要求に対してしっかりと答えを出しているからだだと思います。ですから、鉄鋼製品は、かなり細かくつくり分けられています。自動車一つとってみても、図表2のとおり、何十種類もの鉄鋼製品が使われています。

図表2

自動車用高張力鋼板



例えばバンパーやルーフ、ピラーの内側には、

衝突安全性を確保するために、非常に頑丈な高張力鋼（ハイトン）や、一ギガパスカルを超えるようなスーパーハイトンが使われています。仮にハイトンを使わないとなると、非常に太いピラーとなってしまう重量が重く燃費が悪くなってしまう。重量を減らして燃費をよくしながら、衝突安全性を高めるための一つのツールとしてハイトンを使っているわけです。また、エンジンが載っている部分には、衝突エネルギーを吸収するような鋼材が使われていますし、外板は石が当たってもへこまない強さと意匠性を兼ね備えたものが使われます。ほかにもルーフ、ボンネット、フェンダー、ドア、それぞれに異なる特性を持った鋼材が使われています。

また、鉄の場合、単に素材を売るだけでなく、いろいろなソリューションを提供していることも

強さの源泉だと思っています。自動車メーカーが新車を開発するときには、加工方法まで一緒に話をしながらつくっていきます。新車開発の場合、何年も前から自動車メーカーと共同で素材開発を進めます。この辺も日本の素材メーカー共通の強さの一つだと思います。

(鉄鋼のマテリアルリサイクル)

ここからは、鉄鋼のマテリアルリサイクルについてお話ししたいと思います。

世界全体で年間に約一億台の自動車が生産されていますが、これは、いずれこの一億台が廃車になることを意味します。そのため、その素材には、量産性、加工性、経済性に加えて、リサイクルが可能であることが求められます。もし一億台の自動車がリサイクルできないような素材でできていたら、それは全て廃棄物になるわけですか

ら、この点は非常に重要です。

では、リサイクルの種類について簡単に御紹介します。

天然資源で素材をつくり、それで製品が作られ、世の中で五年なり一〇年なり使われた後、いずれは製品のE o L (End of Life)、寿命が来ます。自動車などの製品の生涯はこれで終わりですが、自動車を構成していた素材にはその先があります。例えばCFRP (カーボン繊維強化プラスチック) などの素材は、燃やすこともできず、リサイクルするとコストが非常にかかるので、埋めるしかないのが現実です。しかし、紙やプラスチックといった可燃性素材は、減容化のために焼却した後、その灰は埋め立てられますが、焼却時に出る熱エネルギーを電気などで回収できます。この手法を「サーマルリサイクル」といいます。

また「カスケードリサイクル」といって、材料

の性質の劣化を伴うリサイクルもあります。例えばプラスチックは、ホームセンターで売っているブランドなど、一回使ったプラスチックを溶かして成形されていますが、品質は低下しています。

この二つは、一応リサイクルですが、リサイクルを重ねる中で、素材のEOLに向かって進む一方です。このようなものを「オーブンループリサイクル」といいます。

これに対し鉄の場合は、再び新たな鉄鋼製品に無限にリサイクルできるのが大きな特徴で、これを「クローズドループリサイクル」といいます。貴金属以外でこのようなクローズドループリサイクル可能な素材はほとんどありません。

Fe_2O_3 がFeになり、それがスチールになって製品になり、製品のEOLを迎えてスクラップになります。製品の形がなくなっても、一回スチー

ルになったものは、スクラップになってもスチールのままです。つまり「Steel is still Steel」です。一つのスチールが天然資源と代替した形で次の世代の製品になって、さらにそれがまた次の製品の素材になります。鉄は、一回世の中に生まれると、何度でも、何にでも生まれ変わるという特徴があります。

二〇一五年の世界の鉄鋼のマテリアルサイクルを見ると、一一・二億トンの天然資源起源の「鉄」が生産され、五・六億トンのスクラップとともに一二・七億トンの鉄鋼製品が生まれる流れになっています。

（クローズドループリサイクルの要件）

クローズドループリサイクルができるためには五つの要件が必要です。

一つは、誰でも簡単に分別できることです。シ

ンブルですが、非常に重要なことです。鉄は磁石につくので、磁石につかないのは鉄以外として大まかに分けることができます。これが、鉄が神様からいただいた一番重要なネイチャーだと思います。

二つ目は、再生利用のための負荷が低いことです。先ほど、CFRPは再生するのにコストが非常にかかると言いましたが、鉄の場合は還元工程が不要で、溶かせばいいわけですから、非常に経済性が高いといえます。

三つ目は、経済合理的なリサイクルシステムができています。例えば補助金などをもらってやると、それがなくなった瞬間にそのリサイクルルートは絶たれてしまいます。一方、スチールスクラップの場合は、常に市場価格があつて取引されています。今は二万五〇〇〇円ぐらいだと思いますが、高いときは五〜六万円になるため、マ

ンホールの蓋を盗んでスクラップにする者も出るくらいです。

この三つは、鉄に限らず、ほかのリサイクルについても言えることですが、クローズドループリサイクルにはさらに二つ、技術的な要件があります。

一つは、リサイクルによる材料の品質低下が生じにくいことです。リサイクルできても、だんだん品質が落ちていくと最後はごみになります。鉄の場合は不純物を分けやすいので、品質低下が起きません。ただ、鉄にも除去できないエレメント（トランプエレメント）があります。その代表的なものがカップパー（銅）です。ですから、自動車メーカーは、鉄の品質低下を起こさないために、ワイヤーハーネスが簡単に取り外せるような設計にしてくれています。一方で、アルミはほとんど全ての元素が、いったん混じると取り除くことが

できないトランプエレメントです。ここが一番の弱点です。しかも、鉄のように磁石で分けることもできないので、一旦不純物が入ると品質低下が起きてしまいます。

もう一つの技術的な要件は、その時々で必要とされる多様な製品に再生可能なことです。

アルミには、大きく七つの合金系列があり、合金の種類と量で品質が決まります。例えば、アルミ箔はアルミの純度が非常に高く、合金成分はほとんどありません。金型は約八%が合金で、そのうちの半分がカップーです。パネルはシリコンがたくさん入っています。このように、アルミは系列によって合金成分と量がそれぞれ異なっているため、これらが混ざって集められてしまうと、どの系列にも当てはまらないものにかなりません。

アルミ製品で、実際にリサイクルがきちつとで

きているのはアルミ缶とアルミサッシくらいです。缶はスチールかアルミしかありませんので、スチールを磁選すれば、あとはアルミになります。缶蓋と缶胴は、合金系列はほとんど同じですが、アルミの純度が異なり缶のほうが合金成分が多いので、蓋は缶になれても、缶は蓋になれません。アルミサッシは形状で分別することができません。難しいのは自動車のボディーです。これはメーカーによって使っている合金系列が違うそうなので、廃車になったものがシュレッダーで破碎されてしまうと、どの合金系列かわからなくなってしまうです。

それに対して鉄は、熱を加えたり、圧延の速度や冷やし方を変えることによって、いろいろな微細組織、すなわち様々な特性を持った鉄鋼製品をつくることができます。しかも、鉄鋼製品の中に入っている合金成分は、トランプエレメントとは

異なり、通常の精錬工程で成分調整が可能です。

すなわち、スクラップを溶かして、再度新しい組織をつくってやれば、所望のものに生まれ変わるという特徴があります。このような特性を備えた材料は世の中にはほとんど存在しないので、鉄器時代が始まってすでに二〇〇〇年以上経ちますが、まだまだ鉄器時代は続いていくと思います。

（鉄のライフサイクルで考えるCO₂問題）

次に、製造からライフサイクルまでのライフサイクル全体で考えることの重要性についてお話ししたいと思います。

自動車の燃費規制は年々厳しくなっています。燃費の点で見ると、自動車の軽量化は非常に大事で、樹脂などの軽量素材を使えば燃費は当然よくなります。そのため、BMWなどは積極的に樹脂を使うと宣言しています。

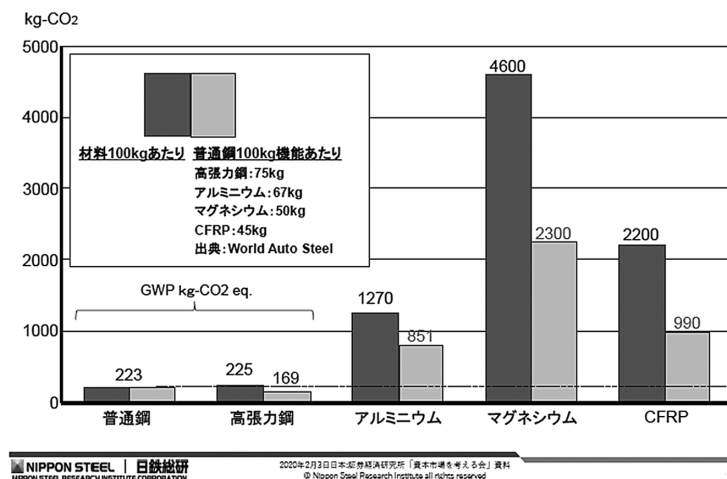
また、アルミも軽量ですので、エンジンフードなどでの使用がふえています。石が当たるとへこむので、フェンダーに使うのはなかなか難しく、石が飛んでこない箇所をアルミにするケースが多くなっているようです。

GMは、Corvetteという一番売れ筋のピックアップトラックのボディを全部アルミにしました。アメリカで最も厳しいカリフォルニアの燃費規制をクリアするためと言われていますが、これには衝撃が走りました。ただし、GMの苦しいところは、アルミボディにしたコストに対して、「アルミだから高くても買う」という人がなかなかいないということです。Corvetteを選ぶ人たちの価値観と隔たりがあったため、価格転嫁が難しかったという話を聞いています。以上が走行段階の話です。

次は製造段階です。図表3は、自動車を構成す

図表3

主要構造材の製造時負荷



る素材一〇〇キログラム当たりの製造時のCO₂排出量です。一番左側が普通鋼（亜鉛メッキ鋼板）で、一〇〇キログラムの亜鉛メッキ鋼板をつくるのに二三キロ（一トン当たり二・二トン）のCO₂が出ます。これを高張力鋼にすると、圧延量が増えるので、CO₂は若干ふえます。

アルミの場合は、一〇〇キロつくるのに一二七〇キロものCO₂が出ます。そして、マグネシウムは四六〇〇キロ、CFRPは二二〇〇キロです。比べてみると、鉄をつくるときの環境負荷は意外と低いことがわかります。ただし、これらの素材は軽量化効果があるので、それを反映したのが右側の棒グラフです。高張力鋼はいろいろな種類があるので、平均で二五%軽量化できるという前提ですと、点線で示したライン（普通鋼のCO₂排出量）を下回りますが、それ以外のものは上回ってしまいます。したがって、ポイントは、こ

の材料製造時にふえたCO₂分を走行段階で取り返せるかということです。

アルミ製造の電源構成については、昔は水力が多かったのですが、需要がふえて中国材が出てきたことで、石炭火力の比率が拡大し、年々高炭素化しています。

次は、見落とされがちなりサイクル段階です。CFRPは、使用時負荷の部分は非常によくなりますが、リサイクルできないのが問題です。BMW i8のように希少な高級車に使うのであればまだしも、プリウスなどのような大衆車に使われるようになるのと廃棄物問題を惹起する可能性があります。

鉄やアルミの一部にはリサイクルできるメリットがありますが、廃棄コストが発生する素材もあります。つまり、トータルで本当に勝るのはどちらなのかを考える必要があるということです。

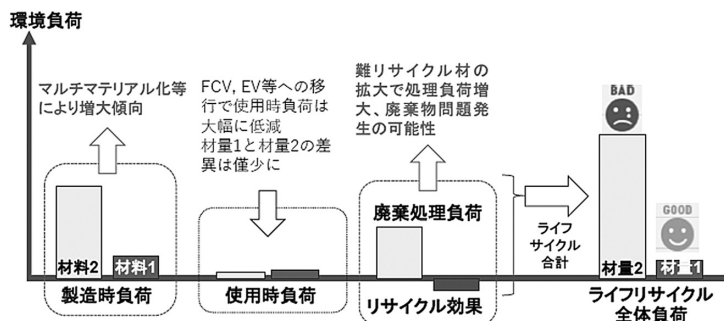
ガソリンエンジンの場合、ライフサイクル全体の中でCO₂を排出するのはほとんどが走行時なので、とにかく燃費が大事でしたが、それがHV（ハイブリッド）になりPHV（プラグインハイブリッド）になると走行時のCO₂は大幅に減り、EVやFCVの走行時CO₂はゼロです。しかし一方で、燃料の電気や水素を何でつくるのかという問題がありますし、また、モーターや燃料電池が必要になるので、走行時以外のCO₂はふえます。したがって、今後は、燃費ではなく材料が支配的になり、素材選択がより一層大事になると考えられます。

絵に描くと図表4のようになります。走行（使用）時の負荷はほとんどないため、材料やリサイクルが重要になってきます。

長期温暖化対策ビジョンから読み解く「二一世紀、鉄鋼は売りが買いか？」

図表4

将来の自動車のLCA



- 将来の自動車のライフサイクル環境負荷は、材料選択に大きく依存する
- 環境負荷の高い材料の適用拡大、難リサイクル材の適用拡大は、自動車のライフサイクル環境負荷を悪化させる

NIPPON STEEL | 日鉄総研
NIPPON STEEL RESEARCH INSTITUTE CORPORATION

2020年2月3日日本経済新聞研究所「脱中道も考える会」資料
© Nippon Steel Research Institute all rights reserved

(鉄鋼製品の「3R」)

ここで少しインタミッションを入れて、鉄鋼製品の「3R」を御紹介したいと思います。

一つ目は「Reuse」です。一九二二年に建設された常磐線の利根川橋梁は、八連のトラスで構成されていましたが、そのうちのトラスが第二高原川橋梁に、四トラスが庄川橋梁に、三トラスが阿賀野川橋梁に移設され、いまだ現役です。約一〇〇年、橋としての仕事をしています。

また、横浜みなとみらい21の港三号橋梁は、一九〇六年に北海道の夕張川にかかっていた橋ですが、一九二八年に横浜の生糸検疫所への引込線として移設され、現在もそのままの形で歩道橋として利用されています。

次は「Reduce」です。東京電力神流川揚水発電所の例ですが、揚水発電所というのは、位置エネルギーを利用して電気をためたり発電したりし

ますので、かなりの高度差があります。ここでは七・四メートルの高度差があるため、単純に言うところの底の部分には七・一キロの静圧がかかっています。内径八・二メートルでこの水圧に耐えるためには、普通鋼では相当な厚みが必要になるのですが、そこにハイテンを使うことで、薄くても七・一キロの水圧に耐えられるように工夫がされています。また、それによって、使う鉄の量も、トンネル掘削残土も減らすことができます。

最後が「Recycle」です。これは結構有名な話ですが、一九五八年に完工した東京タワーは、第二展望台より上の部分に朝鮮戦争で使われた米軍戦車のスクラップが利用されていると言われています。先ほど言った「鉄は何にでも生まれ変わる」というのは、まさにこのことです。戦争のときには戦車が必要ですが、平和になったら電波塔やフライパンが必要です。東京タワーは、鉄がそ

の時代に合わせていろいろなものになれるという一つの証左ではないかと思っています。

世界の鉄のタワーを見てみると、エッフェル塔は、当時まだスチール製がなかったので鍛鉄製で、東京タワーはスチール製、スカイツリーは高張力鋼製です。スカイツリーは、エッフェル塔や東京タワーと違って足が開いていません。ローソクのように立っていて下のほうに大きな圧力がかかるので、そこには超ハイテンが使われています。

二、長期温暖化対策ビジョン

（ビジョンの概要）

ここから、「日本鉄鋼連盟長期温暖化対策ビジョン『ゼロカーボン・スチールへの挑戦』」に移りたいと思います。

まず、長期ビジョン策定の背景ですが、もとも

と日本鉄鋼連盟は、二〇三〇年を目標年次とした「低炭素社会実行計画」を二〇一四年に公表し、数値目標の達成に向け努力してきました。パリ協定では、二〇三〇年以降の長期戦略の策定を各締約国に求めています。その提出期限が今年です。そのため、昨年のG20サミットで日本としてのビジョンを出したいという政府の意思が見えていましたので、それよりも一年前に鉄鋼業界のビジョンを出すことにしました。国のエネルギー政策や環境政策が決まる前に業界としての考えを公表し、それを国の政策の中に織り込んでもらうということが重要だと考えたわけです。政府の「パリ協定に基づく成長戦略としての長期戦略」の中にも明記され、この戦略は成功したといえます。

次に策定方針ですが、二〇三〇年以降二一〇〇年までをスコープとしました。政府は、二〇五〇年をスコープに八〇%の削減目標を掲げています

が、二一〇〇年の二℃が最終目標なので、我々はこちらをスコープとしました。また、鉄は、マーケットもサプライチェーンも完全にグローバルになっていきますから、日本国内での対応では余り意味がありませんので、グローバルな対応を前提としました。

なお、低炭素社会実行計画では数値目標をかかれています。さすがに二一〇〇年のことを数値を示して約束するのは難しいので、今回の長期ビジョンではあくまで「方向性」、すなわち「ビジョン」を示したものとなっています。

そのほかに、現行の低炭素社会実行計画との並立や、実行中の国家プロジェクト（COURSE50等）との整合を考えました。

ビジョンの構成は、PartIで将来の鉄鋼需給を想定しています。想定結果によって何を行うかが大きく違ってきます。例えば、スクラップだけで

回る世の中ができるとなったら話は簡単です。電力をゼロエミッション化してしまえば、どれだけ電気を使ってもCO₂を出さないのです、それでよいのですが、本当に実現できるのかという検証をしています。

そして、Part2では、需給想定を前提とした長期温暖化対策シナリオを四つ考え、Part3では、そのシナリオを実現するために日本鉄鋼連盟として何を行っていくのかという構成になっています。

(Part1 鉄鋼需給想定)

まず、将来の鉄鋼需給想定です。SDGsでは、よく気候変動対策が注目されますが、一方で、SDGsに含まれている、貧困をなくすことや、産業技術、エネルギーアクセスなどへの対策は鉄鋼需要の促進要因となります。CO₂に関し

ては、気候変動対策とこれらの鉄鋼需要の促進要因はゴールが逆方向ですから、これをどう両立させるかがポイントになります。

日本には非常に正確な鉄鋼蓄積のデータベースがありますので、それをもとに将来の鉄鋼需要想定を行っています。日本の二〇一五年の鉄鋼の蓄積総量は一三・六億トンです。つまり、三八万平方キロメートルの日本の国土の中に、ビルや電車や自動車、あるいは缶など、大きいものから小さいものまで合わせると二三・六億トンの鉄鋼ストックがあるということです。それを人口で割ると一人当たり一〇・七トンです。

過去を振り返ると、私が生まれた一九五八年に初めて一人当たりの鉄鋼蓄積が一トンになっています。それから一五年後の一九七三年に四トン、さらに一五年後の一九八八年に七トン、さらに一五年後の二〇〇三年に一〇トンになって、その後

はステイブルな状態が続いています。

必要な鉄の総量について、いろいろな経済学者が分析していますが、ミューラーの分析では、GDPが一人当たり二万ドルぐらいになると、大体八～一二トンの間におさまるようです。

また、世界鉄鋼協会が二〇一二年に出した一人当たり鉄鋼蓄積では、今後大きな伸びが予想される中国とインドにおいても、幅はあるものの、今世紀中には一〇トンに到達するだろうと見ています。したがって、一〇トンというのが、人が豊かに暮らすための一つの目安になると考えました。

そこで、試算の前提として次の数字を置きました。二〇一五年は、世界の鉄鋼蓄積量が約三〇〇億トン、世界の人口で割ると一人当たり四トンです。これは日本が一九七三年に到達した数字です。そして二〇五〇年には、中国もインドもふえてくることを想定して七トンとしました。これは

少しマイルドな想定だと思っています。この想定の意味するところは、世界は六二年遅れて日本に追いつくということです。さらに、日本は四トンから七トンになるのに一五年かかりましたが、世界ではそれに三五年かかると見ています。二一〇〇年には、SDGsが世界中で達成できていると想定して一〇トンとしました。

これにUN（国際連合）の人口推計を掛け合わせると必要なストック総量が出てきます。また、表面がさびになってFe₂O₃に戻る分がありますので、〇・一％をロスとしました。さらに、スクラップ発生率として、内部スクラップ、加工スクラップ、老廃スクラップをそれぞれ実績から推計しています。

蓄積総量は、二〇五〇年で六八二億トン、二一〇〇年で一一八億トンです。実は、これは大変な数字で、我々が一八五〇年ぐらいに近代製鉄を

始めて以降、一六〇年以上かかって世の中にストックしたのが約三〇〇億トンです。それを、二〇五〇年までの三〇年間で四〇〇億トンふやすことになるわけです。

ストックの量はスクラップではふえません。スクラップは再生されるだけです。ふえるのはすべて天然資源ルートです。ですから、二〇五〇年でも一四億トン、二一〇〇年でも一二億トンという現在並みの銑鉄・DRI生産が必要になります。なお、ストックが拡大するとスクラップ発生量（利用量）が増大するので、二〇四五年あたりでバージン生産量をセカンダリー生産量が上回るようになります。

(Part2 四つのシナリオ)

次に、この需給想定を前提に四つの長期温暖化対策シナリオを立てました。

一つ目は「BAU (Business as Usual) シナリオ」です。これは、天然資源ルート、リサイクルルートともに現状の原単位のまま、粗鋼生産量が変化するというものです。

二つ目は「BAT (Best Available Technology) 最大導入シナリオ」です。これは、エネルギー効率の高いBATを世界中に広めるということです。

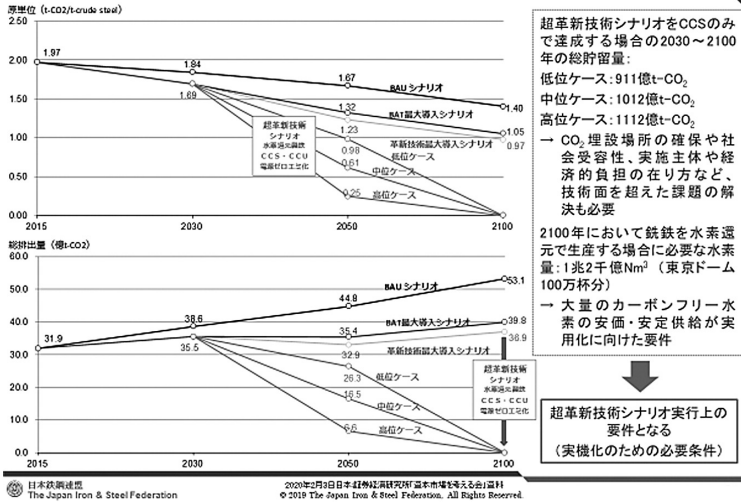
三つ目は、現在開発中の革新技術を二〇五〇年までに導入する「革新技術最大導入シナリオ」です。

ここまでも達成は難しいので、四つ目として「超革新技術開発シナリオ」を描いています。これはどちらかというとバックキャストでCO₂総排出量を二一〇〇年にゼロにするシナリオです。

その計算結果が図表5です。上が原単位で、下がCO₂総排出量です。二〇一五年は、世界の鉄

図表5

鉄鋼業の長期温暖化対策シナリオ:CO₂排出量



鋼業全体で約三二億トン（うち日本は一・八億トン）のCO₂を排出しています。原単位に直すと一・九七です。

一番上のラインがBAUシナリオです。スクラップ比率が上がってきますので、自然体でも原単位は一・四〇まで下がりますが、総排出量はふえていきます。

BAU最大導入シナリオでも、原単位は半分ぐらいまで落ちますが、粗鋼生産がふえるので、やはり総排出量はふえます。

革新技術最大導入シナリオは、現在開発中の革新技術が二〇三〇年ぐらいから導入され、二〇五〇年までに導入を終えるというのですが、これでもやはり達成できません。

超革新技術開発シナリオは、とにかく二一〇〇年の総排出量をゼロにするというシナリオです。これを達成するための技術要素は、還元剤をカー

ボンから水素にかえ、カーボンを使うのであれば、それをCCS（二酸化炭素回収・貯留技術）で沈め、外部から調達する電気をゼロエミッション化するということです。この組み合わせしか答えはないのですが、それぞれ非常に難しい要素を含んでいます。

例えば、一四億トンの鉄鋼生産を全部CCSでカーボンゼロにしようとすると、二一〇〇年までに一〇〇〇億トンを超えるぐらいのCO₂をどこかに埋めなければいけませんし、水素還元製鉄で一二億トンの鉄をつくらうとすると、年間で一兆二〇〇〇億立方メートルの水素が必要になります。ですから、単に鉄側の技術開発だけでなく、他のインフラもついてこないと実現できないシナリオです。ただ、これが実現できれば、二℃シナリオの達成は可能であるとの確認はとれていきます。

(Part3 革新技術開発)

日本鉄鋼連盟では、長期温暖化対策として、従来から三つのエコと革新技術で対応することを宣言しています

まず、三つのエコを見ていきます。

「エコプロセス」は、鉄鋼製造プロセスの省エネです。これは日本が一番得意な分野で、さまざまな技術が中国やインド等に輸出されています。RITE（地球環境産業技術研究機構）が五年に一回行っているエネルギー効率の国際比較では、日本は世界トップです。

二つ目は「エコソリューション」です。IEAが日本の技術を世界に広めた場合の効果を分析しています。それによると、中国をはじめとする多くの国々が日本の技術を取り入れることで省エネできる余地が極めて大きいことがわかっていきます。それを実現するために、中国、インド、AS

EANとの国際協力にも取り組んでいます。

三つ目は「エコプロダクト」です。私が入社したころは、四〇〇メガパスカルぐらいのものをハイテンと言っていました。今は一六〇〇メガパスカルのものできています。わずか四〇年のあいだに、鉄鋼製品の強度は四倍もふえたわけです。ところが、鉄の理論強度は一〇・四ギガパスカル（一万四〇〇メガパスカル）もあり、これまでに実現できている強度は、製品形状によって異なりますが一〇分の一から三分の一にすぎません。したがって、二一〇〇年までにどれぐらい理論強度に近づけていけるかがもう一つのポイントになります。

最後が超革新技術の開発です。

現在進めている国家プロジェクトに、COURSE50という高炉の水素還元比率を上げていく取り組みがあります。二〇三〇年ごろの商業化を目標に進

めています。さらに水素還元比率をふやす、あるいは完全に水素還元に持っていく技術の開発にも着手することにしました。

そのためには、世の中の共通インフラとしての技術開発が必要になってきます。一つは、カーボンフリー電力です。電力がカーボンを含んでいると困るので、含まない電力の供給をお願いしています。

また、カーボンフリー水素も重要です。還元剤の代替として大量のカーボンフリー水素が経済合理的なプライスで調達できることが必要です。で、こちらについても現在さまざまな対応をお願いしています。

COURSE50は、製鉄所の中に試験高炉をつくって、高炉の中の水素還元比率を上げるための国家プロジェクトを二〇〇八年から進めています。水素還元比率を一〇%ふやすめどは完全に立

ちました。これをどこまでふやせるかを今後二〇三〇年に向けて進めて行きます。

カーボンによる還元は発熱反応なので、中で鉄鉱石を還元すると同時に還元された鉄は溶けて出てきます。ところが、水素による還元は吸熱反応で、温度がどんどん低くなって最後は凍ってしまいます。鉄は溶けないし、出てきた H_2O はみんな氷になってしまふ、これをどうクリアするかが非常に大きな問題になります。

また、水素のプライスも、今一〇〇円ぐらいかかっているのを一〇円以下にしないと、パイアブルではないことがわかっていきます。そこで昔、工業技術院で行われていた原子力製鉄というプロジェクトで培った水素還元製鉄に再度取り組むことにしました。

水素源としては、オーストラリアや中東などの海外から、安価なカーボンフリー水素を調達する

ことも考えられています。

日本鉄鋼連盟としては、地に足をつけて日本で鉄をつくるのが国の産業技術の一つの礎になっていることは間違いないと思っていますので、マーケットは国外であっても、日本で鉄をつくる意味は大きいと思っています。

宇宙には最初、水素とヘリウムしかありませんでしたが、それがだんだん核融合していつて、今から一三〇億年ぐらい前に初めて鉄ができました。我々が今使っているのはまさにそのときできた鉄で、しかも体の中にも入っています（ヘモグロビン）。そして、これから先も地球では鉄が使われていくでしょうし、宇宙にも鉄はありますので、宇宙でも使われていくだろうと思います。

御清聴、どうもありがとうございました。（拍手）

○増井理事長 日本の鉄鋼業の現状と、CO₂問題などに関する長期ビジョンについてお話しいただきます。

せっかくの機会ですので、御質問等いかがでしょうか。すぐには出ないようでしたら、私のほうから。

樹脂やプラスチックなど、鉄にかわる素材が出てくる可能性はどのくらいあるのでしょうか。また、日本は、鉄の生産技術において世界をリードしているというお話でしたが、今後ずっとこの優位性を保つことができるのか。この二点について御説明いただければと思います。

○小野 鉄にかわる素材自体は、もう大体出尽くしているのではないかと思います。CFRPも含めたプラスチックやアルミニウム、マグネシウムなどです。

ただ、代替できるとしても、そのときの問題

は、これらが量産された場合の廃棄物問題です。

また、コストの問題もあります。先ほどFEROの話をしました。使う人が価値を見出してくれるかどうかです。ですから、リサイクルや環境面の部分と経済合理的な部分をトータルで考える必要があると思います。

経産省では、様々な素材を適材適所に使用するマルチマテリアル化を進めようとしています。私もその会議に出ましたが、残念ながら、多くの方は、各素材をどう接合していくかという話ばかりで、リサイクルの話をしたのは私だけでした。でも本当は、どうやって切り離すかのほうが重要なのは、このような問題が今後起きてくると思います。

二点目の日本の鉄鋼産業の優位性ですが、正直なところ失われつつあります。特に迫ってきているのは中国です。中国の原単位は日本よりも二

○%ぐらい悪いのですが、それは中国にまだ古い製鉄所が残っているからです。しかし、中国には、最高技術の製鉄所もできていて、場所によっては、日本の老朽化した製鉄所よりも効率がよい可能性があります。

品質についても、例えばシーメンスなどの鉄鋼製造設備のメーカーは、我々のオペレーションデータをビッグデータとして集めて、それ込みで売っています。要するに、一定の品質のものは、シーメンスから設備を買ってくればつくれるということです。これは非常にまずい状況です。我々はそれより一步も二歩も先を行かないと追いつかれてしまいます。

ただ、日本には、製品開発の最初からユーザーインして、一緒に考えてモノをつくっていくネイチャーがあります。中国は、そこにはなかなか入ってこれないでしょうから、そのあたりで

今、一生懸命優位性を守っているという状況です。

○質問者 まだまだこれから鉄がふえていくというのですが、鉄鉱石や原料炭の供給について、どのくらいの成長の可能性と制約があるのかを教えてください。ただ、それだと思います。

○小野 まず、鉄鉱石ですが、地球の重量の三分の一は鉄ですので、量に関しては心配要らないと思います。ただし、問題は良質な鉄鉱石が減っていくことです。簡単に掘れなくなると、深く掘らざるを得ませんから、不純物を多く含んだ鉄鉱石を使うようになる可能性はあります。でも、その時は、そのような鉄鉱石を使う技術開発が起きてくると思います。

還元剤については、カーボンを還元剤として使うことは、少なくとも今世紀中は大丈夫だろうと思います。ただ、別の制約条件、例えば環境規制

やCO₂の問題で使えなくなる可能性のほうが高いのではないかと思っています。そのために今、代替還元剤として水素に取り組んでいる状況です。

○増井理事 それでは、時間になりましたので、今日の「資本市場を考える会」はこのあたりで終わらせていただきたいと思います。

小野様、大変勉強になるお話、どうもありがとうございます。（拍手）

（おの・とおる・ 日鉄総研取締役
日本鉄鋼連盟特別顧問）

（本稿は、令和二年二月三日に開催した講演会での講演の要旨を整理したものであり、文責は当研究所にある）