

訪問記

夢をカタチに・・Flag Ship Mill“KIMITSU” ～新日本製鐵(株) 君津製鐵所訪問記～

1

はじめに

人類が手にした最高の素材、太古からの地球の記憶を秘めつつも、地球の未来に可能性を生み続けているもの、それが「鉄」である。地球上には鉄鉱石として存在しており、その資源としての豊富さが、鉄の魅力のひとつでもある。鉄鉱石は鉄へと姿を変えるため製鐵所へとやってくる。今回われわれが見学を訪れた「君津製鐵所」には、人間と鉄の3000年に渡る関わりが生み出した、最新の知恵と技術が凝縮されていた。機械系の学生なら誰でも持っている夢・・をカタチにしている現場に足を踏み入れると、原料ヤードで鉄鉱石を荷揚するアンローダや焼結工場や高炉を結ぶベルトコンベヤや配管群などに出迎えられ(図1)、まるで映画「スターウォーズ」の世界に飛び込んだような感覚に胸を躍らせた。鉄鉱石が実際に私たちの手にする鋼に変身するまでをあの臨場感とともに伝えたいと思う。

2

製鐵所のシンボル「高炉」

とにかくデカイ。パッと見た感じでは本当に動いているのかも分からない

い。しかも高炉までの移動中に、踏切はあるし、溶けた鉄を運ぶ列車(トピードカー)が整然と横切るし、君津製鐵所のスケールの大きさに飲み込まれそうになる。

高炉というのは製鐵業の原点、すなわち天然資源である「鉄鉱石」から「銑鉄(溶けた鉄)」を生み出す重要な働きをするものである。今回見学したのは「君津製鐵所第4高炉」で、2003年5月8日に火入れ以後、絶え間なく操業し続けている。世界最大級の容積(5555m³)を誇り、1日に1万2000tもの銑鉄を生み出しているのだ。まずは、銑鉄を作り出す原理について簡単に説明しよう(図2)。

高炉の最上部から鉄鉱石とコークスを交互に層を作るように装入し、炉下部の送風羽口から約1250の熱風とコークスの補完還元剤である微粉炭などを吹き込む(高炉に羽口から吹き込む熱風の温度は約1250だが、羽口後方のレースウェイという空間でコークスが燃焼し、レースウェイ内のガス温度は約2250となるという)。すると、熱風により微粉炭やコークスがガス化し、一酸化炭素や水素などの高温ガス(還元ガス)が発生する。そしてその還元ガスが激しい上昇気流となって炉内を吹き昇り、炉内を

下降する鉄鉱石を昇温させながら酸素を奪う(間接還元)。溶けた鉄分はコークス層内を滴下しながらコークスの炭素と接触して、さらに還元(直接還元)され、炭素5%弱を含む溶銑となり、炉底の湯溜まりに溜まる。これが「銑鉄」である。

なかなかイメージしにくいかも知れないが、要するに高炉という一つの反応容器の中で、上から固形物を飲み込み、消化して液体とガスに変える機能は、“人間の消化機能”に例えれば分かりやすいかもしれない。もちろん高炉が“風邪や消化不良”を起こしていないかを常に監視しているわけだが、その人数がなんとたったの7人/シフト。それだけ高炉操業の自動化が進んでいるわけだ。自動化が進む以前(約25年前)は、約20人/シフトだったという。これでもまだ不十分で、海外から調達される原燃料の諸条件に対応し、“風邪や消化不良”を未然に防ぐ、さらに高度な自動化をめざしているという(図3)。

実際に高炉の最下部へと降りると、図4に示す熱風の吹込み口である「送風羽口」が登場した。円形の高炉最下部に数十台の送風羽口があり、絶え間なく熱風を吹き込んでいる。羽口から高炉内をのぞくと、そこはまさに灼熱



図1 高炉から原料カードに向けて

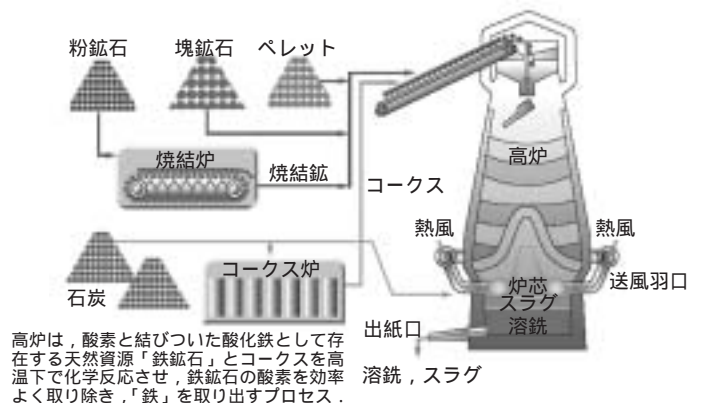


図2 高炉法の工程【提供 新日本製鐵(株)】



図3 高炉管制室



図4 高炉下部(送風羽口)



図5 1500 の鉄をのぞく取材班

の世界。真っ赤に溶けた銑鉄が絶え間なく生み出される様子は、まぎれもなく巨大生命体と言える。また、同じ位置にずっと立っていると足元から熱気が上がってくるので見学される際は注意が必要である。足元の樋に流れているのは、約1500の鉄ですから(図5)。

3 不純物を除去する「転炉」

実は高炉で溶けた銑鉄というのは粘りがなく、非常にもろいのだ。そのため、強靱な「鋼」を作り出すためには、銑鉄にさまざまな操作を施し、徹底的に不純物を除去する作業が必要となる。この不純物を取り除く作業こそが製鋼作業の核であり、製鋼法にはさまざまな方法が開発されてきたが、そのうち現在主流になっている方法が「転炉」である。

炉を転がすと書いて「転炉」。まさに巨大なバケツをひっくり返すように、300tの銑鉄を精錬する様子は想像以上だった。一度に300tもの銑鉄を精錬できる転炉法の歴史は約150年にも及ぶ。リンや硫黄を取る「溶銑予備処理」、炭素を取る「一次精錬」、水素や窒素を抜き、成分調整の合金添加を行う「二次精錬」など転炉法の詳しい情報は新日本製鐵ホームページ <http://www.nsc.co.jp/> または文献(1)を参照していただきたい。

次に転炉で精錬が終わった鋼が向かう先は鑄造プロセスである。1960年代までは、鑄型に溶鋼を流し込み、冷やし固めていたが、1970年代以降は溶鋼から直接鋼片をつくる「連続鑄造機」が登場した。これにより飛躍的な生産性の向上と省エネルギー効果が

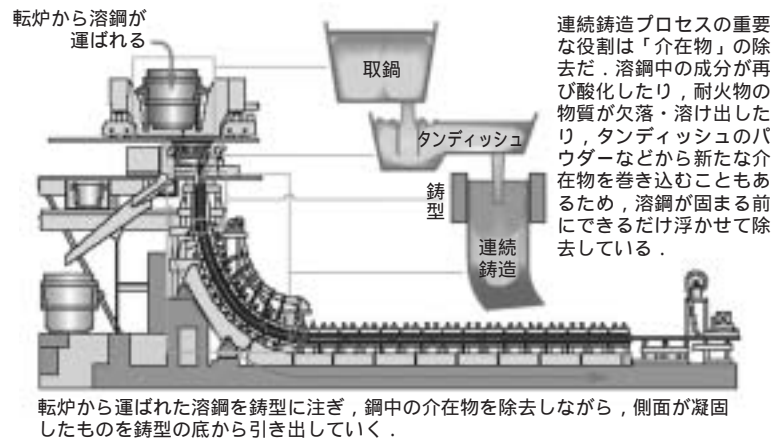


図6 連続鑄造機の仕組み〔提供 新日本製鐵(株)〕

ら、現在ではほぼ100%の適用率だという。

連続鑄造工程の重要な役割は、鋼中の介在物をさらに除去することだという。酸化物などの固体の介在物は、鋼材の強度、加工性、耐疲労性の低下の原因となるため、連続鑄造工程では、鋼が固まるまでに、できるだけ浮かせて除去するのだ(図6)。

以上の製鋼工程の見学で印象に残った点は、大量の溶銑、溶鋼の精錬、製鋼を可能にしている重機群だ。工場内を、巨大な重機群が無駄のない動きの中で、規則正しくうごめく様子と、その重機群の中を整然と流れる鉄に、製鉄業ならではのダイナミックさを感じることができる。一つの意識系統に沿うように、重機が「うごく」だけの単純なことなのだが、あれだけ大きなものだけに機械屋の血が騒ぐ。この後に説明する熱延工場もまさに重機群の共演であった。

4 1.2mmまでの板厚制御に大量生産「熱延工場」

連続鑄造機を出てきた溶鋼はスラブ

と呼ばれる半製品の状態で、熱延工場へとやってくるのだが、そのスラブの輻射熱が工場内に充満していて、見学中也汗が止まらない。これぞ製鉄所と言わんばかりに次々とスラブが出来上がり、熱延工場へと運ばれて来る。

厚さ240mmのスラブは熱延工場の玄関ともいえる加熱炉で約1200まで加熱され、SP機(サイジングプレス機)で板幅を調整し、粗圧延機へと運ばれる。この時点で、板厚は40mmとなり、仕上圧延機へと運ばれる。この仕上圧延機では、最小1.2mmまでの板厚制御が可能である。その後、温度制御を行いコイル状に板を巻きつけて、圧延工程は終了する。

熱延技術グループの立石氏は「圧延は簡単そうで、難しい」という。突き詰めていくと、「変形との闘い」がミクロンの世界(1000分の1mm)で繰り広げられているそうだ。ミクロンオーダーの板厚制御に代表される難しい品質の作りこみを100%の確率で、かつ大量生産を要求される熱延技術グループには、通常は気にしない重機群の細部にこだわった技術開発・問題解

決力が求められる。モノづくりへのこだわりがそうさせるのだろうか、新日鉄の技術開発・問題解決力は計り知れない。実際に圧延工場を見学すると、こだわりが生み出した創造物の持つ独特の威圧感を感じることができたのだ。

世界的な鋼材の需給のひっ迫が続いているため、圧延工場はフル回転操業だ。素人目の取材班にも、その様子が伝わってくる。加熱炉が開きムアッと熱気を感じると、なかから20t、1200の鉄の塊「スラブ」が登場した。すべて自動化されていて、すぐさまSP機へと運ばれる。ドンドンと音をたてたかと思うと、足元にゆれを感じ、粗圧延機へとスラブがゴゴッと移動していく。こんな調子で、計3台の粗圧延機の中を数回スラブが行ったり来たりすると、瞬く間に鉄が姿形を変えて飛び出してくるのだ。「こんなものをよく作ったなあ。」正直な感想だ。

最後に仕上圧延機が登場した。粗圧延機が何台か連なったようなもので、シューシューと蒸気を上げ勢良く鉄を圧延している。あれだけ大きな重機が、ミクロンの精度で変形と闘い、うごめく様子はまさに、優れた創造物

だけが放つ「独特の威圧感」と言えよう。約1万種類にも及ぶ「商品」を一つのラインで分刻みのスケジュールにそって作り出す熱延工場には機械屋の人智が凝縮されていた(図7~10)。



5 製鉄所のエネルギー技術

もはや、製造業において「環境」「エネルギー」といったキーワードから離れることはできない。そこでわれわれは製鉄業における省エネルギー技術に着目し、君津製鉄所内の「高速2軸型蒸気タービンCDQ(コークス乾式消火設備の略)3号(フランスアルストーム社製)」と「液体水素製造技術開発実証設備」を見学した。

特に莫大なエネルギーを必要とする製鉄業。新日本製鐵は国内総エネルギー消費量の3%を、そのうち君津製鉄所では1%を占めており、製鉄所内のエネルギーの有効活用にさまざまな技術を注いでいるのだ。製鉄所ではエネルギーの約8割が高炉を中心とした製鉄工程で消費される。現在、一次エネルギーは脱石油の推進に伴い、ほぼ石炭系エネルギーを使用し、二次利用形態として、コークス、副生ガス、電力などに変換して、所内で使用してい

る。「鉄をつくる」とは別にコークス炉、高炉、転炉から回収される副生ガスは、所内の加熱用燃料や共同火力の発電用燃料、水素製造の原料ガスなどに利用されているという。

君津製鉄所の省エネルギー活動はオイルショックの1973年から進められてきた。これまでに排熱回収や工程省略・連続化、高効率化・更新などの省エネ活動がなされ、さらに近年ではプラスチックリサイクルを代表としたりサイクルなどの技術が取り入れられ、当時から比べると30%もの省エネルギー率を達成している。君津製鉄所のエネルギーフローをみると、鉄だけではなく、エネルギーの問題に関して熱心に取り組む姿勢が伝わってくる。

タービンCDQ3号(図11)は実際には建屋の中に入っているため、目には見えなかったが、ものすごい回転音によって、タービンの稼働を体(耳)で感じる事ができた。この排熱回収発電設備は高速2軸型蒸気タービンを採用し、高压と低压の蒸気をうまく有効利用できるのだ。もう一つの特徴は復水器にある。蒸気を水に戻す復水器は、通常タービンの下に取り付けてあるが、CDQ3号はタービンと直接につながることによって効率を上げる仕組みがなされているようだ。君津製鉄所では、所内での90%以上を排熱回収ボイラでまかなっており、その結果、燃料だけボイラは、現在では負荷バランスに合わせての運転で十分対応できるようになっている。

次に液体水素製造技術を用いた実証設備の見学だ(図12)。君津製鉄所の中で他の巨大設備に比べ、ひときわコンパクトで真新しい設備である。それが液体水素製造設備である。水素プロジェクトの目的は、気体で水素を運ぶのではなく、輸送・貯蔵効率の高い液体水素にすることで輸送効率を上げることだ。-250℃まで冷却、液化し、タンクローリーで有明の水素ステーションへ輸送、燃料電池バスの燃料として実証試験がなされている。またCoke Oven Gas(COG)から液体水素を製造する実証試験は世界初の試みである。ではコークス炉の副生ガス



図7 仕上圧延機(提供 新日本製鐵(株))



図8 スラブ



図9 加熱炉



図10 粗圧延機



図11 高速2軸型蒸気タービンCDQ3号



図12 液体水素製造技術開発実証設備

からどのように水素が取り出されるのだろうか。

コークス炉から回収される副生ガスの水素含有率は55%と高く、このCOGから水素を取り出す。液体水素になるまでには3段階の処理が必要となる。COG中の水素を吸着分離で水素のみ取り出すのだが、液体水素Fuel Cell Vehicle (FCV)の水素純度はかなり厳しい水準を要求されているので、まず一度、コークス工場で精製したものを、さらにいったん予備処理をかけるそうだ。再度、酸化鉄の触媒を通して脱硫をし直し、ナフタレンなどを取り除く。これが第一の処理である。次に、吸着塔において、カーボンオレギュラシーブという吸着剤を使用したPSAという装置で水素だけを抜き取る。ここまでの水素の精製工程である。最後の処理は、液体の水素に冷却していく。液化装置で液体窒素とプレイトンサイクルを使ったヘリウムの断熱膨張で冷却する。ここで製鉄所として特徴的なのが、液体窒素の利用である。鉄を作る工程で、酸素をつくるため、液体窒素は分離回収したときに残ってくる。その液体窒素を利用し、-193 までいったん水素を冷やして、続いて-250 までをヘリウムの断熱膨張で冷却するという2重

の工程をこなしている。ポイントは製鉄所のインフラを極力有効利用した形で液化をしようという点にある。今回見学した装置は実証実験用の設備であるが、設備能力としては200kg/日の水素ができ、水素自動車で換算すると毎日40~60台をフルに満タンにして、1台あたり、300km走れるくらいの製造能力をもっているようだ。

各工程で回収可能なエネルギーは回収し、その回収したエネルギーはすべて電力・蒸気や所内の燃料として使う製鉄所全体としての省エネと、さらに、各工程、単体ごとのさまざまな省エネ対策を行っているといった徹底した省エネ活動を知ることができた。

6 最後に

夢をカタチにする。カッコいい響きだ。しかし、自分たちも機械工学を学ぶ以上、一度は口にしてみたいと思う。昔の「たたら製鉄」から現在の「高炉法」へと変ぼうしてきたように、君津製鉄所の機械屋たちは今も夢をカタチにしていた。君津製鉄所薄板部熱延技術グループマネジャーの立石氏より、機械系学生へのメッセージをいただいた。「常日ごろ、自分がなぜだろうと思うことをたいせつにして欲しい。そ

の「なぜ？」に対して、技術的に答えることが、技術屋であり機械屋の仕事なのだから」。また、環境・エネルギーといった地球規模の問題へ積極的に取り組む製鉄所は、インターナルな効率化だけではなくプラスチックリサイクルや水素製造など製鉄所をプラットフォームとして社会環境・循環型社会への貢献を果たしていた。

今回の訪問記は自分にとって機械工学を見直す良い機会になったと思う。最後に、紛れもなく製鉄所は生き物であり、地球規模の環境問題へ積極的に取り組む姿勢に取材班一同共感することができた。巨大生命体はわれわれの生活を根底で支えつつ、すでに未来を見据えて動き出しているのだ。

見学に際し、お忙しい中ご対応いただいた新日本製鐵君津製鉄所の高坂吾郎様、伊藤彰様、立石康博様、永田俊介様、小田村威彦様、技術開発本部の伊藤雅浩様にこの場をお借りして、お礼申し上げます。

(文責 八木俊太、滝 康嘉、落合貴志、鈴木良平、水摩直子、古澤宏一朗)

文 献

- (1) 新日本製鐵(株)編著、鉄と鉄鋼がわかる本、(2004)、日本実業出版社。



図13 新日本製鐵(株)の皆さんと取材班