

(別紙-2)

2. 講演の要点のまとめ

1) 鉄の誕生

- ビッグバンによる宇宙の誕生後恒星が生まれ、恒星の核融合により作られた多くの元素のうち鉄元素は最終の安定した元素で、宇宙には広く存在し、地球では内核に多く存在する。鉄元素より重いニッケルや亜鉛元素は、超新星の爆発により生じたエネルギーにより作られたものである。
- 他の軽い元素と親和し地殻に存在する鉄元素は、酸性雨により溶解し海へ入った。約 27 億年前にシアノバクテリアが生まれ光合成により酸素が供給されると、鉄は酸化鉄となり沈殿堆積し、海底の隆起によりオーストラリアや南米に分布している鉄鉱床となり採掘が可能となった。

2) 製鉄技術の発展の歴史

- 金属の製造技術は酸素との結合力の弱い元素順に開発された。石器時代は金、銀、白金が使用され、その後青銅、製鉄技術へ、さらに還元の難しいアルミ、チタンは高度な科学技術を要する事から 19 世紀末以降になった。
- 製鉄は銅の精錬において、不純物として含まれていた硬い鉄に注目し、高温で還元すれば鉄が得られることを偶然発見したことによる。
- 16 世紀ヨーロッパでは、炉上部より鉄鉱石と木炭、炉底から空気を送り込む竪型の溶鉱炉で製鉄していた。空気の送込みに水車を利用した為多くは川辺に位置していた。また還元剤に木炭を使用した為森林伐採が進み、大量生産は叶わなかった。18 世紀初めコークスを使用するようになって生産性が加速された。
- 製鉄で得られた銑鉄は、不純物と炭素を多く含み脆くて鋼にはならなかった。不純物と炭素を除去する製鋼技術として開発されたのが反射炉である。燃焼ガスの輻射熱を溶けた鉄に当て炭素を除くことで同時にシリコン、ケイ素も抜け粘性の高い錬鉄が得られた。代表的な炉はパドル炉で人力により鉄棒で熔融鉄を掻き混ぜていた。パリのエッフェル塔は錬鉄により作られたものである。
- 反射炉は蕨山をはじめ日本にも数炉が導入されたが余りうまく稼働しなかった。それ以前には、日本では「たたら炉」による製鉄が行われていた。たたらとは鞆(ふいご)の事で、女性が足踏みで鞆を動かしていた。「地団駄を踏む」とか「代わり番こ」はこの作業を語源としている。比較的高純度である砂鉄を原料にしても、この方法で作られた鉄は、品質で欧州品に劣り銃などには適用できなかった。

3) 鉄砲・大砲への応用

- 19 世紀のナポレオン時代の大砲は青銅製で、弾は丸い鉄球であった。当時の鉄砲マスコット銃は鋳造でなく掘削で作られ、弾は前装式でライフルリングなしの立位発射方式で命中率は低かった。
- 19 世紀半ばに英国で開発された、ベッセマー転炉により不純物の少ない高品質の鉄鋼が得られるようになった。プロイセンのクルップはこの技術を積極的に取り入れ、熱力学や分析技術の発展を背景に鉄鋼生産を拡大し、大財閥企業へと昇りつめた。この後、高品質の鉄と鋳造技術の向上により、後装式ライフルリングのある高精度の大砲・銃が数多く製造された。
- 薩英戦争や戊辰戦争で勝利に寄与した英国製アームストロング砲や、普仏戦争の勝利を導き、首相ビスマルクに「鉄は国家なり」と言わせしめたクルップ砲などが代表例である。

4) 日本の製鉄業について

- 1901 年明治政府が、ドイツより技術者の応援を仰ぎ八幡製鉄所を作ったのが工業化の始まりである。
- 原料の鉄鉱石は南米より、コークス用の石炭はオーストラリアよりの輸入に頼っている為、製鉄所は全て臨海地区にある。中国や韓国も同じ立地を採用している。

- ・現在 25 基の溶鉱炉があり、臨海製鉄所は極めて合理的なレイアウトになっている。JEF の扇島製鉄所と福山製鉄所の工場全景写真より、原料入荷ヤードから製品出荷ヤードまでの合理的な製法が紹介された。
- ・溶鉱炉は稼働して 200～300 年経つが、依然として反応器としてはブラックボックスで技術開発の対象となっている。これは天然原料を使用する為その性状が振れること、および溶鉱炉の中は空洞で原料そのものが充填層となり上部より還元反応を伴いつつ溶融落下していくからである。
- ・溶鉱炉は稼働後 20 年は止めない。これはいったん止めると再稼働に時間がかかり、経済的損失が大きいからである。
- ・最近の日本の鉄生産量は約1億トンで 1970 年代以降間頭打ちの状況が続いている。

5) 鉄生産量の推移

- ・1900 年以降になると、ドイツに変わり米国が生産量でトップとなり次いで旧ロシアがリードしてきた。当時 US スチールなどの米国の生産量は 8～9 千万トンの規模であった。1945 年以前の日本の鉄生産量は八幡、京浜などを主力に、また満州も含めて 1943 年の 765 万トンがピークであった。
- ・2016 年の世界の鉄鋼生産は 16 億トンで、中国が 8.8 億トンと約半分を占めており、日本は第 2 位の 1 億トンでシェア 6% を占めているが、ここ半世紀間の頭打ち状態が依然として続いている。EU、米国、韓国およびインドが各々約 4～5% のシェアを占めている。

中国の急激な伸長は、日本からの技術導入による上海の宝山製鉄所稼働からである。今後はインドが伸びると予想され、数年のうちに日本を追い抜くと見込まれている。

- ・会社別にみると、1970 年度(6 億トン)でのトップは、新日本製鉄(34 百万トン)で、以下 US スチール、ブリテッシュスチール、ベスレームスチール(米)、日本鋼管、ATH(ドイツ)と日米欧州勢が上位を占めていたが、2015 年ではトップがアルセロールミタルの 1 億トン、以下 BAOWU (中国) 64 百万トン、HBIS(中国)46 百万トン、新日鉄/住金、POSCO(韓国)と続き、トップテンの内半数は中国勢が占めている。
- ・日本の鉄生産量1億トンの半分 5 千万トンが国内へ供給され、残りの 5 千万トンが中国と東アジアへ輸出されている。国内供給の半分は自動車向け鋼板で、自動車も半分ほど輸出されているので、ネットの国内消費は約 3 千万トン程度となる。
- ・日本の鉄の総蓄積量は 13 億トンあり、インフラ設備や自動車市場はほぼ飽和状態にあるところから、3 千万トンがリプレイスされ循環する構造が今後続くと思われる。
- ・世界規模では依然成長が見込まれる産業で、IEA は 2050 年度鉄生産量を、経済成長が高いケースで約 2 倍の 30 億トンと推定し、主にインド、ベトナム、ミャンマーおよび中近東での成長を見込んでいる。将来に向けて誰が、どのようにして市場を獲得していくかが大きな関心事である。
- ・日本企業には成長戦略が問われており、中国の台頭による原料価格の乱高下、大手強豪会社とのグローバル市場での競争、鉱山資源の確保および環境問題等の諸課題に対応する、新たなビジネスモデルの構築に当面している。

・ドイツは嘗ての勢いはなく、欧州最大の炭鉱の町であったゲンゼルキルヘン(サッカーチームシャルケのホームタウン)の炭鉱遺産や過去の繁栄を記念する博物館の写真紹介があった。日本の製造現場で使われる「ご安全に」は、ドイツ炭鉱で使われた「Gluck auf」に習って広まったとの事。

6) 地球温暖化問題への取り組み

- ・2015 年、全世界参加によるパリ協定が採択され、翌年より、2050 年度に CO₂ を 80%削減する各国の取り組みがスタートした。京都議定書に比し、全ての国家が参加、各国が削減目標を掲げ宣言し、5 年毎チェックしていく仕組みに特徴を持っている。但し、全体として 80%削減の能否が明確でない問題を孕んでいる。

・大気中の CO₂ 濃度は、ハワイ島で測定したデータでは、1960 年 315ppm から 2016 年 375ppm へと上昇してきている。太陽光で暖められた地面からの赤外線が、大気中の CO₂ や CH₄ に吸収・蓄熱され、宇宙へ放散されないことで地球が温暖化すると考えられている。

・地球温暖化を最初に提言したのは、スウェーデンのノーベル賞受賞科学者アレニウスで、1896 年に、CO₂ 濃度が 2 倍になれば地球温度は 5～6℃ 上昇すると発表した。導いた根拠は諸説あるが、おそらくフーリエの輻射熱理論を応用したものと推察されている。日本では、宮沢賢治の小説「グスコブドリの伝記」の中で、主人公が火口に身を投げ火山を爆発させ CO₂ を増やすことで、冷害を防止できたとの物語があるが、当時宮沢賢治がどうして気候が温暖化される事を知り得たかははっきりしない。

・日本の CO₂ 排出量は年間 13 億トンで、産業部門からの排出は減少しているものの、家庭やサービス部門からの排出量が増加しており、全体としては減少していない。世界の排出量は年間 324 億トンと推定され、中国が 28%、米国 16% と両国が半分に近い量を占め、日本は 4% 弱と全体からみると少ない。

・2050 年度では日本の排出量は全世界の 2% 程度と推定され、削減への貢献率は極めて小さい。日本がなすべき事は、欧州に比し遅れている再生可能エネルギーの普及および低炭素・脱炭素の製鉄技術開発とその技術輸出にある。

・日本の産業部門からの排出量は、日本全体の約 34%(4.4 億トン)を占めており、鉄鋼業よりの排出量は、鉄 1 トン当たり 2 トンの CO₂ が発生するので、2 億トン/年となり、全体の 15%、産業部門の 50% 弱を占め大きな排出源となっている。

・鉄の生産には石炭からのエネルギー(25GJ/トン鉄)が上工程の還元・溶融に投入され、製鋼の下工程には上工程で発生するガスを利用する事で賄っている。従って CO₂ を減らすには、石炭を燃やさない事と発生する CO₂ の処理にかかっている。CO₂ は安定化合物であるのでバイオマス反応か光合成反応しかその処理が出来ず、又還元剤に炭素の代わりに水素を使用する方法は、吸熱反応になりエネルギーを与えなければならない等、何れの方法も難しい問題を抱えている。

・各社/各国が取り組んでいる新たな CO₂ 削減のプロジェクトが紹介された。

(1) CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage)

排ガスより CO₂ ガスを分離し、地中や海底に埋め込む方式。CO₂ 分離工程以降の輸送や埋め込み作業に 5～10 千円/鉄 1 トンのコスト発生するため、経済性に問題がある。油田跡に押し込み、再採油することで採算性を確保する方法があるが、地中の CO₂ が将来環境問題を再発させる恐れがある為、国々により見解が異なっている。英国やオランダが前向きに取り組んでいる。

(2) ULCOS(Ultra-low Carbon Dioxide Steelmaking)

EU で取り組んでいるプロジェクトで、高炉ガスより CO₂ を分離し CO と水素を還元ガスとして製鉄に再使用する事で還元を使用する炭素源を軽減する方式。2003 年にスタートし、スウェーデンの実験プラントでテスト確認しているがやはりコストが高くなり、現在は資金面より活動停止中。

(3) COURSE50(CO₂ Ultimate Reduction Steelmaking process)

新日鉄住金を中心に日本が官民挙げて取り組んでいるプロジェクトで、CO₂ 排出量を 30% 削減する製鉄プロセスを開発し、2050 年の実用化を目指している。種々のアイデアを織込んだプロセスの技術開発であるが、20% は CCS で 10% がネットの CO₂ 発生量の削減である。

(4) CCU(Carbon Dioxide Capture and Utilization)

CO₂ 削減のための省エネプロセスでは、製造原価に限界があり、更なる削減を行うには、CCS や ULCOS にみられるように追加投資が必要となり、削減を行わないメーカーとの世界市場での競争では勝負にならないので投資

しづらい情勢にある。このような背景から、ドイツのティッセングループが Cross Industry Network と称し、国の支援を得て一昨年スタートさせた、CO₂ と水素よりメタノール、合成燃料、CO、高級アルコールおよびポリマーなどの化学品を得る方法である。水素は再生可能エネルギーによる水電解水素を利用するプランである。

ドイツでは Power to Gas といい、風力や太陽光発電で得られた電力をオンサイトの水電解で水素に変え、既存の天然ガスパイプライングリッドを利用し、欧州全域の工場サイへと供給することで CO₂ を削減する構想が進められており、世界の注目を集めている。

(5) CO₂ の発酵によるエタノールの生産

アルセロールミッタルとタタ(インド)が取り組んでいる方法で、米国のベンチャー企業が開発した、特殊な菌による嫌気性発酵法を採用し、上海のパイロットプラントで実証運転中。

(6) CO₂ フリー水素による製鉄技術

北欧やオーストリアでは再生可能エネルギー由来の水素を豎型炉で還元剤として使用する方式でプロジェクトが進んでいる。水素はシーメンス社の高分子膜による水電解法を採用する。

- 日本での CO₂ フリー水素への取りくみは遅れており、オーストラリアの褐炭のガス化による水素を輸入するプロジェクトが川崎重工と千代田化工で検討されているが、ガス化工程で CO₂ が発生するので、オーストラリア政府との合意が必要となる。

- 現状設備を利用しつつ CO₂ を 2050 年目標の 80%削減を達成するには、目標との大きなギャップを埋める技術のイノベーションが待望されている。

最後に有山名誉教授が在籍された東北大学研究所の学風、開発した高炉内部のシミュレーションモデルおよびドイツアーヘン工科大学や中国との交流内容などを写真や動画で紹介され講演を終えた。

(文責:堤正之)