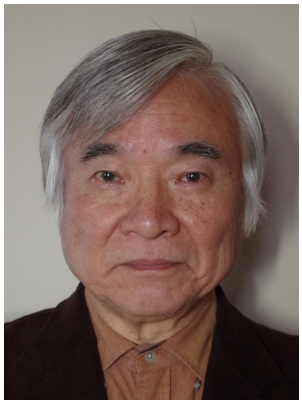
書籍の紹介



私の座右の書

A History of Metallurgy by R.F.Tylecote, 2nd ed., The Institute of Materials, 1992, London.

東京工業大学名誉教授　永田 和宏
Tokyo Institute of Technology, Kazuhiro Nagata
e-mail: nagata-kr05@d08.itscom.net

本書は、主に中近東地域の鉄及び金銀銅等の非鉄金属製品の発展の歴史を考古学的に述べている。アジアに関する記述は少ない。しかし大きな特徴は、原料から製品までの化学分析値を豊富に掲載していることである。永田 1）はこの分析値を用いて熱力学的に古代の金属精錬技術を明らかにしている。

金属精錬技術の歴史的発展を鑑みることは、これからのこの分野の技術開発の方向を考える上で重要で、多くのヒントを与えてくれる。産業革命以後の金属製精錬工程では石炭や石油などの化石燃料が使われているが、それ以前では木炭が使われていた。この燃料の転換がその後の金属精錬技術を大きく変えている。特に現在、地球温暖化防止のため、2050年までに炭酸ガス排出を抑制するカーボン・ニュートラルの技術開発が重要となっており、この新たなエネルギー源の転換が産業構造を改変してゆくであろう。

13 世紀に開発された木炭を使用する銑鉄製造の溶鉱炉は生産性を格段に上げ、18 世紀初頭には石炭を蒸し焼きにしたコークスを使うに及んで安価な鉄を大量生産することを可能にした。当時、銑鉄を脱炭して鋼にする技術は生産性が悪く、銑鉄の製造と鋼の製造に齟齬が生じていた。19 世紀半ばに転炉や平炉が発明され、鋼の大量生産が可能になり、鋼の時代が到来した。これにより鉄道、橋やビルなど社会構造が大きく変化した。しかし、実際に工業生産の主流になったのは 20 世紀に入ってからである。このように画期的な発明であっても、既存の設備を更新し、生産方法の主流になるのには半世紀の年月が必要であった。

古代から溶鉱炉以前の金属製精錬炉の炉高は 1m程度で、原料は粉末や細かい粒へ粉砕していた。そのため 1 時間ほどで金属に還元していた。わが国で発展したたたら製鉄の炉もこの範疇にある２）。一方、銑鉄製造の溶鉱炉は炉高が 5m 以上になり現在では 30m 近くになっている。そのため原料は重力で潰されないように高い強度を要求されている。さらに空気を吹き込み、コークスの燃焼で得られた高温ガスを原料の間に通し、加熱するために通気性を確保する必要があった。したがって、クルミ大の大きさに原料をそろえて隙間を確保する必要があり、現在でも製鉄に 6～8 時間かかる。還元反応は表面から進行するためである。

燃料が木炭からコークスに代わるとコークスから銑鉄に溶解する硫黄やリンを除去するために廃棄物のスラグが大量に発生し、その処理が問題になっている。さらに脱硫や脱リンのための付加的な工程を必要としている。

銅は自然銅が得られたため古くから使われてきた。エジプトを中心とする中近東地域で、紀元前 3500 年頃に酸化銅鉱石のマラカイトから銅を作る技術が開発され、その後硫化銅鉱石から製造された。スズの生産と共に青銅が開発され、青銅器文明が起こった。紀元前 2000 年頃には製鉄法が発見されたが鉄器はまだほとんど使われていなかった。紀元前 1200 年頃ヒッタイト帝国が突然滅亡すると製鉄法がそれ以外の地域に広まり、鉄器時代が始まった。製銅では銅鉱石中のシリカを分離するために鉄鉱石を添加し、スラグにして流出させていた。そのため、製鉄法は製銅法から発展したと推定されている。

硫化銅を使う製銅法は亜硫酸ガスや亜ヒ酸を発生させるなど人体への影響ばかりでなく周辺の樹木を枯死させるなど重大な環境破壊を起こしてきた。現在では硫酸として回収している。

これらの技術の発展のきっかけは、経済の発展に伴い要求される生産能力に限界が現れると、それを克服するための技術開発が推し進められてきたことである。現代では、地球環境問題を解決するための新しい技術を求めている。カーボン・ニュートラルの製錬技術では、エネルギーを化石燃料から電力に転換することを要求されている。

製鉄では、溶鉱炉から排出される炭酸ガスを回収し地中に埋める技術や、原料として利用する研究が行われているが、コストばかりでなく埋め込み場所も限られ工業化にはハードルが高い。水素を還元剤に利用する方法も研究されているが、還元反応における吸熱が大きく、水素ガスの加熱が必要であるばかりでなく、ガスが軽いため炉内に深くは吹き込めず大型の炉は作れない。また、水素は自然界になく電気分解などで作る必要があり、高価な原料になる。

古代の製錬に使われた木炭や鉄鉱石の粉を用いることができれば、原料の強度などの制約がなくなり、高速で生産することが可能になる。しかし、エネルギーを高温ガスで与えると飛散し目詰りを起こす。永田は、高温ガスでなくマイクロ波照射により高速で銑鉄を製造する銑鉄製造法を提案している。還元剤にはゴミから作る炭材を用いる。

本書の構成は次のようになっている。第 1 章は石器時代の金属と鉱石、第 2 章は初期製銅の技術と発展、第 3 章は初期青銅時代、第 4 章は後期青銅時代、第 5 章は初期製鉄時代、第 6 章はローマ時代の製鉄、第 7 章は技術転移と中世、第 8 章は後期中世の金属学、第 9 章は産業革命；紀元 1720 年～1850 年、第 10 章は近代；紀元 1850 年～1950 年、第 11 章は科学の貢献である。

歴史を学ぶことは未来を展望することである。

参考文献

1)永田和宏：人は鉄をどのように作ってきたか、第 7 刷、ブルーバックス、講談社、2022.
2)永田和宏：たたら製鉄の技術論、アグネ技術センター、2021.