



アラカルト

本との出会い-3

俵国一著「鉄と鋼—製造法及性質」について

—記念碑的古典の示すもの—

On “Iron and Steel—Manufacturing and Properties”
—A Monumental Work Written by Kuniichi TAWARA—

館 充

東京大学 名誉教授

Mitsuru Tate

1 はじめに

技術書や学術書は一般に時とともに先駆性を失うが、古くなくても価値あるいは意義を失わない著書というものがあるのではないか、進歩の途上にある技術・学術の実像を伝える記念碑的古典というべきものがあるのではないか。本稿の趣旨はこのような古典の一つとして俵先生の著書を紹介しようというものである。なお同先生には「明治時代における古来の砂鉄製錬法」というご自身の著述と、近世たたら製鉄の古典である「鉄山必用記事」の写本「鉄山秘書」(解読文)とを1巻に収めた「古来の砂鉄製錬法」¹⁾という、筆者には格別馴染み深い名著があるが、ここでは近代鉄鋼技術・科学に関する解説的な著書というべき「鉄と鋼—製造法と性質」を取り上げる。

2 本書の意図と時代背景

本書の初版は明治43 (1910) 年発行であり、筆者が手にしているのは大正7 (1918) 年発行の第7版であるが、改訂は明治44年と大正3 (1914) 年に行われただけである。著者は序で「製鉄所にて日々操業する方法につきては頗る簡単に論述するに留め、唯其要領を明にした。之に反して製鉄原料たる鉄鉱石の価値、進んで其鉱石より製造すべき鉄の種類、又は其の製造せし鉄の特色につきては精しく述べた。尚鉄を加工し又使用する上に於て必要なる其諸性質は最も大切であるから、冗文を厭はず煩雑を省みずして之を詳論した。」と述べ、鉄鋼の性質の記述に重点をおくという意図を明らかにしている。また著述にあたって Metallographist や Stahl und Eisen などの雑誌のほか A.Ledebur (Handbuch der Eisenhüttenkunde)、B.Stoughton (The Metallurgy of Iron and Steel)、O.Simmerbach (Eisenindustrie)、T.Turner (The Metallurgy of Iron)、L.Guillet (Étude Industrielle des

Alliages Métallique)、H.M.Howe (Iron, Steel and Other Alloys) などの著書を参考としたと記している。これらの著書のほとんどすべてが19世紀末から20世紀の最初の10年間に書かれたものであることは本書の学術的時代背景を示唆する。

3 本書の内容のあらまし

本書は縦書き、右開きで、目次は次の通りである。

第1編 汎論 (総論、鉱石、燃料、溶剤、耐火炉材など) ~73頁

第2編 銑鉄製造法 (含たたら銑押し) ~126頁

第3編 錬鉄及錬鋼製造法 (含直接法・間接法、含鋳押し・大鍛冶) ~153頁

第4編 軟鋼及硬鋼製造法 (溶鋼法、造塊法、鋼材製造法) ~244頁

第5編 可鍛鋳物及滲炭鋼製造法 ~257頁

第6編 鉄の性質及其試験法 ~362頁

附録 ~388頁

索引・訳語集

例えば第1編第1章第1節を1.1.1節のように書くこととして、以下に内容と背景について若干の解説を行う。

(1) 1.1.1.節「鉄の同質変態と鉄中炭素の状態」(同質変態は Allotropy の訳語で現代的には同素体あるいは同素変態であろう) ではまず鉄の同素体に α 鉄、 β 鉄、 γ 鉄があるとし、「炭素等のない、比較的純粋なるものは、普通の温度では軟かで鍛錬が出来、又磁石にひきつけらるるものである、之を α 鉄と称して居る」、「摂氏七百七十度以上に熱したとせば、其鉄は磁石に働かず、又之を急冷すると硬く脆きものになる、之を β 鉄と称する」、「尚九百度以上に熱したとすれば γ 鉄となるものである、此のものの性質は β 鉄に似ているが、唯電気に対する抵抗率が違ひ、又は炭素を吸収する力が大に増し

ている。」と述べている。 β 鉄が γ 鉄と同じく同素体とされ、しかも6.2.4節では「鉄は高温に於て硬き脆い γ 又は β 鉄となって」おり、これを徐冷すれば「 α 鉄に変わって軟らかくなるものとなる」が、「急冷すれば α 鉄に移る機会なく、 β 鉄又 γ 鉄の俣で冷却する、従て焼入鋼は硬いのである」と述べられている。

次に鉄中炭素の状態としては黒鉛炭素、テンパー炭素、炭化炭素、可淬炭素の4種類があるとしている。ここで黒鉛炭素は鼠銑などにみられる片状黒鉛をさし、炭化炭素は炭化鉄の炭素をさす。テンパー炭素 (Temper carbons 中澤護人氏による訳語は焼鈍炭素²⁾) は可鍛鉄に多く見られ、白銑などの「黒鉛の少ない鉄」を800℃付近で長く加熱すれば「出づることがある粒形なる炭素」をさす。また可淬炭素 (Hardening carbon 中澤護人氏による訳語は焼入れ炭素²⁾) はつぎのように定義されている。「鉄が常温に冷却しても、尚多少の炭素は元の溶融鉄中にありしままで残留する。之を可淬炭素と称して居る。此ものは鋼を高温より水中等で急冷した場合に最も多く出づるもので、其鋼の主なる成分である。而して鉄に硬度を与ふるに大切なものである」。なお黒鉛炭素とテンパー炭素は遊離炭素、炭化炭素と可淬炭素は結合炭素とされている。

この節の記述は当時の鉄鋼の科学的認識の状況を反映するもので、第6編の関連部分とともに後に再論することとした。

(2) 1.1.2節「鉄の分類法」で炭素2.6%以上を銑鉄、これ以下を可鍛鉄としている^{*1}。また普遍的な基準ではないと断っているが、焼入れ性 (可淬性) に注目して炭素0.5%を鋼と鉄の境界としている。

(3) 鉄鋼製造法の記述 (第2～5編) の特色は以下のように概括される。

① 当時は原料の制約が少なく、鉍石精錬によって軟鋼を含むすべての鋼種を製造し得る万能のプロセスとしての塩基性平炉法の発展のもとで、近代溶鋼法が支配的なプロセスとなっていたが、銑鉄・銑鋼の製造法^{*2}、18世紀に始まった溶鋼法である坩堝製鋼法の記述にそれぞれ1編、1章があてられている。

② 輸入洋鉄との競合という苦境にありながらまだ産業として存続していた和鉄・和鋼製造法が論ぜられている。とくにヨーロッパの木炭精錬法との対比のもとに和鉄製造法 (大鍛冶法) の問題点が指摘されている (後述参照)。なお1.2.5節 (鉄滓、鉍滓及其他の製鉄原料) に掲げられている砥波たたらのはしり操業における上り・下り期の鉄滓の組成例は、

古来の砂鉄製錬法に掲載されているものとは異っており、数少ない貴重なデータである。

③ 造塊法で論ぜられているのはキルド鋼塊だけであり、リムド鋼塊への言及は全くみられない。またホットストリップミルはまだ開発されておらず、薄板はプルオーバーミルでつくられていた。鋼材製造法の記述は条鋼中心であり、とりわけ軌条の比重が大きかった。

(4) 第6編「鉄の性質及びその試験法」は銑鉄の性質 (6.1章)、可鍛鉄の性質 (6.2章)、鉄の錆 (6.3章)、鉄材の試験法 (6.4章) の諸章に分けられ、

① 6.2章では銑鉄・銑鋼が軟鋼・硬鋼とともに可鍛鉄の一翼をになうものとして取り上げられ、組織 (6.2.1節)、可鍛性及靱性 (6.2.2節)、鍛接性 (6.2.3節)、硬度及可淬性 (6.2.4節)、強力及靱性 (Strength and Toughnessの訳語、6.2.5節)、磁気性 (6.2.6節) の順に論ぜられている。

② 6.4章の顕微鏡試験法の節 (6.4.8節) で鉄鋼の重要な顕微鏡組織について以下のように述べられている。「炭素〇・〇五%を有する極軟鋼の組織は全部殆ど純鉄より成り立って」いて「金属組織学上之をフェライトと称する」。「又所々に黒色なる小斑点を認むるが、是はパーライトと称するものである」。「炭素の量増すと共にパーライトの量が増加」し、「炭素〇・九%を有する鋼は、其全部パーライトより構成されて居る」。「炭素一・〇五%を有する至硬鋼ではパーライトは明瞭に並行組織を現出して居る、其外に白く網状を為すものはセメントタイトである」。「鋼を焼入して十分其効を奏したる場合は全部マルテンサイトより成って居る」が「焼入の程度十分に行かない時はトルースタイトが出づる」。(この節については後述参照)。

(5) 訳語集は著者の訳語案の性格を帯びたもので、約300語が取り上げられている。例えばAnnealing—焼鈍又は焼熱、鈍滓；Hardening—焼入れ又は健滓、堅滓；Ingot—銑塊 (Ingot Steel—銑鋼)；Tempering—焼戻し又は反滓；Welding—鍛接 (又は鍛著、鍛合)。

4 本書の意義を物語る事例

4.1 和鉄製造法の鉄歩留

鉄山必用記事は和鉄製造法における大鍛冶—銑鉄の脱炭精錬による割鉄 (包丁鉄) 製造—工程の歩留は70%を目指すべきものとしているが、実績は明治期にいたるまで62～63%が普通であった。

一方、本書の3.2.1節で欧州の間接製鉄法 (木炭銑鉄製造

*1 可鍛鉄 [鋼] の炭素濃度の上限はその後1.7%、2.11%と改められて現在に至っている。

*2 銑鉄銑鋼は「製造せる際の熱度不十分に於て僅に半流動体の状態にあつて」、「各鉄粒が互に相鍛接して、一塊をなすに至りたるものであるため」作業中に生じた鉄滓を其中に含有するものとされている。

法)の例として挙げられているスタイルマルクの精錬法の歩留は84%であり、3.2.2節で論ぜられているパドル法の場合は85~94%と格段に高い。これについて本書は和鉄製造法の「至らぬ点は尚酸化鉄に富む鉄滓の利用法が足らぬ欠点に帰することが多い。即ち此仕事に於て沢山に鉄滓を加へ、其の作用にて銑鉄の酸化を助くることとすれば、一は欧州に於ける同一作業の結果に比して劣りている歩留りも一層能くなるし、他には除去燐の目的を一層能く達するのである。」と指摘している(p.145~146)。しかし古来の砂鉄製錬法¹⁾では「明治四十年頃に至り欧米の方法に準じ、銑鉄板を炉壁と為し酸化鉄を装入し之が反応を利用せしものありしも、到底木炭人力の消費多く経済上此等作業法の存するを許さず為に何れも廃滅に帰したり。」と述べられている(同書p.121)*³。このことは酸化鉄を利用するにしてもその方法が問題であることを示すものではなかろうか。例えば欧州の木炭精錬法では炉床を銑鉄板の「底に木炭末を敲き詰めて、其上に酸化鉄に富める精良鉄滓を敷き詰めて形造り」(p.141)、パドル法でも銑鉄板の上に「酸化鉄に富む鉄滓及び鉄肌を敲き詰め、半ば之を熔融せしめて凹部を形成している」(p.149)のに対し、大鍛冶法では「炉底以下は木炭末にて敲き上げたもので出来ている」(p.143)という違いがあるのである。

大鍛冶法はたたらの銑押し法とともに死滅したというべき技術であるが、歴史の研究への実験的アプローチの一つとして、この問題に取り組んでみたいものである。

4.2 エッフェル塔の錬鉄

中澤護人氏は1889年に建設されたエッフェル塔が鋼材ではなく錬鉄材で造られており、しかもそのP含有量が0.34~0.44%と非常に高いという松田常美氏の指摘³⁾に注目され、これに関する論考を書いておられる⁴⁾。同氏はこのような高P含量が鉄鋼要覧所載のパドル鉄組成例(P 0.43%)⁵⁾にも、NKK研究所によるいろは丸(1867年瀬戸内海瀬沖で沈没)鉄材の分析例⁶⁾(P 0.34~0.44%)にもみられることから、それが許容される理由を問題とされた。同氏は本書6.2.2節の「錬鉄になると大概ね其含有炭素は少ないし、又同時に鉄滓があって、之に燐が集注して居る次第であるから、其燐分〇・四%位のものをモ使用し得る。」(p.278)という記述に注目されたが、この高燐含量自体に積極的な効用があったのではないかと探索され、大橋徹郎氏の助言も得られてそれを耐食性に見出され、インドの古代鉄をめぐる問題などにも論及された。

このような探究が有意義であることはいうまでもないが、その前に触れていただきたいことがある。それは本書の

「鉄滓があって之に燐が集注している」という記述をどう読むかということである。NKK研究所が調査した鉄材が「Si, S, P, Ca含有量の高いスラグを大量に含んだ鉄」と報告されているように、一般にパドル錬鉄は多量の高Pスラグ介在物を含有しているので、Pの分析値が高くても地鉄自体のP含有量は高いとは限らず、したがって地鉄そのものは使用に耐える性状を呈する可能性があるかと読めるのではなかろうか。

さらに本書の6.2.3節には「錬鉄中の鉄滓は鍛接性を増す」、なぜならそれは「巧みに鉄面を被護し其の酸化を防ぐため、常に清浄なる面を与ふる効果がある」からであるとも述べられていることにも注目する必要がある(p.284)。パドル鉄が鍛造加工に携わる工匠に歓迎された理由はここにあったのではないか。ただし介在鉄滓の役割はいいことばかりでは決してなく、可鍛性を損なうこと、とくに熔けにくい鉄滓の場合にはその害が著しいとも指摘されている(p.280)。

いずれにしてもこの書が書かれたころはまだ今日の局所分析の手段が知られていなかったため、地鉄と介在物としてのスラグのP含有量を区別して評価することができなかった。これこそ歴史的な制約というべきであろう。

4.3 大鍛冶用小炭造りにおける鉄道具の折損

鉄山必用記事(現代語訳)の3.15節(小炭の焼き方について)中の冬期作業に関する注意の項に次の記述がある⁷⁾。「焼場へ着いたらすぐに焚き火を焚き、吹雪に冷えた体を温め、斧・鉋・鳶口などを加熱し、十分に暖を取ってから、木を切り始めるのである。このようにすれば身も心も温まり、道具の芯部の温度も上がって切れ味がよくなり、仕事が捗るのである。冬月には鉋・斧なども皆凍るものである、金からは水が出るためか、火にあてずに使えば折れるものである。」またこの後さらに道具の加熱を怠ると「斧や鉋が折れて、(木を切る仕事ができず)、手ぶらで帰るということになる」と述べている。

斧や鉋のような鋼の道具も水気があって雪の深い山中では凍るので、予め加熱して融かしておかないと、折れて使いものにならなくなるという話は、鋼、とくに高炭素鋼の低温脆性という現象が知られていなかった時代の一つの解釈であったのであろう。この現象についての認識がどれほど古いかはわからないが、本書はこの問題に以下のように触れている。

6.2.5節「強力及靱性」の7項(異常温度における状態、p.320~324)は軟鋼の抗張力、弾性界(Elastic limitの訳語)、延伸率(Elongation)、収縮率(Shrinkage)の-10~600℃における変化のデータに基づいて次のように述べている。

*3 木炭消費率[製品単位量あたり消費量]は大凡、欧州法の1に対して和法では2であった。

「鉄は常温度以下に於ては其抗張力が大きく、即ち地金は強い。併し延伸率が少ない、即ち脆いものである。殊に撃衝（ママ）に対する場合には、其の変ずる度が著しい、一つの軌条を試験せんが為め、冬時摂氏零以下十度にて撃衝（同上）を加えしに、夏時に耐え得た力の僅に〇・二八にしか堪え得なかったのを発見した。寒い地方で殊更冬時に於ては、地金の破損することが多いのは、この理由に基くのである。」（これに続いてプロシヤの年間鉄道車軸の破損の季節による変化[1888～1897年の平均値]のデータを挙げている）。測定は -10°C までであり、しかも「種々の鉄を試験せし結果を見るに、何れも略同一様な事実を認むるのである。従て其鉄の有する化学成分が此等のことに如何なる関係を有するかは尚不明である。」(p.321～322)とされており、科学的な認識としては初歩的な水準に留まっていたが、低温脆性の事実は19世紀末には明瞭に認識されていたことがわかる。鉄山必用記事の上掲の記述はこれに由来する現象の知見が18世紀末に遡ることを示しており、世界的にはおそらくもっと古いのではないかと推測される。

4.4 鋼の顕微鏡組織と焼入れ

鋼の焼入れに関する1.1.1節6.2.4節の所論は今日的にいえば過冷状態の γ または β 相が硬化（組織）の実体であるとするものであり、しかも常磁性の α 鉄というべきものであって独立の同素体ではない β 鉄を γ 鉄と同列に取り扱ったことが誤りであることは明らかであるが、 β 鉄が γ 鉄に比してより低温で現れることが重視されたのであろうか^{*4}。これに対してマルテンサイトを硬化組織とする6.4.8節の所論が現代の認識に近いことはいうまでもないが、これについても早い時期には γ 鉄の過冷組織とみられていた疑いがある^{*5}。こ

のような状況の背後事情の一つは実験手段などの制約のため γ 鉄のような高温相（組織）の研究が遅れたことであろう。6.4.8節に述べられているのが、フェライト、パーライト、セメンタイト、トルースタイトなどの常温組織だけであることはそれを物語っている。いま一つは焼入れのような短時間の過程に生じうる変態というものが想像を越えていたということではなかろうか。

したがってこの問題は γ 鉄の研究が進んで、オーステナイトと命名され、さらに(1920年代に)それが面心立方格子の結晶であり、一方マルテンサイトのそれは体心正方格子であることが知られ、前者から後者への変態が比較的容易であることが理解された時に解決に向かって大きく前進したのであろう。

参考文献

- 1) 俵国一：古来の砂鉄製錬法，(1933)
- 2) L.ベック著，中澤護人訳：鉄の歴史V，(2)，56.
- 3) 松田常美：鉄鋼界，(1989) 3，36.
- 4) 中澤護人：バウンダリー，(1990) 11，36.
- 5) 日本鉄鋼協会：鉄鋼要覧，(1944)，697.
- 6) NKK鉄鋼研究所 福山研究所：瀬沖海底採取材の調査，(1988)
- 7) 現代語訳 鉄山必用記事，丸善，(2001)，62.
- 8) 中澤護人：鉄のメルヘン 金属学をきずいた人々，アグネ，(1975)，183.
- 9) 同上書，210.

(2003年10月31日受付)

*4 オスモン [F.Osmond] は「焼入れによる鋼の硬化は、硬い β 鉄が常温で存在するためである」と主張した。ただし彼は「急冷却だけでは β 鉄を常温に保持するのに十分ではない。焼入れ炭素が β 鉄に安定性を与え、こうして β 鉄は炭素の助けで、常温に保持される」と述べた。しかしこの仮説は当然次のような反論を招いた。「現実には鋼は炭素が多くなるほど硬くなり、中略、炭素の少ない鉄ではどのように焼入れても硬くはならない。鉄と炭素の独特の硬い炭化物つまりHardenite [ハーデナイト] とでもよぶべきものが形成されることが焼入れによる硬化の本質ではないのか。」こうしてオスモンやロバーツ・オーステン [W.Roberts-Austen] らのallotropist [同素体論者] とハウ [H.M.Howe] やアーノルド [J.O.Arnold] らのcarbonist [炭素論者] との間で論争が行われた。[[鉄のメルヘン] による]⁸⁾。

*5 ローゼボーム [H.W.B.Rooseboom] は1900年に提出した状態図で γ 鉄をマルテンサイトと記していた⁹⁾。これは焼入によって γ 鉄の状態が保存されるという本書の説明と同じ立場に立っていたこと、すなわち常温でマルテンサイトであれば高温の γ 鉄もマルテンサイトでなければならないと考えられていたことを示すものではなかろうか。