

随 想

第二次世界大戦中における
製鋼技術の開発研究

堀川 一男*

昭和 15 年 10 月に米国が「鉄屑などの対日輸出」を大幅に制限するや印度、豪州もこれに追従し、16 年 7 月にはフィリピン、マレーもわが国への鉄鉱石の出荷を停止した。わが鉄鋼業は鉄屑の回収を強化し極力鉄屑を使わない生産方式を採つたが戦時下の海上封鎖で原料の輸送量が激減し、貧鉱や砂鉄などを原料とする製鋼原鉄の増産に狂奔したが、生産量は昭和 18 年の約 780 万 t をピークとしてしだいに低下をたどり、殊に 20 年 3 月からの熾烈な戦略爆撃で 7 月以降高炉や他の設備はつぎつぎと操業中止に追い込まれ、敗戦時には 10~15% の稼働にすぎなかつた。このようなきびしきに加え、学術の国際交流も杜絶したので、製鋼技術上の顕著な発展は望むべくもなかつた。しかし鋼の量と質を確保するための研究開発には創意工夫を凝らして必死に努力した。日本鉄鋼協会や陸海軍の各種技術委員会、軍需省の特殊鋼製造技術委員会などが精力的に活動し、依先生を委員長とする日本学術振興会製鋼第 19 小委員会は困難な環境にありながら防弾鋼その他の特殊鋼材の製造法、製鋼作業と製鋼反応、鋼材の欠陥及びその防止法、非金属介在物と粒度の判定法、鋼の分析法、高温度測定法等についての研究を継続して貴重な成果をあげた。わが国として人手の困難な Ni, Cr, Mo, Cu, W 等の稀少合金元素の節約を目的としたいわゆる「代用鋼」の研究開発は特に盛んであつた。また、鉄葉莢、鉄導環、防弾性不感磁性鋼、快削鋼、耐熱鋼、溶接性高張力鋼等の新材質あるいは新しい加工法や熱処理法の開発も行われていたが、本稿では「製鋼」に限定して述べることにした。幸い、私は東大の冶金学科に在学中の昭和 15 年 5 月 31 日に製鋼専攻の海軍造兵依託学生を拝命し、戦時中呉海軍工廠の製鋼部及び製鋼実験部で過ごし、戦後「最近日本鉄鋼技術概観（日本鉄鋼協会編 昭和 25 年）」という戦時中の鉄鋼技術について記述した書物の編集と執筆に関係させて貰えたので、これらの間に経験したり見聞した内容をお伝えしたいと思う。

(1) 酸性平炉と酸性電気炉

戦時中炉容 20 t 以上の酸性平炉が全国で 29 基あつたがその中の実に 13 基が海軍にあつたことから分かるように、この炉は主に装甲板、砲身、魚雷等艦艇用大型兵器の特殊鋼を溶製するのに用いられていた。戦前の昭和 5~6 年に Vickers 社の Cosmo Jones 氏から石灰法の、また 9 年頃 Edelmetall Werke 社の Kukla 博士

からマンガン法の指導を受けて丁寧に精錬していた。しかし鋼塊は単重が 10~200 t と巨大であり Ni, Cr 等を多量に含有する特殊鋼であつたから時に白点や砂疵あるいは偏析等を発生していた。そのために海軍では日本製鋼や住友製鋼所などと共同で戦時中もその対策研究を続けた。その結果、溶解初期から溶鋼の温度を高め、良質塊鉱石の投入で活発な脱炭反応を起こさせ、精錬末期には鋼滓の酸化度を低めて Si が自然に還元するような状況にするのが良いとの結論に達した。造塊については、かつて 48 輦砲が試射で破裂事故を起こして以来砲身用大型鋼塊に発生するゴースト（逆 V 偏析）が問題にされ、海軍は日本製鋼所と対策を研究し P, S, Si 等の低減が有効なことを認めたが、日本製鋼では 50 t, 100 t 鋼塊の凝固時に回転で溶鋼に動揺を与える回転造塊を研究し、海軍では凝固中鉄棒で鋳型内を突いていた。良い精錬には良い「炉床」と「発生炉ガス」及び「原料」の三拍子がそろわねばならないが、戦局の進展に伴い本溪湖低磷銑が不足したので兼二浦や和賀仙人の低磷銑で代用する試験が繰り返された。従来は原則として 1 日に 1 溶解であつたが 18 年の暮からは増産の要請に応じて製鋼時間の短縮をはかることになつた。日本製鋼所の研究で脱酸も強制脱酸で十分清浄鋼の得られることが明らかにされて、能率が一層向上した。

酸性電気炉は元来鋳鋼用であつたが砲身鋼 (Ni-Cr 鋼) の白点対策として昭和 11 年に陸軍の大阪造兵廠で 10 t 炉の操業を始め、13 年に日本特殊鋼が、16 年頃に住友製鋼所と神戸製鋼がこれに続いた。呉工廠にも 6 t 炉があつたが、呉には多数の酸性平炉があつたことと、酸性電気炉の操業には優良原料を必要とするので、昭和 13 年に中止した。白点については戦前に大体解決していたので、戦時中は介在物低減の研究が主だつた。Fe-Mn の前装入で溶落鋼滓の酸化力を弱め、除滓後手早く湯熱を高めてオアリングし Fe-Mn による脱酸と Si が自然還元するように鋼滓の酸化鉄を下げれば介在物は低減することが明らかになつた。

(2) 塩基性電気炉

わが国の塩基性電気炉は明治の末から操業が始まつてしだいに炉容を増し、戦時中にはわが国最大の 30 t 炉 2 基が呉工廠にあつた。特殊鋼を溶製した場合酸性炉に較べて白点や非金属介在物の欠陥が発生しやすかつた。海軍では Hadfield 社の指導で特に銑鉄を前装入してオアリングをしていたが、一般には脱硫・脱酸指向の還元精錬が重視されていた。ところが開戦前に Edelmetall Werke 社の Kukla 博士らからドイツ式製鋼法が導入されて白点防止に顕著な効果を発揮した。炉床にドロマイトを用い第一酸化期（脱磷の「盛り」）、第二酸化期（脱炭と脱ガスの「たぎり」）及び第三酸化期（鋼中酸素を下げる「泡立ち」）を設けるものであつた。しかしドイツ式は非能率だけでなく精錬時間の長いことは一旦低

* 日本鋼管(株) 工博

減したガスや介在物を再び増加させる危険もあるので学振 19 小委は特に還元期等を短縮した軍需省の作業標準を作った。基礎研究として学振 19 小委は技術院の援助を受けて富士製鋼所に 3t 炉を建設し 19 年から研究を始めた。八幡や日立 (安来) でも製鋼要因と鋼質の関係について研究したが海軍も技術研究所の 1.5t 炉で操業法と分析試料採取法を研究し、呉では高合金鋼の耐食性向上に再溶解法の有効なことを見出していた。戦争末期には屑鉄も副資材も不足して、増大する需要にいかに対応するかが大問題であった。炉床剤と造滓剤は生ドロマイトと石灰石で代用し、屑鉄を後述する原鉄で補ったが、ペレットと良質な海綿鉄以外は鋼滓の量が増え歩留りを下げ炉体を傷めた。合金鋼屑 100% を溶解し直接還元期に入る方法で合金元素の滓化防止、精錬時間の短縮、電力・電極の節減、炉寿命の延長等をねらつたものを無酸化溶解法と称し住友製鋼所が開発し、Si-Mn-Cr 鋼を溶製したが材質上問題はなかつた。また、合金鉄の不足に対処してマンガン鉱石やクロム鉱石を還元剤と共に溶鋼中に投入する直接還元法が日本製鋼所で開発された。72 溶解したが鋼質に問題なく Mn と Cr の還元率がそれぞれ 90 及び 100% であつた。この他八幡は平炉との、日本鋼管はトーマス転炉との合併法を研究したが本格生産に入る前に終戦を迎えた。

日本鋼管の 20t トーマス転炉 5 基は屑鉄欠乏時代の寵児として昭和 16 年から 20 年の間に約 130 万 t の生産を行い、適用鋼種の拡張に努めた結果このうち 8 万 t 以上を規格鋼が占めている。トーマス法では溶銑の P が約 2% 必要であるが、南方から鉱石が入らなくなつて諏訪や群馬の内地鉱も装入したので昭和 19 年の夏には 1.2% 位まで低下し、同時に Si, As, S 等も増加した。Si で熱源が補えたが鋼質と炉寿命の維持に苦労した。

(3) 塩基性平炉

a) 屑鉄等の不足対策

塩基性平炉法の最適な銑鉄配合率は冷銑法で約 30%、溶銑法で約 40% であるが、屑鉄の不足で銑鉄配合を高める必要が生じ、昭和製鋼と日鉄各作業所、川重等では予備精錬式混銑炉 (active mixer) であらかじめ溶銑の C, Si 等を下げてから平炉に装入する合併法を開発した。日本鋼管は平炉銑をトーマス転炉で約 7 分間吹いて Si, Mn, S 等を半分ぐらいに落としてから平炉に送る研究をしたが転炉の炉体の傷みがはなはだしいのでトーマス銑に切り換えて終わりまで吹いてから装入してみたが、鍋付が多くて通常作業には至らなかつた。active mixer を持たない工場では合併法に準じて初期に Si, P を除去してその鋼滓を炉前から排出させる方法で銑配合の増加に立ち向かつた。これを徹底的に行つたのが鉱石法で、富士製鋼所の 15t 固定式炉と八幡の 100t 傾注式炉で研究し、銑鉄 85~90% で平常操業を

していた。固定式炉での排滓を完全に行い脱磷脱硫の完壁を期するため釜石の一製鋼と日本製鋼では 2 回溶解方式 (ヘツシュ法) を実施した。途中で一度出銑し溶鋼だけを戻して新しい鋼滓で精錬する方法であり顕著な効果はあつたが、作業の煩瑣と酸化媒溶剤の増加が欠点であつた。さらに八幡一製鋼では昭和 18 年に、4 箇月ではあつたが取鍋内の溶銑に 1/2 in 径のパイプで 6 atm の圧搾空気を吹き込む溶銑の取鍋予備精錬法を行つており、釜石では 19 年に圧搾空気のほか酸素も吹き込んでいた。

戦局が苛烈となり屑鉄だけでなくすべての資材や労力も質量共に欠乏して対策に腐心した。炉床用マグネシヤクリンカーはドロマイトで補い、発生炉ガス用の撫順炭は内地炭に切り換えた。夕張炭などコークス用炭を用いると灰が粘るので困難した。昭和製鋼と広畑では高炉ガスとコークス炉ガスを混ぜたガスの燃焼を実用化し、釜石ではタールや微粉炭の混焼も検討した。Fe-Mn の不足は精錬初期の排滓を強化して鋼滓量を減らすこと、精錬中溶鋼の Mn 量を極減すること、スピーゲルで代用すること、銑鉄の投入で歩留りを高める事等で対処した。なお八幡ではソーダ灰 5~20 kg/t の添加で 20~30% の溶銑脱硫に成功した。また、装入口の敷修理機やドロマイト投射機を考案して労力の不足を機械で補つた。

b) 低磷銑等の製造

海軍の塩基性平炉は屑鉄や旋盤屑等の P, S をそれぞれ 0.02 及び 0.03% 以下に洗つて酸性平炉に装入するいわゆる精鋼材にすることが本来の使命だつたが、屑鉄が逼迫したので兼二浦銑 (P0.21, S0.06 各%) 100% から精鋼材を造る研究を呉の 5t 試験炉で行い P0.005~0.007, S0.019~0.027 (各%) の「特殊精鋼材」の得られる目途をつけたが、さらに酸性平炉用の本溪湖低磷銑の欠乏が深刻化したので、兼二浦銑から本邦産純銑 1号 (C>3, P<0.025, S<0.015, Cu<0.3 各%) 相当の低磷銑を製造する研究に挑んだ。研究の結果 C 2.25, P0.015, S0.017 (各%) のものが得られるようになったが、同様な研究は日本製鋼所や富士製鋼所でも行われた。呉では特にソーダ灰 3% (1% を粉のまま、2% を水で練つて団子状とし) を前装入銑鉄の間に配合することによつて脱磷脱硫を促進していた。

c) 特殊鋼の溶製

電気炉は容量が小さく、酸性平炉は能率が悪い上に原料の制約がきびしいので、できれば塩基性平炉で高級鋼が造りたいのであるが、酸性平炉に較べ脱炭速度が早くて成分が調節しにくく、鋼中の酸素や水素が高いので割れ、介在物、砂疵、白点等の欠陥を生じやすかつた。そこで学振 19 小委では昭和 17 年 1 月から日本製鋼、神戸製鋼、住友製鋼所、住友鋼管製造所及び呉工廠をメンバーとして Mn-Cr 鋼を目標に特殊鋼の溶製鋼の溶製法

についての共同研究を発足させ、19年に作業標準を決定した。良質の銑鉄と鋼屑を使用し、特に配合中のCrが0.7%以下、Mnが1%以上になるようにし、溶落後除滓して鉍石によるポイリングを活発に行い、精錬中の溶鋼のMnを0.2%以上に保ちつつ熱を上げ、Mn隆起点で差物をするのである。海軍は、当時優良鋼の溶製に最適とされていたテルニ式の炉が住友鋼管製造所にあるのに目をつけて「低磷銑不足対策研究会」の名のもとに呉と共同で装甲板用特殊鋼の試作を行った。1.5%Cr鋼には成功したが2.5%Cr鋼では配合中のCrが高かったために「テルニ式」炉といえども難渋した。海軍としては低合金鋼は10t鋼塊以下、炭素鋼とMo鋼では20t鋼塊以下に限って塩基性平炉の使用を認めていた。

なお八幡では航空機用特殊鋼、珪素鋼、軸承鋼、鉄葉英鋼等を試作し実際生産に移していたし、川崎重工も鉄葉英鋼を造っていた。押湯の形状や新しい保温剤を各社で開発していたが、大同製鋼では18~50t鋼塊で電弧加熱法を実験した。日本製鋼所では溶鋼を鑄型に注入する際に溶鋼の周囲を電気炉滓、螢石、珪化石灰等を混合した溶融滓で被覆する衣造塊法を開発した（下注用に粉末状で適用するものを薄衣法と言った）が、鑄肌が平滑となつて疵取工数が半分以下になり、鋼塊歩留りと鑄型寿命が向上した。

(4) 製鋼用原鉄の製造

鉄鉍石を高炉で銑鉄とし、その銑鉄と屑鉄を原料として鋼を造る方法が最も効率的であるから、これに代わるような良い方法が簡単に見付かるはずはないのであるが、鉍石も屑鉄も輸入が杜絶ししかも戦争の遂行上増産が至上命令として与えられれば採算を無視しても貧鉍あるいは砂鉄や弱粘結炭等の国内資源だけを使用して、短期間に簡単に建設できて燃料資材及び労力なるべく少なくすむような製鉄方法を開発するほかなかつた。このようにして高炉によらない製鉄法がおびただしく提案・実施された。

a) 回転炉によるもの

Krupp-Renn法による粒鉄（ルッペ）は特殊鋼用として昭和製鋼や三菱清津で昭和12年から製造され、16年には川崎重工が久慈で砂鉄から鉄葉英用に製造を始めた（C1, P0.1, S0.1各%）。大江山ニッケルもNi 2.5%, Cr 1%の粒鉄を14年に七尾で、17年に岩滝で製造し始めて特殊鋼の原料としていた。戦時中、磐城セメント、日本特殊鋼管等数工場で作っていたので内地で約20万tの生産高となり、電気炉に30%くらいまで装入できたが品質不良のものもあつた。回転炉による

海綿鉄は撫順炭鉍、日本砂鉄等で製造された。1100°C以下の還元なので酸化鉄が残るが、電気炉で精製すれば使えた。住友鉍業は四阪島で銅精錬の緩から銑鉄を試作したが石炭の不足で実生産はできなかつた。

b) 電気炉によるもの

鉄鉍石や砂鉄に木炭や無煙炭等と媒溶剤を混ぜてエール式炉またはゼーダーベルグ式開放炉で直接還元する方法で、日立（安来）、報国砂鉄、日本曹達、鴨川ニッケルその他で銑鉄、鋼、純鉄などさまざまのものを造つたが、東北電気製鋼の「和賀仙人低磷銑」もこの範疇に入る。

c) 特殊製鉄法

電撃製鉄法は日本高周波重工業、豊田製鋼、鐘淵工業等が採用した方法で、鉍石粒、砂鉄あるいはスケールと石炭かコークスの粉及び石炭等の媒溶剤を混ぜ合わせて開放炉の炉床に敷いて通電する方法である。電極は固定式と移動式があり、工場ごとに炉の形式、原料、操業が異なつていたが製品は棒状なので棒鉄と呼ばれた。M. Fe 87~95%, C 0.1~3%で夾雑物や不純物を多く含む通電や歩留りが悪いので製鋼側からは嫌われた。テルミット法は石原式と言い砂鉄床に径300mm、深さ800mmの穴を掘り、砂鉄にAl 10, 石炭 10, 螢石 5, 鹿沼土 30の割で混合したものを装入して点火すると3~4mm厚の円板状の還元鉄が底に溜り、スラグはAl以外の前記原料と混ぜて次回の装入物とするが、二回目からはAlは不要という触れ込みだつた。還元炉による海綿鉄の製造は大華冶金の上島式が有名で、コークス窯と同じ要領で装入物を両側の部屋から加熱して還元する方法であつた。寿重工、東亜特殊製鋼、名古屋製陶はトンネル炉式を採用していた。土窯法はHöganäs法を粉鉍や砂鉄に適用したもので、還元剤と混ぜて素焼きの容器に入れて窯に並べて加熱する方法であつた。海綿鉄は再酸化しやすいので早期に溶解する必要があつた。

備蓄原料も払底し焦燥感に襲われていた為政者にはこの特殊製鉄法が救世主とも映り、東条首相の「日本の製鉄は今後砂鉄法でいく」との議会答弁となり、一時は高炉法不要論が出たり既設の回転炉を中止させるなど世間を賑わせた。

海軍は特殊製鉄法の主なものに援助していたが自らも北海道の洞爺湖に近い噴火湾沿岸に電撃式と土窯式の海綿鉄製造工場を建設した。昭和18年に着工し19年春に一部操業を開始した。敷地306000m²、原鉄炉24基、焼結炉16基、10tエール炉1基の規模であつて、これが「大湊海軍工作部虻田分工場」である。