

韓国鉄鋼業のキャッチアップ過程 イノベーションとその収束の視点から

安倍 誠

(アジア経済研究所)

はじめに

近年、韓国の産業は高い国際競争力を持つまでに成長を遂げ、世界のトップ企業を排出するまでに至った産業も存在する。こうした産業の多くは戦後、日本企業が世界をリードしてきたこと、及び地理的的近接性から、成長を遂げた韓国企業の多くは日本企業と密接な関わりを持ちながら発展してきた。それゆえに、韓国産業の急速なキャッチアップを理解するには、先行していた日本産業の理解が欠かせない。本稿の目的は、韓国産業が急速にキャッチアップしてきた要因について、日本発のイノベーションとの関わりを中心に鉄鋼業を事例に明らかにすることにある。

図1から明らかなように、韓国を代表する鉄鋼メーカーのポスコは1980年代後半に急速に粗鋼生産量を拡大し、やはり日本を代表する鉄鋼メー

カーである新日鉄と肩を並べて激しく競争するほどの世界的な企業にまで成長を遂げた。さらに近年、ポスコなど韓国の鉄鋼メーカーは高級鋼とされる自動車用鋼板を生産を拡大して日本の自動車メーカーにも出荷するなど、技術面でもキャッチアップを着実に進めている。

本稿の分析にあたっては2つの視点を重視する。ひとつは、日本発イノベーションへの対応である。先にのべたように、日本の鉄鋼メーカーは戦後の世界鉄鋼業を主導してきた。それは日本メーカーが製品と製造工程の両面で戦後の鉄鋼業のイノベーションの担い手となったからである。それでは韓国メーカーはこの日本発イノベーションにどのように対応してキャッチアップを果たしたのだろうか。本稿では特にイノベーションの収束＝技術の特定化と後発者の技術吸収に焦点をあてる。もうひとつは、キャッチアップ段階における制度

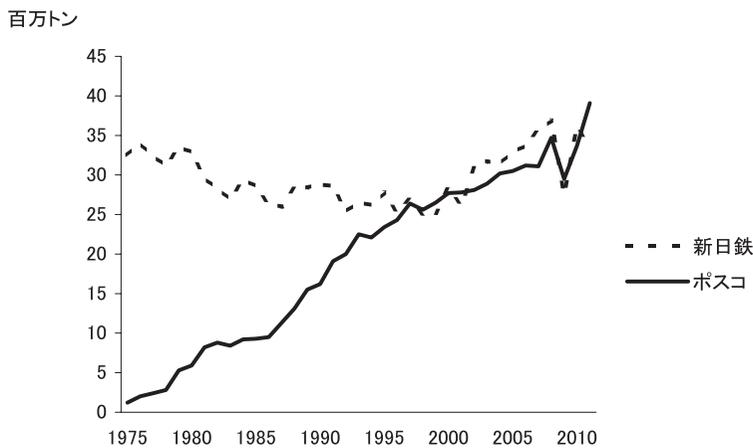


図1 日韓鉄鋼メーカーの粗鋼生産量の推移
(出所) World Steel Association.

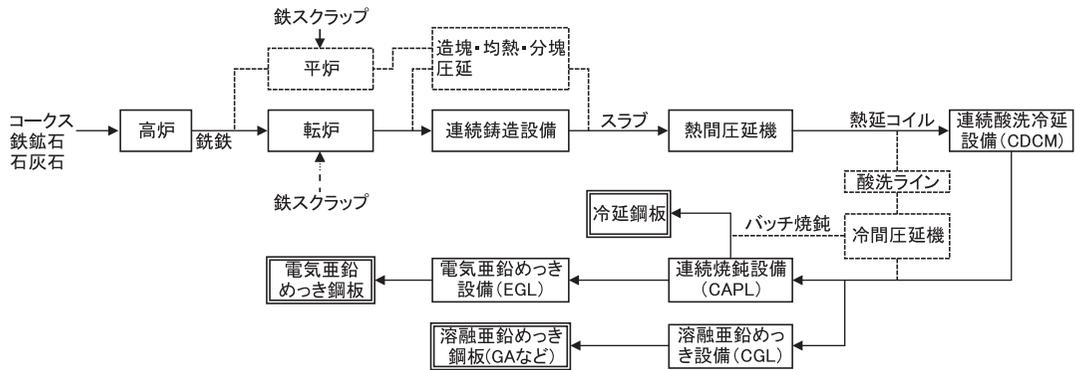


図2 鉄鋼産業の生産工程

(注) 高炉法による冷延鋼板・表面処理鋼板の製造フローを簡略化して示している。

(出所) 筆者作成。

と産業組織である。イノベーションを主導した日本産業においては、それを促進するような制度や産業組織が存在した。これに対して後発者である韓国は、そのイノベーションの成果を吸収してキャッチアップする過程では日本と異なる制度や産業組織を持つに至っていた。本稿ではそのあり方を考える。

1. では分析の枠組みを提示する。2. では日本の鉄鋼業が生んだ第1のイノベーションとして臨海型銑鋼一貫生産システムを取り上げて、韓国鉄鋼業のキャッチアップ過程を明らかにする。3. では、第2のイノベーションである自動車用高機能鋼板の開発・生産について、韓国鉄鋼業がこの分野でも急速にキャッチアップを果たした要因を分析する。4. では環境対応で新たな製造工程をめぐる日韓の開発競争が激しくなっており、そのなかで第3のイノベーションが生まれる可能性があることを指摘する。最後に、本稿のまとめと残された課題を提示して結びとする。本稿の理解を助けるために、簡単な生産工程図をあげておく(図2)。

1. 問題の設定

(1) イノベーションとその収束

イノベーションのパターンを論じた先駆的な研究として、Abernathy and Utterback (1978) がある。アナバシーらは、イノベーションは流動的な製品の機能を競う流動的な段階から、製品の多

様性を競う移行段階を経て、コスト削減を競う特定化の段階に至るかたちで収束していくと論じた。そこでは製品中心のプロダクト・イノベーションから製造工程中心のプロセス・イノベーションへ、担い手は技術志向の強いベンチャーから大量生産をおこなう大企業へ、イノベーションのあり方はインパクトの大きいラディカルなものから漸進的なものへと変容していくとした。イノベーションが特定化段階まで来た製品の産業は、産業として成熟したとみることができるだろう。アナバシーらは鉄鋼などの大量生産をおこなう製品はすでに特定化の段階にあるとみている。

しかし、アナバシーらの議論には修正すべき点があると考えられる。鉄鋼業のような装置産業の場合、従来、確立していた製造工程からまったく新たな製法の導入によって飛躍的なコスト削減に成功することがありうる。それはプロセス・イノベーションではあるが、競争のあり方を根本的に変えるラディカルなイノベーションとなりうる。さらに、プロセスの改善、特に制御技術の向上によって製品の品質が大幅に向上し、かつ新たな製品が開発されることがある。つまり、プロセス・イノベーションから新たなプロダクト・イノベーションが生まれる可能性もあると考えられる。

また新たに検討すべき論点として、イノベーションと後発企業のキャッチアップの関係がある。先発企業が流動段階にあるイノベーションを主導している場合、先発企業のような技術能力を持た

ない後発企業がキャッチアップを果たすことには大きな困難が伴う。しかし、Kim (1997) も強調しているように、イノベーションが特定化段階になると後発企業によるキャッチアップは比較的容易になる。その理由としては、第一にイノベーションが収束して技術が特定化の段階に入ることは、それまで流動的で不確実であった技術の方向性が定まることを意味する。これにより後発企業はキャッチアップの目標が明確になり、資源を効率的に投入することが可能になる。第二に、イノベーションの収束は、技術がマニュアルや生産設備などに体化することが可能になることにより、後発企業への移転と吸収がスムーズに進むようになる。鉄鋼業においても、イノベーションの収束に伴う技術の特定化は、後発企業がキャッチアップする上で大きな意味を持ったと考えられるのである。本稿ではイノベーションの特定化と後発企業のキャッチアップの関係を、鉄鋼業における日本企業と韓国企業を例に考えてみたい。

(2) キャッチアップと制度、産業組織

キャッチアップに適合した制度と産業組織を検討することが本稿のもうひとつの課題である。同じ産業とはいえ、後発企業がキャッチアップを遂げる際の企業をとりまく競争や産業組織は、イノベーションを生んだ先発企業のそれとは異なることがあるだろう。ここで想起されるのはガーシェンクロンの後発性の利益論である。ガーシェンクロンのキャッチアップ論によれば、後発国は先進国から借用することのできるイノベーションの備蓄 (backlog) が多ければ多いほど、より速い速度での成長が可能である。しかし、後発の度合いが大きい程、工業に長期資本を提供する特殊な制度的な工夫が求められることになる。具体的には「先進地域」のイングランドは特に工業化のための制度を持たなかったのに対して、「相対的な後進地域」であるドイツではユニバーサルバンクが、「極端な後進地域」のロシアでは国家が工業化において大きな役割を果たした (ガーシェンクロン 2005)。

ガーシェンクロンの分析単位が国レベルであったのに対して、シンは産業レベル、特に鉄鋼業を

ガーシェンクロンの「3国仮説」の枠組みを使って分析している (Shin 1996)。シンの研究は、制度によって形成された産業組織のあり方にまで議論が及んでいる。シンによれば、1850年 - 1930年の鉄鋼業における先進地域はイギリス、相対的な後進地域はドイツ、極端な後進地域は日本である。この時点における、キャッチアップのための特殊な制度的要素は、ドイツでは投資銀行、及びそれによって組織されたカルテルであり、日本では国家、特に国家のもとで設立された国営企業(八幡製鉄所) が大きな役割を果たした。さらに戦後、1950年 - 1990年の鉄鋼業になると、先進地域はアメリカ、相対的な後進地域は日本に変わるとともに、更に極端な後進地域として韓国が新たに登場した。ここで特殊な制度要素として指摘されているのは、日本は国家に代わって「ケイレツ」下にあるメーカーの寡占的競争であり、韓国は以前の日本同様、国家と国営企業(ポスコ) である。日韓鉄鋼業におけるこうした制度的要素を再検討するとともに、1990年代以降、どのように変化しているのかを明らかにすることも本稿の課題である。

2. 日本における第1のイノベーションと韓国のキャッチアップ

(1) 第1のイノベーション：臨海一貫製鉄所での大量生産システムの構築

日本鉄鋼産業が主導した最初のイノベーションは、1950年代から1970年代にかけての臨海一貫製鉄所での大量生産システムの構築である。このイノベーションは、さらに臨海一貫製鉄所の建設、及び2大プロセス技術の導入に分けて捉えることができる。

(ア) 臨海一貫製鉄所の建設

アメリカでは、すでに1920年代までに製鉄部門での大型高炉と製鋼部門の平炉に加え、圧延部門にストリップ・ミルを装備した一貫製鉄所が多く建設された。その結果、アメリカ鉄鋼産業は世界の粗鋼生産の60%を占めるなど圧倒的な競争力を確立していた。これに対して日本では、1945年の終戦時点でも製鉄一貫製鉄所は日本製鉄の八

幡製鉄所と広畑製鉄所、日本鋼管の鶴見製鉄所がみられる程度であり、しかも八幡製鉄所と広畑製鉄所は、銑鋼一貫生産よりも銑鉄の社外販売向けの生産が中心であった。またストリップ・ミル設備の導入は広畑製鉄所の厚板設備のみにとどまっていた（上岡 2005）。

日本における本格的な一貫製鉄所建設の先駆けとなったのは川崎製鉄所の千葉製鉄所である。同製鉄所は1952年に着工し、1958年の第2期工事の竣工により高炉－平炉－ストリップ・ミル（熱延ミル－冷延ミル）を備えた一貫製鉄所となった。千葉製鉄所はそれまでの一環製鉄所にはない、のちの製鉄所のモデルとなる以下の2点の特徴を備えていたことから重要な意味を持った。第1には、コンパクトで合理的なレイアウトを持った一貫製鉄所であったことである。川崎製鉄は建設するにあたって土地取得コストを節約するとともに、工場内の運搬コストも削減するために、設備ラインの「斜め配置」などコンパクトな工場レイアウトを追求した。合理的なレイアウトによって、八幡製鉄所の鉄道レール総延長が500キロを超えていたのに対して千葉製鉄所が60キロと輸送距離が大幅に短縮された。その結果、八幡製鉄所が370万坪で100万トンであったのに対して千葉製鉄所は75万坪で200万トンと敷地当たりの高い生産性を実現した（橋本 2001）。

第2には原料輸入と製品輸出に適した臨海地区に建設したことである。主要原料である鉄鉱石と石炭の国内供給の限界に直面していた当時の日本において、日本鉄鋼産業の競争力強化のためには、豊富な海外資源を低廉な海上輸送によって整備された港湾に運ぶことが必要不可欠となっていた。「鉄鋼産業は輸送業」とまで認識されるようになっていたのである。そのため川崎製鉄は千葉の臨海埋立地を工場予定地に選定し、大型船接岸のための水路も整備した。合理的でコンパクトなレイアウト、臨海立地という2点を兼ね備えた川崎製鉄千葉製鉄所が原型となり、1960年代に入ってから日本では臨海一貫製鉄所が相次いで建設されることになった（橋本 2001、伊丹・伊丹研究室 1997）。

（イ）2大プロセス技術の導入

1950年代から1970年代半ばにかけて新たに建設された臨海一貫製鉄所は先にあげた千葉製鉄所を含め11カ所に及んだ。これら製鉄所、さらに既存の製鉄所も設備の増強を続けた結果、この時期の日本の鉄鋼産業の設備投資は膨大な規模に達した。これらは単なる設備拡張ではなく、生産工程において当時の最新鋭の技術を導入したものだ。特に重要であるのは、2大技術革新とも呼ばれるふたつのプロセス技術、すなわちLD転炉と連続鑄造設備の導入である。

LD転炉（純酸素上吹き転炉、BOF）は1949年にオーストリアで開発された製鋼法で、炉内での急速な冶金反応が可能であるため精錬時間が短いこと、空気の代わりに酸素を使用するため窒素分が少ない良質の鋼を生産することが可能なこと、鉄くずの使用が少なく済むこと、建設コストが低いことなど、それまで主流であった平炉と比べて優位性を持つ技術であった。特に日本では鉄くず発生量が少なかったことに加え、その処理能力の高さから高炉の大型化にも適合したことから、1960年代以降に建設された大型の臨海一貫製鉄所の大半でLD転炉が採用されることになった。その結果、1974年のLD転炉による粗鋼生産比率はアメリカが56%であったのに対して、日本は81%にまで達した（Lynn 1982）。

もうひとつの技術革新は連続鑄造（連鑄）設備である。従来、精錬した溶鋼は一度ポットに入れて冷却して造塊し、その後再び均熱のうえ分塊圧延してスラブにするという工程を経る必要があった。これに対して連鑄設備は溶鋼を直接流し込んでスラブを製造することが可能であり、従来よりも時間とエネルギーを大幅に節約できる上に、製品の歩留まりを大幅に向上させることができた。連鑄技術が開発されたのは1950年頃であったが、日本では住友金属がスイスのコンキャスト社から技術を導入して1955年に1号実験機を設置した。その後、1960年代半ばから国内各社とも導入を開始し、1970年代になって急速な普及をみせた。1980年時点でのアメリカの連鑄設備普及率は20.3%であったのに対し、日本は59.5%に達した（米倉 1986）。連鑄設備は川上の大型高炉とLD転

炉、川下の熱延ミルの間の鑄造工程のボトルネックを解消するものとして、日本でいち早く普及をみせた。

LD 転炉にせよ、連続鑄造設備にせよ、日本で独自に開発された技術ではなく、それぞれ海外から導入したものである。しかし、いずれもコアの技術は開発されていたが、実用化技術は確立していなかった。日本メーカーは、LD 転炉では排ガス回収塵装置（OG 法）の開発や、酸素を吹き込むランスの単孔ノズルから多孔ノズルへの改良などによって実用化にこぎ着けた。また連鑄では改良の積み重ねで品質や生産性の問題を克服するとともに、すべての鑄造工程を連鑄とする全連鑄方式や連鑄の稼働率が 100%となる連連鑄の実現など、応用技術を次々に生み出していった（伊丹・伊丹研究室 1997、中岡 2002）。

この 2 大プロセス技術を大型高炉と熱延ミル、冷延ミルと組み合わせ、さらに工程全体をコンピュータで管理するシステムを導入したことにより、効率的な大量生産システムを構築した。製鉄所の臨海立地とともに、これが大きなイノベーションとなって日本の鉄鋼業を世界一位の座まで押し上げたのである。

（ウ）競争と協調

第 1 のイノベーションを可能にした要因として、ここでは戦後日本の鉄鋼産業の産業組織をあげておきたい。1950 年に国内最大の一貫メーカーである日本製鉄が分割され、八幡製鉄と富士製鉄が誕生した（1970 年に再び合併して新日鉄に）。さらに先に述べた川崎製鉄だけでなく、平炉メーカーであった住友金属と神戸製鋼が相次いで高炉を含む一貫製鉄所建設に乗り出した。これにより戦後の日本の鉄鋼産業では、戦前からの日本鋼管と合わせて高炉 6 社体制が成立した。この 6 社が激しいシェア競争を繰り広げ、その過程で競って新たな製鉄所を建設し、新鋭設備を導入していった。

しかしこの 6 社は単に競争だけをしていただけではない。技術導入及び技術開発においては各社の間で協力もおこなわれた。LD 転炉の技術導入の際は、戦前から転炉の経験があった日本鋼管が特許のジェネラル・ライセンサーとなり、その技

術のサブライセンスを他の企業に与えた。この企業間協力では、「外資法」をもとに技術導入の許認可権を持っていた当時の通商産業省が大きな役割を果たした。さらに特許事務をおこなう LD 委員会が窓口となり、企業間の操業経験と研究をめぐる企業間交流も活発におこなわれた。それ以外にも、戦前からの学術団体である日本鉄鋼協会が学会及び企業による共同研究と技術交流の場となり、技術の吸収と改良に大きな役割を果たした。

（2）第 1 のイノベーションの収束と韓国のキャッチアップ

日本において臨海立地と高炉－転炉－連続鑄造設備－ストリップ・ミルからなる大量生産システムはおおよそ 1980 年代初めには確立した。その後も加熱炉への熱片装入（HCR）や熱延ミルへの直送圧延（HDR）など、更なる生産プロセスの合理化が進められたが、1980 年代初めには臨海一貫製鉄所での大量生産システムは技術的に特定化されたといつてよいだろう。

しかし、1970 年代までの激しい設備投資競争の結果、日本の高炉メーカーは設備過剰による稼働率の低下に苦しむようになっていた。他方で後発国は特定化された技術を吸収し、日本に倣って相次いで臨海立地型の一貫製鉄所を建設して、その後も高い経済成長に呼応して生産能力を拡張していった。新興国の鉄鋼メーカーは低い労働コスト、それに日本と同様の技術ではあるが新しい設備によってコスト競争力を持つようになっていた。その代表的な存在が韓国のポスコである。

（ア）準備段階としての浦項製鉄所

当然のことながら、ポスコは設立当初から強い競争力を有していたわけではなかった。ポスコは 1968 年 3 月に財務部及び国営企業である大韓重石の出資により設立された。製鉄所の建設にあたって技術面では八幡製鉄、富士製鉄、日本鋼管の 3 社がジャパングループとして全面的に協力した。1970 年 4 月に始まった浦項製鉄所の第 1 期工事は 1973 年に竣工し、高炉－転炉－熱延ミルを持つ韓国で初めての鉄鋼一貫製鉄所が誕生することになった。その後第 4 期までの工事を経て、1981 年 2 月に高炉 4 基からなる浦項製鉄所は完

成をみた。浦項製鉄所のレイアウト等は、当時最新鋭の製鉄所であった新日本製鉄の君津製鉄所等をモデルとしていた。第1高炉の規模は年産110万トン、第2高炉の規模は170万トンであり、当時の日本の最新製鉄所における高炉の生産能力が年産300万トンであったことに比べると相対的に小さかったが、その後建設された第3高炉、第4高炉では年産290万トンと世界標準の規模まで引き上げることに成功した。

しかし、初めて鉄鋼一貫製鉄所を建設、運営するという韓国の実情に合わせて当時の最新鋭製鉄所とはいくつか大きな相違点があった。例えば、建設当初、第一のイノベーションにおける中核技術のひとつである連続鑄造施設を全面的に採用しなかった。浦項製鉄所の第1期工事では、操業技術が十分に確立しておらず日本などでもまだ不良品率が高いとの理由で見送られた（ソンソンス2002: 91）。第2期工事から一部で設備の導入を開始したが、結局浦項製鉄所では従来型の造塊・分塊法との併用が続けられることになった。高炉における原料の装入装置についても、当時はベル式からベルのないPW式に移行する段階にあった。しかし浦項製鉄所は「(技術の)基本はベル式」という理由でJG側はベル式の採用を主張し、結局、浦項製鉄所の高炉ではすべてベル式が採用されることになった（中川1997）。また君津製鉄所では全所的に生産工程のコンピュータ制御を導入していたが（井上1994）、浦項製鉄所では第3期工事の熱延ミルから開始されたものの（稲崎1997）、結局1981年の完工まで部分的な導入にとどまった。

こうした点は、浦項製鉄所が建設された時点では第一のイノベーションがまだ流動的な段階にあり、後発のポスコにとってすべての最新技術を吸収することが難しかったことを示している。しかし従来型技術から段階的に技術を導入することによって、ポスコは着実に技術を吸収することに成功し、このことがその後の光陽製鉄所の建設、操業に生かされたといっていよう。

(イ) 光陽建設所一「臨海鉄鋼一貫製鉄システム」の洗練化

ポスコの第二製鉄所である光陽製鉄所は、日本が主導した戦後鉄鋼業の第一のイノベーションである臨海一貫製鉄所による大量生産システムを更に洗練させた性格を有していた⁽¹⁾。浦項製鉄所が国内の需要産業に広く鋼材を供給するために熱延・冷延工場ばかりでなく、厚板や線材の製造工場まで配置していたのに対し、光陽製鉄所は薄板の一貫生産に絞り、少品種大量生産による高い生産性の実現を目指していた。

高い生産性を支えているのが工場の効率的なレイアウトと最新設備である。浦項製鉄所は高炉から転炉-鑄造-熱延-冷延へと至る工場と設備をU字型に配列していた。これに対して光陽製鉄所の場合、光陽湾に四角形上に埋め立て地を造成して、そのなかで原料事前処理から高炉、転炉、圧延の各工場、設備を直線上に配列することによって、高炉から熱延工場までを1.5キロメートルに収めるなど工程間の距離を大幅に短縮した。

さらに、100%の連続鑄造や直送圧延の導入はもちろんのこと、すべての高炉でベルのないPW式を採用したことをはじめ、設備は当時の最大かつ最新鋭の設備を導入した。全工程のコンピュータ管理も第1、第2工事完了後の1988年2月から実施された。これにより、出鉄から熱延コイルの生産まで、他国の標準的な製鉄所では4、5日、浦項製鉄でも12時間かかっていたところを、光陽製鉄所では8時間30分と大幅に短縮することに成功したという（浦項製鉄1993: 418-420, 447）。また光陽製鉄所では第一のイノベーションにおける標準技術だけでなく1980年代の新たな技術の導入にも積極的であった。第2期の第2熱延工場からは連続鑄造-熱延の直結圧延技術を導入するとともに、世界で初めてオンラインロールグラインダーを組み込んだベアクロスミルを導入して、板幅に関係なく圧延順序を自由に設定できるスケジュールフリー圧延を実現した（芳村2005）。

光陽製鉄所は最新の設備を揃えながら、設備投資に要した費用は低く抑えることに成功した。1980年代の日本の鉄鋼メーカーは、第1のイノベーションの収束に伴う設備過剰によって新たな

設備投資をおこなう余裕はなかった。加えて1980年代前半は世界の鉄鋼業の景気が下降局面にあり、販売先を失って不況に苦しむ鉄鋼設備メーカーは新製鉄所の建設を計画するポスコに激しい販売攻勢をかけたのである。その結果、ポスコは比較的安価で設備を購入することに成功した。1990年時点での年産340万トンクラスの高炉の建設費用がトンあたり平均1100ドルであったのに対し、光陽建設所第1高炉、第2高炉の場合、637ドルにすぎなかったという(D'Costa 1999: 47)。

このように第一のイノベーションである臨海型一貫製鉄所生産システムをより洗練したかたちで導入したポスコは、薄板の少品種大量生産体制を確立し、汎用鋼板で高いコスト競争力を持つに至った。1980年代後半からポスコは需要が拡大する東南アジア等に輸出を拡大した結果、1990年代以降、韓国の熱延コイルの輸出量は日本を上回るようになった。ポスコ材は日本にも流入し、日本市場の価格決定にポスコ材価格が大きく影響を与えるまでになったのである。

(ウ) 国営企業1社独占体制

以上でみたように、韓国鉄鋼業の第1のイノベーションにおけるキャッチアップはポスコという国営企業による鉄鋼一貫生産の独占体制によって実現された。シンが強調したとおり、工業化初期段階において資本や技術が希少だった韓国において、一貫製鉄所の建設は国家的事業であった。国内市場が大きくなかったこともあり、1社独占体制は不可欠であったといえる。後発国が鉄鋼一貫生産を国営企業の独占体制でおこなう例は、韓国ばかりでなく台湾やインド、ブラジルでも見られる。また1.でみたように、戦前の日本のキャッチアップ段階でも国営企業である八幡製鉄が大きな役割を果たした。

ただし、ポスコによる1社独占体制について、以下の2点について留意する必要がある。第1に、第二製鉄所はポスコが自動的に建設することに決まったわけではなく、事業選定においては旧現代グループも名乗りを上げてポスコと激しく争った。ポスコは浦項製鉄所を運営していた経験を、旧現代グループは建設、自動車、造船など、グループ内に鉄鋼需要産業を有していた点を強くアピール

した。結局、最終的に朴正熙大統領の裁可によりポスコが選定され、光陽製鉄所は浦項製鉄所での経験を土台に高い競争力を保持するに至った。しかし、旧現代グループが有力候補となったこと自体、1970年代末の時点で一貫製鉄所を建設できるだけの民間資本が育っていた可能性を示唆している。旧現代グループは1990年代に入って再び製鉄所参入に向けた活動を活性化させた⁽²⁾。政策次第では新たな参入者が現れる可能性があったという意味で、ポスコには常に潜在的な競争者が存在していたと言える。

第2に、1980年代末にはポスコの民営化に向けた動きがすでに始まっていた。ポスコは株式の一部を一般株主に割り当てるとともに1988年6月に上場を果たした。この時点で一般株主の比率は27.3%であったが、その後も一般株主の比率は徐々に上昇していった。つまり光陽製鉄所完工の時点でポスコは上場企業となっており、いまだ政府が多くの株式を保有しているとはいえ、ポスコは株主のためにそれまで以上に収益を重視せざるをえなくなっていた⁽³⁾。ポスコが海外輸出など積極的に事業を展開して収益向上に努めた背景には、こうした潜在的な競争者の存在や株主構造の変化があったと考えられるのである。

3. 第2のイノベーションー高機能鋼板の開発

(1) 日本における高機能鋼板の開発

(ア) 高張力鋼板と表面処理鋼板の開発

日本の鉄鋼産業が主導したともし一つのイノベーションは、1970年代半ばから本格化した高機能鋼板の開発である。第1のイノベーションが大型の設備投資を中心とした急進的なプロセス・イノベーションであったのに対し、第2のイノベーションは改良の積み重ねが生んだ漸進的なプロダクト・イノベーションであった。LD転炉の導入による低い鋼中炭素量の実現など、第1のイノベーションが高機能鋼板を開発する出発点となった⁽⁴⁾。開発の焦点となったのは、従来は相反するとされた鋼材特性の両立であった。特に市場が大きく産業全体へのインパクトが大きかったのが自動車向け鋼板、なかでも高張力鋼板(いわ

ゆるハイテン材)と表面処理鋼板であった。

北米では1960年代から交通事故死の増加によって車体強度向上の要求が高まった。さらに1973年のオイルショック以降に低燃費実現のために車体の軽量化が求められるようになった。これを受けて開発されたのが高張力鋼板である。しかし車体のプレス加工時に求められる成形性と高強度は本来、両立しがたい性質である。そこで日本の鉄鋼メーカーは、二次精錬での炭素及び不純物の除去、及び製鋼段階での添加元素の成分調整や焼鈍での温度調整によって、新たな性質を持つ鋼板を開発していった。DP (Dual Phase) 鋼、TRIP (Transformation Induced Plasticity) 鋼などが代表的な例である。1980年代以降、多様な高張力鋼が開発されるにつれて乗用車への採用が進み、日本の乗用車における340MPa以上の高張力鋼板の使用比率は1990年代には30%台に、2000年代には50%台に達した(新日本製鉄2004)。

1970年代以降、開発と普及が急速に進んだもうひとつ高機能鋼板が表面処理鋼板である。北米などの寒冷地では冬期に凍結防止のために道路に多量の塩を散布するが、1970年代後半には凍結防止剤による自動車の車体腐食が問題化して、それらの地域で販売される自動車には「表面錆1年、孔あき3年」(カナダコード)などの防錆目標が設定された。しかし、防錆のためには十分めっきをする必要があるが、表面にめっきを密着させるとプレス成形性が足りなくなってしまう。この二律背反を克服するために、新たなめっき技術の開発が進められた。カナダコードをクリアするためにまず開発された鋼板が、外板の内面側だけを防錆処理した「片面溶融亜鉛めっき鋼板」であった。その後1980年代に入ってから防錆目標が高く設定されたのに応じて両面めっきが必要となった。そこで開発されたのが二重電気亜鉛めっき鋼板、及び電気亜鉛・溶融亜鉛の二重めっき鋼板である。続いて防錆性と加工性をさらに向上させた二層の合金化溶融亜鉛めっき(GA)鋼板へと、鉄鋼メーカーは新たな防錆鋼板を開発していった(新日本製鉄2004、川端2006)。

(イ) 自動車メーカーとの緊密な協力

以上のような高機能鋼板の開発は、自動車メーカーとの緊密な協力関係によって生まれた。自動車のある部品に使われる鋼板を製品開発する場合、形式上、自動車部品の設計や鋼板のプレス加工については自動車メーカーが担当し、鋼板の構造設計、つまり成分や表面処理の設計は鉄鋼メーカーの業務範囲である。両者はその間の鋼板の機能、つまり鋼板の引張り強度や伸び率などのスペックをめぐって取引を成立させる。しかし、実際には鉄鋼メーカーがプレス加工のあり方、さらには部品の形状や重量など自動車部品の設計まで提案をおこなうなど、各段階で密接な情報交換をおこなっている。さらに情報交換の円滑化や自動車メーカー側の問題の発見、解決のために、鉄鋼メーカーの技術者が一定期間、自動車メーカーに派遣されることもあるという(青木2010:120-121)。特に1980年代まで、自動車メーカーが提示するスペックは比較的曖昧であり、しかもメーカー毎、さらにモデル毎にことになっていた。そのため鉄鋼メーカーは不断の技術開発を進め、JIS規格を超えて取引のある鉄鋼メーカーと自動車メーカー2社間でしか明らかにならないような多様な規格の鋼板を生み出すことになった(清1990)。

(ウ) 第2のイノベーションの収束

1990年代に入ると2つめのイノベーションである高機能鋼板の開発でも、一部では収束の動きをみせた。最大の原因はバブル崩壊後の景気低迷に伴うコスト削減圧力である。1990年代に入ると、開発に莫大なコストがかかるにもかかわらず必ずしも十分な収益をあげられていないことが指摘されるようになった。開発コストを鋼材価格に十分に転嫁できず、開発の利益が自動車メーカーに回ってしまっている可能性を示唆するものであった(川端1995)。自動車メーカーも販売低迷を受けて、原材料コストの削減に迫られた。そこでまずおこなわれたのがメーカー毎、車種毎にことになっていた鋼種の絞り込みである。絞り込みはこれまで2社間で公開されていなかった規格の業界共通化への動きと広がり、1996年には鉄鋼連盟規格が発効した。これによりそれまで600ほどあった自動車用鋼板の鋼種が100程度までに削減

されたという（中岡・臼田 2002）。

鋼種の絞り込みは「過剰品質」とまで言われたコストを度外視した高機能鋼板の開発見直しへと進んだ。表面処理鋼板の場合、トヨタ自動車は1990年代半ばには二層 GA 鋼板を単層 GA めっき鋼板に切り替えた。鉄鋼メーカーは単層 GA 鋼板の加工性を補うために鋼板の表面に潤滑皮膜をコーティングする技術（L 処理）を開発した。さらにトヨタ自動車はサーボプレス導入により潤滑皮膜なしでの単層 GA 鋼板のプレス加工を可能にして、使用鋼材の簡素化を進めている。日産自動車も従来、薄膜有機被覆亜鉛ニッケル合金めっき（デュラ）鋼板を使用していた日産自動車も、2000年頃にはトヨタ自動車と同じ GA 鋼板に切り替えることにより、鋼板調達コストの削減を図った。

(2) 韓国のキャッチアップ

以上のような動きは、後発の韓国鉄鋼メーカーにとって有利に働いたと考えられる。表面処理鋼板技術のように技術がある程度特定化された場合、開発資源をそこに集中させることによって技術開発のスピードを上げることができたからである⁽⁵⁾。韓国鉄鋼業は、第1のイノベーションと同様に、第2のイノベーションの収束の局面においても急速なキャッチアップに成功した。

(ア) 現代自動車グループの参入と新たな垂直統合モデルの構築

キャッチアップが進む契機となったのは、鉄鋼-自動車の垂直統合という新たなビジネスモデルを構築した現代自動車グループの新規参入であった。現代自動車グループの自動車用鋼材事業への参入は、旧現代グループ傘下の鋼管メーカーである現代ハイスコによる1999年の冷延鋼板の生産開始に端を発する。2001年に現代自動車グループが現代グループから分離・独立するが、このときに現代ハイスコは現代自動車グループに移った。現代ハイスコの冷延鋼板工場は単に鋼管製造用の原資材供給のためだけでなく自動車用鋼材の生産も目指していた。そのため工場設立の当初から溶融亜鉛めっき設備（CGL）を備えており、特にCGLに高周波誘導加熱炉システムを用意するな

ど、GA 鋼板の生産に強い意欲をみせていた。2001年10月に現代ハイスコと現代自動車、及び同じくグループ系列企業の起亜自動車が共同で GA 鋼板の開発に着手し、2003年2月には自動車外板用 GA 鋼板の量産に入ることに成功した（現代ハイスコ 2005: 212）。

さらに現代自動車グループは鉄鋼事業の川上展開を目指した。グループ傘下の電炉メーカーであった現代製鉄（旧仁川製鉄）が忠清南道唐津に高炉から熱延工場までを含む年産400万トン規模の一貫製鉄所の建設に着手し、2010年1月に竣工した。同年11月には同じく年産400万トンの第二期工事も竣工した。現代自動車は唐津製鉄所内に主に自動車鋼材を専門に研究・開発する現代製鉄研究所を設立し、ここにグループ内自動車・鉄鋼4社から計350人の技術者を常駐させている。グループ内部での緊密な研究開発体制の構築により、2010年末の月時点で現代・起亜自動車が必要とする自動車用鋼材の鋼種102のなかで現代ハイスコが生産可能なものは76で、重量ベースで95%以上に達している。また現代製鉄は現代ハイスコが必要としている自動車鋼板用熱延コイル50（内板や構造用27、外板23）の鋼種のうち23、重量ベースで50%強を供給できるようになっており、2012年までにほぼすべての鋼種を追加して生産する予定であるという⁽⁶⁾。

(イ) 垂直統合モデル構築の背景

以上のように現代自動車グループは高炉-熱延（現代製鉄）-冷延-表面処理（現代ハイスコ）-自動車製造（現代自動車、起亜自動車）という鉄鋼-自動車製造の垂直統合を実現することになった。自動車と鉄鋼の垂直統合は20世紀初頭のフォード、現在ではインドのタタグループなどを除くと世界的にも珍しいビジネスモデルである。なぜ垂直統合モデルをいち早く確立することが可能になったのであろうか。

第1の理由は先に述べたイノベーションの収束による技術の特定化の効果である。ポスコの場合、1980年代から1990年代にかけて、自動車用鋼材に関する技術協力を日本メーカーに再三要請していたが、日本メーカーは先端技術が競争企業に流出することを恐れてこれを拒否していたとされる。

これに対して現代ハイスコの場合、2002年1月に川崎製鉄（同年にNKKと合併してJFEスチール）と自動車外板用GA鋼板の量産体制構築のための技術導入契約を締結した。川崎製鉄からは操業要員の現場研修や研究員の派遣、その他定期的な技術指導などをおこなった結果、契約締結から約1年余りで量産にこぎ着けた（現代ハイスコ2005: 212）。短期間での技術移転は、この時期に高炉-熱延工場の過剰な設備能力に苦しんでいた川崎製鉄が熱延コイルの供給先を求めていたことが大きい。自動車表面処理鋼板をめぐるイノベーションの特定化が進んでパッケージでの移転が可能になっていたことも大きく作用したと言えるだろう。

第2の理由は製品の供給先の確保である。現代ハイスコは冷延鋼板事業への進出を計画した1993年時点で現代自動車が同鋼板を年間80万トン消費し、需要はさらに伸びる見通しであることに着目して参入を決定した（現代ハイスコ2005: 139）。現代自動車グループはその後、起亜自動車を買収するとともに、世界有数の自動車メーカーにまで成長を遂げた。その結果、2012年には現代自動車、起亜自動車を合わせた鉄鋼材消費量は年間465万トンにまで達している。これに伴い、現代ハイスコは冷延鋼板生産能力を年間380万トン、2013年には600万トンにまで拡大することが可能になっている。

川上の高炉展開まで行おうとした場合、最小効率規模を考えると更に大きなキャパシティを持つ必要が出てくる。ここで大きな意味を持ったのが現在の韓国内の鉄鋼需給状況である。これまで川上部門を独占していたポスコが高稼働率を維持するために設備拡大に慎重であったため、韓国は川上のスラブや熱延コイルなどが深刻な供給不足に陥っていた。現代製鉄の川上部門進出は、こうした韓国鉄鋼市場全体の需給不均衡を是正する役割をも果たしたのである。その他に現代自動車は2011年に旧現代グループの母体企業である現代建設を買収するなど、自グループ内で鉄鋼消費事業をさらに拡大していることも現代製鉄の供給先確保にはより大きな力になっていると考えられる。

さらに忘れてはならないのは財閥としての大き

な資金調達能力である。先に述べたように、現代自動車グループは旧現代グループから自動車と鉄鋼部門が分離して創設された。その後、自動車部門が拡大するとともに、特殊鋼、自動車部品、さらには、建設、金融、物流と事業範囲を拡大していった。その結果、現代自動車グループは資産額でサムスングループに次ぐ第2位グループにまで成長するに至った。この規模を土台に、現代自動車グループは高炉から自動車鋼板までの一貫生産のための資金を調達することが可能になったと言っただろう。

（ウ）ポスコの対抗-日本モデルの徹底化

現代自動車が垂直統合モデルの確立によって自動車用鋼板事業に進出、拡大していったのに対抗して、ポスコも自動車用鋼板事業を積極的に拡大していった。ポスコは1980年代初期からGA鋼板の開発をスタートさせていたが、先に述べたように日本メーカー等からの技術導入が進まなかったこと、コスト競争力を基盤とした汎用鋼材の少品種大量生産の事業モデルの選択していたこともあって十分な成果をあげていなかった。1990年代にはGA鋼板の一部生産は始まっていたものの、2000年の時点でGA鋼板全体の生産は10万トン程度にとどまっていた（『鉄鋼新聞』2000年5月2日）。

しかし、2000年代に入って現代自動車グループの自動車用鋼材生産の動きは、ポスコの従来の戦略を転換する大きな契機となった。ポスコは最大の需要先であった現代自動車という市場を失うばかりか、その他の顧客とも熾烈な競争をおこなうことになる。2000年9月に完全民営化を果たしたポスコにとって収益体質の改善は急務であり、高機能鋼板の生産に本腰を入れざるをえなくなったのである。

自動車用外板用GA鋼板では現代ハイスコとほぼ同時期の2003年2月に本格生産を開始し、2003年には9000トン、新たに品質最適化技術を実用化した2004年には7万トンを生産した。さらに2005年から2006年にかけて自動車用GA鋼板の生産が可能な光陽第5、第6CGLを立て続けに完工させ、操業を開始した。2006年7月には光陽製鉄所を「グローバルNO.1自動車鋼板専門

製鉄所」とするビジョンを発表し、第1～3CGLについても自動車用GA鋼板が生産できるように改造して、総計200万トンの生産体制を整えた。

ポスコは設備以外にも高機能鋼板の生産強化のための体制強化に乗り出した。そこで重要視されたのが需要者との密接な連携である。従来、ポスコは国営企業として民間企業に鋼材をいわば配給する立場であり、需要者との情報交換には積極的でなかった。ポスコは1998年末から2001年にかけて社内業務プロセスの全面的な見直しとそれへのインターネット技術の導入を核とするPI (Process Innovation) と呼ばれる全社的な活動をおこなった。さらに社内システムを顧客と連結して電子商取引を可能にした。これにより販売計画のスパンを60日から15日に、熱延コイルのリードタイムを従来の30日から14日にすることに成功したという (ポスコ 2004: 429-440)。

さらにポスコは2003年1月に「自動車鋼材加工研究センター」を設立して自動車メーカーとの鋼材の共同開発体制も整備した。同センターはハイテン材や表面処理鋼板などの自動車用鋼板やTWB、ハイドロフォーミングなどの鋼材加工について、自動車メーカーの製品開発と同時並行で鋼材開発及び選定をおこなおうとする、いわゆるEVI (Early Vendor Involvement) をおこなうための組織である。センター内には自動車メーカーと共同で製品開発をおこなうための研究室や試作ラインが設けられるなど、自動車メーカーと密接な連携をおこなうための場が整備された⁽⁷⁾。さらに、従来ポスコでは日本の鋼鉄メーカーと比べると、高級鋼の開発、生産に不可欠な製鉄所内の工程間、部門間の連携が不足していると指摘されてきた (Fujimoto, Ge and Oh 2006)。これを改善するために2006年以降、光陽製鉄所では設備運営及び整備部門を一体化させるとともに、工程間の部門横断的な品質改善システムを構築したという (ホナムソク他 2009: 226-227)。

この結果、ポスコは国内で現代自動車や起亜自動車などが自らのグループからの鋼材調達を増やすなかでも、主に海外の自動車メーカーへの販売を増加させることに成功した。それは日本の鉄鋼メーカーの本拠地である日本の自動車メーカーに

も及んだ。例えば日本の自動車メーカーA社の小型車の場合、2009年5月の時点では国内工場生産されていたが、約3割(点数ベース)の鋼材をポスコから調達していた。そのなかにはドア部分など外板のGA鋼板も含まれていた。同工場では2000年頃からポスコ材の調達をはじめ、ポスコ側と交渉及びテストを繰り返しながら採用比率を上げてきたという⁽⁸⁾。さらに2010年のフルモデルチェンジを契機に、同小型車の生産は日本国内市場向けを含めてタイ工場に全面的に移管された。この際に、A社はポスコをメインの鋼材供給者に据えた。他にもポスコは日本の自動車メーカー数社に外板用GA鋼板を含め鋼材を納入するまでに至っている。ポスコは、日本の鉄鋼メーカーが進めてきた自動車メーカーと進めてきた密接な情報交換、及び生産・開発のモデルを徹底して吸収し、高機能鋼板の開発を実現したといえる。

4. 第3のイノベーション?—環境対応のための新たな製造技術

2000年代に入ってから、鉄鋼産業では製造プロセスをめぐる新たな大きな動きがあらわれている。すなわち環境問題への対応、特に地球温暖化に対応した二酸化炭素の排出抑制と資源制約の克服のための劣位鉄鉱石・石炭の使用拡大に向けての技術革新である。日本メーカー、韓国メーカーともに環境対応のための細かい改良を重ねてきているが、日韓鉄鋼メーカーはさらに独自の技術開発を指向しつつ、異なるアプローチをみせている。

日本では従来の高炉法をベースとして、その原料の加工方法を改善することで原料問題及びCO₂問題に対処しようとしている。ここで大きな役割を果たしているのが第1のイノベーションのときと同様の官民協調体制である。日本の鉄鋼メーカーはこれまで製鉄所内で発生した熱や排ガス、その他副産物の徹底した再利用を通じた省エネルギー・環境技術では先頭を走ってきた。これをさらに進めるとともに、コークス製造等の既存の製造過程の改善もおこなってきた。そのひとつである新たなコークス製造技術「SCOPE21」は、低品位炭の使用比率を上げるとともに生産性を拡大

させ、かつ NO_x 削減など環境改善効果のある新技術として経済産業省の支援の下、鉄鋼各社とコークス各社が共同で研究開発に取り組んできた。2008年には新日鉄の大分製鉄所で実用1号機が稼働を開始した（『NIPPON STEEL MONTHLY』2008年10月号）。また別の産官学共同プロジェクト「革新的製鉄プロセスの先導的研究」は、石炭と鉄鉱石を事前に粉碎、混合、成型し、連続式の乾留炉で過熱することによって、鉄鉱石を金属鉄に、石炭をコークスにする複合塊成物「フェロコークス」の製造プロセスを開発した。これによって低品位炭及び劣質鉄鉱石の使用が可能になり、二酸化炭素発生量を大幅に削減できるとされる。現在、パイロットプラントの建設が進められている⁽⁹⁾。

これに対して韓国のポスコは、高炉法とはことなる溶融還元による製鉄技術であるファイネックス（FINEX）法を開発して実用化を進めている。溶融還元法も低品位炭及び劣質鉄鉱石を原料として使用でき、コークス炉と焼却炉を省くことから環境面での改善も大きい。溶融還元炉としては、1980年代後半にオーストラリアのフィストアルフィネ（VAI）社がコレックス（COREX）法を開発したが、エンジニアリング及び操業技術は十分に確立していなかった。ポスコはVAI社から技術を導入して60万トン規模のコレックス炉を建設し、1995年11月に完工、1996年12月には正常稼働を開始することに成功した。しかしコレックス炉は炉内部の反応ガスが十分通過できるように原料を8ミリ以上のペレット状に加工する必要があった。ポスコはコレックス炉の完工間もなく、粉鉱石、粉炭を使用できるファイネックス炉の開発を進めることを決定し、VAI社と共同開発を開始した。VAI社が設備設計を、ポスコが設備製作と操業技術を担当した。多くの技術的課題があったが、流動還元技術や成形炭製造技術など、主要要素技術は既存技術を導入しつつ改良を重ね、また試験炉の大きさを徐々に拡大しながら課題を解決していったという⁽¹⁰⁾。2007年4月からは年産150万トンのファイネックス炉の操業を開始し、2011年6月には新たに200万トン規模のファイネックス炉建設に着手している。

日本でもSCOPE21に先立つ鉄鋼国家プロジェクトのもとで溶融還元法のDIOSが開発された。しかし、最小効率規模が小さく高炉を代替する技術にはなり得ないとして、ほとんどの高炉メーカーはその後も実用化していない。これとは別に神戸製鋼が溶融還元製鉄法であるIT-MK3を開発、実用化にこぎつけている。しかし、やはり生産規模は小さく、神戸製鋼自らは採用せずにアメリカの原料立地企業に対する設備及びライセンスの供与のみおこなっている。1970年代までの設備投資競争時の高炉を多く保有している日本鉄鋼メーカーは、従来の高炉法を維持しつつ環境問題に対応する途を選んだといえる。実用化されたファイネックス炉は高炉に比べるとまだ小規模であり、生産される銑鉄の品質面でもまだ課題は多いとされる。しかし、もしこれが高炉と肩を並べるようになれば、ファイネックス法の開発は鉄鋼産業の生産プロセスを大きく変える戦後第3の、そして韓国鉄鋼業が主導する初めてのイノベーションとなる。日韓どちらの技術が優位となるのか、今後の技術開発の行方が注目される。

おわりに

以上で見たように、1950年代から1970年代にかけて、日本では臨海型鉄鋼一貫製鉄所での大量生産システムの構築という戦後鉄鋼業の第1のイノベーションが進行した。高炉メーカー間での激しい設備競争がこれを促進した結果、日本の鉄鋼業は世界をリードする存在となった。しかし1970年代末にはイノベーションの収束＝技術の定型化が進み、日本の鉄鋼業は過剰設備に苦しむようになった。これに対して韓国の鉄鋼業では1980年代に入って国営の独占企業であるポスコが定型化した臨海型鉄鋼一貫システムをさらに洗練させた光陽製鉄所を建設し、高いコスト競争力を基盤に急速なキャッチアップを果たした。

他方、日本鉄鋼業では1970年代から自動車用鋼板を中心とした高機能鋼板の開発・生産という第2のイノベーションが進み、日本はこの分野でも世界鉄鋼業をリードする存在となった。ここでは企業間競争と並んで、自動車メーカーなど需要者

との密接な情報交換が鋼材開発において大きな役割を果たした。しかしバブル崩壊後、自動車メーカーはコスト重視へと戦略を転換し、使用する鋼種の絞り込みを進めた。鉄鋼メーカーもこれに応じざるをえなくなり、1990年代には自動車用表面処理鋼板などでは技術の定型化が進んだ。これを受けて韓国の鉄鋼業では高機能鋼板の分野でもキャッチアップが進行した。現代自動車グループの参入による2社競争体制への転換がこれを大きく後押しした。高機能鋼板の開発・生産でのキャッチアップにあたって、現代自動車グループは鉄鋼-自動車の垂直統合という新たな事業モデルを構築し、これに対してポスコは自動車メーカーとの緊密な関係構築と自社内での工程間情報共有の強化という日本の事業モデルをさらにそれぞれ構築して成長を実現した。近年、日韓鉄鋼業ではさらに環境対応のための新たな製造プロセスの開発を進めており、実現されれば戦後第3のイノベーションとなるような可能性を秘めている。

本稿でとりあげた日本におけるイノベーションとその収束及び韓国のキャッチアップという現象は他の産業でも多く観察されるものである。しかし、その過程やキャッチアップのあり方は、イノベーションのスピードや技術の定型化の程度など、産業のあり方によって大きくことなると考えられる。今後、産業間の比較などを通じてさらに議論を深めていくことが必要だろう。また、今回とりあげた日韓鉄鋼業についても、韓国における製品開発の具体的なあり方など明らかになっていないことが多い。特に第2のイノベーションとして取り上げた高機能鋼板のなかでもハイテン材の開発は、環境規制への対応という側面から日韓メーカーが現在も製品開発に力を注いでいる。ここで先行する日本メーカーと後発の韓国メーカーで開発体制に違いがあるのか、後発のなかでもポスコと現代自動車グループではどのような異同があるのか、本稿の分析を更に一歩進めるためには議論を精緻化していく必要がある。今後の課題としたい。

〈参考文献〉

- 安倍誠 2008. 「韓国鉄鋼業の産業再編—産業政策の転換とその帰結」佐藤創編『アジア諸国の鉄鋼業—発展と変容』アジア経済研究所。
- 安倍誠・全濟九 2011. 「日韓鉄鋼貿易の現状と韓国メーカーの新戦略」『アジア研ワールドトレンド』7月号。
- 伊丹敬之・伊丹研究室 1997. 『日本の鉄鋼業—なぜ、いまも世界一なのか』NTT出版。
- 稲崎宏治 1997. 「プロセス・コンピュータとクーラー事始め」ヨボセヨ会編『浦項製鐵の建設回顧録』65-68 ページ。
- 井上義祐 1994. 「日本の鉄鋼業とCIM」同志社大学人文科学研究所編『技術革新と産業社会』中央経済社。
- ガーシェンクロン(絵所秀紀・雨宮昭彦・峯陽一・鈴木義一訳) 2005. 『後発工業国の経済史—キャッチアップ型工業化論』ミネルヴァ書房。
- 上岡一史 2005. 『戦後日本鉄鋼業のダイナミズム』日本経済評論社。
- 川端望 1995. 「日本高炉メーカーにおける製品開発—競争・生産システムとの関わりで」大阪市立大学経済研究所・赤石芳彦・植田浩文編『日本企業の研究開発システム—戦略と競争』東京大学出版会。
- 川端望 2006. 「日本高炉メーカーの高級鋼戦略—その堅実さと保守性」産業学会研究年報、第21号、35-47 ページ。
- 新日本製鉄編 2004. 『カラー図解 鉄と鉄鋼がわかる本』日本実業出版社。
- 清响一郎 1990. 「曖昧な発注、無限の要求による品質・技術水準の向上」中央大学経済研究所編『自動車産業の国際化と生産システム』中央大学出版部。
- 田中彰 2008. 『鉄鋼：日本モデルの波及と拡散』塩地洋編著『東アジア優位産業の競争力—その要因と競争・分業構造』ミネルヴァ書房。
- 中岡哲郎 2002. 「総論：戦後産業技術の形成過程」中岡編 2002. 所収。
- 中岡哲郎・白田松男 2002. 「自動車用冷延薄鋼板の発展」中岡哲郎編『戦後日本の技術形成—模倣か創造か』日本経済評論社。
- 中川美男 1997. 「第一高炉の火入れの頃を想う」ヨボセヨ会編『浦項製鐵の建設回顧録』117-122 ページ。
- 橋本寿朗 2001. 『戦後日本経済の成長構造—企業システムと産業政策の分析』有斐閣。
- 芳村泰嗣 2005. 「圧延設備ものづくり(その4)」『京機短信』No. 19, 3-5 ページ。
- 米倉誠一郎 1986. 「鉄鋼業におけるイノベーション導入プロセス—連続製造設備導入プロセスの日米比較」今井賢一編『イノベーションと組織』東洋経済新報社。
- Abernathy, William J. and James M. Utterback 1978. Patterns of Industrial Innovation, Technology Review,

- June/July.
- D'Costa, Anthony P. 1999. *The Global Restructuring of the Steel Industry: Innovations, Institutions and Industrial Change*, London: Routledge.
- Fujimoto Takahiro, Ge Dong and Oh Jewheon 2006. "Competition and Co-operation in Automobile Steel Sheet Production in East Asia," MMRC Discussion Paper No. 73, Manufacturing Management Research Center, University of Tokyo, March.
- Kim, Linsu 1997. *Imitation to Innovation: The Dynamics of Korea's Technological Learning*, Boston, Harvard Business School Press.
- Lynn, Leonard H. 1982. *How Japan Innovates: A Comparison with the U.S. in the Case of Oxygen Steelmaking*, Boulder, Westview Press.
- Shin, Jang-Sup 1996. *The Economics of the Late Comers: Catching-up, Technology Transfer and Institutions in Germany, Japan and South Korea*, New York, Routledge.
- 송성수 [ソンソンス] 2002. 『한국 철강산업의 기술능력 발전과정—1960 1990 년대의 포항제철』 서울대학교 대학원 석사 학위논문.
- 송성수, 송위진 [ソンソンス, ソンウィジン] 2010. 「코렉스에서 파이렉스로: 포스코의 경로실현형 기술혁신」 『기술혁신학잡지』, 제 13 권 4 호 (12 월).
- 이종민, 박명섭 [이쥘민, 박명섭] 2010. 「기술혁신 기반의 전략적 변화: POSCO 의 FINEX 기술개발」 『경영교육연구』 제 14 권 제 1 호 (8 월).
- 포스코 [포스코] 2004. 『포스코 35 년사』.
- 허남석과 포스코 사람들 [허남석 등] 2009. 『강안 현장이 강한 기업을 만든다』.
- 현대하이스코 [현대하이스코] 2005. 『현대하이스코 20 년사』.
- (1) 포스코의 광양製鐵所를 臨海一貫製鐵所という「日本モデル」を洗練させたものとする見方については、田中 (2008) も参照。
- (2) 旧現代グループの 1990 年代における製鐵所建設の動きについて詳しくは、安倍 (2008: 63-65) を参照。
- (3) 포스코は収益拡大のために 1980 年代以降、二次加工や特殊鋼部門にも進出している。この点について詳しくは安倍 (2008: 59) を参照。
- (4) この他にも溶銑の予備処理による硫黄や燐の除去、真空脱ガス技術を使った炉外精錬による溶鋼の清浄化など、望み通りの成分をもった鋼をつくり出すが 1970 年代に確立した。また連鑄設備の基礎技術をもとに開発された連続焼鈍設備 (CAPL) によって、焼鈍に関わる温度と時間を自由にコントロールできるようになり、品質のばらつきのない冷延鋼板が製造可能になった。こうしたことも高機能鋼板を開発する起訴となった (中岡・臼田 2002)。
- (5) ハイテン材の場合、環境規制への対応のために現在も新鋼板の開発が不断に続けられている。しかし、それでも近年は車種によってはハイテン材の採用比率の見直しが進められている。例えば後で触れる日系企業がタイに生産移管したある車種の場合、車体の改良によってハイテン材のなかでも 500 MPa 程度の比較的強度の低い鋼種で生産可能のように設計されたという。これによってハイテン材開発では後発の海外鉄鋼メーカーの鋼板もより多く採用されることになった。
- (6) 2010 年 11 月 25 日、現代ハイスコ及び現代製鉄でのインタビュー。ただし、現代・起亜自動車はコスト条件やリスク分散の見地からポスコや日本メーカーからも調達する方針をとっており、現代ハイスコ材使用比率は 2010 年末時点で 50-60% 程度であるという。また、現代ハイスコでは生産が可能であっても十分な量の需要が見込めない鋼種については生産コストを考慮して生産はおこなわない方針であるという。この点について詳しくは、安倍・全 (2011) を参照。
- (7) 포스코は現代自動車とも EVI 活動をおこなっている。特に現代自動車グループはまだハイテン材の生産ではポスコに後れているため主にポスコから調達している。ポスコは 2012 年 8 月に現代自動車との EVI により 490 MPa 級の自動車外板用ハイテン材の開発に成功した (『ポスコ新聞』 2012 年 8 月 12 日)。
- (8) 2009 年 5 月 21 日、A 社国内工場でのインタビュー。
- (9) JFE スチール「革新的塊成物「フェロコークス」製造のためのパイロットプラント建設について」 (<http://www.jfe-steel.co.jp/release/2009/12/091214.html>) 2012 年 9 月 6 日アクセス。
- (10) ファイネックス法の要素技術及び技術開発過程について詳しくは、ソンソンス・ソンウィジン (2010)、イジョンミン・パクミョンソプ (2010) を参照。