


**MMRC**  
**DISCUSSION PAPER SERIES**

**No. 479**

**プロセス産業における技術移転と設計改変  
—日韓鉄鋼技術移転を事例に—**

**東京大学ものづくり経営研究センター 特任助教  
辺 成祐**

2015 年 11 月

 **MONOZUKURI** 東京大学ものづくり経営研究センター  
**MMRC** Manufacturing Management Research Center (MMRC)

ディスカッション・ペーパー・シリーズは未定稿を議論を目的として公開しているものである。  
引用・複写の際には著者の了解を得られたい。

<http://merc.e.u-tokyo.ac.jp/mmrc/dp/index.html>

**Technology Transfer and Architecture Change:  
Case Study on Steel Making Technology Transfer between Japan and Korea**

**Byun, Sungwoo**

**Project Research Associate**

**Manufacturing Management Research Center**

**Faculty of Economics, The University of Tokyo**

**Summary**

The purpose of this study is to analyze technology transfer between firms through design theory, especially product architecture framework. In the process of technology receiver's reproducing 'function' and 'structure' of new technology, we elaborate on how the receiver finally comes to redesign original architecture.

There are two critical aspects of technology transfer, 'functional' and 'structural'. Particularly about structural aspect of technology transfer, the concept of 'hierarchy' is introduced to decompose and analyze complex system and track the receiver's design simplification effort.

For case studies, we elaborate on the steel making technology transfer which continued from the late 1960's through 1970's between Japan and Korea. POSCO(Pohang Iron and Steel Company) of South Korea introduced integrated steel mill technology from Japan Group comprised of three major steel manufacturers in Japan, and in that process, POSCO succeeded in redesigning one of core parts in blast furnace, 'tuyere nozzle'.

The focus of paper is to look into this process with the lens of architecture and hierarchy to give useful implication for innovation study.

**Keywords: technology transfer, architecture, hierarchy, steel industry, blast furnace, tuyere nozzle**

## 要約：プロセス産業における技術移転と設計改変

－日韓鉄鋼技術移転を事例に－

辺成祐

東京大学ものづくり経営研究センター 特任助教

本稿の目的は、設計論、とりわけアーキテクチャ論を応用して企業間技術移転を見ることで新たな知見を得ることにある。具体的には、企業間の技術移転をアーキテクチャの移転として捉え、受け手が導入技術の‘機能’と‘構造’を再現する中で、アーキテクチャを見直し、設計改変に至るプロセスを明らかにする。

技術移転を機能的な側面と構造的な側面で分けてアプローチし、特に後者に関しては人工物の階層性に注目し、ある階層レベルで受け手が設計を単純化していくプロセスを詳細に見る。事例研究としては、1960年代末から1970年代まで行われた日本と韓国との鉄鋼技術移転を取り上げる。ジャパングループ（八幡製鉄、富士製鉄、日本鋼管）から鉄鋼技術を導入した韓国の鉄鋼大手浦項総合製鉄株式会社が、高炉の重要資材である‘羽口(tuyere nozzle)’の設計を見直すことで、20年以上輸入に依存していた羽口の国産化に成功する。その後、社内展開はもちろん、羽口世界シェア1位に至っているが、その背景には設計改変による「外モジュラー化」というアーキテクチャの改変がある。

このように複雑で膨大な技術の塊である製鉄技術を受け手が再解釈していくことを明らかにする。本稿では、プロセス産業である鉄鋼産業における日本から韓国への技術移転とその後の韓国側での技術革新について、設計論、とりわけ技術の階層性とアーキテクチャの観点から論じる。

**キーワード：技術移転、アーキテクチャ、階層性、鉄鋼産業、高炉、羽口**

## 1. はじめに

技術進歩は、企業、産業、経済の発展にとって重要であり、イノベーションはその原動力である (Schumpeter, 1934)。技術イノベーションは、アイデアの創造、問題解決、具体化、そして伝播からなるプロセスとされる (Myers and Marquis, 1969)。そのイノベーションの主体は多くの場合、企業または企業群である。ある企業および企業群が最初のイノベーションを起こすと、その技術は自国や他国の産業と企業に移転される。他国なら国際技術と呼ばれる。<sup>1</sup> 現代の経済成長は、有用な知識の蓄積と応用からくる。技術イノベーションは国境を越えていくため、国の経済成長においても外部からの知識を有効活用することが重要となる (Kuznetz, 1966)。経済成長は、本質的に国際技術移転の成否とも関連する。さらに Arrow (1969) は、ある国が高い生産性を実現する知識を持っていれば、他の国がそれを手に入れようとするのは自然なことだと強調する。こうした国際技術移転の継続により、ある新技术が伝播し、先進国と新興国の間の生産性や品質の差が縮小し、当該産業の比較優位が逆転し、産業の主導権そのものが移動することもある。

このようにイノベーションの源泉は、企業外部にも存在する。March and Simon (1958) は、イノベーションは、自らの発明 (invention) より外部から持ってくる (borrowing) ことが多いと指摘した。より重要なことは、外部から導入した技術はそのまま使えず、企業が置かれた環境と能力に合わせて改良、修正を加えることがよく観察されることである。企業間・国際間・現場間で移転される技術は、しばしば移転先でさらなるイノベーションが誘発される (Leonard Barton, 1988; Tyre and Olikowski, 1994)。また、導入する技術の複雑さゆえに、それを単純化する狙いで修正する場合もある。特に、修正・改良の場合、何らかの技術の見直しが必要となることが多い。このように、技術イノベーションは、本質的に、人工物の設計の改変により経済効果を得ることである。

本稿では、鉄鋼技術、中でも高炉技術の企業間移転に注目しながら、日本から韓国への技術移転とその後の韓国側での技術革新について、設計論、とりわけアーキテクチャの観点から論じる。具体的には、1970年代に日本から韓国への技術移転された高炉技術のある部分 (羽口) が、韓国企業によりその後、設計形式 (アーキテクチャ) の面で改変され、その結果、高炉技術の当該部分において、韓国企業の技術力や国際競争力が高まった事例を取り上げる。

本論文の全体構成は以下の通りである。第2節では、関連文献の流れを大きく3つに分けた上で、これまでの技術移転論と比べ、設計論から技術移転をみるのが持つ意義について論じる。第3節では、設計論に視点を絞り、機能と構造の対応関係で現れるアーキテクチャのフレームワークを用いて、企業間の技術移転を機能的な側面と構造的な側面に分

---

<sup>1</sup> イギリスの哲学者フランシス・ベーコン (1561~1626) は、約400年前に、印刷技術、火薬技術、羅針盤技術という三つの偉大な技術発明こそが、世界のあらゆる面を変えたとみた。印刷技術は「文学」を、火薬技術は「戦争」を、羅針盤技術は「航海」を変えたと見た。しかし、これらの発明の中で、ヨーロッパで発明された技術は一つもない。発明地はすべて中国であった (Rosenberg, 1982)。

けて再解釈する。特に構造的な側面については、Simon (1969) の人工物の階層性（階層構造）の概念から、事例研究対象の高炉の構造を分析した上で、設計改変について考察する。そこから本論文の研究方法与仮説を導き出す。ここまでの分析の視座と仮説に基づいて、第 4 節では、具体的に韓国鉄鋼大手ポスコが日本から高炉技術を導入してから、どの技術の設計をどう改変していたかについて詳述する。第 5 節では、羽口という高炉の重要資材のアーキテクチャの改変により、「中インテグラル・外モジュラー化」の方向に位置取りを変えることから得られる学術的なインプリケーションと実践的なインプリケーションについて述べる。最後の第 6 節では、本研究の結論を簡単にまとめた上で、今後の課題について論ずる。

## 2. 既存研究の流れ

技術移転 (technology transfer) に関する文献は非常に幅広い。その背景には、‘技術移転’ という現象が持つ多面性と複雑性にある。一言で技術移転と言っても、‘技術 (technology)’ の定義、‘移転 (transfer)’ の定義によって分析の視点と対象が異なってくる。前者に関しては、一つの小部品から大型設備、さらには設備群を示すことはもちろん、目に見える機械類から、直接観察困難な人のノウハウ、技能まで多岐に渡っている。後者に関しても、移転、つまり移動のベクトル量（方向性とスピード）、移動させる主体、移動方法など、分析の切り口も非常に多く、両者の組み合わせからすれば、技術移転というキーワードは、もうキーワードとしての機能が働かなくなることで、この分野を研究するこれまでの研究者たちを躊躇させてきた<sup>2</sup>。このような幅広い概念を整理することは本稿の目的でない。本稿では、‘技術’ を、製品や工程などの人工物の機能と構造の間の因果関係に関する知識や情報として見ることにする。ここでの技術概念は、設計の概念と深く関連する。‘移転’ に関しても、本稿では、企業間移転に絞る。

技術移転は、国レベルだけではなく、企業レベルでも多く議論されてきた。特に、技術移転のスピード、あるいはキャッチアップのスピードを決める要因として、主に 3 つの論点が出されてきた。それは、技術自体の新旧や難易度の議論、技術の資本体化度の議論、設計の複雑度の議論である。

### (1) 技術自体の新旧や難易度

高度な先端技術は、受け手の技術吸収能力が不足するゆえに、国際技術移転が遅い。外部の知識をうまく利用する吸収能力 (Cohen and Levinthal, 1990) は、主に既存の関連知識の水準によるものであり、受け手が関連知識を持っていない場合、技術移転に時間がか

---

<sup>2</sup> 2015 年 11 月 16 日の時点で、web of science にて technology transfer をキーワードに検索をかけたところ、3 万件以上のヒットを記録している。工学から、社会科学まで様々である。技術移転論という分野が独立された学問のディシプリンとして確立されていないこともこのような背景とは無関係ではない。

かる。単純な労働集約産業の方が、複雑な資本集約産業より技術移転のスピードが速いという予想につながる。固有技術あるいは設計情報の内容が移転速度に影響するという仮説である。

## (2) 技術の資本体化度

高度な技術知識であっても、それが資本設備に体化していれば、その購入により技術移転は早くなる。設計情報が設備本体やその自動制御装置に体化（embody）しており、その設備一式を導入できれば、その設備の機能と性能をかなりのレベルで再現できる場合、そのレベルまでの技術移転は早い。つまり操作の簡単な資本集約産業の方が熟練を要する複雑な労働集約産業より技術移転のスピードが速いという予想につながる。技術の受け皿となる媒体の特性が移転速度に影響するという仮説である。

## (3) 設計の複雑度

設計情報の抽象的な形式、つまりアーキテクチャが移転速度に影響するという仮説である。移転される技術に対応する設計情報がモジュラー型の場合、技術をバラバラに導入しても一定の性能と機能を再現できるので、技術移転のスピードは相対的に速い（新宅・天野、2009）。一方、移転される技術に対応する設計情報がインテグラル型の場合、設計要素間の相互依存性が高いため、技術をバラバラに導入しても、性能と機能を再現は難しく、技術移転のスピードは相対的に遅い（藤本、2009）<sup>3</sup>。

では、鉄鋼産業における国際技術移転はどうか。まず、‘技術難易度’に関して、鉄鋼産業は、韓国、中国など新興国による技術吸収とキャッチアップは、技術先端産業よりも早いとの予想もあったが、実際には、日本の半導体産業や液晶産業は韓国に急速にキャッチアップされる一方、自動車用鋼板など高級鋼は、依然として日本が競争優位を維持している。技術の‘資本体化度’に関しては、鉄鋼業は資本体化技術に依存する資本集約産業であると言われ、この意味でも韓国など新興国による技術吸収とキャッチアップが早いとの予想があったが、実際には、同じ鉄鋼製品でも、韓国に急速にキャッチアップされる鉄鋼製品と、簡単にキャッチアップされず日本が競争優位を維持している鉄鋼製品に分かれる。

そこで本稿では、3つ目の論点である‘設計の複雑度’、つまり技術移転のアーキテクチャに特に着目しつつ、韓国への技術移転を‘アーキテクチャ移転’の観点から考察し、また、その後の韓国企業による高炉技術、特に重要資材である羽口の設計改変を「アーキテクチャ改変」の観点から分析していく。

## 3. 分析枠組と基本概念：アーキテクチャからみる技術移転

本節では、技術移転を設計論、とりわけアーキテクチャ論からみることの意義について

<sup>3</sup> 藤本隆宏（2009）、第4章「日韓鉄鋼産業」藤本・桑嶋編（2009）『日本型プロセス産業』。

みる。これまで国と企業レベルでの技術移転をさまざまな切口で分析されてきたものの、アーキテクチャの視点は十分に論じられてこなかった。本稿でいう‘技術’とは、製品や工程など、人工物の機能と構造の間の因果関係に関する知識や情報を示す。その意味で、この概念は設計の概念、とりわけアーキテクチャの概念と深く関連する。設計とは、ある人工物の生産に先立って、その人工物の機能要素（性能）と構造要素（部品）の関係を結びつける行為、およそその結果としての情報のことである。したがって、技術移転という行為を、技術の移転側が技術の受け手に、技術の機能と構造、つまりアーキテクチャを移転する行為としてみなすことができる。

では、アーキテクチャの移転という視点が持つメリットとは何か。まず、アーキテクチャの視点は、技術移転のリアリティをよちよく見せる。技術の受け手が、技術導入の際に、最初から完成された技術を導入し、すぐに稼働に入るとは稀である。導入側は、まずは導入技術を選択し、その技術を部品および設備の形でもらい設置する作業及び既存の技術に組み入れる作業など、物理的なインストレーションの作業が必要となる。その後、必要な場合、テストをして技術を移転する側の指導の下で、本格的な稼働に入る。換言すれば、新しい技術を導入する際に、技術の構成要素を確認する機会が与えられる。導入側は、各部品（設備）間のインターフェースを確認する同時に、全体の機能とサブ機能が各部品（設備）とどうつながっているかを理解する。設備の基礎原理に対する理解はともかく、少なくとも稼働に向けての基本操作のために、機能と構造に対する理解が進む。導入技術が、大型化・複雑化されるほど、物理的に一定の単位で分解された状態が入ってくる技術がどうやって組立てられ、機能するかが観察できる。その後、実際に稼働してみながら、機能と構造の理解はさらに深まり、場合によっては修正と改良のアイデアが生まれる。アーキテクチャの概念そのものは、設計者の思想を表す概念であるが、技術移転のプロセスで設計されたもの（部品、設備）が再現・再構築されることもあり、ユーザーの視点、つまりアーキテクチャに対する理解が進むことにつながる。ここからアーキテクチャに対する理解が深まることはもちろん、場合によっては技術を移転する側の想定とは異なる認識を持つことも可能であり、アーキテクチャに対する認識ズレが生じ、技術の新たな方向性を提示したりする。

以上のように、技術移転のリアリティを考慮すると、人工物の機能と構造の間の因果関係を表すアーキテクチャの概念は非常に分析に適していると言える。

本稿では、技術移転をアーキテクチャの視点からアプローチし、技術移転の‘機能的側面’と‘構造的側面’に分けて検討する。

技術移転の究極的な目的は、外部の技術を導入した受け手が目的とする機能を忠実に再現することにある。一般に、ある人工物の機能と構造の間には、機能 = f（構造、操作、環境）という関係が存在する（藤本・桑嶋、2009）。例えば、自動車の燃費という機能は、自動車の構造、運転操作、道路状況による。また、高炉のエネルギー効率は、高炉の構造、高炉の操作、原燃料の品質による。この関数関係からみれば、単に、移転する側と同様の

構造設計の設備が受け手にも建設されれば技術移転が完了するわけではない。機能が移転されなければ、技術移転は完了しない。ただし、関数関係で示されている通り、機能の再現には、構造だけではなく、ある環境の下での操作が必要となる。つまり、同じ構造の技術とはいえ、それを再現するには、違う環境の下での操作とその学習が必要となる。これが技術移転の‘機能的側面’である。

次に、技術移転の‘構造的側面’についてみる。人工物の構造は、小部品から大型設備まで多様であり、それらはインターフェースでつながる。ここで注目すべきところは、モノのサイズなど、構造の特殊性を越えて、階層性 (hierarchy) の観点から人工物の構造分析ができるところである。Simon (1969) は、人工物の複雑性には、いくつかの特徴があるとみた。複雑なシステムは、サブシステム (下位システム) で成り立っているし、そのサブシステムも複数のサブシステムで構成されている。階層構造の中のサブシステムは、相互に関連しており、複雑なシステムをサブシステムに分解して観察することができる。高炉のような複雑な人工物は、必ず複数の部品やモジュールに分解可能な階層構造になっている。その意味で、技術移転は、人工物の階層構造そのものの移転を含む活動である。これが技術移転の構造的側面である。

ここでサブシステム間の関係性の強さも焦点となる。ある階層で複数のモジュールがそれぞれ機能完結的になれば、その人工物はその階層においてモジュラー型アーキテクチャに近くなる。一方、ある階層で複数のモジュールの機能が相互依存的になれば、その人工物はその階層においてインテグラル型アーキテクチャに近くなる (Ulrich, 1995 ; 藤本・武石・青島, 2001)。そして設計の階層性ゆえに、ある人工物のある階層とその上の階層のアーキテクチャがインテグラル寄りかモジュラー寄りかによって、その階層におけるアーキテクチャの位置取り戦略を示すことができる (藤本, 2003 ; 藤本, 2004)。

この位置取り戦略、つまりアーキテクチャのポジショニングを変更していく戦略の背景には、アーキテクチャは固定されることではなく、機能と構造の対応関係を変えることで変更可能だとの考え方がある。例えば、設計者が複雑性を回避するために、ある階層で機能要素と構造要素との関係を一対一の対応に単純化させれば、その人工物はその階層でモジュラー・アーキテクチャ化する。しかし、その際、全体の機能要求を高位に保ちながら、そうしたモジュラー化を進めることは、そのモジュール自体には設計上、強い制約がかかりやすい。高い機能が求められる人工物のある階層でモジュラー化すれば、そのモジュール自体はインテグラル化しやすい。言い換えると、ある人工物に対する機能要求 (functional requirement) が高まれば、その人工物の機能要素群と構造要素群の関係は、多対多対応となり複雑化し、インテグラル・アーキテクチャ化しやすい (Ulrich, 1995; 藤本・武石・青島, 2001)。

こうした設計論の基礎概念に基づいて技術移転の機能的側面と構造的側面を用いつつ、韓国鉄鋼業における技術移転と技術の階層性について考察する。分析方法としては、事例分析を用いる。テーマが探索的 (exploratory) ということと、研究対象がダイナミックだ



からである。本研究では、以下の仮説に基づいて事例研究を進めていく。

**仮説 1**：複雑な設計形式（インテグラル・アーキテクチャ）の技術を移転された受け手の企業は、その設計変更の際に、設計の調整負担を軽減するために、ある設計階層でアーキテクチャをモジュラー化する傾向がある。

**仮説 2**：複雑な設計形式の技術を移転された受け手の企業が、上記の事情で、ある設計階層でアーキテクチャをモジュラー化した場合、全体工程の性能、例えば、生産能力やエネルギー効率を維持・向上しようとするれば、その下位モジュールはインテグラル・アーキテクチャ化する傾向がある。

#### 4. 事例研究：ポスコの技術導入と設計改変

##### (1) 日韓の鉄鋼技術移転

1960年代末から1970年代まで行われた日本から韓国への鉄鋼技術移転は、1965年日韓国交正常化以降、本格的な経済交流のスタートとなった。当時、ジャパングループ（八幡製鉄、富士製鉄、日本鋼管）<sup>4</sup>から韓国国営の浦項総合製鉄株式会社（現、ポスコ<sup>5</sup>）への技術移転は、装置産業における国際技術移転の代表例とも言える。当時、ポスコは「包括的なワンセット技術移転」から「脱パッケージ化（バラ買い方式）」に方針転換し、技術選択に関する意思決定の自立化を目指したところにある。ポスコの設備導入は1990年代初めまで続く第2の製鉄所の光陽製鉄所の完工まで、設備メーカーの多様化というバラ買い方式を維持した。

設備を稼働するのに必要な重要資材は全量輸入していた。同じ設備も複数の設備メーカーから調達したため、設備ごとに必要な資材を購入していたのである。その典型例が、日本式高炉とイギリス式高炉である。その結果、資材同士の互換性がなく、膨大な資材の在庫管理が大きな課題として浮上した。ポスコは製鉄所レベル、工場レベル、そしてそれを構成する設備レベル、資材レベルというシステム階層性の中で、製品品質への影響を最小限に抑えながら資材の国産化を通じた資材の標準化・共通化に取り組み、2ヵ所（浦項製鉄所、光陽製鉄所）の製鉄所が互換性を持つ資材を使うことを目指した。このような取り組みの一環として、サプライヤーと共同開発して資材の共通化を進めていく。

ここでは、ポスコのアーキテクチャ選択背景として、初期の技術移転から、第2の製鉄所の光陽製鉄所を完成する1990年初旬までの技術導入過程を概観する。その中でも、高炉工場に視点を絞り、その階層性を見た上で、羽口という重要資材の開発（国産化）の取り組みを紹介する。そして、羽口の設計改変による「中インテグラル・外モジュラー化」のプロセスについて詳述する。

<sup>4</sup> 現在、八幡製鉄と富士製鉄は新日鐵住金、日本鋼管はJFEスチールとなっている。

<sup>5</sup> Pohang Iron and Steel Companyの略称。尚、浦項（ポハン）は地名である。

産業初期における技術導入は、ものづくり現場における組織能力構築を加速するチャンスでもある。装置産業では技術が資本に体化しているため、技術移転が効率的に進み、技術受け手側に有利だとも言えよう。技術の受け手企業であるポスコが当該工程のアーキテクチャをどう捉え、能力構築に関してはどのような構想を持っていたかといった、基本的な戦略論的課題を検討した先行研究としては、二つの研究がある。

まず、藤本・葛・呉（2008）は、企業による組織能力の構築およびアーキテクチャの選択が、一国・一産業内の国際比較優位の構図、すなわち産業内貿易の微細なパターンにどのような影響を与えるかを実証分析した。具体的には、自動車用鋼板を対象に、その使用用途に応じて同じ自動車用鋼板であっても異なる製品アーキテクチャを持っていることを明らかにした。ポスコが最先端設備を導入することにより、比較的短期間のうちに要素ごとの技術水準を向上させることが容易だったと強調した。他にも、藤本（2009）は、日本の鉄鋼企業からポスコへと行われた初期の技術移転の経緯を中心に検討し、ポスコのアーキテクチャ選択と能力構築について考察した。特に、ポスコが日本の技術のワンセット導入ではなく、世界中の先端設備の「バラ買い」、すなわち「モジュラー型工程アーキテクチャ」への移行したことは、鉄鋼の製品アーキテクチャに関する「誤認」として解釈できると指摘した。つまり、ポスコの初期の製鉄所建設において「工程アーキテクチャのモジュラー化」が進むことによって、モジュラー・アーキテクチャ工程で生産できる汎用タイプの規格品の操業技術移転には問題なかったと分析した。このようなポスコの意思決定プロセスおよび戦略形成は、事前合理的な判断による「周到的な戦略（deliberate strategy）」というよりは、意図せざる結果への事後的対応を伴う「創発的な戦略（emergent strategy）」に近かったと推測した（Mintzberg and Waters, 1985）。つまり、「高級鋼のアーキテクチャ特性の誤認」というポスコの初期の「判断ミス」が、「怪我の功名」効果をもたらしたと見た。

以上の研究では、アーキテクチャの選択のみならず、組織能力の構築もまた、企業の主体的な選択に左右されるという点では類似している。本稿ではポスコのアーキテクチャ選択を、製鉄システムの階層性に焦点を当てながら分析し、階層レベルを資材レベルまで降りていく。製鉄所全体の階層から、高炉工場にレベルに下がり、さらに高炉の本体に使われる重要資材である羽口までズームインしていく。

ポスコが羽口を国産化して、両製鉄所で共通利用するまでは、20年以上の時間がかかった。これを考慮して本稿では、製鉄所建設の初期だけではなく、第2の建設所の完成までを視野に入れて考察することにする。

ポスコは技術導入の初期段階である浦項製鉄所第1期建設で、主要設備のほぼすべてを日本から導入した。ところが、第2期建設からは設備導入先の多角化が進み、日本以外（主に欧州）からも輸入が増えていった。<sup>6</sup>さらに第2製鉄所の光陽製鉄所の場合、主要設備の

---

<sup>6</sup> 浦項製鉄所における設備導入方針の転換と組織能力構築に関する詳しい議論は、藤本（2009）第4章「日韓鉄鋼産業」藤本・桑嶋編（2009）『日本型プロセス産業』を参照されたい。

導入先は、浦項製鉄所とはまた変わることになる（表 1）。

表 1 ポスコの製鉄所建設の概要

| 工期            | 建設期間                    | 建設工期<br>(ヶ月) | 投資費<br>(億ウォン) | 生産能力 (万トン) |       | 設備の<br>国産化率 (%) |
|---------------|-------------------------|--------------|---------------|------------|-------|-----------------|
|               |                         |              |               | 当該期        | 累積    |                 |
| 浦項 1 期        | 1970.4.1<br>~1973.7.3   | 39           | 1,204         | 103        | 103   | 12.5            |
| 浦項 2 期        | 1973.12.1<br>~1976.5.31 | 30           | 2,654         | 157        | 260   | 15.5            |
| 浦項 3 期        | 1976.8.2<br>~1978.12.8  | 28           | 6,712         | 290        | 550   | 22.6            |
| 浦項 4 期        | 1979.2.1<br>~1981.2.18  | 25           | 8,350         | 300        | 850   | 35.1            |
| 浦項 4 期<br>2 次 | 1981.9.1<br>~1983.5.25  | 20           | 2,852         | 60         | 910   | 41.5            |
| 光陽 1 期        | 1985.3.5<br>~1987.5.7   | 26           | 16,991        | 270        | 1,180 | 49.4            |
| 光陽 2 期        | 1986.9.30<br>~1988.7.12 | 21           | 12,958        | 270        | 1,450 | 55.4            |
| 光陽 3 期        | 1988.11.1<br>~1990.12.4 | 25           | 18,817        | 270        | 1,750 | 61.3            |
| 光陽 4 期        | 1991.1.5<br>~1992.10.2  | 21           | 18,852        | 330        | 2,080 | 63.1            |

< 出所：ポスコ 35 年史編纂委員会（2004）『ポスコ 35 年史』ポスコ。 >

表 1 で示されているように、ポスコの製鉄所建設は事前準備を終えて 1970 年から本格的に始まり、第 2 製鉄所の光陽製鉄所の第 4 期建設は 1992 年に終わる。建設工期は 39 カ月から、20 ヶ月まで短縮され、生産能力を急激に増やしていくことが分かる。

ポスコは国産化を二つの概念に分けて、タイプ I とタイプ II という言い方をしていた。純粋に国内で製造する設備を「ケース I の国産化」と呼んでいた。一方、海外メーカーが国内メーカーに発注した後、国内メーカーがものをつくって供給する設備を「ケース II の国産化」と分類した。表 1 での国産化率は、後者の概念である。つまり、‘海外メーカーが設計した設備を国内メーカーに発注する’ことを契約に入れる国産化の概念である。しかし、この場合にも、高炉、転炉、連続鋳造、熱延、冷延工程の主要設備の国産化されなかった。

浦項製鉄所建設の投資費より、光陽製鉄所の投資費が圧倒的に大きい。それは光陽製鉄所の地盤工事にかかった費用、最新鋭設備の導入、生産能力の増強などが含まれた費用で

ある。

今度はポスコの設備導入を具体的に検討するために、表 2 に主要設備の調達状況をまとめた。

表 2 ポスコの主要設備の調達状況

| 工期     | 高炉                                     | コークス工場                  | 製鋼   | 連続鋳造  | 熱延                             | 冷延                                  |
|--------|--|-------------------------|--|---|--------------------------------|-------------------------------------|
| 浦項 1 期 | IHI<br>(日本)                            | 日本オットー・<br>川崎重工<br>(日本) | 川崎重工<br>(日本)                               | —   | 三菱重工<br>(日本)                   | —                                   |
| 浦項 2 期 | IHI<br>(日本)                            | Otto<br>(ドイツ)           | 川崎重工<br>(日本)                               | Voest<br>(オーストリア)                                 | 三菱商事<br>(日本)                   | Voest<br>(オーストリア)                   |
| 浦項 3 期 | IHI<br>(日本)                            | Otto<br>(ドイツ)           | 川崎重工<br>(日本)                               | —   | 三菱商事<br>(日本)                   | 三菱電機<br>(日本)                        |
| 浦項 4 期 | IHI<br>(日本)                            | Otto<br>(ドイツ)           | 川崎重工<br>(日本)                               | Voest<br>(オーストリア)                                 | 三菱商事<br>(日本)                   | Voest<br>(オーストリア)                   |
| 光陽 1 期 | Davy McKee<br>(イギリス)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 現代重工業<br>(韓国)           | Voest-Alpine<br>(オーストリア)、<br>現代重工業<br>(韓国) | Mandegman<br><br>Demag<br>(ドイツ)、現代重<br>工業 (韓国)    | 三菱商事<br>(日本)、<br>現代重工業<br>(韓国) | 三菱重工業、<br>現代重工業、<br>韓国重工業、<br>三星重工業 |
| 光陽 2 期 | Davy McKee<br>(イギリス)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 現代重工業<br>(韓国)           | Voest-Alpine<br>(オーストリア)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | Mandegman<br><br>Demag<br>(ドイツ)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 三菱商事<br>(日本) 現<br>代重工業<br>(韓国) | 三菱重工業、<br>現代重工業、<br>韓国重工業、<br>三星重工業 |
| 光陽 3 期 | Davy McKee<br>(イギリス)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 現代重工業<br>(韓国)           | Voest-Alpine<br>(オーストリア)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | Mandegman<br><br>Demag<br>(ドイツ)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 三菱商事<br>(日本) 現<br>代重工業<br>(韓国) | 三菱重工業、<br>現代重工業、<br>韓国重工業、<br>三星重工業 |
| 光陽 4 期 | Davy McKee<br>(イギリス)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 現代重工業<br>(韓国)           | Voest-Alpine<br>(オーストリア)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | Mandegman<br><br>Demag<br>(ドイツ)、<br>韓国重工業<br>(韓国) | 三菱商事<br>(日本) 現<br>代重工業<br>(韓国) | 三菱重工業、<br>現代重工業、<br>韓国重工業、<br>三星重工業 |

< 出所 : ポスコ 35 年史編纂委員会 (2004) 『ポスコ 35 年史』ポスコ。三菱総合研究所 (1981) 。 >

表2で示されているように、ポスコは設備導入面で、「先端技術を寄せ集める」という指向が強いことが伺える。ポスコは、日本の設備メーカーを中心に導入した設備方針を、イギリス、オーストリア、ドイツというヨーロッパ勢に切り替えたのである。これを製鉄システムの階層構造から見ると、設備レベルにおいてモジュラー型アーキテクチャを選択したことになる。個別工程・設備ごとのパラメータの部分最適化で製品の機能が向上するのが、モジュラー型工程アーキテクチャの特徴である。しかし、その過程で、設備の「バラ買い」方式より、資材の共通化・標準化の問題が浮上した。

高炉の重要資材である羽口は、メーカーの設計によってサイズと成分が異なり、高炉メーカーは自社設計に最適化した羽口を導入する傾向があった。羽口は高炉作業の中で消耗される資材であるため、安全在庫を海外から輸入して保管する必要があった。ポスコとしては、羽口はもちろん、他の資材の在庫管理という作業に経営資源を配分しなければならなかった。設備が複雑になるほど、資材の在庫管理も複雑になったのである。また、耐久期間が資材ごとに異なるため、資材の共通化と標準化が大きな課題として浮上し、倉庫の建設が必要な場合もあった。

この問題は、ポスコと日本の設備メーカーとの契約でも伺える。ポスコは、資材の設計図面を確保するために契約金額に、いわば「図面プレミアム」を上乗せして導入することに力を入れた。<sup>7</sup>

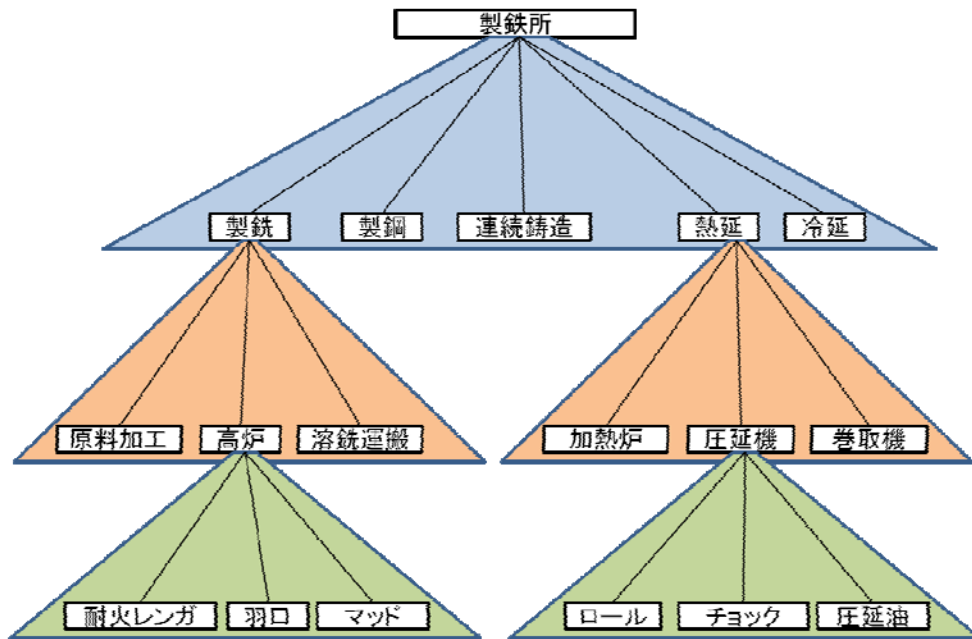
## (2) 製鉄システムの階層性

システムには階層性がある。複雑なシステムは、それを構成するコンポーネントの内部にサブシステムが存在する。このシステムの階層性に基づき、アーキテクチャの分析レベルを決めることができる。製鉄システムの階層構造を簡略化すると図3のようになる。

<図1 製鉄システムの階層構造<sup>8</sup>>

<sup>7</sup> すべての資材に対して同じ契約形態を取ったわけではない。また、本研究で事例分析の対象となるサプライヤーの技術担当者とのインタビューによれば、最初に図面を提供したのはポスコであった。つまり、ポスコが図面を買い取り、それをサプライヤーに提示する方式は「変則的な委託図方式」となる。

<sup>8</sup> 議論の展開に支障のない範囲で簡略化した階層構造である。実際には、より複雑な構造になる。また、工程の区分が製鉄メーカーによって異なる場合がある。

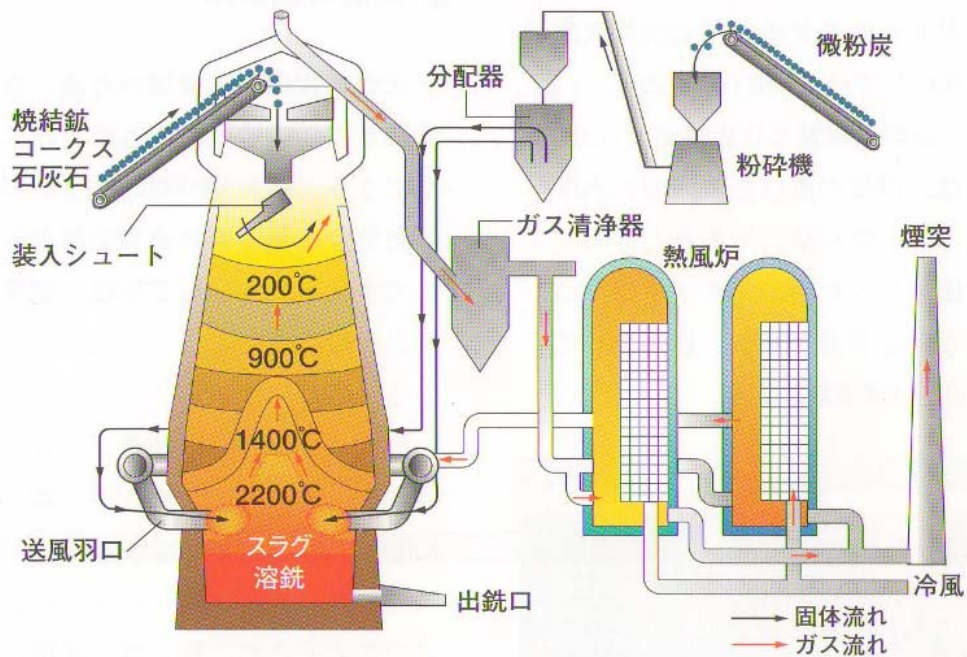


(出所) 筆者作成。

製鉄システムは製鉄所レベル、工場レベル（例：製鉄工場）、設備レベル（例：高炉設備）、資材レベル（例：羽口）に分類できる。図 3 は、工場レベルの製鉄、製鋼、熱延（熱間圧延）、冷延（冷間圧延）に分類している。そこからさらにズームインしていくと、設備レベルになる。製鉄工場の設備レベルでは、高炉と付帯設備に分けてみる事ができる。つまり、高炉本体をはじめ、原料の事前処理・加工する焼結炉、コークス炉、熱風炉、トープードカーなどに分けられる。今度は、高炉本体をズームインしていくと、高炉の中の資材レベルまで降りていき、羽口、耐火物、マッド材などに分類される。実際には、もっと複雑な階層構造になるが、ここでは設計改変を説明するに支障がない範囲まで簡略化した。

製鉄所のシンボルである高炉は、鉄鉱石を高温で溶かし、銑鉄（pig iron）をつくる。最近の大型高炉は、高炉 1 基 1 日当たり 1 万トン以上の銑鉄を生産する。高炉は、大量の原料と副産物を処理して、これらを搬入および搬出する必要があり、高炉本体を中心とする付帯設備の配置はさまざまな制約を受ける。高炉設備の大略を図示したのが図 4 である。

<図 2 高炉と付帯設備>



< 出所：新日本製鉄（2004）『鉄と鉄鋼がわかる本』 >

高炉の設備フローは、高炉本体を中心として、原料巻揚げ設備、送風機および、熱風炉、鋳床設備、ガス清浄設備よりなっている。高炉は高炉本体周辺で大量の溶銑や副産物の溶融スラグを処理するため、立体的なベルトコンベヤー方式が普通になっている。高炉ガスはガス清浄装置を通した後、熱風炉で燃焼して煙突へと送る。特に、高炉における送風では、空気を熱風炉で 1000～1500℃ に加熱した熱風を、炉床部に設けた‘羽口 (tuyere nozzle)’より炉中心部に向けて 220～280m/s の速度で炉内に吹き込まれる。空気は送風機より熱風炉、熱風炉環状管を経て羽口より送風する。羽口は銅製水冷式で大型炉では 30～40 本が設備されている。ポスコの浦項第 1 期の高炉では、24 本が設備され、その後建設される高炉の大型化に伴い、羽口の数も 40 本以上に増えていく。設備レベルの高炉に次ぐ階層が、羽口という資材レベルである<sup>9</sup>。資材は設備を利用し操業するために必要とされる消耗性のある製品のことを示す。むろん消耗性を考慮すると、高炉設備なども長期的には消耗されるが、操業用資材は長期間持続される（少なくとも 10 年以上<sup>10</sup>）設備とは異なって、耐久性が短く、常に 2～3 倍の余分の在庫管理が必要とされる。高炉などの設備は、定期修理などを通じて耐久年数が延ばされることもあるが、操業用資材は修理ができないこともあれば、修理にかかる費用よりは資材自体を交換する方が経済的に合理的な場合が多い。

<sup>9</sup> ここでの資材は「操業用資材」を意味する。つまり、設備を正常稼働するために必要とされる資材である。資材には操業用資材以外にも、「建設用資材」がある。

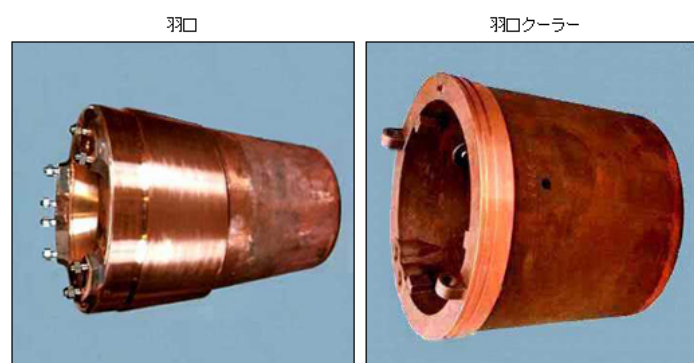
<sup>10</sup> ポスコは大体 8 年を基準に、設備と資材を区分している。これによって、設備購買部と資材購買部に組織も区分される。

### (3) ポスコによる羽口の「外モジュラー化」の決定：羽口の設計改変

羽口は、その名称が示しているように、高炉の付帯設備である熱風炉から来る 1300℃以上の熱風を、高炉内部に安定的に入れ込む役割をする。羽口は、高炉の重要資材の一つで、銅成分が 99.7%以上、電気伝導率も 80%以上となる消耗性のある操業用資材である。羽口は高温の高炉内部と接しており、約 1500℃の高温に耐えながら、上から装入される原燃料との衝撃にも耐えることが求められる。さらに、羽口の本体内部には、羽口のボディを冷やすために、冷却水が流されており、もし漏水が発生すると、1500℃の高温の高炉内部に爆発が起こる危険性が常にあるため、厳しい密閉性が求められる。

冷却の効率性を高めるために、羽口ボディの内部にスパイラル模様（らせん模様）にしたスパイラル羽口もあり、最近には、羽口の一部に破損が起きても、操業を中止することがないように、多重構造のスパイラル羽口（multi chamber tuyere nozzle）も開発されている。

<図3 羽口と羽口クーラー>



<出所：後藤合金株式会社>

<図4 羽口の位置と断面図>



<出所：ソウル・エンジニアリング>

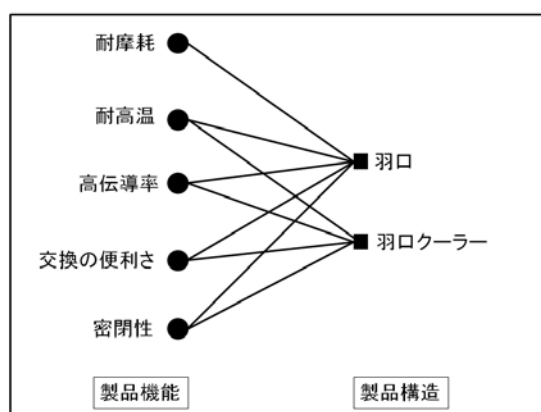


羽口は、羽口本体と羽口クーラー（tuyere cooler）がセットになって機能する。羽口を固定する役割をする羽口クーラーは、高炉内部に接してはいないが、高温に接しており、銅成分が 99.5%以上、電気伝導率は 60%以上になっている。羽口と羽口クーラーの製造工程は大きく鋳造プロセスと加工プロセスに分けられる。

ポスコは、ジャパングループの指導のもと、日本の設備メーカーの IHI 社から高炉設備を導入し、それに最適化された日本の後藤合金製の羽口を全量輸入していた。羽口は、高温に接しているため、操業環境の影響を受けて摩耗される。また装入される鉄鉱石や原料炭との衝突によって当初予想した耐久時間から外れることもよくあり、交換することが多かった。特に、初期のポスコのように、高炉操業の経験が乏しい状況では、羽口の交換周期が短くなっていた。このように、全量輸入に依存せざるを得なかった羽口の交換用の在庫まで含めて、管理の負荷が非常に重かった。そこでポスコは、羽口的设计変更に取り組む。

羽口と羽口クーラーを、アーキテクチャの機能と構造に分けてみると、以下の図の通りとなる。

<図5 羽口のアーキテクチャ>



<出所：筆者作成>

羽口は、羽口と羽口クーラーという非常にシンプルな構造になっている。しかしながら、このペア資材を開発するのに、20年以上の時間がかかった背景には、羽口と羽口クーラーに対する高い機能要求がある。上述した通り、高炉の内部という過酷な操業状況（高温と衝突）で機能すること、電気伝導率が高いこと、破損などが起きた際に瞬時に交換できること、そして常に水が流れている内部をしっかりと密閉していること（密閉性）が求められる。図7で示して通り、羽口は機能と構造が複雑に絡んでいるインテグラル型アーキテクチャ製品であることが分かる。ポスコとしての課題は、高炉ごとに羽口と羽口クーラーのスペックが異なることと、さらにインターフェースも標準化されていないため、高炉ご

とに最適化された専用の羽口と羽口クーラーのペアを大量用意しなければならないことであった。つまり、「中インテグラル・外インテグラル」のポジションからいかに「中インテグラル・外モジュラー」へのポジションへ変更のために、設計を見直す必要があった。

#### (4) 羽口サプライヤーによる技術革新と羽口の「外モジュラー化」と韓国の羽口の国際競争力の向上

1968年に設立されたソウル・エンジニアリング<sup>11</sup>は、アルミニウム製品を鋳造する会社であった。つまり、銅を用いて鋳造・加工した経験はなかったのである。当然、羽口というものを見たことも製造したことも全くなかった中小企業であった。

同社は、ポスコの浦項製鉄所の第1期が完了し、まもなく第2期建設が始まる時点で、ポスコから羽口の開発（国産化）の依頼を受けた。第2期建設からはポスコが、設備のバラ買いに移転し始める時期でもある。製品の設計図面はポスコが提供し、外国の製品を操業上で使うことから手入したデータ（例えば、平均耐久期間など）と実物の製品サンプルもポスコが提供した。さらに、製品性能のテストが可能な高炉が韓国国内にポスコ以外になかったため、ポスコが基本設計条件を満たした製品を直接高炉でテストすることにした。

ソウル・エンジニアリングは、ポスコが提供してくれた日本製のサンプル羽口のボディを分解し、冷却水が流れる構造を辿りながら、溶接の仕上げなどを確認した。しかし、羽口は、高温と衝突両方に耐えなければならないので、物理的な形だけではなく、成分調整がもっと重要である。当時、ソウル・エンジニアリングは自社内に充実した化学実験設備がなかったため、ポスコの協力を得て日本製の羽口の成分調査を徹底的に行った。羽口の内径、成分、羽口クーラーと接する部分の精密な加工などを経て、5年後の1978年によく開発に成功した。ただ、この段階での羽口は、浦項製鉄所第1高炉用であり、他の高炉にはまだ適用が難しい状況であった。しかも、羽口クーラーはまだ開発が進んでいなかった。同社が、羽口とセットで機能する羽口クーラーの開発まで成功したのはそれから17年後の1995年のことである（表3）。

＜表3 ソウル・エンジニアリングの開発歴史＞

|       |                                 |
|-------|---------------------------------|
| 1973年 | ポスコから羽口開発の依頼を受ける。               |
| 1978年 | 浦項製鉄所第1高炉用の羽口の開発                |
| 1992年 | 浦項製鉄所スパイラル羽口の開発                 |
| 1995年 | 浦項製鉄所に羽口クーラーのプロトタイプ納入           |
| 1996年 | 光陽製鉄所に羽口クーラーのプロトタイプ納入           |
| 1997年 | 浦項製鉄所第3, 4高炉にスパイラル羽口納入          |
| 1998年 | ・新設される光陽製鉄所の第5高炉に羽口・羽口クーラーペアを納入 |

<sup>11</sup> ポスコの創立と同じ年である。

|       |   |
|-------|---|
|       | ・ポスコのすべての高炉に適用  |
| 1999年 | 輸出開始  |
| 2005年 | 輸出 1000 万ドル超える  |
| 2007年 | 輸出 2000 万ドル超える  |
| 2012年 | ・ポスコの優秀サプライヤーとして 6 年連続認定<br>・輸出 5000 万ドル超える   |
| 2014年 | ・世界 25 カ国約 65 の製鉄所に供給（独 TKS、米 US スチール、印 TATA など）<br>・羽口の世界市場シェア約 20%（世界 1 位）<br>・売上高の約 65%（5100 万ドル）を輸出 |

<出所：ソウル・エンジニアリングからのヒアリングに基づいて作成>

以上のように、ソウル・エンジニアリングの羽口と羽口クーラー開発は、まずは模倣の対象となる製品があり、それを物理的な構造を理解した上で、部品間（羽口と羽口クーラー）のインターフェースを確認した。そして最も重要な成分調査を行い、最後にその設計データを還元することに至ったのである。このすべてのプロセスは、1973 年から 1995 年まで、23 年もかかることになった。

浦項製鉄所の第 1 高炉に納入し始めた後、同社は、ポスコの他ラインへの適用と羽口クーラーの開発に取り組んだ。1995 年に羽口クーラーを開発し、セットで納入し始める直前である 1992 年には、羽口ボディ内部にらせん構造を入れたスパイラル羽口を開発する。

第 2 製鉄所の光陽製鉄所の場合、イギリスの技術をベースにしていた。高炉ごとに容積は違うものの、羽口のサイズは同じくする設計がなされていたため、高炉ごとの必要とされる製品の数は異なったが<sup>12</sup>、同一仕様の製品を供給できれば問題はなかった。一方、浦項製鉄所の場合、高炉ごとに羽口のサイズが多少違うため、全高炉に適用するまでに時間がかかることになった。

その後、ソウル・エンジニアリングは、羽口と羽口クーラーのインターフェースを標準化した。羽口と羽口クーラーが接続する部分は、ネジなどの部品なしで、そのまま結合し、熱風を安定的に供給するセット製品なので、精密加工が要求される。当然、日本式と非日本式には、インターフェースが異なっており、これが共通化の大きなネックになっていた。同社は、各高炉に最適化した羽口のサイズは異なっても、ペアのサイズを同時に調整して、インターフェースには変更がないようにした。高炉の容積が小さくなるほど、羽口と羽口クーラーのサイズも小さくなると、そして羽口の銅成分が若干変わるとにした。サイズごとに必要とされる成分構成を予め把握することで、異なるサイズ注文に対応し、前工程である鑄造工場に定められた成分を用意した。このように、高炉の容積と羽口のサイズに合わせて、標準化された羽口と羽口クーラーを供給した。

<sup>12</sup> 一般的に、大型高炉の容積（5600 m<sup>3</sup>）を基準とすると、約 48 セットの羽口と羽口クーラーが入る。

羽口の生産工程の前工程である鋳造工程、後工程である加工工程の両方を持つ同社は、サイズと成分の調整の繰り返しによる学習を重ね、設計能力も蓄積した。円型銅鋳造というコア技術を活かし、転炉用のランス（Lance）も製造し、1980年には浦項製鉄所の第1製鋼工場に、1983年には第2製鋼工場に供給し、1998年にはポスコのすべての転炉に導入されている。

同社は、現在、すべての自社製品の設計を自ら実施している。1999年に輸出を開始して以降、ポスコの比重は徐々に低くなり、売上高の65%以上を輸出が占めている。羽口と羽口クーラーの価格水準は日本製に比べ80%~90%になるが、製品寿命はほぼ同じ水準である。<sup>13</sup>

以上のように、ポスコは、複数の高炉ごとの専用設計されていた羽口の設計改変を通じて、外モジュラー化に進んだ。

#### (5) 設計改変が進まなかった他の資材の例：ロール・チョック

ここでは、設計改変が起きなかったが、国産化には成功した圧延機の資材事例を簡単に紹介する。

ロール・チョックは、鋼板を圧延する設備に入る資材である。鋼板を直接圧延するロールの両側で固定するロール・チョックは、熱間圧延工程と冷間圧延工程、両方に使われている。また、造船用、建設用の厚板を圧延する工程にも、さらにステンレス鋼板の圧延工程にも欠かせない、代表的な消耗性のある資材の一つである。

中間製品である過熱されたスラブをロールで上下に挟んで押し延ばし、最終的には最小1.2mmまで薄くする熱間圧延工程では、複数のミルスタンドの粗圧延機群と6~7スタンドからなる仕上げ圧延機群を一直線に並べている。1000℃以上に加熱したスラブを圧延し、最終的には全長数km、厚さ1.2~19mm程度まで薄くして、走行中に冷却し終点でコイルにして巻き取る。このような一連の圧延機の最終スタンドにおいて鋼板は時速100km以上で走っており、相互調整が必要とされるインテグラルな設備である。

鋼板を圧延する設備は、ミルスタンド（mill stand）と呼ばれ、圧延の目的や要求される結果によって組み込まれる部品は多少異なるが、一般的に、ミルスタンドは、実際に圧延する上下のワークロールと、それぞれを支えるバックアップロールの計4本で構成される。

ロール・チョックは4本のロールを固定するために、計8本が必要である。定められた鋼板の厚さを維持するために、ロール・チョックの内径公差を厳しく制御するのが重要である。また、ロールは荷重を受けながら回転しているため、ロールを支えるロール・チョックにもその荷重が伝われ、ロール・チョックの摩耗が起こる。ロール・チョックは、支えるロールの直径とロール・チョック内部に入るベアリングのサイズによって、サイズが変化する。厚板を圧延するためには、より大きなロールが必要であり、ロール・チョック

<sup>13</sup> しかし、ソウル・エンジニアリング技術担当者によると、製品寿命は、操業環境と鉄鋼メーカーの交換周期に対する政策にも影響を受けるため、直接比較には多少無理があると指摘した。

のサイズも大きくなる。内部に組み込まれるベアリングも、厚板の場合がより大きくなるため、ロール・チョック内径が大きくなるのである。

ロール・チョックをミルスタンドに取り付けるために必要なのが、ライナーとカバーである。200～300トンの重量物であるミルスタンドは同一メーカーであっても、仕様が多少変わっていくため、ライナーとカバーもミルスタンド特殊な設計になる。

<図6 ロール・チョック>



<出所：ドンジュ産業>

ポスコのロール・チョックは、圧延設備メーカーからミルスタンドの形で導入されたため、資材も全量輸入される状況から始まった。ロール・チョック国産化への取り組みは1990年から始まるが、本格的に開発活動に取り組んだのは1994年からであった。1994年はポスコの光陽製鉄所の第4基までの工事が終わった時期でもある。国産化への取り組みが遅れた背景には、輸入されたロール・チョックの寿命がほぼ5年だったこともあった。<sup>14</sup>ロール・チョックは、圧延が行われる熱間圧延、冷間圧延で多量に使われており、鋼板の品質にも直接影響を与えるミルスタンドの資材であるため、国産化の必要性があってもなかなか進まなかった。

ロール・チョックの設計図面を旧三菱日立製鉄機械株式会社(現、Primetals Technologies Japan 株式会社)から買い取ったポスコは、合金鑄造品の製造技術と加工技術を持っていたドンジュ産業に開発を依頼する。そして、開発に成功しポスコに全量供給し始めたのがその6年後である2000年になる。つまり、6年の間、東州産業はポスコとの協業開発活動を展開したのである。

ポスコから設計図と輸入品ロール・チョックを受け取った同社は、まずはロール・チョック、ライナー、カバーに分解した上で、それらの分析から始まった。合金製品であるロ

<sup>14</sup> ドンジュ産業の技術担当者によると、摩耗されたロール・チョックの内部をメッキ加工し、再利用することで、最長15年まで寿命を延長させることもできるが、この場合、鋼板の厚さ、表面品質に影響が出る可能性も高くなる。

ール・チョックは、合金成分調査が欠かせないため、化学成分の調査ができる分析室をポスコから提供された。鉄成分が含まれていることから、鑄造に使われる杵は再利用が難しい。なぜなら、溶解した鉄くずなどをその杵に入れる前に、杵の中に砂を杵の内部表面に均一につけたあと、専用のペイントを塗り、冷却されたロール・チョックを取り出せる作業をする際、その砂を除去するからである。自動車のエンジンのように金型を製造することとは違って、砂がついている杵は再利用ができない。

同社の鑄造工場は、このようにロール・チョックを一つひとつ鑄造せざるを得なかった。後工程の加工工場では、ロール・チョックを再加熱し、主に内径を加工する。ここでは、切断加工、溶接加工、補修加工などが行われる。顧客が求める内径サイズに沿って加工し、別の工程で作られたライナーとカバーと組み立てられる。

サイズ、硬度、外観などの基本チェックを終えた製品は、公差と内径の摩耗程度を確認するために、操業テストが必要であるが、テスト専用の圧延設備はなかったため、ポスコの操業ラインに直接投入し、その性能を確認するしかなかった。実際の操業ラインでのテストを経て、公差と内径の摩耗程度を確認した。

最初の開発に成功した 1996 年には、製品寿命が輸入品に比べ短く、2～3 年ごとに交換せざるを得なかった。しかし、ポスコのライン操業から蓄積したノウハウと現場の改善案、そして異なるサイズのロール・チョック製造経験の積み重ねによって、製品寿命は 5～7 年まで長くなった。<sup>15</sup>

2000 年、浦項製鉄所の熱間圧延設備への導入が始まったロール・チョックは、以降ポスコの全ての圧延設備の資材として採択され、ドンジュ産業が生産するロール・チョックは全量ポスコに納入することになる。熱間圧延のみではなく、冷間圧延、厚板の圧延、ステンレスの圧延設備まで、その適用範囲は広がるが、依然としてミルスタンスごとの仕様が異なるため、ロール・チョックの内径サイズ、ライナー、カバーを専用製作しなければならなかった。つまり、設備とロール・チョックを結合させるインターフェースを標準化することまでには至ってなかった。

製品価格は既存輸入された日本製品に比べ、約 70%であるが、製品の寿命は日本製品より約 40%長くなり、日本への輸出が増えている。<sup>16</sup> 2010 年末の時点で、同社の売上高の中、ポスコが占めている比率は約 40%である。

以上のケース・スタディから、発見事実をまとめたものが表 5 である。

<表 4 ケース・スタディの主要発見事実>

|          | ソウル・エンジニアリング | ドンジュ産業   |
|----------|--------------|----------|
| 開発製品（資材） | 羽口           | ロール・チョック |

<sup>15</sup> あくまでもポスコの操業条件での製品寿命である。

<sup>16</sup> 2010 年には、新日本製鉄（現、新日本住金）へも供給し始めた。

|                       |                     |                     |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| コア技術                  | 銅製品の鋳造・加工           | 合金製品の鋳造・加工          |
| ポスコの比重<br>(売上高、2010年) | 約 25%               | 約 40%               |
| 自社設計能力                | 有                   | 無                   |
| 最初製品の開発期間             | 1973年～1978年<br>(6年) | 1994年～2000年<br>(7年) |
| インターフェースの<br>標準化      | 有                   | 無                   |

ポスコの資材サプライヤーであるソウル・エンジニアリング、ドンジュ産業には、以下のような類似点がある。

まず、開発の前には、製品製造に間接的に関連した技術を持っていたが、ポスコが要求した仕様の製品を開発した経験はなかったことが挙げられる。ソウル・エンジニアリングの場合、アルミニウムの鋳造・加工する技術と経験は持っていたが、羽口のような銅製品に関する技術と経験はなかった。ドンジュ産業も、鉄製品の鋳造・加工する技術と経験は有していたが、ロール・チョックのような合金製品の鋳造・加工する技術と経験は共同開発から蓄積したのである。これに対しポスコは、操業上のノウハウと日本製品の性能に関する知識、化学試験設備、操業ラインでのテスト機会などをサプライヤー側に提供した。一方、サプライヤー側は共同開発に向け、関連技術と技術陣を動員し、顧客企業の性能要求に合わせながら、低価格で納めることを目指した。

第2点目に、設計能力がなかったことから始まったことである。ポスコが海外資材メーカーから買い取った設計図とサンプル製品を対象に模倣から始まり、単純なコピー・改造を通じて設計能力を獲得するまで至った。

第3点目は、開発に成功し、製品の全量をポスコの納入することから始まったことである。これは、設備特殊的な資材であったからでもある。いわば「ポスコ専属」のサプライヤーから始まり、徐々に自社の組織能力を構築しながら、顧客ベースを広げ、輸出まですることで、ポスコの比重を減らせる、「ポスコ離れ」が一部のサプライヤーのケースで見られた。この「ポスコ離れ」の成功要因については後述する。

第4点目は、輸入品に比べて、開発した製品の価格と寿命にメリットがあることである。

<表5 各サプライヤーの製品と寿命水準>

|                  |              |          |
|------------------|--------------|----------|
|                  | ソウル・エンジニアリング | ドンジュ産業   |
| 主要製品             | 羽口           | ロール・チョック |
| 対輸入品価格<br>(輸入品を) | 約 80         | 約 70     |

|                                      |            |          |
|--------------------------------------|------------|----------|
| 100 と想定)                             |            |          |
| 対輸入品寿命<br>(ポスコの操業条件、輸入品を<br>100 と想定) | ほぼ同じ (100) | 約 140    |
| 開発初期に比べ、<br>製品寿命の向上率                 | 約 40%      | 133~150% |

表 6 で示されているように、輸入資材の価格を 100 と想定した時、サプライヤーが開発した製品価格は約 60%~80%水準で、コスト面でのメリットがある。ポスコの操業条件の下で、製品寿命（交換周期）は、ソウル・エンジニアリングの羽口は輸入資材に比べほぼ同じ水準に達している。ドンジュ産業のロール・チョックの場合、同社製品の寿命がむしろ輸入資材より長い水準である約 140%になっていた。このような寿命対コストの強みが、顧客ベース拡大を可能にさせた一つの原因であった。

開発初期にと比べ、製品寿命（交換周期）がどれぐらいのばされたかを見ると、羽口は開発初期には 10 ヶ月以内にとどまったが、漸進的に向上し、14 ヶ月まで（約 40%向上）のばされた。ロール・チョックは、大幅な寿命向上を見せ、初期 2~3 年ほどから 5~7 年まで（133~150%向上）のばされた。

第 5 点目に、開発製品がインテグラル製品であることである。ポスコが海外資材メーカーから買い取った資材の設計図に基づいて、サンプル製品を分解し、部品の構造と機能をリバース・エンジニアリングすることが容易ではないことは、部品の構造がさまざまな機能と複雑に絡んでいるからである。擦り合わせ製品のキャッチアップには相当な時間がかかることが分かる。

ポスコが技術移転の過程で、技術に関する意思決定の自立性を高めるために、モジュラー型工程アーキテクチャを選択することを既に紹介したが、これを製鉄システムの階層構造からみると、設備レベルの寄せ集め方式で工程を稼働させるモジュラー型工程アーキテクチャである。しかし、設備レベルからさらにレイヤーを下げて資材レベルで見ると、設備に入る設備特殊なインテグラルな資材が多かった。これにより、分散され入荷する在庫の管理負担、高いコストなどで、資材を共通化するために、サプライヤーとの共同開発が始まった。

特定の製品について、アーキテクチャの枠組みをベースに企業の競争戦略・成長戦略を構想する場合、階層構造においてどのレイヤーかによって、アーキテクチャ特性が異なる。アーキテクチャに基づいて自社の製品ポジショニングの在り方をとらえ直し、そのポジショニングの特性を明確に意識した戦略を立てるとというのが、アーキテクチャ戦略の考え方である。

製品アーキテクチャの変化には必然的に設計の見直しに伴う。製品アーキテクチャのポ



ジショニングを変更していくためにも、設計能力を有することが重要であることを事例研究で確認できた。

## 5. ディスカッション

以上の事例は、複雑な設計形式（インテグラル・アーキテクチャ）の技術を移転された受け手の企業は、その設計改変の際に、設計の調整負担を軽減するために、ある設計階層（資材レベル）でアーキテクチャをモジュラー化する傾向があるという仮説と矛盾がなかった。また、複雑な設計形式（インテグラルアーキテクチャ）の技術を移転された受け手の企業が、上記の事情で、ある設計階層（資材レベル）でアーキテクチャをモジュラー化した場合、全体工程の性能を維持しようとするれば、その下位モジュールがインテグラル化する傾向があることと矛盾がなかった。言い換えれば、設計論的に予想される鉄鋼技術移転のパターン、すなわち、高炉の中モジュラー寄りへの設計改変、とりわけ羽口の外インテグラル化と羽口自体の中インテグラル化の傾向と矛盾が無かった。つまり、羽口は、中インテグラル・外モジュラーの方向に少し位置取りを変える設計改変したのである。

本研究は、いくつかのインプリケーションを提示している。

まず、設計論、とりわけアーキテクチャ論を技術移転論に応用して新たな知見を得たところにある。企業間の技術移転をアーキテクチャの移転として捉えることで、受け手が導入技術を再現する中で、設計改変が起こるプロセスが見えてきた。技術移転を、機能的側面と構造的側面に分けてみることで、構造的側面を階層構造から分析することで、技術移転のプロセスの中で、受け手の自主的な取り組みがより鮮明に見えてきた。このように、アーキテクチャの視点は、技術移転のリアリティをよく説明できるメリットを持つ。

単に最新鋭の設備を並べた場合、モジュラー型の鉄鋼製品（例えば建設用の標準的な厚板や形鋼）はできるが、インテグラル型の鉄鋼製品（表面処理鋼板など）は簡単にはできない。ある階層で構成部品をモジュラー化する場合、全体性能を維持するためには、そのモジュールはインテグラル化が必要があることが多い。単なる新鋭設備の寄せ集めだけでは、アーキテクチャ・スペクトル上の全ての製品を高い競争力で作り続けることは難しい。

## 6. 結論

技術移転は、アーキテクチャの移転である。アーキテクチャの概念は、人工物の機能と構造の間の因果関係に関する知識や情報として、設計者の思想として紹介されてきた。技術の受け手は、導入技術の設置、テスト、稼働といった一連のプロセスを経て、移転された技術の構造と機能を学習する。物理的に分解された状態が入ってくる設備などがどうやって組み立てられ、機能するか、その機能と構造の関係を理解し、導入技術の機能と構造

を再現していく。本稿では、1960年代末から1970年代にかけて行われた日韓の鉄鋼技術移転、特に高炉技術の移転の中で、受け手が高炉の重要資材の設計を改変していくプロセスと明らかにした。しかしながら、製鉄所という複雑な階層構造の中で、資材レベルの一部だけを取り上げて分析を進めてことにはいろんな限界がある。資材レベルの上位レベルとなる、設備レベル、工場レベルまでを含む分析、つまり人工物の階層構造を俯瞰する分析が求められる。

最後に、受け手企業のアーキテクチャに関する認識も今後の重要な研究課題として残る。技術の機能と構造が再現される中で、ユーザーとしての受け手は、アーキテクチャに関する理解が深まる。それは、移転する側の想定とは異なる認識をもつ可能性もある。このアーキテクチャの対する認識ズレが原因となり、導入技術の展開が影響されることも想定される。ここは今後の研究課題として取り組む価値があるだろう。

## 参考文献

- Arrow, K. J. (1969). Classification notes on the production and transmission of technological knowledge. *The American Economic Review*, 59(2), 29-35.
- Cohen, W. M. & Levinthal, D.A. (1990). Absorptive capacity: a new perspective on learning and innovation. *Administrative Science Quarterly*, 35, 128-152.
- 藤本隆宏, 武石彰, 青島矢一 編著 (2001) 『ビジネス・アーキテクチャ：製品・組織・プロセスの戦略的設計』 有斐閣.
- 藤本隆宏 (2003) 「組織能力と製品アーキテクチャ：下から見上げる戦略論」『組織科学』 36(4), 11-22.
- 藤本隆宏 (2004) 『日本のもの造り哲学』 日本経済新聞社.
- 藤本隆宏, 葛東昇, 呉在炬 (2008) 「東アジアの産業内貿易と工程アーキテクチャー—自動車用鋼板の事例」『アジア経営研究』 14, 19-36.
- 藤本隆宏, 桑嶋健一 編著 (2009) 『日本型プロセス産業—ものづくり経営学による競争力分析』 有斐閣.
- Kuznets, S. (1966). *Modern Economic Growth: Rate, Structure, Spread*. New Haven: Yale University Press.
- Leonard-Barton, D. (1988). Implementation as mutual adaptation of technology and organization. *Research Policy*, 17(5), 251-267.
- March, J. G & Simon, H. A. (1958). *Organizations*. Oxford: Wiley.
- Mintzberg, H. & Waters, J.A. (1985). Of strategies, deliberate and emergent. *Strategic Management Journal*, 6(3), 257-272.
- 三菱総合研究所(1981). 「1980年代における日韓国際分業の動向に関するケース・スタディ—鉄鋼・石油化学・繊維の3業種を中心として」 総合研究開発機構助成研究, *NRF-79-3*.
- Myers, S & Marquis, D. G. (1969). Successful industrial innovations: a study of factors underlying innovation in selected firms. National science foundation. 69(17). 1-117.
- ポスコ 35 年史編纂委員会 (2004) . 『ポスコ 35 年史』 ポスコ。
- Rosenberg, N. (1982). *Inside the black box: technology and economics*. Cambridge University Press.
- Schumpeter, J. A. (1934). *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*. Harvard University Press.
- 新宅純二郎・天野倫文 編著(2009). 『ものづくりの国際経営戦略：アジアの産業地理学』 有斐閣.
- Simon, H. A. (1969). *The science of the artificial*. The MIT Press.
- 新日本製鉄株式会社編(2004). 『鉄と鉄鋼がわかる本』 日本実業出版社.
- Tyre, M. J. & Orlikowski, W. J. (1994). Windows of opportunity: temporal patterns of

technological adaptation in organizations. *Organization Science*, 5(1), 98-118.

Ulrich, K. (1995). The role of product architecture in the manufacturing firm. *Research Policy*(24), 419-440.

以上