

MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

No. 420

破壊的工工程イノベーションの影響
—株式会社木村鑄造所の事例を中心に—

東洋大学経営学部

富田 純一

青山学院大学経営学部

高松 朋史

2012年12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>

The impact of disruptive process innovation

—The case of Kimura Chuzosho Co. Ltd.—

Junichi TOMITA
Toyo University
tomita@toyo.jp

Tomofumi TAKAMATSU
Aoyama Gakuin University
takamatsu@busi.aoyama.ac.jp

Abstract

This paper aims to clarify the impact and the process of disruptive process innovation by a case analysis of full mold casting (FMC) in the casting industry from disruptive innovators' view. FMC was a process innovation which was installed of press mold for automobile instead of cavity mold casting since late 1960s. At first, many firms got licenses of FMC from licensors, but most of them didn't stop to use it a few years later. On the other hand, Kimura Chuzosho Co., Ltd. (Kimura) continued to use FMC, then its market share grew up. And Kimura also entered the casting metal market for machine tools. In particular FMC was said to difficult to make the casting metal for mass production, but Kimura could overcome the problems and grew its market share. Why could only Kimura realize the low-end disruptive process innovation? And why the rivals had been left behind Kimura? We try to analyze the reasons from a path dependent and architecture-based view.

Keywords : low-end disruptive innovation, process innovation, path dependency, architecture, core rigidity, s-curve

破壊的工工程イノベーションの影響

—株式会社木村鑄造所の事例を中心に—

富田純一

東洋大学経営学部

E-mail: tomita@toyo.jp

高松朋史

青山学院大学経営学部

E-mail: takamatsu@busi.aoyama.ac.jp

要約：本稿の目的は、鑄造産業の事例分析を通じて、破壊的イノベータの視点に立脚して、破壊的工工程イノベーションの影響とプロセスを明らかにすることである。具体的には、フルモールド鑄造法(FMC)を取り上げる。FMCは大型単品鑄物生産において大幅な納期短縮・費用低減が見込まれることから、1960年代、多くの日本企業が米独から技術導入した。しかし、工作機械向け量産鑄物分野にいち早く進出できたのは(株)木村鑄造所のみであった。木村は最初、自動車プレス金型を用途としてFMCを実用化した。その後工作機械にも用途を拡大し、従来の木型法による鋳鉄鑄物市場を次第に置き換えていった。本稿ではまず、こうしたローエンド型破壊的工工程イノベーションが鑄造産業にどのようなインパクトをもたらしたのかについて言及した上で、どのような過程を経て実現されたのか、そのメカニズムを明らかにする。最後に、なぜ木村だけが破壊的イノベーションに先乗りすることができたのか、他社はなぜ断念したのか、あるいは出遅れたのか、経路依存性およびアーキテクチャの観点からディスカッションを行う。

キーワード：ローエンド型破壊的イノベーション、工工程イノベーション、経路依存性、アーキテクチャ、共同幻想としてのS曲線、硬直性の罨

1. はじめに

本稿の目的は、鑄造産業のフルモールド鑄造法(Full Mold Casting、以下 FMC)の事例分析を通じて、Christensen & Raynor (2003)の言う「ローエンド型破壊(low-end disruption)」現象に着目して、破壊的イノベータ(disruptive innovator)の視点に立脚し、その工程イノベーションの影響とプロセスを明らかにすることである。

FMC は従来の木型法のプロセスを変えた工程イノベーションである。1960 年代に米独から日本に技術導入され、自動車プレス金型用鑄物に用いられるようになった。当時多くの日本企業が FMC を技術導入したが、そのほとんどは数年のうちに撤退し、後発企業であった株式会社木村鑄造所(以下木村)が徐々に自動車プレス金型用鑄物での市場シェアを高めていった。木村はその後、工作機械用鑄物へと用途を拡大し、業界内で実用が困難であるとされた量産鑄物市場に進出、木型法の市場を次第に置き換えていった。

なぜ木村だけがこのような破壊的イノベーションに先乗りすることができたのか。他社の量産鑄物市場への進出はなぜ遅れたのか。これらの問題提起に関して、以下では、Utterback(1994)の工程イノベーション、Christensen(1997)のローエンド型破壊の議論を踏まえた上で、工程イノベーションとしての FMC の事例分析を行う¹。

なお、本稿の第4節以降の事例の記述は、木村鑄造所80年のあゆみ(2007)および同社へのヒアリング(7回)、鑄造他社(3社)、木型企业(1社)、顧客企業(2社)、ライセンサー(1社)、日本鑄造工学会、日本鑄造協会、素形材センターへのヒアリングに基づいている。ヒアリングは一回につき数時間程度、2011年7月から2012年10月にかけて計17回行われた。

2. 破壊的イノベーション

破壊的イノベーション(disruptive innovation)²は、クリステンセンら(Christensen, 1997; Christensen & Raynor, 2003)により提示された概念である。既存の評価軸上で製品性能を向上させるイノベーションを持続的イノベーション(sustaining innovation)と呼ぶ。これに対し、既存の評価軸上では製品性能を引き下げるものの、別の評価軸においては製品性能を向上さ

¹ FMC に関するバリュー・ネットワークの観点からの分析は宮崎(2012)、木村鑄造所の従業員行動、リーダーシップに関する分析は高石(2012)を参照されたい。

² “disruptive innovation”は、一般に「破壊的イノベーション」と訳されることが多い。しかし論者によっては、「分断的イノベーション」とされることもある(高橋, 2005; 近能・高井, 2010)。これは、原語のニュアンスを重視し、「将来の技術進歩の軌道を分断し、そこから外れた新たな技術進歩の軌道の開始をもたらすようなタイプのイノベーション」を意味しているからである。しかし本稿では、「既存市場に破壊的なインパクトをもたらすイノベーション」という側面を強調して議論を展開するため、「破壊的イノベーション」という訳語を用いることにする。

せ、後に既存の評価軸上でも製品性能を向上させ、既存技術にキャッチアップし、代替するイノベーションを破壊的イノベーション(disruptive innovation)と呼ぶ³。ある産業のほとんどのイノベーションは、持続的イノベーションであるが、ごくまれに破壊的イノベーションが起こるとされる。

クリステンセンらによれば、破壊的イノベーションには2つのタイプがあるという。一つは「新市場型破壊的イノベーション(new market disruptive innovation)」であり、もう一つは「ローエンド型破壊的イノベーション(low-end disruptive innovation)」である。前者は、ある企業が既存製品・サービスにおける主流のバリュー・ネットワーク(value network)⁴とは異なる第3次元に新しいバリュー・ネットワークを構築し、さらにその後主流のネットワークを浸食することを意味し、後者は、ある企業が既存製品・サービスにおける主流のバリュー・ネットワークのローエンドに端を発し、そこから上位市場へ侵食していくことを意味する(Christensen & Raynor, 2003)。

前者の例としては、ハードディスクドライブ(HDD)産業のケースが有名である。1970年代後半における14インチから8インチへの転換、1980年代前半における8インチから5.25インチへの転換、1980年代後半における5.25インチから3.5インチへの転換の際、新市場型破壊が起きたとされる。例えば、5.25インチのHDDの全盛期に3.5インチのHDDが市場に投入されたが、記憶容量や単位記憶容量あたりコスト等で大きく劣っており、デスクトップPC向けに前者を手がける既存企業は全く関心を示さなかった。しかし、後者を手がける新規参入企業は小ささや軽さ、消費電力等をポータブルPCやラップトップPC向けに売り込み、新市場の開拓に成功した。その後、記憶容量の拡大と単位記憶容量あたりのコスト低減を図り、これによりデスクトップPC市場をも浸食するようになった⁵。当時主流であったデスクトップPCのバリュー・ネットワークとは異なる第3次元にポータブルPC(またはラップトップPC)という新しいバリュー・ネットワークが構築され、さらにその後デスクトップPCのネットワークをも浸食した(Christensen, 1997)。

後者の例としては、米国鉄鋼産業のケースが取り上げられている。ミニミル(電炉メーカ

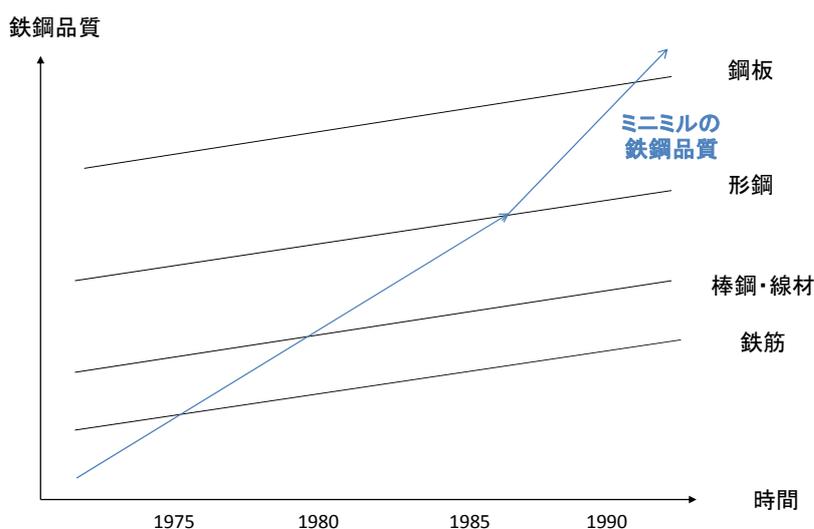
3 クリステンセンらの“disruptive innovation”の定義については、「何を基準にして disruptive と見なすのか」(Dannells, 2004)、「disruptive innovation(technology)はいつ disruptive となるのか」(Adner, 2002; Schmidt & Druehl, 2008)といった疑問が投げかけられており、クリステンセン自身も概念の精緻化の必要性は認識している(Christensen, 2006)。

4 バリュー・ネットワークは、複雑な製品の入れ子構造の中で、複数の企業による分業・取引を通じて原材料から最終製品へと価値が付与されていくことにより形成される(Christensen & Rosenbloom, 1995; 宮崎, 2000)。

5 ただし、製品性能を示す指標の捉え方により、技術的トラジェクトリが破断しているか、持続しているかの見解が異なるという指摘(Takahashi et al., 2013)。

一)による1960年代半ばの鉄筋市場への進出、1980年代前半のその他棒鋼・線材市場への進出、1980年代後半の形鋼市場への進出、1990年代前半の鋼板市場への進出である(図1参照)。生産開始当初、ミニミルの鉄鋼品質は総合鉄鋼メーカーのそれと比べ、劣悪であった。しかし、圧倒的なコスト競争力を武器に、ローエンドの鉄筋市場への進出を果たすと、新たな技術開発等により品質向上を図り、鉄鋼製品のバリュー・ネットワークにおいて次々と上位市場への進出を果たしていった。ミニミルの立場からすれば、ローエンド市場で総合鉄鋼メーカーと競争している間はコスト構造の違いを利用して安定した収益を得られたが、総合鉄鋼メーカーが撤退してしまうとミニミル同士の過当競争に陥るので、上位市場の方が増収増益の機会としてより魅力的に見えたためである。一方この間、総合鉄鋼メーカーはミニミルに浸食されたローエンド市場は利益率が低いので、そこから撤退し、高利益率の上位市場に集中するという戦略を一貫して採用した。しかしその結果、最上位市場である鋼板市場でもミ

図1 ローエンド型破壊的イノベーション：ミニミルの事例



出所: Christensen & Raynor(2003)をもとに作成。

ニミルに浸食されてしまったのである(Christensen, 1997; Christensen & Raynor, 2003)。

これらの事例は、いずれも既存企業に着目し、彼らが既存顧客や上位市場に経営資源を集中するといった合理的な経営判断をした結果、新興企業に市場を浸食されるという「既存企業の失敗の論理」を明らかにしたものである。

しかし、イノベータである新規参入企業がなぜ破壊的イノベーションを実現できたのか、

「新規参入企業(破壊的イノベータ)の成功の論理」については十分検討されているとは言い難い。クリステンセンらの議論では「結果」として、既存企業がいとも簡単にローエンド市場を浸食され、撤退を余儀なくされてしまうというストーリーのように見受けられるが、果たして本当にそうだろうか。新規参入企業の成功の「プロセス」や「メカニズム」を明らかにする必要があるのではないだろうか。

破壊的イノベータに必要とされるスキルについては、クリステンセンらが自らイノベータティブなリーダーのインタビューおよびアンケート調査をもとに5つの発見力、すなわち「関連づける力」「質問力」「観察力」「ネットワーク力」「実験力」があることを明らかにしている(Dyer et al., 2011)。「関連づける力」とは知識分野、産業、地理を超えた意外な結びつきを生み出す力であり、「質問力」とは物事のあり方や可能性に関わる質問をする力であり、「観察力」とは周りの世界に注意深く目を光らせ、新しいやり方のもとになる洞察やアイデアを得る力であり、「ネットワーク力」とは多様な背景や考え方を持つ人々との幅広いネットワークを構築する力であり、「実験力」とは頭の中や経験を通じて世界を飽くことなく探求し、判断を保留しながら様々な仮説を検証する力であるという。

しかし、これらの力はイノベータティブな個人が共通して持っているスキル・能力であり、必要条件としての力である。実際にどうすれば破壊的イノベーションを実現することが可能か、ということ明らかにするためには、破壊的イノベータの行動・プロセスに着目し、その成功論理、メカニズムを解明する必要がある。

この点に関連して、破壊的イノベータの視点に立脚してローエンド型破壊的イノベーションのプロセスについて議論した例外的な研究として Droege & Johnson(2010)が挙げられる。彼らは航空産業を取り上げ、破壊的イノベータである AirTran Holdings 社の詳細な事例研究をもとに同社が成功に至るプロセスを明らかにしている。しかし、研究対象が航空産業であるため、そこでの主眼はローコストキャリア(LCC)として低価格を実現した同社のビジネスモデルとしてのイノベーション(business-model innovation)や人的資源管理(human resource management)に焦点が当てられており、技術的イノベーション(technological innovation)の実態については論じられていない⁶。

6 この点に関連して、Markides(2006)は破壊的イノベーションの議論は技術的イノベーション(technological innovation)とビジネスモデル・イノベーション(business-model innovation)を区別して論じるべきであるとしている。その他にも、破壊的イノベーションにはローエンド型破壊(low-end disruption)の他にも、ハイエンド型破壊(high-end disruption)も存在することを指摘した研究(Govindarajan & Kopalle, 2006; Schmidt & Van Orden, 2012)や、破壊的イノベーションは種々のイノベーション・パターンの中の一つとして位置づける必要があるとする研究(Utterback & Acce, 2005)などがある。

表 1 本研究の位置づけ

| | 破壊的イノベーション | |
|------------------|--------------------|-----------------|
| | ローエンド型 | 新市場型 |
| 既存企業の論理 | 先行研究 Ex. 鉄鋼 | 先行研究 Ex. HDD |
| 新規参入企業(イノベータ)の論理 | 本研究 Ex. 铸造(FMC) | |

そこで本稿では、表 1 に示すように、鑄造業における FMC の事例分析を通じて、FMC が該当するであろうローエンド型破壊的イノベーションに焦点を当て、そのメカニズムの解明を試みる。

3. 工程イノベーションとしての FMC

一般に、鑄物の鑄造法は溶融金属を鑄込む鑄型で分類されるが、その種類は多種多様である(図2参照)。中でも古くからよく用いられてきたのが木型鑄造法(以下木型法)である。木型

図 2 鑄造業における FMC の位置づけ

| 鑄型の種類 | | 鑄造方法 | 適用材質 | |
|-------|---------------|-------------------------|------|-----|
| | | | 鉄系 | 非鉄系 |
| 砂型鑄造法 | 生型 | 重力鑄造法 | ◎ | ◎ |
| | 特殊鑄型 | 低圧鑄造法 | × | ◎ |
| | | 高圧鑄造法 重々鑄造法 (木型法) | ◎ | ◎ |
| 金型鑄造法 | 金属 | 重力鑄造法 | ○ | ◎ |
| | | 低圧鑄造法 | △ | ◎ |
| | | 高圧鑄造法(ダイカスト) | △ | ◎ |
| | | 層流充填加圧鑄造法(ダイカスト) | △ | ○ |
| 特殊鑄造法 | 砂、金属、石膏、黒鉛耐火物 | 精密鑄造法 | ◎ | ◎ |
| | | 遠心鑄造法 | ◎ | ◎ |
| | | フルモールド鑄造法(FMC) | ◎ | ◎ |
| | | Vプロセス | ◎ | ◎ |

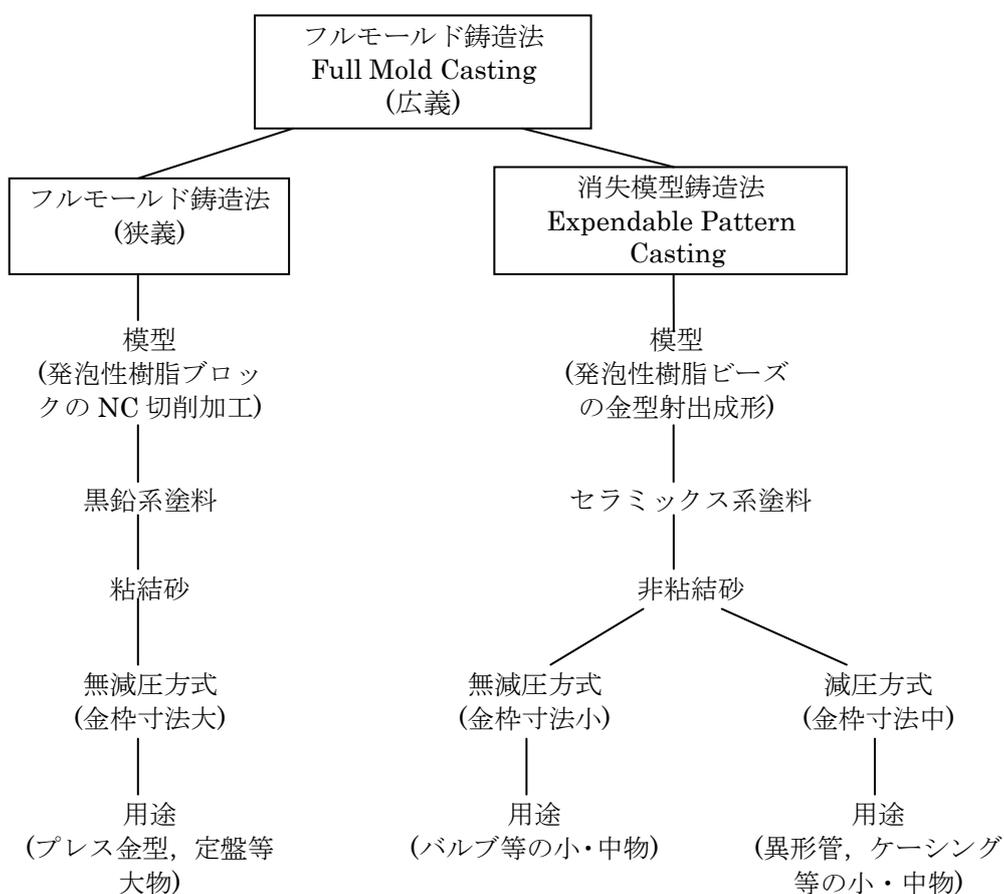
1

出所: 中江(1995)表 1.1(p.8)に基づき、赤字・青字箇所を筆者修正。

法は文字通り、木製の模型を使う。模型を砂に埋め込み、常温で砂を固めることで、鑄型が作られ、木型を取り除いた空間に溶融金属を重力で流し込むことで鑄物が作られる。この意味で、「空間鑄造法(Cavity mold casting)」とも呼ばれる。

これに対して、FMC は木型同様、鑄型に砂を用いるが、模型には木型ではなく発泡ポリスチレンを用いる、鑄造産業ではかなり特殊な製法である。FMC は、「鑄型内の模型と溶湯を置換しながら鑄物を製造する鑄造方法」(菅野, 2004)と定義される。FMC は鑄型内をすべて模型が満たしており、それらを溶湯で丸ごと置換するという意味で、無空間鑄造法(Cavityless mold casting)または Full mold casting と呼ばれる。

図3 FMC の分類



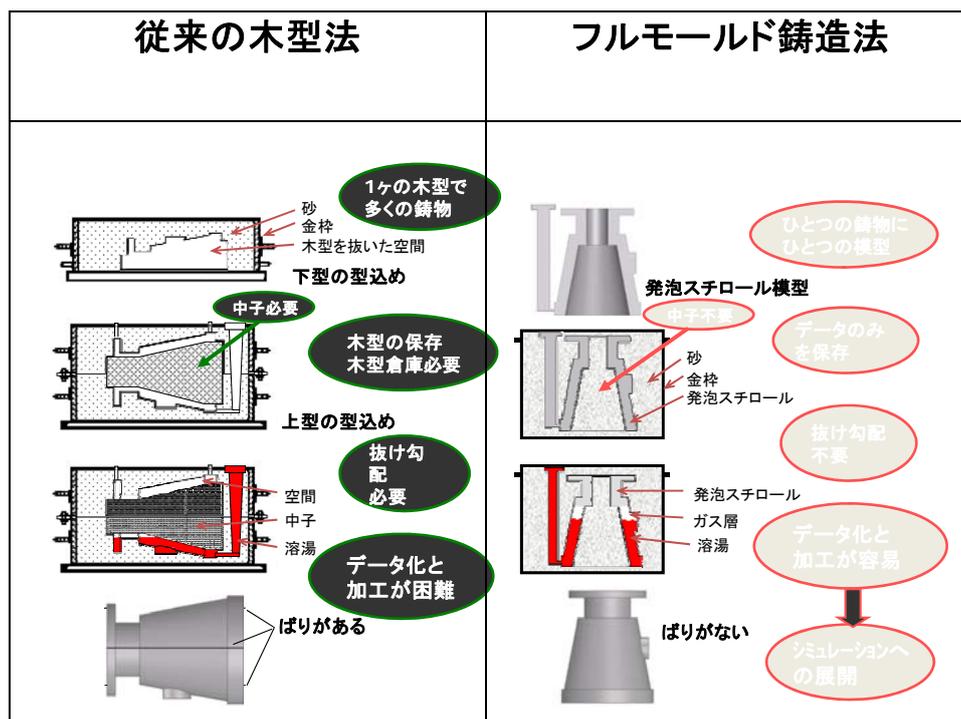
出所：日本鑄造工学会編『鑄造工学便覧(2002)』図5・71 および池永(2011)を修正。

図3に示すように、FMCには広義と狭義の意味がある(池永, 2011; 田村, 2001; 日本鑄造工学会, 2002)。狭義のFMCは、プレス金型等大型単品鑄物に用いられるもので、発泡性樹脂ブロック、黒鉛系塗料、粘結砂を用い、鑄型内を無減圧にして作られる。広義のFMCは、狭義のFMCに加え、「消失模型鑄造法(Expendable Pattern Casting)」を含む。この製法はバルブ・

異形管・ケーシング等中小型量産铸件に用いられるもので、発泡性樹脂ビーズ、セラミック系塗型、非粘結砂を用い、铸型内を無減圧または減圧にして作られる。

以下、本稿では、狭義のFMC、主として大物単品铸件に用いられてきたFMCに焦点を当て、議論を進めることにする。

図4 生産工程の比較(1)：FMCと木型法



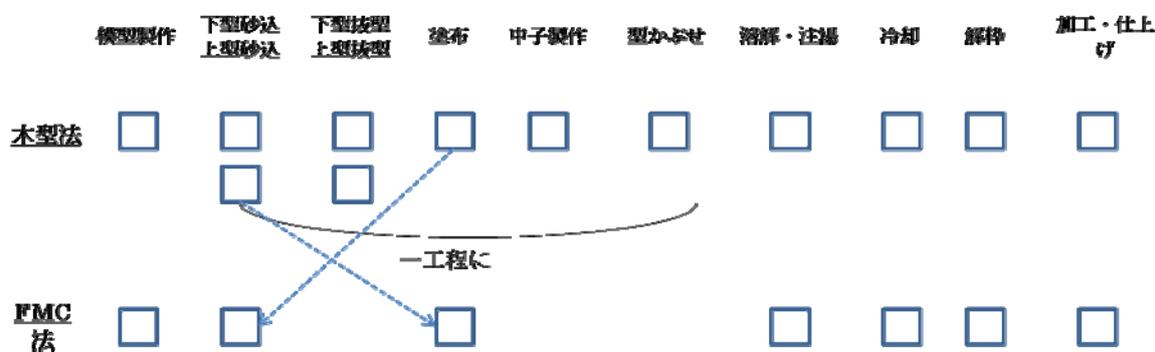
出所：木村铸造所提供資料

次に、FMCと木型法のプロセスの違いを検討する(加山, 1985; 木村铸造所80年のあゆみ, 2007; 菅野, 2004; 田村, 2001)。FMCと木型法は铸件や砂型の材質も違えば製法も違うため、技術体系も大きく異なる。図4に示すように、典型的な木型法では、铸型を上型と下型の2つに分けて作る。铸型を作るためには、まず木で完成品の模型(木型)を作り、上型用と下型用に二分する(模型製作)。木型が出来上がると、それぞれ上型・下型に配置して、砂を込める(砂込)。砂が固まったら、上型・下型をそれぞれ反転させて、木型を取り外す(抜型)。この時、木型をスムーズに取り外せるよう、铸型に抜け勾配を作っておく必要がある。抜型後、铸型の表面に塗型剤を塗布・乾燥させる(塗布)。これは、铸型表面の耐火性を高める、砂粒間隙を目詰まりさせて表面構造を安定化させるなど機能を担っており、製品の仕上がり、例えば铸肌に影響を及ぼす。塗型剤乾燥後、下型の空洞箇所を上型の空洞箇所をかぶせて铸型を完成させる(型かぶせ)。铸件に中空部分がある場合には、それに相当する铸型(中子)も別

塗製作、塗型剤を塗布後、下型に中子を収めてから上型をかぶせる(中子製作)。完成した鋳型に溶解金属(溶湯)を流し込む(溶解・注湯)。注湯後、冷却して鋳物を固める(冷却)。8ト以上の鋳物なら冷却に10日程度要する。冷却後、鋳型を解体し、鋳物を取り出す(解枠)。取り出した鋳物にはばりがあるので、それらを除去して加工・仕上げを施して完成である(加工・仕上げ)。

以上、木型法による生産の流れを整理すると、次のようになる。「模型製作→下型砂込→上型砂込→下型抜型→上型抜型→塗布→中子製作→型かぶせ→溶解・注湯→冷却→解枠→加工・仕上げ」(中子が必要な場合、図5参照)。

図5 生産工程の比較(2)：FMCと木型法



出所: 加山(1995)、中江(1995)、および木村鋳造所へのインタビューに基づき作成。

これに対して、FMCの場合、木型法のように鋳型を上下に分割して作る必要はない。模型は発泡ポリスチレンで作られ、鋳込み時に溶湯で模型を溶かし、置換してしまうからである。FMCの生産工程は次のようになる。まず発泡ポリスチレンで模型を作り(模型製作)、模型の表面に塗型剤を塗布・乾燥させる(塗布)。FMCの塗型剤には、先述の木型法の機能に加え、注湯後の燃焼する発泡ポリスチレンから溶湯を塗型の外に逃がさず、発生するガスを外に逃がすという、いわば相反する機能が求められる。塗型剤乾燥後、模型を鋳型に配置し、砂を込める(砂込)。砂が固まったら、溶湯を流し込み(溶解・注湯)、冷却・解枠・加工・仕上げを施し完成である。

以上、FMCの生産の流れを整理すると、次のようになる。「模型製作→塗布→砂込→溶解・注湯→冷却→解枠→加工・仕上げ」。すなわち、図5に示すように、木型法に比べてFMCの方が大幅に工程数が削減されていることが見て取れる。

このように、FMCは木型法に対して、砂込分割不要、抜型不要、中子不要、型かぶせ不要にした点が画期的な工程イノベーションであり、その登場により、工程アーキテクチャの不連続な変化をもたらしたイネーブリング技術(enabling technologies)(Utterback, 1994)であると言えよう。イネーブリング技術とは、当該産業で突如出現し、既存の製法と比較して単位あ

たりの製造費用を劇的に低下させる効果を持つ。その後何年にも渡り漸進的に改良される。従って、時間を横軸に取り、単位あたりの製造費用を縦軸にとると、両者の関係は右下がりの階段状になる。

では、FMCの導入によりどの程度の単位費用低減が可能となったのか。木型法は木型の模型を用いるので、一度製作してしまえば木型を半永久的に利用することが可能である。よって、量産品に適している。しかし、鋳物と逆の部分の木型で作ることになるため、抜け勾配や中子が必要になることが多く、従って複雑な形状には不向きである。また、木型の加工性が悪いため、3D-CAD/CAMの利用が困難であり、工程数が多いことからトータルの製造リードタイムが長くなりやすい。図面から鋳物まで3ヶ月程度要することも少なくない。設計欠陥の検査も鋳造後でないとできず、複雑な形状であれば熟練技能を要する。一方、鋳造時の燃え残り滓がほとんど出ないので、鋳肌品質はきれいである。

これに対して、FMCは木型法のほぼ逆の特徴を持つ。すなわち、発泡ポリスチレン型を用いるので、鋳型は一回しか利用できない。従って、試作品や単品鋳物に適している。発泡ポリスチレンの加工性の良さ、3D-CAD/CAMの利用しやすさ、抜け勾配・中子不要などの特性から複雑な形状にも適しており、工程数も少ないので、製造リードタイムも短い。図面から鋳物まで3週間程度である(菅野, 2004)。

表 2 FMC のメリット・デメリット：木型法との比較

| | FMC | 木型法 |
|---------------|--------------|------------|
| 用途 | 試作品、単品、複雑な形状 | 量産、シンプルな形状 |
| 模型の利用回数 | 1回 | 数百回 |
| 模型の保管・メンテナンス | 不要 | 要 |
| 製造リードタイム | 短い | 長い |
| 製造費用 | 安い | 高い |
| 3D-CAD/CAMの利用 | 容易 | 困難 |
| 設計欠陥検査 | 模型製作後 | 鋳造後 |
| 鋳造欠陥検査 | 鋳造後 | 鋳造後 |
| 鋳肌品質 | 低 | 高 |
| 技能 | 非熟練 | 熟練 |

出所：菅野(2004)をもとに作成。

この結果、単品鋳物に関する一人あたり生産性は、木型法の3倍程度に向上したとも言われる。模型の製作費も、重量22kg相当の鋳物向け発泡ポリスチレン模型が1700ドルであった

のに対し、同様の木製模型の方はその10倍に相当する17000ドルであったと言われる(Dieter, 1968)。また、ある自動車工場の鋳物職場では、FMCの導入により模型の製作労力を30%削減、造型の労力を25%削減することができたという(オゼロフ他, 1971)。従って、木型法と不良率が同じであると仮定すれば、製品1個あたりの費用において大幅な低減が期待できる。

設計欠陥の検査も模型製作後、直ちに行うことが可能であり、複雑な形状であっても高度な熟練技能を必要としない。実際、模型製作の組立現場では新人でも3~6ヶ月程度で作業をこなせるようになるという。一方、FMCは鋳造時の燃え残り滓が発生するので、鋳肌品質が低くなりやすい。よって、鋳造後の加工・仕上げが必要不可欠である。

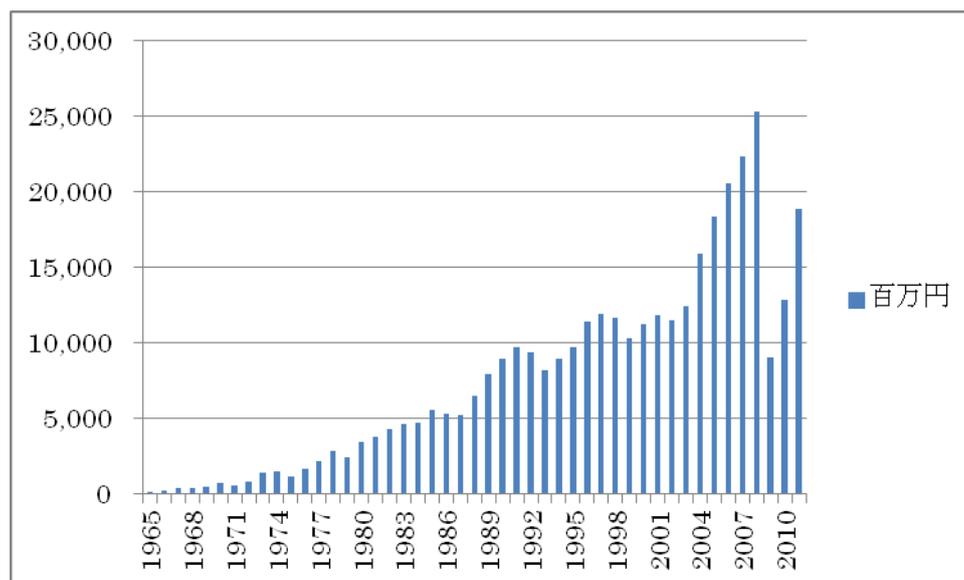
以上の検討から、鋳物という点では基本的には同じだが、FMCは木型法に比べ、鋳肌品質は劣るものの、試作品・単品・複雑な鋳物用途においては、劇的な製造費用低減およびリードタイム短縮を可能とする工程イノベーションである。

4. ローエンド型破壊的イノベーションとしての FMC : (株)木村鋳造所の事例

4.1 市場動向

では、FMCはどのようにしてローエンド型破壊的イノベーションへと変貌を遂げたのか。この点を明らかにするため、木村を中心にFMC開発の歴史を概観する。木村は1927年創業以来、鋳造事業一筋の同族系企業である。2011年度の連結売上高は188億円、従業員数は738名である。創業当初から木型法による鋳物生産を手がけてきたが、1966年FMCの技術導入を契機とし、モータリゼーションを背景とする自動車プレス金型用鋳物に特化し、飛躍的成長を

図6 木村鋳造所売上高の推移

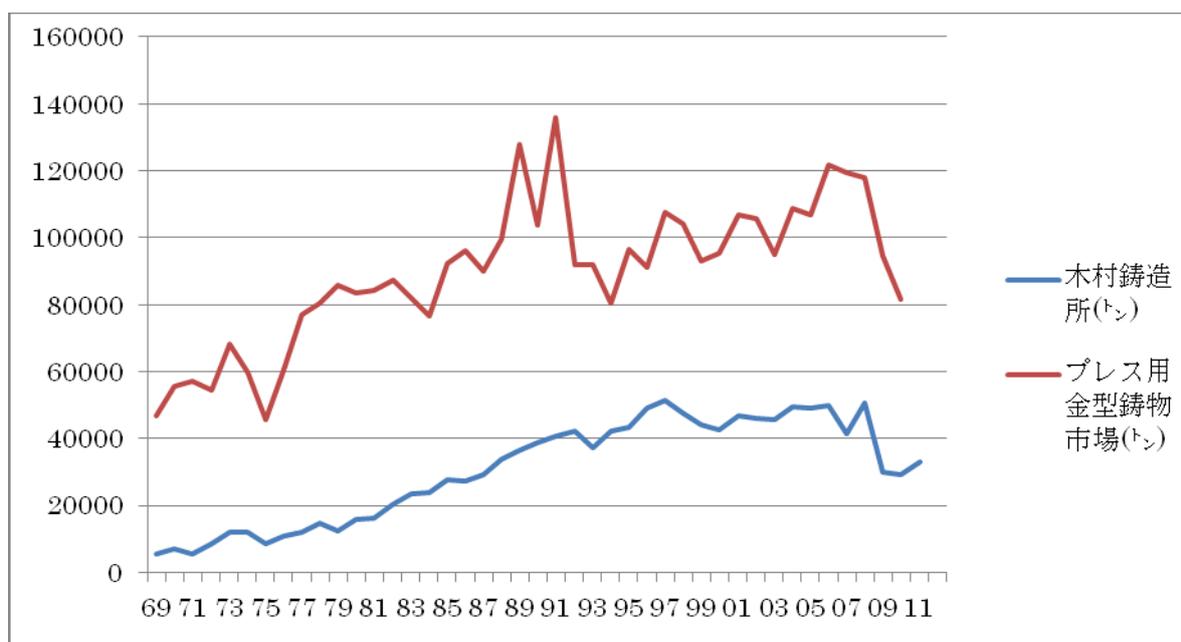


出所：木村鋳造所提供資料に基づき作成。

遂げた。1989年には工作機械用量産鋳物も生産開始し、用途拡大を図っている。その結果、FMC導入以前(1965年)は約1億円の売上高であったが、2008年には252億円の中堅企業に成長を遂げた(図6参照)。

次に、鋳物市場における木村のポジションを見ておくことにしよう。鋳物市場は大きく鉄鋳物と非鉄鋳物に分けられる。木村が手がけるのは前者である。『素形材年鑑(平成22年版)』によれば、前者の2010年の市場規模は約347万ト、うち輸送機械用は約240万ト、残りの約107万トが一般機械用となっている。1970年以降の市場規模はやや変動はあるものの、概ね400万ト前後で推移している。このうち、木村の主力製品であるプレス用金型鋳物と金属工作・加工機械用鋳物の市場規模はそれぞれ約8万ト、約10万ト(2010年)である。事業所数は、1970年代後半に2000社以上存在したが、2010年には842社と約30年の間に激減している。

図7 プレス用金型鋳物の生産数量の推移(ト)

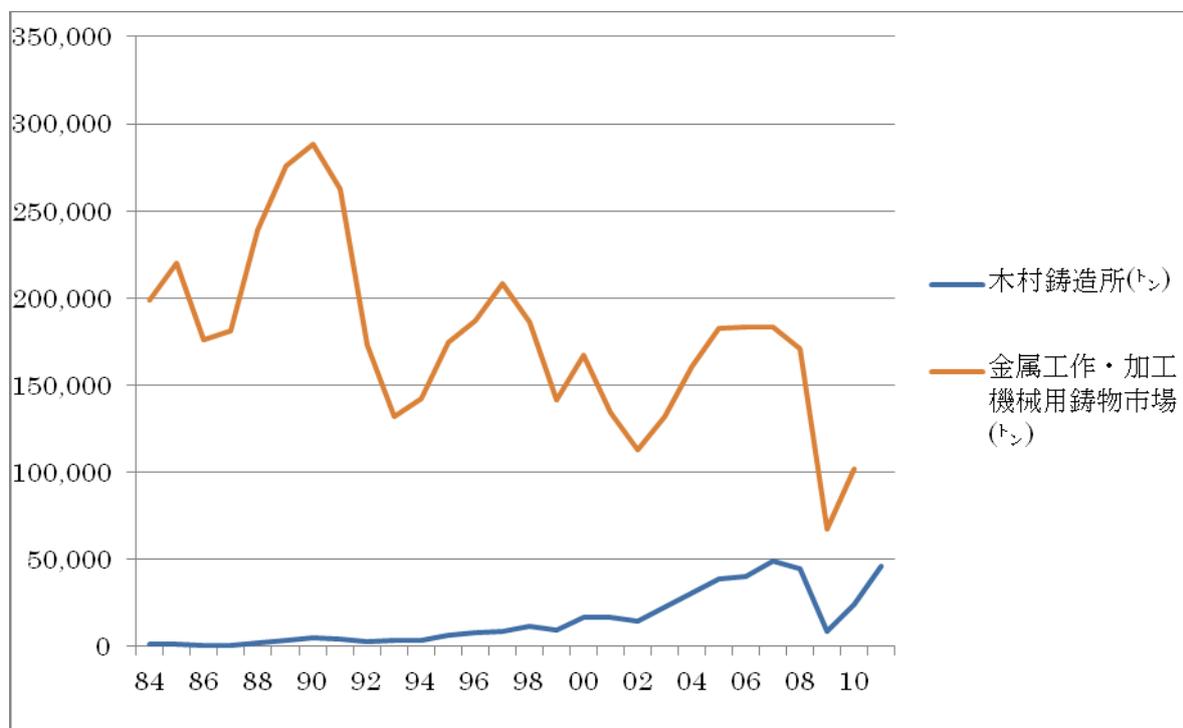


出所：木村鋳造所提供資料、機械統計年報に基づき作成。

図7は自動車用プレス用金型鋳物における木村と国内市場全体の生産数量の推移を示している。1960年代終わり(約5万ト)からリーマンショック直前(約12万ト)に至るまで、国内市場規模は概ね右肩上がりであること、木村は1990年代後半まではほぼ一貫して右肩上がり(ピーク時は約5万ト)、しかもその間は国内市場以上の伸びを示していたことが読み取れる。

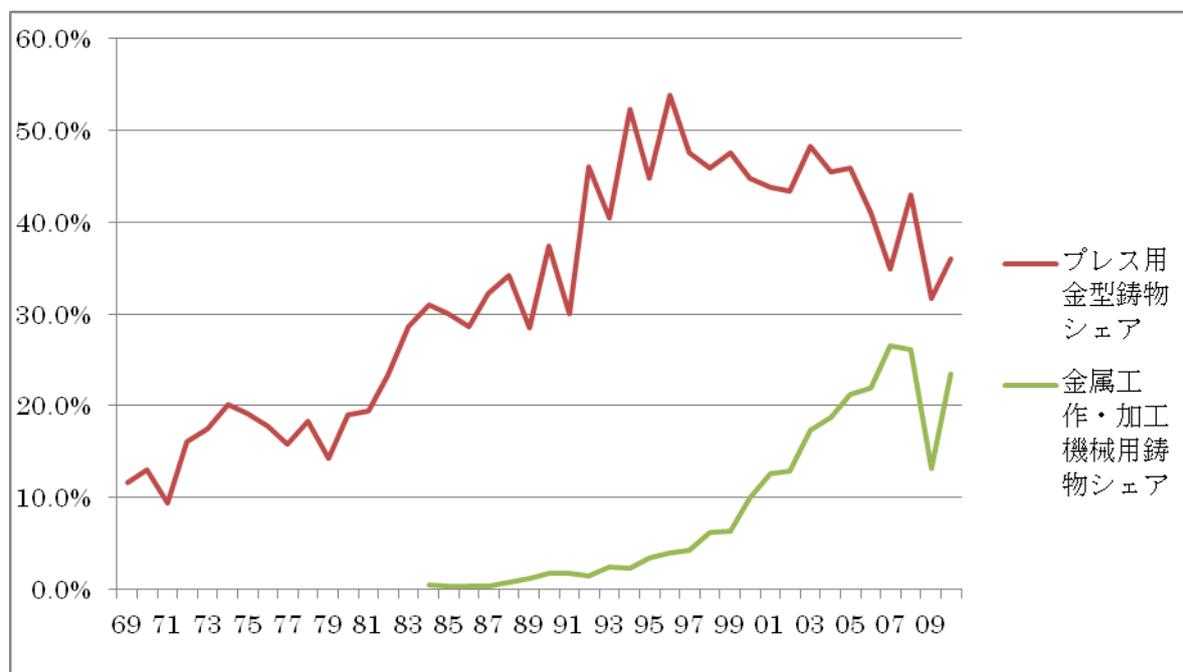
図8は金属加工・工作機械用鋳物における木村と国内市場全体の生産数量の推移を示している。国内市場は1990年にピーク(約29万ト)を迎え、その後右肩下りの傾向にあるのに対し、木村は2000年代に入ってから急激に生産数量を伸ばしてきたことが読み取れる。

図8 金属工作・加工機械用鋳物の生産数量の推移(トン)



出所：木村鋳造所提供資料、機械統計年報に基づき作成。

図9 木村鋳造所の用途別生産シェアの推移(%)



出所：木村鋳造所提供資料、機械統計年報に基づき作成。

図9は木村の用途別生産シェアの推移を示している。自動車プレス金型用鋳物市場における木村の生産シェアは、1970年代には15%前後であったが、80年代は約2倍の30%前後、90年代は40%前後(ピーク時は50%超)で推移するまでに至った。この市場はかつて木型法により鋳物が生産・供給されていたが、現在はほぼ100%FMCにより供給されており、木型法はFMCに置き換えられたと言える。

工作機械用鋳物市場における木村の生産シェアは、1990年代前半は2%前後で推移していたが、90年代後半から急成長し、2000年には10%、2005年には20%を超える(ピーク時は約27%)までに至っている。このように、FMCは大型単品鋳物以外では難しいとされていたにも関わらず、大型量産鋳物においても市場シェアを拡大しつつある。

以上の検討から、FMCは破壊的イノベーションになったのではないかと考えられる。以下、FMC関連の技術伝播の経路、木村の導入・開発の経緯について見ていく。

4.2 ローエンド型破壊的イノベーションのプロセス

4.2.1 技術伝播の経路

図10はFMC特許の米独から日本への技術伝播の経路を示している。FMCの基本特許は米シュロイヤー(H.F.Schroyer)により発明され、1958年にUS特許No. 2830343「空洞のない鋳型と、模型と同型の鋳物を作る方法(Cavityless casting mold and Method of making same)」として登録された。しかしその後、工業化に失敗し、1961年にすべての工業化所有権を独BASF子会社の断熱材製造会社グリュンツバイク & ハルトマン社(Gruenzweig & Hartmann A.G、以下G+H社)に譲渡、G+H社はその実施権を取得した。G+H社は同社の副社長に就任したヴィットモーザーの指導の下、工業化の基礎技術を確立した。G+H社は欧米日に再実施権を許諾し、FMCの実用化を図った(菅野, 2004; 木村鋳造所80年のあゆみ, 2007; 田村, 2001)。

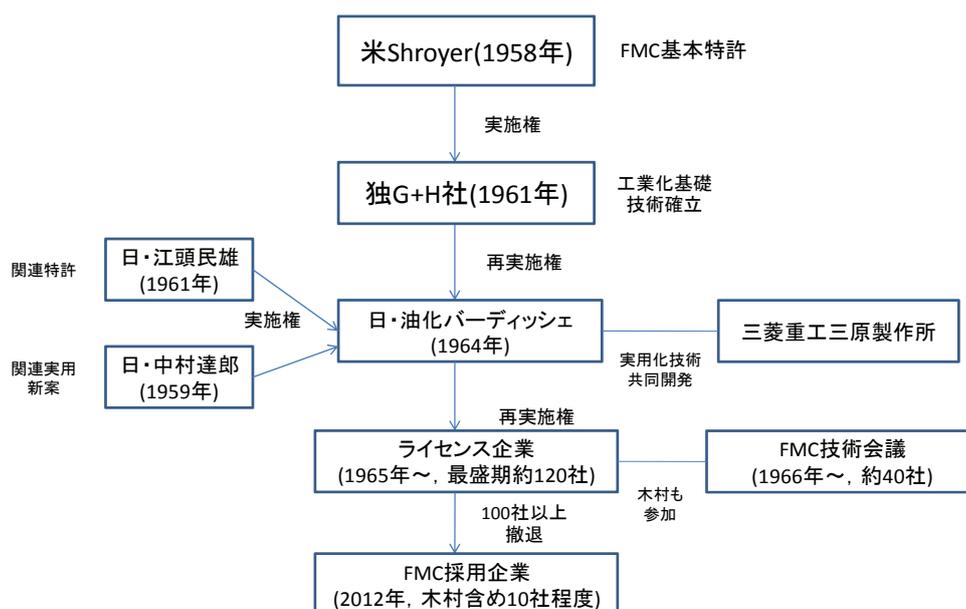
日本では独BASFと三菱化学の合弁会社である油化バーディッシュ株式会社(現三菱化学フォームプラスチック株式会社)が1964年、ヴィットモーザーの運営するフルモールドインターナショナル(FMI)から特許の再実施権を取得した。G+H社が日本で出願したFMC関連特許は10件に上る。具体的には、「消失性原型」(出願番号 昭38-1844;昭39-30506)、「押湯用原型」(出願番号 昭38-37743;昭39-7201)、「鋳造用中子」(出願番号 昭39-30507)、「改良された充填鋳造法」(出願番号 昭39-30905)、「充填鋳造用模型の製造法」(出願番号 昭39-44391; 出願番号 昭39-60112)、「消失性の特に球形の押湯用原型」(出願番号 昭39-53518)、「発泡物質からなる消失性鋳造用原型」(出願番号 昭39-54839)の10件である。

油化バーディッシュは同時期に国内の関連特許や実用新案の実施権も取得した。前者は「充填鋳型に使用する充填原型の補強法」(出願番号 昭36-1400)、「種々様々な形の附属物

を一本化して鑄造する鑄造法」(出願番号 昭36-4018)、「精密加工部を有する鑄物の製法」(出願番号 昭36-4019)の3件で、いずれも出願人は江藤民雄である。後者は「鑄造用中子」(出願番号 昭34-60128)、「鑄造用模型」(出願番号 昭34-60729)の2件で、いずれも出願人は中村達郎である。

しかし当時の工業化の技術水準が低く、すぐに実用化するのは困難であったため、三菱重工株式会社三原製作所と実用化技術を共同開発した。翌1965年から国内の鑄造企業にライセンス活動を開始し、最盛期には約120社が油化バーディッシュェと再実施権契約を結び、FMCライセンス・グループを形成した。このグループの代表的な活動がFMC技術会議である。この会議は、油化バーディッシュェが主催し、FMC普及の中心人物であったヴィットモーザー氏を講師に招き、国内の主力鑄造企業約40社が参加した。1966年から24年間計23回にわたりほぼ毎年開催され、FMCの研究成果発表会を行うなど技術交流が図られた⁷。しかし後述する

図 10 FMC 開発の経緯



出所: 菅野(2004), 木村鑄造所 80 年のあゆみ(2007)に基づき作成。

7 FMC は 1980 年代に基本特許が消滅し、その後国内外で活発な研究がなされた。80 年代後半から米国で、90 年代から日本、ドイツで、90 年代から現在まで中国で論文が発表されている(田村, 2001)。近年韓国や中国の鑄造企業による FMC 導入が増加している(池永, 2011)。韓国・中国製の大型鑄物は品質面では日本企業に劣るものの、低価格を武器に一部日本市場にも進出してきているという(鑄造企業、顧客企業へのインタビューによる)。

ように、最盛期には120社に上ったライセンス企業も、100社以上が撤退し、2012年現在FMCを採用し続けている企業は木村を含め10社程度にとどまっている。

4.2.2 木村鑄造所における FMC の導入・開発プロセス

木村におけるFMCの導入・開発過程は、大きく「技術導入期」「基礎確立期」「IT導入期」「技術革新期」の4段階に分けられる。以下、次の文献(菅野, 2004; 木村鑄造所80年のあゆみ, 2007; 藤原・積田, 2009; 松島, 2009)も踏まえ、4つのステージについて詳細に見ていくことにしよう。同社の技術開発・市場開拓の系譜については、巻末の付表を参照されたい。

【技術導入期(1966～1973年)】

第1段階は、木村のFMCの技術導入期に該当し、その用途として自動車プレス金型市場を開拓、発展の可能性を見いだした時期である。

木村がFMCの再実施権契約を結んだのは、1966年7月のことである。それ以前は、木型法によりポンプやディーゼル・エンジン用鑄物を生産していたが、1960年代のモータリゼーションの機運、A社との取引開始などを受けて、自動車プレス金型用の大型単品鑄物に特化し、そのための製法としてFMCを選択したのである。プレス金型は形状が複雑でモデル毎に異なる上、モデルチェンジも頻繁で納期短縮が求められるので、FMCのメリットを最大限に生かせる用途であった。

再実施権契約後、木村はFMCによる生産を試みたが、当初はFMCのアイデアと原理といった限られた技術情報しか得られず、鑄物は作れるけれども、発泡ポリスチレンの燃え滓により鑄肌が荒れるという問題をなかなか克服できなかった。こうした中、再実施権契約を結んでいた企業のほとんど(100社以上)がプレス金型用途に市場性を見いだせず、FMCの採用を断念したという。これに対して、社長以下、FMCに社運を賭けていた木村は「絶対ものにしてやる」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)とFMCの実用化に挑戦し続けた。

FMCの場合、模型材料が発泡ポリスチレンであるので、木型法の時のような鑄造条件ではうまくいかなかった。そこで、注湯の温度や材料など変動要因を一つずつ固定化し、一定期間継続することで、最適な鑄造条件を洗い出していく。そのために、自硬性砂回収再生装置(1969年)や5t低周波誘導電気炉(1970年)などの設備投資も積極的に行った。特に後者は従来のキューボラ炉では困難だった少量連日操業と鑄込み温度の固定化を可能にした。

加えて、毎日不良対策会議を行った。FMC導入後しばらくの間は、不良の原因が分からないという状態が続いたからである。それでも、技術者や現場従業員が全員で話し合い、鑄造条件の洗い出し作業にフィードバックし、一つずつ標準化し、品質向上、生産性向上を図った。「技術的に目処が立つまでに2、3年を要した」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)という。

その過程で取引を継続してくれたのがA社である。「当時の木村鑄造所のフルモールド鑄造法は、技術的には幼稚園レベルだったが、社運をかけた新技術でもあり、少しずつ仕事を受けて、実践のなかで育てていく必要があった」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)。こうした中、A社は軽トラックの金型(二番型)(1967年)から木村のFMCによる鑄物を採用し続けた。A社の要求に応えようと努力した結果、木村の技術力は向上した。「木村鑄造所のフルモールド鑄造法はA社のベンチャー精神に助けられ、育てられたと言ってよい」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)。

これには模型を内製していたことも木村に有利に働いた。当時、未完成の技術であったFMCでは多くの不良が発生した。模型は注湯すれば消失してしまうので、やり直す場合には模型を再発注しなければならない。しかし外注していたのでは費用も時間もかかる。そこで木村は、FM型製作所(1967年)を設立した。模型を内製すれば、不良が出ても徹夜で作り直して対応することができる。それが「不良を吹いたのに、やけにあそこは再製作が早い」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)と評判を呼び、取引先拡大に寄与した。このように、木村がコスト低減のみならず、納期短縮の実現を図ったことが、車種毎に形状が違い、かつ頻繁なモデルチェンジを必要とするプレス金型メーカーの要求に上手く適合した。

その後も鑄物検査のための機械加工工場設立(1971年)、材料研究のための材料試験室設置(1971年)により、品質向上を図った。作業環境改善のために砂の運搬・混練のためのエアフロー(1973年)を導入した。

1972年には国内の金型メーカーから海外自動車メーカー向けの鑄物も受注し、その実績が評価され、さらに海外からの受注も拡大した。

こうした一連の取り組みにより、プレス金型用鑄物市場における木村のシェアは、1969年12%から1973年には18%にまで上昇した(図9)。

【基礎確立期：1974～1986年】

第2段階は、木村が技術選択をFMC一本に絞り、その基礎技術を確立させ、新たな用途として工作機械分野への進出を図った時期である。

1973年第1次オイルショックが起き、自動車メーカーのモデルチェンジ自粛とニューモデル開発凍結により、金型の受注が激減した。この間、フォークリフトのバルランシング・ウェイトの受注で事業継続を図った。オイルショックを契機として木村は工作機械分野、とりわけ単品鑄物への挑戦を開始した。同分野への進出のためにはFMCの課題である「残渣」と「鑄肌」の飛躍的な改善が不可欠であった。同社はこの問題を工作機械も手がけるA社の手助けを借りながら改善改良を進めることができた。A社から工作機械用鑄物を受注したことで、

工作機械分野への足がかりを築いた技術は1975年、木村独自の实用化技術として「ニューフルモールド鑄造法」(New FMC、以下NFMC)と名付けられた。

同社は1978年、鑄物の機械加工専用工場として東静工業を設立した。その際、大手工作機械メーカーから大型NC工作機械を導入することになったが、その工作機械に木村の鑄物を使用するという条件でNFMCの受注に成功した。

こうして好スタートを切ったかに見えたNFMCであったが、自動車金型用途よりも高い鑄肌品質が求められること、工作機械用途の実績不足などを理由に営業面で行き詰まった。そこで市場開拓のため、工作機械ディーラーと提携を結んだ。その後、ディーラーと共同で市場開拓に尽力した結果、大手をはじめほとんどの工作機械メーカーとの取引が実現した。ただし、生産量としてはプレス金型用途に比べれば、ほんのわずかであった。

また木村は1976年、木型法を廃止するという大きな決断を下している。木村では「フルモールド鑄造法は導入後4～5年で何とか技術的なメドは立っていた。それでも木型法を捨てなかったのは、「フルモールド鑄造法だけで果たしてビジネスとしてやっていけるのか」という不安があったから」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)である。

鑄造業において「木型は取引先との関係をつなぎ止める絆」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)であり、「フルモールド模型は一度湯を注げば燃えてしまうから、取引先との絆にはならない。このため木型法を捨てるには大変な勇気が必要だった」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)。

そうした中、木村にFMCへの全面移行を決意させたのは、次の4点であった。

「フルモールド鑄造技術の改善改良が進み、技術的な不安がほぼ一掃された」

「自動車金型がビジネスとして大きく成長した」

「ニューフルモールドの開発で工作機械用鑄物の事業化に成功した」

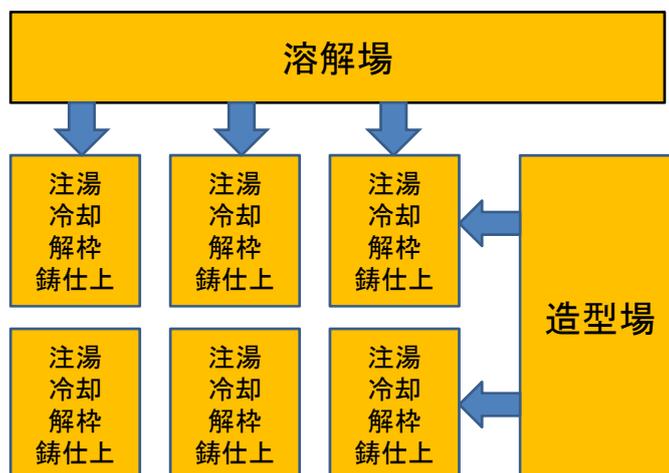
「生産効率の面でもフルモールド鑄造と木型法の併用は限界にきていた」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)

特に4番目については、「フルモールドと木型では使用する鑄材がまるで違う。塩と砂糖ほど違うと言ってもいい。それだけ違う2つの鑄造法を1つの工場で併用するとすると、砂から何から分けて置いて、必要に応じて使い分けなければならない。これは大変だし、何より面倒であり、不効率極まりない。工場利用の効率化など生産性を考えた場合、フルモールド鑄造法への全面移行はもはやさけて通れない道であった」(木村鑄造所80年のあゆみ, 2007)という。

この背景には、木村の創業の地、沼津には鑄造業の産業集積がなかったこと、それ故に慢性的な職人不足に悩まされてきたこと、木村に木型法の強みがなかったことがあった。

図 11 本社工場のレイアウト

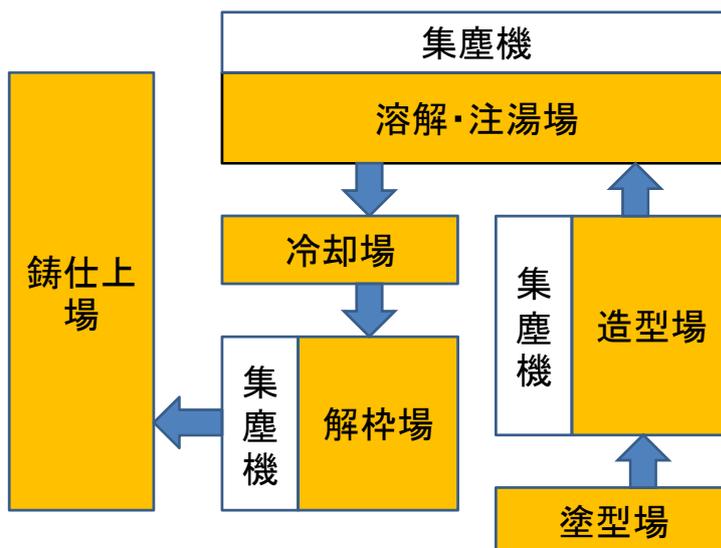
本社工場は「定点造型・定置注湯・定置解砕」
→至る所で煙と粉塵



出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

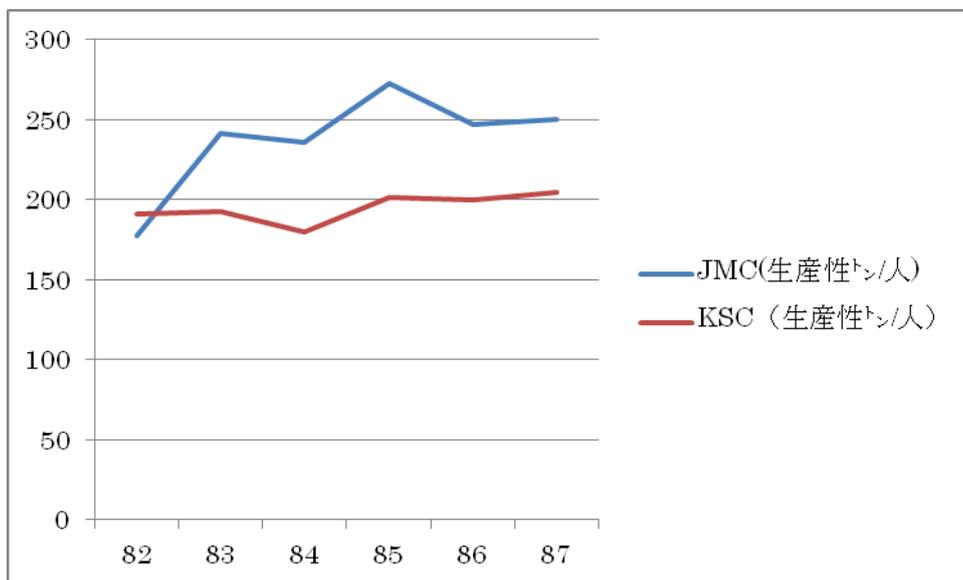
図 12 ジャパンメタル工場のレイアウト

ジャパンメタル工場は「定点造型・定点注湯・定点解砕」
→局所集塵によりクリーンファウンドリーに



出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

図13 本社工場(KSC)とジャパンメタル工場(JMC)の労働生産性比較(トン/人)



出所：木村鋳造所提供資料に基づき作成。

一方、第2段階における工場における生産性向上に大きく寄与したのは、B社から4S導入(1978年)、ジャパンメタル設立(1981年)に伴う「定点注湯・定点解枠・定点造型システム」の構築である。ジャパンメタルは、木村の大口顧客の荻原鉄工所(現株式会社オギハラ)(以下、荻原)との合弁会社で、工場建設時に荻原の安全管理の思想が反映されている。従来の鋳造工場では、鋳型を造型後、鋳枠を決められた場所に置き、そこへ溶湯を運び注湯・冷却・解枠・鋳仕上げしていたが、この方法では場内の至る所で塵煙が上がるなど安全性や作業効率の面で問題があった(図11参照)。

当時の三代目博彦社長(現会長)は、荻原の助言をもとに、注湯場所を固定し(定点注湯)、そこへ鋳枠を運び、解枠場所の固定化(定点解枠)、造型場所の固定化(定点造型)を図った(図12参照)。レイアウトは、工場内の中心部に集塵機等を配置、その周囲を取り巻くように溶解、造型、注湯、解枠を円形に配置、溶解炉にフードを取り付けたり注湯時の鋳枠をボックス収納したりするなど徹底した局所集塵方式を採用した。これらの取り組みにより、後に世界一と評されるクリーンな鋳造工場を実現、作業の安全性向上、生産性向上を実現した。

図13は本社工場(KSC)とジャパンメタル工場(JMC)について、1982年から1987年までの労働生産性(トン/人)を比較したものである。図より、ジャパンメタル設立直後の1982年はJMCの生産性が低いものの、それ以降5年間は一入あたり約50トンも生産性が高いことが見て取れる。生産性向上の主な理由として、「定点注湯、定点解枠、定点造型」システムの導入および鋳枠の標準化により定点間を結ぶ鋳枠の移動を容易にしたこと、集塵機の設置により作業

環境および作業性が改善されたことなどが挙げられる。また、1982年には木村FM型製作所にて同社初の3次元NC加工機を導入した。これにより模型製作精度が飛躍的に向上した。かつてはプレス金型のルーフやフェンダーなど3次元形状面を持つ模型は、手作業で作っていたが、時間がかかる上、滑らかな曲線を実現するのは不可能に近かった。このため、加工代を15mm～30mmも確保して鋳物を供給するしかなかった。

そこで木村は加工の自動制御を図るNC化に着目し、木工機械メーカーと共同でFMC専用の3次元NC加工機の開発に注力した。開発された加工機は、伸び尺を織り込めるスケーリング機能やミラー加工、角度変換等の機能を備えており、加工代を7～10mmまで縮小できたという。加えて、工数のかかる手作業の工程の機械化も実現できた。

以後、この経験をもとに、増加するプレス金型の受注に対応するため、模型の内製能力向上を図り、模型工場を相次いで開設した。1982年に木村FM型製作所三島工場、1985年には木村鋳造所群馬模型工場、1986年には木村鋳造所御前崎模型工場を稼働させた。

1985年にはコンピュータによる日程管理システムの構築をめざし、プロジェクトチームを発足した。それ以前は、B社から4S導入の影響から、ボードを利用した「見る管理」を実践していたが、受注・生産規模拡大に伴う工場の分散化により、作業進捗・作業負荷の把握が次第に難しくなり、取引先への対応・納期等で問題が生じるようになっていた。そこで数年かけて単品生産にも使える、独自の管理システムを構築したことで、日程管理の精度が向上した。

組織面でも営業体制の見直しを図り、地域密着・顧客密着の体制を整え、粘り強く営業活動を展開したことで、1986年には大手自動車メーカーB社からの金型受注にも成功、以後取引が継続されることとなった。

この間のプレス金型鋳物市場における木村のシェアは、1974年の20%から1986年の29%まで順調に上昇した(図9参照)。

【IT導入期：1987～1996年】

第3段階は、木村が模型工程にCAD/CAMシステム等IT技術の導入を図り、工作機械量産鋳物への進出を図った時期である。

1987年CAD/CAM、CADソフト「CADD5」を導入した。これにより、ユーザーから受け取ったCADデータをもとに、木村がCAMデータを作成、発泡ポリスチレンのブロックからNC加工機で模型を製作する体制が整った。加えて、受注増に対応するため、NC加工機の増強、1992年には自動でカッター交換するATC付のブロック加工専用NC加工機を導入した。CAD/CAMとNC加工機の連携を図ったことで、性能向上とコスト低減も可能となった。

その結果、模型の量産が可能となり、大手工作機械メーカーから「量産物の工作機械用鋳物をフルモールドでやらないか」と声がかかった。丁度時期を同じくして、工作機械向けの複合材の開発に成功しており、その技術の量産物への転用を図ることで、対応を図った。しかし当時の良品率は20%程度に過ぎず、量産物市場への進出を果たしたものの、なかなか生産性は向上しなかった。

1988年には鋳物工場としては超大型の御前崎工場を竣工した。当時の木村の年間売上高が45億円で、この新工場に同額の投資を敢行したのである。この工場は、木村が1983年に掲げた中長期ビジョン「金型の分野で日本一になる」(木村鋳造所80年のあゆみ, 2007)のもと、ボディーサイドなど大型の金型用鋳物に対応するために建てられた。車のボディーサイドは1980年代前半までは数枚に分割してプレスし、溶接するというのが一般的であったが、1980年代後半から一部の自動車メーカーが一体型の金型に取り組むようになった。木村は一体型への切替需要を見込んで御前崎工場を設立したのである。この狙いは的中し、バブル景気の拡大局面と相俟って、ボディーサイドの木村への注文が殺到した。これにより、御前崎工場の第2期・第3期工事も前倒しで行われた。

木村はまた、この工場にジャパンメタル工場のコンセプトを踏襲させ、「世界のクリーンファウンドリー」を目指した。集塵システムの改良や4Sの徹底を図り、その結果、1989年に素形材産業環境優良工場として、当時の通産省機械情報産業局長賞、1994年に通産大臣賞を受賞した。

バブル期に急増した木村の生産量であるが、バブル崩壊後の1993年は15%減少し、バブル時代に増強した生産能力をいかにして維持するか(木村鋳造所80年のあゆみ, 2007)という課題に直面した。木村はこの苦境を好機と捉え、余剰人員をCAD/CAMの勉強や工作機械メーカーへ勉強のために派遣、材料品質のチェック等管理技術の向上、人件費を除く固定費や変動費の削減に努めた。

CAD/CAMシステムの導入は、1987年より進められていたが、模型の内製率は3割程度にとどまっていた。コンピュータの処理能力に限界があり、手作業で行う部分も多く、なかなか生産性が向上しなかったからである。手作業は熟練を必要とした。「難しい図面を見てそれを頭の中で3次元の立体に置き換え、発泡スチロールを手で削って貼り付けて組み立てる。きちんと覚えて一人前になるには10年かかった」(木村鋳造所80年のあゆみ, 2007)。作業者の技量に差がある上、優秀な人材は職人気質で独立する人も少なくなかった。

こうした中、コンピュータの進歩により、PCによるCAD/CAMシステムが登場した。1995年にはエンジニアリングワークステーション、1996年にはCAD/CAMソフト「CADCEUS」を購入した。時期を同じくして自動車メーカーB社から金型のソリッドデータを支給され、

鋳物の製造依頼があった。しかし当時の木村のシステムでは、現在なら1分で処理できる計算に2時間以上を要し、採算面では厳しい状況にあった。

それでも1995年には余剰生産能力を工作機械量産物へと投入し、生産量拡大を図った。これに合わせて模型生産能力拡大のため、1995年には群馬模型新工場を増設した。こうした一連の取り組みにより、1996年の木村の生産量は過去最高の約57000万ト、売上高は114億円と創業来初の100億円を突破した。

この間のプレス金型鋳物市場における木村のシェアは、1987年の32%から1996年には54%にまで急上昇している。一方、金属工作・加工機械用鋳物市場における木村のシェアはプレス金型に比べると低いものの、1987年の0.3%から1996年の4.0%へと上昇した(図9参照)。

【技術発展期(1997～)】

第4段階は技術発展期に該当する。塗型剤の開発やPCによるCAD/CAMシステムの構築など、木村の技術的ブレークスルーへの挑戦が実を結び、工作機械量産鋳物市場で急成長を遂げた時期である。

バブル崩壊後はプレス金型鋳物の国内需要は頭打ちとなった。木村はそれでも御前崎工場で大規模鋳物を手がけることで生産量を拡大してきたが、それも1997年まででそれ以降は頭打ちとなった。そこで、プレス金型以外の用途として工作機械量産物の市場開拓を図った。しかし、量産鋳物では、同形状の模型で高い寸法精度が求められ、実現が困難であった。

こうした中、飛躍的な品質向上に寄与したのが、新たな塗型剤開発(2000年)とPCによるCAD/CAMシステム構築(2000年)である。まず塗型剤開発のきっかけは、米ベッツ社との技術交流にあった。同社は米国で既にプレス金型鋳物で成功を収めている競合企業であった。同社の依頼で御前崎工場視察を受け入れたところ、「木村鋳造所はベッツ社よりもほとんどすべての点で優れている。ただし、一つだけベッツ社の方が断然優れている点がある。それは仕上げの生産性で、木村鋳造所はベッツ社の3分の1だ」(木村鋳造所80年のあゆみ, 2007)と言われたそうである。これを機に木村の技術陣はベッツ社の工場を訪ね、「塗型剤が違うのではないか」(木村鋳造所80年のあゆみ, 2007)との仮説を持ち帰った。

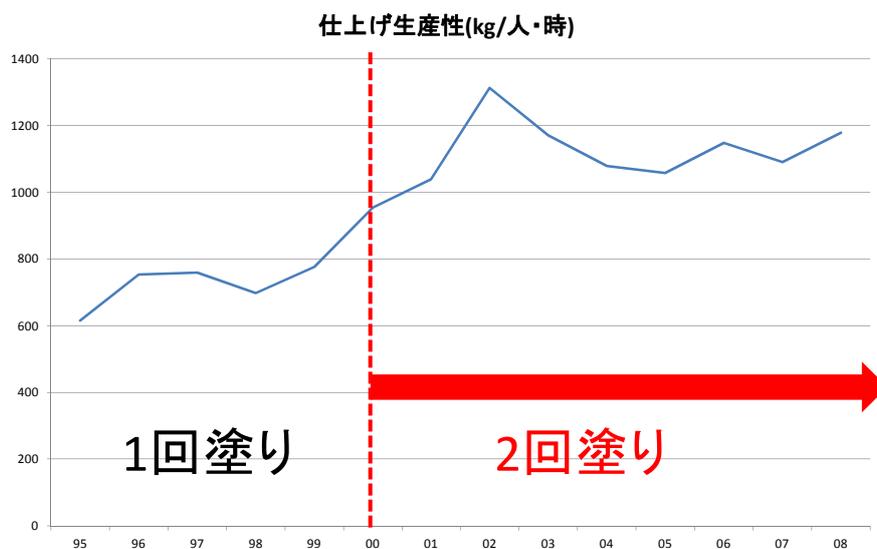
以後しばらく塗型剤の開発に傾注することになる。塗型剤は鋳型表面に塗る材料で、鋳型の砂の表面を溶湯の熱から保護し、それにより、鋳型の焼き付け防止や出来上がった鋳物の鋳肌をよくするという役割がある。つまり、鋳物の仕上がりに極めて重要な影響を及ぼす。FMCの場合、発泡ポリスチレンの燃え滓が鋳肌を荒らすことから木型法以上に塗型剤に求められる役割は大きかった。FMCにおける塗型剤には、発泡ポリスチレンのガスを外に逃がす一方で、溶湯は外に出ないようにするという、いわばトレードオフの関係にある要求を実現

しなければならなかった。

木村はそれ以前も塗型剤の開発に二度挑戦したが、その時は失敗していた。鋳物メーカーには通常、冶金学や金属工学を専門とする技術者はいるが、化学に精通した技術者がいなかったからである。しかし今回木村が開発リーダーに据えた人材は、たまたま冶金学の他に化学も勉強した人物であった。彼を中心に開発が進められた。

「厚く塗れる」「流れ落ちない」「通気が良い」、これら3条件をクリアする必要があった。しかし、厚く塗れば通気が悪くなり、ガスが抜けにくいし、自重で流れ落ちてしまう。軽く厚く塗れて流れ落ちず、通気性が良い。しかし材料一つとっても、骨材、粘結剤、界面活性剤、補助添加剤など組み合わせが無数にあった。こうした要素を一つ一つ地道に試行錯誤していった結果、目標をクリアした塗型剤の開発に成功した。2000年のことである。3年間で試験装置を含め2億円を超える開発費が投入された。

図 14 新たな塗型剤の2回塗りによる仕上げ生産性の向上(kg/人・時)



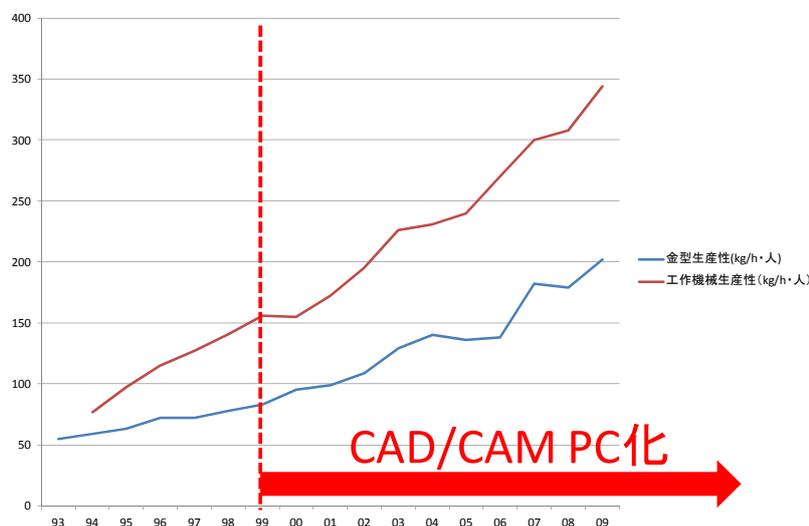
出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

塗型剤を良くすると、今度は他の問題が顕在化した。ガスの抜けが良くなかったのである。そこで通気を良くするためには砂をどうブレンドしたら良いのか、溶湯をどう流したら良いのか、早さや方向の研究を行い、鋳造技術の改良が格段に進んだ。一連の開発・改良の取り組みの結果、劇的に鋳肌品質が向上し、仕上げ工数が大幅に削減した。開発した塗型剤は従

来とは異なり、2回塗りするのがポイントであるが、それにより仕上げ生産性は1.5倍程度に上昇した(図14参照)。

一方、CAD/CAMシステムに関しては、1997年以降自動車メーカーB社に続いて、A社、C社からもソリッドデータの支給を受けるようになった。これにより、木村はより一層「模型製作のデジタル化」の方向に舵取りをしていった。1997年御前崎第二工場では、模型製作の完全機械化を目指し、工場立ち上げと同時にNC加工機を4台購入、グループ全体で19台体制に、CAD/CAMソフトの「Pro/E」も新たに導入した。

図 15 CAD/CAM の PC 化による模型生産性の向上(kg/人・時)

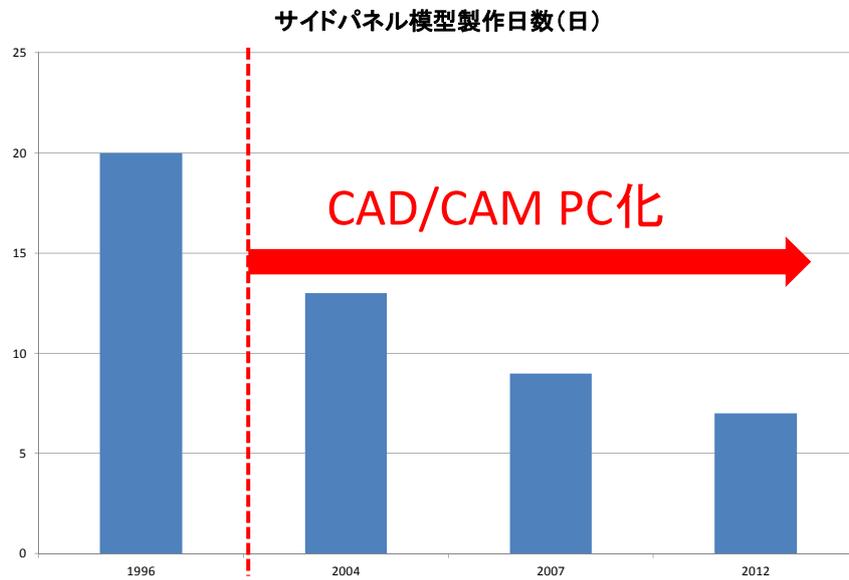


出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

自動車メーカー3社から支給されるソリッドデータは必ずしも完全なものではなく、サーフェスモデル(物体の表面)にとどまるものも少なくなかったが、物体内部については自動車メーカーの要望を採り入れ、金型の裏肉を削るなどして、木村独自のソリッド技術を蓄積していった。1998年にはソフトメーカーと共同で自動CAMソフトを開発、それまではすべて人が設定・計算・判断を行っていたが、すべて自動化できるようになった。

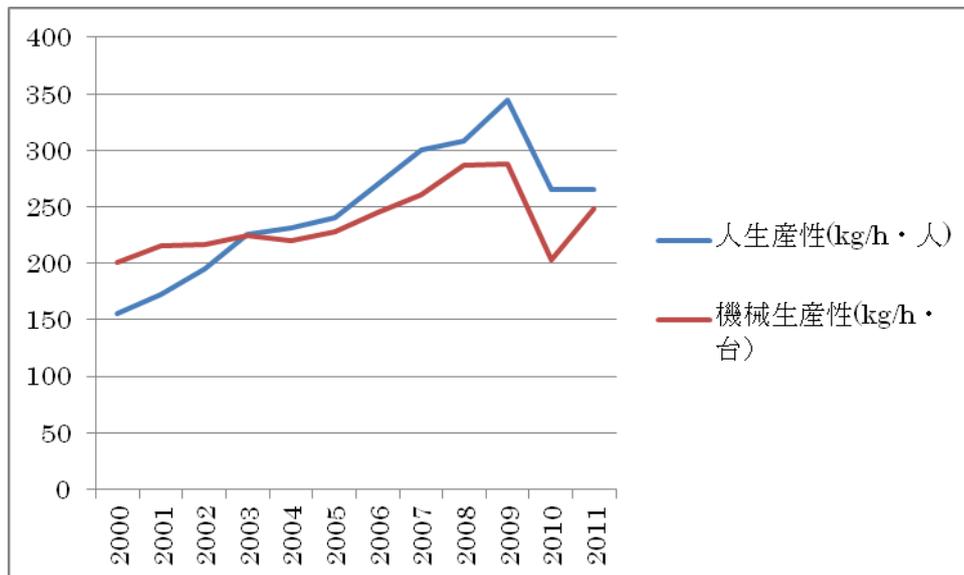
1999年にはPCによるCAD/CAMが登場し、処理能力が高く、低価格であったことから、木村は一挙にワークステーションからPCへの切替を進めた。CADソフトは「ソリッドワークス」を新たに導入、2000年にこのソフトに一本化された。CAMソフトは2005年にCADSEUSに一本化された。

図 16 プレス金型再度パネル模型製作日数の短縮



出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

図 17 工作機械量産物模型生産性の向上



出所: 木村鋳造所提供資料に基づき作成。

他方、NC加工機関連設備の開発も進められた。1999年には開発コンペにより模型専用高速加工機を採用、同年模型の横圧着機を自社開発、2000年には加工機に搭載する専用刃物の開発依頼、同年模型の縦圧着機、NCロケート吸着定盤、NC取付型インデックス装置を自社開発、量産品の工作機械用鋳物を測定するための自動測定機をNC機械メーカーと共同開発した。これらの技術開発により、模型と出来上がった鋳物の精度は劇的に向上したとされる。

これら一連の取り組みにより、模型精度は±5mmから0～+1.5mmに、CAD/CAMの利用率は1999年の3割から2002年には100%に向上した。3次元ソリッドデータを利用したNC加工による模型製作の完全機械化を達成したのである。この完全機械化により、個人の技量頼みの模型作りから決別することが可能となった。熟練に10年を要した作業もCADオペレータを一年経験すれば代替できるようになった。

模型の生産性も2～3倍程度に向上した。図15に示すように、プレス金型よりも工作機械の生産性の方が急激に向上したことが見て取れる。プレス金型サイドパネルの模型製作日程も1996年の20日から2012年には7日まで3分の1に短縮されている(図16参照)。工作機械量産物模型の生産性についても、労働生産性および機械生産性ともに2000年以降急上昇していることが見て取れる(図17参照)。

これら模型生産性の向上とともに大幅なコストダウンの実現も達成した。模型製作の機械化により、職人が不要となり、パートの活用が可能となり、30～40%の人件費削減をもたらした。

木村がプレス金型市場に参入した際には低コストと短納期が顧客に重視されたが、工作機械量産鋳物市場においては短納期よりも鋳物の寸法精度(再現性)や鋳肌の良さといった品質が顧客により重視された。木村は品質・生産性をともに向上させたことが工作機メーカーから評価され、工作機用ベッドなど量産鋳物でも受注拡大につながった。1998年では7000トに過ぎなかった工作機械向け鋳物の生産量が2006年には4万トを超えるまでに急成長した。工作機械用鋳物市場における木村のシェア(重量ベース)は、1997年の4%から2010年には23%にまで上昇した。

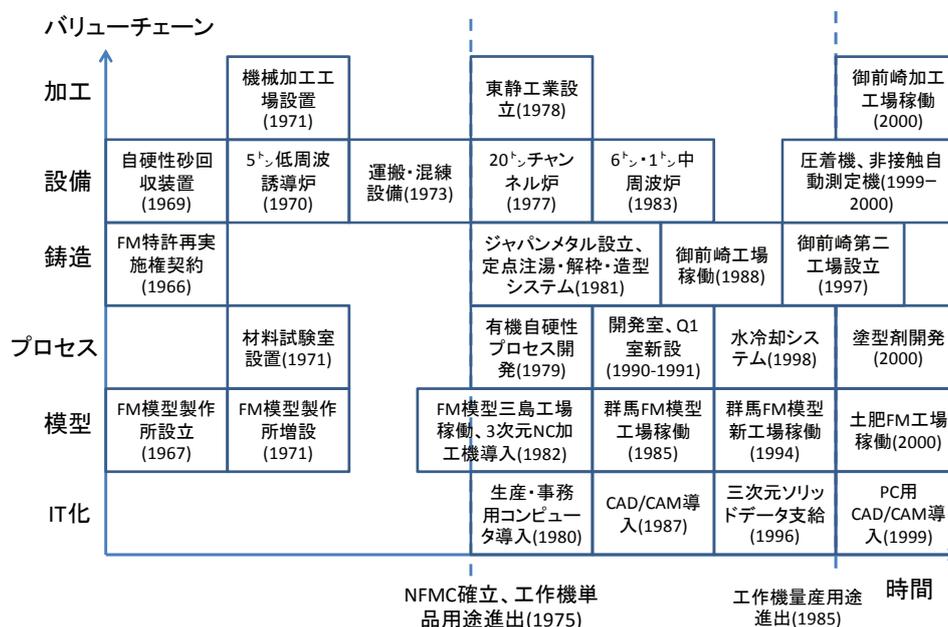
2001年には曲面形状を持つ丸ものの鋳物(ポンプケーシング等)も受注した。これは極めて高い技術が必要とされる鋳物であるが、3次元ソリッド技術の確立により曲面模型の製作、湯流れ・凝固シミュレーションと流動砂の自社開発により丸ものの鋳物の鋳造が可能となった。この分野は産業機械用鋳物であり、プレス金型、工作機械に続く第3の柱として期待されている。

4.2.3 小括

これまで見てきた木村の技術開発および工場・設備投資の系譜を図式化すると図18のようになる。図より、FMC技術導入後、鋳物鑄造における技術的問題の解決、生産性向上、顧客ニーズへの迅速な対応、量産鋳物市場への進出などを目的として、模型工程や加工工程の内製化、プロセス・材料開発、IT導入などバリューチェーンの垂直統合化・システム化を図ったとみることが出来る。

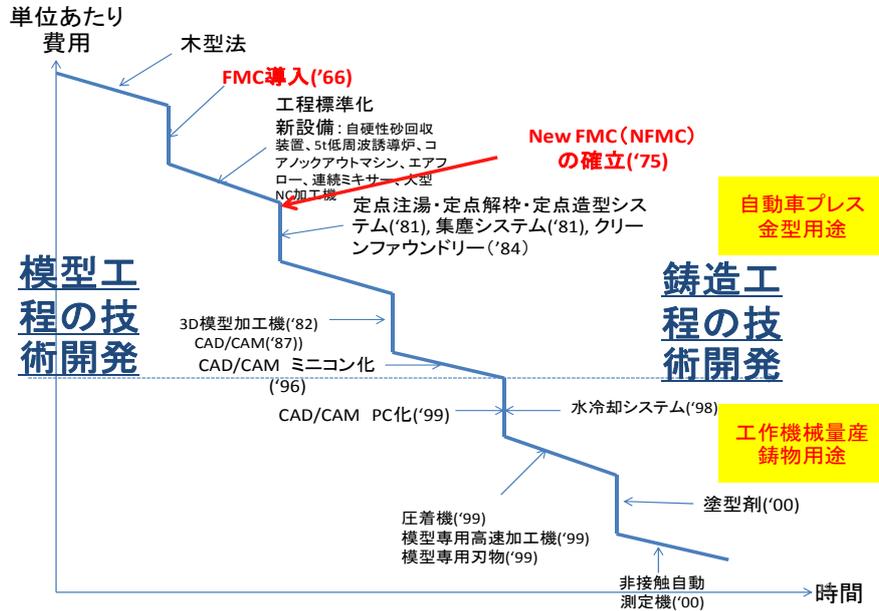
また、一連の技術開発・設備投資と生産性向上の関係は図19のようにまとめられる。FMC導入後、断続的な技術開発・設備投資により、単位あたり費用は劇的に低下したと言える。先に見たように、鑄造工程におけるFMC導入そのもの、定点注湯・定点解粹・定点造型システムの構築、塗型剤の開発、模型工程におけるNC加工機の導入、CAD/CAMの導入などはいずれも大幅な生産性向上の実現を可能にした、イネーブリング技術、非連続な工程イノベーションであったと見ることができよう。

図 18 技術開発の系譜：FMCの垂直統合化・システム化



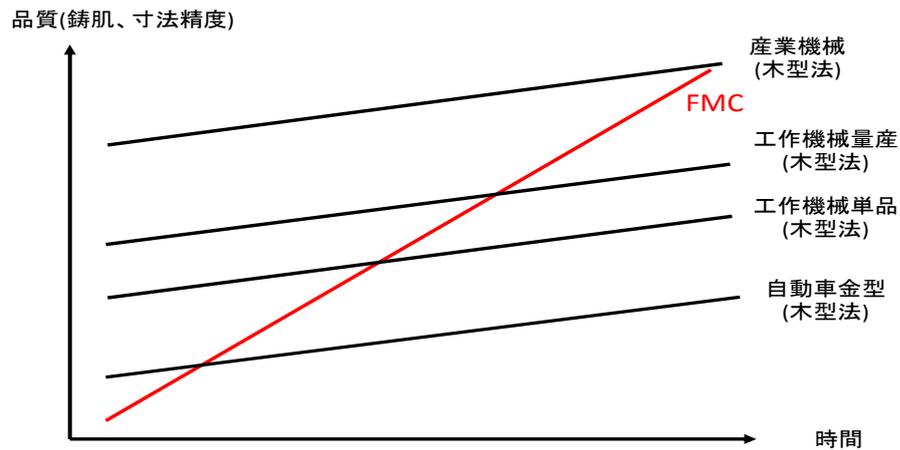
出所: 木村鑄造所 80年のあゆみ(2007)に基づき作成。

図 19 FMC の技術開発・設備投資と生産性向上



出所: 木村鑄造所 80 年のあゆみ(2007), および木村鑄造所へのインタビューに基づき作成。

図 20 木村の FMC による上位市場への移行



一方、市場(バリューネットワーク)面においても、FMCは大型単品向け(自動車プレス金型)

の鋳物以外では難しいとされていたにも関わらず、大型量産鋳物においても市場シェアを拡大しつつあり、さらに産業機械まで進出を図っている。このプロセスを、木村のFMCによる上位市場への移行プロセスとして捉え直すと、図20のように示すことができよう。すなわち、FMC導入当初は木型の品質よりも劣っていたが、短納期を武器に鋳肌品質・生産性を向上させ、木型法に対して短納期・低コストの優位性を高めることで、自動車金型鋳物市場を置き換えることに成功した。その後、工作機械用単品鋳物に進出、適用困難であるとされていた量産鋳物においても鋳肌品質・寸法精度の向上により進出を果たした。現在は新規用途として風車やガスタービンなど産業機械用途も開拓しつつある。

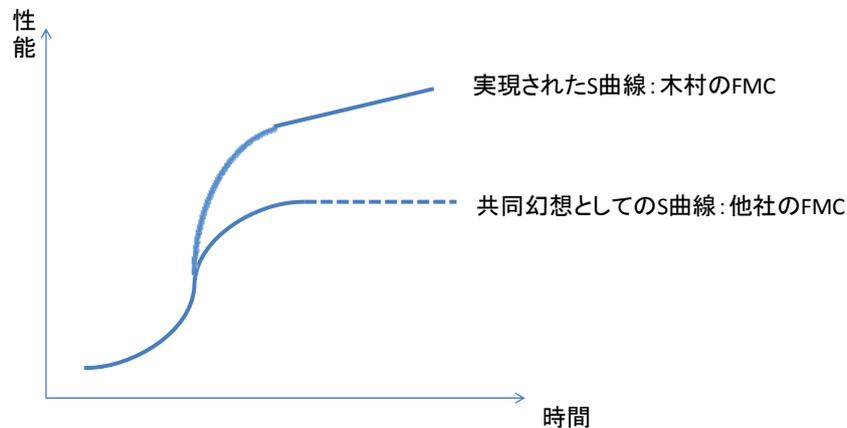
5. ディスカッション

本節では、上述のローエンド型破壊的イノベーションになぜ木村だけが先乗りすることができたのか、FMC採用他社の工作機械量産鋳物市場への進出はなぜ遅れたのか、これら2点について考察を行う。

そもそも、プレス金型用鋳物は今でこそFMCが主流になっているが、FMCが日本に導入された当初、その将来性は必ずしも明らかではなかった。木型法とノウハウが違うために、どの企業でも技術導入後の試作で失敗が相次ぎ、ほとんどの企業がFMCの導入を断念することになった。

このような失敗は、当時小さな町工場であった木村でも同じであった。木村はFMCの導入においては後発企業である。このような状況下、受注したA社N360用の鋳物生産において初めてFMCに取り組んだ。結果は失敗であったが、木村の経営陣はFMCにメリットを見いだした。一つはプレス金型との相性の良さ、すなわち木型不要、短納期であること、もう一つは職人依存度が低い工程であることの2点である。木村は木型法における強みがあるわけでもなく、創業地の沼津は鋳物産業の集積があまりなく、木型職人や鋳物職人の確保に苦労していた。これらのメリットとA社との取引継続、当時の2代目敬社長の強い成長意欲が合致してFMCへと経営資源を傾注していった。ほとんどの企業がFMC採用を断念する中、未完成のFMCを採用するのは大きな賭であったが、決断後は実用化に向けて次々とFMCに必要な設備投資や工場建設、弛まぬ現場改善を図った。

図 21 共同幻想としての S 曲線



出所: 大神(2005)に基づき作成。

一方他の導入企業の多くは、FMCと木型法の併用を試みていた。しかし、木型法とFMCでは注湯温度も違えば注湯速度も違う、铸枠内の圧力も異なるので、木型法のやり方が全く通用しないし、熟練の铸物職人の成功体験がむしろ弊害になる⁸。結果、組織が「硬直性の罠(core rigidity)」に陥る。硬直性の罠は、当該組織が成功体験が生み出す思考パターンに囚われやすくなる、問題解決の情報源を組織内部に求めがちである(NIH症候群)といった現象を指す(Leonard-Barton, 1995)。実際、油化バーディッシュェの担当者によれば、「(木型法とFMCの)混合型でやっていたところは発展しなかった」という。

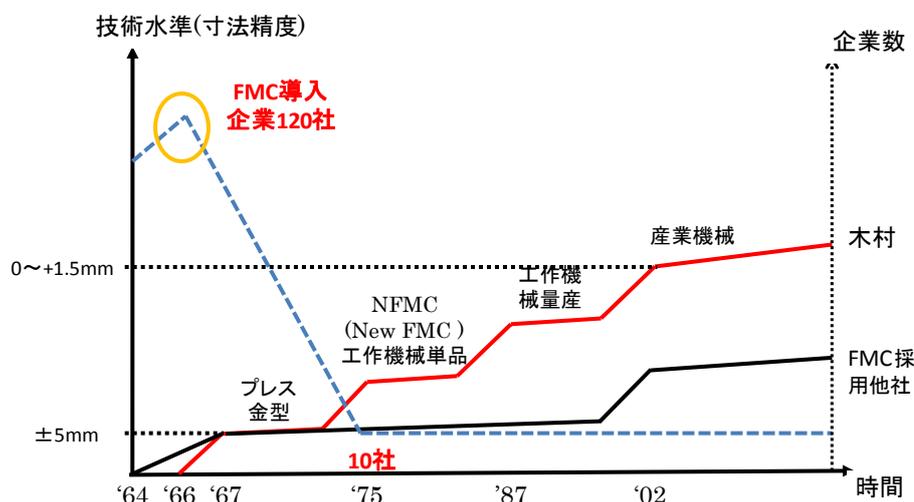
このような併用状況になった理由は、「共同幻想としてのS曲線」(大神, 2005)に縛られていたためと考えられる。Foster(1986)の言うS曲線をFMCも描くと仮定したときに、S曲線の天井を低く設定することで、FMCのプレス金型や単品铸物以外の用途がないと判断してしまった(図21参照)。実際、再実施権契約を締結した油化バーディッシュェの当時の担当者にインタビューしたところ、「FMCは铸造時に滓が溜まる。みんな、こんなもんだという認識」「FMCでできるのは自動車のプレス金型くらい」といったコメントが得られた。各社は、S曲線の

8 FMCの事例は過去の経験や知識が役立たないという意味で、「能力破壊型イノベーション(competency destroy innovation)」(Tushman & Anderson, 1986)の要素を含んでいるとも考えられる。

天井を低く見積もっていたと考えられる。プレス金型の場合、市場は大きい、精度の高さは要求されない、それが何とかできればそれで良かったのである。

しかし、それでも木村は木型を捨て、FMCに特化する道を選択した。そしてFMCを磨く努力を惜しまなかった。鋳物は設備投資や技術ノウハウが必要な製品であり、すぐに他社が模倣できるわけではない。木村はプレス金型用鋳物で事業が軌道に乗ってからも、FMCの革新を促すドメイン設定、大型先行設備投資、模型から機械加工までの一貫生産体制構築、3D CAD/CAM導入、補完技術の開発など一貫してFMC技術のシステム化・洗練化を図った。

図 22 FMC における木村の技術的優位性



出所: 木村鋳造所へのインタビューに基づき作成。

こうした取り組みの結果、プレス金型の需要拡大への対応だけでなく、工作機械用量産鋳物市場への進出も可能になった。FMCを併用した他企業が技術的に停滞する中で、木村は経路依存的に段階を踏んで最終的にローエンド型破壊的エンジニアリングに到達できたと考えられる⁹(図22参照)。少なくとも1980年代後半の時点で、FMCで量産鋳物にチャレンジしたのは、木村だけであった。

9 経路依存性とは、過去の選択により現在の意思決定が制約される現象を指し、パソコンのキーボード「QWERTY」配列が有名である(David, 1985)。

では FMC 導入後、木村ではなぜ徹底した FMC 技術のシステム化・洗練化が図られたのか。その理由として、FMC によって実現される鋳物の機能と生産工程の間の因果関係が不明瞭で、工程間の相互依存性が高いことが挙げられる。目標とする強度(引っ張り強さ)、内部組織欠陥、寸法精度、鋳肌(鋳肌の平滑度)を実現するには工程間の相互依存性の問題をクリアしなくてはならない。典型的には模型、塗型、砂込、注湯の 4 工程で鋳物品質に差が生じるとされる¹⁰。例えば、模型の発泡倍率や密度、塗型の通気性によっては、鋳物に炭素が残留し欠陥となることがある。溶湯の温度が高すぎ、塗型の耐火度が低いと焼き付が起こる。模型、塗型が良くても砂込めで壊れたら失敗する。形状が複雑になると、砂をきれいに埋め込めず、空間に焼き付けが発生する。溶湯の温度、スピードが鋳物の強度や硬度に影響する。溶湯の凝固収縮がうまくいかないと、ひけ巣ができる。またそれらが塗型の組成が影響し合い、発生するガスの量に影響するので、燃え滓が多いと鋳肌荒れ、仕上げ加工が必要になるといった具合である。以上を図式化したものが図 23 である¹¹。図を見ても分かるように、FMC による鋳物の工程アーキテクチャ¹²はインテグラル型であると言える。

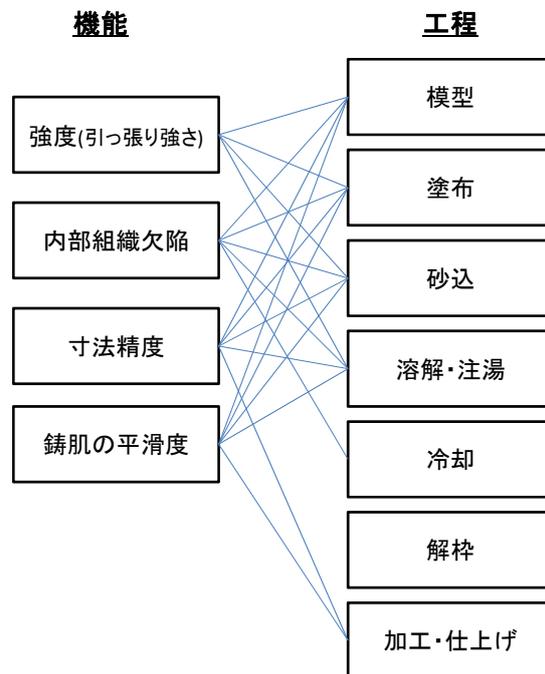
2 節でも言及したが、クリステンセンらは、ローエンド型破壊は次のようなロジックで生じるとしている(Christensen & Raynor, 2003)。主流のバリュー・ネットワークの評価軸において、新たに低品質・低コストの製品が満足度過剰の顧客のいるローエンド市場に進出し、そこで受け入れられると、コモディティ化が進み、利益率が低下するので、今度は品質向上を図り、上位市場へ進出するというものである。この議論ではいとも簡単に新規参入企業がローエンド市場から上位市場に進出しているかのように見える。しかし、この説明だけではどのように品質向上を実現したのか、十分に検討されていない。

10 木型も模型、砂込、注湯で工程間の相互依存性がある。筆者らの木型メーカーへのインタビューによれば、「型の鋳肌以上に良い鋳物はできない。型の寸法精度よりも、良い鋳物はできない。」「砂で固めた中子を固定出来るか。砂は真っ直ぐだとずると滑って形が変わってしまう。型が動かないように、ぴたっとセットすることが大事。」「すべての型に角度がついているので、抜き勾配が必要。いかに効率よく型を抜くことができるか。」「いかに湯が流れるのか、そこまで考えて設計する。」といったコメントが聞かれた。こうした相互依存性については、木型側は型職人、鋳造側は鋳物職人がいて、分業体制を敷くことで、安定した品質を実現してきたと考えられる。

11 筆者らのインタビューおよび中江(1995)を参考に作成した。

12 そもそもアーキテクチャとは、「人工物システム的设计形式に関する基本構想」のことである。製品アーキテクチャが製品機能—製品構造の対応関係に応じて定義されるのに対し、ここでいう工程アーキテクチャは製品機能—生産工程の対応関係を示したものである。製品構造が比較的明確な加工組立製品の分析に製品アーキテクチャが用いられるのに対し、製品構造を特定することに意味がない、もしくは不可能なプロセス製品には工程アーキテクチャが用いられる。本稿で取り上げる鋳物もプロセス製品に該当する。プロセス製品において製品機能—生産工程の対応関係が一对一の単純な関係にある場合を「モジュラー・アーキテクチャ」、多対多の複雑な関係にある場合を「インテグラル・アーキテクチャ」と言う(藤本・桑嶋, 2002; 2009)。

図 23 FMC による鋳物の工程アーキテクチャ



出所: 池永(2011)、菅野(2004)、田村(2001)、木村鋳造所へのインタビューをもとに作成。

本稿の木村の事例から、FMCによる品質向上は決して簡単に為しえたことではなく、FMC技術をシステム化・洗練化させることで、実現されたことが明らかとなった。これは上述のように、FMCによって作られる鋳物の工程アーキテクチャがインテグラルであるが故に、木村が模型工程や加工工程を内製化していったと解釈することができる。それ故に、既存企業も対応が難しく、木村1社だけが破壊的イノベーションに先乗りするという状況が生じたと考えられる。

Henderson(2006)は、破壊的イノベーションの理論は独立で存在しうるものではなく、組織能力やコア・コンピタンス(organizational competency)の議論の一要素として取り上げるべきであるとして、破壊的イノベーションがコア・コンピタンスによってもたらされるとするならば、そのコア・コンピタンスは当該企業が持つ独自資源の束から引き出されるとしている。Droege&Johnson(2010)は、航空産業におけるローエンド型破壊的イノベーションの事例研究を通じて、そうしたイノベーションを起こすには、オペレーション効率を高める人的資源管理の重要性を指摘している。加えて、Christensen & Raynor(2003)においてもシステム知識や統合知識の必要性は指摘されている。

しかし、本稿の事例に見られるようにその中身がインテグラル型の工程アーキテクチャに

あったことや、種々の設備投資や技術開発、改善活動により統合度(すりあわせ度)を高めていったことが、破壊的イノベーションの源泉たり得ることは指摘されていない。このように、新規参入企業の成功のプロセス、論理に注目することで、先行研究では十分検討されてこなかった戦略的知見を得ることができたと考えられる。そこに本稿の貢献があると考えられる。

6. おわりに

本稿では、FMCの事例分析を通じて、ローエンド型破壊的イノベーションのプロセスを明らかにするとともに、このイノベーションの担い手であった木村の競争優位性や他社の競争劣位性について経路依存性やアーキテクチャ、組織の硬直性、技術のS曲線の観点からの考察を試みた。

しかしながら、残された研究課題も少なくない。本稿により、ローエンド型破壊的イノベーションを木村が実現できた理由についてはある程度明らかになったものと考えられるが、他社の量産鋳物市場への進出がなぜ遅れたのかを明らかにするためには、競合他社についてより詳細な調査が必要であろう。また本稿の分析結果が、他のローエンド型破壊的イノベーションにおいてもどの程度当てはまるのか、その一般化についても疑問の余地が残る。仮に、出遅れた企業や企業に共同幻想としてのS曲線や硬直性の罣が生じていたとして、どのように回避していけば良いのか。新規技術のSカーブの技術変化やそれが破壊的たり得るかを事前に予測することは困難であることは言うまでもない(Danneels, 2004; Govindarajan, 2006; Tellis, 2006)。戦略的インプリケーションの導出も今後の課題である。

付表 木村鋳造所における FMC の技術開発・市場開拓の系譜

| 年 | 技術開発 | 市場開拓 | 事業拡大 |
|------|---|--|---------------|
| 1965 | | 金型鋳物(N360)受注開始 | プレス金型用鋳物開始 |
| 1966 | FM 法導入、FM 特許再実施件取得 | ホンダ狭山工場(LN)と取引開始 | |
| 1967 | FM 鋳物本格生産開始、FM 型製作所設立 | 富士鉄工所、萩原鉄工所と取引開始、 ホンダ(T360)受注 | |
| 1968 | ZAS 鋳物生産開始 | トヨタと取引開始 | 取引拡大(国内) |
| 1969 | 自硬性砂回収再生装置 | | |
| 1970 | 5t 低周波誘導炉、コアノックアウトマシン | | |
| 1971 | 機械加工工場・材質試験室設置、FM 型製作所増設 | | |
| 1972 | | 旧ソ連カマズ(トラック)より間接受注 | プレス金型取引拡大(海外) |
| 1973 | エアフロー | 小松フォークリフトより受注開始 | |
| 1974 | 連続ミキサー | | |
| 1975 | NFM 開発・販売 | 現代(ポニー)より間接受注、ホンダエンジニアリング(工作機械)、オークマ(工作機械)より受注 | 工作機械用単品鋳物開始 |
| 1976 | 木型法廃止 | 共和工機と提携、日立精機・ツガミと取引開始 | |
| 1977 | 20t チャンネル炉 | | |
| 1978 | 東静工業設立、大型 NC マシン導入、トヨタから 4S 導入 | | |
| 1979 | 有機自硬性プロセス | | |
| 1980 | 生産・事務用コンピュータ導入 | | |
| 1981 | ジャパンメタル設立、FM 型製作所増設、特高寿変電設備導入、定点注湯・定点解枠・定点造型、集塵システム | | |
| 1982 | 模型 3 次元 NC 加工機導入、FM 型製作所三島工場稼働 | | |
| 1983 | 6T・1T 中周波炉 | | |

付表(つづき) 木村鋳造所における FMC の技術開発・市場開拓の系譜

| 年 | 技術開発 | 市場開拓 | 事業拡大 |
|------|---|--------------------------------------|---------------|
| 1984 | | 日産と取引開始 | プレス金型取引拡大(国内) |
| 1985 | 群馬 FM 工場稼働 | | |
| 1986 | 日程管理システム、浜岡 FM 工場稼働 | 日産(Be-1)受注、サイドパネル受注増 | |
| 1987 | CAD/CAM システム導入 | 日立精機 | 工作機械用産鑄物開始 |
| 1988 | 浜岡工場稼働 | バブル景気で注文殺到、トヨタ(エステイマ)受注 | 大型プレス金型用鑄物開始 |
| 1989 | NFM 鑄造法量産物生産開始 | | |
| 1990 | 土肥 FM 工場稼働、開発室新設 | | |
| 1991 | Q1 室新設 | | |
| 1992 | 発泡成形による量産模型製作 | | |
| 1993 | | | |
| 1994 | 群馬 FM 新工場稼働 | フォードから間接受注 | |
| 1995 | | | |
| 1996 | 模型部門の CAD/CAM 全社展開 | | |
| 1997 | 浜岡第二工場新設 | | |
| 1998 | | KSCD800 シリーズ販売開始、ベンツから間接受注 | |
| 1999 | PC の CAD/CAM システム、新生産管理システム、横圧着機 | | |
| 2000 | 塗型剤、浜岡加工工場稼働、ジャパンメタル ISO9002 取得、縦圧着機、自動測定器、NF 生産拡大 | | |
| 2001 | 本社工場・本社・群馬 FM 工場 ISO9002 取得、東静工業伊豆 FM 工場稼働、三島工場・土肥 FM 工場閉鎖、浜岡工場に 25t 電気炉、流動砂、湯流れ・凝固シミュレーション | 日立プラントより丸もの鑄物受注、ソリッドデータの販売開始(富士テクニカ) | 産業機械用鑄物開始 |

付表(つづき 2) 木村鋳造所における FMC の技術開発・市場開拓の系譜

| 年 | 技術開発 | 市場開拓 | 事業拡大 |
|------|---|------|----------|
| 2002 | ISO9001 の 2000 年度版へ移行完了、浜岡工場・ジャパンメタル ISO14001 取得、 模型生産方法の完全デジタル化 | | 工作機械取引拡大 |
| 2003 | 分析走査電子顕微鏡、スラリー工場稼働、ステンレス製品本格生産、グループウェア稼働 | | |
| 2004 | ISO9001:2000 年度版の全社統合、プロジェクト EX によるプレス金型構造知識習得、過去最高売上高 | | |
| 2005 | OSHMS への取り組み開始、FC・FMC 増産体制確立 | | |
| 2006 | 土肥設計事務所設立、テレビ会議システム | | |

出所：木村鋳造所 80 年のあゆみ(2007)に基づき作成。

謝辞

本稿は昨年 7 月にスタートした組織学会の研究企画「実務家と研究者の連携プロジェクト」(通称「実プロ」)にて実施された株式会社木村鋳造所との共同研究の成果である。研究成果の一部は、2012 年 10 月 20・21 日に国土館大学にて開催された 2013 年度組織学会年次大会で富田・高松(2012)として発表され、本稿はそれを大幅に加筆修正したものである。本稿執筆にあたっては、株式会社木村鋳造所の木村博彦様(代表取締役会長)、木村智昭様(取締役副会長)、木村寿利様(代表取締役社長)、斉藤正勝様(専務取締役)、木村彰秀様(専務取締役)、川井国光様(常務取締役)、木村崇様(常務取締役)、菅野利猛様(取締役開発部長)、金原昌浩様(取締役 FM 部長)、滝口好克様(技術顧問)をはじめ、同社の皆様に大変お世話になった。また、その他多くの鋳造産業関係者の皆様にヒアリングさせていただいた。一人一人お名前を挙げさせていただくことは控えさせていただくが、調査にご協力いただいた関係者の皆様に心より御礼申し上げる。

またこのような貴重な研究機会を与えていただいた高橋伸夫教授(東京大学)、河野英子教授(東京富士短期大学)、共同で企業調査させていただいた高石光一教授(大東文化大学)、宮崎正也准教授(名古屋大学)に心より御礼申し上げます。

参考文献

- Adner, R. (2002). When are technologies disruptive? A demand-based view of the emergence of competition. *Strategic Management Journal*, 23, 667-688.
- Christensen, C. M. (1997). *The Innovator's Dilemma: When New Technologies Cause Great Firms to Fail*. Boston, MA: Harvard Business School Business School Press. 邦訳, クレイトン・M・クリステンセン (2000) 『イノベーションのジレンマ: 技術革新が巨大企業を滅ぼすとき』 玉田俊平太監修, 伊豆原弓訳. 翔泳社.
- Christensen, C. M. (2006). The ongoing process of building a theory of disruption. *Journal of Product Innovation Management*, 23, 39-55.
- Christensen, C. M., Anthony, S. D., & Roth, E. A. (2004). *Seeing What's Next: Using the Theories of Innovation to Predict Industry Change*. Boston, MA: Harvard Business School Business School Press. 邦訳, クレイトン・M・クリステンセン, スコット・D・アンソニー, エリック・D・ロス (2005) 『明日は誰のものか: イノベーションの最終回』 宮本喜一訳. ランダムハウス講談社.
- Christensen, C. M., & M. E. Raynor (2003). *The Innovator's Solution: Creating and Sustaining Successful Growth*. Boston, MA: Harvard Business School Business School Press. 邦訳, クレイトン・M・クリステンセン, マイケル・E・レイナー(2003) 『イノベーションの解: 利益ある成長に向けて』 玉田俊平太監修, 櫻井裕子訳. 翔泳社.
- Christensen, C. M., & R. S. Rosenbloom (1995). Explaining the Attacker's Advantage: Technological Paradigms, Organizational Dynamics, and the Value Network. *Research Policy* 24(2), 233-257.
- Daneels, E. (2004). Disruptive technology reconsidered: A critique and research agenda. *Journal of Product Innovation Management*, 21, 246-258.
- David, P. A. (1985). Clio and the Economics of QWERTY. *The American Economic Review*, 75(2), 332-336.
- Dieter, H. B., & Paoli, A. I. (1968). Sand without binder for making Full Mold Castings. *The British Foundryman*, 61, 413-427.
- Droege, S., & Johnson, N. B. (2010). Limitations of low-end disruptive innovation strategies. *The International Journal of Human Resource Management*, 21(2), 242-259.

-
- Dyer, J., Gregersen, H., & Christensen, C. M. (2011). *The Innovator's DNA : Mastering the Five Skills of Disruptive Innovators*. Boston, MA: Harvard Business School Business School Press.
邦訳, ジェフリー・ダイアー, ハル・グレガーセン, クレイトン・M・クリステンセン(2012)『イノベーションのDNA : 破壊的イノベータの5つのスキル』櫻井裕子訳. 翔泳社.
- Foster, R. N. (1986). *Innovation: The Attacker's Advantage*. New York: Summit Books. 邦訳, リチャード・N・フォスター (1987)『イノベーション : 限界突破の経営戦略』大前研一訳. TBSブリタニカ.
- Govindarajan, V., & Kopalle, P. K. (2006). The usefulness of measuring disruptiveness of innovations: Ex post in making ex ante predictions. *Journal of Product Innovation Management*, 23, 12-18.
- 藤本隆宏, 桑嶋健一 (2002)「機能性化学と 21 世紀の我が国製造業」機能性化学産業研究会 編『機能性化学』 pp. 87-143, 化学工業日報.
- 藤本隆宏, 桑嶋健一 (2009)『日本型プロセス産業』有斐閣.
- 藤原雅俊, 積田淳史 (2009)「木村鋳造所 ITを基軸とした革新的フルモールド鋳造システムの開発」(IIRケーススタディCASE#09-03). 一橋大学イノベーション研究センター.
- Henderson, R. (2006). The innovator's dilemma as a problem of organizational competence. *Journal of Product Innovation Management*, 23, 5-11.
- 池永明 (2011)「消失模型鋳造法(EPC・FMプロセス)概論および最新の動向(中国EPCの台頭)」『平成23年度素形材技術研修講座テキスト : 消失模型鋳造法』素形材センター, pp. 3-2.
- 加山延太郎 (1985)『鋳物のおはなし』日本規格協会.
- 管野利猛 (2004)「フルモールド用模型製作技術の変化と製品例」『鋳造工学』76(8), pp. 671-678.
『木村鋳造所80年のあゆみ』(2007) 木村鋳造所.
- 近能善範, 高井文子 (2010)『コア・テキスト イノベーション・マネジメント』新世社.
- Leonard-Barton, D. (1995). *Wellsprings of Knowledge*, Boston, MA: Harvard Business School Business School Press. 邦訳, ドロシー・レオナルド・バートン (2001)『知識の源泉』阿部孝太郎, 田畑暁生訳. ダイヤモンド社.
- Markides, C. (2006). Disruptive innovation: In need of better theory. *Journal of Product Innovation Management*, 23, 19-15.
- 松島茂 (2009)「技術選択こそ企業成長の要」伊丹敬之・東京理科大学MOT研究会編著『日本の技術経営に異議あり』日本経済新聞出版社, 第4章, pp. 126-155.
- 宮崎正也 (2000)「価値ネットワーク」高橋伸夫編『超企業・組織論』第17章, pp.183-192.
- 宮崎正也 (2012)「工程版バリュー・ネットワークと経営戦略の展開プロセスー木村鋳造所の事例研

-
- 究一」『組織学会2013年度年次大会報告要旨集』2012年10月20・21日, 国士舘大学, pp.127-136.
- 中江秀雄 (1995)『鑄造工学』産業図書.
- 日本鑄造工学会編 (2002)『鑄造工学便覧』丸善.
- 大神正道 (2005)「「共同幻想」としてのS曲線ーガラス成形技術の発展過程の事例ー」『2005年度組織学会研究発表大会報告要旨集』2005年6月18・19日, pp. 187-190, 横浜国立大学.
- Schmidt, G. M., & Druehl, C. T. (2008). When is a disruptive innovation disruptive? *Journal of Product Innovation Management*, 25, 347-369.
- Schmidt, G. M., & Van Orden, J. (2012). High-end encroachment patterns of new products. *Journal of Product Innovation Management*, 29, 715-733.
- 『素形材年鑑(平成22年版)』(2011) 素形材センター.
- 高石光一 (2012)「経営革新を促進する従業員行動に関する研究ー組織の経営革新支援, 管理者の変革型リーダーシップ, 個人のプロアクティブ・パーソナリティへの影響についてー」『2013年度組織学会年次大会報告要旨集』2012年10月21・22日, 国士舘大学, pp.137-143.
- Takahashi, N., Shintaku, J., & Ohkawa, H. (2013). Is technological trajectory disruptive? *Annals of Business Administrative Science*, 12, 1-12.
- 高橋伸夫編, 東京大学ものづくり経営研究センター著 (2005)『170のkeywordによるものづくり経営講義』日経BP社.
- 高松朋史, 富田純一 (2012)「鑄造産業における破壊的工工程イノベーションのメカニズム〜フルモールド鑄造法の事例」『JOMSA第4回全国研究発表大会論文集』2012年6月1日, 東洋大学.
- 田村尚巳 (2001)『フルモールド鑄造法 技術教本』木村鑄造所.
- Tellis, G. J. (2006). Disruptive technology or visionary leadership? *Journal of Product Innovation Management*, 23, 34-38.
- 富田純一, 高松朋史 (2012)「破壊的工工程イノベーションと経路依存性」『2013年度組織学会年次大会報告要旨集』2012年10月21・22日, 国士舘大学, pp.117-126.
- Tushman, M. L., & Anderson, P. (1986). Technological discontinuities and organizational environments. *Administrative Science Quarterly*, 31, 439-465.
- Utterback, J. M. (1994). *Mastering the Dynamics of Innovation: How Companies Can Seize Opportunities in the Face of Technological Change*. Boston, MA: Harvard Business School Business School Press. 邦訳, ジェームズ・M・アッターバック (1998)『イノベーション・ダイナミクス: 事例から学ぶ技術戦略』大津正和, 小川進監訳. 有斐閣.
- Utterback, J. M., & Acee, H. J. (2005). Disruptive technologies: An expanded view. *International Journal of Innovation Management*, 9(1), 1-17.

ヴェ・ア・オゼロフ, ヴェ・エス・シュリヤーク, ゲ・カ・プロトニコフ(1971)「最新フルモールド法の理論と実際」新日本鑄鍛造協会.