

GRADUATE SCHOOL OF BUSINESS ADMINISTRATION

KOBE UNIVERSITY

ROKKO KOBE JAPAN

Current Management Issues

専門職学位論文

技術のモジュール化と転用の理論

2005年8月19日

神戸大学経営学研究科

谷武幸研究室

現代経営学専攻

学籍番号 046B255B

氏名 松永 好弘

第1章 序論	4
第2章 技術のモジュール化理論	6
第1節 モジュール設計の概念と技術のモジュール化理論	6
第2節 製品開発における知識転用	8
第3章 研究の概要	10
第1節 比較事例分析による仮説の考察	10
第2節 参与観察による仮説の例証	11
第4章 事例分析1：分割コア式モータ技術のモジュール化	12
第1節 分割コア式モータ技術	12
第1項 電気モータの市場	12
第2項 電気モータ技術	12
第3項 分割コア式モータ技術とその意義	13
第2節 二つの画期的な分割コア式モータ技術	14
第1項 ポキポキ方式と α 方式	14
第2項 ポキポキ方式と α 方式の製品開発の歴史	14
第3節 分割コア式モータ技術のモジュール化	15
第1項 ポキポキ方式の転用	15
第2項 転用された技術モジュール	17
第4節 ポキポキ方式と α 方式開発プロセスの比較	18
第1項 開発コンセプト	18
4.4.1.1 ポキポキ方式の開発コンセプト	18
4.4.1.2 α 方式の開発コンセプト	19
第2項 組織	21
4.4.2.1 ポキポキ方式の開発組織	21
4.4.2.2 α 方式の開発組織	22
第3項 開発技術	23
4.4.3.1 ポキポキ方式の開発技術	23
4.4.3.2 α 方式の開発技術	25
第4項 技術の名称	26
第5節 事例の分析	26
第5章 事例分析2：	
油圧式掘削機用油圧ポンプ開発技術の転用による油圧モータの開発	32
第1節 国産初油圧式掘削機用油圧ポンプの開発	32
第1項 1960年代の油圧式掘削機市場と油圧機器開発	32
第2項 国産油圧ポンプの開発	33
第3項 独自技術による開発の失敗	33
第4項 ティアダウンによる技術の転用	34
第5項 VTOプロジェクト	35
第2節 油圧ポンプ技術の転用による油圧モータの開発	36
第1項 油圧式掘削機用新型ポンプの開発	36

第2項 油圧式掘削機旋回用油圧モータの開発	
第3項 油圧ポンプ技術の転用プロセス	37
第3節 事例の分析	38
第1項 あだ名の活用	39
第2項 技術モジュールの転用	40
第3項 組織変革	41
第4項 顧客企業から見た技術モジュールの転用	42
結章	43
第1節 結論	44
第2節 インプリケーション	44
参考文献	44
図表	44
	49

第1章 序論

技術革新が技術の蓄積から創出される¹ ということは、技術革新のみならず、一般的な製品開発全般についても理解できる事実である。製品開発が積み重ねであるということは、過去に発明された技術の利用によって、製品開発を効率化する可能性を示唆している。そのための科学教育や工学教育といった、知識教育は意義があると考えられる。

しかし、実際の製品開発プロセスについて注意深く考えた場合、開発の現場で利用されている知識は、教育現場で用いられる知識体系の枠組みとは異なる。知識はその開発分野に特化した形で体系化され利用されている。例えば、クーロン力²という物理概念がある。化学製品開発の分野では化学反応を説明するために用いられ、機械製品の開発では金属の強度などを説明するために使われる。電気製品の開発においては電磁気の作用の説明などに用いられる。いずれもクーロン力の本質的な説明としては変わっていないが、製品開発の文脈の中で理解され用いられる。このような知識の体系化は、ある開発分野に必要な科学技術を効率的に理解することを促す。

こうした知識の体系化は、技術が知識として文脈の中で理解されていく過程を想起させる。このアイデアを製品開発の現場にあてはめて考えると、ある製品開発に利用された技術が体系化され、その製品のみならず比較的類似の他の製品開発に利用されている可能性が予測できる。開発された技術そのものの価値に加え、開発途上の失敗や成功のデータとその技術を支える周辺技術には重要な価値がある。一方、体系化されていない単独の技術はそれ自身がいかにかユニークで新しくとも、単独では価値を生み出さないことがある。例えば20年以上前から注目されている超伝導³の技術も、単独の技術としては優れているが、それを使うための周辺技術の開発が追従しておらず、技術の生み出す価値という意味ではまだ評価できる段階にはない。このように製品開発における技術は、単独の知識としての価値ではなく、体系化された知識としての価値が重要である。体系化された技術だからこそ価値を生み出すことができるといえる。

しかし、実際の製品開発現場において、ある製品に開発された技術を他の製品に転用することは、それほど簡単なことではない。まず、他の製品の技術をそのまま転用できないという本質的な問題がある。体系化された技術は多岐にわたり伝達が難しい。(青島・延岡, 1997) また、こうした知識移転に関する本質的な問題に加え、技術を開発した組織がその技術を他の製品開発に転用しようとしても、転用を受ける側の製品開発組織にそれを受けようとする意思がなければ、転用は実現しないという問題がある。技術を開発した組織にも転用を受けようとする組織にも、それぞれが保有する既存技術がある。こうした既存技術に対する信頼や自負は、他の技術を受け入れる際の障壁となる。特に転用を受ける側の組織が持つ意識は重要である。新しい技術を受け入れることもあるが、多くのケースでは新しい技術に心理的な拒絶反応を示す。技術の転用には技術的な問題点は勿論、開発組織を構成する人員の

¹ 平成15年度 製造基盤白書(ものづくり白書) 経済産業省製造産業局 参事官室

² シャルル・ド・クーロンが発見した電磁気学の基本法則。荷電粒子間に働く力。

³ ある種の金属・半導体・有機伝導体などを絶対零度(セ氏-273度)近くまで冷やしていくと、ある温度(臨界温度)で電気抵抗が急に零になる現象。1911年、カマリング=オネスが水銀で発見したのが最初。

心理にも問題がある。こうしたいくつかの障害を乗り越えなければ、技術の転用は難しいのが現実である。このため技術を転用するためにはいくつかの問題を解決する工夫が必要である。つまり製品開発によって開発された技術を転用している企業には、独自の仕組みがあることが考えられる。この仕組みについて、具体的な事例について考察し、製品開発に活用できる知見を得ることが本稿の目的である。

第2章 技術のモジュール化理論

第1節 モジュール設計の概念と技術のモジュール化理論

製品の構造や開発プロセスをモジュールという概念を使って説明するアプローチとしては **Baldwin and Clark(2000)**の主張がある。 **Baldwin and Clark** の主張では、システム全体を定義する概念をデザイン・ルールとし、設計段階からプロセスまでを統括する概念における、モジュール化の役割について説明している。モジュールは全体システムを構成する一部であると定義し、モジュールの設計者はシステムのインターフェースを定義するデザイン・ルールに従うことにより、モジュール単位で独立して設計が行うことが可能であるとしている。つまりシステムの統合的開発と分散的開発という二律背反する開発体制をバランス良く実現する方法として、モジュール化の概念を論じる。また、一方で統合されたシステムの一部でありながら、モジュールには独立性があることを証明し、モジュール単位で操作可能であるとして、実際の操作についてはモジュール化オペレータ⁴ を定義し説明している。こうした説明は、製品開発の仕組みが過渡的状态から安定的な状態へ移行した後の静態的説明であり、モジュール化の一般的な概念の説明や、既に完了したシステム開発や設計のプロセスの説明としては優れているが、進行中の製品開発における戦略を立案する実務的視点については十分であるといえない。現象を分析する手法としては優れているが、現象の変化に対応して、将来の戦略を考えるフレームワークとしての機能は不十分である。現状の変化により将来が変化するカオス的な挙動を示す技術やシステムの開発実務に応用するためには、開発組織が変化する過渡的状态における動的な説明や分析による具体的なフレームワークが必要である。

また **Baldwin and Clark** によれば、システムのデザインルールはユーザーニーズにより決定され、製造などのプロセスはモジュールのデザインルールに依拠するとしている。つまり、デザインルールはユーザーニーズに従い、生産プロセスなどの資源や組織の仕組みはデザインルールに従属し変化すると主張する。しかし、企業経営の観点から考えた場合、製品開発において企業の保有する生産プロセスや資源よりもユーザーニーズが優先されるという主張は製品開発のある側面を強調しすぎている感がある。結果的に見ればプロセスがユーザーニーズに優先されることはないが、現実の製品開発においては、ユーザーニーズの充足と資源の活用を最適化する努力がされていることは事実である。こうした議論は製品開発のプロセスの分析を動的な視点により行うか、静態的な分析視点により行うかの視点の取り方によって異なる。この点は、 **Baldwin and Clark** の主張が現象を説明するための静態的理論になっているという本稿の主張を裏付けている。

また、 **Hippel(1994)**はイノベーションには「ニーズ情報」と「技術情報」が必要であり、イノベーションは情報の粘着性が高いところに発生すると主張している。この場合のニーズ情報は、ユーザーニーズ情報に限定されたものではなく、そのイノベーションに期待される期待値のことを指す。この主張におけるイノベーションを製品開発⁵ と読み換えて考えると、製品開発には「ニーズ情報」と「技術情報」が必要であるといえる。製品開発が

⁴ 具体的には分離、交換、追加、削除、抽出、転用のオペレータを定義している。

⁵ イノベーションは製品開発の中でも不連続な製品開発と定義でき、プロセスについては同様に考えられる

連続的な製品開発であるならば、その開発に用いられる「ニーズ情報」と「技術情報」も連続的な価値の変化を示す可能性が高いと考えられる。また「ニーズ情報」または「技術情報」が不連続と言えるような変化をしたとすれば、製品開発も不連続なものとなり、いわゆる革新的な製品開発であるといえる。このように製品開発における「ニーズ情報」と「技術情報」果たす役割は大きい。このような「ニーズ情報」と「技術情報」の利用について考えた場合、あるシステムにおける製品開発において獲得した「ニーズ情報」と「技術情報」は、他のシステムの連続的と考えられる類似性を持った製品開発に対して「ニーズ情報」と「技術情報」として、転用可能であるというアイデアが考えられる。

こうした転用について **Baldwin and Clark** は、モジュール化の概念におけるオペレータの説明の中で「転用」という概念を定義し説明している。転用は、あるシステムを構成するモジュールが他のシステムにモジュールとして利用されることであり、その過程においては翻訳システムが働くと論じられている。あるシステムのモジュールが他のシステムのモジュールとして転用される場合は、翻訳モジュールが設計され、モジュールの翻訳が行われる。この場合、**Baldwin and Clark** が考えるモジュールは、部品やソフトウェアのような、システムの一部を指しており、本稿において主張する「技術モジュール」のようなモジュールを設計するための「ニーズ情報」や「技術情報」ではなく、こうした情報が既に転写されたモジュールそのものの転用である。しかし、実際の製品開発においては、技術やプロセスは重要な「技術情報」であり、戦略的な製品開発においては、資源としての価値と制約条件の両面から考慮されなければならない。また、**Baldwin and Clark** は転用には翻訳システムが必要であるとしているが、この場合の翻訳システムは、モジュールをある仕組みとルールに従って翻訳する仕組みであることであると説明し、その具体例として、C 言語とCコンパイラを挙げている。しかし、こうした唯物論的説明では、本稿で主張する転用における組織の作用を説明することは難しい。製品開発における「ニーズ情報」や「技術情報」を他のモジュールに転用するために翻訳するという仕組みは、**Baldwin and Clark** が翻訳システムの例として示しているような、C コンパイラのような唯物論的かつ静態的な作用では説明できない。翻訳には組織能力や仕組みが重要であり、より動的な視点で分析しなければ明らかにはならない。

以上のように本稿においては、**Baldwin and Clark** が論じているモジュールと転用の概念を動的な視点から見直し、これまで十分論じられていない製品開発における技術の転用について、「技術のモジュール化」の概念を定義し説明を試みる。「技術のモジュール化」の概念は、体系化された技術が製品開発プロセスにおいて、モジュール化⁶された部品のような役割を果たすというものである。モジュール化された部品はインターフェースのパラメータを調整することにより、他の製品開発に転用が可能である。（**Baldwin and Clark, 2000**）同様に製品開発の技術も体系化され、技術群としてモジュール化されることにより、転用が容易になるという仮説を論証する。本稿では体系化された技術を「技術のモジュール化」と定義し、技術モジュールが転用されるメカニズムについて考察する。また、モジ

⁶ 『一つの複雑なシステムまたはプロセスを一定の連結ルールに基づいて、独立に設計されうる半自律的なサブシステムに分解することを「モジュール化」、ある（連結）ルールの下で独立に設計されうるサブシステム（モジュール）を統合して、複雑なシステムまたはプロセスを構成することを「モジュラリティ」という。』（青木・安藤，2002，pp. 5-6）

ジュール化された技術は転用されることにより価値を生み出すが、転用においては部品モジュールと同様にモジュールが持つインターフェースとパラメータが重要な役割を果たすと考える。くわえて転用を実現するためには組織の問題など解決しなければならない問題が多い。こうした複雑なプロセスを比較事例分析により具体的に考察し、さらに参与観察を用いた事例分析により例証を行う。

第2節 製品開発における知識転用

本稿において研究対象としている組立型産業の製品開発プロセスに関する研究については、自動車産業を中心としていくつかの研究がある。大きな議論の流れを把握するため Clark and Fujimoto(1991)の製品開発のプロセスに着目した研究と、その理論にマルチプロジェクトの観点を加えて発展させた青島・延岡(1997)の研究をレビューする。

Clark and Fujimoto(1991)は、製品開発の分散と統合という課題に対する解決方法として、部品のモジュール化概念を用いて製品開発プロセスの観点から説明している。この概念では、部品という実体に技術情報が転写されており、企業間の製品開発における情報の流通が部品というモジュールを通じて行われていると述べている。しかし、こうしたアイデアは企業間取引と知識を中心に論じられており、企業内の製品開発については、重量級PMなどの概念を用いて組織論を中心として説明している。組織間の知識転用の問題が企業間と企業内部で分けて論じられており、組織間の知識の転用については論じられていない。Clark and Fujimotoの説明では、知識の転用についての説明は、主として重量級PMの機能を中心に論じ、技術の転用については、人の作用を中心に説明している。こうした主張は、既に仕組みのできている組織内における現象について着目しており、どのようなプロセスにより、そうした仕組みができるかという動的側面については論じていない。

一方このような「プロセス・アプローチ」の中で知識移転に注目し、実証的研究を行ったのが「マルチプロジェクト・アプローチ」である。青島・延岡(1997)は製品開発プロセスで得た知識を他の製品開発プロジェクトへ転用するという理論として、プロジェクト知識の概念について論じている。プロジェクト知識はいくつかの平行して進行するプロジェクト間の知識の移転・蓄積に関して、人的移転型プロジェクト連鎖と時間的オーバーラップ型プロジェクト連鎖という二つの方法論を提示している。しかし、この主張ではプロジェクト知識は複雑であり、転用⁷される過程においても複雑な体系を保持して転用されるとしている。しかし、実際に知識が転用されるプロセスにおいて、複雑な体系をそのまま転用することは難しい。青島・延岡は複雑な知識が転用されるプロセスにおいて、組織や人の介在で複雑な知識体系が転用されるという重量級PMに近い主張を行っている。しかし、この主張に、知識体系があるインターフェースを持ってモジュール化され、転用可能な体系に整理されていると考える「技術のモジュール化」のアイデアを加えれば、より多くの事例を説明できると考える。

例えば、製品開発においては、先行企業の製品をリバースエンジニアリングすることにより、製造工程や設計パラメータなどがある程度まで解析できる。これは製品に体系化された知識が転写されているために可能になる。製品が持つインターフェースから、必要な情報を獲得することによりデザインルールの解析が可能となり、組織や人の介在は必要な

⁷ 青島、延岡の主張では移転と呼んでいる。

い。競合する2つの企業が他社の製品をリバースエンジニアリングし、知識を得ることはプロジェクト知識を得られたことと同義である。勿論、知識を得るためには Cohen and Levinthal(1990)が主張する吸収能力 (Absorptive Capacity) が必要であり、擬似的にはリバースエンジニアリングを行う企業の中にも、オリジナル企業と同様の複雑な知識体系が存在するはずであるが、それらは移転されたものではない。しかも製品から直接得られる情報は断片的であり、体系化されていない。製品に刷り込まれた知識を体系化するのは、組織が持つ吸収能力である。この組織が持つ吸収能力は筆者が主張する転用のメカニズムの一つである。つまり知識や技術は人や組織を介在しなくても転用できる性質を持っている。このモジュールとしての可搬性に関する考察が、技術のモジュール化の理論が他の知識移転に関する議論と大きく異なる部分である。

本稿の主張する技術のモジュール化と転用のメカニズムは、組織の仕組みなど一面的な現象分析だけでは説明できない、実際的な知識の転用のメカニズムを、実証的に分析することによって説明が可能となる。本稿においては、技術モジュールの持つ特性と、それを転用する仕組みを明らかにし、多面的に技術モジュールの転用について論じる。

第3章 研究の概要

第1節 比較事例分析による仮説の考察

具体的な研究の方法としては、技術のモジュール化と転用が行われた事例と行われなかった事例について比較事例分析を行い、転用が行われる条件について考察し仮説について具体的に論じる。分析する事例は1990年代における電気機器メーカーX社とZ社の分割コアモータの製品開発である。この二つの事例は、比較事例研究を行うために、理論的にサンプリングし事例として選択した。(金井,1990)

モータの製品開発を、仮説を論じるための事例分析のテーマとして選んだ理由は3つある。その中で理論的サンプリングの背景は2つである。第一の理由は、開発時期の共時性である。両社は同時期に同じ思想の製品開発を異なる方法で実現しており、なおかつ明らかに技術の転用が行われた事例と技術の転用が行われていない事例として対比することができる。しかも両社は製品が公開されるまでお互いの製品開発を知らなかった。このことは両社の製品開発の独自性を裏付けるものである。本稿の論旨は技術のモジュール化と転用について述べることである。製品が開発され技術が転用される過程を観測し、プロセスを比較分析することにより、技術のモジュール化と転用について論述可能であると考えられる。製品開発のプロセスにおいて、このように製品開発のプロセスが比較可能な条件が揃った事例は少ない。例えば最先端の製品開発であれば、競合企業同士は互いに競合企業の動向を調査し合うため、製品開発プロセスは競合企業間において影響し合う部分があり、製品開発が純粋に独立して進むことは少ない。今回選択した事例は、比較的完成された技術分野の製品開発であり、開発競争という意識の低い製品開発であるため、他社の開発動向に関する情報も入手しにくい状況であった。このため両社が互いに影響せず、独立した製品開発が行われたと考えられる。

第二の理由は分割コアモータの開発が不連続な製品開発であり、その製品開発プロセスを時間軸上で分離して分析することが可能である。このため分析しなければならない時間軸の範囲が限定的であり、分析に伴う範囲に関する定義の困難性が低い。

第三の理由は理論的サンプリングの理由ではないが、X社のモータ開発については、既に先行事例分析(軽部・小林, 2004)があり、これに技術者の視点を加えた複眼的な分析を加えることは、今後の研究に対しても有益であると考えたためである。

比較事例分析における組織現象の属性としては、開発コンセプト、開発組織、開発技術、技術の名称を挙げて分析した。これらの属性を対比することにより、技術モジュールの転用が行われた事例と行われていない事例における違いから考察を行う。

調査については、論文等の資料による調査と、開発者への質問票調査及びインタビューを実施した。インタビュー時間はZ社の開発者へのインタビューが約2時間、X社の開発者へのインタビューは約6時間に及んだ。インタビューは質問票に沿った形で半構造化して実施した。その後、Z社とX社の開発者に同席いただき、4時間程度インタビューを実施した。

なお、本比較事例分析は、技術モジュールの転用過程を比較分析により明らかにするものであり、製品開発の巧拙を論じるものではない。事例の記述にあたっては、予断を排除するために仮名を用いて記述する。また、記述における誤りの責任は全て筆者に帰するものである。

第2節 参与観察⁸による仮説の例証

仮説の例証については、油圧式掘削機用油圧ポンプ開発技術の転用による油圧モータの開発プロセスを分析し、論証された仮説の妥当性を例証する。仮説の例証において、本事例を例証の事例とした理由は2つある。まず、第一に仮説について考察した事例分析1が組織外部からの観察であるのに対して、この事例では組織内部から観察することが可能であり、より深く広範かつ長期間に渉り製品開発における技術のモジュール化と転用のプロセスを観察することが可能であるためである。このことは導出された仮説の正当性を補強するのみならず、より深いレベルの現象や仕組みを観察することができる。第二に事例の信憑性を複数のインタビューや内部資料、結果などから検証することが可能であり、例証としての信頼度が高い。

調査については文献調査に加え、事例で記述している全期間を通して開発に従事していた技術者にインタビューを実施した。インタビューは半構造化したインタビューを中心に1回あたり3時間程度のインタビューを4度実施した。その他、開発リーダーに1時間程度、モータ開発者に1時間程度、ゲートキーパー⁹と考えられる技術者に1時間程度インタビューを実施した。こうした調査データに、筆者がこれまで業務を通して見聞した情報や体験を加えた。筆者の見聞や体験については、インタビューを通じて第三者に真偽を確認いただき、同意の得られなかった見聞や体験については、データとしての採用を見送った。

⁸参与観察による事例分析については佐藤（1992）を参考にした。

⁹ゲートキーパーはAllen(1977)が提案する、開発組織において情報の流通を担う人材のことである。ゲートキーパーは、情報をさまざまな情報源から収集し、組織の中で適切な人材へ伝達を行う。しかし、ゲートキーパーは必ずしも公式に情報を統括する職制にあるわけではないが、組織の中の非公式な社会構造とは良好なつながりを持つ人材である。

第4章 事例分析1：分割コア式モータ技術のモジュール化

第1節 分割コア式モータ技術

第1項 電気モータの市場

電気モータの用途は様々である。家庭用であれば、洗濯機、エアコン、冷蔵庫、AV機器など多くの製品において使われている。例を挙げるなら、自動車に使用されているモータは、高級車であれば200個/台、大衆車でも100個/台が使用されている。¹⁰ 確かに思い浮かぶだけでもパワーウィンドウ、アンテナ、CDプレーヤーやナビゲーションシステムなど多く使われている。一般的な馴染みは薄いですが、産業用にも電気モータは多数使われている。経済産業省の生産動態統計調査（2003年4月～2004年3月）によれば、電機モータ（回転電気機械）の生産額は6,300億円程度であり、それ程大きい額ではない。しかし、全出荷台数で見ると3億6千100万台である。総務省統計局の調査によれば、2004年12月時点の日本の人口推計は、約1億2千700万人であり、単純に計算すると、1年間の間に全人口が一人平均3台弱のモータを購入しているのと同じ台数が生産されていることになる。更に1台あたりの平均単価を算出すると、約1,765円となる。しかし、この市場をセグメント別に分析すると、交流電動機、サーボモータ、小型電動機（70W以下）に分類され¹¹、それぞれ生産台数の割合では交流電動機が5.5%、サーボモータが0.75%、小型電動機が93.0%となっている。生産額では交流電動機が29.7%、サーボモータが21.4%、小型電動機が48.9%を占めている。これらからそれぞれのセグメントにおける製品の平均単価を算出すると、交流電動機が9,460円、サーボモータが50,121円、小型電動機が921円となる。

このように電気モータの市場は、低価格で流通量の多い小型電動機セグメントと高価格で流通量の少ないサーボモータセグメント、それに比較的低価格である程度需要のある交流電動機セグメントに分類される。こうした市場において、どのセグメントに戦略のターゲットを絞るかは各社の保有する戦略資産や経営戦略によって異なる。

第2項 電気モータ技術

電気モータ技術は、磁界中の導体に流れる電流に生じる電磁力を回転力に変換する技術である。基本となる物理的概念としては、フレミングの左手の法則¹²に則った技術が基本となっている。このため電気モータの基本的な構造は磁石¹³とコイルで構成される。磁石側とコイル側のどちらが回転するかは、電気モータの回転は磁石とコイル間の力の相対的な力の作用によって起こるため、電気モータの構造により変わる。通常、回転する方の機械的要素を回転子、回転しない方の機械要素を固定子と呼ぶ。

また、電気モータはモータに印加される電源の波形によって、分類することができる。これは電気モータの構造にも関係する。電気モータはコイルに印加される電流の方向が連続的に変化することによって回転する。したがって何らかの方法でコイルに印加する電流の制御を行わなければならない。基本的にはモータに印可される電流の方向を制御する方法とモータの中で位相に合わせて電流の方向を切り換える方法がある。電気モータの詳し

¹⁰ この情報はZ社の α モータ（仮称）開発者インタビューにおけるデータである。

¹¹ 分類は経済産業省の生産動態統計調査（2003年4月～2004年3月）に依拠している。

¹² 磁界中の導体に電流を流したときに生ずる電磁力の向きを手の形で表現した法則

¹³ 磁石の代わりにコイルが使われることもある。

い技術については、成書に譲るとして、ここでは電気モータ技術の多様性を強調しておく。本稿に記述されたモータ開発の背景として、電気モータは用途に合わせて様々な構造で構成されていることを知っておくことが必要である。

第3項 分割コア式モータ技術とその意義

分割コア式モータ技術の本質は、コア(固定子)をいくつかに分割し、スロットに対し直接巻線を巻き付けた後、環状に組立てる工法である。分割されたコアは環状ではなく、円弧であるため巻線時に磁極歯に対する接近性が増し、巻線作業が容易になる特徴がある。¹⁴

分割コア式モータ技術の意義は高密度実装巻線を実現したことにある。分割コアの技術が発明される前のコアの巻線は、コアに直接巻き付ける作業が難しいため、事前にコイル状に巻いた銅線をコアのスロットに挿入するという作業を手作業で行っていた。(図1)この作業の問題点は6点ある。第一に既にコイル状に巻いた銅線を挿入しなければならないため、巻いた銅線がコアのスロットより大きく、必要以上に銅線が必要であった。第二に銅線は巻いた後で挿入しなければならないため、巻線密度¹⁵が低く、出力の割に大きなコアが必要であった。当然、コアの材料である珪素鋼板も余分に必要であった。第三にあらかじめコイル状に巻いた銅線を挿入する作業は、機械化が難しいため人手がかかっており、大きなコスト要因となっていた。第四にコアを珪素鋼板より打ち抜きで製作するが、環状のコアはその形状から歩留まりが悪い。第五に異相間コイルの接触があり、構造上相間短絡事故が発生する可能性があった。6点目として銅損の問題が挙げられる。構造的に整列巻ができない従来の巻線方式では、磁界方向の乱れから熱が発生しやすく銅損と呼ばれる効率低下の現象が発生していた。

サーボモータを製造するI社の調査¹⁶では、分割コアの技術を導入することの利点としては、固定子、回転子の体積が40%削減され、小型化することによる材料費の削減が実現できる。磁石の使用量も20~30%削減できる。固定子の材料である珪素鋼板の歩留まりが20~30%改善される。構造的には異相間コイルの接触がなくなり、相間短絡事故が発生しない。しかも自動化が可能となり、大幅にコストダウンを実現することができる。

以上のように、分割コア式モータの技術は、成熟していたと考えられていた電気モータ製造において、新たな潮流を生み出すことになった。しかもこの方式の実現は、異なる2社の電機メーカーにより、ほぼ同時期に異なる方法で行われており、共時性のある製品開発の例といえる。しかし、その後2社の製品開発は全く異なる方向性を示していく。

第2節 二つの画期的な分割コア式モータ技術

¹⁴ 文章による記述ではわかりにくいので、図を使用して説明する。ポキポキ方式や α 方式が生まれる以前のモータは、図1のような形状のコアに対して巻線が行われていた。このコアに対して巻線を自動化することを考えると、電線を誘導する長いノズルをコアの内側に挿入し、磁極歯の周りを回転しながら巻くことになる。しかし、ノズルを挿入するためにはノズルが入り込むスペースが必要となる。つまり図1のような環状のコアの場合、ノズルが入り込むためのスペースが必然的に空間として残ることになる。しかし、磁極歯を巻線後に環状に組み立てるポキポキ方式や α 方式ではこの空間が必要ない。磁極歯に対する接近性とは磁極歯に対するノズルの接近性のことである。

¹⁵ 単位断面積当たりの巻線の数

¹⁶ 筆者が1999年8月11日にインビュー調査した結果にもとづいている。I社はモータ製造の下請け企業として、様々な企業のモータを製造している。

第1項 ポキポキ方式と α 方式

二つの分割コア式モータ技術は、X社による「ポキポキ方式」と呼ばれる技術とZ社による「 α 方式」（仮称）と呼ばれる技術である。両社の技術は分割コア式という分類では同じカテゴリーに属する技術であるが、技術の本質において大きな違いがある。

X社のポキポキ方式は、コアを完全に分離しないところに大きな特徴がある。ポキポキ方式は環状のコアを分割したコアから形成するが、コアを完全に分離せず一部を薄肉で連結している。これによりモータ1台分のコアは直線状に一塊になって巻き線作業が行える。巻き線作業が完了すれば、端の方から折り曲げて環状に組立てることが可能となる。まさにポキポキと組立てるのである。この特徴的な組立作業が技術の呼称となっている。（図2）

薄肉連結方式の利点は大きく2点ある。第一点は、1台分の巻き線作業を連続的に行い、コイル同士の線端を後から接続しなくてよいところである。コアを完全に分離してしまうと、個々のコアに巻かれたコイルの線端を別の工程で接続しなければならない。コイルの線端を連結する作業は複雑な作業である。第二点は、組立性である。ばらばらなコアを集めて組立てる作業は厄介な作業である。薄肉連結しておけば、折り曲げていくだけで形が出来上がる。

一方、Z社の α 方式は、コアを完全に分離する方式である。 α 方式の技術の特徴は、X社が考えた分割コアの問題点を全て正面から解決した点にある。まず、コイル線端の処理の問題については、コア上部に電氣的に絶縁されたピンを2本取り付け、そのピンにコイル線端を巻き付ける。¹⁷その後、コアを集めて組立結合し、その上にプリント基板を乗せる。プリント基板にはコアのピンを接続するための穴があいており、コアのピンはプリント基板上で電氣的に結合される。この工法を採用することにより、自動化を実現している。しかもZ社の巻き線方法はスピンドル巻きと呼ばれる工法を採用しており、コアを回転させながら巻くため、X社が採用しているノズル巻きなどに比べると高速化できる。次に、ばらばらなコアの組立であるが、これについては高精度レーザー固着工法という特殊な溶接工法を開発し、ばらばらなコアを自動的に高精度に溶接できるように技術開発した。（図3）

以上のようにX社とZ社は、分割コアの実現を技術的な目標として設定し、それぞれ別の方法で課題を解決していることがわかる。こうした高度な製品開発が同時期に異なる企業で生まれるところに製品開発競争の実態が観察できる。

第2項 ポキポキ方式と α 方式の製品開発の歴史

同様の時期に同様の技術として開発されたポキポキ方式と α 方式であったが、その後の製品開発においては、全く異なる歴史を辿っている。それぞれ独自で優れた技術を開発し、分割コア式モータ技術を確立したが、技術を確立した後の製品開発の結果が両社で大きく異なっている。

X社はブロック薄肉連結から薄肉連結、逆反り型、関節型、関節円弧型、提灯型へと技術の転用を行いながら、ポキポキ方式の技術をFDDモータ¹⁸、FAサーボモータ、エア

¹⁷ 通常、この作業は「からげ」と呼ばれている。

¹⁸ FDD：フロッピーディスクドライブ

コン用圧縮機モータ，エレベータ巻き上げモータ¹⁹，情報機器モータといった様々なモータに転用している．それに比べてZ社は α 方式の技術をFAサーボモータに特化して適用している．勿論，Z社にも多くのモータ応用製品がある．FDDモータ，エアコン用圧縮機モータ，情報機器モータは製品として保有している．それにも関わらずX社のような技術の転用がされていない．Z社の場合，工法の改善は行われているが，それを他の製品に転用するという事はなかった．この両社の違いの意味するところを考察することが，技術モジュールの転用の仕組みを考察する出発点である．(図4，5)

第3節 分割コア式モータ技術のモジュール化

電気モータを構成する要素は，固定子，回転子，軸，ベアリング，フランジなどに分かれるが，これらの要素の設計パラメータは相互に複雑に関係しており，モジュール化されているとは言えない．このことは，電気モータのデザイン構造マトリックス(Baldwin and Clark,2000)をマッピングすればわかりやすい．(図6)部品同士が相互に依存している関係が理解できる．

ここでモジュール化オペレータ(Baldwin and Clark,2000)の説明の中で述べられている転用について，ポキポキモータ方式の転用の事例を使い，より具体的な形での説明と新たな解釈を試みる．Baldwin and Clarkは転用について，隠されたモジュールが①周囲のシステムに影響される部分と，②影響されない部分に仕切られ，影響されないパラメータの周囲に「シェル」を作らねばならないとしている．更に翻訳モジュールを設計し，他のシステムへの転用が行われるとしている．こうしたアイデアをポキポキ方式の転用プロセスの中で考えるとどうなるだろうか．ポキポキ方式はFDD用モータに始まり，次々と異なる製品のモータ開発の起点となっている．この現象が転用と呼べるのであれば，その実態は何なのか考える必要がある．こうした開発のプロセスを分析するために，製品開発について少し詳しく記述することにする．

第1項 ポキポキ方式の転用

ポキポキモータのアイデアが最初に生まれたのは，FDD用モータの開発であった．まず，ニーズとしてFDDモータの薄型化と低コスト化があり，これが開発目標となる．開発においては開発の初期段階から製造プロセスまでが考慮される生産設計が重視された．このためモータの開発では従来の工法が根本から見直された．まず，固定子の分割が考えられたが，ただ分割しただけではコイル線端末の処理が煩雑となり作業量が増える．また，バラバラの固定子を合わせて固定子を組み立てる工程も組立性や精度に問題があり，採用には至らなかった．²⁰ こうした問題を乗り越えるための製品開発の方向性として，開発グループの中に，できるだけ1体に近い形で巻線を実現した方が良いという開発方針が醸成される．これによって生まれたのが，分割した固定子を薄肉連結しモータを作るというアイデアであった．この方法であれば，連続的に巻線が行え，巻線密度も高められ小型で低コストのFDDモータが開発できた．

¹⁹ 従来のエレベータ巻き上げモータは大きく，建築物のエレベータの上部には機械室と呼ばれる，天井に出っ張った部屋が建築されていたが，X社の薄型エレベータ巻き上げモータが開発されて以来，機械室を持たない建築物が増えた．

²⁰ ここはZ社とX社の大きな違いである．Z社はこの問題に対して製品開発により解決策を生み出している．

この後、2年後に開発されるのが、薄肉連結型ポキポキモータ技術による産業機器用ACサーボモータである。FDDモータとACサーボモータの大きな違いは、固定子の配置にある。FDDモータはFDDの読み取りヘッドが作動するために、固定子が完全な環状ではなく一部が欠損している。一方、ACサーボモータはどの位相でも同じ性能を実現するために、点対称な環状構造となっている。サイズもFDDモータに比較して大きい。ACサーボモータは小さなものでも70mm程度の直径があり、FDDモータに比べて5倍以上の大きさである。転用された技術としては、次に挙げる技術である。

- ・ 1個のモータの磁極歯を全て薄肉連結する。
- ・ 巻線は同時に連続的に巻き、1個のモータを製造する間に途中で切断しない。
- ・ 組立は巻線後、固定子をポキポキ折って成形する。

次にポキポキ方式が転用されるのはエアコン用圧縮機のモータである。圧縮機モータのステータ²¹に用いられるコイルは、線径1mm前後の太いマグネットワイヤである。そのため、薄肉連結型ポキポキ方式の磁極歯に巻線すると、ノズル先端の内径コーナ部でマグネットワイヤがしごかれ、曲がりグセが付きコイルが膨らんだり反りが残留したコイル形状となる。²²そこで、薄肉連結型ポキポキの展開角度をさらに大きくし、真横から巻線が巻けるように、分割された磁極歯を関節構造で連結する関節型ポキポキが考案された。薄肉連結型の巻線方法では、太い巻線が巻けない。これを解決するためには、コイルを巻線の面方向と同じ方向から巻けなければならない制約条件が、新しいアイデアにつながっている。この時、転用された技術としては、次に挙げる技術である。

- ・ 1個のモータの磁極歯を全て連結する。
- ・ 巻線を連続的に巻き、1個のモータを製造する間に途中で切断しない。
- ・ 組立は巻線後、固定子を折って成形する。

次に技術が転用されるのが、エレベータ用巻上機用モータである。エレベータ用巻上機に求められていた性能としては、薄型で省スペースであった。しかし、薄型で従来のモータと同じ性能を実現するためには、巻線の密度を上げるだけでは不十分である。横に長い物を縦に伸ばす必要がある。つまり固定子の直径を従来のものより大きくする必要がある。巻線も太いため、関節型ポキポキ方式が用いられるが、この時問題になるのが大型化への対応である。従来の関節型ポキポキ方式であれば、1つの固定子が円形状のままプレスで打ち抜かれていた。固定子のサイズも比較的小さいため、分割の必要は無かったのである。しかし、エレベータ用の場合、固定子外径は大きく、しかも様々なサイズのものが求められた。この問題を改善するために考案されたのが、関節円弧型ポキポキ方式である。この方式では、固定子をいくつかの円弧に分割し、その円弧単位で巻線を行い、巻線が終わった円弧を集めて組立て1つの固定子を製造する。この方法によれば、様々なサイズのモータに高い生産性で対応でき、多品種少量に対応しなければならないエレベータ用巻き上げ機には向いている。以上のように関節型から関節円弧型へ転用された概念あるいは方法としては次のようなものであると整理できる。

²¹ ステータは固定子の呼び名であり、正式にはステータコアと呼ばれる。コアというのは、ステータコアの略称である。

²² 直感的には太い針金を糸巻きに巻きつける作業と同じである。太い針金を糸巻きに巻きつける場合、糸巻きの真横から巻きつけた方が巻きやすいのと同じ理由である。

- ・モータの磁極歯を連結する.
- ・巻線を連続的に巻く.
- ・組立は巻線後、固定子を折って成形する.

次に技術が転用されたのが情報機器用の薄型スピンドルモータである。情報機器用の薄型スピンドルモータに求められるものとしては、高い生産性である。これを実現したのが提灯型ポキポキモータである。このモータの技術的なルーツは FDD モータへ遡る。簡単に説明すると、ブロック連結型の磁極歯を重ねてプレスで打ち抜き、スプリングのようにコアが接続された状態になっている。複数のモータの固定子をブロック連結型から提灯型へ転用された概念あるいは方法としては次のようなものであると整理できる。

- ・1個のモータの磁極歯を全て薄肉連結する.
- ・巻線を同時に連続的に巻き、1個のモータを製造する間に途中で切断しない.
- ・組立は巻線後、固定子をポキポキ折って成形する.

つまり提灯型の場合はブロック連結型に新しいアイデアを付加したものと言える。

第2項 転用された技術モジュール

ポキポキ方式の技術が転用されていく過程を時系列に分析したが、ここで転用された技術モジュールの本質について考察する。

ブロック連結型から関節円弧型、提灯型の共通点、つまりシェルに守られ、変わらなかつた点を挙げると次の3点である。

- ・モータの磁極歯を連結する.
- ・巻線を連続的に巻く.
- ・組立は巻線後、固定子を折って成形する.

これらの背後には生産性という価値の追求がある。これを実現する方法としてポキポキ方式の転用が行われている。しかし、実際に転用されているのはブロック連結型ポキポキ方式そのものではない。実際に転用されているのは、高い生産性で固定子を生産するための設計思想と生産技術である。より具体的に述べるなら、分割コアの設計思想と巻線機をはじめとする設備技術や生産技術である。しかし、設計思想や設備技術、生産技術を直接転用することはできない。設計思想や生産設備、生産技術は隠された形で転用され、製品として開発された時に具現化されるのである。この設計思想と生産技術が一体となって知識体系が確立されることが技術モジュールの確立であり、それが転用されることが技術モジュールの転用である。勿論、この事例では設計思想と生産技術が技術モジュールにおける隠されたモジュールであったが、必ずしも常にこの二つであるとは限らない。製品特性により、隠されたモジュールは異なる。

次に転用する際の重要なプロセスとして、翻訳についての考察が必要である。技術モジュールの転用における翻訳システムについて考える。まず翻訳のプロセスにおいて実際に何が起きていたのかを検証する。ブロック連結型から薄肉連結型への転用においては、FDDのモータの技術モジュールが産業機器用ACサーボモータの技術モジュールとして転用されている。ここで重要なのは同じモータという機械部品ではあるが、求められる性能やコストが全く異なる点にある。FDDモータには高速・小型といった性能もさることながらコストに対する要求が強い。FDDの市場における競争において、性能面での差別化がしにくい状況でコスト競争に陥っていることが主要因である。一方、産業機器用ACサ

一ボモータに求められるものとしては、コストは勿論であるが、小型・高出力への要求はさらに大きい。通常、産業機器用ACサーボモータは工業用の生産設備などに用いられるため、小型で高性能なものが求められる。コストに関してはどのメーカーのもの使っても大差ないため、1台の生産設備に数台の産業機器用ACサーボモータしか使わないことを考えると、わずかなコスト差よりもより小型で高性能なものの方が設計的制約を回避することが可能となるため、ユーザーはわずかなコスト差であれば小型で高性能なモータを選ぶ。²³ 従って、FDDモータからACサーボモータへの技術モジュールの転用においては、安価というコンセプトに加えて高速・高精度というコンセプトが加えられた。ある意味ではコスト競争力よりも製品競争力を選択したといえる。それに加えて、基本的な条件としてFDDモータより産業機器用ACサーボモータはサイズが数倍大きい。

こうしたいくつかの条件を満足するために技術モジュールが転用され、設計思想の転換と生産技術の導入が行われた。しかし、転用には翻訳システムが必要である。ポキポキ方式が転用される際の翻訳システムは何か。確かにポキポキ方式の開発者はポキポキ方式の技術を広める役割を果たし、実際に開発グループに参画している。しかし、開発は一人ではできない。モータ開発を進めるためには、従来のモータ設計の思想を捨てて、ポキポキ方式の設計思想でモータ開発する組織の意識を醸成する必要がある。また、開発組織の態勢も従来のシーケンシャルな開発組織から、ブロック連結型ポキポキモータが開発された時のような製品開発から生産までが一体化したコンカレント²⁴な開発組織に変革しなければならない。このような変化により、組織の中に技術モジュールの吸収能力と翻訳する能力が育成される。勿論、全ての技術のモジュール化と転用のプロセスにおいて組織が変化するという事は考えられないが、ポキポキ方式の転用における組織の変化は、製品開発において有効な一つの要素を示していると考えられる。ポキポキ方式はモータのデザインルールを変更するだけでなく、開発組織の変更を含んだ業務革新であったとも言える。実際に組織がどのように変化したかについては、次節において詳述する。

第4節 ポキポキ方式と α 方式開発プロセスの比較

次にこうした技術のモジュール化と転用がX社では行われ、Z社では行われなかった理由について考察する。考察にあたっては、4つの属性に分類し分析した。第1が開発コンセプト、第2が組織、第3が開発技術、第4が技術の名称である。

第1項 開発コンセプト

4.4.1.1 ポキポキ方式の開発コンセプト

両社の開発コンセプトの発生プロセスは少し異なっている。X社のポキポキモータ開発は、FDD製造のキーハードであるモータの製造を、事業所内で内製化することを目的として始まっている。背景には、それまで社内の違う事業所で行っていたモータ製造事業から

²³ 筆者も生産技術者として設備の計画を行うが、サーボモータ選定の大きな要素は、サーボモータ単体の性能に加え、シーケンサと呼ばれるコントローラーとの親和性が挙げられる。X社は産業用シーケンサでは、高い国内シェアを獲得しており、サーボモータの売上にも影響を与えていると考えられる。

²⁴ コンカレントエンジニアリングとは、製品およびそれにかかわる製造やサポートを含んだ工程に対し、統合された同時並列的に設計を行おうとするシステムティックなアプローチである。(長坂, 2001)

の撤退があった。したがって開発のニーズとしては、コスト競争力のあるモータの生産を生産設備投資を抑えながら実現するというものであった。これが開発の動機でありニーズであった。

一方、開発の主体となった生産技術センターモータ開発部（仮称）には事業全体を見渡したコンセプトがあった。『生産技術センターは本社機能であり、事業組織ではないため、その存在価値を高めるためには、付加価値の高い技術を生み出さねばならない。』（軽部，小林，2004）このため生産技術センターが掲げる製品開発コンセプトは事業横断的な概念がある。ポキポキ方式の製品開発にあたっては、モータを自社の基幹製品のキーパーツと位置付け、他社製品との差別化のための製品開発を開発コンセプトとした。具体的には技術を知財戦略で守るのみならず、生産設備を開発しノウハウをプロセスの中に作り込み、簡単に真似できない仕組みを作るということである。

こうしたコンセプトを実現するために、生産技術センターの開発者は独自でロードマップを作成した。開発者はポキポキ方式を発明した時点で、適用できる製品をはじめに決めてロードマップを作成したのである。ロードマップの基本コンセプトは生産設計による製品の革新である。勿論、ロードマップを作成した時点で問題点など予測できるはずはなく、ここに開発者の希に見る前向きな性格と先を見る勘の良さが感じられる。このためポキポキ方式の開発にあたっては、生産設計主導で製品の基本構造を変革する製品開発が行われた。背景にはモータの製品開発を諦め、モータを外部から購入することになれば、他社との差別化を実現する一つの手段を失うことになるという考えがあった。こうした事態を避けるために、生産設計によるデザインコストの削減が目標とされた。

以上のような思想のもと、次のような開発方針が立案され、製品の機能向上と生産性向上の両立を狙った開発方針が打ち出された。

- ・製品ごとに基本機能・構造に踏み込んだ生産設計を進める。
- ・製造装置を開発することで徹底した自動化を進める。
- ・ビルトインモータを目指す²⁵

ポキポキ方式ではこの開発方針を忠実に守っている。

ビルトインモータは、モータの機能を他の機能と複合化し、購入部品では真似できない製品構造を生み出すことにある。FDDはFDD内にビルトインされ、エアコン用のモータは圧縮機やタンクと一体化されている。エレベータ用の巻き上げモータは、ブレーキが内蔵されている。その他多くのポキポキモータはビルトインされ、他社が真似しにくい構造による小型化・高付加価値化を実現している。

4.4.1.2 α方式の開発コンセプト

1990年代の初めに、Z社はモータ事業において大きな戦略転換を行う。それまで主力であった月産100万台単位の低付加価値大量生産のモータから付加価値の高いサーボモータの生産に事業の重心をシフトする戦略を打ち出した。この戦略が具現化されたのがαモータの開発であった。αモータの開発に際しては、Z社内部の事情として以下のような制約

²⁵ ビルトインモータという思想は、モータが使用されるシステムの中に組み込んでしまう思想である。但し、汎用サーボは汎用であるという製品の性格上この開発方針を適用できなかった。

条件があった。

- ・ 2 番手メーカーであり、大きな投資をする余力がない
- ・ 求めるモータの製造ラインは高い歩留まり、高い生産速度、低投資

Z 社の α モータ開発は、こうした制約条件の元でのモータ技術の確立が目標であった。マーケットニーズとしては、実装機やロボットに代表される産業用機器の高速・高トルク化や小型化のニーズに同調し、モータの高速・高トルク化や小型化であった。高速化には、より高い出力が必要であるが、従来のモータでは出力が上がると重量が増加し、小型化・高速化が実現できなかった。従来比 $1/2$ の大きさ、2 倍の高出力を実現するためには回転子の磁石の磁束を 2 倍にし、固定子の磁束密度も 2 倍に上げる必要がある。

具体的な開発目標としては、3 つ掲げられた。第一は電気装荷のアップ²⁶、第二は磁気装荷のアップ²⁷、第三は検出器の小型化²⁸であった。磁気装荷のアップについては、開発当時、磁石の磁束密度は急速な技術革新により、従来比 2 倍の高磁束密度磁石であるネオジマグネットが磁石メーカーからアナウンスされていた。電気装荷のアップは具体的目標数値として、占積率²⁹80%の目標が掲げられた。当時、Z 社のモータ設計部門の常識では、小型サーボモータを製造するためには占積率 80%が不可欠だとされていた。³⁰こうして占積率 80%をめざし、様々な方法が試行される。開発者によれば、Z 社においても X 社のポキポキモータのアイデアと全く同じアイデアを考えていた時期があったそうである。その時、3 つのアイデアが評価されていた。一つは α 方式、もう一つはポキポキ方式であった。3 つめのアイデアは検討のプロセスで不採用になったが、2 つのアイデアは思考実験が繰り返された。しかし、最終的には α 方式が採用され、ポキポキ方式の開発が断念される。開発者の開発メモによれば、ポキポキ方式が特許として提出される数日前であった。理由は明快であった。ポキポキ方式で占積率 80%を実現するためには、生産速度を極端に落とさねばならなかったためである。開発コンセプトに忠実に従ったといえる。特許としてアイデアを保全する手段はあったが、当時の知財政策は、必要なもの以外は出さない方針であったため、特許の出願も行わなかった。

α モータの製造ラインに対する生産能力は、タクトタイム 1 分、定時月産台数 8, 0 0 0 台、最大 2 0, 0 0 0 台の生産能力であった。当時の市場規模から考えると、この生産能力は過剰であり、規模が大きすぎるという意見が営業部から出されたが、当時の事業部長はサイズとコストを $1/2$ にすれば、市場規模は 1 桁増えると判断し、生産能力が決定された。 α モータが発売され 2 年後には、モータ販売台数は最大生産能力である 2 0, 0 0 0 台を突破した。

α モータの開発コンセプトは技術のみならずマーケティングにおいても明確に示された。まず、製品ラインを 7 5 0 W 以下³¹ のボリュームゾーン³² に絞り込み、一般産業用の

²⁶ 電気装荷は巻線密度を上げることにより上がる、固定子が生み出す磁束のことである。

²⁷ 磁気装荷は磁石の生み出す磁束のことである。

²⁸ 検出器はモータの回転角度を検出し制御するためのセンサーである。検出器にはエンコーダーやレゾルバと呼ばれるセンサーが使われる。

²⁹ 単位体積あたりに巻線が占める体積の割合

³⁰ しかし、後にこの占積率 80%の条件は 70%でも問題ないことが判明する。

³¹ Z 社では、このサイズを小型 α と定義している。

直交座標系ロボットのモータ市場をターゲットとした。³³ この市場には従来、小型モータメーカーが参入していたが、Z社はトップセールスを行い、シェアを獲得した。ある直交座標系のロボットメーカーは、従来、異なるメーカーのモータを使用していたが、エンドユーザーの指定が無い限り、標準モータとして α モータを使うように変更した。 α モータの開発者は、『 α はマーケティングと製造技術の集大成』と言い切っている。

第2項 組織

4.4.2.1 ポキポキ方式の開発組織

ポキポキ方式を生み出し、全社の製品開発にポキポキ方式を転用しているのは、生産技術センターモータ開発部である。モータ開発部はロードマップに従い、事業部門に対してポキポキ方式の提案を行う。しかし、実際のポキポキ方式モータの開発主体は、事業部の技術部門である。生産技術センターはポキポキ方式を提案し、問題解決に協力するスタンスで開発が進められる。生産技術センターが主体になって製品開発することはない。したがってポキポキモータを開発するためには、事業部の技術部門の主体的な合意形成が必要である。

しかし、通常、事業部の技術部門は保守的である。過去に制定された社内設計基準を頑なに守り、新しい考えを否定する。しかし、ポキポキ方式の開発者によれば、そうした「技術の常識」は「なぜなぜ」³⁴ と3回も繰り返すと答えられなくなる。実際にそうした「技術の常識」の真偽を実験などで調べると、部外の技術者が直感的におかしいと感じることは、「嘘の常識」であることが多い。こうしたことが起きる理由は、技術の進歩が背景にある。設計基準が策定された時代には正しくても、材料などの進歩により、その設計基準が意味を持たなくなることは良くあることである。こうした「技術の常識」を捨てることがポキポキ方式を受け入れる第一歩である。こうして「技術の常識」の間違いを認識させた後は、ポキポキ方式が実現できることを信用させなければならない。次にポキポキ方式の開発者が行うことは、試作品を作って実験することである。この試作品は重要な分岐点になる。もし、この試作品が予想通りの結果を生まなければ、新しい技術は信用されない。しかし、試作品が成功すれば、組織全体がポキポキ方式を信用するようになる。この時、磁界解析では説得力がない。試作による実証はそれ程インパクトがある。ただし、試作品と言ってもそう簡単にはできるわけではない。例えば、ポキポキ方式と言っても巻線が終わったものを、手でポキポキと折っても精度の良い環状固定子は形成できない。かといって試作段階で大がかりな設備を作ることはできない。ポキポキ方式の開発者はこの問題を解決するための方法として、治具³⁵ による作り込みを挙げている。安価に精度良く試作

³² α モータ開発者のインタビューにおける情報

³³ 一般に産業用ロボットといえば、多軸の関節ロボットが良く知られているが、多軸の関節ロボットはモータ出力が大きいことや、設計上空間的な制約を受けやすいため、新規参入が難しい分野である。直交座標系ロボットであれば構造上、こうした制約を受けにくく、新規参入が比較的容易である。しかも直交座標系ロボットはその構造から、モータ重量あたりの出力が大きいほど設計しやすい特徴を持っている。つまり α モータには向いたアプリケーションである。

³⁴ 問題解決の一つの手法で、なぜなぜ分析と呼ばれる方法である。ある現象に対して「なぜ」という問いかけを繰り返すと、複雑な現象の本質が解明され、真実の解が得られる。

³⁵ 治具とは、製造する際に使われる道具であり、工具などと異なり汎用品ではない。ある

するためには工夫された治具の製作が重要である。ここにポキポキ方式の開発者が編み出した試作による説得の巧みさが隠されている。投資をせず、簡単に試作を作り上げるという事実は、ポキポキ方式は思ったより簡単だという印象を与えるのである。舞台裏でどんなに苦労して試作を作ったとしても舞台裏を見せない演出は、高い説得力に結びついている。こうした巧みな実証を交えた説得により、開発組織全体が変化していく。ポキポキ方式の開発者によれば、最終的には開発組織の中に、生産設計的な思想が浸透する。

X社は長い歴史を持つ企業であり、年功序列などの組織体制の問題点があったが、最近になって、幹部職員を含めて若返り、年功序列の弊害が解消されつつある。こうした企業体質の変化が、製品開発を活性化させている一因であると、ポキポキ方式の開発者は分析している。

ポキポキ方式の開発者の開発製品は多岐にわたる。モータは勿論だが、ノーヒューズブレーカーやブラウン管の偏向ヨーク等の開発を行ったりしている。ポキポキ方式の開発者によれば、社内の人間関係を広く持っておきたいために、畑違いの開発も行う。ポキポキ方式の開発者の人脈は、広範囲にわたって役所的手続きを踏まずに話ができる人脈である。こうした人脈は社内に止まらない。社外発表などを通して、社外にも人脈を広げている。まさにポキポキ方式の開発者が Allen(1977)が言うゲートキーパーの役割を担っていると考えられる。

しかし、こうした組織にあってもポキポキ方式の開発者の将来に対する憂いはある。生産技術センターモータ開発部の活動はポキポキ方式の開発者が主導してきた。最近では30名の部下の中で数名は、ほぼ、自分と同じような開発活動が行えるようになったと感じている。しかし、一方でポキポキ方式を応用する限界も見えてきた。ポキポキ方式を転用して、製品構造が大きく変わる製品もそう多くはない。ポキポキ方式の開発者は、次の技術を見付けなければならぬと、「脱モータ」をスローガンとして挙げている。しかし、大きくなった組織がうまくいっている時に警鐘を鳴らしても聞こえない。

4.4.2.2 α 方式の開発組織

開発はプロジェクト形態で進められた。プロジェクトメンバーは技術が11名、生産技術者が7名、製造技術者が10名、本社応援技術者が10名、営業が5名、品質管理が3名という開製販が一体となったコンカレントな組織により行われた。 α モータは当初、技術主導で開発され、固定子を分割しない方針であった。固定子を分割することは、技術的にいくつかの壁を越えねばならず積極的に選択できる選択肢ではなかった。このため当初は生産技術的に占積率を上げる方向で製品開発が行われた。磁束密度を上げるため、鉄部である極歯部の幅を大きくとり、極歯間に残されたスロット部に巻き線を隙間無く巻き、コイルエンドを少なくし銅損を下げる必要がある。当初、ノズル巻きで整列巻き線をした後、残りのノズルが入らない空間に対してスロット外側からノズルを回りこまして巻き上げる構想であった。しかし、この方式では制御が複雑になり生産性が1桁悪化し巻き線も安定しないため、生産技術的には行き詰まりが見えていた。こうした開発状況の中、新たな構造として分割コア式の固定子が試作される。試作は2人の生産技術者により秘密裏に進められる。コア形状の設計から試作までが生産技術者の手で行われた。試作は夏休みを

製品を製造するために、最適に設計された道具である。但し、通常は動力などを持たない。

はさんだ1ヶ月の間に行われ、8月の終わりに性能が確認された。この試作成功をきっかけに、開発方針が分割コア方式に切り替えられる。

α方式の開発組織の大きな特徴は、トップダウンで全事業部を巻き込んだ開発プロジェクトであったことがあげられる。α方式の開発は、事業を高付加価値製品であるサーボモータに集中するという経営戦略から始まった。事業部長は技術的課題の解決にも積極的に関与し、毎月技術的課題をフォローし続けた。こうしたトップダウンマネジメントは、事業部内にα方式しかないという危機感を醸成した。

一方、こうした事業部内の雰囲気は他の事業部門とのライバル心を醸成する。α方式の開発者の一人によれば、『各事業部はライバル意識があり、技術を競い合っている。だから多事業部の技術を真似しようとはしない。逆にその結果生まれたのが、(革新的モータといえる)アルマジロモータ(ファンモータ)だったりします。』³⁶ こうした組織の特質は、それぞれの事業部が事業にとって最適な製品開発を独自で開発するという気質を生み出しており、他の事業部の技術を転用する可能性を低くする。特に技術の転用を行う場合は、前述のように翻訳システムとして組織構造の移転を伴うことがあるため、事業部制の色彩が強く各事業部が独自の組織構造を持つ場合、技術モジュールの移転は難しいものとなる。特にα方式の場合、ニーズの発掘や開発コンセプトの策定が事業部で行われ、開発の主体も事業部主体であった。こうした開発体制は技術モジュールを他の製品に転用するための移転を困難にしたと考えられる。

第3項 開発技術

4.4.3.1 ポキポキ方式の開発技術

初期の薄肉連結型ポキポキ方式は占積率が比較的低い。これはZ社が薄肉連結を選択しなかった理由と一致している。具体的な占積率については公開されていないが、α方式の開発者が予測した問題は、確かにあるとポキポキ方式の開発者は証言している。X社が単なる分割コア方式ではなく、ポキポキ方式こだわった理由は、コイル間結線の問題とコア組立の煩雑さが挙げられる。ポキポキ方式の開発者は、この問題に対する解のキーワードとして、「バラバラの様でバラバラでない」を開発当初から持っていた。これが実現されたのがブロック型薄肉連結ポキポキモータである。X社がブロック型薄肉連結ポキポキモータの開発に成功した背景には、最初に開発したモータがFDD用モータであり、モータの性能としては、より小型で安価なものが求められており、モータとしての性能ではなく、ビルトインした状態におけるFDDの価格とサイズがより重要であったことがある。一方のα方式が、高いモータ性能そのものを要求されるのに比べると、モータに要求される性能は比較的低い。この要求性能の差が、モータ設計の自由度の差につながったと言える。

ただし、ここで注意しておかなければならないのは、ポキポキ方式の開発者は開発の初期段階で、ポキポキ方式を他の製品開発に転用するロードマップを作成していたことである。これによりX社の分割コアモータ技術は、より汎用的価値が創造可能なデザインルールを選択しなければならなかった。その結果、選択されたのがブロック型薄肉連結ポキポキモータである。

ポキポキ方式を実現させるための技術として重要なのは、試作の技術である。既に述べ

³⁶ ()内はインタビューにおいて発言された内容を筆者が補足した。

たように試作で失敗すれば、技術部門からの信頼は得られない。しかし、スムーズに量産化を実現するためには、試作段階で自動化を視野に入れた作り方をしなければならない。試作は技術部門の要求と効率的な生産の最適値を選択するデザインルールのチューニングであるといえる。勿論、試作時の製造方法がそのまま適用される訳ではないが、試作段階で最適値を慎重に選択しなければ、大きな方針変更を余儀なくされることになる。X社の技術開発において重要な位置を占めているのが、自動機の開発である。通常、モーターメーカーは巻線機を社外から購入する。しかし、X社では巻線機を含めた自動化設備を社内で製作している。特に巻線機にはノウハウがあり、もし、社外の巻線機メーカーに製作を依頼すれば、巻線技術が巻線機メーカー側に知れてしまう。巻線機メーカーが技術を知れば、他社に同じ装置を売り、たちまち技術的優位は失われる。X社ではノウハウを製造装置に作り込み、真似できない仕組みを作り上げた。

4.4.3.2 α 方式の開発技術

α 方式の開発目標は技術的に明確であった。産業用サーボモータに集中するというコンセプトにもとづき、従来比1/2の大きさ、2倍の高出力を実現するために、小型高速化が目標として掲げられた。具体的な開発目標としては、3つ掲げられた。第一は電気装荷のアップ、第二は磁気装荷のアップ、第三は検出器の小型化であった。磁気装荷のアップについては、開発当時、磁石の磁束密度は急速な技術革新により、従来比2倍の高磁束密度磁石が開発されていた。電気装荷のアップは具体的目標数値として、占積率80%の目標が掲げられた。この占積率80%の目標が、Z社が α 方式³⁷を選択しなければならない最大の理由であったことは既に述べた。

開発初期においては3つの工法が検討対象になっていた。1つはコアを内外2つに分割し巻き線後モールドする方式、2つめはポキポキ方式と同じアイデア、3つめは α 方式であった。まず、コアを内外2つに分割し、巻き線後モールドする方式については、モールドするまえのコアの構造的脆弱性に問題があり、モールド前処理、搬送、モールド後の処理に技術的課題が多いことや、慢性的に不良品が発生する可能性が高いこと、設備コストが高いことなどが判明し、早い段階で検討対象からはずされた。但し、このモータの性能や工法を調査したことによって、Z社は開発のベンチマークを手に入れることになる。次にポキポキ方式については、既に述べたように占積率80%を超える生産技術の確立が困難であるという結論から開発を断念する。

一方、X社はポキポキ方式と完全コア分割方式³⁸を比較検討した結果、ポキポキ方式を選択した。X社の検討結果では、大きな問題点として2つが挙げられている。第一に完全に分割された磁極歯を精度良く組み立てることの困難性、第二に個別に巻き線された磁極歯から出る2本の銅線を結線の煩雑さである。X社はこうした問題がある完全コア分割方式を選択する必要性はなかった。しかし、 α 方式の選択が誤りであったわけではない。サーボモータの生産性を最大化するという点においては最善の選択であったことは後に証明される。

Z社では α 方式を実現させるために、積極的に製品開発を行う。まず、最も大きな課題

³⁷ この場合、 α 方式はコアを完全に分割する分割コア方式のことを差している。

³⁸ α 方式と同様の方式

である、精度良くコアを作り、巻き線後に精度良く組み立てる工法をいかに確立するかという問題に取り組んだ。最初の解決イメージは、モータコア金型の下型ダイ刃物の構成³⁹である。ダイ刃物はスロット毎に分割され、 $1\mu\text{m}$ の精度に仕上げた刃物を集めて精密に焼きばめされる。モータコアを作るための金型を作る技術を応用して、モータコアができないか。これが金型内レーザ積層工法のアイディアの起点である。レーザ積層工法はステッピングモータの試作（ワイヤーカット品）と量産（金型品）⁴⁰で特性が変わるという問題に対して、金型内でレーザ積層することで精度の良い試作が簡単な金型ででき、しかもそのまま量産化するという可能性について、 α モータ開発より3年前から始めていた。この工法の採用により、従来のPAC工法⁴¹よりもより精度良く、高速でコアの積層が可能になった。従来のPAC工法によるプレス速度が300SPM⁴²、積層精度⁴³が $100\mu\text{m}$ オーダーの工程能力⁴⁴であったのに比較し、レーザ積層工法では1000SPM、積層精度は $1\mu\text{m}$ オーダーの精度を実現した。

もうひとつの問題であったコイル線端の結線については、Z社はプリント基板を使った結線を行うという方法で解決した。こうした基板実装技術は、家電メーカーであればどこでも保有している技術である。勿論、X社にも保有されている技術であり、省配線を実現する際に最初に思いつく方法である。この方法をZ社が選択できたのは、Z社がターゲットとした小型（750W以下）のボリュームゾーンのサーボモータの電流容量であれば、プリント基板上の結線でも問題が発生しなかったことが最大の理由であった。その後、Z社は大型（750W以上）のサーボモータの生産を開始するが、大型についてはコイル結線を人手に頼らざるを得なかったため、最終的には人件費の安価な中国へ生産拠点が移転することになる。

コイルの巻き線工法および設計思想については、徹底してサーボモータとしての機能を最大化するために最適化された。まず、コイル巻きについては、高速整列巻きを実現するためスピンドル巻きを行える分割コア方式を選択した。モータ3層の結線方式も様々な電源仕様⁴⁵に対応できるよう念入りに検討された。

α 方式の技術の成果は、コアの分割生産により材料の歩留まりを2倍にした。生産スピードを3倍に上げることで生産能力を維持しながら、設備規模を1/3にダウンサイジン

³⁹ ダイ刃物はコアを打ち抜くための刃物であり、薄い高精度に加工された刃物が幾重にも積層された構造をもっており、構造的にはモータコアに似ている。

⁴⁰ ワイヤーカット加工とは、 0.25mm 前後の主に黄銅製のワイヤーと、材料との間に電圧をかけ、生じる放電を精密に制御しながら瞬間的に発生する高温によって材料を熔融することによって加工方法であり、高精度で加工できる特徴がある。金型を使ったプレス加工とは異なり、型が不要なため、単価は高いが試作には適した加工方法である。

⁴¹ Press Auto Clamp ダボかしめ工法とも言う。

⁴² SPM=Set Per Minute

⁴³ コアの倒れ：コアを構成する珪素鋼板の面積重心のずれ量のこと。

⁴⁴ 工程能力とは、定められた規格限度内で、製品を生産できる能力のことで、その評価を行う指標が工程能力指数である。一般に C_p の記号で表示される。 C_p 値の詳しい算出方法は成書に拠ることとする。

⁴⁵ 対象となる電源仕様は、400V、200V、100V、直流（バッテリー）である。400V、200Vは工場設備、100Vは家庭用電源、直流（バッテリー）は自動車用途を想定している。

グできた。設備をダウンサイジングできた分、能力を上げることができたため大型 α モータを生産するにあたっては殆ど設備投資をする必要がなかった。

第4項 技術の名称

α 方式、ポキポキ方式といずれも特徴的なあだ名が付いている。

Z社の α の開発コードはLF⁴⁶であったが、事業部の命運を握る製品開発ということで、事業部長命令で親しみやすい名前が公募された。その結果選ばれたのが α ⁴⁷であった。これ以降、分割コア技術を総称して α 方式と呼び、事業部に浸透した。

一方、X社ではあだ名の付いた技術や手法が多い。例えば、ポキポキ方式の開発イメージは「バラバラの形でバラバラでない」であったり、特許の検索方法を「パラパラ方式」（軽部，小林,2004,P. 14）と呼んだりする。

勿論、ポキポキ方式もその一つである。しかし、冷静に考えてみれば、鋼のように粘りのある材料を折り曲げてもポキポキ音などするはずがない。実際に折り曲げてみても音はしない。ポキポキに込められた思いは、「バラバラの形でバラバラでない」に通じている。ポキポキには、ひっついていて、ある特定の部位で「きれいに（精度良く）」「ぽきっと（簡単に）」折れるという意味が込められている。技術のある側面をあだ名で伝えているのである。

これ以外にもモータ開発部では、「串（くし）カツ方式」や「ネオジム系焼結磁石の"イカリング"製造技術」などの技術がイメージできるあだ名を使って、技術を伝える工夫を行っている。

第5節 事例の分析

考察にあたっては、属性毎の比較を元にポキポキ方式と α 方式の開発プロセスを比較する。

ポキポキ方式開発のきっかけは、事業部の製品開発戦略であった。これは、 α 方式開発のきっかけも同様に事業部の製品開発戦略である。ここで大きく異なるのは、ポキポキ方式は事業部が独自に開発するスタンスではなく、本社機構である生産技術センターに開発協力を依頼した点にある。一方の α 方式は、事業部内で独自に開発が始まった。

このことは開発コンセプトに微妙な違いを生み出す。ポキポキ方式はFDD用のモータとして開発された。この時FDDの事業部としてはFDDの最適設計を目指しており、モータの性能や製造方法はFDDの性能を最適化する手段でしかない。しかし、生産技術センターにはより汎用的なモータ開発技術の確立という目的があった。生産技術センターはロードマップを作成し、FDDモータから始まるモータ開発計画を立案する。このためFDDモータは、できる限り汎用的なデザインルールを意識して開発される。こうした意識はポキポキ方式の転用の過程における変化における柔軟性にもつながっている。こうした柔軟性はデザインルールに止まらず、製造プロセスの作り込みにおいても意識されている。特に巻線工程や組立工程については、徹底した自動化を自社技術で実現し、社内における製造技術の転用を可能にすると同時に他社への技術流出を防止した。

⁴⁶ 開発コードLEまでは、存在した。

⁴⁷ α は本稿での仮称であるが、本来の名前はラテン語ですばやい、かわいいといった意味がある。

一方、 α 方式は当初のコンセプトとして、小型のボリュウムゾーンにあるサーボモータの開発に集中したため、デザインルールを小型サーボモータに最適化した。サーボモータの占積率80%を実現するために薄肉連結方式を諦め、完全分割タイプでスピンドル巻きの方法を選択した。この工法を選択したことにより、コイルの結線はプリント基板上で結線する工法を選択することになる。 α 方式で採用された方式は、ポキポキ方式より原理的に生産性が高い方式である。しかし、技術の転用という観点から見ると、あるニーズに最適化されており、転用することが難しいデザインルールとなっているといえる。

しかし、ポキポキ方式の転用が進んだのは、開発コンセプトに転用のロードマップがあったためだけではない。確かに開発者の意図の通りに、転用は進んでいる。しかし、転用前の技術モジュールと転用後の技術モジュールを比べてみればわかるが、転用前と転用後の技術モジュールは翻訳のプロセスを介して、技術的に大きく変化している。逆に述べるなら、異なる技術に翻訳できる柔軟性が、技術モジュールの転用には必要であるといえる。具体的には技術モジュールに固定化されたデザインルールを減らすということである。 α 方式が転用されていない理由は、サーボモータに最適化することにより、転用の柔軟性が失われたと言える。

技術モジュールを転用するためには、組織の役割が重要である。Z社の開発者が言うように、事業部間にライバル意識があると、技術の転用が難しいことは容易に想像がつく。しかし、ライバル意識が無いからといって、技術の転用が進むわけではない。ポキポキ方式の技術の転用は本社機構である生産技術センターにより行われており、事業部間のライバル意識の対象となりえる存在ではない。生産技術センターは社内における事業部からの評価が得られなければ存在意義がない。つまり事業部に評価される存在であってライバルではない。にもかかわらずポキポキ方式を転用する際には、事業部の開発部門に受け入れられるまで苦労している。まず、生産技術センター側がポキポキ方式の構造を提案すると、事業部の技術者は過去に制定された設計基準に照らして否定を始める。ポキポキ方式の転用は従来の設計概念を根本から変えるものであり、事業部の技術者には拒絶反応が生まれる。こうした事業部の技術者の反応は、いずれの事業部でも同じであるため、ポキポキ方式の技術を転用する初期段階において、組織を変革するプロセスが明確になっている。

①その事業部の設計部門にある「技術の常識」を覆す。

②試作品を作り、ポキポキ方式の良さを見せる。

この場合の組織変革は、従来の設計部門中心の設計組織から生産設計を視野に入れたコンカレントな組織に構造的に変革することである。技術モジュールの転用は知識を移転するだけでは成立しない。転用を実現するためには開発組織による翻訳が必要であり、翻訳を実現するための組織能力を獲得する必要がある。ポキポキ方式の場合は、コンカレントな組織に変革されることがそれにあたる。しかし、技術モジュールの転用における組織変革が必ずしもコンカレントな組織であるとは限らない。体系化された技術を翻訳するために最適な組織に変革されるのである。

組織変革における二つの手順は重要である。一つめは新しい技術が受け入れられる素地を作ることが目的である。ある部分では生産技術センターの技術力を見せる意味もある。二つめはポキポキ方式の優位性を明確にし、開発組織の意識をポキポキ方式でモータ開発する方向へ意思統一する効果がある。こうした組織における刺激の作用について、

Weick(1995)はイノベーションを組織のセンスメーカー⁴⁸のきっかけにおける一つの現象として捉え、イノベーションがショックに触発されると論じている。この場合のショックとは、「技術の常識」が覆されることと、試作の成功であり、イノベーションはポキポキ方式を転用し翻訳することである。何より試作品の成功は、従来の開発手法に慣れながら、一方でマンネリを感じている開発組織に、知的興奮の刺激を与える効果がある。既成概念を崩された後に見せられる衝撃的な成果に純粋な驚きと、興奮を覚えるのである。この知的興奮による衝撃は組織を大きく変化させる原動力となっている。⁴⁹ 試作品で性能を実証することによる、組織における新しい技術に対する見方の変化については、Z社の α 方式の開発においても同じ現象が確認できている。

一方でこうした既存の組織により製品開発するのではなく、新しい開発組織により製品開発を行えば、こうした問題は発生しないという議論も考えられる。しかし、新しい組織には製品に対する知識が蓄積されていない。新しく組織を作るのではなく、従来ある開発組織を変える目的は、吸収能力の利用にある。ポキポキ方式はモータ開発技術の1つの要素に過ぎない。重要なことは、組織にポキポキ方式の技術モジュールを吸収する吸収能力が備わっていなければならない点である。つまり製品としてのモータに関する深い知識がなければ、技術モジュールの転用はできない。このために新しい開発組織を作るのではなく、既存の開発組織における意識を変える方がより効果的なのである。

転用のメカニズムについて考える場合、こうした組織における意識の変化とは、具体的に何が変化したのかを考える必要がある。ポキポキ方式にしても α 方式にしても、開発組織におけるモータ開発の考え方は、従来のモータ開発の考え方から、新しい考え方に変化している。従来は設計基準を元にモータ開発を行い、実験で確かめるという方法をとっていた。つまり、顧客ニーズを設計基準でデザインルールに変換し、プロセスにおいてモータに転写するという価値創造の方法をとっていた。しかし、ポキポキ方式や α 方式では、顧客ニーズと従来のモータ設計技術を、ポキポキ方式や α 方式という生産設計の思想でデザインルールに変換するという価値創造がされたといえる。従来のモータ設計とポキポキ方式や α 方式が大きく異なるのは、開発されたモータの価値がユーザーニーズにとどまらず、プロセス改善の価値を含んでいる点である。本稿ではこのプロセス改善へのニーズを顧客ニーズに対して「内なるニーズ」と呼ぶこととする。実際に顧客ニーズを設計基準によって変換するのは、開発組織である。開発組織全体が生産設計思想を包含する設計思想に対する理解がなければ、こうした設計思想は受け入れられない。 α 方式の場合は、技術の転用は起きていないが、 α 方式が認知される過程では、組織の変化は起きている。異なる価値観の技術の適用には組織の変化がともなうと言える。ポキポキモータの技術の転用プロセスを分析していくと、ユーザーニーズ主導の設計組織から、ユーザーニーズと内なるニーズの均衡をさせるコンカレントな組織に変化していることがわかる。ポキポキモータの開発者によれば、まず組織を変えることが重要であると証言している。そのために「技

⁴⁸ Weick はセンスメーカーは意味の形成であり、『何ものかをフレームワークの中に置くこと、納得、驚きの物語化、意味の構築、共通理解のために相互作用すること、あるいはパターン化』であると説明している。

⁴⁹ ポキポキモータ開発者のインタビューによれば、劇的にポキポキ方式に対する見方が変わるということであった。

術の常識」を覆し、試作品で組織に衝撃を与えて短時間で組織変革を行うという手順を踏んでいる。一方、 α 方式では、他の組織を変えるという積極的な転用へのアプローチがとられることがなかった。このため α 方式は転用されなかったといえる。

こうした組織に対するインパクトについては、「正当性獲得戦略」(藤井, 2002)により説明できる。正当性獲得戦略は開発者が短期的な正当性を獲得するために、意思決定を行うプロセスによる結果である。藤井は、正当性獲得戦略を開発者の主体性は、『所与の資源・能力に基づき、他社の存在を前提として自身の開発活動に対する正当性を作り出す』という『短期の意図・目的実現のために意思決定を行う能力』であると主張している。つまり、それまで見過ごしてきた自社の資源や能力を再認識することにより、他社に対して差別化できる手段を発見し、開発戦略の正当性を獲得しているのである。

開発された技術については、ポキポキ方式も α 方式も優れた技術である。⁵⁰その後もモータ技術の開発では、水面下で開発競争を行っている。ポキポキ方式については既に述べたように、技術の転用を進め新しいポキポキモータを開発している。 α 方式も工法の開発を進め、現在では第3世代技術に移行し、既に脱レーザを実現している。ポキポキ方式の開発者と α 方式の開発者は、その後も見えない相手と開発競争を続けている。 α 方式の技術者は関節型ポキポキ方式と同様の構造を、異なる構造で実現しようとしていた時期があった。その後、ポキポキ方式の関節型を目の前にした時、一瞬の内に製造工程が頭の中に浮かんだそうである。高いレベルで競い合っている証左である。こうした高いレベルの開発競争には、吸収能力が深く関わっている。製品開発は様々な技術の集積により実現される。従って、製品開発を構成する技術の大半は既知の技術である。そうした既知の技術の集積により、製品開発を行っているところに、製品開発競争が起きる源泉がある。事例の中で記述した製品開発の本質は、モータの固定子の磁束密度を上げるための製品開発競争であったが、背景にはネオジ鉄と呼ばれる高磁束磁石の開発があった。事例の中で記述したように、高磁束磁石だけでは、高出力モータは開発できない。固定子の磁束密度を上げる開発が実現できなければ、高出力モータは生まれえない。つまり、この磁石の開発により、X社とZ社の開発組織の中に固定子の磁束密度を上げるための技術に対する吸収能力が生まれ、モータ開発に結びついたと考えられる。つまり、ポキポキ方式と α 方式の共時性は全くの偶然ではないといえる。

ポキポキ方式と α 方式の技術的なレベルは高い。いずれも革新的技術である。しかし、結果的に技術の転用という視点で見た場合、ポキポキ方式の方が転用した結果を残しているといえる。既に述べたように、ポキポキ方式は初めから転用することを意識して開発された技術であるのに対して、 α 方式はサーボモータに特化した技術である。このことは要素技術の選択過程にも現れている。 α 方式が薄肉連結方式を選択できなかった理由が、サーボモータの占積率にあることは述べた。薄肉連結は完全に分割する工法よりも組立て性に優れ、適用における自由度が高い。巻き線方式について、ポキポキ方式ではノズル巻き、 α 方式ではスピンドル巻きを採用している。ノズル巻きは巻き線速度で劣るが、スピンドル

⁵⁰筆者が約1999年にサーボモータの技術について調査を行った際に受けた衝撃は忘れられない程のものであった。筆者が知る1980年代のサーボモータ技術とは全く異なる技術に変化していた。それほど劇的にサーボモータの技術に変革をもたらした技術がポキポキ方式と α 方式であった。

ル巻きは巻き線速度が速い。一方、ノズル巻きは様々な形状のコアに巻くことができるが、スピンドル巻きはコアの形状に制約がある。X社ではポキポキ方式の弱点であるノズル巻きの工程において様々な改善を行い、自社の技術で設備を開発し、社内における転用を行えるように工夫している。ポキポキ方式結線方法についても、ポキポキ方式の連続巻きは、最も手間のかかる結線の工程を省略できるため、コスト競争力があり様々な製品に適用できる。また、注目すべきはこれらの技術が独立しており、技術同士の依存度が低いことが挙げられる。例えば、ノズル巻きであれば、完全分割コアに対しても巻き線可能である。型に入れて巻き線を行えば、連続巻きも可能であろう。つまり、ポキポキ方式は製品開発の自由度が高く、様々なユーザーニーズと内なるニーズを最適化することができる考え方であるといえる。こうしたいくつかの体系化された技術が、ポキポキ方式である。

ポキポキ方式を開発した生産技術センターモータ開発部では、ポキポキ方式以外の製品開発にも様々なあだ名を作っている。パラパラ方式、イカリング、串カツ方式などがある。ポキポキ方式の開発者によれば、画期的な技術が発明できれば、名前を付けるようにしているということであった。それ自体は第3者が聞いてもわからないが、社内の関係する技術者が聞けばわかる。こうしたあだ名は、あだ名に技術を刷り込むことにより、技術の伝承と第3者への技術の漏洩を防止する役割がある。

以上のように転用のメカニズムについて考察したが、ここで本稿において主張する技術モジュールについて整理する。

転用された技術はポキポキ方式という名称で呼ばれる技術体系である。本稿ではこの技術体系を技術モジュールと定義した。この技術モジュールに体系化されている技術は、次に挙げる技術である。

①一部が連結された分割コア技術

珪素鋼板の積層構造

パラメータ1：連結数（モータの1部，モータ1個，モータ複数個）

パラメータ2：連結方法（薄肉連結，関節連結）

パラメータ3：磁極歯（ブロック連結，分離）

パラメータ4：配置（円弧，直列，逆反り）

②巻線方法

ノズル自動巻き

パラメータ1：同時巻磁極歯数

パラメータ2：巻線径

パラメータ3：巻線ノズル角度（正面から90度，横から0度）

③組立方法

パラメータ1：折り曲げ方法（薄肉塑性変形，関節構造）

パラメータ2：結線方法（コイル間結線不要，コイル間結線必要）

パラメータ3：外部ケース（有り，無し）

以上のような技術体系となっており、それぞれがパラメータを有している。これらパラメータを変化させることにより、ユーザーニーズと内なるニーズを実現している。ただし、パラメータは相互に関連しているため、ユーザーニーズと内なるニーズを最適化するパラメータを選択する必要がある。また、これらのパラメータはこれまでの転用の過程で設計

されたパラメータであり、今後、他の製品に転用される場合には、新たなパラメータが設計される可能性がある。こうしたパラメータの選択や新しいパラメータの設計が行われる作業は、Baldwin and Clark(2000)が主張する翻訳という行為であり、この場合翻訳を行うのは、製品開発のエンジニアである。したがって Baldwin and Clark が主張する翻訳システムとは、製品開発グループをさすことになる。しかし、製品開発グループが当初から翻訳システムとしての機能は保有していない。従来の設計標準から製品を開発する仕組みから、ポキポキ方式の本質であるコンカレントな開発組織に変革され、翻訳システムとしての機能を具備する。つまり、技術のモジュール化と転用の過程における翻訳システムは組織がその役割を果たしていることになる。組織が翻訳システムの機能を具備するためには、組織を変える仕組みが必要であり、ポキポキ方式の場合、組織を変えるために、「技術の常識」を覆すことと、試作で性能を示すということが仕組みとして存在する。

以上のように事例分析により、技術がモジュール化されていくプロセスとモジュール化された技術が転用されることが確認できた。また、モジュール化のプロセスにおける、あだ名の発生など特徴的な事象についても観察できた。さらに、技術モジュールが転用されていく実態と、転用にともなう翻訳プロセスにおける組織の役割や変化についても重要な知見を得られた。以上のような技術のモジュール化と転用のメカニズムは、Nonaka and Takeuchi(1995)が主張する知識創造に関する考察と一致する部分がある。

まず、あだ名はメタファーであり、暗黙知を暗黙知のまま伝達する効果があるという Nonaka and Takeuchi の説を裏付けている。こうした説明は、技術モジュールに内包される暗黙知があだ名によって伝達されるという理解ができる。技術モジュールの翻訳は組織により行われるという仮説についても、Nonaka and Takeuchi は、翻訳が個人知で行われるのではなく、組織知により行われることを示している。個人の暗黙知が対話や体験を通して結晶していくことにより、組織による翻訳が可能になるという説明は、技術モジュールが翻訳される過程において、翻訳が開発組織により行われていることと一致する。また、Nonaka and Takeuchi は曖昧さと冗長性についても論じている。知識が生まれるためには、命令の曖昧さが必要であると述べている。技術モジュールの柔軟性に関する仮説は、この曖昧さを体現するものであるといえる。

一方、Nonaka and Takeuchi の理論で説明されていない現象として、技術モジュールの転用に伴う組織変革がある。Nonaka and Takeuchi が説明する組織現象は、外部からの刺激ではなく、組織内部の刺激を中心として論じられており、本稿で論じる技術モジュールの転用に伴う組織変革のプロセスとは異なっている。本稿の組織変革は組織の外部から技術モジュールが転用されるプロセスを分析しており、技術モジュールあるいは知識の転用における実際的な難しさと一つの解決方法を示唆している。

第5章 事例分析2：油圧式掘削機用油圧ポンプ開発技術の転用による油圧モータの開発

第1節 国産初油圧式掘削機用油圧ポンプの開発

第1項 1960年代の油圧式掘削機市場と油圧機器開発

油圧式掘削機市場の黎明期における技術変遷については、Christensen(1997)に詳しい。これによれば、1947年にイギリスのJ・C・バンフォード社により、最初の油圧式掘削機が開発された。その後、1965年までの間に23社がこの市場に新規参入している。国内では1965年に日立建機が『国産技術による初の油圧式パワーショベルUH03』⁵¹を最初に開発した。厳密にはこの機体に搭載されていた油圧機器は外国製のものであり、国産技術というのは機体設計を指している。これに続いて小松製作所⁵²、神戸製鋼所⁵³などが油圧式掘削機を開発を行っている。

こうした掘削機における油圧技術によるイノベーションは、油圧機器開発についても影響を与えることになる。2002年度の油圧機器受注生産出荷金額(年度)⁵⁴によれば、全油圧機器の出荷金額は219,493百万円、その内「土木建設機械、鉱山機械、装軌式トラクタ」用途の出荷額は79,194百万円と、約36%を占めている。これに「農業用機械、装輪式トラクタ」用途を加えると約40%が油圧式掘削機用途の油圧機器出荷額である。

油圧機器は大きく分類すると、油圧式掘削機用途、産業車両及び車両用途、一般産業用途と分類できる。この中で一般産業用途、産業車両及び車両用途は圧力、流量共に低く、圧力は高いものでも21MPa程度、流量は30l/min程度が最大である。一部高速プレスなどで高圧大流量を求められるケースはあるが、希な例である。これに比較して油圧式掘削機に搭載する油圧機器に求められる性能は高い。油圧式掘削機用油圧機器の場合、最も販売台数の多い20tクラス⁵⁵の場合、圧力では常用35~40MPa、流量は400l/min程度⁵⁶である。圧力、流量以外にも使用条件は厳しい。例えば、負荷が衝撃的であったり、作動油の中に砂が混入してくることもある。その他、極寒の地でも作動しなければならないなど求められるスペックが多様である。つまり油圧式掘削機に搭載されている油圧機器は、他の用途向けに開発した油圧機器を流用するのではなく、油圧式掘削機用に開発された製品でなければならない。(図7)はじめて油圧式掘削機が開発された当時は、汎用の油圧機器を使用して開発されていたが、日立建機がUH03を開発した1965年当時は、油圧機器の性能が改善されている途上である。油圧機器の性能が油圧式掘削機の技術的な差別化の要

⁵¹ 日立建機ホームページより、2005年6月26日参照

http://www2.hitachi-kenki.co.jp/company_ir/company/history.html

⁵² 現在コマツ

⁵³ 現在コベルコ建機

⁵⁴ 社団法人 フルードパワー工業会、フルードパワー P.70

⁵⁵ 油圧式掘削機を製品毎に分類すると、ホイールローダーやパワーショベルなどに分類できる。20tクラスというのは、油圧式掘削機の中でも販売台数の多いパワーショベルのサイズの呼称である。通常、バケットと呼ばれる先端のアタッチメントの積載可能重量を指しており、20t以外に30t、40tなどある。

⁵⁶ 40Mpaは1平方センチあたり約400kgfの推力を発生させることができる。10円硬貨の直径が2.2cmで約3.8平方センチである。10円硬貨に40Mpaの圧力がかかると、推力は1.5トンであり普通乗用車が持ち上がる。400l/minの流量が10円硬貨の面積を押し出す速度としては時速63kmとなる。

因になっていた時代であり、油圧機器の性能改善に力が入れられていた時期と言える。この事例分析では1967年から1980年までの油圧式掘削機用油圧機器開発における技術のモジュール化と転用について考察を行う。

第2項 国産油圧ポンプの開発

国産初油圧式掘削機用油圧ポンプ⁵⁷の開発が開始されたのは1967年である。川崎重工⁵⁸は日立建機⁵⁹のパワーショベル⁶⁰開発機UH05の主ポンプの試作依頼を受け、開発・試供を開始した。日立建機は、既にUH03というパワーショベルを市販していた。日立建機が川崎重工に国産ポンプの開発を依頼してきた背景には、同社の海外戦略がある。日立建機が今後、海外に販路を広げるためには、国産の油圧機器を使用しておかなければ、販売テリトリーなどで制限を受ける可能性があることがわかっていた。当時、主ポンプ以外の油圧機器については国産品で使用可能なものがあつたが、国産品でパワーショベルに適用できる主ポンプはなかつた。このため主ポンプの開発を川崎重工に依頼したのである。ただし、川崎重工のポンプ開発が成功しなかつた時のリスクに備え、東芝機械が提携していたアメリカのダイナパワー⁶¹のポンプとの競合開発が選択された。

第3項 独自技術による開発の失敗

最初に川崎重工から試供されたポンプは、KVシリーズの一つであるKV920であつた。KVシリーズは、押出し機用として数台の納入実績を得ていた一般産業用に開発されたポンプである。1967年4月頃、KV920は日立建機のパワーショベル試作機に搭載されて、性能試験や耐久試験が行われていた。この試作車⁶²には、主ポンプとしてKV920が2台が試供されていたが、耐久試験では故障が相次いだ。足立工場のパワーショベルに取り付けて運転開始した途端に壊れるものや、しばらく快調に回っていたものが破損をする。徹夜で出荷運転し、翌朝航空便で足立工場へ送ったポンプが、その日の夕方に壊れたという電話連絡が入った事も何度かあつた。

そうした数ヶ月の努力の甲斐も空しく、KV920の開発を断念する時を迎えた。いくら改善し新たな部品で挑戦しても良化する傾向はあらわれなかつた。夏の終わり頃、日立建機と川崎重工で協議が持たれ、このままでは開発を成功することは難しいとの共通認識に立った。当時、並行してテストが続けられていたダイナパワーポンプは、破損などの重大事故もなく、順調に稼動していた。一方のKV920の事故内容は、あらゆる部品が損

⁵⁷ 油圧式掘削機の主動力はエンジンである。しかし、エンジンのエネルギーは主として回転力として作用しており、他のアクチュエーター（作動機器：シリンダー、モータなど）を作動させるためには、エネルギーの変換が必要である。油圧式掘削機の場合、回転動力を油圧エネルギーに変換し、アクチュエータを作動させている。この変換機構が油圧ポンプである。

⁵⁸ 川崎重工精機事業部：現カワサキプレジジョンマシンナリ

⁵⁹ 1964年当時は日立製作所／足立工場

⁶⁰ パワーショベルは国産初油圧式掘削機の1種であり、走行部に無限軌道（通常キャタピラと呼ばれるが、これはキャタピラ社の商標）と旋回するキャビンを有し、アーム、ブーム、バケットと呼ばれる3本のアクチュエータで掘削作業を行う機械である。一般的に道路工事現場や建設現場でも見かけられる。

⁶¹ ニューヨークエアブレーキ社の商品名

⁶² 覆面機名であつたがUH05相当。商品化後にUH06になる。

傷を受けており、破損の原因部位を特定できていなかった。原因究明力が備わっていなかった事もあるが、やはり多くの部品の実力が不足していたといえる。ただ、現時点で考えると、致命的な失敗はピストンリターンメカ⁶³ と呼ばれる部分の機構設計における検討が不十分であったことが挙げられる。

第4項 ティアダウン⁶⁴による技術の転用

日立建機と川崎重工の協議において、KV920の開発を断念することになった。しかし、日立建機としては国産のポンプを開発しなければ自社の国際戦略を変更しなければならない可能性が生まれる。日立建機には、何としても川崎重工に油圧ポンプを開発させなければならない事情があった。日立建機は川崎重工にパワーショベルに使えるポンプを開発させるため、破損などの重大事故もなく、順調に稼動していたダイナパワーのポンプのティアダウンを提案した。ティアダウンは当時、東京営業所があった芝の事務所で行われた。会議室に新聞紙を広げ、分解された部品を並べ、全てスケッチし寸法を記録するという作業が行われた。川崎重工明石工場にデータを持ち帰り、ダイナパワーの良い点を取り入れながら新しいポンプの構想が決められた。大きく変更されたのは、傾転角と呼ばれる1回転あたりの吐出量を決めるパラメータとピストンリターンメカである。傾転角は下げられ、構造強度的に余裕がある設計に変更された。ピストンリターンメカ⁶⁵ は、球面ブッシュ型から押え金方式に改められた。

新しい試供ポンプKVA925のスペックが決まった。設計を行い、製造や外注先・鋳物メーカーなどに特急で試作品の製作を依頼し、短時間で試作品を製作した。早速テストし耐久試験なども実施したが、すんなりとは行かなかった。特にリターンメカとして押え金方式を採用したが、当初は押え板（通称 蓮根）の外周のガイドと、浮き上がらないように押えこむ押え金を一体化した押え駒と称した銅合金を採用した。結果的にはこの駒の剛性が高すぎて、駒のツバ部が破損したり、シューが抜けたりした。押え駒の形状や材質を試行錯誤したが、安定しなかった。ダイナパワーのスケッチでは、薄い板状のものが採用されていたことから、バイメタル⁶⁶（ホホワイト+軟鋼）の板を金鋸で切り取って作った。2箇所づつを繋げた三日月型の形状にしたため、形状から三日月という愛称を付けた。

この押え金方式に変えた事から、比較的安定した耐久力が得られ出した。日立建機の実機試験でも、以前のような早期短時間破損という問題は少なくなっていた。ピストンリターンメカニズムの剛性が、耐久性に大きな影響を及ぼしている事が分かった。

日立建機のパワーショベル開発のタイムリミットが近づいており、1968年3月末に油

⁶³ ピストン型油圧ポンプには、9本のピストンが組み込まれており、外部から回転力を加えられて、ピストンが往復運動を行い作動油を押し出し、油圧力を発生する。このとき、押し出す力は外部からの回転力により得られるが、押し出す前の位置に戻る力は、機構的に発生させる必要がある。この機構のことをピストンリターンメカと呼んでいる。

⁶⁴ ティアダウン（Tear Down）とは、機械を分解するという意味である。競合製品を分解し、コストや性能を分析する方法。リバーズエンジニアリングと同意。

⁶⁵ ピストンリターンメカにはいくつかの方式がある。球面ブッシュ方式は構造的にシンプルで低コストかつ機構学的に理にかなった方式であるが、材料強度など最適化しなければならないパラメータが多く、開発には時間が必要であった。これに対して、押さえ金方式は組み立て時の調整が難しいなどの問題があったが、設計は容易であった。

⁶⁶ 異種材料を2枚張り合わせた材料。

圧機器類を含むパワーショベルの仕様を決定するという事が告げられた。ポンプは最終評価のため、KVA 9 2 5 とダイナパワーポンプを搭載した2機のパワーショベルで、山梨県の釜無川で比較耐久を行うという事になった。その頃は KVA 9 2 5 も少しは安定した耐久性を得ていたが、まだまだ心配が先立つ状況であった。しかしながら時間はない。耐久に供されるポンプは心を込めて組み上げられた。当時の担当者は、「不安の気持ちであった。成功するかどうかというよりも、このままでは国産ポンプは開発できないのではないかと、この実機耐久評価で KVA 9 2 5 は日の目を見ないのではないかと、という不安が経営陣の頭をよぎっていたと思う。」と述べている。

パワーショベル実機テストでは大きな問題も発生せず耐久が続けられた。山梨県釜無川で行われていたパワーショベルの実機耐久試験が終了した。KVA 9 2 5 もダイナパワーポンプも無事試験を完了した。「両者、優劣付け難し。国産品で行く」というのが日立建機の結論であった。

この報に接した時の担当者は、「その時はそれほど爆発的に喜んだ気持ちは持たなかったと記憶している。あれほど苦労をしたのだから、大喜びであって然るべきであろうが、今そういう記憶は無い。直前のサンドストランド社との技術提携話⁶⁷ で水を差されたのか、これからの苦労の予感で素直に喜べなかったのかは分からない。ただ当時、他のメンバーの方々がどういう思いであったかは定かでない。」と述べている。

第5項 VTO プロジェクト

何とかKVA 9 2 5 として国産のパワーショベルに搭載できるポンプが誕生したが、今後の油圧ポンプの動向を考えた時、今のままでは世界に対抗できない事が開発部員の認識にあった。ダイナパワーとサンドストランドの実力をまざまざと見せ付けられた。高圧に耐えられ、更に信頼性のあるポンプを、基本の研究から解明して、早急に作り上げようという事になり、技術研究所と油圧機械事業部⁶⁸ とでプロジェクトが組まれた。当時の開発課長の命名で、VTO⁶⁹ というプロジェクトであった。開発課のメンバーに、技術研究所のメンバーを加えて活動が開始された。メンバーはベテランのみならず新入社員も参加し進められた。

1968 年は西神戸工場開設⁷⁰の年であり、夏から秋口にかけて明石工場から西神戸工場への移転作業が行われた。しかし開発課はその移転作業とは別世界で、VTO活動に専念していた。

このVTO研究を具現化する形で、KVB 9 2 5 という試作機を生まれた。高圧 40Mpa 常用を狙った革新的なポンプとして期待があった。ピストンリターンメカに、逆菊バネの

⁶⁷ 直前にアメリカのサンドストランド社が日本の提携先を探しているという情報が商社からもたらされた。サンドストランド社は HST (Hydro-Static-Transmission) と称する閉回路ポンプ/モータで構成するモバイル分野の雄である。今後、国産開発を続けるか、技術提携によって技術を確認させるのかを経営的に検討をしなければならない状況であった。最終的には技術提携せず独自路線を選択する。

⁶⁸ 1968 年に精機事業部から独立

⁶⁹ Vertical Take Off, 垂直離陸

⁷⁰ それまで明石南工場と呼ばれる明石工場を拠点に事業を行っていたが、油圧機器事業の拡大に合わせて、新工場である西神戸工場を建設した。

愛称をもった皿バネ機構⁷¹を採用し、いくつかの新設計が適用された。日立製作所が、この頃ブルドーザの油圧ミッション化を計画しており、このポンプ／モータにKVBを試供することになった。しかも本格的なHST回路⁷²であった。ポンプ／モータは新開発の高圧型、回路は閉回路という、何重苦かの技術課題を背負っての開発であったが、結果的には日立サイド⁷³も川重サイドもこのプロジェクトは断念せざるを得ない結果となった。

その後、1969年にKVC925の開発に着手した。高圧化を踏まえて、KVA925にKVB925の成果を取り入れる形のコンセプトであったが、ピストンリターンメカはKVAと同様の押え金方式に戻された。その後も幾多のトラブルを経験しながら、NVシリーズの出現まではKVCシリーズが成長を遂げていった。

第2節 油圧ポンプ技術の転用による油圧モータの開発

第1項 油圧式掘削機用新型ポンプの開発

1979年の秋、斜板式ポンプの高出力密度化⁷⁴に合わせ、KVシリーズに代わるNSP (New Swash plate Pump) シリーズ⁷⁵の開発が開始された。

NSPシリーズには、高出力密度実現の目標としてKVシリーズに対して重量比3/4⁷⁶が設定された。この高い目標を実現するためには、従来のKVシリーズの延長ではない新しい構造のポンプを開発しなければならない。それまで培ってきた斜板ポンプ技術の多くを捨て、新しい製品開発を行うことになる。

開発に先立ち、まず着手されたのが、ピストンリターンメカの見直しである。KVB開発における大きな失敗の要素であった、球面ブッシュ方式の開発に再度取り組むことが決定された。構造的な単純さ、組立性の良さ、機構的に生まれる隙間が少ないなど、様々な利点が判りながら実現していない技術であった。この技術に再度取り組むことは、自前技術を放棄して他社の技術を真似たことに対する技術者のノスタルジーを呼び覚ますと同時に、開発から10数年を経て過去の失敗に決別する機会を得たといえる。球面ブッシュ方式はKVBの失敗の後もVTOプロジェクトなどでも要素試験が行われ、最適形状の研究や材料の研究が行われており、実用化の目処が立っていた。NSPの開発は10数年間の研究の成果を確認する形で整齊と行われた。これ以外のポンプ本体の機械要素にも大きな変更がされ、ポンプの小型化が実現される。

このようにポンプ設計技術の完成度は高まったが、NSPの開発を行っていた時期から機体メーカーと油圧機器メーカーの関係が微妙に変化し始める。後から歴史を振り返ると、NSPの開発は油圧機器開発が油圧機器メーカー主導であった時代の終焉であったと言え

⁷¹ この生産技術や剛性の問題でKVBは断念することになった。

⁷² Hydraulic Static Transmission の略で、左右の走行に油圧モータを使用し、油圧ポンプからの供給油量の配分を変える事により、左右の回転速度差を生み出し、操舵する油圧ミッション。回路は閉回路と呼ばれる回路であり、吐出した作動油を吸入し、再度吐出するという循環的な回路になっている。

⁷³ 日立建機がブルドーザから撤退

⁷⁴ 単位重量当たりの出力馬力の指標が上がることを示し、より小さなポンプで同等以上の出力が出せることを意味している。

⁷⁵ NSPシリーズは後にNVシリーズとなり、パワーショベル用ポンプとして世界のマーケットを席巻する。

⁷⁶ 3/4の重量で同じ出力が出せることと同義

る。それまでは本機メーカーは油圧機器の技術にまで手が回らず、油圧機器開発は油圧機器メーカーに任していた時代であった。油圧機器メーカーの技術者はパワーショベル開発に入り込み、自分達もパワーショベルを作っている気持ちで開発を行っていた。こうした開発体制は、エンジニアに共存的意識を醸成しモチベーションを高めることにつながった。油機市場も伸びる時代であり、技術者の補充が間に合わず、技術者は開発から組立・試験まで何でもこなした時代であった。逆にそれが個人の能力を育成した。

しかし、NSPの開発からは本機メーカーが、油圧機器メーカーに様々な要求をし始める。象徴的なのはポンプ吐出容量のバリエーションの増加である。それまでは100cc/revのポンプのみであったものが、NSP以降は60cc/revや120cc/revなどバリエーションが増加した。それまでは本機の設計者が本機の設計仕様に合わせて、ポンプとエンジンの間にギアボックスを設計し対応していたが、本機のコストダウンと小型化のためポンプをエンジン直結で駆動する方式に変更したためである。それまでデザインルールを変更できなかった油圧機器モジュールのデザインルールが本機のデザインルールにおいて最適化されるようになった。本機設計が油圧システムを含めたトータルシステムで最適設計しなければ、差別化できない時代に入ってきたと言える。

第2項 油圧式掘削機旋回用油圧モータの開発

NSP開発より少し遅れて開発が開始されたのが、新型旋回モータMXシリーズである。それまで旋回モータは高トルク、低速回転のラジアルピストンモータが使用されていた。しかし、旋回時のスリップ性能に対する顧客の改善要求が高まり、旋回モータには減速機が使える中速モータ⁷⁷の開発が求められるようになった。

新型モータの設計コンセプトは3つであった。

- ・スリップ量⁷⁸の低減
- ・優れた自吸性能⁷⁹
- ・定格圧力25Mpa、最高圧力30Mpa⁸⁰

モータの構造としては、従来のラジアルピストンモータではなく、NSPと同じ構造が採用された。中速モータに必要な要素としては、高い吸入能力、起動効率の改善、低騒音などがあつたが、こうした問題を解決するためには、NSPと同じ構造が最適であることがわかっていった。

斜板式アキシヤルピストン型モータの開発にあたっては、NSPに開発適用されていた技術が多く転用される。球面ブッシュによるリターン機構、球面弁板による自吸能力の改善、ピストン、シリンダーなどのロータリー部品の技術などである。こうした技術は、単に転用されるだけでなく、モータに必要な特性に合うように翻訳され転用された。

⁷⁷当時の技術レベルから考えると高速であったが、現在の技術レベルから見ると中速モータである。

⁷⁸モータ停止状態においてモータが外力により回された場合の回転速度のことである。この性能が低いと、坂道で停止中の掘削機が勝手に旋廻し始めたりする。

⁷⁹自吸性能は、外力で回された場合に自力で作動油を吸い込む力のことで、この能力が低いと外力で回された場合に、モータ内に作動油が不足し、破損する可能性が生まれる。

⁸⁰モータの出力を上げるためには、容量を上げるか、圧力を上げるしかない。容量を上げればモータは大きくなる。高圧化は小型化に不可欠なのである。

通常、弁板にはノッチと呼ばれる衝撃的な圧力上昇を防ぐ、圧力導入路が加工されているが、左右どちらの方向にも回転するモータの球面弁板には、線対称にノッチが設けられた。その他騒音を抑制するための圧抜き穴なども、MX用球面弁板には加工されている。

回転モータの重要な性能として、起動トルクと呼ばれる負荷状態から起動する際の出力トルクがある。実際には出力トルクは、モータが持つイニシャルの摩擦力と油圧力をトルクに変換する機械的な変換効率で決まる。MXの場合、出力トルクそのものは十分到達していたが、シューと呼ばれる部位が破断するという事故が相次いだ。実験と調査の結果、起動時のシューにかかる破断応力が大きいことが判明し、NSP用に開発されたシューをモータ用に設計変更し、適用した。シューについては、これ以外にもシューの摺動面の静圧軸受けを形成する溝形状を変更することによるスリップ性能の改善、ピストンとシリンダのクリアランス量の低減などの新しいアイデアの採用が行われた。さらに、シリンダ、弁板の球面加工・仕上げにはそれまで培ってきた高度な生産技術が活かされた。

NSPの基本構造が転用されたMXは、高圧中速回転モータでありながら耐久性に優れていたため、油圧式掘削機旋回用のみならず、クレーンの巻上げ用モータとしても使用され、高圧中速モータ市場で大きなシェアを獲得し、上市から7年目で累計台数10万台を達成し、1989年には年間3万台の生産台数に到達する。

第3項 油圧ポンプ技術の転用プロセス

油圧ポンプと油圧モータは原理的な構造が似ている。簡単に説明するならば、油圧ポンプは駆動軸から外力を得て、それを油圧力に変換するのに対して、油圧モータは外部から加えられた油圧力を軸力（回転する力）に変換する機能である。両者の関係は、油圧力を電気に置き換えると、発電機と電動機の関係に似ている。したがって、MXモータにNSPの基本構造を転用するというアイデアは、比較的容易に考えられるアイデアである。実際にKVCの技術を転用してKXCというモータが開発されている。つまり、ポンプの開発には、技術モジュールの転用によるモータの開発が初めからコンセプトに含まれているといえる。

こうしたコンセプトが生まれる背景としては、ポンプとモータの構造的な類似性に加え、内なるニーズとして生産設備などリソースの効率的な活用があげられる。2004年度の国内における油圧式掘削機の生産台数は125,034台であった。⁸¹ 一方、2004年度の乗用車の生産台数は8,720,385台であった。⁸² 台数比で約70倍の差である。自動車に搭載されるエンジンは一台あたり1基である。一方の油圧式掘削機に搭載される油圧ポンプも1基である。自動車と同様の生産性まで高めるためには、リソースの活用が必要であった。しかも、NSPに適用された球面弁板の生産技術は高度な生産技術であり、他社にはない技術で、転用する価値があった。MXの開発がNSPの開発より遅れて開始された背景には、技術モジュールを確立させるまでの時間が必要であった事情がある。

油圧ポンプから油圧モータに転用された技術モジュールの中身は、大きく分類すると、ロータリーと呼ばれる回転機構、リターンメカニズムと呼ばれる機構、およびこれらを製

⁸¹ (社)日本建設機械工業会ホームページより 2005年6月26日参照
http://www.cema.or.jp/stat/result/JP001_2004unit.xls

⁸² (社)日本自動車工業会ホームページより 2005年6月26日参照
http://www.jama.or.jp/stats/m_report/pdf/2005_04.pdf

造するための生産技術である。

MX モータの場合、これらの技術が翻訳され転用されている過程については、事例の中で述べた。翻訳を行った組織は、同じ開発部の異なるメンバーである。この組織の特徴は、組織のトップが KVC 開発からコンセプトを発信し続けているリーダーと、KVA からの開発に関わる中堅マネージャーと若いエンジニア達であった。組織はリーダーの下で結束し、家族的な雰囲気を持つ組織であった。酒宴を好み、休みには旅行をするような組織である。組織は公式の組織図にはない機能がかった。同じ開発課とは言え、ポンプグループとモータグループは分かれていた。こうした組織において、転用が実現できた背景には、開発課内の情報を流通させる、エンジニアの役割が重要であった。ポンプ、モータとは言え、基本構造は似たところがある。従って実験や試作の情報はお互い重要である。しかし、両グループ共それぞれの開発に集中しており、グループ間で細かい技術情報を共有化させる余裕が無かった。確かに毎週の報告書などは回覧されていたが、その情報が直接転用されることは少なかった。情報を解釈する、つまり翻訳する余裕が無かったのである。くわえて 1974 年からは、設計標準が制定され暗黙知の多くが形式知化された。技術者は技術を獲得する意識が薄れ、技術を与えられる意識が高まってきた。

こうした組織の変容に合わせて、組織内にはゲートキーパーが生まれる。それまでは、多くの技術者がゲートキーパーの機能をはたしていたが、開発業務が形式知を使うことにより標準化され、冗長性を失い始めた。これにより、ある特定の技術者がゲートキーパーの役割を果たすようになる。

実際にゲートキーパーの役割を担っていた人物は、高い専門知識を持ち、好奇心の強いエンジニアであった。そのエンジニアは、人だかりがあると覗きに行き、知識を仕入れると共に解決の示唆を与える役割を行っていた。

また、この開発のプロセスの中で特徴的なのは、技術のあだ名の活用である。三日月、蓮根、インバーダーシュー⁸³ など様々な、あだ名が技術に付けられ、複雑な技術情報を一言で伝達する工夫がされていた。こうした、あだ名は公式の会議のみならず、酒宴などでも歴史と共に語られ、ベテランエンジニアから若手エンジニアに技術として伝えられた。こうしたあだ名を知ることは、若手エンジニアにとっては技術者の一員になることを意識させる。こうした効果については、Dunbar(1996)が、特定の方言を話すことは特定の団体の成員である印であることを論じている。技術モジュールの中にはこうした、あだ名で伝達される技術があり、それが製品開発組織における組織に対する帰属意識につながっていると考えられる。こうした仕組みは、組織全体が翻訳システムとして機能するための一つの役割になっている。しかし一方で、こうした帰属意識が新しい技術モジュールを転用する際の障害になっていると考えられる。

第3節 事例の分析

1960 年代半ばから、1980 年代前半の油圧ポンプ、油圧モータの開発について分析を行った。この時期、日本は高度経済成長の中で建設需要が拡大した時期であった。こうした時代背景もあって、この時期は油圧式掘削機の市場が拡大し、油圧式掘削機の技術は急速

⁸³これ以外にも、様々なあだ名が使われている。多くは外見であったり、音であったり、人間の 5 感で感じ取れ、なおかつ技術的な意味を持つあだ名が使われた。

に技術革新した。この技術革新には本機の機体設計技術のみならず、油圧システムの技術革新も含まれ、油圧式掘削機システム全体の製品開発が進んだ。油圧技術の原型は 1653 年パスカルによりパスカルの原理が発見されたことに遡る。技術としては 350 年の歴史を持つ技術である。こうした古い技術であったが、油圧式掘削機の技術革新は油圧技術の革新を触発し、1960 年代の油圧技術は「暁の技術」と呼ばれた。⁸⁴それほど、進歩と成長が顕著であった。この成長著しい時期の技術開発においては、技術開発のスピードが要求され、技術モジュールの転用を促している。この節では、川崎重工における技術モジュールの転用プロセスにおいて、事例研究 1 で得られた考察がどの程度、例証できているのかを考える。

第 1 項 あだ名の活用

まず、川崎重工の油圧機器開発において特徴的なことは、あだ名の活用である。あだ名は日常的に使われ、寓話のような失敗談や成功談と共に語られる。これらが語られるのは、会議室、宴席、顧客との商談の場であったりする。あだ名には様々な意味や技術が込められており、一言に多くの意味が込められている。あだ名を覚えなければ、会議でも議論に参加できない。あだ名はある体系化された技術のメタファーであり、モジュール化された技術の存在を示している。

例えば、インバーダーシューは形状から生まれたあだ名だが、その形状が生まれた背景には構造強度の強化があった。それまで使われていたシューは、横から見ると T 字型の部品であったが、インバーダーシューは T 字型の縦の一部を太くしている。その形状が当時流行していたインバーダーゲーム⁸⁵のインバーダーに似ていたためにインバーダーシューと名付けられた。したがってインバーダー形状のシューと言えば、一部が太く構造強度の高いシューであり、仕様用途は構造強度の必要なモータ用のシューであるという技術体系が頭に浮かぶネーミングになっている。これ以外にもニンクイーターなどという部外者が聞いても全く理解不能なあだ名もある。ある時、建設機械を操作する操作バルブ⁸⁶を海上輸送で海外へ輸出したが、その際ブーツと呼ばれるゴムのカバーに混載されていたニンクの匂いが移るというトラブルが起きた。原因はゴムに含まれている炭素がニンク臭を吸着したためである。当時、足の匂いを取る中敷としてオドイーター⁸⁷という製品がよく宣伝されていた時期であり、しかも匂いを取る仕組みとして活性炭を使っていたところがトラブルの原因と共通していた。加えてあまりに予想外のトラブルに担当者の「痛い＝イーター」の気持ちを込めて付けられた。

以上のようにあだ名は、様々な技術や情報が体系化された技術モジュールを象徴し、情報の伝達に役割を果たしている。また、あだ名には忘れられるあだ名もあった。あだ名に込められた意味や技術が、あだ名の寿命を決めるのであった。どんなに大きな成果に結びついた技術に対するあだ名であっても、技術の陳腐化によって忘れ去られている。

第 2 項 技術モジュールの転用

⁸⁴ ポンプ開発のインタビューにおいて何度か使われた。

⁸⁵ インバーダーゲームとは、株式会社タイトーが 1978 年(昭和 53 年)発売した「スペースインバーダー」の俗称。

⁸⁶ 形状はいわゆるジョイスティックのようなもの。

⁸⁷ オドイーター：小林製薬の販売する靴の中敷きの商品名。

技術モジュールの転用において翻訳のプロセスは重要である。油圧機器開発の事例においては、2つの翻訳プロセスが観察できた。第一にティアダウンにより獲得した技術モジュールの翻訳である。獲得した技術モジュールは傾転角やピストンリターンメカニズムなどである。川崎重工の技術者は、これら獲得した技術モジュールを翻訳し、自社のポンプに転用している。ティアダウンを行ったポンプの製造企業の技術は設計技術のみならず製造技術においても川崎重工より優れていた。そうした優れた製品をそのまま真似しても同じ物ではない。自社の保有する技術の範囲内で最適な形で翻訳を行わなければ、技術モジュールの転用は成功しない。特にピストンリターンメカニズムの部分は試作と試験を重ね、パラメータを解析しながら翻訳が行われている。その結果生まれたのが三日月と呼ばれる押さえ板であった。そうした苦労があだ名には込められている。

第二にNSPポンプ開発とMXモータ開発におけるピストンリターンメカニズムの球面ブッシュ方式をはじめとする技術モジュールの転用である。技術的優位はわかっていながら、KV920の開発では断念せざるをえなかった技術モジュールであった。転用までには約10年間の期間を要している。その間VTOプロジェクトをはじめ、何度も要素試験が行われ実用化への研究が行われていた技術である。機構的な要素、材料的な要素、機械特性の要素など技術モジュールを構成する様々なパラメータが探索された。こうしたパラメータの探索は技術モジュールの翻訳を可能にする。その結果NSPの開発においては、球面ブッシュ方式がスムーズに転用される。また、こうした技術モジュールはNSPポンプからMXモータへ転用された。既にNSPの開発により翻訳システムの機能を具備した開発組織にとって、構造の良く似たMXモータの開発に技術モジュールを転用することは容易であった。転用はニーズを転写する形で行われた。

以上のような2つの転用プロセスは、二つの技術モジュールの転用があることを気付かせる。第二の転用プロセスは事例分析1と同様の組織や人を介した技術モジュールの転用であるが、第一の転用プロセスは全く異なっている。第一の転用プロセスでは組織も人も全く介在せず技術モジュールが転用されている。情報として獲得できるのは、製品に転写された情報のみである。転用を行った組織は、製品に転写された情報から競合企業の意図、つまり情報の意味を読み取った。製品に転写された情報から技術モジュールを再構築したのである。ただし、こうした情報をティアダウンにより獲得するためには、Cohen and Levinthal(1990)が主張する吸収能力が必要であった。仮に、吸収能力を持たず、ただ単にティアダウンし、完全に技術を複製するためには、材質やディメンジョン、熱処理など様々なパラメータを徹底的に調べる必要がある。しかもパラメータに要求される再現精度などは不明であるため、全てのパラメータを高精度計測する必要がある。しかし、実際のティアダウンではそのような精密計測は行われていない。主要なディメンジョンを計測する程度であった。

では、この場合の吸収能力とはどのようなものであったのだろうか。ティアダウンを行った時、川崎重工の開発メンバーは、ポンプが壊れるという現象が何処にどのように現れるかということを実験により知っていた。このことは、問題点の在処を強く意識させることになる。解決方法は不明であるが、問題点はわかっていたと言える。この問題意識はライバル企業が開発組織が製品開発を行った際に、持っていた問題意識と同質のものであったと考えられる。つまり、異なる組織においても同様の経験を経て、同質の問題意識が醸

成されることはあるのだと考えられる。しかも、問題解決のプロセスを経ることにより、両社の技術的選択は収斂し、両社の製品開発組織が保有する技術知識の構成は似たものとなった。こうした開発組織に蓄積された技術知識の類似性が吸収能力になったと考えられる。技術モジュールが転用されるということは、技術モジュールを構成する膨大な技術が一度に移転されるのではなく、ある技術モジュールを構成する技術の体系といくつかの新技術および、その開発思想が移転されるのである。技術モジュールを吸収する組織では、技術モジュールの体系にもとづき既知の技術と新技術を再構成する。再構成された技術モジュールはその組織の開発製品に適用させるために翻訳される。このように技術モジュールを構成する技術の殆どはその製品の開発組織に既に保有されている技術であるといえる。ここに技術モジュールの転用の可能性が生まれるのである。もし、技術モジュールを構成する技術の殆どが未知の技術で構成されているのであれば、技術モジュールの転用は困難である。しかし、実際の製品開発においては、製品を構成する技術の殆どは既知の技術である。ここに技術をモジュール化する価値が生まれる。

以上のように技術モジュールの転用においては、必ずしも組織や人の介入を必要とはしない。むしろ転用を行う組織の吸収能力が重要である。事例研究1において技術モジュールの転用にあたっては、既存組織の変革が必要であることを論じたが、これは組織が蓄積されている知識が吸収能力に深くかかわっているためである。組織は蓄積した知識を利用して技術モジュールを吸収するのである。

第3項 組織変革

技術モジュールの転用においては、翻訳システムとしての組織の役割が重要である。技術モジュールを転用するためには、組織の常識を覆し、組織変革を行わなければならないことがある。事例研究1において生産設計の思想が、すり込まれた技術モジュールの転用においては、組織がコンカレントな組織に変革されたことが確認できた。

川崎重工においてNSPやMXを開発していた時代は、平均年齢も若く常に新しいもの挑戦していた時代であった。このため組織は柔軟であり、新しい考え方を取り入れることができた。開発を担当するエンジニアは、図面の作成や計算するだけでなく、みずからポンプを組立、試験を行っていたため、コンカレントな能力が身に付いていた。組織は活気に溢れ、組織全体が家族的雰囲気組織であったといえる。ただし、KVAを開発していた時代と比較すると、技術は設計標準などにより形式知に転換され、多くの技術が誰にでも利用可能な状態となっていた。これにより開発は効率化されたが、一方で技術は獲得するものから与えられるものになりつつあった。そうした状況の中で、開発組織は新たな知識獲得の仕組みを持ち始める。技術が獲得するものから与えられるようになった状況においては、技術を与える存在が必要になった。これがゲートキーパーを生み出す源泉となっている。ゲートキーパーはポンプの開発組織とモータの開発組織を横断し、技術情報の伝承を行った。これにより開発組織は、技術情報を流通させる新たな仕組みの獲得を実現した。

こうした開発組織の変化は技術情報に対する価値観を一変させる。開発に効率が求められるようになり、予想外の結果が生まれる実験や試験が排除されはじめる。そうすると失敗や予想外の成功から新しい知識が生み出される機会は極端に減少する。いつの間にか開発組織はマニュアル通りの開発しかできない組織に後退してしまう。製品開発組織には何

年かのサイクルの中で、こうした繰返しが行われていると考えられる。

第4項 顧客企業から見た技術モジュールの転用

以上のように、技術モジュールが転用される仕組みについては、説明した。次に視点を変えて、顧客から見た場合の技術モジュールの転用について考える。まず、油圧式掘削機用国産ポンプ開発においては、顧客である日立建機が、ティアダウンを提案し、技術の転用を促進した。背景には国産油圧ポンプを開発することによって、海外戦略の展開を容易にすることであった。その結果、国産ポンプの開発は成功し、日立建機の海外戦略は、計画通り実行することが可能になった。その後、油圧機器開発は日立建機との共同開発を進めていく。川崎重工のエンジニアは、日立建機の試験場にまで入り込んで、開発を行った。しかし、一方で川崎重工は他の建設機械メーカーに対してもポンプの供給を開始する。日立建機の立場で考えれば、ある意味では日立建機の技術モジュールが油圧ポンプを介して転用されることと同じであった。川崎重工のエンジニアは意識せず、本機⁸⁸の開発技術の一部を技術モジュールとして獲得し、他社の掘削機開発に転用したといえる。こうした事態に対して、日立建機は川崎重工のエンジニアの試験場への立入禁止を行い、油圧機器の開発については、油圧機器の仕様のみを伝えて開発を行う体制に変更した。しかも掘削機システムとしての差別化を行うために、設計を最適化の方針を取り始める。これにより、それまで汎用的な製品開発を行っていた油圧機器開発が、本機メーカーの仕様に合わせて開発する専用機開発に移行する。その端的な例がポンプ容量のバリエーション増加⁸⁹である。しかし、川崎重工としては仕様の増加は管理面や製造において煩雑さをともない、コストアップ要因となる。⁹⁰これを解消するための一つの解決策が、内蔵部品を共通化する思想であった。本機とのインターフェースについては、専用設計を行い、隠れた内蔵部品については、共通化を行うことにより、川崎重工内部における技術モジュールの転用を容易にした。このように日立建機向け油圧機器を他社の掘削機に適用するプロセスこそ、Baldwin and Clark(2000)が主張する転用であり、隠されたモジュールが内蔵部品ということになる。この場合、知識や技術は製品に転写されて流通する。

⁸⁸ 本機とは油圧機器が搭載される掘削機を指す。本機に対して、油圧機器は補機と呼ばれる。

⁸⁹ それまでは100cc/revのポンプのみであったものが、NSP以降は60cc/revや120cc/revなどバリエーションが増加した。それまでは本機的设计者が本機的设计仕様に合わせて、ポンプとエンジン間にギアボックスを設計し対応していたが、本機のコストダウンと小型化のためポンプをエンジン直結で駆動する方式に変更したためである。それまでデザインルールを変更できなかった油圧機器モジュールのデザインルールが本機的设计ルールにおいて最適化されつつある時期であった。

⁹⁰ 高嶋(1998)によれば、このように標準品ではなく顧客の個別仕様に対応することにより、コストが上昇すると論じている。こうした個別対応は製品適応と定義され、顧客適応の一つと論じられている。

結章

第1節 結論

二つの事例研究を通して、技術がモジュール化され転用されることを論じ、実際の現象を分析した。分析から得られた知見は大きくは2つの発見である。一つ目は技術モジュールの本質は技術の体系と開発思想であるということである。技術モジュールを構成する技術の殆どは既知の技術であり、技術のモジュール化の価値は、既知の技術の組み合わせにより生み出される新たな価値を示唆している。勿論、技術モジュールには新技術が含まれることもあるが、通常、全体を構成する知識の量から考えると比率は低く移転は可能である。つまり、技術モジュールを転用するという事は、技術の体系と思想およびいくつかの新技術を移転するという事である。

二つ目は技術モジュールを転用するためには開発組織には吸収能力がなければならないということである。まず、既知の技術知識が獲得されていなければ、移転しなければならない知識量は膨大なものとなり、技術モジュールの転用の困難性は高まる。また、新しい技術体系として技術モジュールを転用するのであれば、既存の技術体系から新しい技術体系へ移行する必要がある。適用されている技術体系は組織にも影響している。例えば、技術主導の製品開発組織であれば、生産設計的思想は含まれておらず、製品開発においても生産技術者が参画する体制は生まれにくい。しかし、転用される技術モジュールが生産設計的思想を含んだ技術モジュールであれば、開発組織はコンカレントな組織に変革されなければ、技術モジュールの転用は成功しない。技術モジュールの転用プロセスにおいて組織変革が観察されることがある理由は、技術モジュールを翻訳し製品開発に結びつけるためには、組織の機能が技術モジュールの技術体系や開発思想に合致する必要があるためであり、ある意味では組織の適応ともいえる現象である。

以上のように技術モジュールは体系化された技術知識として完結しており、あだ名を付けて伝達しやすいように工夫されることがある。名前が付くということは、技術モジュールが分離可能であることと、あだ名のようなメタファーにより伝達可能であることを示している。

本稿では技術のモジュール化と転用について定性的な分析を行い、以上のような新しい知見を得ることができた。新しい知見の中でも技術モジュールとして伝達される知識が技術体系であり、中身そのものではないという主張は重要な指摘である。こうした主張はモジュール化された技術が分離可能かつ転用可能な根拠になっていると同時に、あだ名のようなメタファーが転用において重要な役割を担っていることを裏付けている。もし、技術モジュールが中身の技術と共に転用される複雑な現象であれば、あだ名のような単純なメタファーによる効果は薄い。しかし、技術体系ということであれば、転用の仕組みも比較的単純なものとなり、あだ名の効果もあることが予想できる。

本稿の発見を利用すれば、技術モジュールの転用における仕組みの構築において、新たなフレームワークを構築することが可能である。

第2節 インプリケーション

技術のモジュール化と転用について事例分析を通して考察を行ってきた。これまで述べてきたように、製品開発のプロセスにおいて技術は転用可能な体系に整理されモジュール化される。モジュール化された技術は転用することが可能になる。ただし、転用するため

には開発組織の吸収能力が必要となる。吸収能力には開発組織の組織構造も含まれている。したがって転用のプロセスにおいては、しばしば組織が変革されることがある。以上のような主張について、定性的な調査により論証を行い、こうした主張が適用できる事例があることが確認できた。本稿で主張する理論は、普遍的な理論ではない。しかし、製品開発における知識獲得の一つの側面について、一般的な理論よりも更に踏み込んで具体的に説明できたと考える。普遍的な理論は、本来問題意識と共にある実用的な部分が削ぎ落とされ、一般化され理論に昇華されていくため、理論の説得性は高いが実際的ではない。一方、本稿の主張には普遍性はないが、実用的な示唆が多く含まれており、現実のある種の製品開発の現場に持ち込める発見が多く含まれている。

今後の課題としては、事例分析によって技術モジュールを構成する技術体系の分析とそれに含まれる技術に注目し分析を行えば、より実際的なフレームワークの提案につながるのではないだろうか。これまで製品開発に関する研究は、多くが自動車やコンピュータに関するものであった。これらの製品開発は同種の製品を開発するプロセスに関する研究である。したがって、ニーズ情報や技術情報についても類似性が高い。つまり組織が持っている知識や技術の同質性が高いため、技術モジュールの転用による技術開発というような現象が起りにくい。こうした現象を観察できるような製品開発としては、同種の技術背景を持つ、異なる製品開発ということになる。具体的には事例分析にあるような、生産財の製品開発などがこれにあたる。こうした生産財の製品開発のプロセスが研究対象となることは少ない。どちらかと言えば、最終製品の製品開発が研究対象となりがちである。しかし、モジュール化による開発と生産の分散が進む状況の中で、生産財企業が日本のものづくりを下支えしていることは間違いのない事実である。今後の研究において、こうした生産財企業の製品開発に関する研究が増えることを願う。

技術のモジュール化と転用は、技術開発における知識の利用を促進する。しかし、一方で弊害も生み出す。本稿の冒頭で書いたように、技術者として組織に加わった時に最初に学ぶことは、その組織が保有する技術モジュールである。そうした技術モジュールを使うことにより、失敗が少なく効率の良い開発が行える。しかし、そうした実績は技術モジュールに権威を与え、その技術モジュールを否定できなくなってしまう。藤井（2002）によれば、『ドミナントデザインの成立後の産業では、企業組織にとって新技術を開発・導入するための費用が高くなり、定常性を変革するインセンティブが低下してしまう』。加藤（1999）によれば、『技術に対する特定の解釈とそれに基づくシステムの構成は自明とされて、それ自体が問われることはなくなるために、異なる発展の可能性があると、ふつう思われなくなるのである。』と主張している。いずれも継続した製品開発の限界を示唆するものである。こうした開発の限界は、開発のリーダーシップを取る人々には認識されている。ポキポキモータの事例においては、「脱モータ」、油圧機器開発においては「脱油圧」という目標が、それぞれの開発リーダーにより掲げられている。いずれも自身が開発のリーダーシップを執った製品開発に限界を感じ、次のブレークスルーを狙った目標である。知識を転用し開発を行うことは、開発効率を上げる一方、考えることを失わせ開発に必要な能力の低下を招く。常にブレークスルーする製品開発を行わなければ、開発能力は失われる。技術モジュールの転用は重要な概念であるが、技術モジュールが権威持ち始めると、開発能力を失わせる結果になる。既にある知識を疑いながら開発を行うことが重要である。

参考文献

- Allen, T. J. (1977) *Managing the flow of technology: Technology transfer and the dissemination of technological information within the R & D organization*, Cambridge, MA: MIT Press, (中村信夫訳 『“技術の流れ”管理法』 開発社, 1984年) .
- Baldwin, Carlis Y., and Clark, Kim B. (2000) *DESIGN RULES, Vol1: The Power of Modularity*, The MIT Press, (安藤晴彦訳 『デザイン・ルール モジュール化パワー』 東洋経済新報社 2004年.)
- Clark, Kim B. and Fujimoto, T. (1991) *Product Development performance*, Harvard Business School Press, (田村明比古訳 『製品開発力』 ダイヤモンド社, 1993年.)
- Clausing, D. (1996) *Total Quality Development A StepByStep Guide to WorldClass Concurrent Engineering*, X, ASME Press, (富士ゼロックス TQD 研究会訳 『品質・速度両立の製品開発 Total Quality Development』 日経 BP 社, 1996年.)
- Christensen, Clayton M. (1997) *INNOVATOR'S DILEMMA*, Harvard Business School Press, (伊豆原弓訳 『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』 翔泳社, 2000年.)
- Cohen,W. and D. Levinthal. (1990), "Absorptive Capacity : A New Perspective on Learning and Innovation." *Administrative Science Quarterly*, 35, pp. 128-152.
- Dunbar,R.I.M.(1996) *Grooming, gossip and the evolution of language*, Farber & Farber, (松浦俊輔・服部清美訳 『ことばの起源猿の毛づくろい, 人のゴシップ』 青土社, 1998年)
- Nonaka,I and Takeuchi,H (1995) *The Knowledge-Creating Company: How Japanese Companies Create the Dynamics of Innovation*, Oxford Univ Pr, (梅本勝博訳 『知識創造企業』 東洋経済新報社, 1996年)
- von Hippel, E.(1994) "'Sticky information" and the locus of problem solving : Implications for Innovation.", *Management Science*, 40, pp. 429-439.
- Weick, Karl E.(1995) *SENSEMAKING IN ORGANIZATIONS*, Sage Publications, (遠田雄志・西本直人訳 『センスメーカー イン オーガニゼーションズ』 文眞堂, 2001年)
- 青木昌彦 (2002) 「産業アーキテクチャのモジュール化 ―理論的イントロダクション」 (青木昌彦・安藤晴彦編著『モジュール化 新しい産業のアーキテクチャの本質』 東洋経済新報社.)
- 青島矢一・ 延岡健太郎 (1997) 「プロジェクト知識のマネージメント」 『組織科学』 Vol. 31 No.1, 20-36 頁.
- 池田洋一・ 中原,裕治・ 伊藤,浩美 (1998) 「新形汎用 AC サーボモータの生産技術」 『三菱電機技報』 Vol.72 No.4 303-306 頁.
- 石見泰造・ 鶴飼義一・ 中原裕治 (2004) 「ネオジム系焼結磁石の"イカリング"製造技術」 『三菱電機技報』 Vol.78 No.10 667-670 頁.
- 井上健二・ 三宅展明・ 大穀晃裕・ 橋口直樹・ 安江正徳 (2001) 「三菱新機械室レスエレベーター用薄形巻上機」 『三菱電機技報』 Vol.75 No.12 772-776 頁.
- 加藤俊彦 (1999) 「技術システムの構造化理論技術研究の前提の再検討」 『組織科学』

Vol.33 No.1, 69-79 頁.

軽部大・小林敦 (2004) 「三菱電機 ポキポキモータ 新型鉄心構造と高速高密度巻線による高性能モーター製造法の開発」 一橋大学文部科学省 21世紀 COE プログラム 「知識・企業・イノベーションのダイナミクス」大河内賞ケース研究プロジェクト

金井壽宏 (1990) 「エスノグラフィーにもとづく比較ケース分析定性的研究方法への一視角」 『組織科学』 Vol.24 No.1, 46-59 頁.

川崎重工業株式会社精機事業部 30年史編纂委員会 (1999) 『精機事業部 30年のあゆみ』 .

木村康樹・橋本昭・度會明・仲興起 (2004) 「高速・高応答型リニアサーボモータの生産設計」 『三菱電機技報』 Vol.78 No.10 663-666 頁.

佐藤郁哉 (1992) 『フィールドワーク書を持って街へ出よう』 新曜社.

高嶋克義 (1998) 『生産財の取引戦略 一顧客適応と標準化一』 千倉書房.

竹内学・北野豊彦・鈴木健一・加藤康司・岩名信一 (1994) 「AC サーボモータ"MINAS"シリーズ」 『National Technical Report』 Vol.40 No.5 541-548 頁.

豊田幸一・平野幹雄・高畑俊宏・西山国裕 (1994) 「セル方式組立システムによる"MINAS"モータのステーター貫量産ライン」 『National Technical Report』 Vol.40 No.5 541-548 頁.

中垣尚治 (2004) 「国産初のパワーショベル用可変ポンプ"KVA925 誕生物語"」 『フルードパワー』 Vol.18 No.1 72-76 頁.

中村友一・雲井将文 (1994) 「モータの磁界解析」 『National Technical Report』 Vol.40 No.5 601-608 頁.

中原裕治・橋本昭・三瓶利正・花崎伸作 (1999) 「分割鉄心による中小型モータ製造技術に関する研究(第1報) 情報機器用スピンドルモータの薄型化」 『精密工学会誌』 Vol.66, No.1 102 頁.

中原裕治・米谷晴之・池田洋一・岩間俊樹・花崎伸作 (2000) 「分割鉄心による中小型モータ製造技術に関する研究(第2報)：産業機器 AC サーボモータの小型化」 『精密工学会誌』 Vol.66 No.7 1125-1129 頁.

中原裕治・五十棲秀三・三宅俊彦 (2000) 「ポキポキモータの車載機への応用」 『三菱電機技報』 Vol.74 No.9 579-582 頁.

中原裕治・秋田裕之・三宅展明・川口仁・川口進・花崎伸作 (2001) 「分割鉄心による中小型モータ製造技術に関する研究(第3報) ブラシレス DC モータの効率化」 『精密工学会誌』 Vol.67, No.3 456 頁.

中原裕治 (2002) 「分割鉄心によるモータ製造技術ポキポキモータの進化」 『パワーエレクトロニクス研究会論文誌』 No.28 17 頁.

長坂悦敬 (2001) 「製造部門からのコンカレントエンジニアリング」 『科学と工業』 第75巻, 第3号, 31-37 頁.

(社)日本フルードパワー工業会 (2003) 「工業統計で見る油空圧機器の出荷額, 輸出額, 輸入額について」 『フルードパワー』 Vol.17 No.3 68-76 頁.

橋本昭・三宅展明・中原裕治・中西康之・西村秀人 (2004) 「スパイラル状連結鉄心によるモータ製造技術」 『日本機械学会誌』 Vol.107 No.1026 338 頁.

- 檜垣俊郎 (1991) 「モータ特集号によせて」 『National Technical Report』 Vol.37 No.2 137-138 頁.
- 檜垣俊郎 (1994) 「モータ特集号によせて」 『National Technical Report』 Vol.40 No.5 539-540 頁.
- 檜垣俊郎 (1998) 「モータ特集号によせて」 『National Technical Report』 Vol.44 No.2 113-114 頁.
- 広瀬秀雄・ 渡辺隆平・ 辻正伸 (1998) 「産業ブラシレスモータ"MINASHYPER"シリーズ」 『National Technical Report』 Vol.44 No.2 142-148 頁.
- 藤井大児 (2002) 「イノベーションと偶然性青色 LED 開発の事例分析を通じて」 『組織科学』 Vol.35 No.4, 68-80 頁
- 三宅展明 (2002) 「最新のモータ製造技術」 『三菱電機技報』 Vol.76 No.6 54-58 頁.

図表

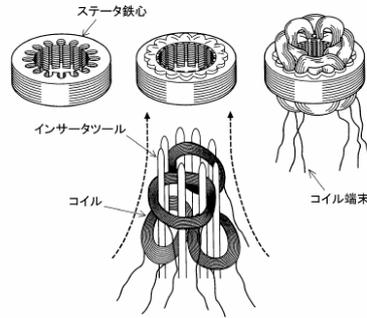


図1 従来のモータ製造方法 (軽部・小林, 2004)

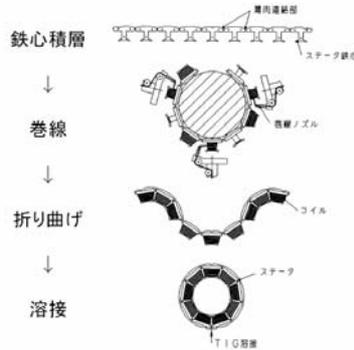
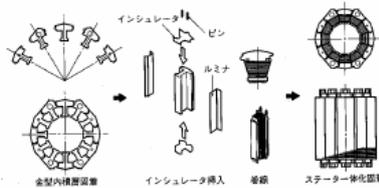
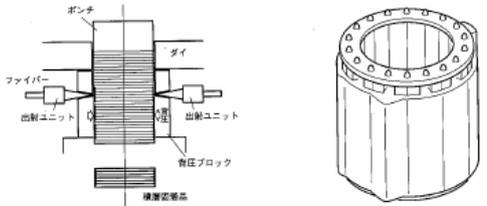


図2 ポキポキ方式のモータ製造法 (軽部・小林, 2004)

- コア（磁極）の12分割方式
- ・ステータの極数は12のため鉄心は12個の部品で構成しています。(下図①)
 - ・各コアシートの積層にはプレス金型の内部でコアシートを一枚ずつレーザースポット溶接します。(下図②)
 - ・各コアピース毎に巻線を行ないコアユニットとして完成します。
 - ・ステータ(下図③)は12セグメント(コアユニット)を合体させる為とりのセグメント側面の溝と山が互いにかみ合っでセグメントを合体します。
 - ・セグメントの合せ面に沿ってコアの縦にYAGレーザーを垂直し溶接し、ステータを完成させます。



図①「MINAS」シリーズの基本的な製鉄手順、巻線ごとに鉄心を分割し、後で合体させる。



図②プレス金型の内部でコアシートを一枚ずつレーザースポット溶接する。

図③MINASシリーズのステータ完成品

図3 α方式モータ製造方法 ('97/'98National/Panasonic モータ総合カタログ)



図4 ポキポキ方式の転用 (軽部・小林, 2004)



図5 ポキポキ方式の転用と製品開発 (軽部・小林, 2004)

	1	2	3	4	5	6
界磁鉄心(軸)	1	x	x	x	x	x
固定子鉄心	2	x		x	x	
固定子巻線	3	x	x		x	
ブラケット	4	x	x			x
界磁極	5	x	x	x		
ベアリング	6	x		x		

図6 電気モータのデザイン構造マトリックス (Baldwin and Clerk(2000)を参考に筆者作成)

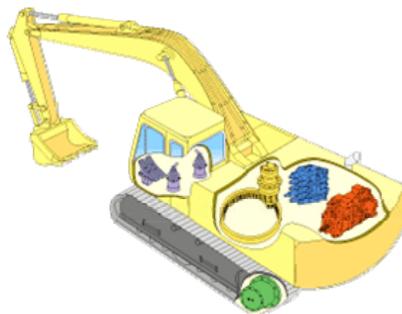


図7 油圧式掘削機に使用される油圧機器
 カワサキプレジジョンマシナリホームページより引用(2005/8/2)
<http://www.khi.co.jp/kpm/products/>

ワーキングペーパー出版目録

番号	著者	論文名	出版年
2004・1	村木 美紀子 澤田 明宏 藤田 清文 池田 周之 中井 雅章	ベンチャー企業の新規株式公開における企業価値評価について —アンジェス・エムジー株式会社をモデルとして—	9/2004
2004・2	澤田 明宏	不確実性下の発電設備の価値評価	3/2005
2004・3	河合 伸	情報システム導入時に発生する混乱の実態と解決の方向性 —ERPに代表される業務パッケージの導入に着目した研究—	3/2005
2004・4	矢崎 和彦	持続的競争優位源泉としての経営理念とデザインシステム —志と顧客価値を結ぶ文化技術—	3/2005
2004・5	柴原 啓司	東証マザーズ上場企業の財務パフォーマンスと資金調達—ベン チャー・ファイナンス市場の活性化のために—	3/2005
2004・6	宮入 康	飲料メーカーのチャネル対策としてのブランド変更の意味につ いて	3/2005

番号	著者	論文名	出版年
2005・1	赤坂 朋彦 大橋 忠司 北林 明憲 中島 良樹 古谷 賢一 山本 守道	官僚制組織における個人の自立性支援 －大手企業4社のアンケート調査から－	4/2005
2005・2	手島 英行 柳父 孝則 山本 哲也 和多田 理恵	人材ポートフォリオにおける人材タイプ別人的資源管理施策の 考察－職務満足要因の探求と職務満足次元との関係－	4/2005
2005・3	芦谷 武彦 栗岡 住子 佐藤 和香 村上 秀樹	企業組織における正社員とパートタイマーの価値観、準拠集団、 成果に関する考察－物品販売会社A社のアンケート調査から－	4/2005
2005・4	裊 薫	会社分割を利用した事業再生手続モデル	9/2005
2005・5	和多田 理恵	ベンチャー系プロフェッショナル組織におけるコア人材のコミ ットメントに関する研究－伝統的日本企業との比較分析－	10/2005
2005・6	本郷 晴	特殊鋼の製品開発マネジメント	11/2005
2005・7	高田 壮豊	Comparative Analysis of Organizational Commitment in Medical Professionals	11/2005
2005・8	松永 好弘	技術のモジュール化と転用の理論	11/2005