

## 時代環境とともに進化する工場

# 生産技術の知識ベースと生産工程改善\*

布瀬雅義\*\* 柏瀬雅一\*\* 來村徳信\*\*\* 溝口理一郎\*\*\*

Production Engineering Knowledge Bases and Process Improvements/Masayoshi FUSE, Masakazu KASHIWASE, Yoshinobu KITAMURA and Riichiro MIZOGUCHI

**Key words:** knowledge management, process improvement, process design, functional analysis

## 1. はじめに

住友電気工業株式会社では、光通信・無線通信分野のキーデバイス/マテリアル製造に注力しており、多種多様な新製品の開発、および、それらの量産プロセス開発、生産システムの設計・構築を行っている。これらの一連の活動をいかにスピーディかつスムーズに行うかが重要な経営課題の一つである。

自動車や家電製品などの組立型製品では、CAD/CAMなどを機軸としたコンカレント・エンジニアリングのアプローチが広く実践されているが、キーデバイス・マテリアルという先端技術型、かつ材料型の製品・生産では、以下のような異なる課題があり、それに対応するための新しいアプローチが必要である。

まず、製品、プロセスの新規性が高く、顧客の要求品質把握、プロセス開発等の面でのリスクが大きい。これらのリスクをいかに事前に押さえ込むかが、大きな課題である。特に材料型製品は、無数の定量的・定性的品質特性があり、かつそれらを製品の全長・全面にわたって保証する必要がある。品質保証、および歩留り向上を図る上でも、

材料加工の固有技術に踏み込んだ問題解決が必要である。

新規性からのリスク管理、および、固有技術に踏み込んだ早期の問題解決という課題から、製品・プロセス・生産システム開発の支援も、設計情報の共有化というレベルからさらに踏み込んで、製造に関する知識を体系化して、再利用するというレベルを考えなければならない。

本解説ではキーデバイス・マテリアルの製品開発から、量産立ち上げに至る一連の技術活動を総合的に支援することを目的として、現在構築・試行中の生産技術の知識ベースと、それを活用した生産工程改善の進め方について紹介する。

## 2. 量産化にいたる技術活動のフレームワーク

製品開発から量産化までの技術活動を支える知識ベースを構想するには、技術活動内容のモデル化が必要である。図1にその枠組みを示す。

この枠組みは、通常このように行われているという現状記述的なものというより、こうあるべきだという規範的なものとして描かれている。実際にこの通りに行われていない場合も少なくないが、この枠組みに従って活動を行うことにより、その質と効率が向上すると考えている。この枠



\* 原稿受付 平成14年2月1日  
 \*\* 住友電気工業(株)(大阪市此花区島屋1-1-3)  
 \*\*\* 大阪大学産業技術研究所(茨木市美穂が丘8-1)  
 布瀬 雅義  
 住友電気工業株式会社生産技術部。1984年カリフォルニア大学パークレー校経営学大学院博士課程修了。経営学博士。生産システム。著書「戦略的統合生産システム」「Just-in-Time Manufacture」(共著)ほか。  
 柏瀬 雅一

住友電気工業株式会社生産技術部。1981年東京農工大学大学院生産機械工学科修了。工学修士。生産システム。

來村 徳信

大阪大学産業技術研究所助手。1993年大阪大学大学院基礎工学研究科前期課程修了。博士(工学)。物理的システムに関するオントロジー工学的考察・モデル化・推論。

溝口理一郎

大阪大学産業科学研究所教授。1977年同大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。音声の認識・理解、エキスパートシステム、知的CAIシステム、オントロジー工学。「エキスパートシステム(1)~(3)」ほか。

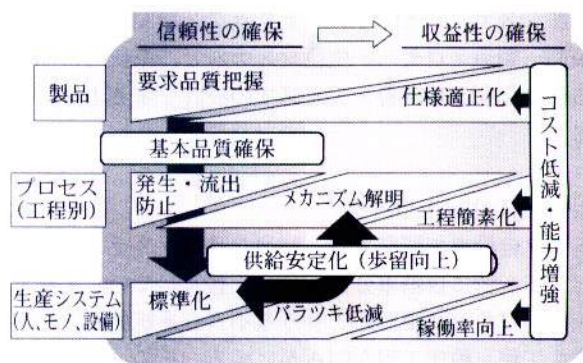


図1 量産化の枠組み



組みの有効性を論ずるのは、別の機会に譲ることとし、本稿ではこの枠組みに従った知識ベースとそれによる生産工程改善の進め方について述べる。

この枠組みの内容を概観しておくと、縦軸は「製品」、「プロセス」「生産システム」という3つの設計次元を表しており、この順序で設計が進められることとなる。この流れの中でリスク管理として重要な目標は、「基本品質の確保」であり、重大な顧客クレームを予防するために、製品レベルでは要求品質の確実な把握、プロセス・レベルでは異常・不良の発生防止、流出防止機能の組み込み、そして生産システム・レベルではそれを具現化するための作業、部材、設備の標準化が必要である。

信頼性が確保された後は、「収益性の確保」が次の目標となる。これはまず歩留りを向上させることで、安定的な供給能力を確保しつつ、コストを下げていく。そのためには、生産システム・レベルで、人、モノ、設備に関するバラツキの低減、およびプロセス・レベルにさかのぼっての不良や設備故障のメカニズム解明が中心的な活動である。

収益性のさらなる追求のためには、生産システムの稼働率向上（すなわち稼働ロスの削減）、プロセス改良によるモノやエネルギー等のロス低減、さらに製品改良による過剰品質の排除などが行われる。これらは製品、プロセス、生産システムの各レベルにおいて、顧客への価値提供に結びつかないムダな要素の排除と言える。

### 3. 量産化支援手法

量産化プロセスの各段階で、さまざまなツールが利用可能であるが、当社でよく用いている手法を列举すると、図2のようになる。以下、本論に関係する手法のみ、概要を紹介しておく。

#### 3.1 品質機能展開

Quality Function Deployment の名前で国際的にも広く活用されている手法である。顧客要求を系統展開し、それと製品の品質要素をマトリックスとして、両者の関係を表現する。これにより、顧客要求を系統的に把握し、それらを実現するために必要かつ十分な製品仕様の定義を行う。当社では、さらに品質要素と製造プロセス、製造プロセスと生産システムをそれぞれマトリックス展開し、顧客要求－製品－製造プロセス－生産システムと、系統的に関連を明らかにしながら、各ステップでの設計をするようにしている。

#### 3.2 QA ネットワーク

トヨタ自動車が開発され、簡便な品質システム設計ツールとして、特に自動車分野では広く普及している手法である。製造プロセス中で起こりうる不良を系統展開し、その発生工程、検出工程を明らかにする。その上で、当該不良の発生防止レベル、流出防止レベルを検討し、目標に満たない場合は、レベルアップ方策を検討する。

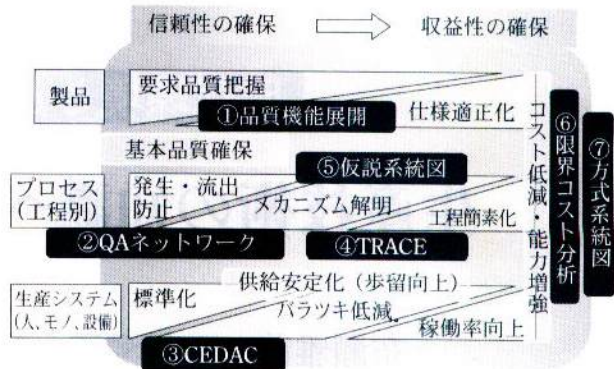


図2 量産化7つ道具

#### 3.3 CEDAC

正式名はカード式特性要因図(Cause and Effect Diagram with the Addition of Cards)といい、当社で開発された標準化のための手法である。製造プロセス中の重要要因を系統図の一種である特性要因図にまとめ、その要因に関する作業・製造上のノウハウを、文章や図解を用いて、カードで貼っていく。このカードを技術者、監督者、作業者と、関係する全員から出してもらい、衆知を集めつつ、最良の製造条件、作業方法に統一していく。

#### 3.4 仮説系統図

TRACEの履歴データをもとに、不良・故障の仮説を系統図で展開し、現象観察をしながら絞り込んでいく。たとえば、設備であれば、その部位別に発生要因を仮説として設定できる。枝葉まで展開すると膨大な数の仮説が考えられるが、なるべく幹に近い所で、関係ない仮説群を刈り込んでいくと、効率的な仮説の絞り込みができる。

#### 3.5 方式系統図

信頼性向上や原価低減のためには、新しい製造方式や検査方式をとることが必要となる場合がある。このような場合、可能性のある代替案を系統的に展開し、その中から最適なものを選択する。

### 4. 量産化支援ナレッジ・マネジメント・ツールの構造

現在では、これらの手法は手作業で展開・図解を行っている。品質機能展開や系統図などは、ソフトウェア・ツールも市販されているが、それらはあくまでも図解作業を助けるもので、検討の対象となる製造プロセスに関する知識が処理されているわけではない。

特に、検討対象となるプロセス、および、製造方式に関する知識は、これらの手法の前提となるものであるが、それらが明示的に表現されていないがために、種々の非効率を生んでいる。

非効率の第一は、製品開発から、プロセス、生産システム開発までには、多くの専門分野の技術者、および現場監



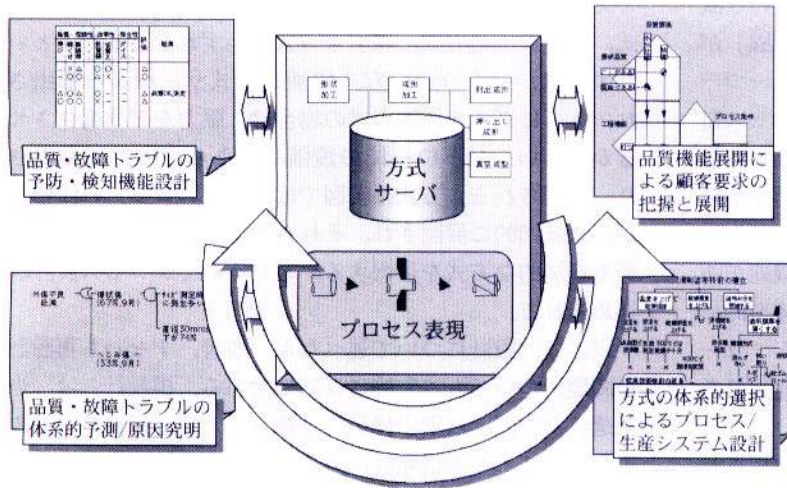


図3 SPACEによる統合的支援機能

監督・作業者の連携が不可欠であるが、検討対象であるプロセス自体が厳密に表現できない、ということから、お互いの理解のバラツキや、コミュニケーション・ギャップを生じやすく、衆知を集める上で障害となる、ということである。

非効率の第二は、これらの図解化された検討内容を容易に蓄積・再利用できないことである。製造プロセス自体を表現できていないために、たとえば以前、似たような品質問題を解決した経験があっても、プロセスのどの部分が共通で、どの部分が異なっているのかが不明瞭であり、そのために以前の経験や知見がどこまで活用しうるのか、定かではない。問題のたびに、図表を新たに描いては、知識や経験の蓄積は人間の暗黙知に頼らざるを得ず、組織としての学習能力は制約を受ける。

以上の問題を解決するためには、製造プロセスを明示的に表現し、さらにその要素となる各種の製造や検査にかかわる方式知識を体系的に蓄積・再利用するナレッジ・マネジメント・ツールがあればよい。図3にその構想を示す。本ツールをSPACE (Start-up and Productivity Assisting Computerized Environment) と名付けた。中心となるのは、製造プロセスの表現と、その知識ベースとしての方式サーバである。

製造プロセスとは「加工対象物の属性変化の系列」と定義される。図は電線の導体の伸線（ダイスに通して、線径を細くする）、撚合せ（複数の導体を撚り合わせて、柔軟性を維持したまま、一定量の断面積を確保する）という工程を例示しているが、これらの工程により導体の線径、および、組合せ状態という属性が変化していく。

属性変化のための方式を蓄積し、検索可能にする知識ベースが方式サーバである。図中の例では、導体の線径を落とすために

「導体に張力を与えて、引っ張りながら、ダイスに通すことにより、その径を落とす」というダイス伸線方式をとっている。ある物体を引き延ばして、サイズを落とす方式としては、鉄鋼などで用いられるローラ圧延方式、光ファイバ等での線引き方式（熱したプリフォームから、糸状のファイバを引き出す）などがある。

方式知識をコンピュータ処理可能な形で表現し、それを工程改善で用いた例を図4に示す。

図の左側に方式を表現している。ここでは物体を切断するためのワイヤソー（糸鋸）方式を取り上げているが、この方式は「ワイヤを切断したい物体に押し当てる」、「ワイヤを前後に動かす」という二つの機能から構成されている。さらにワイヤを前後に動かすためには、いくつかの代替方式がありうるが、ここでは「張力方式」を採用している。このように、一つの方式は複数の部分機能となり、また各部分機能を達成するために、さまざまな方式が採用される。生産工程とは、このような方式の時間的系列、および、機能的展開として表現される。

方式の一部として、「プロセス維持」の機能がある。たとえば、ワイヤで切断を続けていけば、いずれワイヤ自体が摩擦のために細っていき、そのままにしていくと「断線」というエラー現象につながる。それを防ぐために、新しい「ワイヤを送る」というプロセス維持機能が必要となる。同様に、ワイヤの発熱による断線を防ぐための「放熱」機能、ワイヤ張力変動による「断線」を防ぐための「張力調整」機能がある。

このような方式知識を活用した工程改善の進め方を図4の右側に示す。この仮説系統図は図2で示した量産化7つ道具のひとつとして示したもので、工程での不良や設備故障などのエラーの原因究明を行うための手法である。

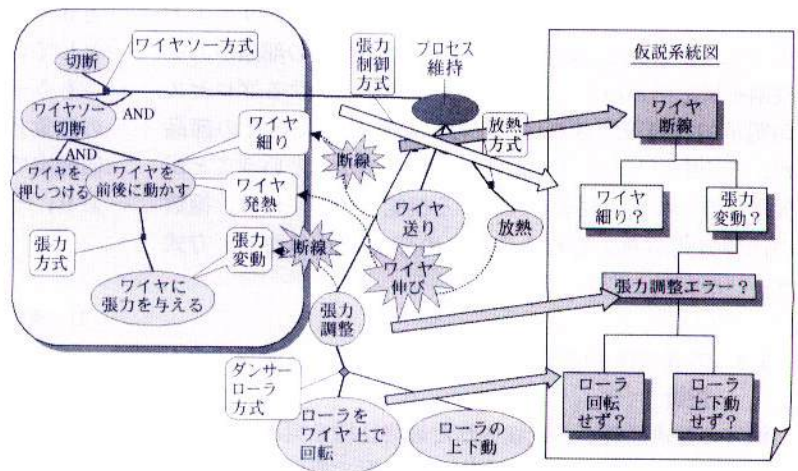


図4 プロセス表現と仮説系統図の生成



たとえば、ワイヤソー方式での「ワイヤ断線」という故障の原因究明をしたい場合に、仮説系統図では「断線」が起こるメカニズム仮説を系統的に展開し、体系的に一つ一つ事実を調べて仮説を絞り込んでいく。従来はプロセス自体を明示的に表現できなかったために、仮説がどれだけ体系的に展開されているのか、もれないのか、確認する術がなかったが、図4のように一つの方式で起こりうるエラー現象と、それを予防するためのプロセス維持機能が明示されていれば、メカニズム仮説の体系的生成も体系的にできることとなる。この事例では、「断線」というエラー現象が起こるのは、「ワイヤ細り」か、「張力変動」である。また「張力変動」は「張力調整」機能のエラーによって起こるが、ここでは「ダンサーローラ方式」が採用されているために、「ローラが回転する」「ローラが上下動する」という部分機能のどちらかでエラーが起こっていれば、張力変動が起こることとなる。このような展開ができれば、どの仮説が真の故障原因かをつきとめる事実調査はきわめて容易である。「ワイヤ細り」なら、ワイヤ径を測定し、ローラの「回転せず」「上下動せず」なら、ローラの状態を調べればよい。このように工程での「断線」というような不良や故障問題に対して、きわめて効率的・効果的にメカニズム仮説の生成と絞り込みができる。

## 5. 量産化支援ソフトウェア・ツールによる技術検討

このようなプロセス表現と、方式サーバを用いて、第3章で述べたような量産化手法を使えば、前述の非効率な面を解消し、量産化のための技術検討において、飛躍的な質と生産性の向上が期待できる。その検討作業の概要を図3の周辺部に示している。前章では「品質・故障トラブルの体系的予測/原因究明」について例示したので、それ以外について、以下、簡単に紹介する。

### 5.1 品質機能展開による顧客要求の把握と展開

この目的は、第3章の「品質機能展開」の部分で述べたとおりであるが、この面でもプロセス表現と方式サーバが役立つ。顧客要求の把握では、たとえばキーマテリアル・デバイスの場合は、顧客の製品の中で、当社の部品がある役割を果たすということであり、製品が稼働するプロセスが明示的に表現できれば、その一部分として当社の部品が、その中でどのような機能を果たすのか、ということが要求品質となる。要求されている機能を果たすには、複数の代替方式が考えられよう。この部品設計の面で、方式サーバが有効と考えられる。

### 5.2 方式の体系的な選択によるプロセス/生産システム設計

顧客の要求品質から定義された最終仕様を実現する製造プロセスの構成は、方式の選択という形で処理できる。た

えば、特定の線径を実現したい場合に、ダイス伸線方式、ローラ圧延方式、線引き方式のいずれをとるか、というように、いくつかの方式候補が方式サーバから抽出され、さらにダイス伸線方式の場合は、張力をどう発生させるか、といった下位機能の段階で、さらに方式が選択され、展開される。方式系統図では、製造プロセスの代替案が、系統図的に展開され、それらの中から、実現可能で、最も経済的な方式を選択する、という形でプロセス設計が進められる。

以上は、設計について述べたが、改善、すなわち再設計の問題についても本質的には同様である。再設計とは、当初選んだ方式とは別の代替案を選ぶことで、製造プロセスや生産システムの信頼性、あるいは、生産性を向上させるということであり、方式系統図に示された代替案がここで再利用できる。

### 5.3 品質・故障トラブルの予防・検知機能設計

QA ネットワークで改善すべきと診断された発生防止や流出防止の方策検討は、加工方式や検査方式の方式選択の問題に帰着するので、方式サーバが利用できる。

また仮説系統図で原因が究明された場合の、製造プロセスや生産システムの改良も同じく、方式選択の問題である。

## 6. SPACEの開発状況と今後の課題

現在は、以上のようなプロセス表現と方式モジュールの記述方法に関する基礎的な研究を終え、それらをハンド試行レベルで、現実の量産化プロジェクトの中で仮説系統図、方式系統図等の検討タスクに適用している段階である。

ハンド試行であっても、プロセスと方式知識を明示的に表現した上で、仮説系統図などを描くと、従来よりもはるかに要因の取りこぼしが少なく、また他者による理解も容易で、再利用可能となるという手応えが得られている。この試行作業をもう少し続けることにより、プロセス表現と方式モジュールの記述方式を固め、ソフトウェア・ツールとしていく予定である。

もう一つの研究課題は、方式や機能、エラーなどの表現の語彙と文法を整理していくことである。この面では溝口研究室でオントロジー工学として活発な研究が進められており、それを活用しながら、試行を進めている<sup>1)2)</sup>。

## 参考文献

- 1) 来村徳信、溝口理一郎：オントロジー工学に基づく機能的知識体系化の枠組み、人工知能学会誌、17, 1 (2002) 61.
- 2) 来村徳信、笠井俊信、吉川真理子、高橋 賢、古崎晃司、溝口理一郎：機能オントロジーに基づく機能的知識の体系的記述とその機能構造設計における利用、人工知能学会誌、17, 1 (2002) 73.