
MMRC
DISCUSSION PAPER SERIES

MMRC-J-210

深層の競争力を構築する組織能力
—品質工学からみた統合型設計・製造システム—

東京大学ものづくり経営研究センター
稲垣雄史・立本博文

2008年6月



東京大学21世紀COE [統合型]
ものづくり経営研究センター

深層の競争力を構築する組織能力

-品質工学からみた統合型設計・製造システム-

東京大学 COE ものづくり経営研究センター

稲垣雄史・立本博文

2008年6月

要約

ロバスト性を評価測度として用いることにより、新しい「組織能力」を構築でき、統合型設計・製造システムとして「深層の競争力」を向上できることを示した。また、インテグラルなアーキテクチャ製品の設計・生産プロセスに対し「組織能力」としてロバスト性を加えることにより疑似モジュラー製品として位置づけでき、さらに厳格なデザイン・ルールの導入とバーチャルな設計により生産プロセスのモジュール化の促進が可能であり「深層の競争力」のパフォーマンスを強化しうることを明らかにした。

<目次> 東京大学COEものづくり経営研究センター	1
稲垣雄史・立本博文	1
1. はじめに	5
1.1. 組織能力と深層の競争力の強化.....	6
1.2. 新しい「組織能力」と「深層の競争力」を比較するには何を見るべきか.....	7
1.3. 従来の組織能力とは何か、そこには何がないのか.....	9
1.4. ロバスト性を品質の評価測度とする品質工学.....	11
2. 品質の評価測度とロバスト化	12
2.1. 製品の品質.....	12
2.2. 企画の品質.....	13
2.3. 設計の品質と製造の品質.....	13
3. 「統合型設計・製造システム」モデル	14
3.1. 設計・製造システムの設計モデル.....	14
3.1.1. 製品システムの数理的設計モデル	15
3.2. ロバスト化統合型設計・製造システム.....	16
3.3. 具体的にどのような品質工学的手法が適用されるのか.....	18
4. 事例研究	20
4.1. アルプス電気(株)について.....	21
4.2. 開発・設計・生産プロセスを革新するプロジェクト.....	21
4.3. 事例として何を取り上げるか.....	23
4.4. 検出スイッチ.....	25
4.5. 検出スイッチの開発・設計・製造プロセス.....	28
4.6. 従来の生産システムとロバスト性をベースとした生産システムの組織能力.....	33
4.7. 「深層の競争力」パフォーマンスの比較.....	37
4.7.1. 生産性.....	38
4.7.2. リードタイム.....	38
4.7.3. 品質.....	39
5. 議論	41
5.1. 深層の競争力のパフォーマンスはなぜ向上したか.....	42
5.2. 検出スイッチの製品アーキテクチャ分析.....	42
5.3. 生産工程設計のモジュール化.....	45
5.4. 検出スイッチの生産工程設計のモジュール化概念による分析.....	46

深層の競争力を構築する組織能力について

5. 4. 1.	従来の検出スイッチの生産工程設計	48
5. 4. 2.	検出スイッチのロバスト化生産工程設計を見る	50
6.	結論	54
付録		55
Ap. 1.	従来の設計・製造システム	55
Ap. 2.	品質工学を適用した金型の統合型開発・生産システム	57
Ap. 3.	事業の歴史的概要とDM活動の動き	59
Ap. 4.	人材マップと得点基準	62
Ap. 5.	DM活動推進組織	63
Ap. 6.	DM活動におけるQE教育システムと学会活動および人材育成	66
Ap. 7.	Axiomatic Designと検出スイッチでの分析（事例について）	69
謝辞		69
参考文献		71
<図表目次>図 1 市場の構造と、ものづくり「組織能力」と「深層の競争力」との関係		7
図 2 トヨタ的生産システムの組織能力		10
図 3 品質工学法による企画・設計・製品・市場への情報転写の流れと信号や誤差と機能特性の関係		17
図 4 品質工学を適用した、統合型開発・生産システムモデル		19
図 5 アルプス電気での各プロジェクト活動状況		23
図 6 検出スイッチ（小型2方向動作タイプ）の外観と形状		24
図 7 検出スイッチの模式図		26
図 8 検出スイッチ（G型、N型およびS型）の主要仕様		27
図 9 3種の検出スイッチの開発・設計・製造工程において導入した各種手法の適用状況		28
図 10 DM適用前後の製造・検査工程		29
図 11 従来型設計・製造プロセス		31
図 12 品質工学をベースとした統合型設計・製造プロセス		31
図 13 従来型の製品設計製造プロセス（アルプス電気_検出スイッチ）		35
図 14 ロバスト性基準の製品設計プロセス（アルプス電気_検出スイッチ）*		35
図 15 組織能力の視点で見たQE手法の取り組み*		37
図 16 開発・設計から製造までのリードタイムの比較		38

図 17 検出スイッチの相対クレーム（是正課題）数と相対生産量対月数の関係	40
図 18 QE適用前後の検出スイッチの量産品質の比較	41
図 19 G型検出スイッチ模式図	42
図 20 アーキテクチャによる製品設計	44
図 21 アーキテクチャによる製品設計	44
図 22 生産工程設計に関するタスク構造マトリックス・・・従来法（G型）	49
図 23 生産工程設計に関するタスク構造マトリックス・・・新方法（S型）	52
図 24 従来法による企画・設計・製品・市場への情報転写の流れと信号や誤差と機能特性の関係	55
図 25 品質工学から見た金型の統合型開発・生産システムモデル	58
図 29 各プロジェクト活動のテーマ数推移	65
図 31 人材マップ(2005年)	67
図 32 コンポーネント事業部のベルト保有人材分布	67

1. はじめに

本論文の目的は、製品機能のばらつきの評価測度として「ロバスト性」を設計から製造まで統合的に用いることにより、新しい「組織能力」を構築でき、「深層の競争力」の向上を図りうることを明らかにすることである。

「能力構築競争」のパラダイムにおいて継続的で効果的な競争力を生み出すには「深層の競争力」の構築を行うことが肝要であり、その中で「組織能力」は競争力を生み出す重要な役割を果たしている。一方、品質工学（タグチメソッド）はフロントローディングが可能なロバスト設計法として活用されており、開発面及び生産面においても、さらにいくつかの品質工学的手法が利用されている。しかし、製品機能の「ばらつき」を「ロバスト性」と定義し、設計から製造まで統合した測度として「組織能力」を構築、成果を上げているメーカは非常に少ない。

それらを踏まえ、第1章の「はじめに」では、ビジネス市場メカニズムにおける[組織能力]と「深層の競争力」の位置づけを行う。さらに設計・製造システムのメカニズムを製品設計情報の創造と媒体の転写モデルで扱い、「深層の競争力」のパフォーマンスであるQCDで評価する必要があることを示す。特に「顧客満足」の概念を用いた「品質」に対する出荷前評価は難しく、代わって実用的な「ロバスト性（機能のばらつき）」を評価測度としてとりあげるべきであるとした。

第2章の「品質の評価測度とロバスト化」では、設計の品質と製造の品質について定義する。従来の[総合品質]に含まれる「設計品質」と「製造品質」について、前者をそれぞれ『企画の品質』と図面や仕様で表現する『設計の品質』とに分けて定義し、さらに後者を、製造物が図面や仕様通りに作られているか否かを表す『製造の品質』として定義し、『設計の品質』を「狙った製品機能と製造した製品機能との差とそのばらつき」、また『製造の品質』を「製造物と図面（と仕様）との差とばらつき」と定義してロバスト性を表す評価軸とした。

第3章の『統合型設計・製造システム』モデル』では、設計、製造の両品質を評価測度（ロバスト性）として用いることにより新しい「組織能力」を構築できることを示す。ここでは製品システムの数理的設計モデルを提示し、統合型設計・製造システムとそこに用いられる品質工学的手段を提示し、「統合型設計・製造システム」は「深層の競争力」向上に効果があることを明らかにする。

第4章の「事例研究」では、時系列的に比較可能な先進事例としてインテグラルなアーキテクチャ製品、「検出スイッチ」の設計・製造システムを取り上げた。事例ではトヨタ的生産法を背景に置いた従来の「組織能力」に対しロバスト性を評価測度とした新たな「組織能力」との間の「深層の競争力」のパフォーマンス（QCD）の比較検討を行い、指標となる1）生産性、2）生産・開発リードタイム、3）品質、において新「組織能力」によるもの改善が顕著であることを示す。

第5章の「議論」では、新「組織能力」と「深層の競争力」との関係をアーキテクチャの視点で議論した。ロバスト性測度の統合型設計・製造システムはなぜ「深層の競争力」のパフォーマンスの向上、即ち品質の向上のみならず、生産・開発リードタイムの短縮による生産効率の向上、製品の多様性の拡大が可能になったかとの問いかけに対し「ロバスト性を測度とした製品設計・製造システム並びにその生産プロセスのモジュール化が寄与した」との仮説を置いて分析した。その結果、「組織能力」において「ロバスト性」に加え「デザイン・ルールの厳格な導入」と「擦り合わせ工程のバーチャルな領域への移行」を加えることにより、生産プロセスの「モジュール化」が進み、「深層の競争力」のパフォーマンスが向上することを明らかにした。

第6章の「結論」では、製品機能のばらつきの評価測度として「ロバスト性」を設計から製造まで統合的に用いることにより、新「組織能力」を構築でき、「深層の競争力」の向上を可能にすると結論づけた。

ではまず、「組織能力」と「深層の競争力」の位置づけと能力構築競争の関係をみる。

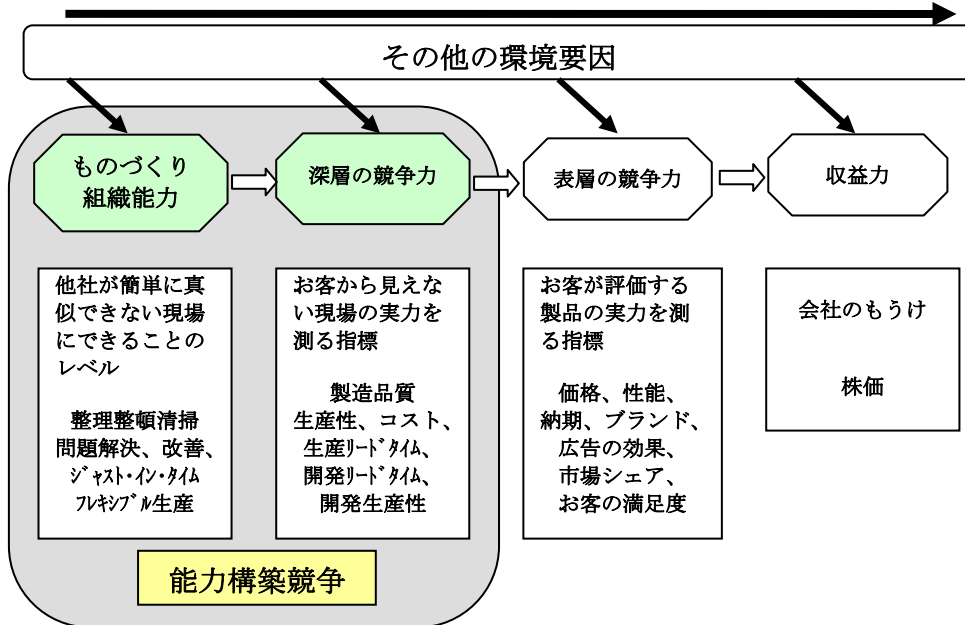
1.1. 組織能力と深層の競争力の強化

企業は、ビジネスのグローバルな展開と競争の激化に耐え、製品の高性能化、複雑化、設計の高度化、生産拠点の拡大、製造に携わる人材の短期雇用化などによる習熟度の低下などの課題を克服することが必要となり、その結果、ものづくりにおける生産性や品質の向上、低価格化、更には開発、製造期間の短縮などが要求され、それらに素早く対応できる効果的な競争力強化が強く求められている。

そのプロセスについて、図1に見るようにビジネス市場メカニズムを「組織能力」「深層の競争力」「表層の競争力」「収益力」の多層構造（藤本,2001a; 藤本,2001b; 藤本,2003）としてみると競争力の関係を直感的に把握しやすい。すなわち、ものづくりにおける「表層の競争力」は価格、品質、納期など顧客側から直接みることのできる競争力であり「深層の競争力」は顧客側から見えないパフォーマンスで表す競争力である。

図 1 市場の構造と、ものづくり「組織能力」と「深層の競争力」との関係

ものづくりの改善展開手順・・・左から右へ（組織能力から収益力へ）



図表出所：藤本(2006)

「組織能力」は、現場や工場などで働く人々の5Sを定着させた働き方、ルール、組織の運用の仕方など、ルーチンとして他社が簡単に真似のできない現場のレベルをあらわし、それらが「深層の競争力」を支えている。「組織能力」を背景に戦略的な位置づけ、運用を行い、「表層の競争力」から「収益力」に結びつける。この深層レベルの優劣の競争を能力構築競争と呼び、深層の競争力は組織能力に直結している。

1.2. 新しい「組織能力」と「深層の競争力」を比較するには何を見るべきか

ものづくりの中で、設計・製造システムのメカニズムを製品設計情報の創造と媒体への転写のモデルで考えることを（藤本,2001a; 藤本,2001b）は提案している。それを概観すると、商品とは、顧客にとって有用な製品設計情報が、しかるべきメディアにのったもので顧客はそこから満足を得る。

すなわち顧客は、期待する「製品設計情報」を転写・搭載した「媒体」を市場で購入し、媒体から発信する「製品設計情報」の束を享受する。製品企画情報をもとに構築された「製品設計情報」は設計段階で図面と仕様で表現され構想設計、機能設計、工程設計、コスト設計などの具体的に転写可能な形態をとり、それぞれのステップをへて、生産準備段階へと進

む。生産準備では生産工程の開発・設計・構築がなされ、量産の用意がなされる。量産に入ると各工程で製品設計情報は部材や仕掛品へと転写され、製品設計情報を発信する媒体となり製品の形をとる。製品にのせられた製品設計情報は販売され、顧客にとどけられ、顧客はそれを利用することにより搭載された製品設計情報を享受する。組織能力は、製品設計情報の創造から媒体への転写を通じ製品として市場に送り出す過程で発揮する力であり、各企業は優れた「組織能力」の構築を行い「深層の競争力」を強化して競合他社との能力構築競争に打ち勝つべく努力をしている。筆者らはこのようなパラダイムを想定して論をすすめる。

したがって、新たな「組織能力」が構築され、それが有効であるか否かの判断をするには、その「組織能力」はどのような点で従来の組織能力と異なり新しいルーチンなのかを明らかにした上で、それをういた企業の「深層の競争力」のパフォーマンスが向上するか否かをみる必要がある。

「深層の競争力」を表すパフォーマンスには、QCDで代表される「品質」「コスト」「生産性」「生産リードタイム」「開発リードタイム」などがある。それらの内、「生産性」、「生産リードタイム」、「開発リードタイム」あるいは「コスト」は一般的にみて計量、比較が容易である。すなわち「生産性」は「インプットとアウトプット（経済的に有用な産出）の比率であり、「生産リードタイム」は見込み生産か受注生産かによって異なるが、生産期間であり、製品設計情報を受信している期間とそれを受信していない両期間とみなすことができ、計量が可能である。また「開発リードタイム」は製品開発の開始から発売までの期間で、特注品なら開発期間と生産期間の両方がふくまれ、注文生産なら生産期間が含まれて開発期間は含まれない、見込み生産なら流通のリードタイムが含まれる。それらの条件を設定できれば開発リードタイムは計量可能である。製品原価をあらわす製品1単位あたりの「コスト」も労働生産性や自社を含む部材供給業者の生産性向上の影響を受けるが計測が可能なものといってよい。

しかし、パフォーマンスの中で「品質」の評価は容易ではない。広義の品質、即ち「総合品質」は製品に体化された情報で、潜在的に顧客満足を生み出すものがすべて含まれ（藤本, 2001）それを直接的に評価する測度を定めることはきわめて難しい。従来扱われている「総合品質」の評価では、設計・製造プロセスをへて量産された十分な数量の製品を市場に出して、使われてはじめて品質の良否が分かることになる。また、総合品質は「設計品質」と「製造品質（適合品質）」に大別される。「設計品質」は「製造の目標としてねらった品質」で、設計図面に盛り込まれた性能・機能のレベルを指す、とある。さらに、「製造品質」は「設計品質をねらって製造した製品の実際の品質」をいい、実際の製品が設計図面どおりにできているかを示す尺度として、建て付けから信頼性、耐久性までも含んでいる、とある。

深層の競争力を構築する組織能力について

したがって「設計品質」には、その仮定として図面と仕様で記述された「設計」そのものには誤りはなく、さらに建て付けの良さ、信頼性、耐久性評価に至るまで設計の中で勘定され「製品設計情報」として織り込まれているものと想定されている。本来、品質が良いとは、製品の使用シーンにより異なる環境の影響を受けることなく期待される製品の機能を常にばらつきなく発揮するロバスト（頑強な）な品質（以後、ロバスト性とよぶ）を保証することで、顧客の製品機能に対する好みは別としていろいろな使用環境にあっても製品の機能がばらつくこと無く発揮され、顧客がそれを享受でき、製造者は顧客からクレームを受けないこと、と理解すればわかりやすい。

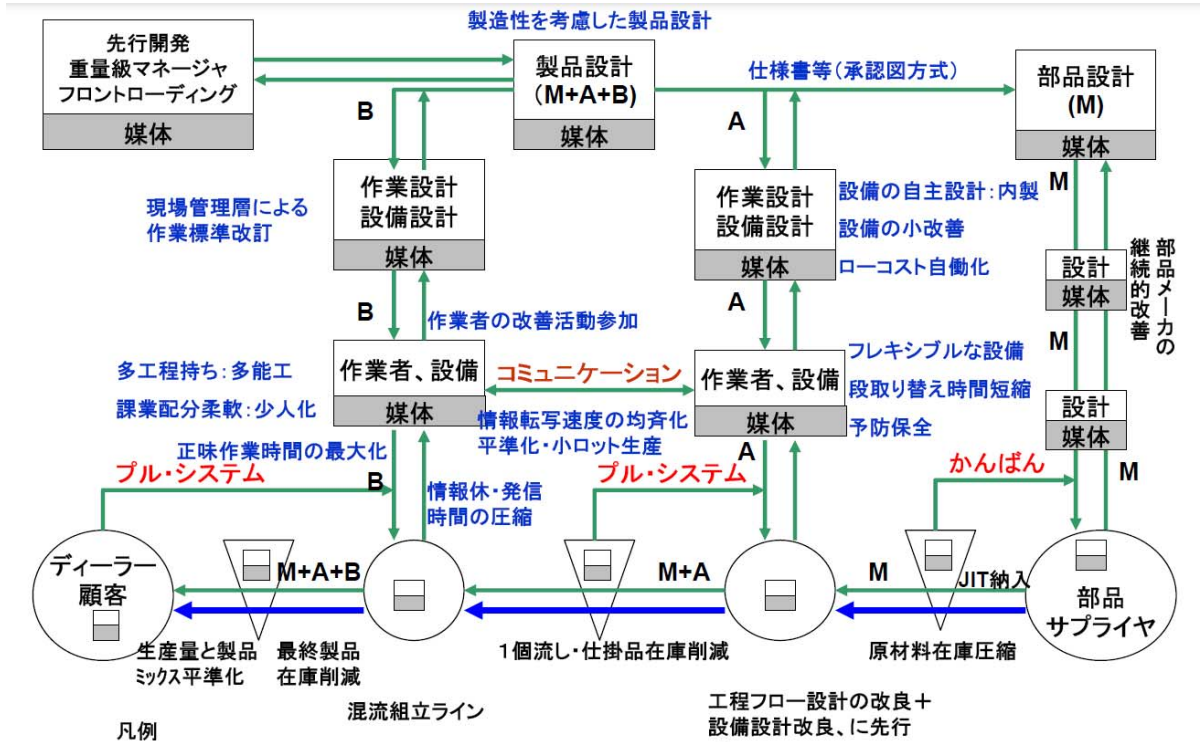
ところが現実的には「製造品質」を判定するのに、使用環境を想定できても網羅的に評価するのは難しく、現実には設計品質が良くないために品質が悪いのか、顧客の品質許容範囲に個人差があり、許容ライン自体が統計的にばらつくことによるのか、製造品質が良くないために品質が劣るのかの評価さえ難しいことになる。

1.3. 従来の組織能力とは何か、そこには何がないのか

強い「組織能力」を発揮すると言われる代表例は「トヨタ的生産方式」であり（大野, 1978; ウォマック, 1990; 門田, 1991; 藤本, 2001b）、その「組織能力」は①コンセプト情報の創造と翻訳で代表される「製品開発面の能力」、②高密度・高精度な情報転写で代表される「生産面の能力」、さらには③迅速な問題解決サイクルで代表される「改善の能力」として捉えられており、それらによる「深層の競争力」は高く評価されている。生産面での製造品質確保とそこに発生する問題解決の能力の高さはつとに有名で、多くの企業がとりいれ効果を上げている¹。

¹ たとえば、岩城（2005）を参照

図 2 トヨタ的生産システムの組織能力
生産性と生産リードタイムの関係*



*図表引用：藤本(2004)

一例を挙げると、藤本(2004)は、トヨタ的生産システムの組織能力について図2の「流れ」により示している。図2は、プル・システム、JIT (Just in time) システム、かんばんシステム、多工程持ち、作業の標準化、正味作業時間の最大化、段取り替え時間の短縮など、生産性の向上と生産リードタイム短縮に影響を及ぼすことをあらわしている。また、「製品開発面の能力」としては、重量級のマネージャによるコンセプト情報の創造力や翻訳力などが製品設計に反映している。「生産面の能力」としては、高密度・高精度な情報転写に気配りがなされ、「改善能力」としては、問題の見える化、設備の自主設計などが挙げられる。

このほか、品質保証についてはトヨタ的生産システムの不可欠の一部としてとりあげられ、品質管理の考えの下、組織的な活動が行われ、全数自己検査などのアプローチがとられ、さらに、生産の異常を感知し、是正を行うメカニズム、例えば「自動化機能」や「ぽか」よけなどが取り込まれている(門田,1991)のはよく知られている。しかし、「製造品質」で保証を求められている顧客の使用条件は多岐にわたり、長時間にわたる信頼性や耐久性の確保の

深層の競争力を構築する組織能力について

必要性を考えると製品をあらゆる条件で評価することはできず、耐久性などは代表条件でサンプル試験せざるを得ない。その結果、出荷時全数検査して合格したのに機能クレームが市場で発生する。また試験・検査で工場内不良品を市場に出さないような仕組みを置いてもクレームが出てくる。一方、製品開発・設計面からみると、製品機能のロバストな設計を得るため結果論になりがちな分布を想定する統計的尺度ではなく、記述統計的な評価測度を導入して、製品機能のロバスト性を保証しているとの報告は少ない（谷本ら,2007）。さらに製品のロバスト性を保証する統一的な評価尺度からなる設計・生産システムを構築しているという報告も、谷本ら（2007）などの一部の報告を除いて無い。

設計品質が良くないから品質保証が徹底できないのか、製造品質が良くないので品質が劣るのか、といった問題に対する具体的対処法としてはこれまで統計的な分布を想定した不良の把握、原因追及、対応が主要な対処法となっている。

そこで、本論文では、設計・製造にわたり統括的な品質評価測度としてロバスト性を置き、ロバスト性を基準に開発・設計・製造の統合的システムを運用する「組織能力」を考えることにする。

1.4. ロバスト性を品質の評価測度とする品質工学

ロバスト性（品質工学でいう「機能性」）を品質の評価測度としてとりあげたのは、「品質工学」（タグチメソッド）の発明者である田口(1999)である。製品機能のばらつきを「機能性」とし、品質工学では、それを測度にして、「パラメータ設計」、「許容差設計」、「オンライン品質工学」などの各種手法が案出され、実用されている。特に「パラメータ設計」は製品機能のばらつきを少なくするのに有効であり、フロントローディングに有益であることが報告されている（齊藤, 2003a; 齊藤, 2003b）。

田口(2005)によれば、製品品質を商品品質と技術品質に分けている。商品品質は、使用者の好むものを表し「好み」には様々な評価基準があるため定めることができないので「好み」は評価せず、品質工学では取り上げないとしている。一方、技術品質は製品機能の「社会に与える損失」であると広く定義している。社会に与える損失とは、損失関数を用いて表現した「製品機能のばらつきによる損失¹」、「使用コスト」、および「公害による損失」の3者を加えたものを言い、但し製品機能自体が与える損失を除外するとしている。品質工学では公害も含め技術品質を良くすることは、社会に与える損失を最小にすることであり技術担当、特に商品設計者はその改善をはかるべきものであり、なかでも製品機能のばらつきを抑えることは重要な課題の一つであるとしている。したがって製品品質を技術品質と定義し、「設計のあるべき姿」を描いていると見ることができる。他方、従来の広義の品質の概念では顧

客満足を生み出すものをすべて含み、そこには「製品機能」と同時に「利用者の好み」も含まれるので、実用的な評価測度としてはそれらを峻別する必要がある。

本論文では、ものづくりの「組織能力」の構築を通じて「深層の競争力」のパフォーマンスの関係を見るのに、評価測度として製品設計情報により表現した機能の「ロバスト性(製品機能のばらつき)」を扱う。製品の「使用コスト」や製品の「公害による損失」は製品選択時の相対的な顧客の好みやその時々相対的な社会的判断の影響がおおきく開発の狙いや設計の狙いのあるべき姿としては重要であるが、ものづくりの「組織能力」の評価測度とするには無理があり、ここでは扱わない。

次の章以降、品質のロバスト性を評価測度とした統合的設計・製造システムの検討を行うにあたり、事前の準備として、評価測度としての品質とロバスト性についての説明を行う。

2. 品質の評価測度とロバスト化

この章では品質の定義と考え方を述べる。これまで経営的にみると「製品の品質」を、顧客満足を満たす「総合品質」で定義し(藤本,2001a)、総合品質は「設計品質」と「製造品質」から成るとしている。

しかし本論文では、実用的なものづくりの立場から、「設計品質」を『企画の品質』と『設計の品質』とに分離し、設計は「製品設計情報」を図面と仕様で表し、『設計の品質』の評価測度には「製品機能のロバスト性(ずれとばらつき)」を用いる。「製造の品質」は、『製造の品質』の評価測度には「図面や仕様に対して実際の製造物のロバスト性(ずれとばらつき)」を用いる。

品質の議論をするにあたり、ここで扱う設計・製造システムでは、実用に耐える、すなわちものづくりの立場から出荷前の判定に使える、統一的な評価尺度で品質を記述することを考える。

2.1. 製品の品質

製品の品質を、顧客満足を満たす「総合品質」とし、総合品質は「企画の品質」と「設計の品質」からなる「設計品質」と「製造の品質」で表す「製造品質」からなるとする。

実用という視点で従来の定義を見ると、製品の「総合品質」は、「長く良く売れるものが良い品質」[石川(1989) p44]である、と言われるように顧客満足を生み出すものがすべて含まれ、例えば、自動車の品質の良し悪しは購入1年後の再購入希望率などで示すことができ

深層の競争力を構築する組織能力について

るとしている。一方、狩野ら(1984)の「魅力的品質・当たり前品質」は分類の視点から、品質概念には魅力的品質や当たり前品質が存在するとしている。したがって、経営的にみれば、「総合品質」が良いというのは、消費者ニーズに適合している度合いを含む「設計品質」と、建付けのよさや耐久性をあらわす「製造品質」の両方を実現して、なおかつ継続的に売れてはじめて良い品質であるということになる。結果論であるから分かりやすいが、出荷前の設計や製造において、出荷後の品質の良否の予測・判断に用いる評価尺度としては時間がかかりすぎて利用しにくく、ほとんど使えないといってよい。

ものづくりの「組織能力」を用いて高い「品質」を確保するには「品質」を記述する実用的な測度が必要で、それがあってはじめて高い「品質」を実現できる。顧客満足をベースとする「総合品質」では、能力構築競争にもちいる「設計品質」に、「好み」や「品種」を表現する「機能」と、「図面と仕様」で実現される「機能」(Juran, 1988; 宮川, 2000)の良し悪しの双方を含むことになる。そこで「品種」や「好み」を含む前者を「企画の品質」、後者を「設計の品質」(設計品質とよぶ)として分離し、ここでは「設計の品質」に着目し、「図面と仕様」で表現された「機能」を中心に考えることにする。

2.2. 企画の品質

「品種」や「好み」を含み、顧客の好むものを把握し顧客にとって魅力ある「製品企画情報」をつくる作業を「企画」とし、顧客にあらかじめ約束する機能・性能・外観・寿命など製品の狙う機能を表現する「製品企画情報」と実際の市場での売れ行き具合(あるいは企画の評判)とを比較してその良否を「企画の品質」とする。「企画の品質」については、顧客の「好み」という不確実な要望に対し「『好み』を把握し(野球で言えば選球眼を上げ)、要求の代用特性(目的とする機能)に変換する」ことが重要になる。顧客の「好み」を整理し、つかむための手法の一つとして、例えば「品質機能展開(QFD)」[赤尾ら(1988)、Don_Clausing(1993)]が知られており、「顧客の好みの把握とそれを翻訳して目的とする機能の見える化」により、顧客のニーズと「製品企画情報」との一致度をあげる(打率をあげる)努力がなされている。しかし、ここでは企画のロバスト性、品質は測度の対象とはしない。

2.3. 設計の品質と製造の品質

設計の品質は、設計図面に盛り込まれた性能・機能の使用環境にたいしての「ばらつき」をいう。機能のばらつきの多寡、すなわちロバスト性を評価測度として用い、製造の目標として狙う品質である。したがって、顧客の使用環境に対し狙った製品機能のばらつきが少な

い設計はロバスト性が良い設計となる。製造の品質は、製品設計情報に基づいて製造した実際の品質をいい、図面や仕様と製造したものとの違い（ばらつき）であり、「ロバスト性」であらわす。一般に「製品設計情報」は設計後、製造プロセスを通じ、仕掛品から仕掛品に、最終的に製品に転写されるのでその過程で「部品のばらつき」、「ひずみ」、「ずれ」、「消失」あるいは「誤り」が発生し、図面や仕様との違いが生じ、最終的には製品機能のばらつきとなってあらわれる。

一方、1.4節で述べたとおり、品質工学では、「製品やサービスの品質」の定義を「品質とは、出荷後、社会に与える損失である。ただし、機能そのものによる損失は除く」（田口，1988）としている。これに対し宮川（2000）はタグチメソッドとは、出荷前の段階で、出荷後の良悪を合理的に予測する技術であるとし、出荷後の損失と言う面で定義として利用価値が見出せるとしている。品質工学では、品質の改善の狙いがコスト改善であり、損失の最小化をもとめている。定義に見るように損失関数をもちいて機能のばらつきを損失で表現し、部品を作るのに必要な経費を含む部品コストと品質コストの両者の和が最小になるようにばらつきの許容差を決めることができ、許容差設計を行う。製品設計の段階で機能のばらつきを評価し最適化を図るオフライン品質工学（パラメータ設計、損失関数、許容差設計、ロバスト性評価など）、あるいは製造の段階で仕掛品と図面や仕様との許容差やそれを制御するオンライン品質工学（損失関数、工程のパラメータ設計・許容差設計、MT法、ロバスト性評価など）などに見るように、ロバスト性を評価測度として用いることにより設計の品質、製造の品質を確保することができる。

第2章では、ロバスト性を評価軸とした品質測定の方法を説明した。続く第3章では、ロバスト性によって計られる品質概念をベースとした設計・製造システムモデルを提示する。

3. 「統合型設計・製造システム」モデル

トヨタ生産方式などにみる「組織能力」は、製品開発面の能力（コンセプト情報の創造と翻訳）、生産面の能力（高密度・高精度な情報転写）と改善の能力（迅速な問題解決サイクル）の連携の力としてみるが、本論文では「製品企画情報」から翻訳、設計・創出された「製品設計情報」が生産現場に配備され、製品に転写される統合的過程のなかで評価測度をロバスト性としてモデル化する。

3.1. 設計・製造システムの設計モデル

「製品設計情報」は、製造の各仕掛かり工程から次の工程へ媒体に転写され、製品の形で製品設計情報の束が市場にだされ、顧客はそれらの製品設計情報を享受する。情報自体は具

体的な設計図と仕様で記述される。したがって、製品設計情報のあらかず基本機能群をそれぞれ間隔尺度や比尺度で表現し、狙う機能を実現するようシステムの全設計パラメータとその水準を決め、完全に記述することで製品設計が完了する。無論、製品設計情報がお互いに独立なサブシステムの製品設計情報からなるが、デザイン・ルールの下 (Baldwin and Clark, 2000) 全体としては統合化された製品システムとして構築される場合、モデルとして独立なサブシステムの製品設計情報の設計で考えることができる。次に工程設計では製品設計情報を媒体に転写するために適切な転写工程を構築し、設計情報により正しく転写されるよう合わせ込み、最適化を行い、各工程設計パラメータが完全に記述されることで工程設計が完了する。ここでは簡単化するために既に理想的にロバスト化された製品システムと生産工程システムを想定し、設計モデルを扱うことにする。経験的に、対象とする全ての製品やシステムが常に理想的にロバスト化できるか否か分からない。そこで目的機能と設計パラメータの関係を N.P.Suh (2001) の Axiomatic Design に準拠することで、簡単化の仮定が成立するものとした。(付録 Ap.7 参照)

3.1.1. 製品システムの数理的設計モデル

独立な製品システムを構成する各設計パラメータを一次独立な n 次元のベクトル \mathbf{x} で表わす。目的とする機能を発揮するために案出されたシステムは様々な構成部品からなり、その材質大きさ、寸法、色合い、公差、階層化された順序、独立なあるいは擦り合わせを必要とするユニットにいたるまでベクトル空間で表現され、設計図面や仕様に準拠して、最適な関係となるよう決められ (ベクトル \mathbf{x}_0)、それらのベクトルが製造工程をへて製品へと転写される。

各製造工程でパラメータ設計によって最適化された「製品設計情報」が製品に転写される関係をベクトル空間で表現すると、

$$\mathbf{Ax}=\mathbf{b} \quad (1)$$

となり、逆に解ベクトル \mathbf{x} を求めることは、媒体に転写・加工するプロセスの関係定めることを意味する。したがって、製造工程では、治工具、材料、構成要素あるいは加工能力など m 次元の常数ベクトル \mathbf{b} であらわし、転写の制御に必要な工程パラメータの水準選択や加工条件などを (m,n) 係数行列 \mathbf{A} で表現することにより、製品設計情報の転写が行われることになる。

もし、狙った製品設計情報 \mathbf{x}_0 が製造工程を経て正しく媒体に転写され、製品になると当然転写を受ける \mathbf{x} は、

$$\mathbf{x}=\mathbf{x}_0 \quad (2)$$

となる。

したがって、製品設計情報を転写する製造工程を構築するということは、常数ベクトル b を与え係数行列 A に基本変形を加えて n 元の連立一次方程式を解き、解ベクトル x を求め、解ベクトル x を製品設計情報の n 次元ベクトル x_0 と一致させることである。

解ベクトル x は、製造工程を通じ行列 A に有限回の基本変形を行い、ガウス・ジョルダンの掃き出し法により求めることができる。

解ベクトルの存在自体は、設計が完了できない場合を除外すると連立方程式の階数、

$$\text{rank}(A) = \text{rank}(Ab) = n$$

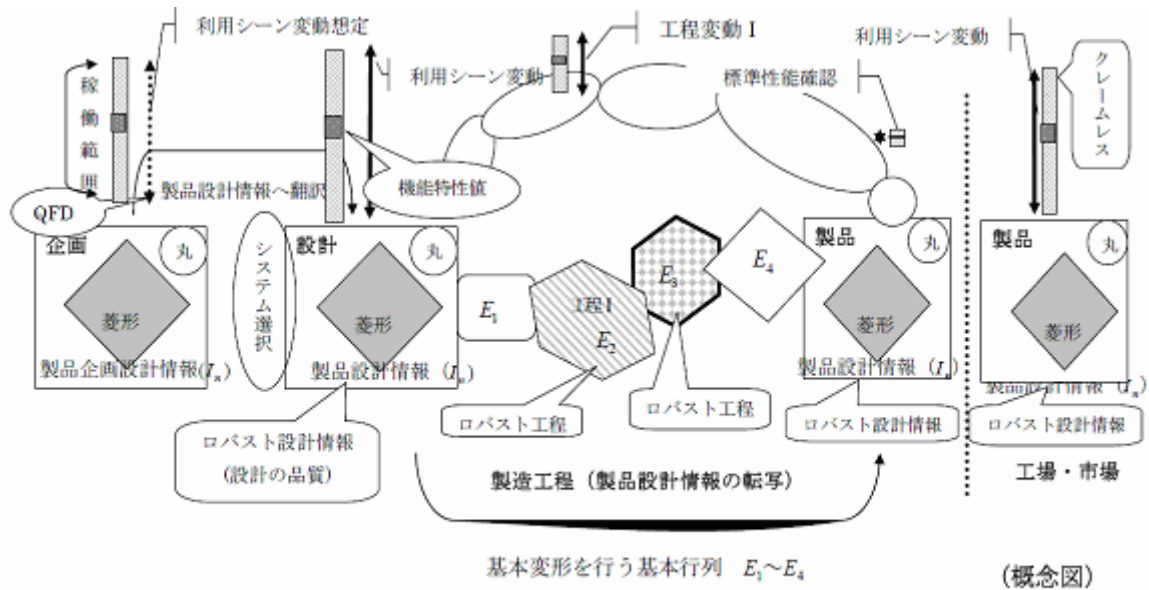
の成立により 1 次独立な解ベクトルが存在し、 $x=x_0$ で、製品設計情報が正しく転写できる解ベクトルを得ることになる。

また、階数 r が n 以下の場合は、1 次独立な r 次ベクトルとしてみれば階数 r をもつ解ベクトルを得ることになる。

3.2. ロバスト化統合型設計・製造システム

前節で述べたモデルを、設計製造の現場に適応してみる。製品設計段階でパラメータ設計を行い設計のロバスト化を図り、目的機能のばらつきの少ない製品設計情報を生産現場に配備する。続く製造工程でもプロセス（変形過程）をロバスト化（安定化）する手順を踏み、製品設計情報の転写を行う（図 3 参照）。パラメータ設計では、目的を表現する一つ一つの品質特性ではなく、目的とする機能の中で使われている原理（基本機能）が期待したとおりに動く（理想機能）よう、システムの中で大きな影響を与える因子（制御因子）を選択し、ノイズ（となる他の原理）との間の交互作用を利用して機能の変動が少なくなるよう直交表を用いて制御因子の組み合わせを得る。言い換えると高速にすりあわせ、最適化を行う（パラメータ設計によりロバスト設計する）。

図 3 品質工学法による企画・設計・製品・市場への情報転写の流れと信号や誤差と機能特性の関係



注) 「製品設計情報」を製造工程で基本変換し、工程 I を経て製品へと「製品設計情報」を転写する。

通常、製造工程の転写機能のばらつきを抑えるには、工程の環境や制御パラメータの変動を x-R 管理図などで厳格に管理し、環境の影響を少なくした状態で実現している。しかし、工程機能のロバスト化を促進するには、構成する製品情報転写に関わるサブシステムとそれらを組み合わせてなるシステム全体にたいし、パラメータ設計を行うことが有力な方法となる。即ち、工程における各情報転写システムの主要制御因子とノイズ因子の交互作用を直交表を用い高速にすりあわせを行ってロバスト化を図り、製品設計情報を各工程毎にロバストに転写する方法をとることができる。

パラメータ設計により必要な精度で製造工程をロバスト化できる場合には、製品設計情報を逐次、仕掛品へとロバストに転写することが可能となる。しかし金型による樹脂加工や板金加工工程で所要転写精度を得るのが困難であったり大変手間がかかったりする場合には高精度なシミュレーションや実験の繰り返しにより転写性や保形性を保つよう擦り合わせを行うとか、環境の高度な制御を併用し所要の精度をえられるよう制御を行うことが多い。

品質工学を適用してロバスト化された製品設計情報を製造工程で転写する場合、損失関数とオンライン品質工学の手法でロバスト性を保つよう製造を行い、出荷時に標準特性値の確認（例えば、常温試験）とロバスト性（機能のばらつき）の事前把握により、不良品を市場に送り出すことなく、良品のみを出荷することができる。無論、市場である客先工場や使用

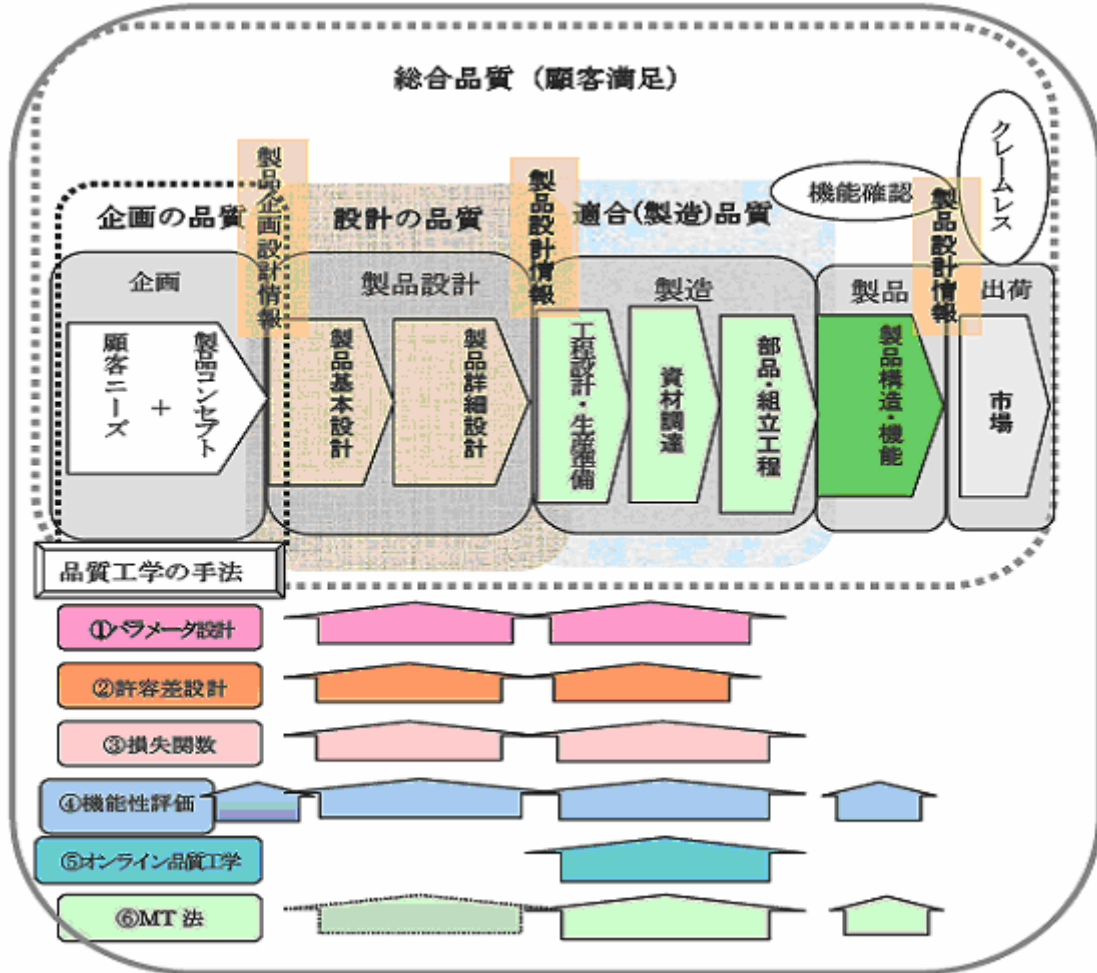
状態でもロバスト性が高く市場でのクレームを受けることが非常に少なくなる。即ち、開発・設計・製造でのロバスト化が進み、トヨタ的生産方式にみる製品開発面の能力（コンセプト情報の創造と翻訳）、生産面の能力（高密度・高精度な情報転写）さらに改善の能力（迅速な問題解決サイクル）などを統合的に磨き上げる「組織能力」とは異なり、ロバスト性を評価測度として設定することにより、深層の競争力を向上しうる新しい「組織能力」を構築することが可能となる。さらにパラメータ設計にて実施する製品設計での制御因子とノイズとの高速擦り合わせによるロバスト化により、金型の加工で代表されるインテグラルな工程でも、製造工程でモジュラー化を促進し、製造工程のリードタイムの短縮を図ることが可能となり、能力をルーチンとみなすことができる。尚、付録 Ap. 1 に従来設計製造システムでの同様な分析を示す。

3.3. 具体的にどのような品質工学的手法が適用されるのか

品質工学を適用した、統合型開発・生産システムモデルの概念図を図4に示す。まず企画段階で顧客のニーズを把握、製品コンセプトを構築して計量可能な目標値に翻訳、そして「製品企画設計情報」を作り上げる。その企画情報をもとに目的とする機能を実現する設計のアイデアを出し、製品設計情報を構築し、製品の基本・詳細設計を行う。製品設計情報は製造工程を通じて製品に搭載される。製造工程では、工程設計、生産準備、資材調達、部品・組立などを通じて製品設計情報の転写が行われ形や機能が実現されて行く。

品質工学を適用した、統合型開発・生産システムでは、図4に見るように、品質工学の手法、即ちオフライン品質工学の①パラメータ設計、②許容差設計、③損失関数、④機能性評価、また⑤オンライン品質工学、⑥MT法などが活用されている。図の上向きの矢印は、各工程で主として適用されている領域をあらわす。設計・購入部品を含む製造・出荷にいたる系でも重要な判断基準となるのがロバスト性で、それを抑制することがポイントとなる。

図 4 品質工学を適用した、統合型開発・生産システムモデル



品質工学の各手法の適用状況を見る。

まず、企画から始まる製品設計、ここでは、製品の置かれた環境に対する機能のばらつきを企画の段階から評価基準にとり入れる。

④の機能性評価（ロバスト性評価）では「製品企画設計情報」構築の前提として他社あるいは自社の従来の製品をベンチマークとし、ロバスト性の目安を把握する。

さらに、設計の品質を決める製品設計では、ロバスト化を進めるために①のパラメータ設計を行い、ベンチマーク品と比較して製品のロバスト性の水準（S/N で比較）を確保する。③の損失関数を活用して、社会損失の観点から、工場内と市場での損失のバランスを取る形で②の許容差設計を行い、公差決定をする。また、製品機能の中で認識をベースに機能させる場合は⑥のMT法の活用を図ることができる。

次に、生産プロセスをみる。適合品質を決定する製造工程では、③の損失関数と②の許容差設計を基に設定した、オンライン品質工学⑤の活用がベースとなる。製造工程自体のロバスト性を確保するために製造システムの基本機能に対し①のパラメータ設計が用いられる。必要に応じ目視検査に代わって⑥のMT法による検査を行うとかあるいは工程での不良発生要因の推定を行い、工程（プロセス）異常を把握しその問題の解決をはかる。また、外部からの購入品がある場合は、購入品のロバスト性を評価して、購入先の選択を行ったり、その結果を提示して相手先の製品のロバスト性向上を図ることも行われる。

製造システムのパラメータ設計がなされそのシステムのロバスト性が確保できていると、製品出荷判定は標準機能（例えば常温での機能）のロバスト性評価だけで済むことになる。しかし、納入先との契約で、個別の品質特性を測定し、それらの提出を義務付けられている場合は、所要の特性を測定・添付して出荷することになる。さらに、付録Ap.2で、品質工学を適用した金型の統合型開発・生産システムを分析した。

以上ロバスト性を評定測度として取り込む場合の設計・製造システムに関する一般的なモデルを見たが、次にロバストシステムを導入した事例をみる。

4. 事例研究

アルプス電気㈱では、品質工学をベースに開発・設計・生産についてデジタル・マニュファクチャリング（DM）活動と呼ばれる技術革新推進運動を全社挙げて実施している。同社は組織をあげてロバスト性を評価測度として取り込み、開発・設計・生産の一貫したシステムを構築している。とりあげた事例は、同社でもっともDM活動が進んでいる「検出スイッチ」の開発・設計・生産システムである。従来から既にトヨタ的生産法（プル・システムの基本である部品や材料についてはかんばんシステムをベースにとりあげている）の活用の経験（1989年のAPSの試みから、現場ベースに重点置き大きく改善が進んだ1996年の生産革新活動へと発展し現在に至っている）も深く、それに加えて新しいDM活動を展開している。検出スイッチについては、同一組織内で、同一原理の製品の新旧バージョンを開発・設計・製造を通じ相互に比較可能となっている。こういった事例はアルプス電気をのぞいてほとんど他に例を見つけることができなかった。

本事例研究を通じてロバスト性を評価測度とした新たな「組織能力」の構築とそれによる「深層の競争力」向上について検討した。

4.1. アルプス電気(株)について

1948年11月1日に片岡電気として産声をあげたアルプス電気(株)は、ロータリースイッチを手がけバリコンを製造し、戦後、ラジオを手作りしていた人々にとって親しみを込めて呼ぶことのできる会社(アルプス電気1998)である。

アルプス電気のビジネス展開は、歴史的な大型商品とも言われるスイッチ(1948年)からスタートしたと言っても過言ではない。S型ロータリースイッチ、チューナ、ボリューム、オーディオ用ヘッド、ビデオ用ヘッドへと部品ビジネスは拡大していった。スイッチ技術からはマイクロプリンタ、キーボード(1966年)、成形加工技術を用いたリモコン(1978年)、システム化品としての電装品(1981年)へと次々と発展した。1955-65年代に基礎を築いた金型/精密加工技術、1970年代から他社に先駆けて実施してきた自動組立・高密度実装技術の育成。こうして実用化をすすめて着実に実力を蓄えてきた共通技術は、現在もアルプス電気(株)の部品ビジネスやシステム化商品の開発・製造で重要な根幹技術となっており、ここに述べるものづくりの「組織能力」の技術的ベースとなっている。

尚、付録Ap.3に「事業の歴史的概要とDM活動の動き」、としてアルプス電気の事業の背景とDM活動の動きをやや詳しくのべた。

4.2. 開発・設計・生産プロセスを革新するプロジェクト

アルプス電気(株)では、品質概念改革による次世代ものづくりを目指して開発・生産プロセスの革新の取組を行い、DM活動に取り組んでいる。ものづくり革新は、開発・生産プロセス全体で仕事のやり方を変えることを目指している(谷本ら,2007)。

ここに簡単に同社のものづくり革新のポイントに触れておく。

従来は開発・設計の担当がコストベースで製品設計を行い、生産に入ってから品質を確保することを狙いスペックに基づいた検査で確認・選択を行う製造法をとっていた。例えば部品は寸法で評価し、組立時はスペックで規定した性能で評価する。この方法に対してものづくり革新では開発・生産プロセス全体で仕事のやり方を変え、品質をコストに置き換え掛かる費用と経費の和の最小化をはかり、出来る限り従来の試作・試験・検査過程を経ることなく製品を出荷することを狙う。この革新運動を専務提唱の「一発完動」を合言葉に進めている。したがって一発完動では開発・設計・生産準備・製造にわたりそれぞれ独立のシステム(サブシステム)に分解できる部分ではコンカレントに実施し、逐次構築を必要とするシステムでは遅れを生じないように準備と着手の手順を配慮して推進している。またポイントとなる品質概念は、「クレームの無いものは良品である」というキャッチフレーズで、品質を判

定するのは作る側ではなく、使う側が判定するという顧客サイドの判断を基本方針としている。

品質工学を導入する大きな狙いは、製品機能のロバスト性の評価を行うことであり、評価基準は「機能のばらつき」である。アルプス電気では、品質工学の機能性評価を行い、製品として選択したシステムに対し、設計者が選択できない顧客が選択する信号、あるいは使用環境や部材のばらつきなどの誤差因子を印加し、設計時にねらった製品機能と図面と仕様にしたがい製造した製品機能との差異のばらつきの多寡により製品の良否を評価する。同社では、機能設計をするにあたりQFD（Quality Function Development; 品質機能展開²）を活用して、狙いとする基本機能を抽出し、製品の利用シーンの想定により誤差因子を設定して、3D-CADを用い構造・詳細設計時にパラメータ設計を行い、その誤差条件下で目的とする機能のロバスト化を図り、さらに損失関数を用いて許容差設計を行う。製造ラインでは、狙う図面や仕様と仕掛品との差異のばらつきを損失関数で評価し、製造工程コスト、検査コスト、予防保全コスト、品質不良発生コスト、検査周期、調整周期、計測器校正周期によるなどのコストの合計値を最小にするよう工程パラメータの値を設計した管理システムからなるオンライン品質工学（QE）を用いて製造をおこなっている。さらに出荷前の工程で、パターン認識法であるMT法（代表表現）を導入して製造システムの異常を見える化し、異常品を除去し、異常品を次工程や市場へ流出するのを防いでいる（流撲プロジェクト）。DM活動の進め方は、図5に見るように年度毎のDMプロジェクトの活動状況（谷本ら,2007）からうかがうことができる。先行モデル3プロジェクトを突破口に活動を展開し、まず不良品の流出防止に重点を置き、品質問題を拡散させず、確実なものを出すことのできるシステム構築を行うことにより活動参加者に安心感を与え、購入部門が機能性評価（ロバスト性評価）に基づく部品・材料購入により、価格だけではない評価基準を入れることによる製造システムとの技術的な整合性を構築し、さらには製造部門で製造工程の5SといわれるオンラインQEの適用を図り製造ラインでもロバスト性の基準の導入が広がっていることが良く分かる。

² 品質機能展開については、水野・赤尾（1978）や赤尾(1988)を参照。

深層の競争力を構築する組織能力について

図 5 アルプス電気での各プロジェクト活動状況

DMプロジェクト	02上	02下	03上	03下	04上	04下	05上	05下
モデル機種数	3	11	22	50	64	73	98	98
(括弧内終了数)		(0)	(2)	(6)	(14)	(23)	(32)	(32)
流撲プロジェクト	02下	03上	03下	04上	04下	05上	05下	
流撲適用ライン数	11	23	33	74	125	168	237	
機能性評価機種数			4	4	11	15	28	
資材QEプロジェクト			03下	04上	04下	05上	05下	
実施テーマ			5	9	10	10	15	
(括弧内終了数)			(5)	(7)	(7)	(8)	(10)	
オンラインQEプロジェクト					04下	05上	05下	
部品流撲プロジェクト					1	2	7	
05上より5事業部6テーマで 技術開発中					(0)	(0)	5事業部の活動へ	

出典：谷本ら(2007) p.13

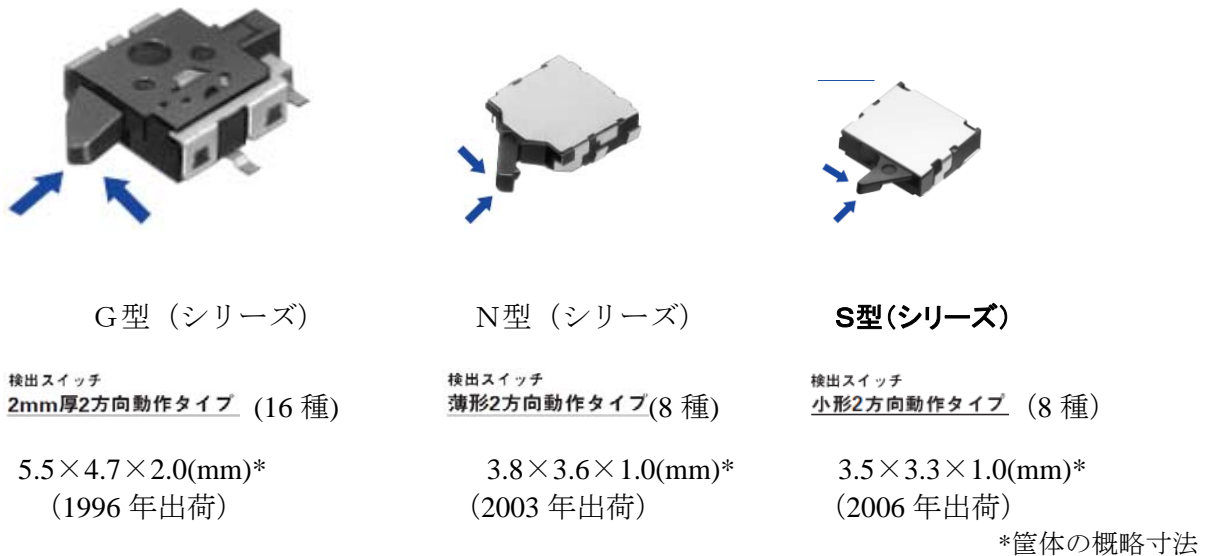
アルプス電気(株)の全社的な活動の体制としてはその中心に T 専務がおり方向付けを行い、そのもとに技術革新推進室が位置し技術革新運動の推進ととりまとめを行い、実践部隊としては事業部に設計革新プロジェクト(例えば、QFD、3D-CAD 関連インフラなど)を置き、そのメンバーが中心的役割を担っている。

次に、製品プロジェクト事例に入る。

4.3. 事例として何を取り上げるか

評価測度として「ロバスト性」を用い新しく「組織能力」を構築・運用することにより「深層の競争力」の向上に対する効果の有無を見るには、評価測度の適用前後で「組織能力」が異なり「深層の競争力」のパフォーマンスに差がはっきり見える適切な事例が必要である。コンポーネント事業部の代表的製品である「検出スイッチ」(図6参照)は、DM活動の先進的役割を担っていた3プロジェクトの一つであり、同一のBU(Business Unit)内で一貫した開発・設計・製造システムで製造されており、設計から出荷までロバスト性を評価尺度にもち、しかも時系列でロバスト性評価測度の適用前後を区別・評価できる好事例となっている。

図 6 検出スイッチ（小型2方向動作タイプ）の外観と形状³



「検出スイッチ（小型動作2方向動作タイプ）」はDM活動が始まる以前から1996年には既にG型が開発・初出荷されており、DM活動開始以後2003年にはN型、2006年にはS型が市場に出されている。特徴的なことはこれらの検出スイッチが、3点から4点の構成部品からなり、それらの部品を集めて自動組立により量産されており、スイッチを構成する各部品は外購品をのぞき、擦り合わせ技術の典型である金型で板金加工あるいは樹脂成形加工して量産されている。最初の機種G型は従来型のトヨタ的生産方式も必要に応じて取りこみ、コミュニケーションをベースとした「組織能力」による代表的な統合型設計・製造システム事例とみなすことができる。

このスイッチは単品で見ると安価であるが受注製品としての位置づけをもち、量が求められると同時に高い製品機能の信頼度が要求され、しかもユーザーニーズに合わせたシリーズ化が求められている。製品のアーキテクチャとしては、後の章でもみるが金型と加工部品との間で擦り合わせが必要なインテグラル型の典型的製品といってもよい。一方、2002年にはQEベースのDMⅡ活動、すなわち新しい「組織能力」による運動が本格的に始まり、G型と同じスイッチ原理で金型で製造した加工部品を集めて自動組立にて製造するより小型の後継製品、N型検出スイッチの開発・設計さらに製造ラインの開発にはいつている。この設計・開発・製造ではDM活動の中でとりあげた複数の品質工学手法が個別に適用され、その

³ アルプス電気ホームページの各カタログより、引用（2007/2アクセス）

深層の競争力を構築する組織能力について

成果として 2003 年に N 型が出荷されている。2006 年にはさらに進んだ深層の競争力のパフォーマンスを示す S 型が出荷された。S 型では DM 活動の中で N 型に適用し効果を確認した品質工学の一連の手法をシステムとして構想・適用し、実試作を省いて量産化がなされている。

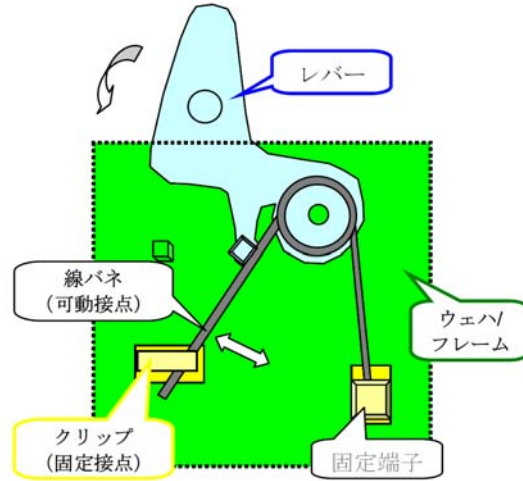
これらの検出スイッチに適用された新たな「組織能力」と得られた「深層の競争力」と旧「組織能力」と「深層の競争力」との違いを見ると、新・旧両「組織能力」の適用前後の「深層の競争力」のパフォーマンスの違いから直接比較評価できる。特に、後者では検出スイッチのロバスト化を図るための基本手法としてパラメータ設計、すなわち、直交表を用い各部品の設計パラメータ（制御因子）とその水準を高速なすりあわせにより基本とする機能がロバストになるよう最適化され、ばらつきが押さえ込まれロバスト化されている。さらに各種品質工学ツールや CAE を用いロバスト化をベースに実施された運用法は新しい「組織能力」によるものと見ることができ、効率の良い「統合型設計・製造システムモデル」が実現されていると見なすことができると考えた。そこで「深層の競争力」のパフォーマンスである「品質」、「開発・設計のリードタイム」、「設計・製造のリードタイム」などを比較することにより実際に効果を確認することにした。

次節では、検出スイッチの開発・設計・製造のできるだけ具体的内容を見ると同時に、それを実現した新しい組織能力の全体像とそれぞれのキーとなる運用の仕方について触れ、最後に「深層の競争力」のパフォーマンスの比較を行う。

4.4. 検出スイッチ

検出スイッチは、図7の模式図に示すように電子機器などの機械的な開閉状況を検知するための検出デバイスであり、クリップと呼ばれる固定接点とレバーの移動により連動して動くトーションばね（線バネ）を可動接点とする小型の機械的スイッチである。

図 7 検出スイッチの模式図



これはデジタルカメラ、DVD プレーヤ、携帯端末、カーナビゲーション、カーAV 機器などの機構の状態や位置検知用に数多く用いられている。比較のため選択した三種類の二方向検出スイッチは部品点数 3～4 点、金型数 4～6 点で、加工の中心は金型とそれによる加工であり、金型による板金あるいは射出成形加工部品の精度の確保が重要になる。また部品を集めて組み立、自動製造する自動機の開発とその安定稼働も重要となる。

検出スイッチの主要仕様は接触抵抗、作動力、動作寿命などで規定されており、さらに顧客の使い方の要望に対応できるようにレバーの長さ、操作方向、定常時の回路状態、位置決めピン、端子の位置など様々に選択でき、8種から16種にわたりシリーズ化されている。外部購入のばね部品をのぞいて、アルプス電気の古川工場で金型を設計・加工でき、金型によりプレス加工あるいはインサート樹脂成形にて連続加工し、部品を製造する。部品は自動組立装置に集められ製品に組み上げられる。検出スイッチの生産能力は月産3000万個以上あるが選択できるシリーズの種類が多く、調査時点(2006年)ではS型の一部を除いて原則として受注生産形態で顧客の要求に応じている。図8に各検出スイッチの主要仕様を示す。

図 8 検出スイッチ（G 型、N 型および S 型）の主要仕様

スイッチの種類	最大定格	接触抵抗(初期/寿命)	作動力	寿命(cycles)	
				無負荷	負荷
G型	50mA20V_DC/ 100 μ A_3V_DC	500m Ω _max. /1 Ω _max.	0.4N_max.	100,000	100,000 (50mA_20V_DC)
N型	1mA5V_DC/50 μ A_3V_DC	2 Ω _max. /5 Ω _max.	0.35N_max.	50,000	50,000(1mA_5V_DC)
S型	同上	同上	同上	50,000	同上

次に検出スイッチの主要工程で取り入れられている DM 活動の手法とその適用状況をみる。検出スイッチ 3 種とも可動接点の線ばねにより二方向で ON-OFF を実現するシンプルな構造をとるため、かえって安定に良品のみを製造・出荷するには相当の工夫と対応が必要とされる。

1996 年に市場に出た G 型は、3 種類の検出スイッチの中で最も早く市場導入された。従来の手法で開発・設計・製造され、これまでに十分改良がなされ現在では枯れて安定した機種となっている。

N 型は、2001 年から DM 活動の一環として QE をベースにした手法を適用し、一つ一つその有効性をみながら適用拡大を図ってきたモデルである。

2006 年出荷の S 型はその集大成で QE によるパラメータ設計からはじまり MT 法による完動検査に至るまで品質工学手法を最初から一貫して適用し試作レス、試験レス、完動検査(検査レス)*を目途に開発し、市場に送り出した検出スイッチである。ここではバーチャルな設計によってえられた S 型検出スイッチのロバスト性と N 型スイッチの機能のロバスト性(機能性)とを比較・検証することにより、N 型と同等かそれ以上のロバストな性能をもつ検出スイッチを設計できたとして、試作を行うことなく、量産に移し市場に出荷している。S 型スイッチは G 型、N 型と順次学習を経て改良・設計されたので簡単に信頼性が上がるのは当然と考えることがあるかもしれないが、技術的にみると実際には S 型では耐熱性向上(ROHS 対応により従来の半田より半田付け温度が上昇している)のため主要材料の変更も行い、また全体の寸法がより小さくなり熱の影響を受けやすくなっていることなどを勘案すると N 型で学習できたからということだけで小形検出スイッチ機能のロバスト化を図るのは容易なことではない。図 9 に G 型から S 型まで、それぞれ 3 種類の製品に対して適用した品質工学関係手法と一般的な効率化手法を相互比較できるように示す。

図 9 3種の検出スイッチの開発・設計・製造工程において導入した各種手法の適用状況

スイッチの種類	点数		QEでのCF 「クレームがなければ 良い品質」	品質工学(QE)手法					効率化手法		
	部品	金型		パラメータ 設計	許容差 設計	オンライン 品質工学	機能性	MT法	QFD	3D- CAD	CAE
G型	3	4	スペック基準	—	—	—	—	—	—	—	—
N型	4	6	機能性基準*	○	○	○	○	○	○	○	—
S型	4	6	設計データ通り製造	●	●	●	●	●	●	●	●

注) 品質工学手法と連携して、○は個別に適用。●は同時に適用。CFは、プロジェクト推進のキャッチフレーズ、*ロバスト性（機能性）を基準とする。

この表（図9）をみて分かることは、品質工学の手法は一つ一つ分離・適用が可能であると同時に、シミュレーションを用いたパラメータ設計からはじまり、損失関数を用いた許容差設計、製造工程で用いるオンライン品質工学、ロバスト性評価（機能性評価）、さらにMT法まで一貫して用いることも可能であることを示している。N型もS型も設計の良否はベンチマーキングに対するロバスト性の良否である。また、効率化手法の範疇にいたったQFDは製品企画情報を製品設計情報に翻訳し、「設計図」と「仕様」で記述するのに効果的な方法であり、特に製品が狙う機能とそれが使われる環境（シーン）の描出に効果がある。QFD用い製品の基本機能あるいは理想機能の抽出とノイズの設定によりパラメータ設計を効率的に活用することができ、ロバスト化設計を促進している。厳しい利用シーンを想定し、そのようなノイズ下でも機能のばらつきが少なくなるよう設計を行う。また3D-CADは、バーチャルな設計により現物試作回数を極力減らし、設計効率を上げるための重要なツールでアルプス電気では非常に重要視している。これまでも3D-CADを用いた設計においてもマージン設計は行われたが、シーンに基づいたロバスト化は行われなかったが、N型、S型の検出スイッチではパラメータ設計を通じてロバスト化設計を行っている。金型設計データにもとづく金型の寸法データと金型によって加工された部品の寸法の合わせ込みにはCAEが非常に有効に機能し、高精度シミュレーション技術により寸法転写性、保形性が効果的に働き、射出成形やプレス成形で得られる部品寸法の精度を確保できているのも重要な点である。

4.5. 検出スイッチの開発・設計・製造プロセス

DM導入以前の検出スイッチの開発、設計、製造プロセス「従来製造プロセス」とDM導

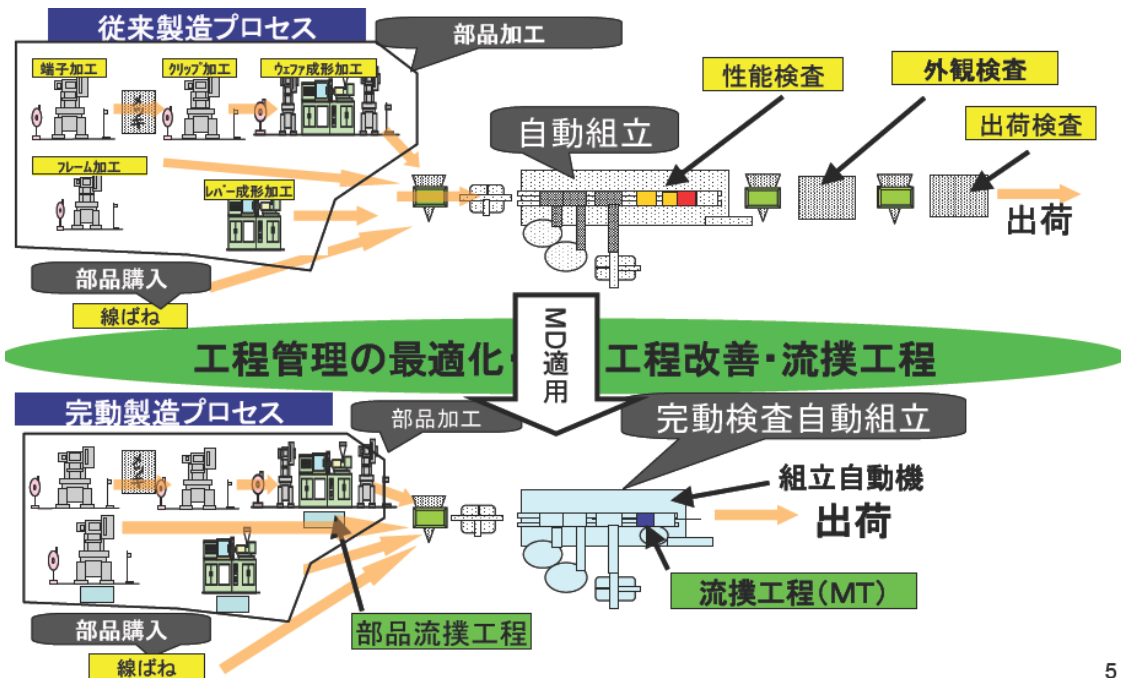
深層の競争力を構築する組織能力について

入以降のプロセス「完動製造プロセス」(アルプス電気社内では検査レスの意味合いで用い、誤解を与えないように完動検査(菊池, 2007) と称しており、ここでも狙いと意味をよく表現しているのでアルプス電気社内用語を援用する)を概観する。まず図 10 に DM 適用前後の製造・検査の両工程を図示する。両プロセスとも、購入部品と社内加工部品を自動組立装置に集結して検出スイッチを組立、製造する。

部品の製造プロセスでは、製品設計にしたがい準備作業として金型が設計・製造され、それらを用いてプレス加工、射出成形加工あるいはインサート成型加工をするなどの加工処理がなされる。量産された部品は集結され自動組立装置により製品に組みあげられる。自動組立装置は生産準備の段階で開発・設計、製造される。

従来の製造プロセスでは、部品加工時に図面で指定された寸法および公差内に金型と部品が仕上がっているかそれぞれ所定の場所で計測・検査され、さらに組み上げた製品が仕様で規定した個別機能を満たすか否かの検査に重点がおかれている。DM 適用の完動製造プロセスではまず設計図面のデータどおりに加工された金型から部品が指定寸法通り転写されているか否か、さらには部品により加工時にノイズを加えて製造しても寸法や形がばらつき無く保たれているか否かに重点を置いてプロセスが設計・構築されている。

図 10 DM 適用前後の製造・検査工程



5

図表出所：アルプス電気内部資料および上杉（2007）の資料を基に筆者らが加筆

完動製造プロセスでは、製造システムとしてのプロセスが異常ではないか否かを確認するプロセス、流撲工程という、を出荷前に設置し、完動検査プロセスとして導入し、不良品の市場流出を防止している。

生産システムを詳細に観察するため、図11と図12にDM適用以前と以後に行っていた検出スイッチの設計・製造プロセスフローを示す。

まず図11のDM適用以前のフローをみると、商品企画段階では、顧客の引き合いや需要予測をもとに顧客が望み、企業側が狙いたいとする機能を企画し、機能設計を行う。続く設計段階では機能を具体的なアイデアあるいはシステムで表現し、それを実現する技術で構造設計を行い、技術試作1を行う。技術試作_1はスペック基準で検査確認を行い、さらにそれをもとにDR(Design Review)を行う。設計検証はスペック基準で信頼性試験がなされ、そこで生じた問題にたいし対策を行いスペックに適合するよう設計変更を行う。次いで技術試作2が実施され、設計検証、DRと続き、DRをパスすると出図ということになる。技術試作2の段階では本格的な金型計画が始まっており、出図によって金型設計、自動機開発・設計などの量産準備が開始される。金型設計が終了へ近づくと金型作成へと移行するが、形状変更などの設計変更が入る場合もある。金型設計と金型作成の間であわせ込みが行われ、第3回目の設計、即ち設計変更が行われ、それにしたがって金型の検証・改造が行われる。そのような過程を経てそろった金型を使い量産試作された部品を自動組立機にかけ検出スイッチの量産試作が開始される。得られた量産試作品を中心に最終的な信頼性試験に入る。同時に量産型や自動機を用いてのテストランが行われ、ここで生じる課題に対応した改造金型を用いて製造した製品の認定試験を行い、検査を通過すれば認定がされ、量産が始まる。無論、量産は認定がなされてはじめて開始される。

したがって、設計側から見ると少なくとも3回の設計変更。他に金型の設計変更は1回、金型改造は2回といった形で量産準備段階までの変更・改造作業は6回あるいはそれ以上におよぶ。言い換えると、検出スイッチを設計製造するためには通常6回程度の大きな擦り合せを行わないと必要なシステムの構築ができないことを意味している。樹脂や板金がひずみを受けやすいことから、金型設計・製造では製造要件にあわせ、正しい形状に合わせこむ必要性があり、修正を前提とした設計公差で金型が製造され、それを用いて加工された部品の寸法を測り、逐次修正しながら所要の部品寸法にあわせこむ作業がくりかえされることになる。従来法では構造設計がほぼ固まり擦り合せをおえるまでは、最初から必要とする設計データどおりに金型を加工することはほとんどなく、加工代をとって必要な形状・寸法となるよう金型に加工・修正を加えることになる。通常、金型設計では圧縮公差を設定して全ての部分が寸法要件を満たすよう確認しては擦り合せをする工程を繰り返すので非常に多くの

深層の競争力を構築する組織能力について

工数が必要となる。

図 11 従来型設計・製造プロセス

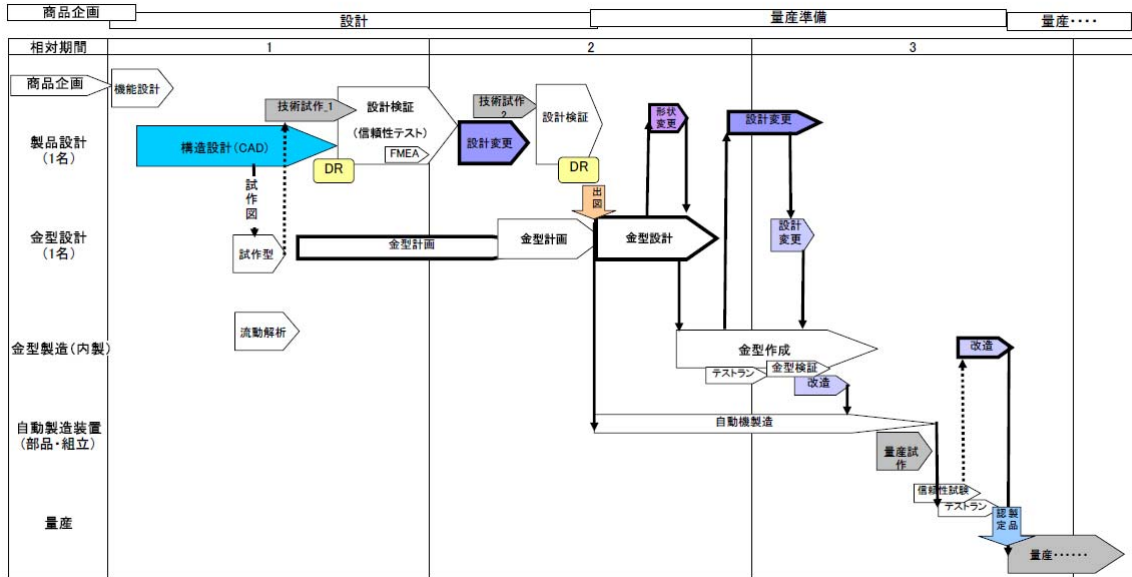
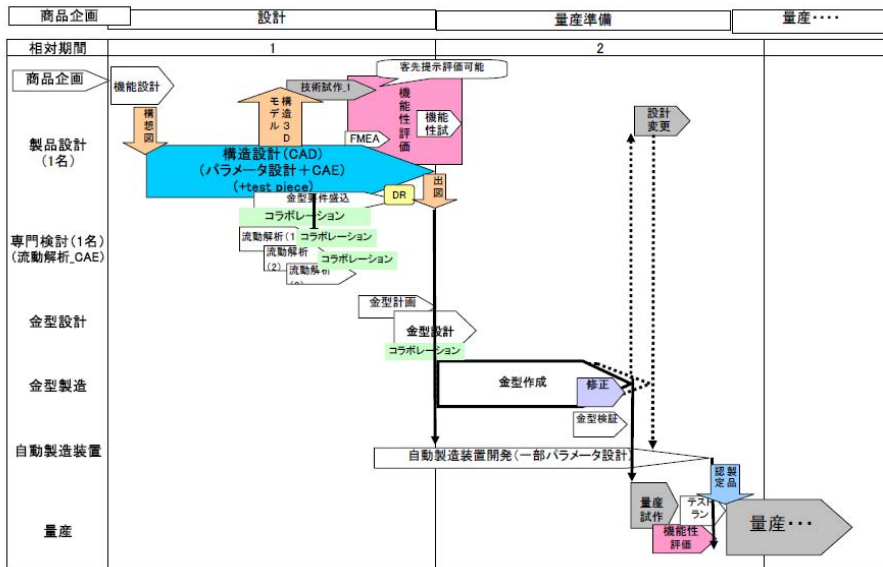


図 12 品質工学をベースとした統合型設計・製造プロセス



次に図12に、品質工学をベースとした統合型設計・製造プロセスを示す。尚、横軸の期間は、図11と図12で比較可能なように、従来プロセスと同じ間隔で表現されている。このフローはロバスト性基準で運用されている。商品企画では顧客の引き合いや商談を通じて企画し、

機能設計を行い、構造設計に入る。商品企画で重要なことは狙うべき目的機能を明確にするだけでなく、市場での製品の使用環境は何かということ事前に把握・推定し、それをノイズとして対処できるように次の設計工程で機能のロバスト性を確保することである。設計では、機能設計をもとに構想図を描き、通常はCADを用い構造設計を行う。特徴的なことは、この構造設計でCADを用いて使用環境の影響に対してロバストにするためパラメータ設計を行う。

商品企画の段階で品質機能展開（QFD）法を導入し、製品機能およびその使用環境の見える化を図り、ベンチマーク機能との比較や実現可能な技術の検討を行う。機能の具現化と使用環境変化に影響を受けないロバストな製品設計情報を図面と仕様にて表現するのにQFDは重要な役割を果たしている。QFDを用い狙いとする基本機能を明確にでき、使用シーンの推定によりノイズ要因を設定できる。したがってパラメータ設計にとって重要なノイズ因子想定が可能となり、狙う製品機能のロバスト性評価（SN比による機能性評価）を行い、ベンチマークとの比較で、ロバスト性評価基準の良否判定が可能となる。

この設計・生産工程で採用されている基本デザイン・ルールは「設計の指示したデータどおりに製造する。手戻りはしない」というものである。これは後工程で調整する必要があるような寸法のデータを図面として製造工程に送ってはならず、後工程では受け取った設計データとは異なった部品寸法に加工してはならないということを意味している。金型と部品寸法との間で寸法情報が正しく転写され・加工時にノイズを受けてもロバストに形状・寸法が保たれることを要求している。この要求を実現するには所要部品寸法を擦り合せなしにデータどおりに製造できる技術がないと実現は難しく、従来の擦り合わせをベースとした金型製造法では達成が非常に困難になる。無論、ここであげた事例とは異なる製品でCADのみでは設計が困難な場合にはテストピースを用い実験によるパラメータ設計を行うことになる。検出スイッチの設計では、金型設計段階で金型の設計要件と製造要件を取り込み、CAEを用いて設計のデータ通りの寸法と精度で各部品が製造できるよう、流動解析の専門家と金型設計者との間で十分なコミュニケーションを保ち設計がなされる。パラメータ設計の採用により構造設計段階の設計パラメータと水準の選択がなされ、技術試作段階では機能の転写性・保形性が確保されるよう努力されている。しかし、現状では射出成形用の金型やプレス加工用の金型の寸法と加工された部品との間の寸法転写性や保形性の高精度チューニングがパラメータ設計のみでは難しく部品と設計データとの合わせ込みに、CAEの高度な活用と設計者間の密なコミュニケーションなど高い固有技術と運用が必要である。例えば、抜き勾配条件などの金型要件を織り込んだ金型設計や金型計画については流動解析の専門家などとのコラボレーションが効果をあげ、図面と仕様により指示した設計データで金型を構築し部品

深層の競争力を構築する組織能力について

をつくることが可能となっている。完動製造プロセスの場合、技術試作品に関するFEMAの検討でもロバスト性評価（機能性評価）の結果でも良い値を示し、1度のDRをへて出図が可能となっている。1回の設計で確定した製品構造設計をもとに、金型計画・設計が進み、DR後、金型作成が本格化する一方、部品の自動加工装置や組立装置の開発・設計・製造が行われる。自動加工・組立装置の安定な量産稼働には機能のロバスト化のため部品供給・加工などの幾つかの機能の安定化にもパラメータ設計がとりいれられている。S型スイッチの開発・設計・製造では、金型検証でみつかった一部の事前シミュレーション抜け部分で修正が入ったが、それ以降は設計通りで自動製造装置を用い量産試作が行い、量産試作品のロバスト性の確認、量産のテストランなどを行い、問題がないことを確認した上で、製品認定がされ自動製造装置により量産に入はいった。

今までの説明をまとめると、①品質の再定義を行い「製品にクレームがなければ良い品質」とし、②「次工程や市場にクレームを持ち込まない」よう、「流撲」と「機能性評価」を行って製造工程の異常、製品（部品）異常を把握し、③CAEとCADの設計で、ロバスト性を評価軸に金型設計の擦り合わせを行い、④試作をしないで「一発完動」を目指す、などが機能している。特に、①の「クレームが無ければ」という広範な条件設定は、従来の個別品質検査では確認・対応できなかった様々な使用環境、寿命、部品のばらつきなどの製品機能に及ぼす影響をいかに押さえ込むかの重要性をはっきりさせ、ロバスト設計の役割を明確にしている。

図11と図12の両フローを比較すると、構造設計段階では、CAEの専門家との十分なコラボレーションにより30%程度余分に時間はかかっているが、トータルとしては、機能設計から量産開始までのリードタイムは、従来比70-80%程度に短縮されている。さらに、G型とS型の両検出スイッチの量産工程のタクトはほぼ同じで、生産速度については変わらないシステムが構築できている。

4.6. 従来の生産システムとロバスト性をベースとした生産システムの組織能力

製品設計情報を媒体に転写するという視点から（藤本, 2004）、検出スイッチの設計・製造プロセスを中心に分析し、組織能力を比較検討する。

図13に、1996年に出荷された検出スイッチG型にみる従来型の組織能力を示す。同じく図13に、2006年に出荷されたS型で代表されるロバスト性を評価測度とした組織能力を示す。これらの図において製品設計情報が上から下へ流れており、それらを受け製品設計情報が転写された媒体が左下の顧客に向けて流れている。図13で、原材料は図の下の方から左に

流れ、設計情報が転写されて仕掛品から製品となってゆく。途中、在庫となる滞留を制御し、設計情報の正しい転写が行えるようなルーチンを示してある。トヨタ的生産システムでは、工場内での設計情報の転写を正確に滞りなく行うというルーチン群でできあがっている。検出スイッチの場合、アルプス電気規格に沿って受注生産を行う。開発・設計期間は別途管理されるので、納期は調達・生産期間によって決まる。したがって検出スイッチ生産工場のタクトは自動加工装置や自動組立装置のタクトにより決まる実質生産時間によって生産性が決まる。検出スイッチの製造においてもトヨタ的生産方法も利用されており、例えば、かんばんシステム、プル・システム、JITの考え方、さらには少人数による改善運動がSPGサークルとして機能している。

図13の情報の流れにみるとおり、製品企画から設計、製造にわたって、製造された各部品および製品が寸法スペックや機能スペックを満たして効率的に転写できるよう、滞留時間を減らす様々なルーチンが工夫され、実現されている。特に情報転写が行われない時間をムダとみなし減らすような各種の試みがなされている。製品や製造法に合った自動機を開発し、設備の改善を図り、作業者が改善活動を進めるなど、よどみのない情報転写に心がけ、具現化していることがわかる。

深層の競争力を構築する組織能力について

図 13 従来型の製品設計製造プロセス (アルプス電気_検出スイッチ)

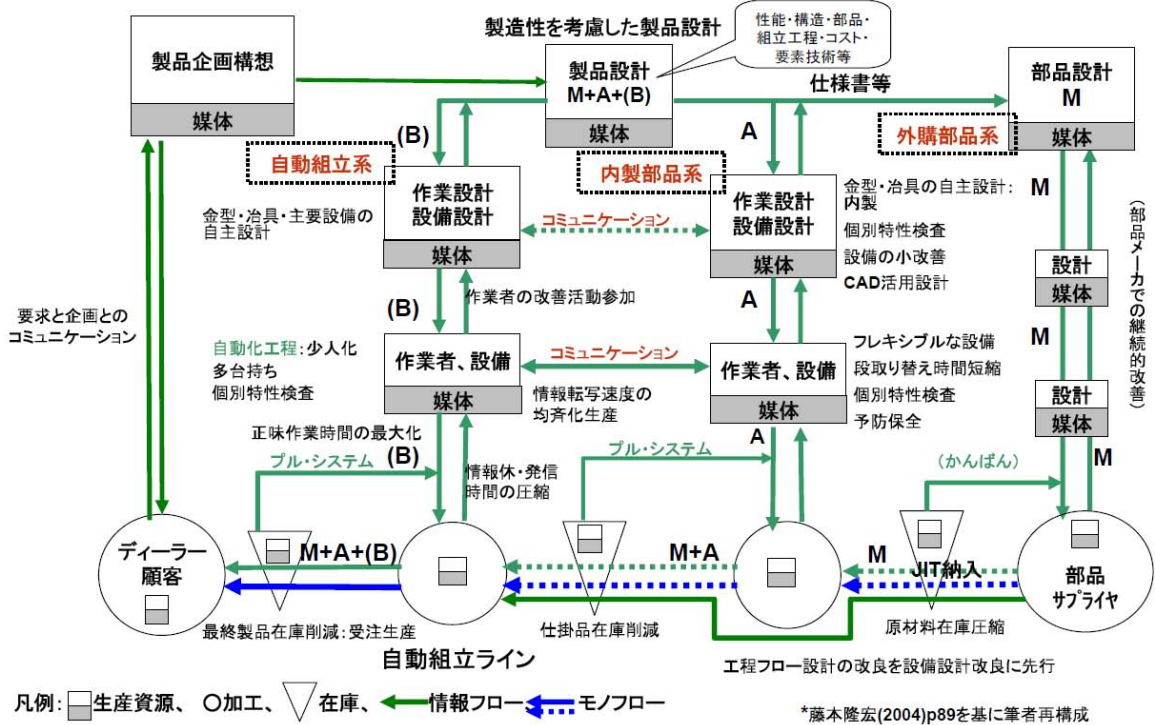
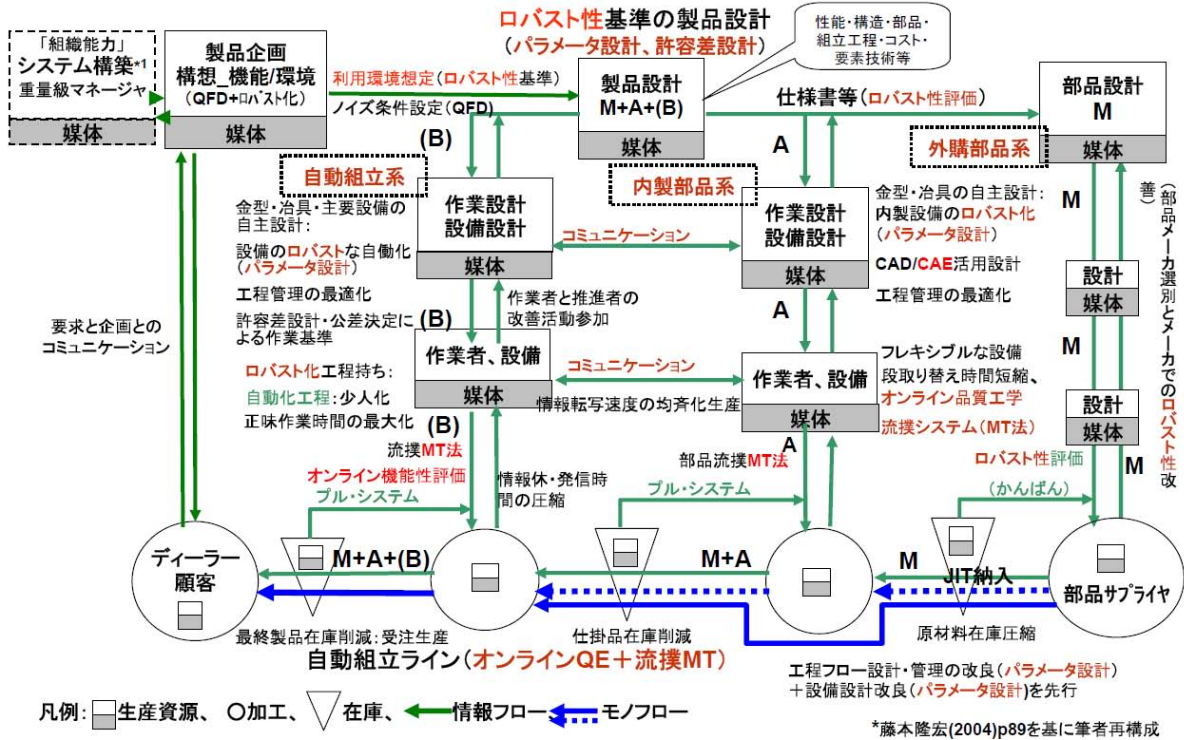


図 14 ロバスト性基準の製品設計プロセス (アルプス電気_検出スイッチ) *



次に図14に示すロバスト性基準の製品設計・製造プロセスを見る。製品企画から始まり、製品の性能、構造、部品、組み立て工程、コスト、要素技術などの設計をすべて含んで製品設計が行われ、それに基づき必要な金型、治具、設備などが準備される。これらは設計情報として図14の上から下へと流れ工場内にきめ細かく配備され、媒体に滞りなく転写され、左下の顧客のところの流れ続ける。

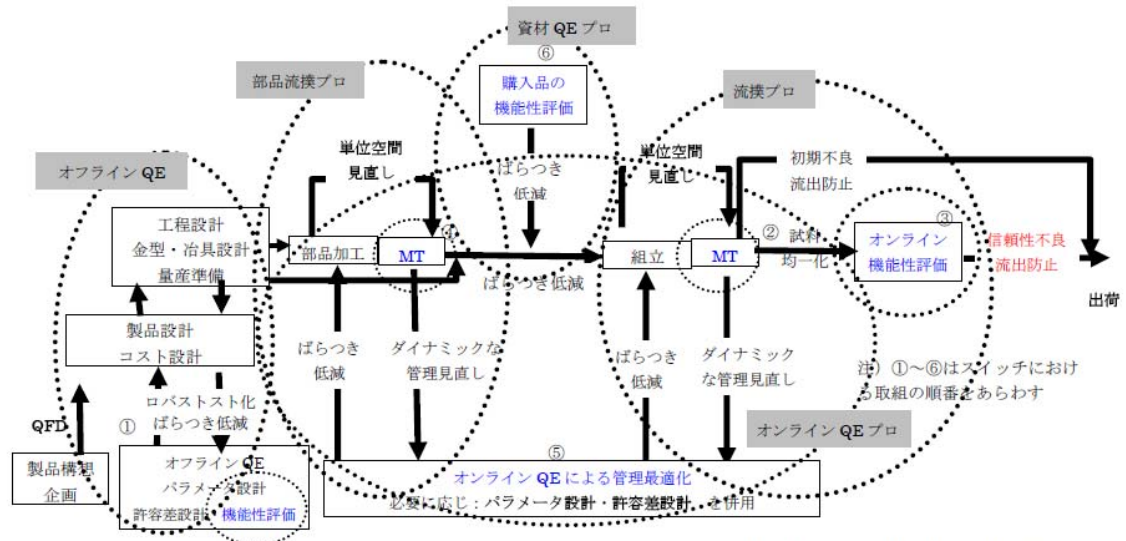
したがって、プル・システムなどトヨタ的生産方式にて使われている方法を取り込んだ上で図13と図14とで大きく異なる点は、ロバスト化設計による製品設計情報の構築とロバスト化工程による仕掛品と図面（および仕様）との差のばらつきを抑えロバスト性の評価を行う点、さらには得られた製品のMT法による異常検出を行うなどにより、製品のロバスト性保持と工程の異常監視を実施して不良品を後工程への流出することなく、製品設計情報がよどみなく流通・転写されるという点である。

製品設計でロバスト化することなしにスペック値（例えば、寸法）に対し製品情報を安定に、ローコストで効率的に転写することは難しく、さらに市場（納入先の工場）の環境（半田フローの温度など）の影響をうけた後でもロバストな製品機能を発揮させることは難しくなる。図14では製品のロバスト設計を行っている。すなわち、検出スイッチのパラメータ設計が行われ、損失関数をもちいてばらつきを損失に換算し、許容差設計をおこない最適なロバスト設計を行う。図にあるように各工程にロバスト化工程が入り、さらには各工程で異常が発生した場合、異常工程をへて製造された部品や製品を次工程に出さないように、流撲（流出撲滅）工程あるいは部品流撲工程を置き、対処されている。例えて言えば、設計情報の流れの整流化にあたり、蓋の無い溝を流れる情報の流れに外部環境の影響を防ぐよう蓋をつけたり、溝の配列をしなおしたりして設計情報とその流れのロバスト化を図っている。中には、蓋をつけてロバスト化することが困難なところでは、オープンな溝であるが周囲の壁を高くするとか、流れを制御しやすいように溝を加工して整流化を保ち、重複や繰り返しによるやり直しを防いでいる。

具体的には、図15に各工程にロバスト性を確保するための品質工学ベースの手法を活用した内容をしめす。それぞれの手法が工程にリンクされ、それらがロバスト性を確保するため技術的な側面で「組織能力」となっている。

図 15 組織能力の視点で見た QE 手法の取り組み*

注) 図の流撲プロでは文中の流撲プロとオンライン機能性評価の両者を一体として表現



*佐々木(2006)に筆者が修正、加筆

DM活動下の新しい製品設計プロセスは、ロバスト性測度基準で組織能力が構築され、品質工学とQFD, 3D-CADそれにCAEを用いた統合型設計・製造システムが構築されている。このシステムを構築する力を組織能力とみることができ、従来の品質管理の手法とは異なり、組織的な取組のみならず、現場で運用するメンバーの数学的な取り扱いを含むQE手法の駆動力あるいはITの利用技術力などのスキルと知識レベルの向上、さらにはそれらの活用法の工夫が非常に重要な役割を果たしている。特に「品質工学に関わる知識の習得と活用」、活動自体を「ルーチン化するための教育やモチベーション向上法」を含む取組法の組織化が必要であり、アルプス電気はその面でも積極的に取り組んでおり、それらを付録Ap. 4-6で述べる。

4.7. 「深層の競争力」パフォーマンスの比較

ここでは、従来の「組織能力」とロバスト性を評価測度としたDM活動による新「組織能力」との違いによる「深層の競争力」のパフォーマンスを比較する。「深層の競争力」のパフォーマンスとしては、1) 生産性、2) リードタイム（生産期間、開発期間）、3) 品質（不良率）が指標と考えられる。最初の「生産性」は製造におけるインプットとアウトプットの比率であり、検出スイッチでは自動組立装置による製造が前提となっているのでその「タクト」により比較できる。また、開発・生産の「リードタイム」は、機能設計から量

産開始までを比較することにより、「図面と仕様化」開始から「量産開始」までの実質的な組織の実力期間を比較の対象とすることができる。さらに、「品質」は出荷後「是正を必要とするクレームの数」を比較することにより、市場からみた「深層の競争力」の品質のパフォーマンスを見ることができる。

4.7.1. 生産性

自動機のタクトはG型に対しS型は調査時点で0.9倍程度であったが、見通しのある改善を含め同程度のタクトを得られる。したがって、生産性については10年以上改良を繰り返して熟成しているG型とほぼ同程度の能力が得られると考えて良い。

4.7.2. リードタイム

既に、図11と図12に、それぞれ従来型設計・製造プロセス(G型)と品質工学をベースとした統合型・設計製造プロセス(S型)のリードタイムの比較を示した。一般的に製品の商品企画は商談の進捗も含め半年から1年かけ行われ構想設計(機能設計)にはいるが、「検出スイッチ」のリードタイムは機能設計から始まり、構造設計、金型設計・製造、自動機設計・製造、量産開始迄の期間をすべて含み比較する。その結果、図16となる。

図 16 開発・設計から製造までのリードタイムの比較

	従来型設計製造プロセス(G型)	統合型設計製造プロセス(S型)
リードタイム(相対)	1	0.7-0.8

設計(機能設計)から量産開始までのリードタイムは従来型と比較してトータルで約70-80%に短縮されている。品質工学ベースの図12では構造設計と金型設計との間で流動解析等でのコラボレーションが増加し単純にみると設計のリードタイムは、約30%増加している。しかし、従来の設計では、構造設計と設計変更(2回)にみる大きな変更が3回、それに金型変更などが加わる。それと比較すると各設計のやり直しが減っており、合計設計期間を考えると新規プロセスの方が短縮されている。さらにS型とG型を比較すると、図6にみるようにS型は、厚みは半分、体積にして4.5分の1と小型になり熱容量も小さくモバイル電子機器などの基板に半田付けするという過酷な環境に対応をするため材料も変更されており、同じスイッチ原理を相似縮小して小型にただけと見て学習効果があらわれていると考えるよりはかえって技術的には最適化に時間がかかるものに挑戦し、克服できたと見ることができるので、相当リードタイムが短縮されたと考えてよい。ただ自動製造装置の開発・設計・

深層の競争力を構築する組織能力について

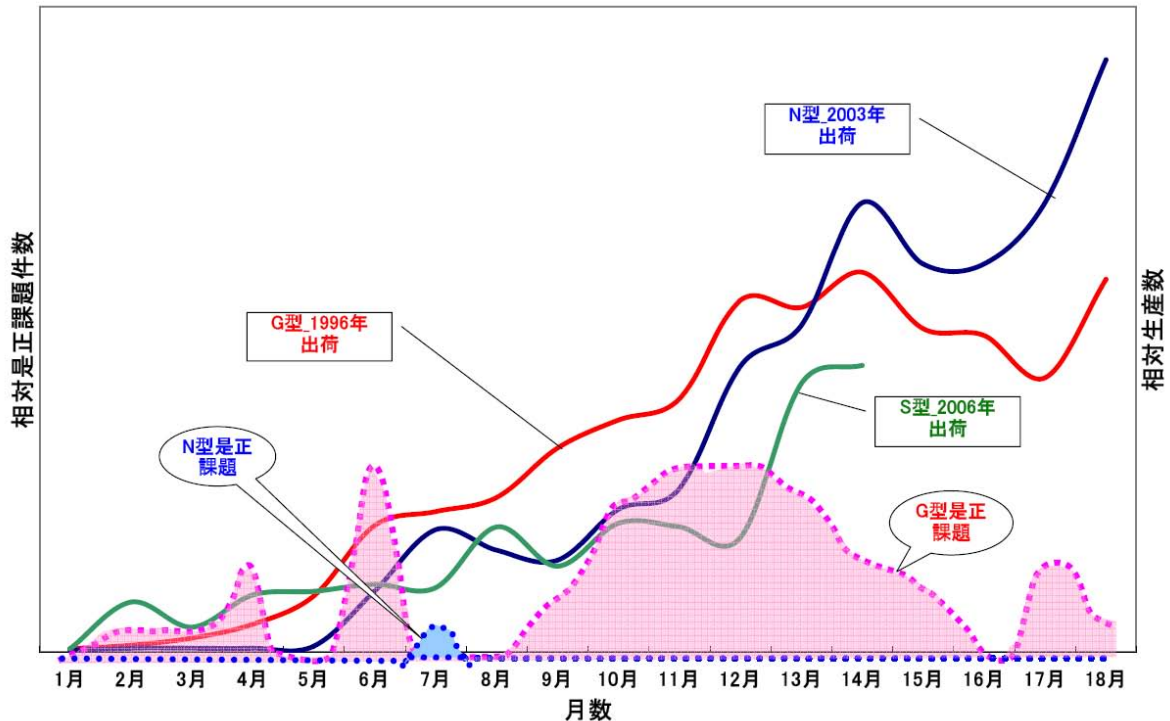
製造期間を見ると従来法とほぼ同程度の時間が掛かっており、しかも自動製造装置の開発・設計に関する設計のロバスト化のルーチン化がまだまだ不十分なところがあり、事業部門では今後短縮化を図ることが可能という。

4.7.3. 品質

1) 検出スイッチの市場品質

「深層の競争力」として重要な出荷後の市場クレーム（不良：是正課題）と生産量について、G型、N型、S型検出スイッチの相対的關係を図17に重ねて示す。G型検出スイッチでは1996年に出荷して以降、生産量は比較的少ない段階からクレーム（初期不良）がみられ生産量が増加するにつれてクレームの発生と収束の繰り返しがあり機種として安定するまでに相当な期間がかかっている。N型はDM活動の先陣として図9に見るように、個別に各種品質工学手法やCAE、QFDを適用し、効果を確認しながらその工程に適用している。とくにパラメータ設計のみならずオンライン品質工学、MT法による流撲工程は、ロバスト化維持、不良の市場流出防止に顕著な効果をあげ、G型と同様な出荷量推移をみるが実質生産量が1.5倍以上になってもクレームは7ヶ月目に発生したものがやっと目立つ程度である。さらに、S型検出スイッチでは同じ原理ながら、材料を変え、環境の影響を受けやすい小型化を図ったにもかかわらず、市場（工場）のRoHSにもとづく半田フローによる高温処理の影響をパラメータ設計により抑え、機能の最適ロバスト化を図っている。また、DM法を総合的にとり入れ、試作レス、完動検査、設計データどおりに製造し手戻りを許さない、などの思想を設計から量産開始まで一貫適用し、初出荷後14ヶ月経過しても市場クレームは全く発生しておらず、順調にロバストな品質を確保していることが分かる。

図 17 検出スイッチの相対クレーム（是正課題）数と相対生産量対月数の関係



図表出所：アルプス電気社のデータを筆者がN型の尺度に合わせクレーム数と生産量を換算・修正

電子機器用部品の従来の技術的開発・設計・製造手法では、出荷後1年間は初期不良が出やすいといわれているが、S型では開発時に材料変更や形状変更をふくみながら、全くといって良いほど不良発生を防いでいるのは、品質において非常に高いパフォーマンスを示しているといつてよい。

2) 検出スイッチの量産品質

検出スイッチの設計・製造工程での品質状態を見る。図18にQE適用前後の量産品質を示す。G型とN型に対する、①工程の直行率[不良度合い]、②市場品質[返品率]、さらに③不良処置費用について、それぞれ、「オンラインQE適用前後」、「MT法適用前後（流撲プロ）」およびそれら「両者を適用した場合」の不良処置費用を比較している。ここで不良処置費は、損失関数を用いて表した「機能のばらつき」と「不良が出た場合の実際の所要コスト」の両者を合算したものを示しており、品質工学で総損失とよばれるものである。この結果を見ると、QEの各手法を個別に用いてもロバスト性の改善に効果があり、合わせて用いると量産品質の改善にさらに大きな効果をあげていることが分かる。

深層の競争力を構築する組織能力について

図 18 QE 適用前後の検出スイッチの量産品質の比較

	G型		N型	
	QE適用前	QE適用後	QE適用前	QE適用後
①工程の直交率（不良度合い） （オンラインQE適用前後）	1	1/3	1	1/16
②市場品質 [返品率] （MT適用前後）	1	1/2	-	QE適用G型同等
③不良処置費 [品質コスト+品質ロス] （オンラインQE・MT適用前後）	1	1/10	-	QE適用G型同等

データ出所：アルプス電気社内資料と筆者らインタビューによる。

*注) N型は量産開始時からMT法を適用している。

以上まとめると、新しくロバスト性を評価測度として組織能力を構築することにより、深層の競争力のパフォーマンスが改善することが分かる。

5. 議論

本章では、新「組織能力」と「深層の競争力」との関係アーキテクチャの視点で議論する。

これまで、ロバスト性を評価測度とした統合型設計・製造システムをささえる「組織能力」が「深層の競争力」向上に有効なモデルであることを示し、事例にてその効果を確認した。取り上げた「検出スイッチ」は量産製品であり、受注生産されている。スイッチは電氣的なオン・オフ機能だけではなく機械的な機能も含め複数の機能を併せ持つことを求められる製品であり、アーキテクチャとしてはインテグラル（摺り合わせ）型であると考えられる。従来法によるG型検出スイッチは、インテグラル製品として設計データを高精度に転写するために設計データと金型と加工部品との間で繰り返し擦り合わせが行われていた。現場の技術者らは、従来新製品を出すとその1年は品質問題（初期不良）が発生しやすく、気が抜けないと言ってきた。しかし、DM活動によって開発・製造したN型、S型の検出スイッチにおいてはそのような心配が非常に減ったという。ではなぜこのようなインテグラル製品の開発・設計・製造において、新しい「組織能力」により「深層の競争力」のパフォーマンスの向上、

特にリードタイムの短縮などに繋ぐことができたか、検討する。

5.1. 深層の競争力のパフォーマンスはなぜ向上したか

課題は、摺り合わせ型アーキテクチャの製品に対し、「ロバスト性測度の統合型設計・製造システムではなぜ優れた深層の競争力のパフォーマンス、即ち品質のみならず、生産効率の向上、製品の多様性の拡大が可能となったのか」である。この問いかけに対し、「ロバスト性を測度とした製品設計・製造システムとその生産システムのモジュール化が寄与した」との仮説を置き分析する。

そこで「検出スイッチ」の製品および生産のロバスト化システムに対し、1) 製品アーキテクチャからの分析と、2) 設計・製造プロセスに関する工程設計のからの分析が必要である。

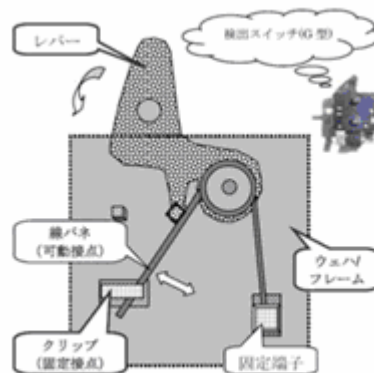
前者の分析は、製品のアーキテクチャが擦り合わせ（インテグラル）型かモジュラー（組み合わせ）型か、いずれに属するかにより開発、設計のリードタイムは大きく左右されることから来ている。また後者は、金型や自動加工・組立装置を含む複雑な設計・製造システムにおいて、生産の効率化に有益な工程の「モジュール化」がどのように組み込まれているかが問題で、その視点での分析が欠かせないことから来ている。

まず検出スイッチ自体の製品アーキテクチャの分析、検討から始める（稲垣, 2008）。

5.2. 検出スイッチの製品アーキテクチャ分析

検出スイッチ（図 19）は安く（100 円以下）、部品点数は少ない（G 型は 3 点、N、S 型は 4 点）が、金型による加工組立を伴う量産品（数百万個/月）であり、種類は多く（8、16 種）受注製品である。

図 19 G 型検出スイッチ模式図



3種の検出スイッチ（G型は従来法を適用、N型、S型はロバスト法を適用）は金型加工による3個の機能部品（クリップ、線バネ、レバー）と構造体（ウェファあるいはフレーム）とをあわせて自動組立することによって製造される。検出スイッチの機能は、電氣的なオ

深層の競争力を構築する組織能力について

ン・オフ機能のみならずレバーの作動力と復帰力のバランスにより安定な位置検出機能を備えている。検出スイッチ機能の製品アーキテクチャは、製品機能ヒエラルキーと製品構造ヒエラルキーとに分解し（図 20(従来型)、図 21(ロバスト化型)）、両者の相互関係により判定することができる（藤本, 2002）。

従来法による検出スイッチの設計について機能・構造両ヒエラルキーの関係をみると、製品のスイッチ機能は、固定接点となるクリップと可動接点の線バネ、それに機械的狀態を決めるレバーのそれぞれの位置関係と外力による動作で生じる。客先の様々な使用環境条件（顧客先での検出スイッチ組み込み時の温度、ガス、取り扱い方法など）下で、可動の線バネとクリップの両者間のオン・オフ機能、作動力・復帰力と電氣的導電（通電・切断）状態、レバーの線バネに与える機械的位置、レバー、線バネおよびクリップの耐久性、耐衝撃性、機械的頑強性をウェハ、クリップ板やフレームの持つ材質・熱容量・熱伝導特性などを加味しながら、安定に再現性よく稼働するよう主要な3点の機能部品（クリップ_{s1}、線バネ_{s2}、レバー_{s3}）を中心に機能の合わせ込みを行い、構造部分_{S1}の構造を決定する。即ち検出スイッチの設計では、他の部品との機能的な相互依存性、構造的な相互依存性、またサブ機能間の相互依存性などに対して、擦り合わせを行いながら設計を行う。したがって、検出スイッチの製品アーキテクチャは部品点数が少ないとはいえ、基本的にインテグラル・アーキテクチャと考えて良い。

図 20 アーキテクチャによる製品設計

インテグラル・アーキテクチャ製品の設計 出典：藤本（2002）に筆者加筆

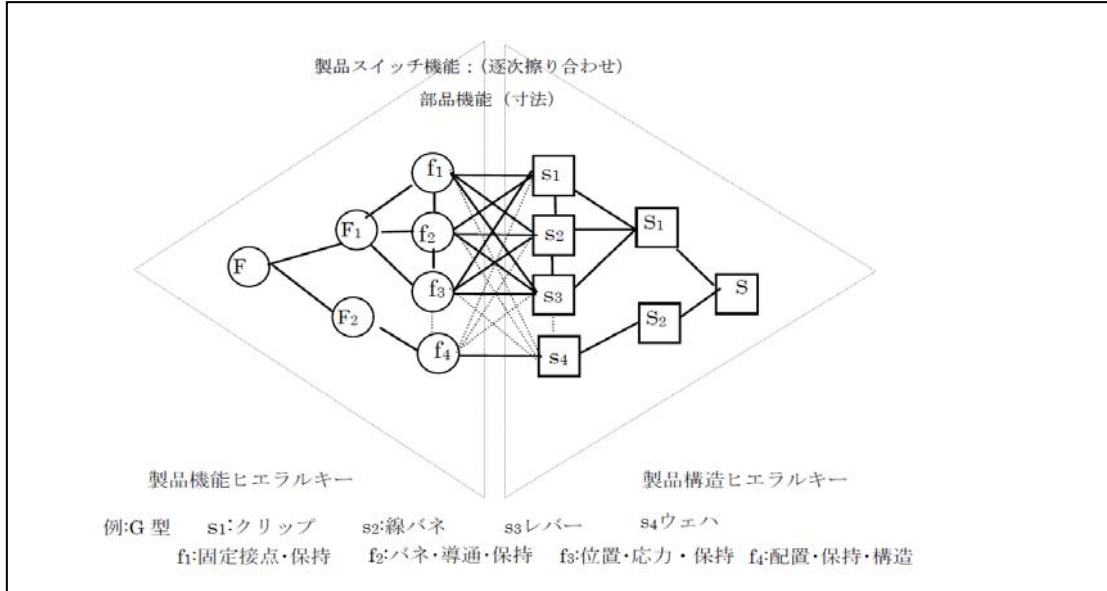
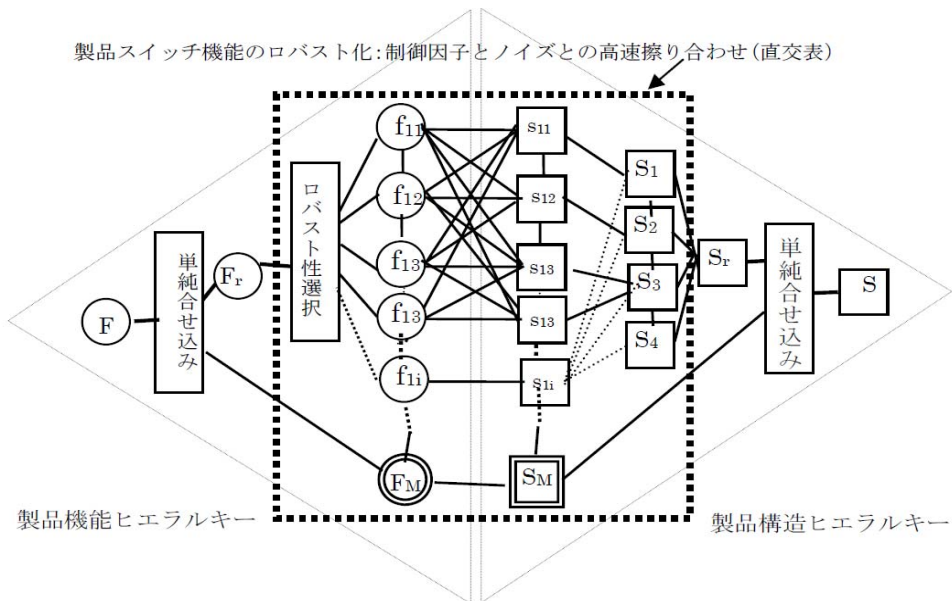


図 21 アーキテクチャによる製品設計

インテグラル・アーキテクチャ製品の設計（ロバスト化設計） 注）筆者作成



凡例：F=製品全体の機能 S=製品全体の構造
 F₁,F₂=製品のサブ機能、F_r=製品のロバスト化サブ機能、f₁~f₄=製品サブ機能、f₁₁~f_{1i}=製品機能
 S₁~S₄,製品のサブ構造,S_r=製品のロバスト化サブ構造、s₁₁~s₁₄,s_{1i}=製品のサブ構造
 注) 簡略化のため、FとS、及びS₁~S₄間の連結は略す。F_M=信号可変時の製品機能
 —=連結=ゆるい連結

続いて、図21において、N型、S型にそれぞれ適用されたロバスト化設計法のアーキテクチャを見る。ここではパラメータ設計が実施されている。まず、機能のロバスト化を優先し、次いで機能の合わせ込み（単純合わせ込み）が行われる。ロバスト化の時点で、検出スイッチの主要構成部品の設計パラメータ（制御因子）とノイズとの交互作用を利用してロバスト化を図っているが、直交表を用いて高速に制御因子とノイズの擦り合わせを行い、ロバスト性の加法性を確かめ、設計を終了する。

パラメータ設計自体は制御因子の水準とノイズとの摺り合わせを行うという面でインテグラル型の要素を多分に含むが、「二段階設計」という設計手順が明示化され、制御因子に対し主効果のみにて加法性を担保している点を合わせ考慮すると設計上、疑似モジュールと見ることがもできる。ベンチマークとした他の検出スイッチの SN 比と比較し十分なロバスト性（機能性）が得られればよしとし、十分ではない場合には、制御因子の選択、基本機能の変更さらには採用したアイディア（システム）の再検討までふくめ、再度高速に擦り合わせを行い、パラメータ設計を行う。したがって、図 21 の太点線の枠の中では目標とする機能と設計パラメータとの擦り合わせが行われていると考えて良い。しかし、従来法による一元配置実験の繰り返しを用いる設計と比較すると、ロバスト性を評価尺度として直交表を用いた多元配置実験は格段に早くなる。基本機能をもとに SN 比を評価尺度にしてベンチマーク品との間でロバスト性を比較することが可能なので、選択したシステムの安定性、ロバスト性の良否の判定と同時に、パラメータ設計のチューニングで得られた性能（機能）の優劣も比較できることになる。

したがって、ロバスト化製品のアーキテクチャは、疑似モジュラー構造と言ってもよく、ロバスト化設計法では、多元配置とロバスト性を評価尺度に用いることで従来の擦り合わせ設計法より設計速度があがることになる。しかし、ここでいう疑似モジュラーは、藤本ら（2005）の言う、中国でしばしば見る、局所的に擦り合わせ済みの部品を作り、それらの部品群をあたかも汎用的に購買するという意味で使われているものとは異なり、全体として擦り合わせを行うが、それが高速で実施され、しかもモジュラー品の持つ特徴（モジュール内では相互依存し、モジュール間では独立している）を備えているという意味であることを付記しておく。

次に、検出スイッチの設計・生産プロセスに関する工程設計の分析に入る。

5.3. 生産工程設計のモジュール化

生産工程全体は複雑なシステムである。複雑なシステムをパーツ毎に分解して、工程のモジュール化ができれば、異なる人々がそれぞれのパーツで作業でき、複雑な生産システムでも見通しよく作り上げてゆくことが可能になる。工程設計において、あるシステムを二つ以

上のモジュールに分離するとか、他のものに交換する、追加する、削除する、抽出するあるいは転用するなどモジュール化することにより各モジュールの進化を図ることが可能となる。生産工程の設計では物流・搬送のしやすさを考え、構造一体といった形で部品の階層化を図ることも多い。検出スイッチの場合は寸法も小さく、他の実装部品同様、最終的にキャリアテープにのせて、相手（顧客）先の実装システムに供給することになる。そこで流通・搬送により生産リードタイムを短くすること以前に、機能デバイスとして如何に手戻り無く速やかに製品を安定的に生産できる工程を構築できるかが最大の関心事になる。その結果生産工程や構成部品のモジュール化を如何に図るかが工程設計において非常に重要なポイントとなる。

モジュール化はBaldwin and Clark(2000)によれば、その概念として第一に「モジュール内では相互依存し、モジュール間では独立している」、すなわちモジュールとは、構造的にお互いに独立しているが、一緒になって働く大きなシステム中の単位である。システム全体は、構造面の独立性と機能面の統合を可能にする枠組み、すなわち「アーキテクチャ」を提供しなければならない。第二の補助概念は、抽出、情報を隠す、インターフェースである。とくに、ある複雑なシステムは、より小さな部分に分割し、それぞれを別々にみることで管理できるとしている。単純なインターフェースを持つ別個の抽出を定義することでその複雑性を隔離でき、抽出によりその要素の複雑性は隠される。したがって設計者は「明示的なデザイン・ルール」と「隠されたデザイン・パラメータ」に分離することで「モジュール化」を行う(青木ら, 2002)。次にこれらの両面から検出スイッチの生産工程設計を分析する。

5.4. 検出スイッチの生産工程設計のモジュール化概念による分析

検出スイッチの工程設計を検討するにあたり従来法の代表機種としてG型を、DM活動による新しい方法（ロバスト化法と略す）の代表機種としてS型を対象とする。

インテグラル型製品である検出スイッチの生産上の特徴は、小さな部品を大量（一度に生産する量は、少ない場合は5000個程度から多い場合は数百万個を超える）に生産するために金型（板金・成形用の両者）を用いて構成部品を自動加工し、それを集結して自動組立を通して製品化する点である。したがって、設計・生産工程のリードタイムを短縮するには、第一に、インテグラル型製品設計で、擦り合わせに必要とする時間を如何に短縮するかであり、第二に、生産工程のモジュール化を如何に進めるかである。

第一の、擦り合わせ時間の短縮についてみる。DM活動で出されている方針に、①「客先でクレームがなければ良い品質である」がある。即ち客先での環境変動に対してロバストであれば、クレームは発生しない。クレームが発生しない製品は良い品質である、という考え方

深層の競争力を構築する組織能力について

である。その方針に基づき製品設計段階でパラメータ設計が導入され機能のロバスト化が図られている。パラメータ設計では、狙う機能の設定、すなわち「基本機能の設定」とノイズの推定、すなわち「使用環境の推定」が設計遂行に重要な作業となる。ここではQFDを導入し、効率的に、ねらう機能の明確化を行い、シーン想定具体化が図られている。検出スイッチは擦り合わせ製品ではあるがパラメータ設計を導入することにより、従来の一元配置実験の繰り返しを中心とした擦り合わせ設計とは異なり、ロバスト性を評価尺度として直交表を用いた多元配置実験によりノイズと制御因子との間で擦り合わせを高速に実施でき、加法性の確認を行い、手戻り少なく最適化して設計を早期に凍結することができる。

また、アルプス電気のDM活動の特徴は、①「デジタル・マニュファクチャリング (DM)」を基本に活動を行うことである。設計はバーチャルで（即ち3D-CAD、CAEを用いて）行い、その過程で製品機能のロバスト化を進めるが、同時に金型の設計・製造要件を設計段階で織り込んでいる。したがって②実物試作は行わないで、コンピュータ上での設計とシミュレーションによる最適化を奨励している。シミュレーションでも相対比較を多用し演算サイズの拡大を抑えている。精度の関係で実物との寸法の擦り合わせを必要とする場合でも、合わせ込み用シミュレーションの向上により実物試作を排除している。[演算サイズの削減に配慮した上で合わせ込み作業をコンピュータ化するという事は擦り合わせの高速化にかなったやりかたになる。その点で] パラメータ設計自体も設計の第一段階で相対比較によりロバスト化を図るので演算の高速化には都合がよく、設計でのバーチャル化は相性がよい。また、③生産システムの異常の把握（流撲）と機能の標準値のみ計測し良否判定をおこなう（完動検査）という方針がとられている。したがって製品機能のロバスト化により従来検査してきた各種品質検査・出荷試験を行わない（検査レス、試験レス）で対応することになる。しかし品質確認の事前契約がある場合はそれぞれ必要な品質検査はされている。これらの3つの方針を統合し、④として、バーチャルな設計からはじめて、試作レス、検査レス、試験レスで量産製品が「一発完動」で出荷できるはずとして目標を設定している。この点も、擦り合わせ時間の短縮に対し効果が期待できることになる。

第二の、生産工程のモジュール化について見る。DM活動の方針において、①「設計データ通りに製造する（手戻りを許さない）」。②「後工程には品質不良を流出しない（流撲・部品流撲）」。③「ばらつきと経費の和を最小化する（外購品決定時の、機能ばらつきと購入コストの両者の和）」、などのルールを設定しているが、①がデザイン・ルールの主軸である。次に、従来法とDM法（新しい方法）の両生産工程設計内容を検討し、モジュール化の観点で検討する。

設計のモジュール化を分析するのに、D. V. Steward (1981a, 1981b) のTSM (Task Structure

Matrices) あるいはDSM (Design Structure Matrics、TSMと同義) の手法³⁾にて分析するとわかりやすい。「設計」とはある人工物を完全に記述することであり、そのために分解できる単位を設計パラメータといい、設計パラメータの選択を設計タスクという。設計パラメータ間の階層的な関係性と相互依存性は設計構造行列 (DSM) と呼ばれるツールでマップ化できる^{5,7)}。

そこで設計システムとして生産工程設計を対象とし、「従来法によるG型」と「ロバスト化 (DM) 法によるS型」の両生産工程設計のモジュール化分析を行う。モジュール化の定義はBaldwin and Clark (2000) の概念、「モジュールとは、構造的には独立しているが、一緒になって働く大きなシステムの中の単位である。複雑なシステムは、単純なインターフェースをもつ別個の「抽出」を定義することでその複雑性を隔離でき、それにより「その要素の複雑性が隠される」、を用いて判断する。

5.4.1. 従来の検出スイッチの生産工程設計

図22に従来のG型検出スイッチの生産工程にかんする設計構造行列をしめす。厳格な階層がある場合には、開始パラメータ (隠されたモジュールの作業) の列と結果パラメータの行が交差するところに「0」が現れる。例えば図22で、従来法では21番の端子加工が終わって、はじめてグリップ・ウェハの22番のメッキ加工となる。また、相互依存性がある場合は、行列の主対角線を挟んで対称的な位置に二つの「0」が現れる。例えば同じ図で、端子金型20番とそれを使った端子加工21番に現れ、金型作成と金型による加工は相互依存性があり、試作をしながら手の掛かる擦り合わせを行っている。20番と21番、22番、40番は各最小モジュールとなり、計3個のモジュールとなる。金型による部品の加工では、加工された板金でも樹脂でも金型寸法通りには加工されず変形するので、設計データに合わせるために加工品の寸法をはかり金型寸法を変更して複数回擦り合わせる必要があり、20番と21番の工程内はインテグラル工程になっている。製品設計者は金型設計者との間でコミュニケーションを行い、金型との機能的相互依存性や、部品干渉など構造的な相互依存性、製品全体の設計との依存性、線ばねとクリップ構造の相互依存性などに注意を払いながら設計を行う。それら擦り合わせ部をモジュール内にとりこみ、先に挙げた20番の端子金型と21番の端子加工をモジュールとし、モジュール間では相互依存性を低減しており、生産工程設計としてはモジュール化を図っている。図22をみて分かることは、従来法による生産工程設計において金型を用いて高速生産する生産システムとしては基本的にモジュール型設計となっていることである。

図 22 生産工程設計に関するタスク構造マトリックス・・・従来法 (G 型)

1. 従来法		デザインルールの規定					隠されたモジュールの作業					検証・統合																									
		1					2					3		4	5		6																				
		10	11	12	13	14	20	21	22	23	24	25	26	30	31	40	50	51	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70								
1 デザインルール	10 端子寸法	*	9	0	9	0																															
	11 クリップ寸法	9	*	9	0	0																															
	12 ウェハ寸法	0	0	*	0	0																															
	13 レバー寸法	9	9	0	*	0																															
	14 パネ寸法	9	0	0	0	*																															
2 クリップ・ウェハ	20 端子金型	0						*	0																												
	21 端子加工	0						0	*																												
	22 メッキ加工						0	*																													
	23 クリップ金型	0								*	0																										
	24 クリップ加工	0						0		0	*																										
	25 ウェハ金型						0						*	0																							
26 ウェハ成形						0						0	*																								
3 レバー	30 レバー金型													*	0																						
	31 レバー成形											0	*																								
4 線パネ	40 線パネ購入													*																							
5 組立	50 自動機開発	0	0	0	0	0										*	0																				
	51 自動組立	0	0	0	0	0						0	0	0	0	0	*																				
6 検証・統合	60 端子金型寸法																0																				
	61 端子寸法																0	*																			
	62 クリップ金型寸法																		*																		
	63 クリップ寸法																		0	*																	
	64 ウェハ金型寸法																				*																
	65 ウェハ寸法																				0	*															
	66 レバー金型寸法																						*														
	67 レバー寸法																					0	*														
	68 パネ寸法																								*												
	69 性能(作動・復帰特性)																										*										
	70 概観検査																														*						

注) マトリックス内の*は列側のデザインパラメータと行側のタスクパラメータの交差点を表し、0は強い相関関係をあらわす。9は弱い相関関係、をあらわす。

ボールドウィン (2004) によれば設計がモジュール化されるには、まず①デザイン・ルールが設定され、②パラメータの相互依存性が断たれていること、さらには③システム統合・検証段階があることとされ、さらに④モジュール構造ではデザイン・ルールのみがモジュール内で発生することに影響を与えている、としている。この図 22 では、デザイン・ルールとして各部品の寸法が設定されている (10 番から 14 番まで)。例えば、2、3、4 項の部品は基本機能部品であるが、そのうち 2 項のクリップ・ウェハと 3 項のレバーはそれぞれ、金型と加工部品との間でそれぞれモジュールが構成され、しかもおのおの加工部品の寸法は設計データどおりであることを求められている (①のデザイン・ルール)。問題は、実部品の段階で各金型と加工部品の寸法決定では循環が発生していることである。したがって金型と加工部品との間の循環を如何に切り離すかがポイントで、実部品部と金型同士では循環を発生しないようモジュール化されることがもめられる。しかし、このタスク構造では実現できない。当然ながら、「深層の競争力」のパフォーマンスを向上するには、モジュール内で強い相互作用がある「金型と実部品間での擦り合わせ」を必要とするモジュール 4 件をなくすことが問題となる。尚、第 5 項の組立システムをモジュールとしてみるとその内部も強い相互作用をもっており分解が必要であるが、今回はデバイスとはやや性格がことなる自動組立系の開発・製作と製品の自動組立を一組にした独立ブロックをモジュールと見なすことができるので、その分解は行わないことにする。したがって製造システムの最小のモジュール数は部品部分で 6 個、それに自動組立系を加えると 7 個のモジュールからなる。

5.4.2. 検出スイッチのロバスト化生産工程設計を見る

図23にロバスト化 (DM法) 生産工程設計に関する設計構造行列を示す。S型は先のG型と比較して、寸法が小さくなり構造強化のフレーム部品が追加されただけで基本的な原理と構造は変わっていない。デザイン・ルールに加わったのは、「設計データ通りに製造する」と「手戻りを許さない」という点である。このことは、設計データ通りに、金型加工で得た部品寸法を実現することであり、従来おこなわれていた加工部品の寸法を測定して金型を修正するという作業を許さないということの意味している。その結果、3個の機能部品 (クリップ・ウェハ、レバー、線バネ) と構造部品 (フレーム) はそれぞれ独立なモジュールとなっただけでなく、例えばクリップ・ウェハの設計構造の内、端子部の21番、22番、クリップ部の25番と26番、ウェハ部の28番と29番がそれぞれ切り離され、モジュール化されている。金型による加工部品寸法の高精度合わせ込みは、バーチャルなCAEの応力解析、流動解析などのシミュレーション技術により実現し、実金型を作ったり、実部品をつくって合わせ込みをすることは回避され、試作レス、完動検査、一発完動などのねらいにそって工程設計がなされる。その結果、最小モジュール数でみると12モジュールとなっており、組立部のブロックを1モジュールとしてみると、合計13モジュールからなり、4構成部品はお互いに相互作用無く、隠されたモジュール

深層の競争力を構築する組織能力について

ルとして並行に作業が可能であり、効率をあげることができることが分かる。

図 23 生産工程設計に関するタスク構造マトリックス・・・新方法 (S型)

2. 新方法(DM方式)		デザイン・ルールの規定					隠されたモジュールの作業										検証・統合													
		1					2					3			4		5		6		7									
		10	11	12	13	14	15	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	40	50	51	52	60	61	70	71	72	73
1 デザイン・ルール (設計ノータ 通りに作 る) (バツは い)	10 端子寸法	*	9	0	9	0	9																							
	11 クリップ寸法	9	*	9	0	0	9																							
	12 ウェハ寸法	0	0	*	0	0	0																							
	13 レバー寸法	9	9	0	*	0	9																							
	14 ハネ寸法	9	0	0	0	*	0																							
	15 フレーム寸法	9	9	0	9	0	*																							
2 クリップ・ウェハ	20 端子CAE	0					*	0																						
	21 端子金型	0					0	*																						
	22 端子加工	0					0	*																						
	23 メッキ加工	0					0	*																						
	24 クリップCAE	0					*	0																						
	25 クリップ金型	0					0	*																						
	26 クリップ加工	0					0	*																						
3 レバー	27 ウェハCAE	0					*	0																						
	28 ウェハ金型	0					0	*																						
	29 ウェハ成形	0					0	0	0	0	*																			
4 線ハネ	30 レバーCAE	0					*	0																						
5 フレーム	31 レバー金型	0					0	*																						
6 組立	32 レバー成形	0					0	0	0	0	*																			
7 検証・統合	40 線ハネ購入	0					0	0	0	0	*																			
	50 フレームCAE	0					*	0																						
	51 フレーム金型	0					0	*																						
7 検証・統合	52 フレーム加工	0					0	*																						
	60 自動機開発・製作	0	0	0	0	0	0																							
	61 自動組立	0	0	0	0	0	0																							
	70 部品流撲(ウェハ)	0															*													
	71 部品流撲(レバー)	0															*													
72 機能性評価(線ハネ)	0															*														
73 部品流撲(フレーム)	0															*														
74 流撲(製品)[作動・復帰]	0															0 0 0 0 0 *														
75 オンライン機能性評価(1部)	0															0 0 0 0 0 *														

注) マトリックス内の*は列側のデザインパラメータと行側のタスクパラメータの交差点を表し、0は強い相関関係をあらわす。9は弱い相関関係、をあらわす。

このロバスト化法による生産工程設計のタスク構造において、四構成部品にたいし設計構造とタスク構造の各ブロック（モジュール）の間には強い相関関係をもつ因子がなく、繰り返し調整を必要としないことが理解できる。さらにクリップ・ウェハ、レバー、フレームの3ブロック内にある小ブロックはより小さいモジュールをなしており、金型加工された部分はいずれも金型とは相互作用をもつことなく、図23でそれらのブロックの上側には相関をもつ因子が無いことがみてとれる。しかし、逆に各金型の寸法とCAEとの間には相互作用をもっており、最適化するのに摺り合わせが必要であり、コンピュータ上での摺り合わせがポイントとなる。コンピュータ上での擦り合わせを高速に行うには、絶対値を求める必要がない相対関係の演算とするとか、有限要素法による場合はメッシュを粗くすることなどが大きな効果を与える。

組立部をのぞいて、従来法とロバスト化法とのモジュール数の比較を行うと前者に比較して後者は倍、モジュール化に成功しており、それぞれの部品の製造ではデザイン・ルールを守ることにより隠されたモジュール内部での作業となり、作業がより容易になっていることが分かる。

結論としてみると、製品設計で織り込まれた設計パラメータ（制御因子）とノイズとの交互作用によるロバスト性が、デザイン・ルールに沿って維持され、製品として体化されている。リードタイムの短縮であらわれた「深層の競争力」のパフォーマンスの向上は設計のロバスト化と生産工程のモジュール化の促進、加えてデジタル・シミュレーションによる合わせ込み技術が効果をあげていると考えることができる。

さらに、図23の生産工程設計に関するタスク構造から見えてくることがいくつかある。例えば、パラメータ設計を用いると、直交表を用い高速な多元配置によりロバスト化が可能である。またその拡張として、①樹脂用金型に関し、クリップ・ウェハ部品の内27番、28番、あるいはレバーの内30番、31番でCAEと金型の合わせ込みを行う場合、シミュレーションによる合わせ込みにパラメータ設計（標準SNを用いた）を併用すれば、これらのブロック内での繰り返しをさらに減らすことが容易になると推定される。樹脂成型を行うこのブロックでは再生材の利用をノイズとしてパラメータ設計をすれば、より安定な製造が可能となるであろう。無論、既に行われているロバスト性評価（機能性評価）による良否判定は必要である。②板金用金型においても、樹脂とは異なるが、シミュレーション技術の向上と材料データの収集に加えて、パラメータ設計との併用により同様の効果が得られると推定される。③組立ブロックでは、自動組立装置の開発・製作という相対的にみて大きなシステムを扱い、量産を行っている。ここでも検出スイッチの作動力、復帰力パターンを理想機能として、標準SNを用いた製品のパラメータ設計のみならず、自動組立装置のパラメータ設計を行うことにより、G型とS型の間の流撲による流出防止率の差異を改善することが可能と考えられる。これらのことは、タスク構造解析をすることにより浮上してきたことで、既に現場では分析が進み、プロセスの改良が進んでいるとは思いますが、「組織能力」の強化と「深層の競争力」の向上には益するところがあると考えている。

目的とする製品のロバスト性をあげ、生産工程を限りなくモジュール化することにより、深層の競

争力の肝となる製品品質、設計・製造リードタイムを向上することができ、これらの開発・設計・生産準備・製造に対し新しい「組織能力」の構築が可能であり、アルプス電気はその実現の途上にあると言っても良いであろう。

6. 結論

製品機能のばらつきの評価測度として「ロバスト性」を設計から製造まで統合的に用いることにより、新しい「組織能力」を構築でき、「深層の競争力」の向上を図り得るか否かを明らかにすることを目的に検討した。

その結果、ロバスト性を評価測度とした、統合型設計・製造システムをささえる新「組織能力」は「深層の競争力」向上に有効なモデルであることを示し、事例によりその効果を確かめた。「設計・製造の品質」を製品機能のロバスト性（ばらつき）として用いることにより新しい「組織能力」を構築でき、そこで構築できた「統合型設計・製造システム」は「深層の競争力」向上に効果があることを明らかにした。

事例（検出スイッチ）として取り上げた、インテグラル・アーキテクチャ製品の設計・製造システムへの「ロバスト性」評価測度の導入による「深層の競争力」のパフォーマンス（QCD）向上要因を分析した。その結果、その向上要因は、ロバスト性による評価尺度の設定と品質工学のパラメータ設計を用いたロバスト設計による疑似モジュール化を通じての品質（Q）の向上と、生産システムにおける擦り合わせ工程をバーチャル領域（CADとCAE）へ移行することによる効率化と、リアル領域のモジュール化による設計・製造リードタイム（D）の短縮、さらに同一材料と同一生産性下での市場不良の激減およびリードタイム圧縮による稼働率の向上などによるコスト削減の実現（C）、などに起因していることを示した。ロバスト性測度の導入にあたり、「客先でクレームがなければ良い品質である」とする製品のロバスト化促進と「設計データ通りに製造し、手戻りを許さない」というデザイン・ルールの実現は、インテグラル・アーキテクチャの製品を疑似モジュラー・アーキテクチャの製品へと変身させ、深層の競争力の強化に有益である。

また、開発・設計・製造システムの理想ともいえるバーチャル設計から試作レス、検査レス、量産という、設計から量産まで、いわゆる「一発完動」で製品を市場へ展開するコンセプト実現への可能性を見ることができた。

今後の課題としては組立系にみる、より大きなサブシステムからなる大きなシステムに対して、ロバスト性を評価測度としたロバスト化製品設計と生産工程設計のモジュール化手法の開発が重要となる。その場合、N. P. Suh (2001) 提案のAxiomatic Designの概念で、目的機能

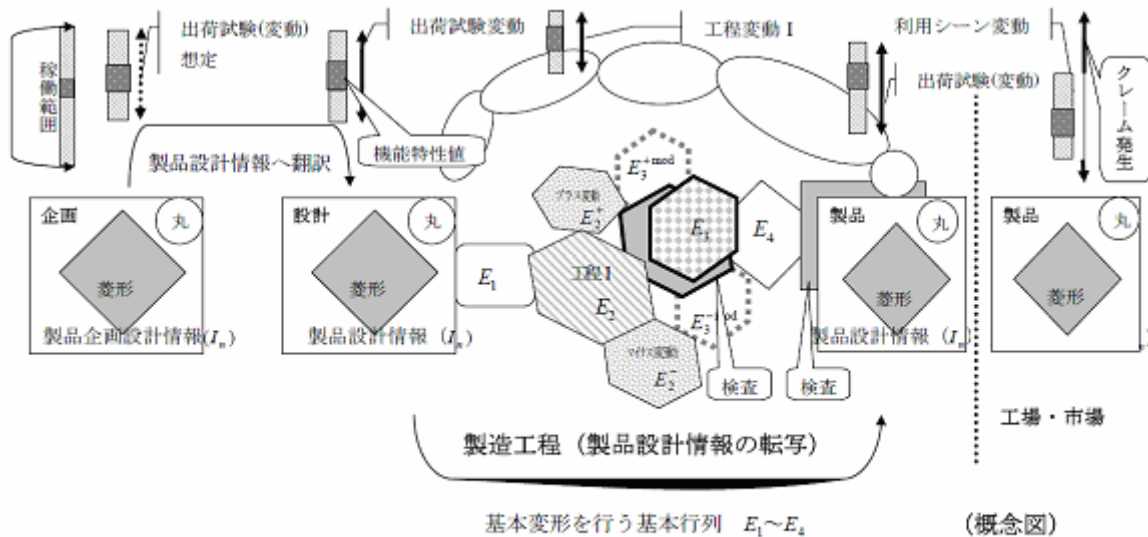
と設計パラメータの関係を写像関係でとらえ、独立設計あるいは準独立設計とする検討がヒントになるだろう。

付録

Ap.1. 従来の設計・製造システム

これまで、設計段階で創出された製品設計情報を、製造工程を通じ製品に転写するのに n 元一次連立方程式を用い、それを解くことによって形状・機能を表す 1 次独立な n 次解ベクトルを得るモデルについてのべた。製品設計情報自体が製品の利用シーンの影響を受けることが無いようロバストに設計され、それを正しく転写する製造工程に変動がなければ、基本変形は正しくなされ、製造現場に配備された製品設計情報は正しく製品に転写される。しかし、製品設計情報が利用シーンや信号の影響を受け易かったり、製品の特性値が製造工程内の変動（誤差）の影響を受け易かったり、製品設計制御因子（パラメータ）が制御因子相互間で交互作用をもったりすると、たとえ製造工程で解ベクトル \mathbf{x} が得られそうでも、狙う製品設計情報と同じ正しい解ベクトル \mathbf{x}_0 を得ることができない。その関係を、模式図を使って述べる。図 24 に従来の設計・製造システムのプロセスモデルを示す。

図 24 従来法による企画・設計・製品・市場への情報転写の流れと信号や誤差と機能特性の関係



注) 「製品設計情報」を製造工程で基本変換し、工程 I を経て製品へ「製品設計情報」を転写する。

単純化のため図では四つの製造工程を考え、製品設計情報を各基本行列により基本変形し、製品に転写する。誤差因子（工程内変動）があると基本行列 E_2 はその影響をうけ変形する（たとえば E_2^+ ）。次の行列はその変形にあわせて工程を調整・修正するよう修正される。場合に

よっては検査工程を置き、基本行列 E_3 に適合するもののみを選択、適用する。工程変動が大きければ後工程での調整・修正作業は多くなり、繰り返し作業も多く発生する。したがって、正しい製品設計情報の転写には製造工程でのすり合わせ、調整が重要になる。

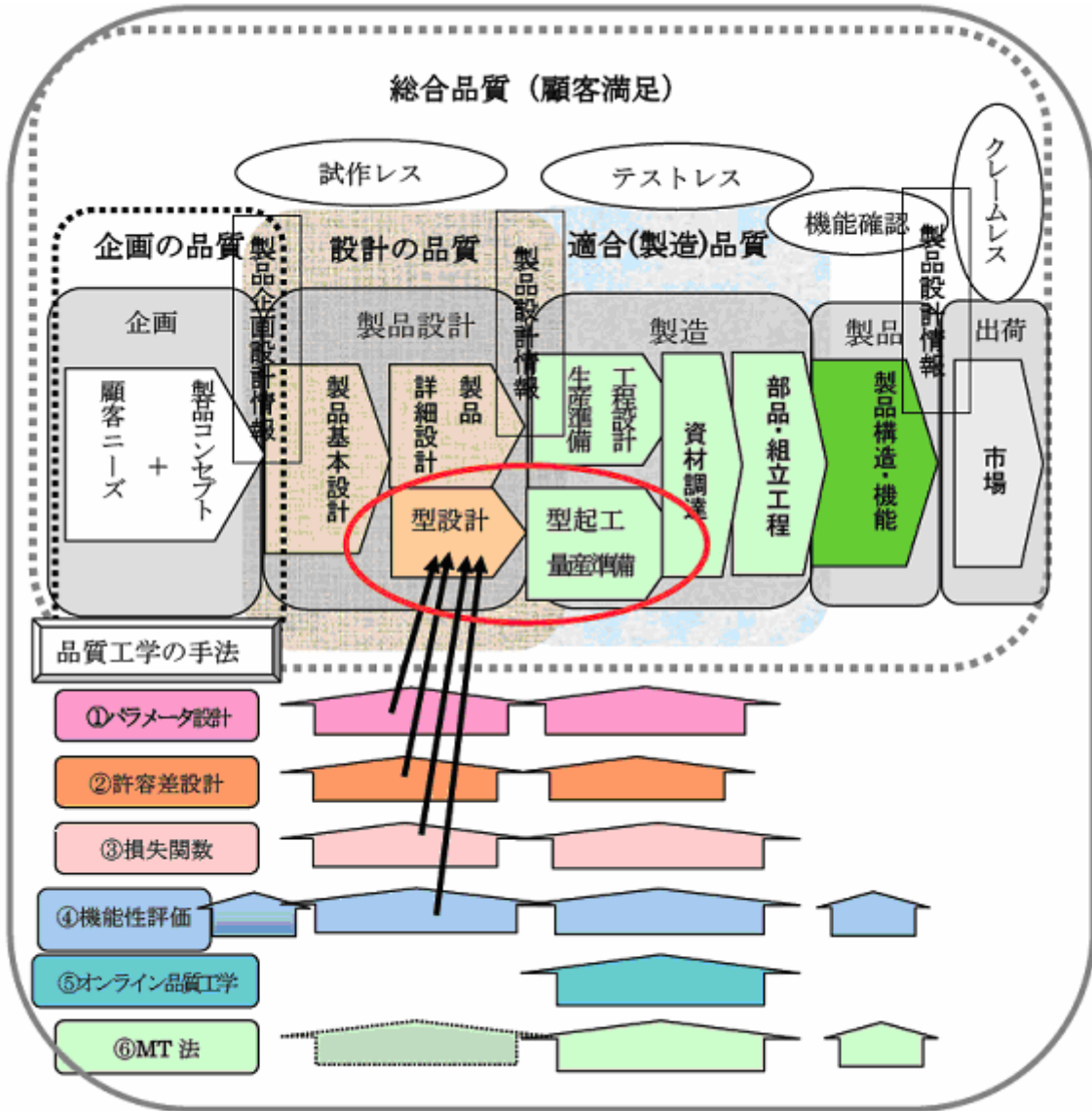
もともとの設計による製品設計情報が誤差変動に対しロバストに（特性値がばらつかないように）設計されていなければ様々な出荷試験の通過が困難（歩留まりが下がり）になり、製造工程での影響を受けやすくなったり、市場での利用環境変動の影響を受けやすくなったりする。工程の調整や合わせこみによる繰り返しが多く発生する。また、限られた出荷試験条件を通り抜けても様々な変動のある市場では製品性能にばらつきが発生し、品質不良がでて市場クレームとなる。

Ap.2 品質工学を適用した金型の統合型開発・生産システム

型設計を入れた、統合開発・生産システムモデルの例は図 25 のようになる。金型設計を行う場合でも、①パラメータ設計、②許容差設計、③損失関数を用いた④機能性評価が行われ、型起工、量産準備、量産に至る工程が構築される。⑤オンライン品質工学[品質工学会(1995)]の手法には、型起工、量産準備での公差設計、製造工程の診断調節、管理システムの検討、予防保全、フィードバック、フィードフォワード制御、検査設計、計測機器の校正システムなどを含み、それらが③損失関数をベースに選択的に運用される。

場合によっては設計データから成形品へ要求する寸法精度が高い場合、パラメータ設計された図面通りに型をつくってもプラスチックの収縮性や流動性の影響を受け、寸法ばらつきを高精度に合わせこむのが困難で、繰り返して設計・型起工・製造が行われる。品質工学のパラメータ設計では第一段階でばらつきを押さえ込み、第二段階で所要の寸法にあわせこみ、高精度のプラスチック成形品をつくりあげる。しかし新しいアイデアを加えても精度良く合わせこみをするに至らず、繰り返しあわせこみ製作をすることを余儀なくされる場合がある。このような場合、高精度 CAE 技術の工夫・改良によってコンピュータ上でパラメータ設計を繰り返し、合わせこみ精度を得られる場合があり、金型による加工品のロバスト性が向上すると同時に、試作を行わないことによる生産性の向上をはかることができる。更に、プラスチックの再生材の活用をも考えそれをノイズとして金型による樹脂成型のパラメータ設計を行うことにより、成型時の材料変動に対するロバスト性をあげることもできる。ロバスト化された成型部品や製品に対し製造時に CAE 技術で高精度寸法などの機能を合わせこむこと自体はあたかも製造工程の環境を十分に制御すること、制御パラメータの合わせこみ精度を上げることなどに相当する。製品自体のもつ機能のロバスト性は確保されており図 25 の統合型開発・生産システムをくずすものではない。

図 25 品質工学から見た金型の統合型開発・生産システムモデル



Ap.3 事業の歴史的概要と DM 活動の動き

今回の「組織能力」検討にはアルプス電気のビジネスの背景を 1998 年あたりから今日に至るまでの概要を見るのが適切だと考えている。というのは、品質工学をベースにデジタル・マニュファクチャリング (DM) 活動を進め幅広い組織に変革を起し、新規「組織能力」構築のリーダーシップをとっている T 氏が初めて品質工学に触れたと述べているのがこの年であるからだ。

その前年、1997 年(65 期)はアジア通貨の下落にあい景気が減速したが、第二次中期経営計画「エクセレントカンパニー復帰計画」が始まり、第二の創業のための方向性が明確となり、1980 年第後半に APS(ALPS Production System)としてトヨタ生産方式の考え方を導入した「生産革新」活動も次のステップに入った。1998 年 (66 期) 1 月に T 氏は常務に任じられ、10 月には第一・第二機構事業部を兼務し、それが縁で初めて「品質工学」適用の動きが社内で既に芽吹いていることを知った。この年、日本の景気落込みが厳しくなり、創業 50 周年という節目を迎え、「第二の創業」へと全社をあげて革新活動を行っている。3 事業本部制の廃止、営業本部の新設など情報通信と民生機器の融合した市場への対応を図り、生産革新を進め、製造、技術、営業、本社を一丸としたビジネスの取組がなされた。一般電子部品、情報機器用部品、車載電装用部品では増収・増益となっている。1999 年(67 期)は不運にもデリバティブ取引の損失という事件に巻き込まれ、当期の純損益は大幅な損失を計上し減益となり、さらに全体としては需要の鈍化などでマイナス成長となった。

2000 年(68 期)。前年度の特別損失がなくなり、増収と大幅な増益を果たしている。また自動車のエレクトロニクス化や部品のモジュール化で需要を拡大し電子部品事業全体の売上は増収・増益になっている。T 常務は本社で全社をみる立場の生産技術と品質保証の両担当となった(谷本ら,2007)。谷本氏は、この年中国の製造会社でのものづくり事情の視察を通じ、自社のものづくりの競争力を強化することを痛感し、まず 3D-CAD をベースとした設計から製造までの一貫した「デジタル・マニュファクチャリング(DM)」の発想を得、さらにそこに競争優位を得るべく品質とコストを同時に評価、最適化することのできる QE の導入を着想した。これを DM プロ I としてまず走り出した。しかし同時に管轄下の技能研修所での研修などを通じて「品質工学の可能性」や「本当の効果は何か」などの感触を確かめていた。2001 年 (69 期) は、米国経済の減速からはじまった景気悪化が進み、わが国の電子工業生産も大幅な落込みを示した。アルプス電気は電子部品事業の大幅な売上減と構造改革にともなう事業構造改革費などの特別損失を計上し損益を大きく悪化させた。

2002 年 (70 期)、アルプス電気は経営構造改革と業績予想修正の発表を行い、70 期早々か

らの組織構造改革として5事業部への再編・集約、事業部営業部の設置、さらには事業開発本部（T常務担当兼務）の設置などを図り、同時にコスト改善としてシステム機器事業部をペリフェラルと磁気応用に統合し、早期退職制度や賃金カットなど強力な改革が進められた。もう少し詳しく見ると事業部は市場に対応したコンポーネントからユニット、サブシステムまでの製品を継続的に創出できる体質を目指して再編され、事業と事業部が1対1に対応するようそれまでの7事業部から5事業部に再編・集約された（アルプス電気,2002）。すなわち、

- ①コンポーネント事業部（旧機構部品事業部を名称変更）
- ②車載電装事業部
- ③通信デバイス事業部（高周波事業部にオプトエレクトロニクス事業部を統合し名称変更）
- ④ペリフェラル事業部（ペリフェラル事業部にシステム機器事業部を統合）
- ⑤磁気デバイス事業部（旧磁気応用事業部を名称変更）、それに加え
- ⑥事業開発本部、が新設された。

T常務が担当することになった事業開発本部ではマーケティングと技術が一体となったコーポレートレベルの新規事業の開発を進めるとした。

この2002年、T常務はDMと品質工学に関しある程度の感触をつかんだ上で、事業開発本部の中に技術開発推進室を設置しDM活動支援・推進のキーマンを配し、「品質概念の変革」宣言を行った。製品企画を入り口とする開発・設計生産プロセスには3Dデータを設計プロセス間連携させながらQEのパラメータ設計をベースにQFDとCAEを活用するDMプロジェクトを設置し、さらに市場には不良品を流出させないよう異状検出システムをQEの中のMT法により構築するという流撲プロジェクトを製品の出口に配し、DM活動参加者の安心感確保と顧客へ安定して高品質製品を提供するという実際的な効果をあげ、統括的DM活動の第一歩を踏みだした。この期は、厳しい事業環境のなか構造改革を背景に増収と大幅な増益を達成した。2003年(71期)、電子部品事業全体としては固定費増、円高の影響を受け増収ながら営業利益はマイナスとなった。コンポーネント事業部でDM活動の適用対象として取り上げてきた検出スイッチが量産出荷開始され、初のDM活動適用製品となった。これが全社運動の手本となり各事業部はそれぞれ濃淡はあるが候補プロジェクトに対しDM適用を強力に展開し、一大運動として着実に拡大しはじめた。また、この年にはQEをベースとした資材プロジェクトが開始され、ロバスト性を買付け先の選別判断に使うなどのプロジェクトが5件立ち上がっている。同時に資材部門へのQEの入門教育も素早く展開されている。全社的にみても、前年度に「機能性評価スペシャリスト一覧」を作成し[宇井(2007)]、QE教育を進めていたが、この年、運動のけん引役となる中間レベルの人材、グリーンベルト保

深層の競争力を構築する組織能力について

有者が出始めている。

2004年(72期)は、新潟県中越地震の影響も受けた磁気デバイスの売上げ減を克服し前期に続き増収となったが、固定費の増加や円高により営業利益はマイナス成長となった。T氏は専務に昇格し、品質担当を兼務して全社を掌握し、DM活動の中で製造現場に、QEをベースにして機能性とコストのバランスをとりながら進めるオンラインQEプロジェクトの適用を始め、T氏自身も「これは製造工程の5Sである!」との認識を持ち、強く推進を図っている。

2005年(73期)は、固定費の削減や円安などが進み増益となり、技術革新運動のDM活動では、内製部品でも不良品を次の工程に出さないとして5事業部において「QEベースの部品流撲プロジェクト」が動き出した。流撲プロジェクトの活用により部品の良否判断を通じて設備異常の予知に踏み込むことができるようになり、設備稼働率の向上と経費節減に成功している。また試作レス・完動検査(検査レス)ができるシステムを構築し、バーチャルな設計に対し一発完動を可能にするというシステム構築の一大プロジェクトが動き始めた。機能性(ロバスト性)を保つことにより、従来スペックに基づいて必要とされた検査などの工程管理全体を見直す動きを強め[上杉(2007)、新沼ら(2007)]、T専務の「クレームのないのは良品である」と「一発完動」を合い言葉に、2006年には懸案であった開発から出荷まで試作レス、完動検査(検査レス)を実現したS型検出スイッチを市場に出荷させた。これらの実績と推進運動の機動力により2007年もDM活動の着実な定着・拡大が進み、各事業部の担当者・管理職の間でその効果を肌で感じ、今後もDMのシステムを使ってゆくのだという意識が強まり覚悟が広がっている。図26に事業とDM関連活動の概略年譜を示す。

図26 事業とDM関連活動の概略年譜

- 1989年 APS活動スタート(キックオフ) トヨタ的生産方式を参考
(プル・システム、かんぱん、JIT、少人数改善活動など導入)。
- 1992年 APS第二ステップ「Alps Profit System」 利益確保体質へ
- 1996年 4月生産革新活動(生産性向上:U字ライン、情報共有・・・)スタート
- 1997年 4月生産革新活動 第二ステップへ(製造革新・物流革新・・・)
- 1998年 生産革新活動進展
- 2000年 T常務中国(台湾)視察
- 2001年 DMプロジェクトI スタート
- 2002年 DMプロジェクトII スタート
技術革新 新体制発足(技術の生産性革新)

- 2002年 構造改革（組織・コスト）
 品質概念の変革宣言
 流撲プロジェクト スタート
 モデル機種プロジェクト（3件） スタート
- 2003年 資材プロジェクト スタート
 検出スイッチN型（DM 適用品）発売開始
 検出スイッチ（N型）に流撲工程導入
- 2004年 オンライン品質工学適用
 部品流撲プロジェクト
- 2006年 検出スイッチS型（DM 一気通貫品）発売開始
 出典：谷本（2007）、佐々木（2006）、アルプス電気（1998、2008）

Ap.4 人材マップと得点基準

アルプス電気では、DM 活動にあたって、その中心となる品質工学の教育とレベルアップのため、下記の基準にて個人の活動に対し得点を付与し（図 27）、ホワイトベルト、グリーンベルト、ブラックベルトとしてレベル付けを行っている。

図 27 個人の活動と付与する得点

機関誌への論文掲載（筆頭者）	3点
品質工学会へ入会	2点
開発・設計部門のためのコース終了	2点
データ解析と実験計画法コース終了	1点
生産・製造部門のためのコース終了	1点
社内論文執筆	1点
通信教育修了	1点
研究発表大会への参加	1点
外部発表	1点
通信教育の社内講師	1点（計2点まで）
入門コースの社内講師	1点（計2点まで）
汎用性のある支援ソフト開発	1点
汎用性のある解説書・手引書作成	1点
海外現地法人の教育、指導（半年スパン）	1点（計2点まで）

出典：アルプス電気の内部資料および宇井（2007）

Ap.5 DM 活動推進組織

アルプス電気の各事業部には DM 推進責任者、QE 推進責任者がおり、全社の DM ステアリングコミティ、QE 推進責任者会議に参画している。また、コンポーネント事業部では、事業部の DM 推進会議が月に 1 回開催され、T 専務や技術革新推進室長らが参画し、指導を行っている。この会議への参加事業部メンバーは、事業部長、各組織の部長、関係課長、エンジニアおよび事業部の DM・QE の推進メンバーである(アルプス電気,2008)。

検出スイッチに関する DM 活動推進組織をみると、製品の設計・開発・製造の中で「設計」と「全体統括」は設計部門である技術部が実施する。「生産準備」は二つの部署が担当し金型の設計、製作は「生産技術」が担当し、CAE の専門技術者が属している。また「製造技術」は組立設備の設計、製作を行う。部品材料の「購入」は購買部門が行い、機能性評価(ロバスト性評価)を手段として供給元の評価と部材購入を実施する。「品質保証部門」は製品認定と品質工学(QE)による支援、特に流撲・部品流撲などによるプロセスの異常摘出支援を行い、さらに事業部での DM 推進事務局を兼ね、この活動の中心的役割を果たしている。従来の品質不良原因の追求・特定とそれの是正ではなく、ロバスト性を評価し「設計の品質」の良否を判定し、設計のロバスト性向上を求める。「品質管理部門」は、クレームをゼロとして出荷できるか否かの工程認定を行う。しかし、機能のロバスト性を向上しても、管理不良、外観不良、包装不良あるいは数量違いなど機能の不良以外のものも十分な対処が必要なものでありこれらを含む顧客からのクレームの対応を行う。したがって、この部門が従来の品証と似た機能を持つことになる。「部品製造」は金型認定と部品加工を「製品組立製造」は組立・出荷を製造技術とともにオンライン QE を構築し流撲を機能させ、ロバストな部品を次工程に送り出し、同じく製品を市場に出荷する。

DM 活動において、毎月一回、事業部 DM 推進会議を開催し、そこで製品および生産プロセスを含む生産システムの基本情報(DM 活動グランドデザイン)を構築し、そのグランドデザインを効率的にロバストに転写すべく、組織のシステムをつくる。図 28 にグランドデザイン、図 29 に各プロジェクト活動のテーマ推移を示す。そこでは、DM グランドデザインとして各事業部に最適の構想が生産システム設計情報として描かれ、その情報をロバスト性基準になめらかに流すことによってシステムが構築される。これは、リーダーシップをとってきた、T 専務の発案によるもので、この流れが整流化されればそれ自体がルーチンとして定着し仕組みとして動くことになる。

図 28 SW 部門の DM 活動グランドデザイン (例) *

*出典：アルプス電気社内資料をインタビューにて修正

200x.y.z 改定

DM活動基本方針

SW部門はDM (Digital Manufacturing)を推進し、SW事業の維持・拡大を図る。

- 1) 速い設計・量産準備(機能の安定した)で新製品を多く投入する。
 - 2) 新たな技術・商品の開発が出来る環境 (時間)をつくる。
- を基本の狙いとして活動する。

SW部門DM活動の概要

- (1) 一発完動による生産準備LTの短縮、顧客クレームの防止、投資低減。
 - ① QFD～QEにより製品の市場での使われ方に対する機能性を高める。
 - ② 金型への3Dのつなぎにより設計の3Dデータとおりに作り、一発で仕上げる。
 - ③ 不良流出防止ができる工程を実現する。
 - ④ 「後から言わない・言わせない」を実践し、手配後の変更をなくし……………一発完動で投資費用を低減させる。
- (2) 製品設計段階の開発LTの短縮
 - ① 製品開発と同期した速い要素技術開発(既存要素技術の導入及び既知要素技術レベルを上げる)。
 - ② 新規要素技を先行して準備する(先行技術開発)。
 - ③ 基本機能での機能性評価で早い・速い評価ができるようする。
 - ④ CAEを徹底活用し……………を極小化する。

DM 組織の下部組織としては BU-DM 推進会議が設定され、BU 毎の推進システムが動き出す。アルプス電気での BU の進捗はコンカレント/エンジニアリングのシステム(従来のシステムで、関連部課長が毎週あつまり、課題と進捗を審議する)の併用で議論を行い、目標達成を促進させる。具体的な取り組みでは、各事業部が保有する品証の QE サポート部隊と技術革新推進室の支援を得て、CAE の専門家との一体となった取り組みさらにはソフトなどのツール提供を受け、個別課題の解決が図られている。専門家支援と個別の事情に適合した審議と解決手段の提供といった具体的擦り合せにより解決がはかられ、迅速な行動と結果に結びついている。

図 29 各プロジェクト活動のテーマ数推移

DMプロジェクト		02上	02下	03上	03下	04上	04下	05上	05下
モデル機種数 (括弧内終了数)		3	11 (0)	22 (2)	50 (6)	64 (14)	73 (23)	98 (32)	98 (32)
流撲プロジェクト		02下	03上	03下	04上	04下	05上	05下	
流撲適用ライン数		11	23	33	74	125	168	237	
機能性評価機種数					4	11	15	28	
資材QEプロジェクト				03下	04上	04下	05上	05下	
実施テーマ (括弧内終了数)				5 (5)	9 (7)	10 (7)	10 (8)	15 (10)	
オンラインQEプロジェクト						04下	05上	05下	
実施テーマ (括弧内終了数)						1 (0)	2 (0)	7 5事業部 の活動へ	

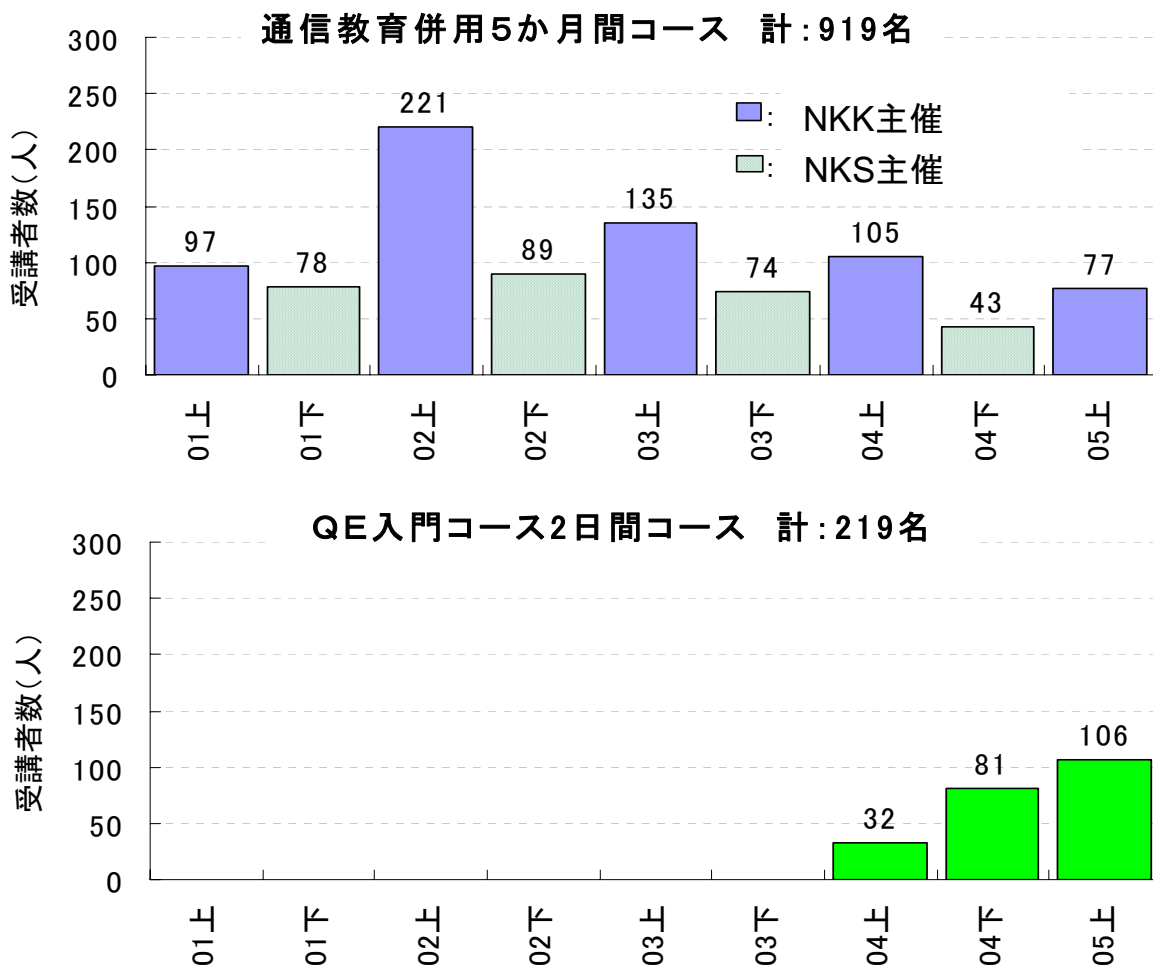
海外現法でも活動開始

Ap.6 DM 活動における QE 教育システムと学会活動および人材育成

組織能力を見る上で重要な、DM活動で中核となる人材育成の状況をみると、通信教育を含め外部の教育システムの活用が盛んであり人材のマップも充実してきている（図30）。中でも各事業部内の2-3名程度のグリーンベルト級の人材の活躍はめざましく、同じ事業部内で気軽に相談ができるような仕組みと雰囲気をもっている。コンポーネント事業部では図31、図32に見るように中核の人材が育ち、ホワイトベルトが続いており、組織能力の強化が進んでいることが分かる。

ここでいう、各ベルトは徹底的に個人の実力向上をはかり、個人の腕があがればそれが成果につながるというような、得点配置をしている。

図 30 社内研修受講者数の推移



深層の競争力を構築する組織能力について

図 31 人材マップ(2005年)

ベルトと点数/ 事業部門(人)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	グレード別計
ブラックベルト(BB) 70点以上	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
グリーンベルト(GB) 10-69点	2	4	1	3	2	2	5	1	2	22
ホワイトベルト(WB) 1-9点	2	0	3	3	6	1	4	2	5	26

出典：アルプス電気社内資料と2006年のインタビューによる

たとえば、人材マップでそのレベルを見る得点の例をみると(図 27 参照)、一般には習熟するのに時間を要する品質工学の技術を使いこなすためのいくつかの工夫がなされている。品質工学会への入会を促し、同時にレベルの高い品質工学の使い手をそだてるために機関誌への論文投稿に相当高い得点を配し、実質的な工夫がされ、当該技術者のモチベーションアップにもつとめている。その成果として品質工学会の毎年の研究発表大会での発表状況をみる(図 33)とDM活動が始まってから相当な勢いで伸びていることが分かる。

図 32 コンポーネント事業部のベルト保有人材分布

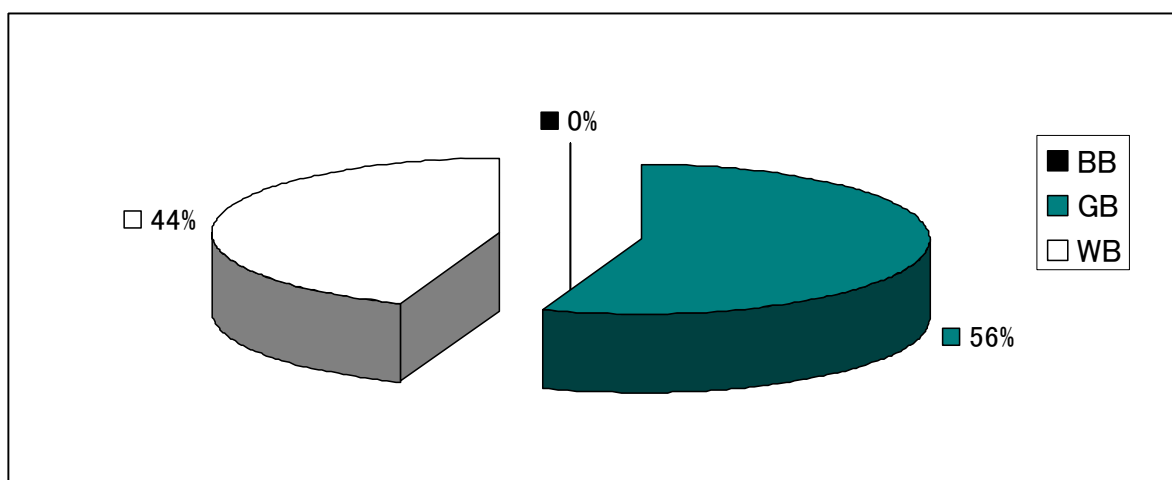
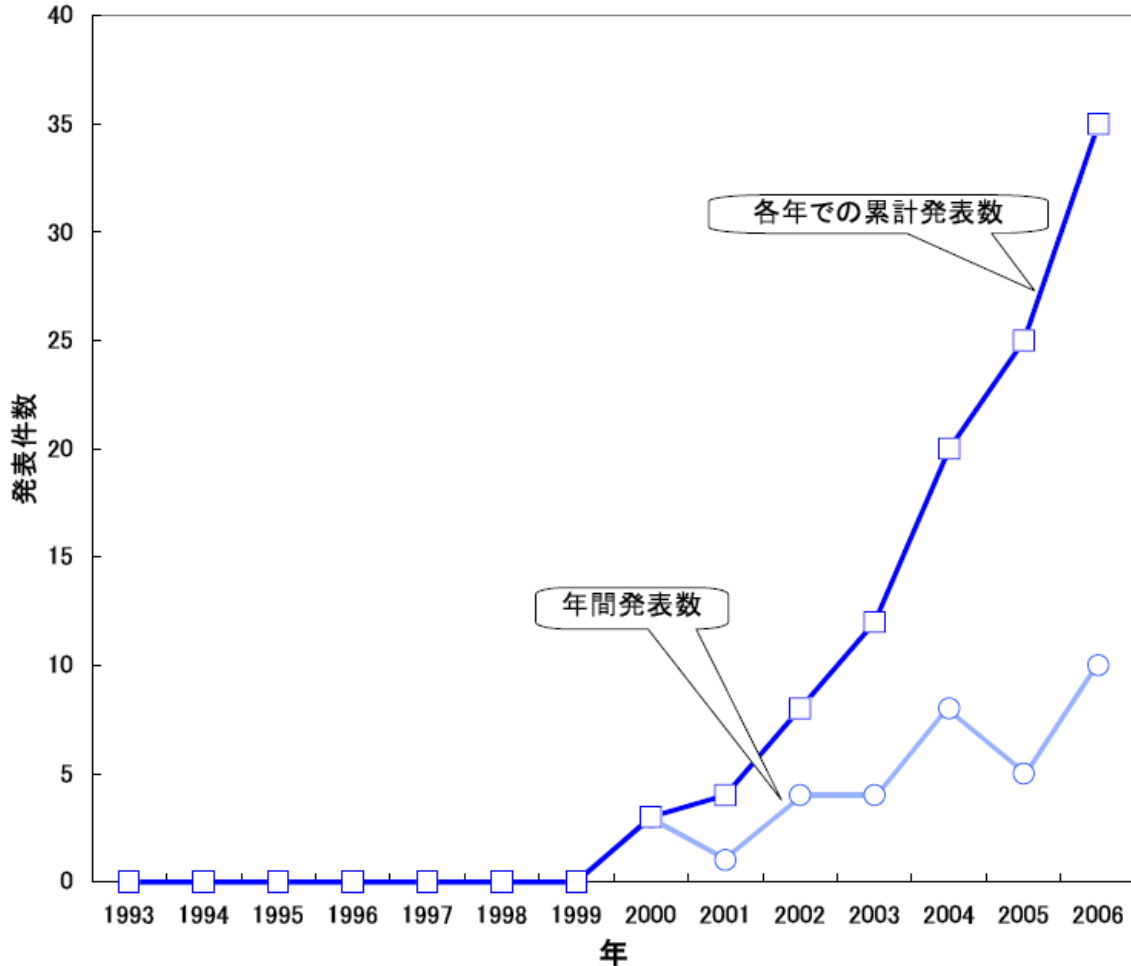


図 33 アルプス電気の品質工学研究発表大会に関する各年の投稿推移



学会への発表状況からわかることは、アルプス電気の発表の内、推進室、事業開発本部および5事業部それぞれの発表の中でもコンポーネント事業部の発表が一番多く、QEベースのロバスト性を評価測度とした統合型システム構築に寄与していることが推定される。さらにアンケート調査（増田,2008）によれば身近にQEの相談相手があり、それが有効に働いて組織のルーチンとなっていることが推定されている。

これらのルーチンは、3D-CADによるデジタル化データと設計のロバスト化、機能性評価、MT技術を用いた流撲など、中心となる多くのサブプロジェクトの活用には習熟したデータ処理技術、演算技術などが必要となっており、機能のばらつきの状況説明にも流撲で用いられているMT法をベースとした異常検出精度の向上法などもIT技術との相性が非常によくその利用技術に対する要請は強く、取り扱う技術者のその面でのレベル向上が必要と

されていることをあらわしている。

Ap.7 Axiomatic Design と検出スイッチでの分析（事例について）

1) N.P.Suh (2001) により提唱された設計理論で、設計の公理的アプローチにおける基本的な仮説は「設計プロセスを統治する根本的な公理が存在する」というもので、良い設計に存在する二つの公理 1 は独立公理、公理 2 は情報公理といわれる。公理 1 は設計目標を表す要求機能 (FR) は最少個数の独立した必要条件として定義され、公理 2 は独立公理を満たす設計の中で最少の必要情報量をもつものを最良の設計とする。

設計の世界は四つの領域、顧客領域、機能領域、実体領域、プロセス領域で構成され、それぞれの写像関係において要求を示す設計課題の左領域とそれに対する提案を表す右領域がある。領域間の写像過程は設計目標と設計解 (DP) を定義する特有のベクトルに基づき数学的に表現できる。ある階層で設計目標を定義する一組の要求機能 (FR) は、機能領域で FR ベクトル、実体領域で DP ベクトルを構成する。その関係は、

$$\{FR\}=[A]\{DP\}$$

ここで、[A]は、製品設計を特徴付ける設計行列。

独立公理を満たすには、設計行列が対角か三角のいずれかでなければならない。

2) 検出スイッチ (normally on の場合) に関する設計行列の簡略な表現例 (図 7 参照)

事例にみる部品点数 3~4 の検出スイッチでは、要求機能 (FR) は少なくとも 10 以上あるが、ここでは FR を二つに集約できる階層で表現する。

FR₁=検出スイッチのオン・オフで電流を流したり止めたりする。

FR₂=検出スイッチ・レバーへの作動力でスイッチをオン・オフできる。

DP₁=導通線バネ (可動接点)

DP₂=クリップ (固定接点)

$$\begin{Bmatrix} FR_1 \\ FR_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} X_1 & X_2 \\ X_3 & X_4 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} DP_1 \\ DP_2 \end{Bmatrix}$$

ここで、X₂は X₁と比較して、また X₃は X₄と比較して両者ともかなり小さくなる。したがって保持力、作動力に制約条件は残るが、ほぼ対角行列とみなすことができる。

謝辞

最後に、この研究に関しインタビュー、工場見学あるいは問い合わせなどに快くご協力いただいたアルプス電気 (株) の谷本専務をはじめとする関係部署の皆様がこの紙面を利用し

心からお礼を申し上げます。

また本研究において、藤本隆宏教授と新宅純一郎准教授のご指導ならびに、ディスカッションに惜しみなく時間を割いてくれたMMRC-QEGのメンバーに深謝する。

参考文献

- 青木昌彦、安藤晴彦 編著 (2002) 『モジュール化』, 第2章・第6章, 東洋経済新報社.
- 赤尾洋二 編著(1988) 『新製品開発のための品質展開活用の実際』, 日本規格協会.
- アルプス電気 (2008) インタビューによる社内資料.
- アルプス電気株 (2002. 1. 8) 『経営構造改革および業績予想修正について』.
- アルプス電気株 (1998) 『アルプス50年のあゆみ』.
- BALDWIN, C. Y. & Clark, K. B. (2000) *Design Rules, Vol. 1: The Power of Modularity*. MIT press,
邦訳 安藤晴彦 (2004) 『デザイン・ルール モジュール化パワー』 東洋経済新報社.
- Eppinger, S. D., Whitney, D. E., Smith, R. P., & Gebala, D. A. (1991) Organizing the tasks in complex design projects, *Proc. MIT-JSME workshop on computer-aided cooperative product development*, 229-225.
- 藤本隆宏 (2001a) 『生産マネジメント入門[I』』 (第1版), 日本経済新聞社.
- 藤本隆宏 (2001b) 『生産マネジメント入門[II』』 (第1版), 日本経済新聞社.
- 藤本隆宏 (2002) 「日本型サプライヤー・システムとモジュール化」, 所入 青木昌彦, 安藤晴彦 編著 『モジュール化』, 6章, 東洋経済新報社.
- 藤本隆宏 (2003) 『能力構築競争』 (1版), 中央公論新社, pp. 27-60.
- 藤本隆宏、新宅純二郎 (2005) 『中国製造業のアーキテクチャ分析』、東洋経済、p110
- 藤本隆宏 (2006) ものづくり論とソフトウェア -組織能力とアーキテクチャの視点から-, SECセンターにおける発表資料より、2006年9月12日.
- 藤本隆宏 (2007) 『ものづくり経営学』, 光文社新書, pp. 26.
- 第3回品質工学研究発表大会実行委員会 (1995) 「オンライン品質工学への道」, 『QEF' 95』, 132-134.
- 長谷部光雄 (2006) 『技術にも品質がある 品質工学が生む革新的技術開発力』 (第1版), 日本規格協会.
- 畠山鎮, 石丸節男, 安田美穂(2004) 「半導体製造工程における品質工学の活用(1)」, 『品質工学』, Vo. 12, No. 6, 66-74.
- 石川馨 (1989) 『品質管理入門』 (第3版). 日科技連.
- 糸久正人 (2007) 「実験戦略と製品開発パフォーマンス アルプス電気におけるタグチメソッド導入の事例から」 東京大学大学院経済学研究科修士論文
- 稲垣雄史 (2007) 「NMS研究会における研究の意義 マネジメント側からみた提案」 『第15回品質工学研究発表大会 論文集』 139 (546-549) .

- 稲垣雄史 (2008) 「アーキテクチャからみたロバストシステムのポジショニング戦略の検討」『第16回品質工学研究発表大会 論文集』85
- 岩城宏一(2005)『実践トヨタ生産方式』日本経済新聞社.
- Juran, J. M. & Gryna, F. M. (1988) *Juran's Quality Control Handbook (4th Ed.)*, New York: McGraw-Hill.
- 狩野紀昭, 瀬楽信彦, 高橋文夫, 辻新一 (1984) 「魅力的品質と当たり前品質」『品質』 14, 147-156.
- 菊池富男 (2007) 「MT システムによる完動検査の研究」『第 15 回品質工学研究発表大会論文集』105.
- 門田安弘 (1991)『新トヨタシステム』講談社.
- 増田陽介 (2008) 「新規技術の組織的展開に影響を与える諸要因の考察 品質工学導入の事例をもとに」東京大学大学院経済学研究科修士論文.
- 水野滋、赤尾洋二編(1978) 品質機能展開-全社品質管理へのアプローチ-, 日科技連出版社.
- 宮川雅巳 (2000) 『「品質を獲得する技術」タグチメソッドがもたらしたもの』日本規格協会, p12.
- 延岡健太郎 (2006) 『MOT「技術経営」入門』(第1版) 日本経済新聞社.
- 大野耐一 (2005) 『トヨタ生産方式』(83刷) ダイヤモンド社.
- Roos, D., Womack, J. P. and Jones, D. (1990) *The machine that changed the world*, Macmillan Publishing. 邦訳 沢田博(1990) 『リーン生産方式が世界の自動車産業をこう変える』経済界.
- 斉藤潔, 吉澤正孝, 立林和夫, 土居正則 (2003a) 「R&D活動への品質工学導入方法の研究(その1)」『品質工学』, Vol. 11, No. 3, 100-107.
- 斉藤潔, 吉澤正孝, 立林和夫, 土居正則 (2003b) 「R&D活動への品質工学導入方法の研究(その2)」『品質工学』, Vol. 11, No. 4, 64-69.
- 佐々木市郎 (2006) 「量産工程への品質工学適用によるシナジー効果」『第 14 回品質工学研究発表大会 論文集』101.
- Suh, N. P. (2001) *Axiomatic Design*, Oxford University Press. Inc, 邦訳 中尾政之、飯野賢次、畑村洋太郎 (2004) 『公理的設計』森北出版, pp. 12-26
- Steward, D. V. (1981a) *Systems Analysis and Management: Structure, Strategy and Design*. New York: Petrocelli Book.
- Steward, D. V. (1981b) The design structure system: a method for managing the design of complex systems, *IEEE Trans. On Engineering Management*, EM-28(3), 71-74.
- 田口玄一, 吉澤正孝 (1988) 『品質工学講座 1 開発・設計段階の品質工学』(第1版), 日本規格協会.
- 田口玄一 (1989) 『品質工学講座2 製造段階の品質工学』日本規格協会.
- 田口玄一 (1994) 『品質工学応用講座 技術開発のための品質工学』 (第1版) 日本規格協会.

深層の競争力を構築する組織能力について

- 田口玄一，矢野宏（1996）『技術開発のマネジメント』日本規格協会.
- 田口玄一（1999）『タグチメソッドわが発想法』経済界.
- 田口玄一（1999）『品質工学の数理』（第1版）日本規格協会.
- 田口玄一（2004）『品質工学応用講座 コンピュータによする情報設計の技術開発 -シミュレーションとMTシステム-』（第1版）日本規格協会.
- 田口玄一（2005）『研究開発の戦略』日本規格協会. P23
- 谷本勲，増田陽介，稲垣雄史，立本博文，糸久正人(2007) 『アルプス電気の技術革新活動 品質概念革新による「次世代ものづくり革新にむけて」』MMRC, 147
- 宇井友成（2007）「品質工学の効果的展開のための人づくり」『品質工学』15(4)20-24.