

3C3 生産技術の研究、開発、実用化の統合的マネジメント

第1報フレームワーク

○木下正治（東芝）

1. はじめに

円高という戦後初めて経験する経済環境の中で、製造業はその物造り姿勢が問われている。かつて高度経済成長期には日本の製造業の強みは生産技術にあるといわれた。しかし、この世界的な経済環境の変化に直面して、それが揺らいでいるように見える。生産技術の研究開発に携わる立場に身を置くものとして、あらためてテクノロジーマネジメント¹⁾の立場にたつて生産技術の研究から実用化にいたる全過程をレビューし、これらを統合的に捉えることを試みた。これにより生産技術の経営への貢献を効率的にかつ効果的に行なうことを目指す。本報では物造りにおける生産技術のミッション、アウトプットの形態を定義し、次に研究から実用化までの過程を技術の流れとして捉える。この過程を如何に効果的に進めるべきかを事例研究をもとに報告する。

2. 生産技術のミッション

2.1 生産技術の定義

かつて、自動車、半導体で日本が欧米を追い越したとき、日本の強さは生産技術であるといわれた。これに対し、その強さを知るために、生産技術の成書を教えて欲しいときかれたことがある。そのとき気が付いたことは、一冊にまとまった生産技術の本がないということであった。すなわち、生産技術というのは多くの要素を中に包含する複合概念である。しかし、これではその一つ一つを取り出していちいち説明しなくてはならない。そこで、ここでは生産技術を次のように定義した。

◆定義：生産技術 = 『物造りのための技術』

生産技術の3要素・・・

(1) プロセス

造り方：機械加工、電気応用加工、物理化学処理、etc.

(2) 装置／設備

製造装置、検査装置、ユティリティ、etc.

(3) システム／ソフトウェア

生産システム、シミュレーション、etc.

すなわち、生産技術は「物造りのための技術」であり、それはプロセス、装置、システムという3つの基本要素からなると定義する。人がその日常生活の中で使用する種々の商品＝物はそれを造るためのプロセスと、そのプロセスを実行する装置／設備と、そのプロセス、装置／設備を生産ラインのなかに有機的に結び付けるシステム／ソフトウェアの統合によってはじめて実現される。

ここで、プロセスとは機械加工、電気応用加工、物理化学処理などの素材を加工、変形して所望の形状性能を造り出す手段である。また、装置／設備とはこれらのプロセスを実行する加工装置であり、性能や品質を評価す

る検査装置などである。システム／ソフトウェアは物を造るためにもっとも効率的な設備の配置であるとか、部品の同調であるとか、生産計画などを情報システムとして実現するとともに、最適プロセスのシミュレーションなどを計算機上で実現する手段を提供するものである。

2. 2 生産技術研究開発部門のミッション

それでは、生産技術の研究開発部門はこの物作りに対してどのようなミッションを負っているかという、テクノロジー・マネジメントの立場²⁾から描くと次のようになる。

生産技術研究開発部門のミッション

長期的スコープ（規範的）・・・経営への貢献（生産性向上、コストダウン、品質向上、etc.）

中期的スコープ（戦略的）・・・競争力のある生産手段の提供

短期的スコープ（戦術的）・・・3要素の個別技術力強化と生産現場への適用

すなわち、生産技術の研究開発に従事する部門は物造りの技術を研究開発するに当たって、その結果を製品事業に積極的に適用することにより、生産性の向上を図るとともに、製品のコストダウン、品質の向上に努め、経営への貢献を図ることが長期的な規範的ミッションとなる。一方、中期的な戦略的なミッションからいうと、製品事業戦略に対しその製品が市場において十分な差別化優位を保持しうるような、競争力のある生産手段を提供できなくてはならない。さらに、短期的な戦術的なミッションからすれば、その生産手段を有する生産ラインにおいて生産技術の基本要素と位置付けたプロセス、装置／設備、システム／ソフトウェアの3要素の技術力を強化し、それを生産現場に適用していくことが求められる。

3. 生産技術のアウトプット形態

3. 1 企業を取り巻く環境の変化

近年、地球環境問題が重視されはじめたこと、さらには、先進工業国での生活の豊かさ、発展途上国での経済発展などを反映して、図1に示すように企業を取り巻く環境は大きく変化してきた。

よいものを安くという従来の物造りの考え方だけでは製造業としての存立は困難になってきた。このような企業を取りまくそれぞれの環境で発生している問題に対し、生産技術の立場からも何等かの解を提供することが求められているといえる。幾つかの例をあげてみると、図2のようである。

これらの解を提供するにあたり、生産技術部門としては次のような明確なアウトプット形態をイメージして研究開発にあたるべきであると考えられる。すなわち、

『差別化したプロセスを開発し、それを実効的な生産手段として具現化し、
市場競争力のある生産ラインを作り上げる。』

したがって、各要素に対しては以下のことが要求される。

プロセス → オリジナリティ

装置／設備 → 信頼性、生産性（能率、使いやすさ、性能、コストなど）

システム／ソフトウェア → フレキシビリティ

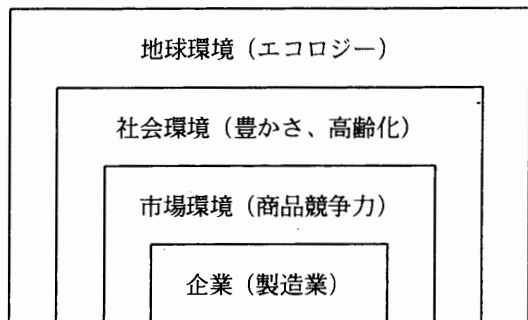


図1 企業を取りまく種々の環境

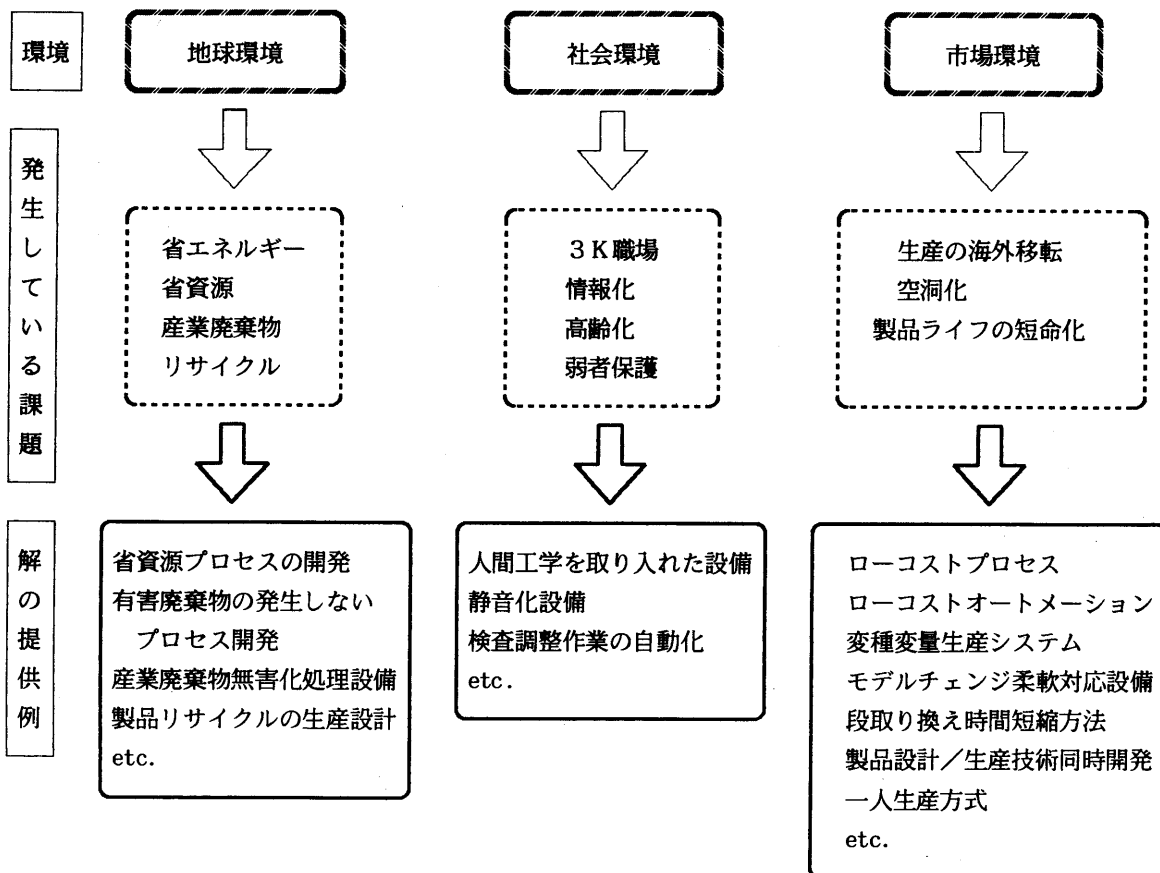


図2 生産技術の立場から求められている種々の環境に対する課題とその解の提供

4. 生産技術における統合的マネジメントの試み

4. 1 技術の流れ

プロセス開発から装置具現化を対象にして研究、開発、実用化にいたる技術の流れを見てみると、それぞれの段階で押さえるべき要素があることがわかる。図3は紫外線オゾンアッシャというプロセス装置の開発においてどのようなステップを踏んでその研究、開発、実用化へと進んでいったかを例示したものである。なお、この装置はパーソナル・コンピュータの表示素子として使われている液晶パネルの製造工程において用いられている装置であり、われわれの研究所で研究、開発、実用化まで達成したものである。その機能を簡単に述べると次のようである。

液晶パネルはガラス基板の上に100万個にもものぼる画素を形成してたもので、その各々の画素が、赤、青、緑の色の3原色の何れかを表示して、画面全体で一つの画像を表示している。この画素を形成するにあたり、金属や半導体、絶縁物などの薄膜を積層してトランジスタをそこに作り込む。この時、微細な寸法、形状を形づくる（パターニング）ためにフォトレジストという光に感光する高分子材料を用い、パターニング後にこれを除去する。紫外線オゾンアッシャはこのフォトレジストを常圧雰囲気中で乾式で、高速に、ローコストで除去するための装置である³¹。

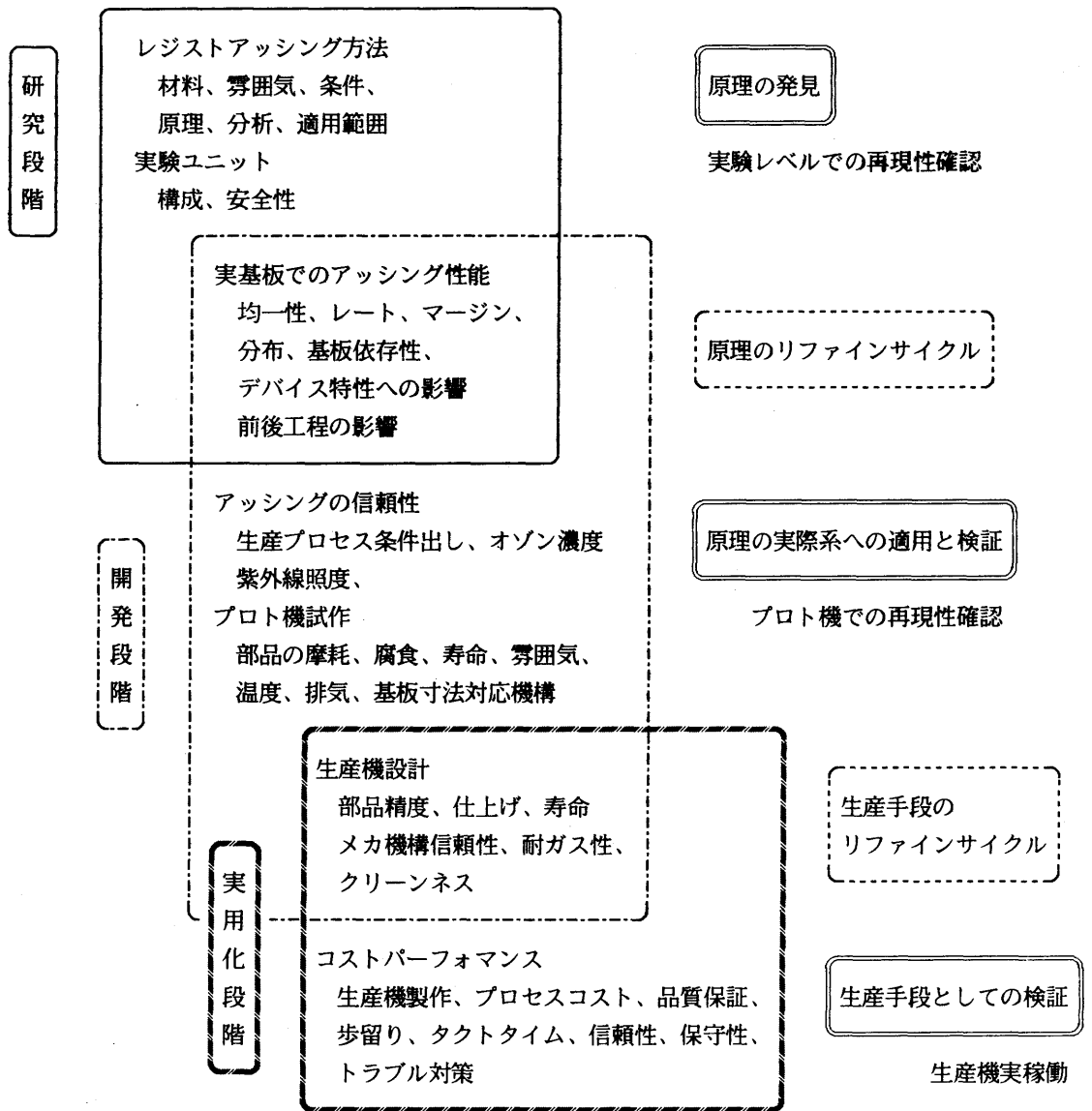


図3 紫外線オゾンアッシャ開発における研究、開発、実用化への流れ

図3からわかることは、研究、開発、実用化の各段階で次のようなことを明確にして、技術の流れを形づくっていることである。

研究段階…『原理の発見（新しい現象の発見とそれが生起するメカニズムの発明、発見）』

いわゆる、試験管、実験ユニット、サンプルなどを使った実験レベルで

『原理－解析－検証のサイクル』を回して原理の再現性を確認する。

開発段階…『原理の実際の系への適用とその検証』

いわゆる、プロト機、実部品などを使い、寸法効果、相似則などを検証するとともに、

実験系では考慮され得なかった外乱に対して、

『実際系への適用、検証』を回して、原理の再現性を確認する。

実用化段階・『原理が生産性に見合うかどうかの検証と実稼動』

いわゆる、生産手段としての再現性、信頼性、品質保証、経済性の実証、作り込みなどを行い、

『QCDSの保証』を行なう。(Q:Quality, C:Cost, D:Deliverly, S:Service)

4. 2 テクノロジーマネジメントの条件

前節で見えてきた研究、開発、実用化への技術の流れを統合的マネジメントの視点から振り返ると、技術がうまく流れていくためには、次の2点が重要であることがわかる。一つは「オーバーラップ」であり、もう一つは「後戻りのないこと」である。

企業における研究開発活動を幾つかの段階に層別してそれらを一般には線形プロセスとして表現することが多いが、実際にはそれほど簡単な構成ではないといわれている⁴⁾。まさに、その通りであり前節で示した生産技術の場合でも、研究段階で原理が発見されてもそれが実際の系で検証されるためには、再びその原理が発見された状況に立ち戻ることが必要である。図3の例では、紫外線オゾンによるレジスタッシングという原理が成り立つ条件を大きな実基板の全面において均一に実現させるには、さらに紫外線の照射分布やオゾンの濃度分布を均一にするため反応室の構成をどのように作っていくかという問題を解決しなくてはならなかった。このため、原理に立ち戻り、原理が再現する条件を各種の外乱要素に対して確認し、検証していくという作業を繰り返している。このくり返しを通して実際系(あるいは現実系)で原理が再現されることが確認されるとプロト機の完成になり、開発段階の技術が完成したことになる。したがって、研究段階の後半と開発段階の前半とは技術的にオーバーラップして進行していることになる。これを「技術のリファインサイクル」と呼ぶことができる。

一般に研究段階から開発段階までは技術の流れがスムーズに行われる。それは原理が検証されたものに対しては多くの希望や期待が寄せられるため、基本的には楽観的な見方が支配的になるためである。また、研究段階から開発段階までは技術の中心はあくまでも機能の実現であり、技術の広がりあまり大きくない。一方、実用化の段階に入ると、機能が実現していることを前提として、生産手段としての確認、検証が問題の中心になるため、必要とされる技術の広がりが一気に大きくなる。図3の場合でもオゾンによる反応室内構成部品の耐蝕性、経時変化、基板搬送系のトラブルなどの問題が発生した。これらは生産機設計時には予想していなかったか、あるいは予測して対策したもののそれが十分ではなかったことによって起きたものであった。このような問題が発生すると再び設計に戻らなくてはならない。これは開発段階と実用化段階の間で行われる「生産手段としてのリファインサイクル」である。

効率的な研究開発の観点からすれば、上述のようなリファインサイクルを最短化し、実用化までに必要な技術がよどみなく流れることが望ましい。これが研究開発期間の短縮に繋がり、早期実用化に繋がる。しかしながら、実用化段階にきてもう一度研究、開発などの前段階にまで戻らなくてはならないことが発生する。これには、例えば、他社の先行が明確になったとか、市場動向が変化したとか、ユーザ側のニーズが変化したなどの外的要因と、その技術のコストパフォーマンスが実現できないとか、原理自体に本質的な欠陥があったとかいう内的要因がある。図3の例では開発段階の後半でアッシングを適用する工程の仕様が変更になり、一時研究段階へ後戻りしてアッシング条件を再度確立しなおすことを余儀なくされた。また実用化段階ではガラス基板がプロセス中に割れるという事態が発生し、生産機設計をやり直すということが発生した。前者の問題に対しては開発段階に入っていきときにどのような最終実用化の姿を描くか、そしてそれをどのようにオーサライズしていくかが重要である。後者については生産手段を実現するためのポテンシャルがどの程度あるのかの判断とそれを実行していくための実践力をどこに求めるかの判断が重要である。すなわち、テクノロジーマネジメントとしては極力「技術の後戻りのないこと」が求められる。

「オーバーラップ」と「後戻りのないこと」という2つの要件をテクノロジーマネジメントの条件としてまとめると、以下のことがらが満たされていなくてはならない。

(1) 各段階着手時

(a) 背景の考察：対象製品，課題の広がり，短期／中期／長期など

(b) 最終的な成果の形：いつまでに，どのような形で，何が達成されるべきか

(c) 研究開発部門としてのレベルアップ：関連要素の難易度，達成時の競争力

(d) 各段階では：

研究段階・・・PATマップ，オリジナリティのポイント，完成時の姿（期待値）

開発段階・・・周辺PAT，差別化のポイント，完成時の仕様

実用化段階・・・コストパフォーマンス，メンテナビリティのポイント

(e) 各段階間でのオーバーラップ：リファインサイクルの存在

(2) アウトプットの中身：

研究，開発，実用化の各段階でそれぞれの技術アウトプットの明確化

各段階でDR（デザインレビュー）の実施と次の段階への成果の移管

(3) 人的リソース：

研究，開発，実用の各段階に技術者のオーバーラップがあり，技術を理解できる人材がいること。

(4) 物的リソース：

研究，開発，実用の各段階に必要な設備環境が整っていること。

6. まとめ

生産技術の研究開発における技術の流れに注目し，その成果の実用化に至る全過程をレビューした。生産技術は独創的な基礎研究とは異なり，なによりもその実用化に主眼が置かれる。このため，研究段階から開発段階への移行，開発段階から実用化段階への移行を明確な技術の再現性の確認を通して遺漏なく進めることが肝要となる。すなわち，原理的に確認検証された事実が理想的な系でのみ実現されるだけでは，実際系での再現性確認はおぼつかない。なぜならば，実際系では各種の外乱が入ってきて，理想系で実現された事実が成立する範囲が狭くなっていくからである。このため，原理が確認検証された事実は種々の外的要因のもとでも十分に成立するようなマージンの広いものに技術確立しておくことが必要になる。したがって，研究，開発，実用化の各段階でどのようなことを達成すべきかを予め予測し，各段階の間での技術のオーバーラップを持つことと，最終的な成果イメージを共有して技術の後戻りをなくすることがテクノロジーマネジメントとして重要となる。

【謝辞】

本研究を進めるにあたり，貴重なご意見ならびに討論の機会を持っていただきました，Swiss Federal Institute of Technology Zurich, Industrial Engineering and Production Management の Professor H. Tschirky と東京大学大学院総合文化研究科広域システム科学系の丹羽清助教授に感謝申し上げます。

【参考文献】

- 1) H. Tschirky, "Technology Management: An Integrating Function of General Management", in Kocaoglu and Niwa (Eds), Technology Management (PICMET '91), IEEE, pp.713-716, 1991
- 2) D.F.Kocaoglu, "Research and Educational Characteristics of the Engineering management Discipline", IEEE, Transactions on Engineering Management, vol.37, No.3, Aug., pp.172-176, 1990
- 3) 小島可容子，他，UV／オゾンアッシャの開発，東芝レビュー，46.1, pp.55-58, 1991
- 4) 山之内昭夫，新・技術経営論，日本経済新聞社，1992，pp.99-100