

新製品開発と信頼性の確保

—信頼性管理の立場から—

1. はじめに

戦後の技術革新の凄い進展は、工業製品のもつ機能を飛躍的に増大させ、その有用性を向上させたために大量の製品が市場に普及することとなったが、一方では生活水準の上昇と市場要求の拡大ともなっていて、製品の多様化が急速に進行しつつある。このような局面においては、たとえばカメラのように、はじめは専門の写真技師しか取り扱えなかったものが、現在では幼稚園児でさえ写せるようになっており、質的に高度な工業製品がユーザーの取扱能力を超えているにもかかわらず使用されることが起こって、製品責任(PL)に代表されるような問題が生じている。

現在のように高度の技術を駆使して高性能の製品を開発する場合には要求性能や使命も単純でなくなり、そのために機能上の構成もより複雑なものとなって設計仕様書、設計図面どおりに物をつくれというだけでは、製品が要求どおりの有効性を発揮すると期待することは不可能となってきている。すなわち複雑な構成で高度の性能が要求される機器、システムに対しては、とくに開発要求の当初から、能力的な特性だけではなくて高品質を生み出すべき諸要因を現時点でのステート・オブ・アーツ内で正しく把握して設計要求事項として適切に盛り込むことが強く要求されている。形あるものは必ず滅すといわれるように、人類は太古において道具を使い始めたときと同時に不信頼性に悩まされてきたといっても過言ではない。

とくに、まったく新規に開発された装置やきわ

めて複雑なシステムなどではとかく故障の発生が予測し難くまた故障発生のお機も多くて実用性に欠けることはしばしば経験されることであり、多くの場合ユーザーの使用実績によってやむなく改善をはかり、安定化、完全化を進めることになりがちであった。このような一時的手直しでは、本格的な信頼性の確保は望めない。そこで、新製品開発に際し信頼性を確保すべき方策について筆者の考え方を述べてみよう。

2. 管理技術としての信頼性工学

在来各産業における高信頼化の努力は、設計・製造・サービスにおける技術の積み重ねとして主として経験的な実績が集大成されて体系づけられてきた。信頼性技術は固有技術的側面と管理技術的側面をもっているが、管理技術の発達ともなっていて、周到に用意された計画管理方式の重要性が指摘され、これによって進捗状況を管理し、必要な是正処置を適切に行なうことにより画期的な成果が得られることが認識され、高信頼化のためのプログラムされた努力、すなわち信頼性プログラムの確立が強調されたのである。

信頼性管理に対する最初概念は AGREE の第4部会の報告書に示されている。この専門部会の任務は要求された信頼度に対する設計方法の調査であって、この部会の勧告は軍用だけではなく商用機器の開発生産に完全に取り入れられた。一方、1955年から1958年の期間に誘導ミサイルの信頼性に関する Ad Hoc Group がつくられたが、この委員会の成果としては複雑性の信頼性に対す

る影響の研究があるが、同時に信頼性監視時点の概念が打ち出された。これは鍵となるマイル・ストーンがいくつか存在しており、そこを通過すればもう後にもどれないというのである。たとえば、設計図面における変更は比較的容易になされるが、金物になってからの同じ個所の設計変更は非常に高価につき、完成時期に近い場合には本質的な変更は不可能である。要求信頼度は製品企画時には絵に描いた餅にしか過ぎなく、ペーパー・プラン(設計図)からハード化していく過程において諸技術努力が必要であり、日々の努力目標(Plan)と日々の作業(Do)とそれに対する反省(See)を通じて是正処置をとり、明日への計画へと発展させる以外にとるべき方法はない。

この考え方を発展させたものに、1964年に発行された米空軍の AFSC-M-375 シリーズのマニュアルがあって、システムの開発、設計、生産、流通、使用、保全および廃棄に至る一連のライフ・サイクルにわたる管理方式が確立されたが、これは MIL-STD-499 へと発展してきている。また、1969年3月には、システムに対する信頼性プログラム要求として MIL-STD-785 が制定されており、具体的な管理方式が示されている。なお、品質管理に関するものとしては MIL-Q-9858 が著名であり、保全性プログラムとしては MIL-STD-470が1966年に発行されている。

品質保証システムというのはライフ・サイクル全般にわたって管理努力を厳格に行なって絶対に手抜きすることはなく悪魔のつけ入る余地がないことを証明することにほかならず、この意味ではリスク・コントロールといわれている。すなわち品質を低下させる要因を未然に処置を施しておくために、主として設計段階における信頼性プログラムと製造段階における品質プログラムと市場における保全プログラムの組み合わせによって効果的な品質保証が可能となるのである。図1にライフ・サイクルを通じて必要な技術管理要素の一例を示し図2に実務展開の一例を示してあるが、こ

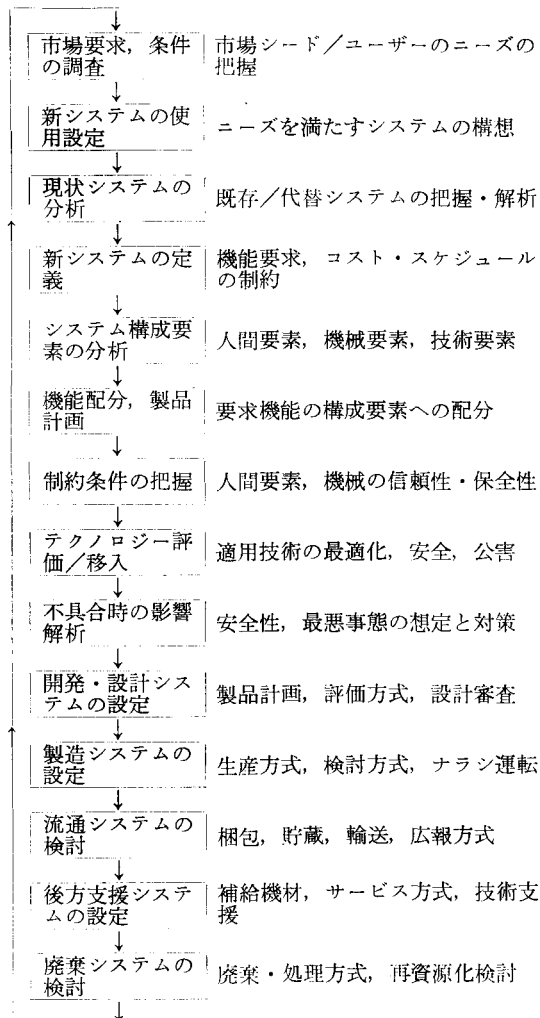


図1 システムのライフ・サイクルに対する管理要素

れらの各段階において考慮すべき管理上の問題点とその対策を述べる前に機器・システムの信頼性に占める人間要素の位づけを明らかにしておく。

3. 人間—機械系とその信頼性

どんな工業製品やその生産プラントであっても、ハードウェア自身がそれ単独で稼動するものはない。製品はユーザーによって使用され、機器、設備は操作要員によって運転され、保全要員によってその機能を維持される。すなわち、すべてのシステムは人間—機械系として稼動している。ところで、エンジニアリング・マネジメントを規定

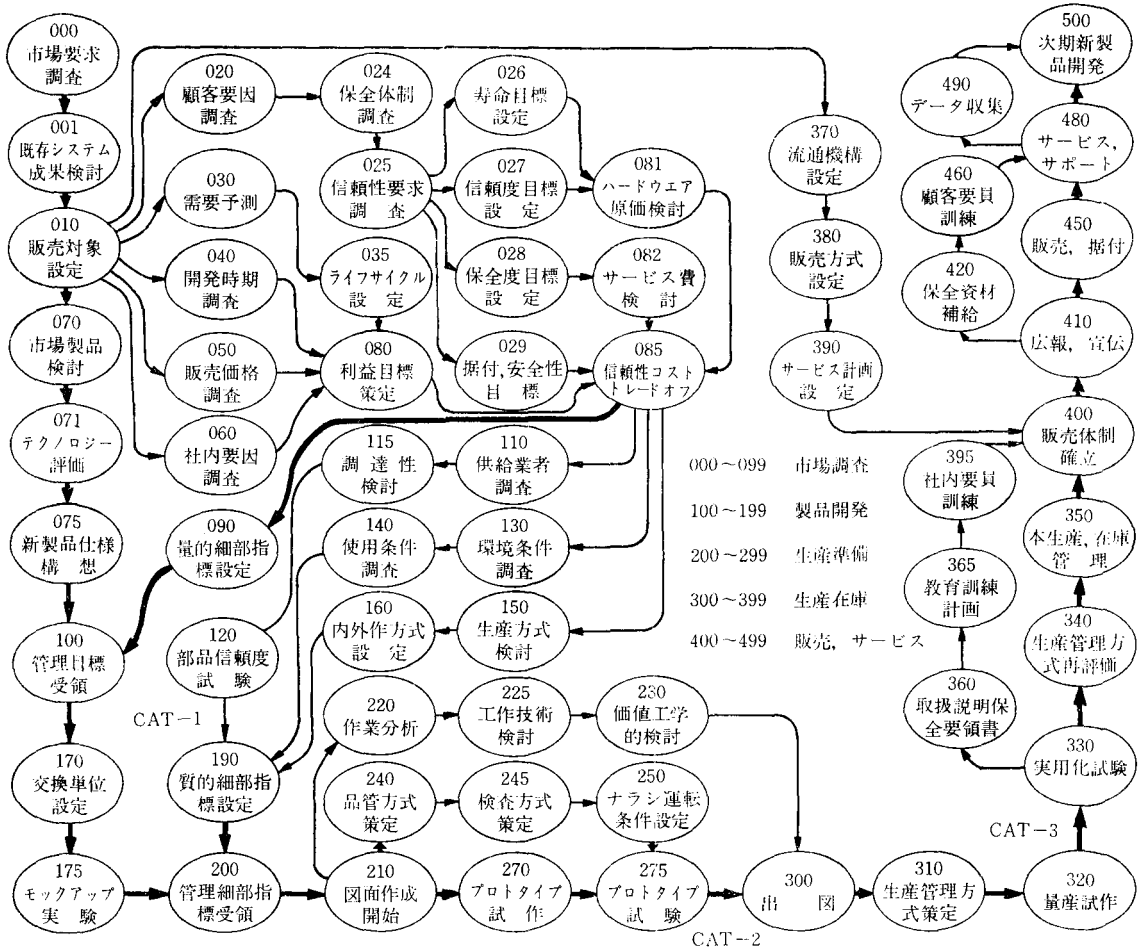


図 2 新製品のプロジェクト管理ダイアグラムの一例

している MIL-STD-499 ではシステムをつぎのように定義している：

システムとは、使命を遂行／支援し得る技術、機材、技能により構成されたものである。完全なシステムとは、意図された運用環境のもとで充分な機能を発揮し得るもので、関係する装置、施設、材料、ソフトウェアおよび人員を含む。この定義のように、システムとは人間—機械系であって、システム運用時の不具合の発生原因は機械要素によるものと人間要素によるものとに分けられる。前者は固有信頼度によって代表され、後者は使用信頼度に相当する。固有信頼度は、機械の故障に関するものであって、構成部品数が多いほどその値は小さくなるものであって、一般的に

は各構成同属部品の故障率を λ_i 、その同属部品の個数 n_i をとすれば、機器、システムの故障率 λ は

$$\lambda = \sum n_i \lambda_i \quad (1)$$

とあらわされる。これを減少させるためには、設計管理上、使用部品数を少なくするために設計の単純化や低故障率をもつ部品の選定などの信頼性工学的なアプローチが要求されるが、最近の技術の進歩とともに、機械要素の故障は減少し固有信頼度は格段に向上して、使用信頼度が問題とされている。

使用信頼度は、機械要素の人間による操作性や保全性に関するものであり、設計管理上は、保全性、安全性、人間工学的なアプローチが必要とされる。使用信頼度が低い機器、システムでは、誤

操作や保全不良が発生しやすく、結果として故障してシステム・ダウンを起こし、多くの場合製品責任の問題として生産者の企業責任が問われる情勢にある。

したがって、システムの品質保証のためには、システムの構成要素としての工業製品（ソフトウェアを含む）に関係する人間要素を定義し、その技術的知識や技能レベルに適合する設定が必要であって、人間要素にかかわる使用信頼度の改善と付随する安全確保の問題は設計管理上の大きな課題である。

4. 開発・設計段階における管理

システムの解析とテクノロジーの選択にもとづいて、構成要素としての製品計画が確定し、製品の開発・設計の実務展開が開始される。この段階で図面や仕様書に盛り込まれる設計品質は、製品に対する要求機能を果たすに充分であること、総合技術的に合理的であること、メーカーとしての現状の生産技術レベルや生産段階における人間要素を含む管理能力や材料・部品の調達性に見合った内容であり、かつユーザーでの使用・保全・廃棄に至る段階に対してもその制約条件に対して適合していることが必要である。以下に設計管理上で共通的な管理展開として機械要素・人間要素の改善に関し検討すべき要点を述べる。

4.1 機械要素の故障の改善と対策

機械は必ず故障するものであるから、故障した場合のシステムに対する影響の解析とその対策は設計品質の中に盛り込んでおかなければならない。

機器や部品の使用の初期に発生する初期故障、たとえばネジのゆるみやトランジスターの故障などがあるが、前者は生産段階における作業者の人間要素に起因するものであって、設計管理上は、故障発生時の保全を想定した交換単位の設定に関連するネジ本数の減少や他の締結方式への切り換えなどの改善策が必要である。後者は、部品メー

カーの品質管理不良による部品そのものの故障と後工程としての組立、検査段階における部品の取扱い不良などの人間要素に起因するが、設計管理上でも使用信頼度の高い部品の選択や作業条件を考慮した生産性のよい設計を推進することにより改善できる。またナラン運転でも除去できる。

部品の劣化や摩耗により寿命の終期には摩耗故障が発生するが、設計管理上では、摩耗を起こさない部品の選定、機械方式から電子方式への切り換えなどにより改善可能である。寿命特性が既知のときには予防保全を行なうべきであるが、設計管理上は交換部品を明確にして補給の対策を立てるとともに、保全要領書の作成や必要な工具、計測器の手配など後方支援システムの確立に必要な万全の処置をしておく必要がある。

ある部分に発生した故障が原因となって副次的に関連する部分に従属故障を起こすことがあるが、設計管理上は FMECA などによって完全な対策を立てておくべきである。機器の複雑化にもなって、設計、生産上の品質管理にもかかわらず現状技術で最高の努力を払っていても、機器の耐用寿命期間内に予期されずに突発的に偶発故障が発生するが、技術的に予知できないために物理的改善対策がとれなく、統計的な取扱いにもとづく設計管理上での改善だけが可能である。

偶発故障による機器、システムの故障率は構成部品の故障率の積み重ねとして式(1)であらわされるから、設計管理上の改善策としては構成部品数 n_i を減少させるような単純化の方策、すなわち量的管理活動と、故障率 λ_i の低い部品を選定するなど質的管理活動がある。 λ_i 、 n_i ともに設計段階で決めるものであるから、開発・設計段階での設計管理活動の重要性は明白であり、生産段階の品質管理をいかに強化しても製造品質として現物化される機器の信頼度は、設計で決まる値よりもよくはないことを認識すべきである。

機械要素の固有信頼度改善の別法として冗長性を採用する方式がある。すなわち、現用機が故障

した場合予備機に切り換えて使命を達成する方法がある。

ところで、信頼度(故障しにくさ)の改善を追求するだけでなく、保全度(こわれてもすぐ直せる)とのバランスを考慮した実務展開が必要である。多数の部品で構成された機器の故障率が式(1)で与えられるように、保全度と保全のコストに対して、概念的に、

$$M_t = \sum m_i n_i \quad (2)$$

$$\text{コスト} = \sum a_i n_i \quad (3)$$

の形で表現される。ここで、式(2)は定量的な保全度をあらわすもので、たとえば M_t は平均修理時間を意味することがある。 m_i は故障した部品ごとの取り換え時間の単価をあらわし、 n_i はその部品の個数を示して、簡単な機器ほど修理時間は短かく、保全性がよいことをあらわしている。同様に式(3)の a_i は個々の部品の金額の単価をあらわし、簡単な機器ほどコストが安くできることを示している。この表現によれば、 m_i は、たとえばボルトとナットによる締結をワン・タッチのファスナーに変更するなどの質的管理活動の必要性を示唆しており、 n_i はネジそのものの本数を減らす量的管理活動により、保全性を改善できることを示している。

4.2 人間要素と使用信頼度の改善

システムの動作信頼度は、機械要素に対する生産、貯蔵、輸送、据付の段階での人間要素による取扱いに起因する物理的ストレスの残留による固有信頼度のそのものの低下や、ユーザーの手による操作、制御、保全や後方支援などの市場段階における機器の使用信頼度によって大きく低下する。したがって、システムの使命達成の保証や製品責任問題の対策のためには、ライフ・サイクルに関係するすべての人間要素に適合する機械要素の使用信頼度の確立が不可欠の要件になる。

システム設計においては、人間要素と機械要素のインターフェースを行なうためつぎの手順が人間工学要求を規定している MIL-H-46855A に示

されている。すなわち、システム・機器および施設に対する操作、保全、訓練および管理に必要な機能を識別・定義し、それぞれの機能を、自動機械による操作と保全/人間による操作と保全/あるいは両者の組み合わせによるものに配分する。

システムの使命達成に必要な情報の流れと手順を決定し、システムに含まれる操作要員、保全要員、プログラマー、意思決定者、通報者、モニターなどの責務に対する所要能力の見積りを行なう。これらのデータは、開発の初期にはシステム機能の最適配分を得るために、後期にはディスプレイや警報に対する機器の設計に対する要求条件として用いなければならない。

“人間には錯覚や過失がつきものであり、単調な繰り返し作業は向いていない”“機械は必ず故障するものである”という現実的な観点に立てば、使命達成に必要な人間と機械に対する機能配分の最適化が達成できる。

人間工学上の設計要求を規定した MIL-STD-1472B では、一般要求として標準化、機能配分、人間工学設計、フェイル・セーフ設計、設計の単純化、安全性について言及している。また詳細要求では制御と表示の統合、視覚表示、音響表示、制御方式、ラベリング、人体測定学データ、空間、換気、照明に関する設計基準など危険防止や安全に対する豊富なデータが記載されている。

一方、使用信頼度上の最も基本的な命題として安全性の確保の問題がある。安全性要求を規定した MIL-STD-822 では、安全性工学をシステム工学の一要素として取扱っており、安全性を、人間の怪我や死亡、機器や財産の損傷や滅失を生じするような状態からの解放と定義している。この仕様書では、システム設計の中に安全性が盛り込まれるべきことを規定し、開発活動の過程で、システム上の制約、リスク、人間、格付要求事項などを明確にしなが、試験、貯蔵、輸送、据付、操作、保全、支援、非常脱出、離脱、救助および訓練に用いる要員、手順および機器に関するハザ-

ドの解析にもとづく安全要求事項を決定し、フェイル・セーフ設計や冗長系の選択、安全装置や警報装置の設定を行なうことを要求している。

これらの、人間要素と機械要素のインターフェースに対する設計管理活動は、同時にシステムの運用のための経済的な人員計画の設定や教育・訓練を含む効果的な後方支援システムの計画に対する要求仕様をも与えるものである。

5. 製造段階に対する管理

製造段階は、前節の開発・設計段階における設計管理活動によって、図面や仕様書の中に折り込まれた設計品質が、製品として現物化される段階である。この製品につくり込まれる製造品質を設計品質に一致させることが、この段階での管理の目標であり、生産技術、試験技術、検査技術、エンジニアリングやナラン運転関連技術を統合した品質管理活動が展開される。

この製造段階を前提とした設計管理のためにはまず“製造段階の影響は、設計品質を低下させる方向にしか働かない”という原則の認識が必要である。製造段階もまた、材料・部品・治工具・機械・計測器・施設などで構成される機械要素と作業員・検査員・設備の保全要員などの人間要素で構成されるシステムである。この段階に関連する設計管理上の要点はつぎの通りであり、図面・仕様書の中に設計品質としてもれなく反映されなければならない。

(1)生産性と保全性

一般的に生産性のよい設計は、製造段階で現物化される製造品質のバラツキも少なく、市場段階における保全性もよいものである。保全を前提とした交換単位は、同時に製造段階における試験・検査単位であり、ユニットの分割や相互の組み合わせ方法に対する設計の構想段階における配慮と詳細設計における研鑽が必要である。

(2)視察性と検査性

設計の後期段階で配慮すべき事項であり、作業員自身が自己の行なった作業のきばえを確認できる設計を行なわなければならない。部品の背面での半田接続などは、半田のフィーレットに対する視察性が悪く客観性がないため、検査員もまた検査が不能になる。他に検査性に対する配慮としては、テストポイントの採用など試験、検査を前提とした設計が必要であり、この配慮は同時に保全性を高めることにもなる。

(3)作業仕上基準と限度見本の設定

製造品質のバラツキは、作業員の人間要素に起因するものが多い。この面で重要な設計管理上の項目として、ワークマンシップ・スタンダードの設定がある。この作業仕上基準は、限度見本や写真の形で示すべきものであり、図面や仕様書だけでは指定できない設計者の意図や技術的要求を作業員や検査員に伝える有効な手段である。具体的な基準は、設計品質の中心値の提示だけではなく、上限・下限を指定した3水準以上のものが望ましい。NASAの半田付の仕上基準では、上限・下限の合格水準に不合格水準の両限を配した5水準のものが用いられている。

(4)治工具や計測器の指定

製造段階を前提とした前項までの配慮に加えて作業に用いる治工具や試験・検査に対する計測器の指定を設計上で行なわなくてはならない場合が多い。計測器についても同様であり、設計品質からみて汎用計器では精度上不充分などの場合は、製品設計と併行する専用計測器の設定が必要である。この配慮は次段階としての市場段階における後方支援のための要件でもあるが、特殊な計測器を必要としない設計が望ましいことはいうまでもない。

(5)取扱いや保管・貯蔵に対する配慮

作業場の清浄度の要求を含めて、材料・部品・製品の取扱いに関する設計管理上で留意すべき項目は多い。製造品質のバラツキや劣化を

最少限にするために図面・仕様書上で設計から見た要求事項を明確にすべきである。

材料・部品によっては貯蔵寿命が問題になるのも多く、使用する機械要素の物理的性質を正確にとらえた洩れない管理展開が必要である。

(6) エージングやナラシ運転の指定

製造品質の安定化のためのエージングや初期故障除去のためのナラシ運転の仕様の設定は、設計部門と品質管理部門の密接な連携により、物理的・統計的に意味のある展開が必要である。

(7) 梱包・輸送に対する配慮

これらの要因もまた製造品質を低下させる方向にしか働かない。保管の問題も併せて設計管理上の要件としての取り組みが必要である。以上いずれの項目に対しても、設計者を助けて必要な技術要素が洩れなく図面・仕様書上に反映されることを保証する着実な設計管理活動の展開が必要になる。

6. 市場段階に対する管理

市場段階は、前節の製造段階で現物化された製造品質が、エンド・ユーザーの手で使用品質として稼動する段階である。要求品質・設計品質・製造品質・使用品質の四者の合致を保証することがプログラム管理の最終目標であり、市場段階は期間の長い重要な段階である。

この段階に対する設計管理上の要件は、製品が設計段階で意図した通り、ユーザーの手によって誤りなく使用され、十分な機能を遂行し維持されることを保証することにある。具体的な展開は、統合後方支援活動(Integrated Logistic Support ; ILS)などの形をとり、開発・設計段階からの経済的評価の尺度を加えた取り組みが必要になる。

市場段階の品質保証に関する設計管理上の要点としては、つぎの諸点が含まれる。

(1) 製品に対する支援性の付与

支援性(Supportability)は保全性とも通じるものであり、保全・補給活動と必要経費を最小限に

維持しつつ使命を達成できる特性である。補給を要するような部品の採用の排除や専用の工具・計測器を必要としない設計品質の獲得など、設計管理上での改善対象は多い。

(2) 技術文書の整備

製品の使用・点検・保全作業に必要な、図面・仕様書・取扱い説明書・保全要領書・補給計画書・廃棄手順書などの洩れない設定が必要である。これらの文書の作成に当たっては、相手方としての要員の知識・技能レベルに応じた内容であることが必要であり、本論だけではなく禁止事項を明記することを忘れてはならない。

(3) 要員の教育・訓練

前項の技術文書だけでは補えない事項に対しては、ユーザーの操作員・保全要員、メーカー側のサービス要員などに対する教育・訓練体制の確立が必要である。設計管理上の原則からいえば、フル・プルーフやフェイル・セイフの方式の採用により、教育・訓練を必要としない製品の開発が第一要件であるが、人間-機械系の密接なインターフェースをはかることは、安全性、経済性の面からも重要である。

(4) 点検・保全用機器の供給

汎用機器では不能の設計は避けるべきであるが止むを得ない場合や複雑なハードウェア・システムのチェック・アウト機器のように専用装置の採用が経済的である場合は、必要な場所にタイミングよく供給しておかなければならない。設計管理上では、できれば製品そのものに自己診断機能を内蔵させるべきである。

(5) 部品・関連資材の補給

製品の予防保全に必要な予備部品や故障修理に必要な部品の補給もまた、市場段階に対する品質管理上の大きな課題である。設計管理上では、ライフ・サイクル期間中に消耗しない部品の選択や補給を要しない汎用市販品の採用などの抜本的な対策が必要である。しかし現実には補給を要するものが多く、製品の販売数量と摩耗率・故障率を

前提とした、経済的なストック量の設定や保管・配送に関する体制の確立が必要になる。

(6)使用後の廃棄の対策

ライフ・サイクルの終期における製品の廃棄や運用中に副次的に産出される産業廃棄物の処理に対する手順や方法は、明確に指示されていなければならない。公害問題の対象としては、大気汚染、水質汚濁、騒音、放射線による汚染などの広範囲のものがあり、設計管理上では、まず公害を起こさないテクノロジーやエンジニアリングの選定が重要であり、取り組みとしても廃棄よりもむしろ再資源化などの積極的な姿勢が必要である。以上の市場段階に対する管理対象は、開発の早期段階で決定され、設計段階で具体化されるとともに、製品の出荷前には ILS 計画などの形で支援体制として確立されていなければならない。

7. 企業経営と総合的品質保証プログラム

前節までの検討で明らかなように、工業製品のライフ・サイクルにわたる品質保証のためには、各段階を人間-機械系のシステムとしてとらえた総合的な技術管理活動の展開が必要である。いずれの段階に対する技術管理活動にも、多項目の管理要素と多種多様な人間要素が関係する。したがって効果的で洩れない管理の遂行のためには、計画・実施・評価・統制を助けるプロジェクト管理に対するネットワークダイアグラムなどの活用や効果的な情報システムの運用が必要になる。また実務の展開には、各種のシステム分析技術やシミュレーション技術を用いて、機能の予測や配分の最適化、代替案の評価、制約条件の解明、費用対効果の分析を行ない、失敗を未然に防止するとともに、品質面だけではなく、費用の低減やスケジュールの短縮をもはからなければならない。

技術系企業におけるこれらの活動の中心は当然のことながら、開発・設計管理に置かれなければならない。仕事ははじめから正しく、といわれているが、市場設定に次ぐ製品企画の段階で、すで

にそのプロジェクトの成否は決定されている、とあって過言ではない。

システムを、技術・製品・人間として把握し、工業製品のゆり籠から墓場までのライフ・サイクルをふまえた、効果的な設計管理活動を展開することは、技術系企業の存続をも左右する決定的な要因になる。工業製品の構想・企画・開発・設計・生産・流通・使用・保全・廃棄の各段階に関係する開発・設計に関する技術活動を統合し、システムの品質の最適化を獲得することが、設計管理に課せられた基本的命題になる。

工業製品はその有用性のゆえに、技術的に高度な製品が、ますます大衆化する傾向にある。したがって、プロジェクトの品質管理のための設計管理の根底には、常にユーザーの立場に立ったヒューマニズムと、技術と人間の調和に対する責務の自覚が必要であると考ええる。

ことう・けいご 1930年生

1955年8月三菱電機KK通信機製作所に入社、品質管理係長、生産技術係長、製品開発専門課長を経て、同製作所所長付となり現在に至る。

●法政大学工学部経営工学科教員公募

公募人員 教授1名

専門分野 システム工学（システム工学、統計工学を含む）または生産工学（生産工学、人間工学を含む）

応募資格 博士の学位を持ち、大学院の講義を担当可能な者

着任時期 1979年4月1日

年 令 1979年4月1日現在40歳以上63歳以下

提出書類 履歴書、研究業績リスト（書留にて送付のこと）

公募締切 1978年10月20日

宛 先 ㊞184 東京都小金井市梶野町3-7-2

法政大学工学部経営工学科 主任 駒木悠二

Tel. 0423 (81) 5341