

《特別講演》

信頼性技術の動向†

塩 見 弘*

お手元のテキストに沿って、信頼性技術の動向について、話を進めさせていただきます。

最近の動向といいましても、日本と外国の場合では若干ニュアンスが違うと思います。まず最初に、日本の信頼性ということですが、大体この手本はアメリカでありまして、アメリカの最近の動きというものが、非常に参考になると思います。

1. 拡大する信頼性技術

最初の拡大する信頼性技術というところでは、外国の傾向、それから日本の傾向のあらましがまとめてあります。

ご承知のように、信頼性というものが必要になってきた理由は、システムにしても、製品にしても、要求されている機能のわりには、複雑さが増してきている。また要求自体がかなり高度化しているのに、反面安全性であるとか、信頼性に対する要求もきびしくなっている。この矛盾する問題をうまく切り抜けるためには、どうしても信頼性技術ということが重要になってきます。

もちろん信頼性工学というものは、単純に信頼性独自の技術というもののほかに、いろいろなシステム・エンジニアリングであるとか、ORやQC、コンピューター技術、人間工学であるとか、そういうほかの技術の発達に負うところが、非常に大きいわけであります。

たとえばコンピューターを使うというふうなことも、最近の1つの傾向でありまして、信頼性自体の技術とそれを支える周辺のいろいろな技術というものが、たくさんあるというふうに考えていいわけです。

最初に信頼性というのは、エレクトロニクスに導入されました。その後に機械的な方面たとえば輸送システム——国鉄を初めとして、いろいろなところでこういう問題を取り上げております。ある意味では、世界の中でもかなり活発に、この信頼性の仕事を進めている国と言っていいわけです。

去年、日本科学技術連盟で、幾つかの会社に対しアンケート調査をしたところでは、組織的活動の中心というものはやはり技術にありまして、それから品質管理、設計部門というところに重点が置かれていることがわかりました。そのうちで約60%くらいが、スタッフ的な活動をしてお

† 1968年5月29日 春季研究発表会講演

* 工業技術院電気試験所

ります。現状では組織として会社の中のある特定の部門で信頼性を取り上げるというところは、わりあい少なく、どちらかというとな個人的な、グループ的な形で勉強しているところが多いようです。

実際の仕事の内容としましては、市場データを収集して、それに対する対策を立てるというふうなところも、非常に大きなウェートを占めます。もちろん設計であるとか、品質保証とからんで試験というふうなものにも、かなり重点が置かれているのがわかります。

ここで1つのネックとしまして、信頼性をやる人間が少ないというところも、このアンケートの結果からは出ております。アメリカではお金が一番問題であると言っております。もちろんアンケートには片寄った点がないとは言えませんが、ある程度そういう傾向が見えるようです。

次に、アメリカの最近の傾向というものについて、これを歴史的に見てみますと、アメリカで最初に信頼性を取り上げたのが、第2次大戦あるいは朝鮮戦争が契機になっていると言われます。一番まとまった仕事をしたのは、AGREEと呼ばれておりますが、国防省が中心となってやった幾つかの仕事の総合報告が1957年に出ております。これが1つの契機になりまして、その後米国のいろいろな軍の仕様などにこの仕事が反映されていったわけです。いまから10年くらい前の米国の動きを見ますと、テキストにも書いてありますが、1958年に信頼性シンポジウムというものが行なわれております。このシンポジウムはアメリカが中心ではありますが、アメリカばかりでなく、世界の中でも信頼性の一番中心と考えられるシンポジウムでありまして、これが毎年1月に開かれております。ここで一応その中のテーマについて触れてみたいと思います。

まず最初に理論というセッションがありまして、それからシステムの信頼性、デザイン、そして当時はまだ、信頼性の定義というものがテーマの中に入っております。さらに商用エレクトロニクスというのがありますが、これはあまり重きが置かれていなかったようです。

そのほか加速寿命の問題であるとか、部品の信頼性をどう規定したらいいかという問題、コストの問題、それから AGREE で得られたいろいろな結果を軍の仕様にどう反映させたらいいかという問題があります。さらに製品の受け入れの問題、組織と管理の問題、QCと信頼性がどういうふうに関係するかという問題、そして最後に、教育と訓練というのが主要なテーマになっております。いまではごくあたりまえのように思われている定義の問題も当時としては固まっていなかったわけで、結局この1958年の学会でオーソライズされたと思われる。この定義の問題を初めとして、かなり理論的な問題や基礎的な考え方、すなわち AGREE で問題にされていたようなものが、このテーマに反映されていると考えていいわけです。

それから10年という月日がたちまして、その間に信頼性のほかに、保全性というものが浮かび上がってきております。保全性とは何かといいますと、信頼性というものが、物がこわれにくいというような確率をあらわすとしますと、保全性は、一度こわれてしまったもの、あるいはこわれなくとも望ましくない状態におちいったものが、再びもとに戻るといふ確率をあらわすわけです。出生死滅過程から言いますと、故障する片側だけじゃなくて、もとへ戻すというほうの確率

も考えていいわけです。

そういう保全性という問題が、この10年間にクローズ・アップしてきております。1968年に開かれたシンポジウムでは、一体どういうものがテーマになったかを見ますと、この保全性をふくめて10年くらいの間にディスカッションされて、その後育ってきたいろいろな技術が各方面に手を広げてきているという感じを受けます。

1968年のテーマでは、商用製品の信頼性の保証、つまり軍というものが中心になって開発してきた信頼性技術が、だんだん一般の民生用——日本ほどにはいきませんが、それにしてもかなりコマースユースの製品の信頼性や、システムの信頼性にとりいられる方向にあることがわかります。

次に、システム・コスト有効性 (System Cost Effectiveness) というテーマがありますが、これはマクナマラばりのエフェクティブネスという考え方を、信頼性のほうにも取り入れようという動きであります。

そのほか自動車、船舶というふうなものの信頼性、それから機械系の信頼性があります。最初はエレクトロニクスが主流をなしていたのですが、その後自動車、船舶などの機械系の信頼性が非常に大きな問題になってきたわけであります。

それから安全性の問題、機械的な信頼性と関係して、安全性のモデルがどういうふうなものであるかという点を取り上げたものです。

そのほかにすでにのべた保全性、数学と予測、これはもう最初のころから一貫して取り上げられているテーマです。それからコンピューターによる解析、これも最初のころからその後たびたび取り上げられている問題です。

その次に、ライフ・サイクル・コストイング (Life Cycle Costing) というのがあります。これは先ほどのコスト有効性同様、コストをもっと長い眼で見ようというのが、このライフ・サイクル・コストイングであります。

それから長寿命 (宇宙) というテーマがありますが、宇宙に打ち上げた有人衛星であるとか、人工衛星というふうなものの寿命は、非常にコストがかかっているだけに、信頼性技術の粋を尽くすというようなところがあります。

その次のマネージメント。これは最初のころの組織と管理の問題と同じように、実際に企業で信頼性を向上し、運用する場合には、大切な問題になります。

もう1つは、各国の信頼性というテーマで、各国でどういうふうに信頼性を実施しているのかという話が出ております。

この10年間の隔たりというものが、一応テーマの中に反映されてきているのですが、コストの問題であるとか、保全性の問題、それから機械系の問題であるというように、だんだん領域が広がっているという感じを受けるわけです。

2. コスト，システム有効性

次に、いままでお話ししました幾つかの最近の傾向というものを含めまして、問題点をあげてあります。コスト・システム有効性 (Cost-System Effectiveness) というのが2節にのべてありますが、このシステム有効性という考え方は、信頼性というものは確かに、システムであるとか、製品の品質として欠くことができないものであるとすると、そのほかのいろいろな機能といったものを同時に考えて、総合的な1つの尺度を織り出そうという考え方を表わしています。

最初はやはり軍というものが中心になりまして、いろいろな研究会をつくって、軍のシステムの良さを一体どういう尺度であらわしたらよいかを調べたわけです。その結果エフェクティブネスという尺度を持ち込みました。(表1参照)。

表1 コスト有効性の評価

1. 問題の抽出
2. 尺度の設定
3. 代案の明確化
4. システムのモデル (信頼性ブロック図)
5. モデルの適用
6. 代案を選ぶ
 - ・ $E = A \cdot R \cdot C$
 - ・ Cost/MTBF を尺度にとり、取替えるかモデルチェンジをするかをきめる。
 - ・ 55%容積，42%重きが減少，
 - ・ 28%入力電力がへる
 - ・ MTBF 4倍にえる。

$E = A \cdot R \cdot C$ のEというのはエフェクティブネスの略称です。Aというのはアベラビリティ (availability)。Rというのはレイアビリティ (reliability, 信頼度)。それからCというのはケイパビリティ (capability) と呼ばれております。実を言いますとこのエフェクティブネス (Effectiveness, 有効性) というものは、アメリカの3軍で皆別々の定義をしております。しかしニュアンスは少し違いますけれども、大体考え方としては、アベラビリティ、レイアビリティ、ケイパビリティというこの3つからできたものが、エフェクティブネスと考えていいと思います。

このアベラビリティというものは、一体どういうものであるかと申しますと、その定義としては、信頼性と保全性というものを総合したものを、アベラビリティというわけでありましたが、この場合にはレイアビリティと区別しています。それはなぜかといいますと、 $A \cdot R \cdot C$ という順番に経時的な尺度になっておりまして、たとえばベトナムのどこかの基地から北ベトナムへ向かって、アメリカの爆撃機が出発するというようなシステムを考えた場合に、アベラビリティというのは $T = 0$ の時点での、稼働率といったものをあらわします。したがって出発の時点においてどのくらいの信頼性があるか、いつでも飛び立てる状態にあるかというのがAであらわされる

わけです。

その次のレライアビリティというのは、基地を出発して、たとえば北ベトナムのある目標に向かって行く、そういう時間の信頼度ということになります。

最後のケイパビリティというのは、機能といいますか、目的を達する確率です。爆撃目標に何%くらいの比率で効果を与えたかという確率を表わすわけです。

結局はいま申してきましたものの、総合確率が、エフェクティブネス、Eと呼ばれています。この例は適切ではなかったかも知れません。最初は軍が武器のシステムを対象に開発したのですが、その後はいろいろなところにシステム・エフェクティブネスという尺度が、使われてきています。

さらにコストとからみ合わせて、ある目的とするエフェクティブネスを達成するために、最小のコストというふうな考え方で、コスト・エフェクティブネスということばも出てきたわけです。このコストエフェクティブネスを達するやり方は全くOR的のです。もともとエフェクティブネスというのがマクナマラばりですから、OR的な考え方で物事を合理的に処理しようという考え方になっているわけです。まず問題を抽出するとか、尺度を設定して幾つかの代案を置いて、それからモデルをつくる。最後にはモデルを適用して代案を選択するというやり方です。モデルとしては、たとえば信頼性のモデルをそのシステムに適用して、直列モデルというようなものを考えて、その平均寿命あたりのコストを尺度にとってシステムのある部分を取りかえるか、モデルチェンジをするかの決定を行ないます。(表1参照)

その結果、どういふふうな効果が得られたかという点、容積の55%が削減される。重さが42%減少する、それからパワーが28%に減った、さらにMTBFが4倍にふえたという結果になります。

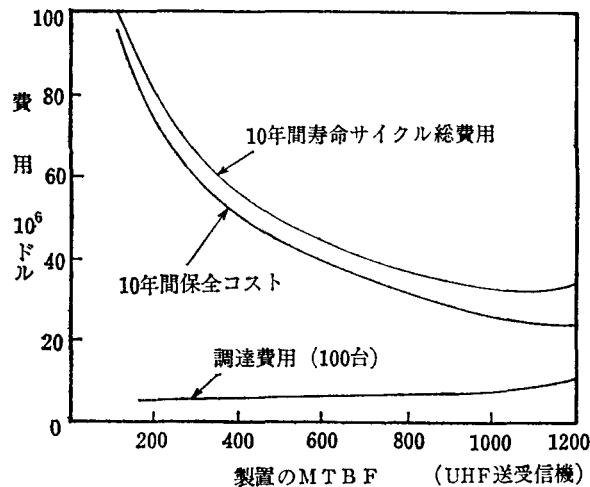


図1 MTBF 対費用

(P.J. Klass, Aviation Week and Space Tech., 1967, 6)

す。エフェクティブネスという尺度を持ってきて全体的にこれをながめることによって、コストとからみ合わせて、こういう効果があるということになります。

それからもう1つ、コスト・エフェクティブネスの例であります。(図1) 信頼性を上げれば上げるほど損害のコストは減ってきます。図の斜めに右下りに書いてあるのは10年間の保全コストすなわち損害のコストです。それから下のほうから右上りに書いてあるのは、その信頼を作り込むためにどれくらいお金がかかるかということを示しております。どこかにオプチマムなコストと信頼性の点が出てくると考えられますがこの図では右端の方にあらわれています。

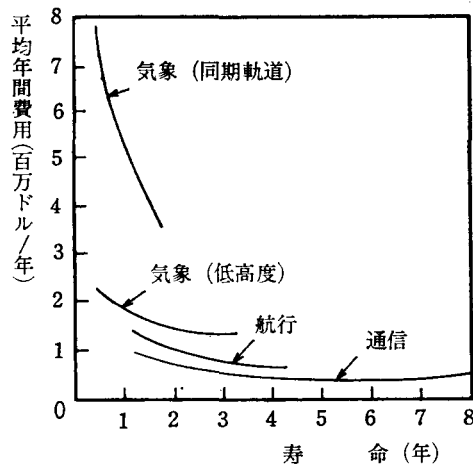


図2 人工衛星の年間コストと寿命
(R.W. Slocum et al, 1968 Annual Symp. on Rel.)

2番目の図は人工衛星について調べたコストと寿命の関係であります。下のほうの通信衛星というのはかなり技術が確立されておりますし、あまりつけ加えることなくわりに安くいけると示しています。

ところが、シンコム衛星のように気象衛星とか航空衛星では、測定器——カメラをどうするか、あるいは得られたデータをどういうふう記録するかといった、技術的な問題もかなり残っておりまして、ある信頼性を達成するためには、お金がかかります。それからもう1つは1システムが必要とする衛星の数もお金に関係して来ます。結局、寿命に対するコストというのを見ますと、気象衛星であるとか航行衛星というもののほうが、お金がかかるという関係にあります。この図もおそらくどこかで寿命が延びれば、コストがまた上がってくるようなところがあると思いますが、この7、8年の寿命のところではほとんどフラットになっています。この範囲では一般に寿命を延ばせば、全体のコストが安くなるという傾向があるわけです。これもコスト・エフェクティブネスと同様な考え方で、最近の解析の結果の1つの例です。

それからもう1つは、こういうコスト・エフェクティブネスというふうな考え方をしなくても、もともと信頼性自体にいろいろな相反するファクターが関係しておりまして、その相反するファクターをどういうふうバランスさせるかという問題があります。これをトレード・オフと

呼んでおります。

ライフ・サイクル・コストというものは、いまお話ししたようなこととも関係がありますが、システムに一体どれくらいのライフ・サイクル、寿命を付与するかということによって、お金の問題がだいぶ変わってきます。

ライフの長さをどういうふうに規定するか、それからコストを実際にどういうふうに計るかという点に、だいぶ問題があります。

人工衛星のように、ある程度の技術の予測ができるものは数字になるのですが、たとえばそういう製品を開発したとき、市場がどうなるかという問題まで入ってきますと、一番いい方法を考えるということは、むずかしくなるわけです。このように考え方はよいとしてもまだまだ実際には、コストを計る問題であるとか、寿命をどう設定するかというところに、問題が残されているわけです。

3. Man-Machine 系と安全性、保全性

一般的に言いまして、トレード・オフという立場から見て、次にお話ししますようなマン・マシン系をどう扱うかという問題も非常に関係してくるわけです。3 節に、マン・マシン系と安全性、保全性の話がまとめて書いてあります。トレード・オフという面から見ますと、人工衛星というふうなものを例にとっても、人間が乗っている場合と乗っていない場合とでは、非常に信頼性が違って来るわけです。人間を乗せないにしても、ある与えられた信頼性を達成するためにどういう方策をとるかというのは、OR の問題としてもかなり興味があることです。たとえばそういう製品に使っている部品を、非常に高信頼にするような手をうつのか、あるいは部品に信頼性があまりなければ、冗長設計方式をとってこれを補なうというふうな問題があるわけです。

ただし、冗長方式をとりますとどうしても重さが増してきたり容積が増すことになりまして、逆に高信頼の部品というものを開発しようとしても、またお金がかかってくるということで、打つ手のどれが一番いいかというのは、経済的な問題であるとか技術的な水準で制限されるわけです。

たとえば重量や容積の制限があれば冗長系で逃げるといってもそういう制限で行き詰まりが生ずるわけです。お金をかけるとすれば、高信頼部品をつくるのももちろんいいわけですが、部品をつくらず、むしろ根本的にロケットの推力のほうを増してやるというふうなことをしますと、今度は重量の制限や容積の制限がなくなってきます。結局お金をどこに投資するかということにつながるわけです。

それからもう 1 つは、無人のまま人工衛星を打ち上げるのじゃなくて、人を乗せてしましますと今度は様相がかなり違ってきます。人間の長所が生かされますと、信頼性が上がるわけです。

人工衛星と有人衛星の違いというものの 1 つは、人間の信頼性です。そのために人が乗ってい

なかったときよりも25%ぐらい故障が減ったという例もあります。ところがその反面、どうも人間は信頼性がおけないといった発表もかなりあります。

これはやはり人間というものが機械とは違って、しゃくし定木にはいかなくて、ミスを起こすチャンスというものがかなりあるということに起因しています。そういう場合には人間工学的なデザインもさることながら、人間の特徴というものをどういうふうに機械系にマッチさせるかという問題がクローズ・アップします。

もちろんデザインの場合だけでなく、物をつくる場合にも人間のミスというものが、おそらく最終的には製品の信頼性をきめるのじゃないかというようなことも言われております。

それから安全性の問題とからみまして、航空機のような場合はだんだんと高性能になってきますと、最終的には人間にどれくらい責任を持たせて、あとどれくらいハード・ウェアのほうで安全性を高めてやるかという問題が出て来ます

以上のような意味からマン・マシン系の問題というのは今後に残されている問題です。人間を性悪説的に考えるか性善説的に考えるかという違いによっても、行き方が異なってくるわけです。たとえば宇宙船の乗組み員のような非常に優秀な人ですと、信頼性を高めることがあり得るわけです。このため、訓練とか、教育が強調されるわけです。事実教育、訓練を施すことになって信頼性が上がったという報告もかなりたくさんあります。

表2の宇宙用機器の信頼度の改善例を示しました。全然無人の場合ですと——この3つのサブシステムの信頼性は、30日間のミッションを仮定しまして、0.5くらいしかない。それさらに制限内で冗長設計を施しますと、0.8から0.9くらいにふえる。さらに今度は人間が乗りますと0.8が大体0.95前後のところまで高まるということを示しております。人間の信頼性の効果の一例を示しています。

表 2 宇宙用機器の信頼度の改善

サブシステム	無冗長 無人(30日)	冗長系	有
電力	0.465	0.824	0.946
誘導制御	0.532	0.810	0.915
テレメタリング トラッキング コマンド	0.527	0.920	0.987

これからの航空機のように、システム自体がだんだん複雑になってきますと、結局人間が乗組んでいても、人間が全部の仕事のカバーするわけにはいかなくなります。そうしますと、人間がカバーしやすいようなデザインというようなことが強調されてきます。最近 SSTでは、最初から故障が検知しやすいようなシステムにしておくか、表示しやすい方式をとるとということが問題になってきております。

もともと飛行機は、そういうマン・マシン問題の、一番先端を行っているような要素があります。昔からフェール・セーフというようなシステム、つまり構造に少々クラックが入っても、

その次の点検周期までにもてばいいというフェール・セーフのシステムと、安全率を考慮して非常に高信頼にしておくセーフ・ライフの部分の2つをうまく利用して全体のデザインのバランスをとるという方針です。もちろん冗長の考え方も取り入れておまして、そういう意味ではトレードオフの固まりみたいなものです。SSTのようにだんだん性能がすすんでいきますと、故障の自動検知さらに自動再生システム、すなわちこわれたら自分で直すというふうなシステムになっていけば一番いいわけです。まだそこまでは行きませんから、せめて何か異常があれば、少しでもそれを早目に検知して診断をしようという研究が進みつつあります。そのためには、システムのどういうシグナルを取ってきて、それを人間にフィード・バックするかという方法も問題であります。また故障であろうと思われるところを、どういうふうに検知するかには故障検知素子や問題、部品の開発問題もからんでいます。さらに、たくさんのところから得たシグナルを同時に人間に見やすいように表示するという、人間工学も含めた表示のしかたも今後の研究課題だと言われております。たとえばエンジンなどでは、非常にたくさんの特性がありますから、特性を1秒間に100ぐらいスキミングし、1つのエンジンについて500ぐらいの情報を同時に取り出して、それを人間のところに持ってくるわけです。もちろん全部を持ってこなくとも悪いという情報だけでもいいわけです。そういう仕事をすることによって、オーバホールに要する時間(MTBO Mean Time Between Over-hauls)がロールス・ロイスのエンジンでは1500時間ぐらいだったものが、3200時間と約2倍ぐらい伸びた、同時にまたコストも40%ぐらい減少したというふうな報告があります。

したがってシステム的に見ますと、そういうマン・マシン系の問題とからみまして、故障検知の問題が、システムが複雑になればなるほど問題になってくるのではないかと思います。

4. 信頼性予測

信頼性の設計において、設計したら必ず予測をして、自分の設計がどれくらい確かなものであるかを確認する、それが信頼性の予測です。信頼性の予測の場合に一番よく知られているのは、システムを構成しているおのおのの部分の故障率——故障率というのは時間当たりどれくらいの頻度で故障が起こるかという時間当たりの不良率といったものですが、故障率を部分について調べておきその故障率をたし合わせて、全体の故障率を予測しようというのが、一番よく知られている手法になっています。

この方法はエレクトロロニクスのほうではよく知られていて、しばしば使われる方法ですがどれほどどのくらい確かであるかと言われますと、まだ問題がたくさん残っていると思います。

まずそう予測に使われるデータがあるかないかということと、そのデータの質がどれくらい使いやすい形になっているかということに、非常に依存してくるわけです。現在ではフィールド・データ、あるいはテストで実証したデータというようなものを、使いやすい形でまとめて、それをデータ・バンクに入れておいて設計したならば、そういうところから、ちょうどその設計に使

われているエレメントに対応したものを引き出して、たし合わせるという考え方をしています。

ところが実際には、そうやって予測した信頼度と、それからフィールドで使った信頼度とはかなりな開きがあるというふうに言われております。最近の調べによりますと、すでに確立したアメリカの軍の仕様どおりの手法に従ってきちんと予測をしてみても、なおかつ実際とは10倍くらいの違いは出てきます。20から0.08というふうな数字がありますから、一桁くらいの違いが出ているわけです。

なぜそういう予測値と実際にこのように開きが出てくるかといいますと、結局使っているものとこのデータと、これから開発しようという、あるいはすでに開発した装置に対するデータの質が、もともと違っているわけです。過去のデータで予測をしているのですから、多少の違いはあってもある程度いたし方がないのです。

一番最後に示しました表3はそういう1つの例であります。予測の場合には、計算機を使って

表3 きびしさ係数の比較

環 境	FARADA 138	FARADA 98	MIL-STD 756A	Earles (1963)	Boeing (1965)
計 算 機 室	1		1	1	1
人工衛星(軌 道 上)	1	1	1	1	0.2~1.8
地 上 固 定	10	1	1	1.1~10	1.8
船 舶	20	2.5	1	15	3
ト レ ー ラ	25	1.5		13~30	
軌 道 用	30				
航 空 機(飛 行 中)	100	2.5	6.5	50	6
ミ サ イ ル(飛 行 中)	1000	10		900	80
ミ サ イ ル(頭 部, 飛 行 中)			80	1500	140

いるような室内、地上固定の装置で得られたデータの故障率を基準値1と考える。それに対して人工衛星であるとか航空機やトレーラといったものに使ったときに、その故障率が一体何倍くらいに加速されるかというきびしさ係数(加速係数)といったものを出しておきまして、地上のデータにそういう係数を掛けて、たとえば航空機の故障率というものを出すわけです。

ところで、そういうときに一番もとなるきびしさ係数(加速係数)が、人によって、またデータによってどのくらいばらついているかというのを、この表は示しております。MIL-STD-756Aでは、地上であるとか、一番理想的な環境を1としますと、航空機は6.5倍くらいに故障率がふえるとしています。それからミサイルですと飛行中で80倍くらいふえる、そういうような係数を軍のスペックで規定しています。

その係数は、人によってもまた出所によっても違います——この表のFARADAというのは、FA(Failure)が故障の略、RAが率(Rate)の略でして、DA(Data)がデータを表わし、

故障率のデータという略称です。

それによりますと計算機使用の室内をと1して、地上固定で10倍から1倍、航空機では、片方が2.5ぐらいい一方は100ぐらいいです。

結局はこういうもとのデータというものの質が、どういうものを集計して数字を得たかということに、非常に依存しています。

もし正確な予測をやろうとすれば、同じような使い方をして、同じような設計をし、同じような人が保守している、あるいは使用者が安定しているデータを使用した場合には、おそらく予測は非常によく合うはずであります。

最近では、こういうギャップをどういうふうに修正したらいいかというような研究が幾つか見られます。たとえばヒューズという航空機会社ではグロスにして、装置全体をひっくり返してきびしさ係数を出さないで、1つ1つの部品について丹念にきびしさ係数を出して、それを使って予測をすると予測の精度がぐんと上がったという報告をしております。ただしそのためには、1つ1つの部品についてきびしさ係数を出すわけですから、仕事の量としては非常にたいへんなものになります。またそれを出すためにはかなりなデータが必要でありまして、ヒューズのように多くの仕事をしているところだから可能なわけです。

それからもう1つの行き方としては、環境によっていろいろ層別をします。また装置の型によって層別しまして、今度はその2つをマトリックスに組んで、それぞれのところにきびしさ係数を割り当てます。そうしますとグロスにして、航空機とかトレーラというふうな総合的なもので係数を与えないで、環境の違いとか、使っている装置の質の違い、たとえばメカニカルなものであるとか電気的とかいう区別によってきびしさ係数を与える試みがあります。そうしますとかなり予測の精度が上がってきます。

それから信頼性予測のもう1つの問題は、おそらく機械系の部品というものに対する考え方が、エレクトロニクスとは少し違うということです。エレクトロニクスのほうですと、たとえばコンデンサとか抵抗というふうなものは、1つの部品であると同時に機能素子になっているのですが、機械系ですと、どうしても相互干渉があって、独立した素子として1つ1つが故障率を持ったものというふうに考えにくいものもあるわけです。

そういう相互干渉の影響や調整あるいは保全によって非常に影響を受けやすいという性質がありますから、機械部品に対してはまた少しおもしろい違いがあります。部品のごとの故障というふうな考え方じゃなくて、今度は故障のメカニズム、故障の起こり方というものについての故障率を考え、それを合成するというのも1つの方法になります。

つまり、物そのものに故障率を割り振るのではなくて、機能の故障率というふうなものを合成するという考え方が出てきます。

信頼性の予測にはどれくらいの頻度で故障が起こるかという信頼度の予測ばかりじゃなくて、先ほどのアベイラビリティ——稼働率といいますか、そういったものに対する予測もありますし、

また保全性に対する予測すなわちどれくらい早く直せるかという予測もあります。保全性の予測の場合には、今度は人間要素というものがからんできますから、人間の技術によって直すスピードが違ってくるといった問題が出てきます。人間をどういうふうに計るかというものからんでくるわけです。

5. 信頼性の保証と故障物理

次に、テキストの5番目のところに、信頼性の保証と故障物理という表題があります。信頼性の仕事というのは、システムの要素もありますけれども、その反面固有技術というものとも非常に密接な関係にあります。たとえば人工衛星のある寿命というものを保証するために、先ほどのように冗長という手段をとるとするシステムの技術なのですけれども、部品の寿命を伸ばすという手段をとったとすると、この場合には信頼性の保証は固有技術に依存することになります。

信頼性を保証するという立場に立った時に、1つの矛盾があります。最近の宇宙の部品ですと、大体延べ 10^9 時間働いて1回くらいの故障が起こる、そういったものが要求されております、それを1 fit と呼んでおります。f という故障 (Faiure) の頭文字で、it というのは unit の最後の部分を取ったもので、これを fit と呼んでいるわけです。もちろんこれは、その製品が 10^9 時間寿命があるという意味ではなくて、頻度がそのくらいだということであります。たとえば1年間でこの1 fit を実証しようと思えば、1年間というのは大体 10^4 時間くらいですから、 10^5 個のサンプルを取ってきてこれを1年間動作させて、その間で1個だけがこわれれば、それが1 fit です。ですからこれは寿命の長さではなくて、単に頻度をあらわしているわけです。

こういう高信頼部品は、たとえば宇宙用の部品であるとか、あるいは電電公社が開発しています、電子交換などに使われる部品の目標値になっております。10万個の同じような製品が使われていれば、1年間でそれが実証できるわけでありましたが、それでもこれを市場データで実証しようと思っても、なかなか困難なことであります。

実証する必要がないほど悪いものである場合には、もうこれは信頼性の対象外になってしまいます。その反面信頼度が非常に上がってきて、いまのように延べ時間にして 10^9 時間に1回ということになりますと、今度は計ることが非常に困難になるわけでありまして、本質的な矛盾をはらんでいるわけです。

こういう場合の保証をどうするかというのも1つの問題でして、たとえば、なぜ物がこわれるかということを調べます。——最近これを故障物理といたり、信頼性物理と呼んでおります。そういうものの研究をもとにして、加速寿命あるいは強制劣化というふうなことによって、なるべく短時間に評価をやろうという考え方もあります。

それから、もしその製品の寿命分布というふうなものの、事前情報があると、ベイズ流に予測するとか、中途打ち切りで全部試験しないでやめてパラメータを推定するとか、あるいは故

障の定義を少しきびしくして、早目に予知するというふうなことも考えられるわけです。

もう1つは、製品を保証しようと思っても、とうてい1ロットでサンプリングしてきて保証するわけにはいきませんから、長い間の技術水準というものをながめまして、長い間の技術の積み上げというもので、それを保証していこうという考え方に立つようになります。現に比較のお金が安い部品などでは数10 fit というところまでは、長い間のプロダクションをながめていって、試験データを積み上げ、その総合したものが目標とする故障率に達しているかを見るという考え方をしております。

それから、製品の信頼性が高くなってしまいますと、そういう試験なんかでは実証できませんから、物が出荷される前に潜在している欠陥を全部取り除いてしまう——これをスクリーニングと呼んでいますが——技術が非常に重視されてきています。

先ほど飛行機の場合に、故障が起ってからではおそいから、事前に故障の徴候を検知して、そして手を打つという行き方をお話ししましたが、それと大体対応するものです。

6. データ収集と管理

6番目としてデータ収集というところがあります。

先ほど予測のところでも話しましたように、データの質やデータの量が十分かというふうなことで、信頼性の技術は非常に大きく左右されます。そのために常々データを積むということが必要でありまして、最近のM I Sという考え方とも関係があるのですが、結局信頼性のデータは、総合的にいろいろな使われ方をしているものを、社内とか社外を問わず、しかもなるべく質のいいものを集めるということが必要になってきます。

そのためには、やはり最初からうまく計画し、その企業のちゃんと組織の整ったところで、きちんと集めるということが必要なことになります。総合的管理という立場からデータを集めて、すぐ使えるというような形に持っていくということを、常々やっておく必要があるわけです。

7. 各国の事情

7番目に各国の事情について述べてあります。これも非常にデータ収集と関係があります。米国では信頼性の技術を開発してきた過程では、いろいろな予測の技術を考えてのですが、それを活用する場合、やはりそれを裏づけるようなデータがなければなりません。そのためにアメリカの中にはデータを集めてきてそれを交換、活用するようなシステムができております。たとえばI D E P (Interservice Data Exchange Program) というのがあって、軍が中心になってテストデータを交換するシステムがあります。軍と契約しているようなメーカーとかユーザでテストしたデータは、必ずそれをあるところに集めてフィード・バックする、そうしますとテストのむだもなくなりますし、データもすぐ活用できるという考え方で実施されているシステムです。

先ほども申しましたF A R A D Aというのは、これもやはり海軍がI D E Pよりもっと質の高

い、突っ込んだ解析をして、その結果をフィード・バックするシステムです。

それからPRINCEというのは、Pは部品、Rはレライアビリティ、INはインフォメーション、そしてCEはセンターというようなそれぞれの略称であります。これは宇宙開発と関係しまして、航空宇宙局の中にあるデータ交換システムであります。

それからECRCというのは、Battelle Memorial Institute という研究会社がありまして、そこでやっているシステムです。ECRCは Electronic Component Reliability Center の略称です。

こういうふうにかくさんのところが、それぞれに質の違った解析をして、質の高いデータを供給するようにしているわけです。そのために信頼性の予測という技術も部品の選択もかなり容易に出来ることとなります。

以上はアメリカの場合ですが、それではほかの国はどうなのかといいますと、一番わからないのはソ連ですが、ソ連でも5カ年計画というのを立てまして、やはり宇宙開発と関係した仕事はかなりやっているようです。たとえばシステムの理論とか加速寿命ということも一つのテーマにあがっております。あれだけの技術を持っているということは、相当こういうことをやっているのではないかと思います。

ヨーロッパのほうですと、フランスにはCCTU—CCTというのはテレコミュニケーション・コミティといって、電気通信の総合委員会ですが、部品に対して総合的に国内統一のスペックを規定しまして、それで部品の品質の認定を行ないます。そういう認定検査に通ったものは、また定期的に検査をしまして、信頼性の保証を確認しているわけです。それと同時に国立通信研究所の中には、1962年から信頼性センターというものを置まして、その中でフィールド・データであるとか、あるいはそういうテスト・データを収集して、それを使いやすいような形に直して、データ・バンクをつくっております。ですからこの信頼性センターに行きますと、アメリカのデータに比べてフランスの部品がどうだというようなことは、大体わかるような仕組みになっております。

次にイギリスのほうはどうかといいますと、国内にいろいろな部品のスペックがたくさんあって、みんな勝手なことを言って困るということから、BSI (British Standard Institution)—日本の規格協会と工業会を一緒にしたみたいなものですが、そこが中心になり信頼性に関する統一なスペックをつくり、それで部品の品質保証を行なおうとしています。部品メーカーは、自分のところのテスト・データを6カ月ごとに自分でCRDS (Certified Reliability Data Sheet) に記入することを義務づけております。このように各国ともデータの蓄積ということをかなり熱心にやっているわけです。

それからスウェーデンはあまり大きな国ではありませんが、ヨーロッパではユーザー国として、アメリカのIDEPシステムと似たような、収集システムをつくっております。

このスウェーデンが最初に言い出しましてOECD (経済協力開発機構) のなかで保証された

電子部品の特性テスト・データを、インターナショナルに交換しようという計画が持ちあがっています。この計画を EXACT (International Exchange of Authenticated Electronic Component Data) とよんでいます。

これに対してアメリカは、自分のところには IDEP システムがあるから、そういうものは必要ないと言っておりまして、結局この EXACT 計画はヨーロッパ中心になってしまっています。

今年からスエーデン、スイス、その他北欧諸国、オーストリー、イタリア、それから ESRO (European Space Research Organization)、これはヨーロッパで総合的に宇宙開発を進めているインターナショナルな組織ですが、そういう国々や組織が一緒になりまして、この EXACT が発足します。

この情勢に対して、日本でもこのままですと時代におくれてしまいますから、日本の中にも何かデータ・バンクというようなものを、早くつくらなければいけないだろうということで、今年の4月から工業技術院の中に、信頼性技術開発室というものができました。いろいろな部品の信頼性試験方法の確立、できればデータの認証システムをなるべく早くつくる。また各社でテストしたデータとか、あるいはフィールドで集めたデータを一個所に集めて、それを解析した上で配布するシステムをつくりあげる。取りあえず室内という使用条件に対して、一体どういう使い方したらどれくらいの故障率、したがってどういうきびしさ係数になっているかというようなデータを求めようということになっています。いままでは大体アメリカのデータをもってきて、それをそのまま当てはめていろいろやってきていたわけなのですが、やはり自分のデータを持たなければいけないというところからこういう組織ができたわけです。

大体世界的な傾向として各国それぞれの立ち場で、データと技術を積むという方向に向かっております。これがおくれたままでありますと、対外的にも物が売れなくなります。今後とも各企業が、そういう努力をしていく必要があると痛感する次第です。