

安心な商品と信頼性技術

Trends in Reliability Technologies for Safety and Customer Satisfaction

川上 崇 藤山 一成

■ KAWAKAMI Takashi

■ FUJIYAMA Kazunari

安全・安心が強く求められる社会になっている。商品については、安全性はもとより、顧客が安心してその商品を選ぶうえで、魅力的な機能や価格とともに、故障が少なく、保守サービスも整い、優れた信頼性を持っていることが条件になる。また、開発過程において信頼性設計は、機能とコストをバランスさせてコストパフォーマンスを向上する役割を担っており、メーカーへの満足感、安心感、信頼感を築くためにも重要性を増している。

ここではハードウェアの信頼性に注目し、故障物理に立脚した計算機上のシミュレーション技術の活用とリスクベース工学の導入を二つの流れとして技術の動向を紹介する。

Safety has recently come to be recognized as a matter of key importance from the political, economic, and technological viewpoints. The principle of reliability is similar to that of safety, and reliability is the primary characteristic of quality. Industrial products must provide not only safety but also reliability in order for customers to be satisfied with their cost performance.

This paper introduces the conception of safe and satisfactory products, and the role of reliability technologies in realizing such conception as hardware products.

安心な商品

政治、経済、日常の生活、いずれにおいても安心が強く求められるようになってきている。ひと口に安心と言ってもそのとらえ方は人や時代によって大きく異なる。ここでは、図1に示すように個人、生活空間、国家、国際社会の四つの層に分けて考えてみた。

まず個人の願いである健康と生きがいと財を安心の中心に据え、安心は、個人のこれらの願いが維持、発展している過程で得られると考えた。そして生活空間の層においては、個人の健康は医療と食に支えられ、生きがいは道徳に支えられ、財は衣、住、器財によって満たされる。国家の層においては、健康は環境、保険に支えられ、生きがいは教育、法律などに裏打ちされ、財は社会保障、経済、生産財、社会インフラ、情報インフラに支えられている。国際社会の層においては、国際政治、国際経済、環境、資源がこれらを取り囲んでいる。安心は、個人の周りのこれらの要因が連動することによって得られる。

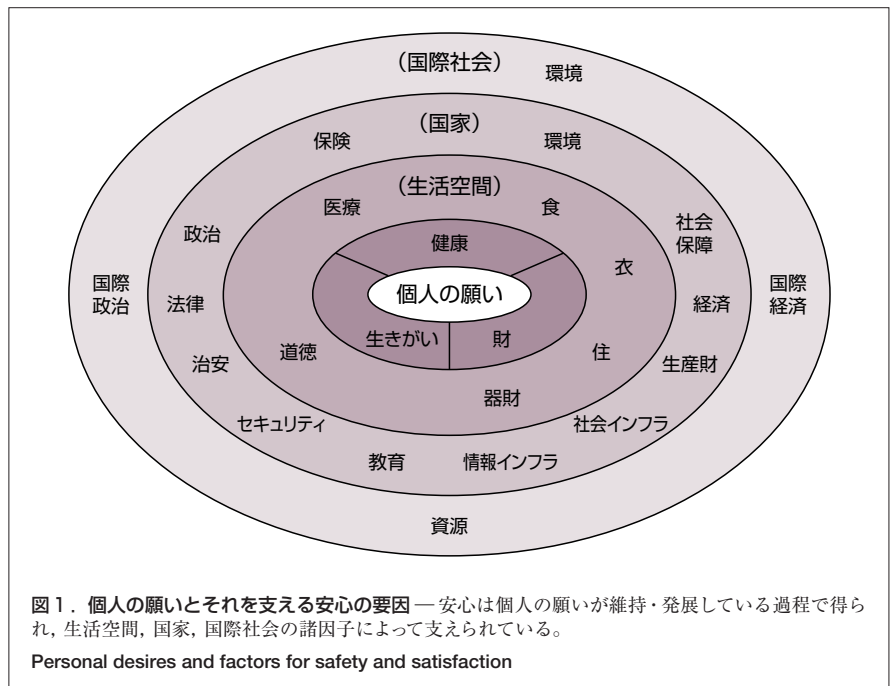


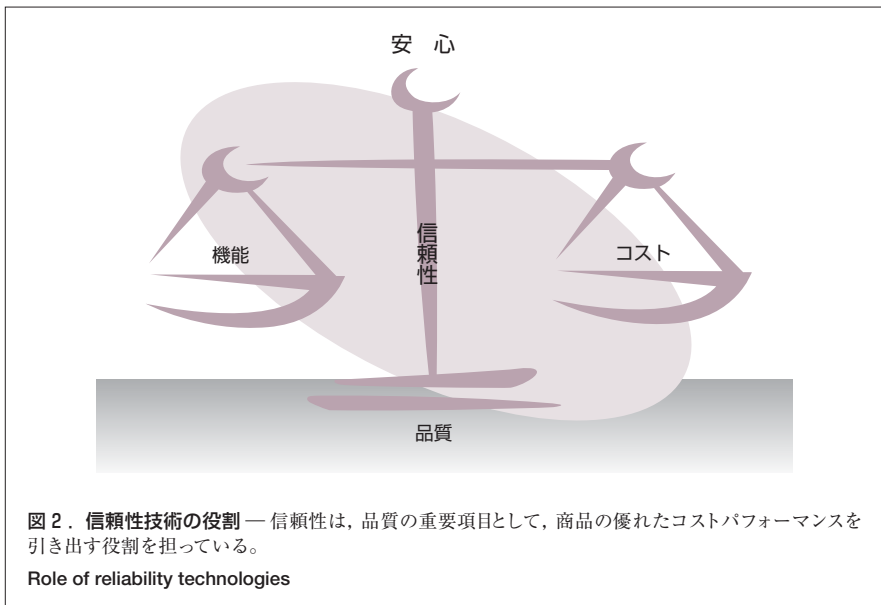
図1. 個人の願いとそれを支える安心の要因 — 安心は個人の願いが維持・発展している過程で得られ、生活空間、国家、国際社会の諸因子によって支えられている。

Personal desires and factors for safety and satisfaction

東芝グループは、“デジタルプロダクト”、“電子デバイス”、“社会インフラ”、“家庭電器”などの事業を行っており、安心の要因の消費財、生産財、社会・情報インフラを商品として具現化して顧客に提供している。これらの商品は、

安全に働くことを第一義に、顧客が適切な期間優れた機能を楽しみ、そのコストパフォーマンスを認めて初めて信頼し、安心して選んでいただけるようになる。

信頼性とは、対象となるシステムや



デバイスなどのアイテムが、与えられた条件で、規定される期間中、要求された機能を果たすことができる性質をいう。一方、品質は、製品又はサービスが明示又は暗黙の要望を満たす能力として持っている特徴及び特性の全体をいい、要望には使いやすさ、安全性、稼働率、保全性、経済性、環境性とともに関係性が要望の中心に位置づけられる^{(1),(2)}。信頼性技術は、耐用期間中の故障を未然に防止する技術であり、安全性や保全性と深くかかわっている⁽³⁾。また、図2に示すように、機能を引き出してコストパフォーマンスを高める経済性の側面もたいへんに大きい。このように信頼性技術は、顧客に安心と満足を提供することを目指しており、今日、ハードウェア開発においてもソフトウェア開発においても役割が増している。

この特集“安心を提供する信頼性技術”では、特にハードウェア面を対象として、信頼性技術に取り組む当社の姿勢を紹介する。

信頼性技術

信頼性技術は決して新しいものではなく、太古から人は、経験的に大きな力が働く道具には部材をたくして力を

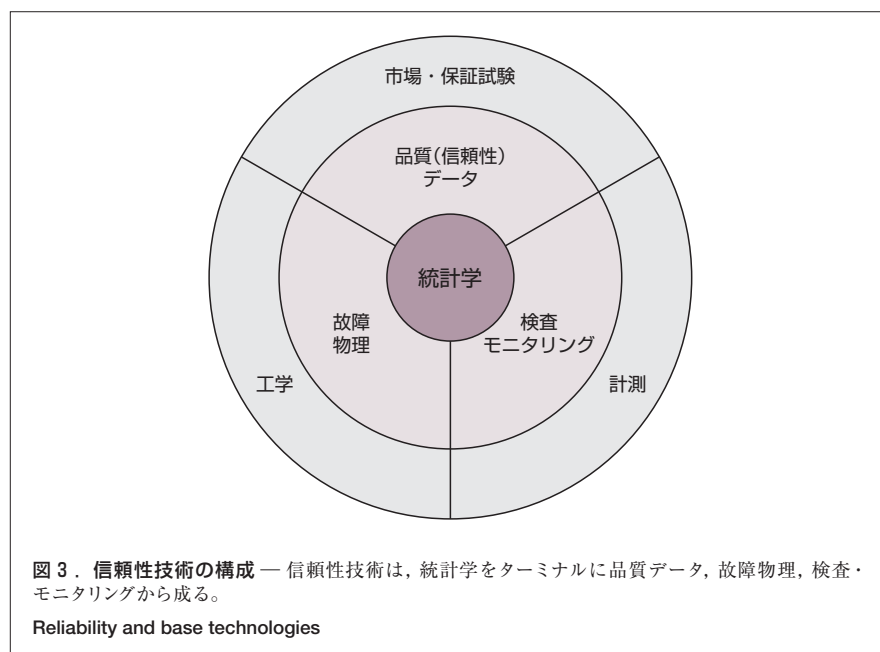
分散させて使ってきた。信頼性ということばは、米国において戦時中に電気・電子機器の故障対策を考えるなかで生まれ、1950年代に信頼性工学として体系化され、アポロ計画で一時代を築いたことは有名である。その後、宇宙、航空などの輸送機関、化学や原子力などのプラント、医療、エレクトロニクス分野で導入が進み、最近ではコストバランスやリスクアセスメントマネジメントの観点から、再び注目を集めるように

なっている。

信頼性技術の構成

信頼性技術の構成を図3に示した。統計学をターミナルとして、品質(信頼性)データ、故障物理、検査モニタリングから構成される。特に信頼性と安全性が求められる量産品や巨大システムの受注生産品の開発においては、信頼性は故障確率のすそ野の形に強く依存するため、歴史に裏打ちされた市場における品質データは何にも替え難いものである。価値ある過去の品質データを資産として活用するためには、ナレッジデータベース化が急がれる。

一方で、商品サイクルの速い昨今の半導体デバイスや情報機器開発においては、新規の材料、構造、デバイスが導入されることが多く、過去の経験にだけ頼ってはいはサイクルを先取りして魅力的な商品を提供できない。そのため、想定される故障のメカニズムを先行的に究明してモデル化し、故障物理にまとめ上げておくことが新規商品をタイムリーに市場投入するために欠かせなくなってきている。故障物理は、1960年代から電気工学や電子工学の分野で提唱され、今日では物理や化学



といった理学に基づき、機械工学、電気・電子工学、材料工学、化学工学など多くの工学系技術によって、モデルの構築が精力的に進められている。

更に、ハードウェアから寸法や材料物性などのばらつきを完全に排除することはできない。これらのばらつきが信頼性に与える影響を管理するためには、高精度でスピーディな検査技術が欠かせない。また、市場における負荷も実際にはまちまちで、必ずしも設計条件と対応するとは限らない。このために、保守の一環として負荷や劣化などの情報をモニタリングする技術が、安心な商品を提供していくうえで必要になっている。

■ 信頼性技術の動向

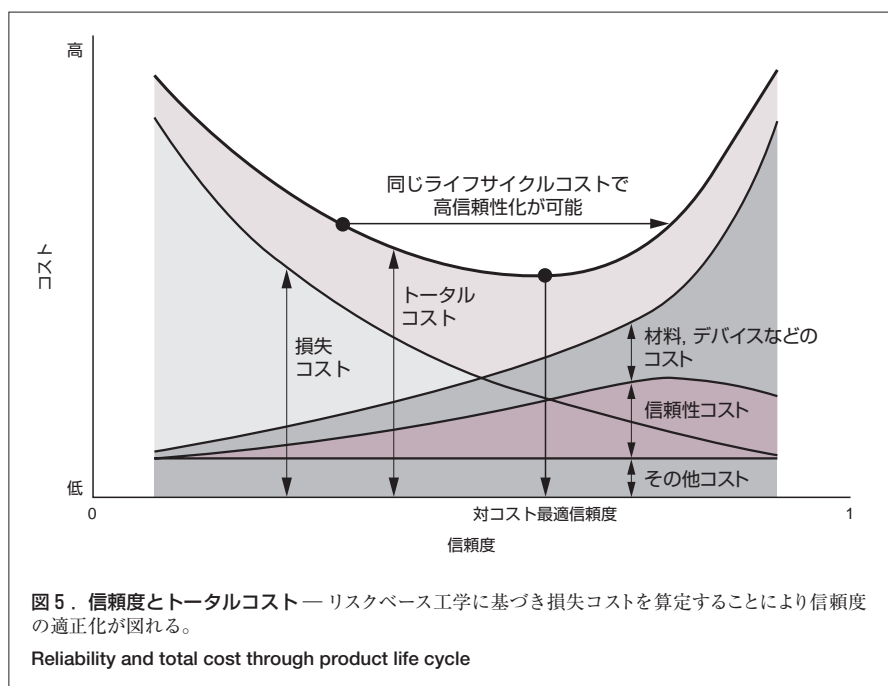
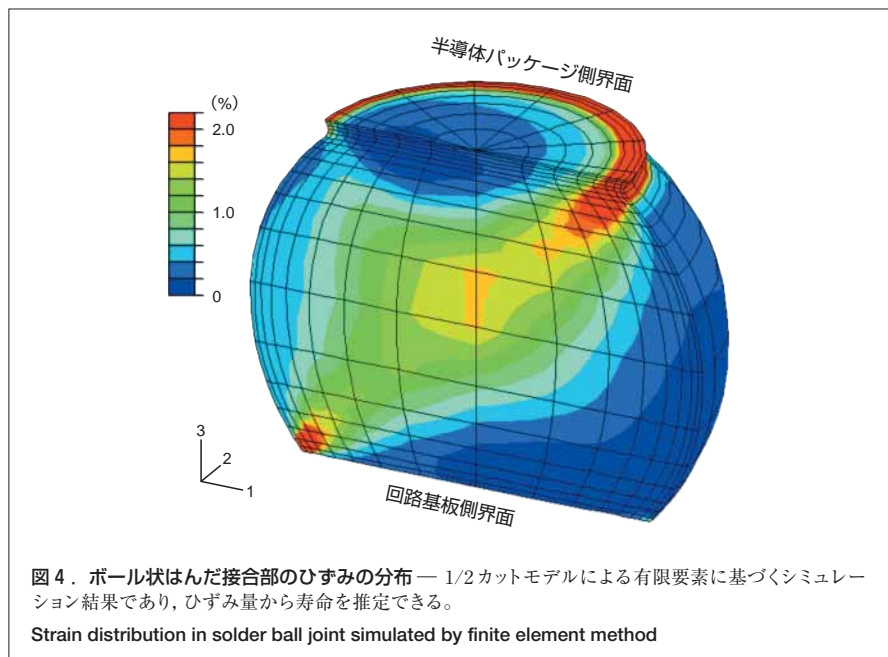
信頼性技術の動向としては、二つの大きな流れがある。一つは、故障物理モデルに基づき計算機上で数値シミュレーション(CAE)を活用する流れであり、もう一つは、リスクベース工学を導入する流れである。

より高い信頼性を実現するためには、設計の自由度の大きい開発の上流段階から検討を加えていく必要がある。試作による検討に先立って、CAEに基づいて信頼性の検討を行えばたいへんに有益である。一例として、ボール状のはんだ接合部に生じるひずみ変動をシミュレーションした結果を図4に示した。特に、高機能化の進む情報機器においては熱負荷も厳しくなる傾向にあり、はんだ接合部の金属疲労を防止することが信頼性設計の重要項目の一つとなっている。寿命を規定するひずみ変動を開発の上流で把握できる効果はたいへんに大きい^{(4), (5)}。

世の中に完全なものはなく、われわれは不完全さや不確かさと共存している。リスクベース工学は、現実のこの不確かさを受け入れ、企画・設計・製造・保守・廃棄のプロセスを合理的なものとしていこうとするものである⁽⁶⁾⁻⁽⁸⁾。リスクは、“故障の発生確率×影響度”

で記述され、損失コストなどに換算される。故障確率は1から信頼度を減じたものであり、リスクベース工学も結局は信頼性工学に基づいている。信頼度とコストの概念的な関係を図5に示した。材料やデバイスの購入に要するコスト、信頼性を作り込むのに要するコスト、その他設計・製造などに要するコストの合計は、高い信頼性を望むほど

高くなる。一方、歩留りや補償という損失コストは目標とする信頼度を上げることにより抑えることができる。ライフサイクルを通したトータルコストを考えると、最適な信頼度や場合によっては同じコストでも信頼度の高い答えが存在しうる。また、システムや開発プロセスの中の部分的な信頼性の過不足がライフサイクルを通してリスクに及ぼす



影響を見積もることができ、これらを調和することによって商品としての信頼性を高めることができるようになる。

これらの動向を踏まえ、商品のライフサイクルに沿って、信頼性技術の取り組むべき項目を**囲み記事**に示した。

この特集の論文では、“高機能デジタル機器のエレクトロニクス実装信頼性設計” (p.6-9)においては、デジタルプロダクツ事業を対象に設計段階の故障物理、CAE、複合領域 (MP) の課題に対し、応答曲面法を用いた統合信頼性設計法の取組みを紹介する。“先端半導体 LSI デバイスの信頼性保証技術” (p.10-13)においては、電子デバイス事業を対象にナレッジベースエンジニアリング (KBE) に基づきシステム LSI の企画・設計・調達・製造を通して品質・信頼性を作り込む認定システムについて紹介する。“エアコン用コンプレッサにおける軸受の信頼性評価手法” (p.14-17)においては、家電事業を対象に設計段階の潤滑に関する先進的な CAE 技術を紹介する。また、社会インフラ事業を対象とした取組みについては次の3件を紹介する。“火力発電プラントの信頼性と経済性を高める技

術” (p.18-21)においては、保守段階のモニタリング技術やリスクベースメンテナンス (RBM) の活用について紹介する。“原子力発電プラントの信頼性向上技術” (p.22-25)においては、材料開発を含めて設計・製造段階の検査や各種の CAE の活用について紹介する。“世界最高速エレベーターを支える高信頼性技術” (p.26-29)においては、TAIPEI 101 に納入したエレベーターの設計・出荷段階の乗りごこち性・快適性・信頼性を、試験と CAE を合理的に組み合わせることで並び立たせたことについて紹介する。

安心な商品づくりに向けて

信頼性は、あらゆる商品にとってライフサイクルを通しての取組みである。安全性、保全性に加え経済性とも深くかかわっており、商品への安心をつかさどる技術としてその重要性をいっそう増している。この特集においては、最近の取組みからその一部を紹介した。

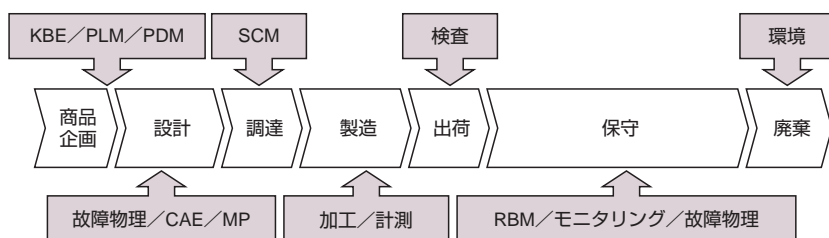
東芝グループの信頼性技術は、歴史に裏打ちされた品質データを資産とし、先進技術をたゆまずに開発・導入する

ことにより、顧客から信頼を寄せてもらえる安心な商品をつくり出していく。

文献

- (1) 日本規格協会. 品質管理及び品質保証 - 用語邦訳 ISO 8402.
- (2) 市川昌弘. 構造信頼性工学. 海文堂出版, 1996, 194p.
- (3) 塩見 弘. 信頼性・保全性の考え方と進め方. 技術評論社, 1979, 206p.
- (4) Mukai, M. et al. Thermal Fatigue Life of Solder Bumps in BGA. JSME Int. J., 41, 2, A, 1998, p.260-266.
- (5) 高橋浩之, ほか. Sn-Ag-Cu 鉛フリーはんだ接合部の熱疲労寿命シミュレーション. エレクトロニクス実装学会誌, 7, 4, 2004, p.308-313.
- (6) 酒井信介. 技術分野におけるリスクアセスメント. 森北出版, 2003, 251p.
- (7) 日本機械学会. “小特集 リスクベース工学”. 日本機械学会誌, 106, 1020, 2003, p.846-886.
- (8) 日本信頼性学会. “展望 安全と信頼とリスク - 安全・安心な社会を目指して”. REAJ誌, 26, 6, 2004, p.494-571.

商品のライフサイクルと信頼性向上への取組み



KBE : Knowledge Based Engineering
 PLM : Product Lifecycle Management
 PDM : Product Data Management
 CAE : Computer Aided Engineering

MP : Multi Physics
 SCM : Supply Chain Management
 RBM : Risk Base Maintenance

商品の信頼性を向上するには不断の取組みが必要であり、商品企画から廃棄までのライフサイクルに沿って、信頼性技術が注力していく項目を各段階で示した。故障物理に基づく CAE の活用と RBM などのリス

クベース工学の導入の流れに加え、KBE に基づくデータベースの活用、SCM による調達品の品質管理、計測・検査・モニタリング技術、易解体・易分解などの環境技術がこれからの信頼性向上に欠かせない。



川上 崇
 KAWAKAMI Takashi, D.Eng.

研究開発センター 機械・システムラボラトリー研究主幹, 工博。構造強度と信頼性設計法の開発に従事。日本機械学会フェロー, 品質工学会会員。Mechanical Systems Lab.



藤山 一成
 FUJIYAMA Kazunari, D.Eng.

電力・社会システム社 電力・社会システム技術開発センター 金属・セラミックス材料開発部主幹, 工博。タービン構造強度・保守管理技術の開発に従事。日本機械学会, 日本材料学会会員。(現 名城大学理工学部教授) Power and Industrial Systems Research and Development Center