

無断使用をお断りします。日科技連出版社

信頼性技術叢書

機械・構造系 製品の信頼性

信頼性技術叢書編集委員会・堀籠教夫【監修】

田村 優【編著】

岡本直樹・木村 潤【著】

日科技連

信頼性技術叢書の刊行にあたって

信頼性技術の体系的図書は1983年から1985年にかけて刊行された全15巻の「信頼性工学シリーズ」以降久しく途絶えていました。その間、信頼性の技術は着実に産業界に浸透していきました。現在、家電や自動車のような耐久消費財はほとんど故障しなくなっています。例えば部品を買い集めて自作したパソコンでも、めったに故障しません。これは部品の信頼性が飛躍的に向上した賜物と考えられます。このように、21世紀の消費者は製品の故障についてあまり考えることなく、製品の快適性や利便性を享受できるようになっています。

しかしながら、一方では社会的に影響を与える大規模システムの事故や、製品のリコール事例は後を絶たず、むしろ増加する傾向にあって、市民生活の安全や安心を脅かしている側面もあります。そこで、事故の根源を断ち、再発防止や未然防止につなげる技術的かつ管理的な手立てを検討する活動が必要になり、そのために21世紀の視点で信頼性技術を再評価し、再構築し、何が必要で、何が重要かを明確に示すことが望まれています。

本叢書はこのような背景を考慮して、信頼性に関心を持つ企業人、業務を通じて信頼性に関わりのある技術者や研究者、これから学んでいこうとする学生などへの啓蒙と技術知識の提供を企図して刊行することにしました。

本叢書では2つの系列を計画しました。1つは信頼性を専門としない企業人や技術者、あるいは学生の方々が信頼性を平易に理解できるような教育啓蒙の図書です。もう1つは業務のうえで信頼性に関わりを持つ技術者や研究者を対象に、信頼性の技術や管理の概念や方法を深く掘り下げた専門書です。

いずれの系列でも、座右の書として置いてもらえるよう、業務に役立つ考え方、理論、技術手法、技術ノウハウなどを第一線の専門家に開示していただき、また最新の有効な研究成果も平易な記述で紹介することを特徴にしています。

無断使用をお断りします。日科技連出版社

● ● 信頼性技術叢書の刊行にあたって

また、従来の信頼性の対象範囲に捉われず、信頼性のフロンティアにある事項を紹介することも本叢書の特徴の1つです。安全性はもちろん、環境保全性との関連や、ハードウェア、ソフトウェアおよびサービスの信頼性など、幅広く取り上げていく所存です。

本叢書は21世紀の要求にマッチした、実務に役立つテーマを掲げて、逐次刊行していきます。

今後とも本叢書を温かい目でご覧いただき、ご利用いただくよう切にお願いします。

信頼性技術叢書編集委員会

益 田 昭 彦
鈴 木 和 幸
二 川 清

まえがき

機械・構造系製品は、炊飯器、冷蔵庫などの身近な家電製品から、スマートフォン、パソコンなどの情報通信機器、事務機器、住宅設備機器、自動車・航空機などの輸送機器から建造物にいたるまで幅広い製品が対象となる。

信頼性は、1940年代の米軍の航空用電子機器や海軍用電子機器に採用された電子管の故障解析が発端となるが、機械・構造系製品の信頼性が注目されたのは、1953年に起こったコメット機の墜落に関する故障解析であるといわれている。それ以前に起こった給水塔や船舶の破壊事故もそうであるが、先人達が破壊現象の破壊メカニズムが明らかではない時代に、破損した破面の観察（フラクトグラフィ）を通して、脆性破壊や疲労破壊などの現象と破壊メカニズムを明らかにし、さらには故障解析を始めとした信頼性技術の構築が、現在の機械・構造系製品の信頼性の高さに結びついていると考える。また、機械・構造系製品ならびに部品については、信頼性試験にかかる日数や試験コストから多くのデータを取得することがむずかしく、試験品数が開発の各ロットで1～2個というケースも珍しくない。この点から、信頼性で使われる統計的解析の適用やばらつきを含めた分布推定がむずかしいのも現実である。このことから、現在でも故障した部品の破面観察を含めた解析が原点であることは、昔も今もまったく変わっていない。

一方、製品への安全性要求も高く、少なくとも顧客もしくはその製品が影響を及ぼす範囲における安全性の確保は必須である。この安全性を保証するためには、設計段階から故障が発生しても人体に危害を加えるような事象にならないよう考慮したり、想定される入力以上まで耐えられるような強度にするなどの設計思想が重要になる。また、長期にわたって信頼性と安全性を確保するためには、使用している材料特性や使用する使われ方条件や環境条件によっては、保全性からの考慮も必要であり、保守・定期点検なども視野に入れた寿命設計が必要となる。特に高分子材料では、材料特性上、顧客の要求する耐用

寿命までの保証がむずかしい場合も存在するため、メンテナンス部品や点検部位・部品に指定し顧客の要求に応えることになる。我々の願いは、「顧客が快適かつ安心して製品を使い続け満足していただく」ことであり、そのために、「信頼性」、「保全性」、「安全性」の3つの視点からの設計が必要となる。このことから、工学分野に固執せず、この3つの視点から信頼ある製品をつくるために必要な事項を、「融合」をキーワードに整理しまとめている。

さらに、顧客が快適にかつ安心して製品を使い続けていただくためには、信頼性設計を実施するにあたり重要な因子となる、「何を」、「どのような条件に対して」、「どう保証するのか」、すなわち顧客の使われ方や期待値の把握と信頼性目標の設定について、事例を交え解説している。

なお、本書は、機械・構造系製品の信頼性を保証するために必要な事項とそれに関わる技術に特化してまとめているため、信頼性の統計解析手法や電子・電装系に関わる信頼性技術については専門書を見ていただきたい。

本書を執筆する機会を作ってくくださった、信頼性技術叢書編集委員会の皆様と、若かりし日から信頼性のご指導をいただいた、東京海洋大学名誉教授の堀籠教夫先生に厚く御礼を申し上げます。

また、執筆は、永きにわたり信頼性研究を通じて切磋琢磨してきた岡本直樹氏と木村潤氏とともに、機械・構造系製品設計に必要な事項を整理しまとめました。機械・構造系製品に携わる技術者だけでなく、電子・電装系製品の技術者にも一読していただければ幸いです。

最後に、本書の発刊にいたるまでに数多くのご支援とご教授をいただきました日科技連出版社の石田新氏に深謝いたします。

2021年4月

著者を代表して

田村 優

目 次

信頼性技術叢書の刊行にあたって *iii*

まえがき *v*

第 1 章 機械・構造系製品の信頼性 1

- 1.1 機械・構造系製品の信頼性動向 2
- 1.2 機械・構造系製品の信頼性の歩み 6
- 1.3 機械・構造系製品の信頼性の概念 11
- 1.4 信頼性の尺度と信頼性特性値 21
- 1.5 機械・構造系製品の信頼性向上のための着目点 23
- 第 1 章の参考文献 25

第 2 章 機械・構造系製品の信頼性保証 27

- 2.1 機械・構造系製品の信頼性保証 28
- 2.2 ライフサイクルと信頼性 30
- 2.3 機械・構造系製品の信頼性保証体系 32
- 2.4 信頼性と保全性 46
- 2.5 信頼性と安全性 55
- 第 2 章の参考文献 58

第 3 章 事例：機械・構造系製品の信頼性保証 59

- 3.1 自動車の信頼性保証 60
- 3.2 航空機の信頼性保証 86
- 3.3 複合機・プリンターの信頼性保証 98
- 第 3 章の参考文献 111

第 4 章 機械・構造系製品の信頼性設計 113

- 4.1 信頼性設計と安全性設計の必要性 114
- 4.2 強度設計 115

● ● 目次

4.3	衝撃強度設計	124
4.4	疲労強度設計	129
4.5	頻度解析法	136
4.6	破壊力学	140
4.7	経時劣化性能設計	144
4.8	信頼性・安全性設計	147
4.9	信頼性データ解析	157
	第4章の参考文献	163

第5章 機械・構造系製品の信頼性設計と材料..... 165

5.1	機械・構造系製品を構成する材料	166
5.2	金属材料	167
5.3	高分子材料	194
	第5章の参考文献	227

第6章 事例：機械・構造系製品の故障解析..... 229

6.1	住宅設備機器の故障解析事例	230
6.2	複合機・プリンターの故障解析事例	248
	第6章の参考文献	260

第7章 機械・構造系製品の信頼性展望..... 261

7.1	新しい時代における機械・構造系製品の信頼性	262
7.2	複合機・プリンターにおけるIoT化に伴う予知保全、可用性のあり方	264
7.3	自動車のインテリジェント化における信頼性保証	273
7.4	機械・構造系製品の信頼性展望	279
	第7章の参考文献	281

索引 282

監修者・著者紹介 285

1.1

機械・構造系製品の信頼性動向

機械・構造系製品というと、炊飯器、冷蔵庫、洗濯機、テレビなどの家電製品、スマートフォンやオーディオ機器などのデジタル機器、複合機・プリンターなどの事務機器、トイレ、洗面機器・水栓金具などの住宅設備機器、バイク、自動車、電車、船舶、航空機などの輸送機器や橋、建造物にいたるまで実に幅広い製品が対象となる。

信頼性を学問として勉強・研究されている方々は別として、企業で「ものづくり」に携わっている方々にとっては、生産する製品が、直接顧客(お客様)に届け使用していただける場合と、公共機関などを通して間接的にその製品を利用していただく場合の差はあるものの、「顧客が快適にかつ安心して製品を使い続け満足していただく」ことは共通の願いである。この顧客の満足を得るためには、まずは、顧客の要求に沿った十分な「信頼性」を確保することが必要であることはいうまでもない。

企業は、顧客の要求を的確に把握し、顧客の期待する製品を世の中に提供していくことが役割である。この製品開発を行う場合、まずは商品企画段階において、市場動向、競合他社製品の動向や技術動向などの市場データを収集し、そのデータ分析に基づき、対象となる商品のコンセプトを創り上げていく。この商品コンセプトは、一般の消費者が購入し使用する車、冷蔵庫やテレビなどの耐久消費材であれば、その製品の特長を表す魅力品質に関わる目標と、製品の信頼を得るために必要な当たり前品質の目標を設定することになる。

例えば、車でいうならば、魅力品質の一例として、車の速さを表す0～100mまでのタイムで示す動力性能、運転者が意図どおりに車を操れるかを示す操縦安定性、室内での静かさや振動のレベルを表す音振性能、室内内装品の高級感や品質感のよさ、カップホルダーやラゲッジなどの使いやすさなどの利便性などがある。これらの目標は、通常、目標性能として、一部の感性的に決める項目を除き数値で表されることが多い。そして、これらの目標性能は、

のためにかかる時間や補修部品費用など経費削減にとっては重要である。自動車の場合、前述したように、定期点検、車検時にかかる費用に加え、摩耗・消耗部品の費用が負担となる。このことから、自動車業界は、CS(Customer Satisfaction)向上や信頼性向上のために、顧客への負担を少なくするためのメンテナンスフリーに取り組んで来た。その結果、摩耗・消耗部品以外の多くの部品には、メンテナンスフリーになっているものが多く、このメンテナンスフリーの拡大により、車検時のチェック項目も減少し、車検時間の短縮と顧客の費用負担が低減されて来た。

また、摩耗・消耗部品は、直接、顧客への金銭的な負担につながるため、顧客の関心も高く、摩耗・消耗部品の寿命をどこまで延長するかは重要な課題であり、顧客の使い方や環境条件、顧客の期待値、他社車の実力をベンチマークし信頼性目標に反映していく。

2.3

機械・構造系製品の信頼性保証体系^{[2][3]}

故障や欠陥のない製品を顧客に提供し、また顧客が快適にかつ安心して製品を使い続けていただくためには、図2.1に示す信頼性保証体系図に基づき、品質保証、開発、製造、検査、購買、物流、サービス部門が一丸となって信頼性プログラムを実行する必要がある(表2.3)。信頼性保証体系図は、製品の信頼性保証を行うために実施する信頼性保証活動の全容を示したもので、この活動を通して信頼性の高い製品を顧客に提供する。この信頼性に保全性が加わった場合には、「信頼性・保全性保証」ならびに「信頼性・保全性プログラム」と呼ぶ。

「信頼性・保全性保証」とは、「アイテムが与えられた信頼性・保全性性能の要求事項を満たすという確証を得るのに必要な、適切で計画的、かつ、体系的な活動を実施する行為」(JIS Z 8115:2000)である。また、「信頼性・保全性プログラム」は、「時間的にスケジュール化された諸活動、資源及び諸行事など

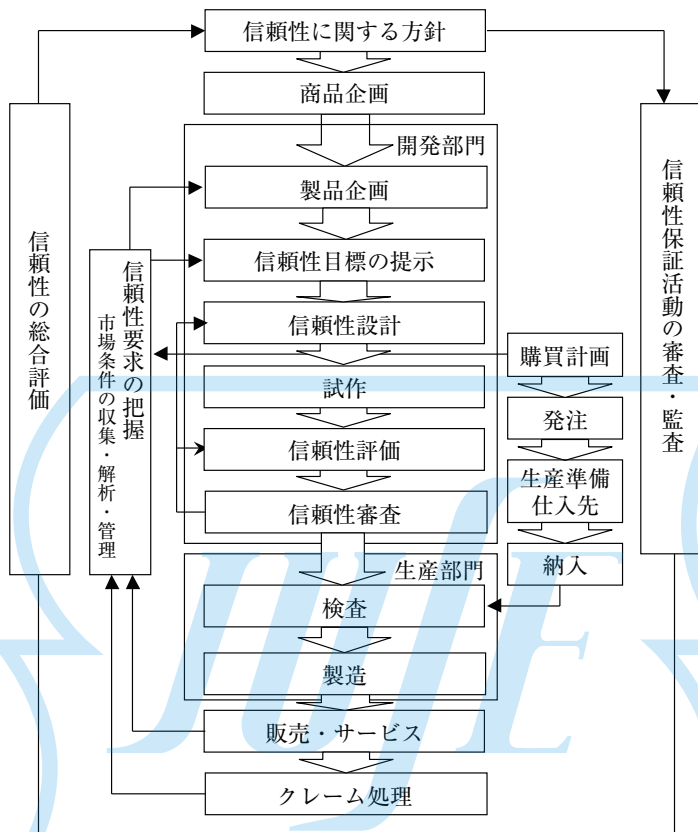


図 2.1 信頼性保証体系図

の文書一式で、その内容は、アイテムが与えられた契約又はプロジェクトの信頼性・保全性性能の要求事項を確実に満足するための組織構成、責任分担、手続き、諸活動、ケーパビリティ、資源などを具体化する資料)(JIS Z 8115: 2000)である。

信頼性保証体系図に準じて信頼性保証活動を推進するにあたっては、下記の事項が重要となる。

- ① 対象となる製品のライフサイクルが想定され、「信頼性」、「保全性」、「安全性」を含めたライフサイクルマネジメントが構築できている。

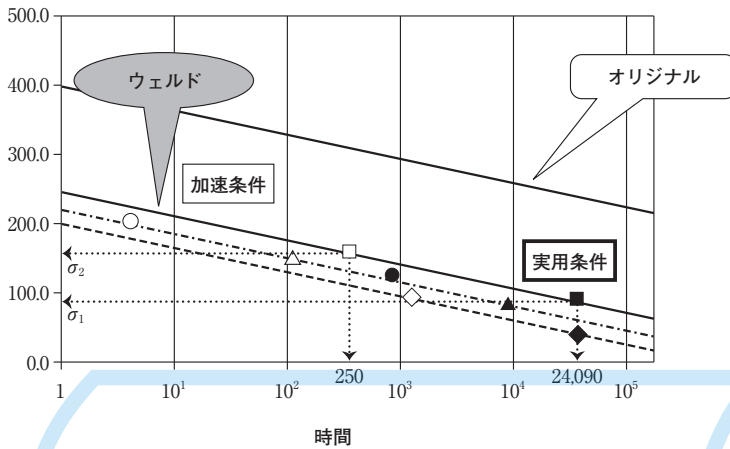


図 6.18 PPS 樹脂の加速試験でのウェルド部分の耐久性

4) PPS 部品の破損事例

PPS 部品は、金属代替部品として高い強度を有しているが、ある一定以上の強度で破損、破壊する。ガラス繊維で補強しているものが多く、その破面には特徴がある。

事例 1：PPS 部品での延性破壊

図 6.19、図 6.20 は過大な応力により破損した破面であり、ガラス繊維の破

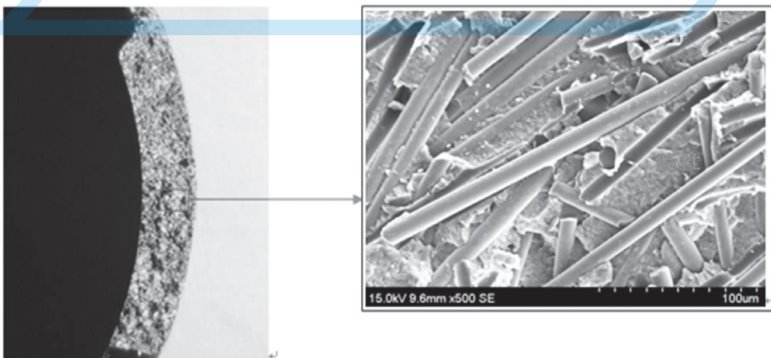


図 6.19 破断面と拡大図

監修者紹介

益田 昭彦(ますだ あきひこ)

1940年川崎市生まれ。電気通信大学大学院博士課程 修了。工学博士。

日本電気㈱にて通信装置の生産技術、品質管理、信頼性技術に従事(本社主席技師長)。帝京科学大学教授、同大学大学院主任教授、日本信頼性学会副会長、IEC TC 56 信頼性国内専門委員会委員長などを歴任。

現在、信頼性七つ道具(R7)実践工房 代表、技術コンサルタント。

主な著書に、『品質保証のための信頼性入門』(共著、日科技連出版社、2002年)、『新 FMEA 技法』(共著、日科技連出版社、2012年)がある。

工業標準化経済産業大臣表彰、日本品質管理学会品質技術賞、日本信頼性学会奨励賞、IEEE Reliability Japan Chapter Award(2007年信頼性技術功績賞)。

鈴木 和幸(すずき かずゆき)

1950年渋谷区生まれ。東京工業大学大学院博士課程 修了。工学博士。

電気通信大学 名誉教授、同大学大学院情報理工学研究科 特任教授。

主な著書に、『信頼性・安全性の確保と未然防止』(日本規格協会、2013年)、『未然防止の原理とそのシステム』(日科技連出版社、2004年)、『品質保証のための信頼性入門』(共著、日科技連出版社、2002年)がある。

Wilcoxon Award(米国品質学会、米国統計学会、1999年)、デミング賞本賞(2014年)。

二川 清(にかわ きよし)

1949年大阪市生まれ。大阪大学基礎工学部物性物理工学科卒業、同大学院修士課程修了。工学博士。

NEC、NEC エレクトロニクス、大阪大学などで信頼性の実務と研究開発に従事。

現在、デバイス評価技術研究所 代表。

主な著書に『半導体デバイスの不良・故障解析技術』(編著、日科技連出版社、2019年)、『はじめてのデバイス評価技術 第2版』(森北出版、2012年)、『新版 LSI 故障解析技術』(日科技連出版社、2011年)がある。

信頼性技術功労賞(IEEE 信頼性部門日本支部)、論文賞(レーザー学会)などを受賞。

堀籠 教夫(ほりごめ みちお)

1940年生まれ。東京商船大学(現 東京海洋大学)卒業。東京海洋大学 名誉教授。工学博士。

主な著書に、『信頼性ハンドブック』(共編著、日科技連出版社、1996年)がある。

瑞宝中綬賞、日本船用機関学会(現 日本マリンエンジニアリング学会)土光賞、電子情報通信学会フェロー。

編著者紹介

田村 優(たむら まさる) 全体編集, 第1章, 第2章 2.1~2.3節, 2.5節, 第3章 3.1~3.2節, 第4章 4.1~4.8節 第5章 5.1~5.2節, 第7章 7.1節, 7.3~7.4節執筆担当

1957年生まれ。慶應義塾大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程修了。

日産自動車株式会社車両実験部, TCSX(品質保証), 製品開発本部で, 車両開発, 品質戦略/品質保証, 信頼性技術/信頼性試験開発に従事。

現在, 河西工業株式会社事業本部本部長, ものづくり本部副本部長 常務役員。

主な著書に『信頼性ハンドブック』(共著, 日科技連出版社, 1996年), 『カーエレクトロニクスにおける最近の欠陥・トラブル事例とその対策』(共著, 技術情報協会, 2002年), 『ゴム・樹脂製品における故障解析と寿命予測』(共編著, 日本テクノセンター, 2002年), 『新版 信頼性ハンドブック』(共著, 日科技連出版社, 2014年), 「信頼性技法実践講座 故障物理と寿命予測テキスト」(共著, 日本科学技術連盟, 2004年)がある。

日科技連信頼性保全性シンポジウム推奨報文賞受賞。

著者紹介

岡本直樹(おかもと なおき) 第2章 2.4節, 第3章 3.3節, 第4章 4.9節, 第6章 6.2節, 第7章 7.2節執筆担当

1961年生まれ。横浜国立大学工学部金属工学科卒業。

富士ゼロックス株式会社にて, 複合機, プリンターなどの信頼性試験, 故障解析, 研究技術開発, 品質保証に関する業務に従事。

現在, 一般財団法人同友会 藤沢湘南台病院 ライフメディカル健診プラザ課長, 日本科学技術連盟信頼性セミナー講師。

主な著書に『ゴム・樹脂製品における故障解析と寿命予測』(共著, 日本テクノセンター, 2002年), 「信頼性技法実践講座 故障物理と寿命予測テキスト」(共著, 日本科学技術連盟, 2004年)がある。

木村 潤(きむら じゅん) 第2章 2.3節, 第5章 5.3節, 第6章 6.1節執筆担当

1960年生まれ。宮崎大学大学院工学研究科工業化学専攻修了。

TOTO株式会社にて, 高分子材料を使用した新製品開発, 信頼性評価, 故障解析に関する業務に従事。SURYA TOTO INDONESIA Tbk. 副社長, TOTOエンブラ株式会社代表取締役社長を経て, 現在, 公立大学法人北九州市立大学地域連携・国際担当部長, (一社)日本産業カウンセラー協会理事。

主な著書に『信頼性ハンドブック』(共著, 日科技連出版社, 1996年), 『ゴム・樹脂製品における故障解析と寿命予測』(共著, 日本テクノセンター, 2002年), 「信頼性技法実践講座 故障物理と寿命予測テキスト」(共著, 日本科学技術連盟, 2004年)がある。

■信頼性技術叢書

機械・構造系製品の信頼性

2021年5月25日 第1刷発行

監修者 信頼性技術叢書編集委員会 堀籠教夫

編著者 田村 優

著者 岡本直樹 木村 潤

発行人 戸羽節文

発行所 株式会社日科技連出版社

〒151-0051 東京都渋谷区千駄ヶ谷 5-15-5
DSビル

電話 出版 03-5379-1244

営業 03-5379-1238

URL <https://www.juse-p.co.jp/>

印刷・製本 河北印刷株式会社

© Masaru Tamura et al. 2021

Printed in Japan

本書の全部または一部を無断でコピー、スキャン、デジタル化などの複製をすることは著作権法上での例外を除き禁じられています。本書を代行業者等の第三者に依頼してスキャンやデジタル化することは、たとえ個人や家庭内での利用でも著作権法違反です。

ISBN978-4-8171-9735-1