

可靠性技术丛书—1

可靠性、维修性总论

〔日〕川崎义人 著



机械工业出版社

可靠性技术丛书—1

可靠性、维修性总论

〔日〕 川崎义人 著
吴 关 昌 译
孙 惠 校



机械工业出版社

译者序

可靠性是衡量机电产品质量的一项重要指标。随着工业技术的发展，产品性能参数日益提高，结构日趋复杂，产品的使用场所更加广泛，环境更为严酷，因而，产品的可靠性问题越来越突出。从50年代起，国外就兴起了可靠性技术的研究。可靠性技术的观点和方法，目前已经成为产品质量保证、安全性研究和产品责任预防措施不可缺少的依据和手段。

日本开展可靠性技术的研究和应用已有近30年的历史。其可靠性技术着重应用在民用工业产品上，尤其是和TQC（全面质量管理）结合，形成实用化的特点，使产品的可靠性有显著提高。日本专家认为高可靠的优质产品的实现，是长期积累的可靠性技术和严格的生产管理制度相结合的结晶，必须强调从设计、制造、管理到使用、维修的全过程的管理。

这套丛书总结了日本推广可靠性技术的经验，通俗易懂，实用性强。它是为指导日本的技术人员和管理人员应用可靠性技术而编写的一套工具书。全书共分15册，包括可靠性、维修性总论、数理基础、设计、试验、数据采集和处理、故障诊断、维修和管理等诸方面内容。

为了配合国内普及和推广可靠性技术，我们决定翻译出版这套丛书，供从事产品设计、试验、管理、维修以及产品开发研究的各种专业人员和各级管理干部借鉴和应用。这套

丛书同时也可作为国内高等院校可靠性课程的教材，并且对从事可靠性研究的高等院校教师、科研人员和研究生也有参考价值。丛书由国家机械工业委员会机械科学研究院组织翻译、核审。全套丛书将陆续与读者见面，希望能对各单位开展可靠性活动有所裨益。

由于我们水平有限，难免有不足和谬误之处，欢迎批评指正。

在此，对日本科技连的慷慨赠书表示感谢。

国家机械工业委员会科技司
机 械 科 学 研 究 院
1987年2月

《可靠性技术丛书》出版序言

1958年日本科技连内设立了可靠性研究会，至今已经历了近四分之一世纪的岁月，在这个期间，通过各种研究班和专题讨论会等普及活动，以及由于有关协会、学会及企业的努力，已经发表了大量有关可靠性的应用报告和研究成果。可靠性的观点和方法已经成为质量保证、安全性保证、产品责任预防等不可缺少的依据和手段，因此受到各方面的广泛关注。

日本科技连过去所进行的卓有成效的可靠性教育和普及活动，不仅有研究班和专题讨论会，还有关于可靠性的出版活动等。但遗憾的是，有些活动不完全是有组织地进行的。在最近的可靠性活动的高潮中，使人不免稍有动手已晚之感。为了扩大活动的领域，日本科技连出版社决定出版《日本科技连可靠性技术丛书全15卷》。

与所谓的可靠性技术专著相比，这套丛书的特点是具有更广泛的基础知识，尽可能简明易懂，讲述比较详尽，以适应从初学者到干部技术人员，乃至科处长等各类人员使用的要求。此外，为了使从事规划、设计、生产、质量管理、维修等各项业务，以及电子、电机、机械、精密仪器等各主要行业的人员喜欢阅读本书，执笔者邀请了各方面经验丰富的专家参与筹划。

这套丛书的另一个特点是，为了便于用作现场常备的参考书，并且携带方便，故采用32开本。读者可以分册阅读，

容易安排时间，并掌握其最基础的知识。

希望这套丛书能成为与可靠性有关的工作人员的案头书，在今后发展可靠性活动中起到引路的作用。

《日本科技连可靠性技术丛书》

主编

市田 嵩

川崎义人

盐见 弘

前 言

可靠性、维修性技术和工程学自问世以来，已经经历了四分之一个世纪。在此期间，各种产业都取得了史无前例的发展，人们的日常生活变得如此富足，这是过去难以想象的。在这些成为繁荣原动力的众多的新兴学问和技术中，可靠性技术和工程学具有以下明显的特点。

首先，它是作为过去所有的固有技术和专门工程学领域中普遍存在的可靠性问题的解决手段而诞生的。其次，它是以单一明确的观点，即可靠性概念作为出发点来解决问题的。实际上，我们正处于一个连“问题何在？”都难以明确回答的时代。

追溯这个问题的源头，人们怎么也不会忘记令人痛心疾首的第二次世界大战时的混乱。但冷静思考一下，在和平时企业为求得发展而展开的竞争中，人们也肩负着同样的使命。如果不解决可靠性问题，企业就无法进一步发展，其命运必然是以蒙受损失而告终。在平时就必须充分重视可靠性技术，其理由就在于此。

如果掌握了现代进步的各种固有技术，就理应没有解决不了的问题，也不会产生产品的故障和不可靠的问题。可是，现实又是如何呢？确实产生了与“理应不会”这种传统观念相反的事实。上述的可靠性概念，就是放弃了这种传统的信念，以“产生的事实”作为现实来进行研究分析。它超越了用固有的技术观念和努力所能解决的问题的界限。可靠性技

术的困难之一，是以超越这个界限所提出的问题为起点，去解决这些问题。

可靠性的理论基础，作为概率论的主要应用领域已被确立，以此再进一步展开可靠性特有的各种方法的研究。对于概率论的应用技术，初期曾有过怀疑和回避，现在已不成问题了。

概率论的采用对很多可靠性问题的解决起了很大的作用，对某些事情和现象适用宏观的观点。在有关的部分事件数目过多、各有其特性变化时，对部分具有的性质（个性）要作某种程度的忽略或归并，以找出共同的性质，这样容易把握整体。即为了解决问题，用大刀阔斧的办法比精雕细刻的办法，往往能更快地接近问题的本质。

从事可靠性实际工作的人经常抱怨，认为可靠性问题并不能象理论上讲的那样容易解决。这说明了可靠性问题的复杂程度，因而必须进行经验处理。可是，正因为如此，我们必须使用包括理论在内的所有工具。特别是可靠性理论，是把问题从泥沼中解脱出来的十分有用的工具，用大刀阔斧的办法最容易解决问题。

本套丛书为了解决上面所述的难题，把所有技术方面的知识、方法、资料等集一大成。难能可贵的是，每个分册的作者几乎都是从这门学科创建以来在各自的领域内长期从事实际工作的权威，书中介绍了他们宝贵的经验。

开始时，想把本书作为本套丛书的第一卷总论出版，但由于作者未能胜任，以至本书出版时全套丛书的一半以上已经出版。但是，事到如今，编写总论的工作无法推辞，于是，本书只好从全套丛书的总论，变为一本独立的可靠性、维修

性技术总论奉献给读者。

本书是按照作者本人的观点来介绍可靠性技术全貌的。在方法论方面已出版了很多专门著作和参考书，所以把内容减少到最小限度，重点放在介绍必要项目的正确含义和观点的解释上，重要的地方，加以详细的说明。

第一章介绍了什么是可靠性问题以及产生这些问题的历史必然性。历史是已经过去的事情，但可靠性问题现在还在产生，并且将来也会进一步产生，对此人们必须有充分的思想准备。

第二章介绍了分析作为可靠性问题根源的故障现象的经典物理学观点和分类。

第三章是接着第二章介绍故障现象的概率论观点和可靠性定义之间的关系，故障现象的分类等。

第四章介绍可靠度测定值的含义、测定方法、应考虑的要害等。对可靠性如果不管它的定义，容易误解为是一种定性的、没有实体的性质。在本章中强调了它的定量化的具体性质。

第五章是本丛书第6册《可靠性设计》绪论的一部分。与第六章的制造、使用、维修一起，对可靠性技术的关系作扼要的解释。

第七章的前半部分用笔者长期收集的数据对可靠性的现状和动向作了说明。由于收集了第一章介绍的初期历史以来约30年的数据，在某种意义上讲是产业可靠性提高的历史。后半部分是从短期的观点提高可靠性（早期故障）的实例。

在书末，得到特别许可，增加了日本标准协会的JISZ 8115-1981“可靠性术语”的全文。可靠性技术术语和它含义的重要性，怎么强调也不为过。第二章以后各处出现的

术语，都用括号标出了在JIS中的引用编号。

川崎义人

1984年3月10日

缩 写 词 表

ARL (T20)	合格可靠性水平
CFR (S12)	恒定故障率分布
DFR (S11)	递减故障率分布
FMEA (FMECA) (D17)	故障模式影响分析 (故障模式影响和致命度分析)
HR	故障率
IFR (S10)	递增故障率分布
LTFR (T21)	批允许故障率
MDT (H20)	平均不能工作时间
MTBF (H10)	平均无故障工作时间
MTTF (H8)	平均故障寿命
MTTFF (H11)	首次无故障工作时间
MTTR (H25)	平均修复时间
MUT (H15)	平均能工作时间

目 录

译者序.....	III
《可靠性技术丛书》出版序言.....	V
前言.....	VII
缩写词表.....	XI
第一章 可靠性问题的提出	1
1.1 通向可靠性技术之路.....	1
1.2 何谓可靠性.....	3
1.3 可靠性技术的作用和必要性.....	5
1.4 可靠性技术的沿革.....	7
1.4.1 美国的经历.....	7
1.4.2 日本的情况.....	10
1.4.3 德国的情况.....	11
1.4.4 可靠性初期史的要點.....	12
第二章 故障	14
2.1 故障.....	14
2.1.1 以工作为基准的故障种类.....	15
2.1.2 故障源的分类.....	16
2.1.3 故障原因的分类.....	17
2.2 对故障现象引入概率论观点.....	19
第三章 故障现象的概率论	22
3.1 可靠度的概率论定义及展开.....	22
3.1.1 初等概率论的应用.....	22
3.1.2 可靠度函数.....	25
3.2 故障的概率论分类.....	27

3.2.1	早期故障	28
3.2.2	耗损故障	29
3.2.3	偶然故障	29
3.3	故障特性的综合分析	31
第四章	可靠度的测定	33
4.1	可靠度测定的含义和条件	33
4.1.1	观测对象范围	36
4.1.2	故障判据	38
4.1.3	时间的测量方法	39
4.1.4	对各种条件的考虑	40
4.2	数据的处理	46
4.2.1	观测数据的整理和统计特点	46
4.2.2	特征量计算法	51
4.2.3	特征量计算例子	65
第五章	可靠性设计	76
5.1	可靠性设计的意义	76
5.2	可靠性设计的目标	77
5.3	可靠性设计方法	78
5.3.1	安全余度设计和降额设计	79
5.3.2	简单化和标准化	79
5.3.3	耐环境性和环境保护	80
5.3.4	人机工程设计和维修性设计	81
5.3.5	冗余法	86
5.3.6	制造工艺和工序能力	87
5.3.7	设计修正	87
5.4	维修性设计法	88
5.4.1	可达性	88

5.4.2	安装方法	89
5.4.3	模块设计	89
5.4.4	故障检测功能	90
5.5	设计分析	91
5.5.1	预测法的意义	91
5.5.2	可靠性预测法	92
5.5.3	维修性预测	93
5.5.4	FMECA和FTA	94
5.5.5	权衡分析	96
5.6	设计审查	97
第六章	制造、使用、维修和可靠性	98
6.1	制造	98
6.1.1	制造和可靠性	100
6.1.2	排除早期故障和老化试验	100
6.1.3	外购零件	100
6.1.4	制造和人的关系	101
6.1.5	作为可靠性信息源的作用	103
6.2	使用	104
6.2.1	操作	104
6.2.2	维修的意义	105
6.2.3	维修管理和可靠性	106
6.2.4	维修作业和停机时间	108
6.2.5	有效度	109
6.2.6	预防性维修	110
6.2.7	维修的任务之一是获取可靠性信息	112
6.2.8	维修资料的整备	113
6.2.9	自动检测仪	115

6.2.10 维修效果的评价	115
第七章 产品可靠性的现状和发展动向	116
7.1 机器可靠度的水平	116
7.2 零件可靠度的水平	114
7.3 早期故障的实例 (短期的可靠度增长)	129
7.3.1 早期故障实例集	129
7.3.2 早期故障的处置方法	136
参考文献	138
附 录	142
可靠性术语	142
索 引	170

第一章 可靠性问题的提出

在技术领域，可靠性这个词以现今这样的含义来使用，时间并不太长。本章对可靠性问题是在怎么样的环境中产生的，采用什么观点来解决作一介绍，重点讲述其历史的沿革。

1.1 通向可靠性技术之路

仰仗所有工业产品的恩赐，我们的日常生活变得越来越富足。身边的事例自不必说，汽车、家用电器已经非常普及。在决心购买这些商品时，我们首先对照自己的经济情况和商品的价格，选择最有价值的商品。但即使对于产品的价值和用途，也还可以分成性能、外观、坚固性、耐久性、操作简单、维修方便、售后服务等许多项目，其中使用目的又与个人的兴趣、爱好等纠缠在一起，购买时，也难下决心。

对于竞争激烈的大众商品，制造厂一般都要对本厂产品的价值进行说明和大肆宣传。顾客对热心的说明听得越多，就越难以决定选择哪种商品。如果说得刻薄一点，制造厂的过多的信息使顾客陷于混乱，或许只是一种引起顾客购买兴趣的战术。

其结果就造成若不把商品买回来使用，就无法知道商品的价值。这样一来，就单纯把“能否无故障地长期使用”作为选择商品的决定性根据。不管产品的性能如何优良，但因故障而无法使用，也就没有什么意义了。而且，为排除故障而作长时间的等待也是令人伤脑筋的事情。

对此，制造厂是如何想的呢？过去认为只要设计上没有差错，所制成的产品当然应能发挥预定的性能，如果没有特殊的原因，理应不会发生故障，产生故障只是极少的例外。此外，因具有高性能而结构比较复杂的产品，必须有更高的专门制造技术。这种产品除了要求特别严格的使用者及军队等机关外，在一般的使用场合，对使用的方便性、动作的不协调和故障，以及对故障的处置和维修等问题，往往放在次要的位置来考虑。

个别的日常生活用品因故障而一时无法使用，个人可自认倒霉，但制造厂应对这些随着产品普及而增加的例外事件进行处理。

现今，由于大规模化的系统产品的普及和发展，对国家、社会、人民生活已产生了深刻的影响，当系统中个别细小部分因故障而暂时停止工作时，其损失是难以估量的。在伴有人身伤亡事故时，更是事关重大，制造厂想应付了事是无法通过的。

第二次世界大战时在美军中实际产生的事故，使制造厂放弃了把这种事故作为例外对待的观点。这就是战时生产的电子武器中的半数以上，在战场上实战时无法使用。战后以美国军事当局为中心，把武器的故障问题作为整个工业的问题提了出来，并开始展开大规模的研讨，几年后得出了结论。1957年美国军事当局坚决地提出这样一个简单明了的方针：不购买产生故障的武器。

世间万物都遵循抗拒破坏、转变、灭亡这种自然规律，人类难道就不能制造出“不产生故障的产品”？美国军事当局的方针，是作为对战争教训的总结而提出来的。因无法解决问题，才提出这样一个全新的问题。