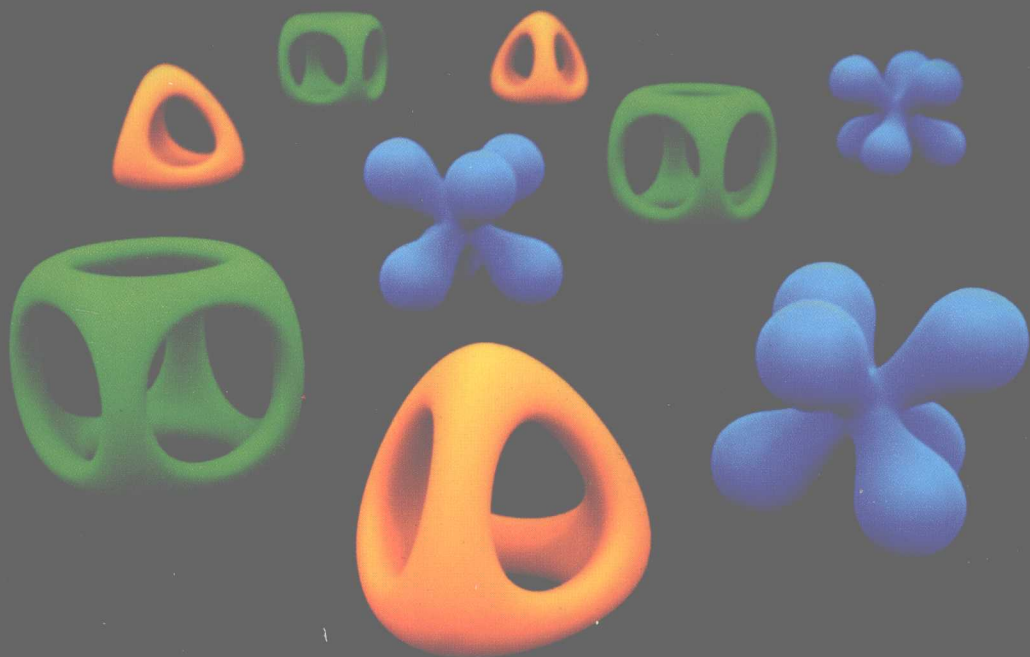


自律分散系统入门

——从系统概念到应用技术

〔日〕森 欣司 著
徐 政 谭永东 译



科学出版社
www.sciencep.com

自律分散系统入门

——从系统概念到应用技术

〔日〕 森 欣司 著
徐 政 谭永东 译

TP302.1
5797

科学出版社

北 京

图字: 01-2008-4430 号

内 容 简 介

自律分散系统是 20 世纪 70 年代诞生的系统新概念, 具有在线扩展性、在线维护性和容错性, 较好地解决了大规模系统的建设和运行所面临的问题。本书是森欣司教授首次出版的全面介绍自律分散系统的概念、结构、构成技术、支持技术、应用实例以及创立这一新概念的过程的专著。书中强调创建系统结构的逆向思维方式、以具体应用特性和需求为基础的实用方法, 以及对此项新技术的评价方法。

本书可作为高等院校相关专业的教科书或参考书, 也可供从事计算机技术、信息技术、交通运输及系统工程领域工作的技术人员、研发人员及管理人员参考。

JIRITSU BUNSAN SYSTEM NYUMON

© KINJI MORI 2006

Originally published in Japan in 2006 by MORIKITA PUBLISHING CO., LTD.
Chinese translation rights arranged through TOHAN CORPORATION, TOKYO.

自律分散システム入門

システムコンセプトから応用技術まで

森北出版株式会社 2006 年 9 月 26 日第 1 版第 1 刷

图书在版编目(CIP)数据

自律分散系统入门: 从系统概念到应用技术/[日] 森欣司著; 徐政, 谭永东译. —北京: 科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-023021-8

I. 自… II. ①森…②徐…③谭… III. 计算机模拟-信号系统
IV. TP302.1 TN915.02

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 143778 号

责任编辑: 鞠丽娜/责任校对: 刘彦妮

责任印制: 吕春珉/封面设计: 翁振星

科 学 出 版 社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

新 蕾 印 刷 厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 10 月第 一 版 开本: B5 (720×1000)

2008 年 10 月第一次印刷 印张: 7 3/4

印数: 1—3 500 字数: 154 000

定价: 36.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈环伟〉)

版权所有, 侵权必究

举报电话: 010-64030229; 010-64034315; 13501151303

译者序

本书作者森欣司教授在 1977 年首先提出了自律分散系统的概念。从以下三个层面把握自律分散系统可以很好地指导我们的研究和应用。第一, 自律分散系统是一种方法论, 在自律分散系统中摒弃了以中央计算机为中心、从整体出发的绝对论思维方式, 采用相对论思路, 即整体系统是各个子系统的集成。这一思想对后来的自动化系统研究、设计和开发产生了重大影响。第二, 自律分散系统是一种新颖的系统体系结构, 这一结构赋予了自动化系统在线扩展、在线维护、容错等诸多特性。第三, 由于自律分散系统与传统的系统概念和体系结构不同, 它更注重考察整体系统的可生存能力(确信性的一种), 因而需要新的评价技术与指标, 本书提出的功能可靠性评价方法和技术颇具启发意义。

1993 年, IEEE 创办了自律分散系统国际会议(International Symposium on Autonomous Decentralized System, ISADS), 每两年举办一届。ISADS 着重于探讨自律分散系统最新的研究开发成果, 在国际学术界产生了很大影响。第 7 届 ISADS 于 2005 年 4 月在中国西南交通大学召开。随着自律分散系统技术的发展及广泛应用, 迫切需要在全世界范围内来组织一个论坛, 讨论对自律分散系统的研究、开发和教育, 并进行世界性合作。在森欣司教授和西南交通大学钱清泉院士的倡导下, 2000 年 9 月, IEEE 又创办了 IWADS(International Workshop on Autonomous Decentralized System) 国际学术会议, 并在中国西南交通大学成功召开了第一届会议。为同一主题(自律分散系统)主办两个国际会议对 IEEE 来说颇显例外。

在自律分散系统研究和应用方面, 中国的科学家和工程师们做出了卓有成效的工作。在自律分散系统、分布式人工智能、大系统控制论以及智能管理系统相结合的基础上, 涂序彦教授提出了智能自律分散系统和拟人自律分散系统的概念。谭永东教授对自动化系统功能(或潜在功能)随时空的动态进化自律表达这样一类独特的模式进行了研究, 提出了支持角色动态演化的角色自律分散系统概念及其体系结构。中国铁道部的科研人员以自律分散系统概念为基础, 研发了新一代分散自律 CTC 系统。

作为自律分散系统的一个重要应用领域, 在过去的 5 年中, 中国铁路系统的教育、研究、开发、建设和运营部门的技术和管理人员对中国铁路调度指挥自动化系统未来的运用模式、技术需求和关键技术表现出了极大的关注, 并组织相关人员、投入专项经费, 开展了广泛、深入和富有成效的技术交流、研究与开发。

以“信息集中、控制分散”为基本理念的自律分散铁路调度指挥模式是解决我国调度指挥自动化系统主要问题的一种理想选择。

希望本书的翻译出版会对新一代计算机系统体系结构、通信模型和评价技术的研究提供有益的参考，对中国铁路调度指挥自动化系统的研究、开发、设计、建设和运营发挥有益的借鉴和指导作用。

衷心感谢东京工业大学森欣司教授，还要特别感谢清华大学卢强院士、西南交通大学钱清泉院士，以及卡斯柯信号有限公司等的鼎力支持，正是有了他们的大力支持本书才得以顺利翻译出版。

在翻译过程中难免存在不足和错误之处，敬请广大读者批评指正。

译 者

2008年6月

前 言

随着近年来信息技术的迅速发展,信息通信系统所面临的应用环境正在发生巨大的变化,要求在不断变化和难以预测的状况中进行系统的运行和维护。为了实现系统在变动环境中的不间断运行,模仿生物机理提出了由日本原创的系统概念——自律分散系统。

作者于 1977 年就提出了自律分散系统的概念,而本书首次系统归纳总结了作者至今为止约 350 个国内外专利、300 余篇国内外论文的基础部分,全面地介绍自律分散系统的概念、结构、构成技术、支持技术及应用实例。

本项研究与开发已经持续了 30 年,目前仍在不断地取得新进展。像这样引领时代、从构建原创概念起步的研究,不仅在日本,即使在世界范围内也是少见的。作为自律分散系统的创始人,作者也介绍了在社会、经济和科技发展的进程中如何创立这一新概念的亲身经历。

另外,在将概念具体转化为技术方面,简单介绍了创建系统结构的逆向思维;在技术应用方面,介绍了以具体应用特性和需求为基础的实用方法。自律分散系统旨在满足由系统大规模化、社会环境不断变化而产生的新需求,所以不能以传统的价值观评价这项技术,本书对新的评价技术也做了讨论。

越是熟练的科技人员,往往越难接受技术的革新,更难接受概念的变革。另一方面,传统知识不足的技术人员和学生又缺乏革新意识。因此,本书采用将传统技术与自律分散系统技术做对比的形式,使阐述尽量简明扼要。

希望本书能为将来创造和普及新信息技术的信息工程学科研究生、从事技术研发和普及的企业研究人员、工程师以及进行应用系统开发的部门人员提供参考。

本书内容

第一章作为自律分散系统的绪论,简单地介绍了这项研究开发的背景与历程。自律分散系统从工程领域的两颗种子(微型计算机和光纤)及科学领域的一颗种子(分子生物学),发芽成长,解决了传统集中式系统无法解决的系统需求问题。

第二章对自律分散系统的概念做了定义,并进行详细的说明,介绍了如何将自然界的自律分散系统——生物体与计算机系统相对应。自律分散系统具有在线扩展性、在线维护性和容错性,因此适合于构建大规模、不断变化的系统。

第三章介绍如何构建基于自律分散系统概念的计算机系统。自律分散系统具备节点、数据域和数据驱动三大特征，由此来实现系统的三大特性：结构均质性、功能平等性和信息局域性。

第四章介绍在第三章所述结构的基础上如何实现在线扩展性、在线维护性和容错性。这些特性通过软件和硬件来实现，所以从这两个不同的角度阐述各个特性。

第五章介绍构建和运行自律分散系统时必需的技术——软件开发支持与评价技术以及系统设计标准。利用软件开发支持技术，能够自底向上地开发软件，从而提高了软件的开发效率和质量。另外，介绍由硬件构成的自律分散系统——自律分散环型网络（ADL）。由于自律分散系统与传统系统概念不同，需要新的评价技术与指标，本章阐述这项技术——功能可靠性。

第六章介绍自律分散系统具体的应用案例。其中有东日本旅客铁道公司采用的铁路运输管理系统、普利斯通公司的生产管理系统和朝日新闻公司的报纸印刷工序管理系统。由于采用了自律分散系统，能够灵活和迅速地应对环境的变化。

第七章阐述作为系统评价指标的确信性的基本思想，同时介绍基于确信性的异构系统集成技术，此外还介绍将自律分散系统应用于新环境的各项新技术。

致谢词

在撰写本书过程中得到了众多人士的协助。为了完善本书内容，与梶功夫先生（现任宫城大学教授）、吕晓东先生、Carlos Perez Leguizamo 先生、栗山尚征先生、高石稔先生、堀越悠久史先生、Luque Peinado Ivan Dario 先生、神田美穗女士、木村宗太郎先生、杉山洋介先生、中户川雄太先生、滨幸太郎先生、大桥克弘先生、开发智树先生和田嶋康二先生等以及东京工业大学学生一起反复进行了探讨，对此表示深深的感谢！最后，对在本书执笔过程中给予各方面支持的须藤静女士、大原なおみ女士等各位秘书表示谢意！

作 者

2006 年 7 月

目 录

第一章 绪论	1
1.1 方法论的转变	1
1.2 研究开发的历程	3
第二章 自律分散系统的概念与定义	6
2.1 背景	6
2.1.1 集中系统及其存在的问题	6
2.1.2 系统需求	7
2.1.3 生物系统与分子生物学	8
2.1.4 实现自律分散系统的技术要素	11
2.2 自律分散系统的概念	12
2.3 自律分散系统的定义	14
2.4 自律分散系统的定位	15
2.4.1 自律可控性	15
2.4.2 自律可协调性	16
2.4.3 与传统系统的相互定位	16
第三章 自律分散系统的体系结构	18
3.1 体系结构特征	18
3.1.1 原子节点	19
3.1.2 数据域	19
3.1.3 数据驱动	21
3.2 自律分散管理系统	21
3.2.1 原子节点数据域	22
3.2.2 数据域管理	23
3.2.3 数据驱动管理	25
3.3 与传统系统体系结构的比较	26
3.3.1 设计	26
3.3.2 通信方式	27
3.3.3 驱动方式	28
第四章 自律分散系统的构建技术	30
4.1 系统需求	30

4.1.1	在线扩展性	30
4.1.2	容错性	30
4.1.3	在线维护性	31
4.2	在线扩展性	31
4.2.1	传统系统及其面临的问题	31
4.2.2	在线扩展技术	33
4.3	容错性	36
4.3.1	传统系统及其面临的问题	36
4.3.2	容错技术	38
4.4	在线维护性	40
4.4.1	传统系统及其面临的问题	40
4.4.2	在线维护技术	42
第五章	自律分散系统的构建支持技术	49
5.1	软件开发技术	49
5.1.1	需求	49
5.1.2	应解决的技术课题	50
5.1.3	开发支持技术	52
5.1.4	效果	54
5.2	硬件网络的构成示例	56
5.2.1	自律分散环型网络	56
5.2.2	自律分散环型网络的在线扩展性	58
5.2.3	自律分散环型网络的容错性	58
5.2.4	自律分散环型网络的在线维护性	60
5.3	功能可靠性评价	60
5.3.1	需求	60
5.3.2	课题	61
5.3.3	功能可靠性	62
5.3.4	在自律分散环型网络中的应用	66
5.3.5	效果	73
第六章	应用案例	74
6.1	概述	74
6.2	铁路运输管理系统	74
6.2.1	背景	75
6.2.2	传统系统	76
6.2.3	需求	77

6.2.4 基于自律分散系统的解决方案	77
6.2.5 应用技术	78
6.2.6 效果	80
6.3 生产管理系统	80
6.3.1 背景	81
6.3.2 传统系统	81
6.3.3 需求	81
6.3.4 基于自律分散系统的解决方案	82
6.3.5 应用技术	82
6.3.6 效果	83
6.4 报纸印刷工序管理系统	84
6.4.1 背景	84
6.4.2 传统系统	85
6.4.3 需求	85
6.4.4 基于自律分散系统的解决方案	87
6.4.5 应用技术	87
6.4.6 效果	89
第七章 自律分散系统新的研究课题	91
7.1 概述	91
7.2 环境的变化	91
7.3 用户需求与确信性	92
7.3.1 用户需求	92
7.3.2 系统的确信性	92
7.4 自律分散的新研究动向	93
7.4.1 异构自律分散集成系统	93
7.4.2 自律分散信息发布系统	95
7.4.3 自律分散数据库系统	97
7.4.4 自律分散共同体系统	99
后记	102
参考文献	103
索引	110

第一章 绪 论

1.1 方法论的转变

1977年，当计算机刚开始推广普及时，作者原创性地构思了一种计算机系统，这就是世界上首创的**自律分散系统**^[1,2]。

那个时代的计算机系统都是集中式系统，被称为主机的大型计算机承担了系统的全部处理任务。采用这种方式有其历史原因，因为根据被称为**Grosch定律**的经验规律，“处理器的性能与其价格的平方成正比”，所以使用单台高性能主机比使用多台小型计算机效率高、成本低。

但是，集中式系统面临许多问题。首先，中央计算机一旦中止运行，就会造成整个系统瘫痪。其次，在对系统终端进行扩展或维护时，需要关闭整个系统。1977年正是对计算机的依赖程度开始膨胀的时期，由于系统的关闭而造成的经济影响及引发的社会生活问题已开始不容忽视。因此，系统的维护工作必须在系统未被使用的夜间进行，人们不得不在深夜为计算机而工作。当时的集中式系统是以计算机为中心的系统，人们只能围着计算机的指挥棒转。

20世纪70年代也是光纤和非常简便的计算机——微型计算机现身的时期。光纤以其高速通信能力而闻名，但当时被认为不会得到普及，因为数据量还没有大到需要如此高的速度来传播，而微型计算机相对其价格而言性能较低，也被视为不可能有大的用途。

与此相反，作者预想到广泛利用这些技术的时代即将到来，并认为可以创建一个全新的系统概念，利用微型计算机和光纤，解决传统集中式系统中所存在的问题。

当时恰逢生物学界刚兴起一个新的学术领域——分子生物学，如同2.1.3小节所述，分子生物学家通过繁殖青蛙的腿部细胞，成功地造出了克隆青蛙，引起媒体争相报道^[3-5]。克隆技术如今已被广为认知，但是按照当时的认识水平，认为生命体是由许多不同的组成部分构成的。分子生物学家则完全否定这种观点，并用实验验证了这样一个事实，青蛙之类的生命体是由均质细胞构成的。作者认为，正是生物系统为我们提供了解决传统系统各种问题的启示。

如上所述，1977年在工程领域出现了两颗种子——微型计算机和光纤，在科学领域也出现了一颗种子——分子生物学。这些新事物在工程学领域能够引发如图1.1所示的三大变革。

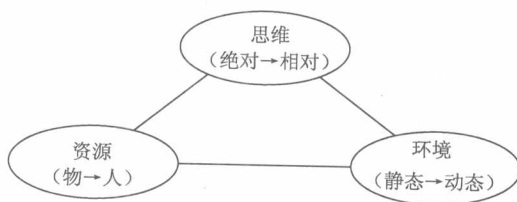


图 1.1 三个变革

第一是“思维”的变革。20 世纪 70 年代，绝对认识论在工程学领域占主导地位，即认为必须从全局出发来确定系统。与此相对，分子生物学登场后，相对认识论开始兴起，即认为整体是由各个组成部分集成而来的。

第二是“资源”的变革。在信息通信设备非常昂贵的 20 世纪后半期，人员酬金与设备相比相对低廉。在这样的现实状况中，作者还是认为“随着将来微型计算机的发展和大批量生产，高性能微型计算机也将达到‘一筐多少钱?’的境界，并将取代主机”。进入 21 世纪，由于信息通信设备的大规模生产与社会的少育老龄化齐头并进，现实中已发生了由物向人的变革。人员成本远远高于设备成本，以物为本的系统在向以人为本的系统变迁。

第三是“环境”的变革。在大规模生产为主流的时代，是万人持有相同价值观的社会。但是，随着全球化和市场开放的进程，加上英特网等信息技术的发展，技术进步和市场变化的节奏越来越快。近年来，通过利用 Web 技术，个人可以自下而上地发送信息。因此，原来变化少的静态环境演变成不断变化的动态环境。

作者将这些变革引入到计算机系统中，实现了系统方法论的大转变，这就是自律分散系统。在自律分散系统中，摒弃了以中央计算机为中心、从整体出发的绝对论思维方式，采用相对论思路，即整体系统是各个子系统的集成（见图 1.2）。

	定 义	视 点
绝对论	整体（系统）	唯一：由整体看个体
相对论	个体（子系统）	个别：由个体看其他

图 1.2 绝对论与相对论

具体而言，自律分散系统通过各子系统自律地运行与协调，满足在线特性的要求，即在线扩展性、在线维护性和容错性（参考 4.3 节），从而实现在不中断系统运行的状态下能够对子系统进行添加/删除、修复/测试以及故障恢复。自律分散系统不再像传统系统那样耗费人力。

具备在线特性的自律分散系统主要被应用在以铁路运输、生产制造、报社、

证券交易所等为代表的对可靠性要求极高的主干业务。近年来,基于以用户服务为中心的经营方针,自律分散系统也开始在信息通信服务领域得到应用,其重要性在 IBM 把通过计算机实现自律管理的自律计算技术作为其 21 世纪战略项目而启动和推进的运作中得到体现,也被社会广为认知。自律计算技术的目标是以自律神经网络的形式获得灵活的系统,与自律分散系统的概念异曲同工^[6]。

1.2 研究开发的历程

基于微型计算机、光纤以及来自分子生物学的启示,根据微小的部件能够集成庞大的系统这个概念,自律分散系统的研究不断取得进展。它与以自顶向下设计为中心的传统集中式系统的概念有着本质的差别。以此概念为目标,能够创造出新技术。以下按照时间顺序介绍作者如何将自律分散系统从概念转化为被社会广泛应用的技术(见图 1.3)。

1977—1981 年:概念

作者在研究所工作期间,注目于生物学和工程学等广阔的领域,创建自律分散系统的概念,并为了验证其理论的正当性,给出了自律分散系统概念的理论依据。

1982—1986 年:技术

以技术研究为中心,到工厂与现场技术人员一起将新技术逐步产品化。为了使这项技术获得应用,与销售人員一起遍访用户做宣传,接受严厉的质疑,开展营业活动。另外,这个时期也是以自律分散系统的概念获得多项专利的时期,所以至今在全世界申请和注册的专利已达到约 350 个,为这些专利化技术开展了实验制作和验证工作。

1987—1991 年:应用

遍访用户,将实际产品化的技术应用到用户的实际系统中。

应用顺利扩大,直至 1997 年赴东京工业大学任教之前,作者所属的日立制作所(即日立公司)自律分散系统的销售额已超过 4 千亿日元^[7-9]。自律分散系统现已成为许多用户实际系统中的应用技术。

1992—1996 年:普及

为了技术的普及,在国内外开展专利活动和标准化活动。另外,设立了由 IEEE 等作为主办学会的自律分散系统国际会议(International Symposium on Autonomous Decentralized Systems, ISADS)等以自律分散系统研究为目的的国际学会。自律分散系统的研究现在仍在国内外得到蓬勃开展^[10-20]。

1997—2001 年:教育

将活动场所移至大学,在世界各地的大学中开展基于概念创新进行技术开发

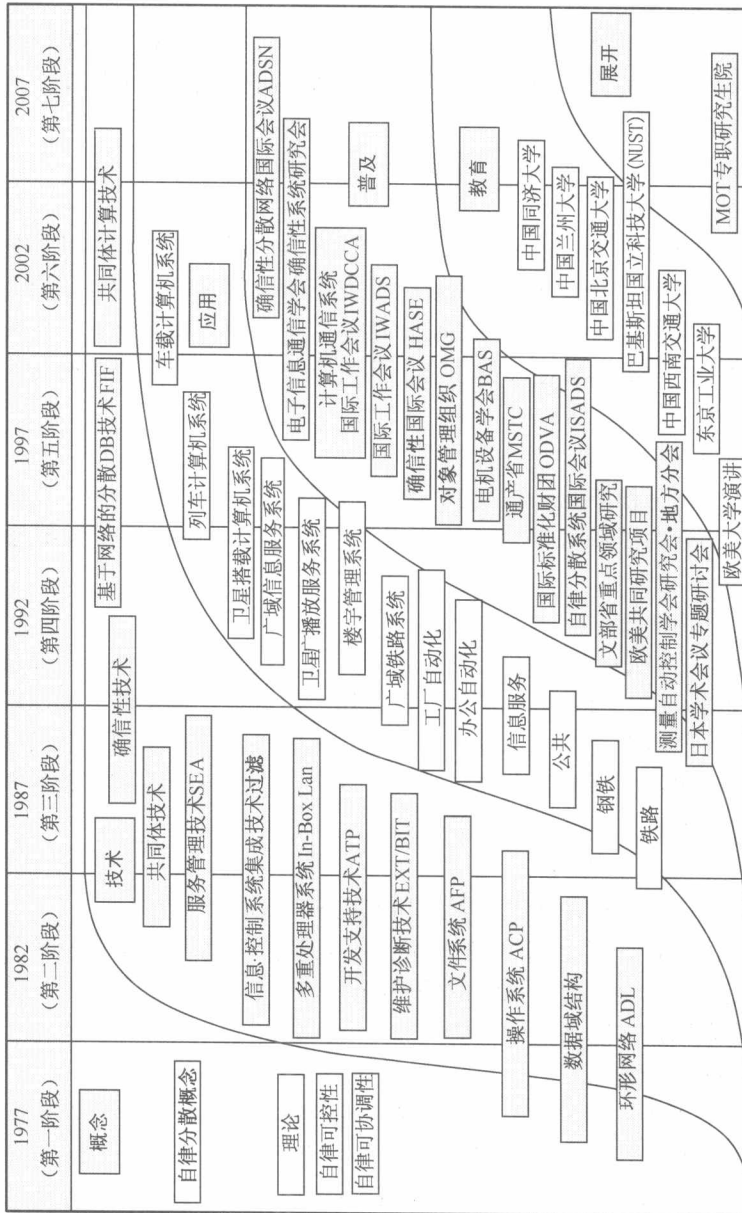


图1.3 研究开发的历程

的重要性教育，尤其是通过在中国西南交通大学、北京交通大学、兰州大学和巴基斯坦国立科技大学（NUST）等亚洲各国的教育活动，专心致力于加深与亚洲各国的协作，而不是过去的仅限于与欧美协调。像自律分散系统这样以概念为根基开展研究的做法，对在全球竞争中取胜非常重要，也是过去的技术教育中匮乏的思路。

2002—2006 年：展开

将以概念为根基进行技术开发的思维方式应用到社会科学领域，即在技术经营中展开自律分散系统的系统思维方法。2005 年，作者参加了东京工业大学技术经营专职研究生院的创建规划。在这个专职研究生院，进行技术与实际社会需求相结合的重要性教育，强调战略研究的重要意义。

今后，根据在发展自律分散系统中积累的经验，作者认为可以将技术研发和技术经营战略的思路及方法反映到国内外技术经营政策建议中。

第二章 自律分散系统的概念与定义

2.1 背景

2.1.1 集中系统及其存在的问题

为了保证传统的集中式管理运行良好，必须准确地把握整个系统。如果系统规模小、整体没有变化或者变化不多，这个前提条件容易成立。以工业生产为例，根据预先制订的日程和计划安排生产，如果中途偏离了计划，只要能够做相应的调整，重新与计划保持一致，集中式系统就能充分发挥其功能，实现高效的运行。总之，对于那些基本没有变化（静态）、能够按计划构建和运行（计划为主体）的对象，集中式系统更为有效。

但是，对于需要耗资几十亿甚至几百亿日元构建的庞大系统，或者变化剧烈的系统，传统集中式系统的观念则逐渐难以适应。由于系统过于庞大，既不可能做到对整体的把握，也难以做到一切按计划运行。大规模系统的构建需要几年时间，在此期间系统的主要构件会发生变化，所以在系统构建完工前的某个时刻去讨论完成后的整体系统显得越来越缺乏意义。集中式系统的构建方法是先对整体做明确的规划，然后开始构建并确定运行方式。若将此方法应用到大规模系统中，工程将始终无法启动，运行方式也不能确定。另外，系统规模增大后，中心主机难以收集所有终端信息，可能造成对系统内部变化监测的严重滞后，中心指令也不能充分下达到各个终端。

在过去产品畅销的年代，企业注重低成本大批量生产和供应单一产品，集中式系统适用于这种大批量生产方式。但是，当产品越来越充足，消费者开始厌倦过于单一的产品，而对不同型号、不同规格产品的需求越来越强烈。生产厂家也只能根据这样的需求，组织多品种小批量生产。最近，消费者的多样化需求更是令人眼花缭乱，企业被无情地卷入了生存竞争之中。

以钢铁行业为例，过去只需要生产同样的钢铁板材，但随着消费者对汽车的要求变得多样化后，必须紧跟消费者需求的变化，迅速制造特性迥异的板材，生产方式也由过去的预定计划方式转变为动态地调整产品种类和产量的变品种变批量方式。

日本电信电话株式会社（NTT）的系统也面临同样的境遇。在民营化之前的年代，以交换机为中心进行规划的分层系统就足够了。但以往那种仅通过敷设通信线路、设置入网电话来收取线路使用费以及销售通信机器的方式现在已无法

经营。尽可能向消费者提供便捷多样的服务变得非常重要，于是出现了诸如根据消费者不同的打电话方式确定收费体系的服务项目。

如上所述，以备齐产品和服务的品种、分品种细微周到地组织生产为特征的多品种小批量生产方式，也已越来越难以满足消费者的多样化需求。如果能够预测产量，不管是少品种大批量生产方式，还是多品种小批量生产方式，依靠集中式系统的在线处理能力还能应付局面。但是，大约从 20 年前开始，尤其在日本，由于消费者需求的多变和多样化，基本上不可能预测产品的品种和产量。因此，生产方式也从“以计划为主体”的少品种大批量方式或多品种小批量方式过渡到根据消费者需求进行生产的变品种变批量方式。这一概念在美国也被采纳，并用计算机和网络加以实现，形成了所谓供应链管理（supply chain management, SCM）方式。为了将顾客的订单及时反映到制造和流通环节，SCM 方式对原先一个个分别组建的系统进行集成，实现信息共享，从而通过缩短产品制造和运输时间、根据需求量组织生产，保证了对消费者需求变化的应对能力。

为了适应需求和状态的变化，系统需要进行功能的扩展和变更。但是集中式系统在进行扩展和变更时，必须预先制订计划。计划完成后，中心系统必须做相应的变更以实现对整个系统状态的管理，因此有时不得不中止中心系统的运行，管理全局的中心系统的关闭必然导致整个系统的关闭。此外，应对需求的千变万化需要频繁地对系统进行扩展、调整系统的许多环节，耗资巨大。集中式系统的另一个问题是如果中心系统因故障等原因而终止运行时，整个系统就会瘫痪或误动作。

系统的扩展和维修需要人力。20 世纪 80 年代之前，计算机的成本远远高于人工费，其结果是使用计算机的人和部门反而被计算机搞得团团转。必须停机作业的扩展和维护工作只能在深夜进行，从而加重了相关人员的负担。总而言之，集中式系统在规模扩展与变更、故障处理等方面都存在问题。

2.1.2 系统需求

正如上一小节所述，近年来对如何解决系统规模扩大和变化所面临的问题提出了要求。由于系统处于多变的环境中，必须采用“以运行为中心”的方式，保证系统能在动态变化和难以预测的状态条件下高效地维护和运行。为此，提出了下列三个被称为在线特性的系统需求。

- 在保持系统运行的状态下进行扩展（在线扩展性）；
- 能够承受一部分系统的故障（容错性）；
- 在保持系统运行的状态下进行维护（在线维护性）。