

柔性制造系统

— 制造革命的主导 —

〔日〕吉州通二 著

机械工业出版社

柔性制造系统

——制造革命的主导——

[日] 古川勇二 著
李 禾 译



机械工业出版社

序

如果问到“什么是 Factory Automation (自动化工厂)?”两、三个人中总有一人知道一些。Factory Automation 一词本来就是英语，且不说内容如何，这个词本身就不该是完全陌生的。

但如果问到“什么是 FMS?”大多数人就会一无所知，即使是从事机械加工的工人，也有很多人不甚了解。

FMS 指的就是柔性制造系统。一言以蔽之，就是可以高效率地进行各种作业的制造系统。可以说，只有 FMS 才是工厂自动化的核心。也许读者会问，事到如今，有必要为它大喊大叫吗？是的，确实如此。著者认为，虽然不必特别为之呐喊，但世界上确实是在因 FMS 而骚动着。

这大概是 A. 托夫勒所著《第三次浪潮》的余波吧。在农业文明支配的第一次浪潮和工业革命带来的工业化、大量生产的第二次浪潮时代，人们满足于在“方便”的名义下被规格化了的大量生产的产品。但是，今天以至将来是第三次浪潮的时代，“方便”自不待言，更要推崇适合消费者个性和爱好的商品。自然，商品就走向多样化，即多品种化的非大量生产的道路。这就要求应变革传统的大批量的生产方式。

这种适应第三次浪潮的生产体系，就是柔性制造系统，即 FMS。最终要达到的目的是：即使在生产单件产品的情况下，也能够接近大量生产时的效率。

这是由电子计算机指挥的由自动机床和机器人等组成的

生产系统，可进行“仅在需要的时刻供给所需数量的原材料”的自动生产。

随着 FMS 的出现和发展，世界的生产形势正将发生巨大的变化。虽然还难以准确预见变化的趋势和可能带来的影响，但产业界、经济界、劳工界以致社会生活都会受到它的影响，所以如果 FMS 能够成功的话，人类的生活必定会大大丰富。

如果这样认识，FMS 就不单纯只是以机械技术人员为对象了。的确，最近在西服的自动缝制和糕点制造中已经有人在考虑引进 FMS 了。用不了五年，FMS 就会是一般职工掌握的常识了。

本书基于上述想法，扼要地介绍 FMS，尽可能作到通俗易懂，使没有预备知识的人也能够理解。

遗憾的是，本人才疏学浅，而且时间有限，因此事与愿违，本书只是不系统地记录了一些事项而已。

如果读者阅读本书后能够理解“FMS”是怎么一回事，本人就喜出望外了。

谨借此向本书出版发行者以及日本机床工业会技术部次长大高义穗先生表示深深的感谢。此外，向在本书中引用了有关图片的出版社以及允许在本书中介绍有关 FMS 的各公司表示感谢。

古川勇二

一九八二年十二月

译者的话

近年来，随着社会生产的复杂化和工业的迅速发展，及用户的需求越来越趋向多样化，机械工业的品种日益增多，生产批量急剧下降。为了减少改装加工设备所必需的巨大开支，同时考虑到日益增长的人工费用，就需采用自动化程度很高的单件、中小批量的多品种生产系统。因而，柔性制造系统（FMS）便应运而生，并在许多发达国家得到了迅速的发展，且已经取得了显著的经济效益。

我国也正在开展这方面的研制工作，但仅仅是开始起步，认识上仍有一定的差距，甚至不少科技人员和工人对此知之甚少或一无所知。为了使我国从事机械制造的科技人员和工人能够了解国外的FMS发展动态，掌握这方面的先进技术，以适应我国机械工业发展的需要，加快实现四个现代化的步伐，特将本书译出。

原书作者在文中穿插了一些留学英国及出访欧洲的个人经历，因与本书主要内容无关，故未译出，特此声明。

因译者水平有限，译书有谬误之处，望读者指正。

在本书的翻译过程中，石通灵同志鼎力相助，对本书进行了校订，使译者获益不浅，谨借此表示深深的谢意。

目 录

第一章 为什么要引进FMS	1
1. 英国的衰落	1
2. 幅员过于辽阔的美国	2
3. 国土狭窄的日本的长处	3
4. 小就是好	5
5. 对二十世纪八十年代产品的要求	7
6. 对二十世纪八十年代生产系统的要求	10
7. 二十世纪八十年代生产系统的状态	10
第二章 柔性自动化的支柱——FMS	13
1. 大型NC加工技术的任务	13
2. 从刚性自动化到柔性自动化	14
3. 柔性自动化的性能	15
4. 怎样将CAD用于产品设计.....	22
5. FA的核心——FMS	23
6. FMS必备的功能.....	25
第三章 用于自动加工的FMS的构成要素	30
1. 数控机床	30
2. 自动物流装置	51
3. 自动保管装置	59
4. 信息处理系统	64
第四章 引进用于自动加工的FMS	70
1. FMS的引进.....	70
2. 引进FMS的基础.....	71
3. FMS的分阶段引进.....	76
4. FMS的经济性评价.....	79

5. FMS发展中的问题.....	81
第五章 用于自动加工的FMS的实例.....	85
1. FMS的现状.....	85
2. 传送线式的FMS.....	88
3. 更换主轴箱式的FMS.....	94
4. 加工单元式的FMS.....	97
6. 典型的FMS.....	102
第六章 焊接FMS.....	116
1. 焊接机器人.....	116
第七章 自动装配的FMS.....	120
1. 柔性装配自动生产线.....	121
2. 使用机器人的装配.....	127
第八章 FMS的未来.....	131
1. 激光应用复合生产系统.....	132
2. ICAM计划.....	141
3. 未来预测.....	143
附录.....	145
英语缩略语对照表.....	145

第一章 为什么要引进FMS

1. 英国的衰落

七、八年前，作者曾在英国曼彻斯特工业大学留学，导师是已故的机床设计权威 F. 凯尼斯·贝尔格教授。身在英国，切身感受到这个国家的土地平坦，曼彻斯特东部和北部都是连续不断的丘陵地带，有效的土地非常广阔。

既有足够的土地，又具有可追溯到北欧海盗时代的果敢精神和十八世纪以来发达的技术，为什么今天英国会衰落呢？

究其衰落的原因，有各种不同的看法，但从生产技术人员看来，主要强调以下两点，即过分强调物质的作用和对生产漠不关心的年轻一代。

(1) 过分强调物质的作用

强调物质作用不是不好，但事实是英国人过分地强调物质的作用，没有与世界经济的消费和生产周期协调一致。并不是英国人笨，但正因为不适应经济发展的速度，才导致今天落后的局面。试问假如到了二十一世纪，物质极大丰富，人们再也不为生存发愁的时候，英国人这种绅士式的想法恐怕就会贻笑大方了吧。

(2) 对生产漠不关心的年青一代

在曼彻斯特大学学习用的是适合研究生用的特殊讲义。由 F. 凯尼斯·贝尔格教授讲授机床、刀具、工程技术等部分课程。该大学的机床专业在世界上也是绝无仅有的。

学生中有印度人、阿拉伯人、中国人、拉丁美洲人，但

很少有英国人。对某一班级的调查表明：三十三名学生中，只有三名英国人，其余都是外国人。而这三名英国人中，一名是已经退休的人；一名是失业者，年已三十多岁，是为取得资历而学习的；只有一名是大学毕业的学生。

曼彻斯特大学在英国是研究生产技术首屈一指的大学，这种状况一直保持至今。但却对与直接生产有关的内容很不重视。只是旨在培养银行、证券等职业的优秀人材。因此，好容易培养出来的发展中国家技术人员，掌握技术后都回到本国，而不会留在英国。但是，不生产，国家就不会繁荣。光有价格低廉的有效的土地，而没有优秀的生产技术，国家也不会繁荣。

因此，经济发展的基础就是适宜的消费与优秀的生产技术。

2. 幅员过于辽阔的美国

推动美国前进的不是洛基山脉和沙漠等大自然的力量。从芝加哥到纽约，笔者访问了地方和城市的一些工厂。曾经驾驶汽车以六、七十英里的时速飞驶在高速公路上，两边是连绵不断的农场。“怎么这么远啊，为什么不把城市建得更近一些呢？”这个问题掠过脑际，马上以一个生产技术人员的大脑想到：相邻的城市相距也如此遥远，部件的运输多不方便呀。富裕的美国，在富裕的时代把什么都造得过大了，到石油枯竭后三十年，估计核聚变技术还难以应用时怎么办呢？

比石油问题更棘手的问题是大型建筑物的维护。密布如织的高速公路网，坚硬的混凝土路面也屡有破坏，近来一年到头都在维修。如此广远的高速公路网寿命一旦终结，美国

人该怎么办呢？难道还能把汽车都换成直升飞机吗？如果真是这样，一定会经常发生飞行事故。

当然，幅员辽阔带来的好处是难以估量的，但因此而带来的弊病也是极其繁多的。美国就有建造、维修、运输费用高，旅途中发生事故的概率高等等数不胜数的缺点。

3. 国土狭窄的日本的长处

日本人再也不住兔笼子一样的房子不过是近来的事。但国土狭窄就肯定不好吗？如果把住房分成宽敞的居室和宽大的餐厅等房间，就会感到极不方便。在资源贫乏的日本，认为国土狭窄好的一定是懒汉。但是，这片土地足够居住，而且住房建造费用，维修费用又便宜，家庭主妇打扫也方便。在窄小的住房内可以一面看报一面吃饭，如果要看电视，走几步就可以接通开关，有多方便啊！

在国际间竞争剧烈的时代，只有提高效率才是最有力的武器。即只有“在当时当地进行处理”的精神才是合理化的哲学。人们在被人讥为“在狭窄”的小房间中吃、睡、谈笑……，正因为是在狭小的房间里居住，所以相互之间的信息交往就很迅速。对日本人来说，“当时当地进行处理”的精神不正是从“小”中培养出来的吗？

欧美的办公室都是单独的房间，雇员的全部责任就是在规定的时间内完成规定的工作，经营管理都是自上而下的方式，最高级管理人员的责任最重。但如果弄错一步指示，就不是稍微调整所能纠正的。

日本是怎样呢？办公室是象相扑场那样的大房间。工作人员可以一面与相邻的同事交谈一面工作。正好利于信息交流。也许独创的正确想法难以产生，或即使产生出来也难以

4

确定是谁的想法，但是，这种办公方法可以认为是能微调经营管理错误的调节阀。在办公室里不发牢骚、虽然与人交谈但仍能集中精力工作，这些不都是从幼年时代就在窄小的住室中培养出的精神的体现吗？

走在街上可以看到令人愉快的标语：“狭窄的日本，匆匆忙忙向何处去？”狭小带来了近便，也正因为狭小才促进了飞速的发展。在制造厂制造产品时，所需的零、部件可以迅速得到。只有在狭窄的国土上聚集着多种工业的日本，才能在运输方面得到名符其实的高效率。

最著名的生产方式是制造汽车的丰田看板方式。这是一种可在恰到好处的时候获得所需零、部件的生产管理系统，因此也被称为应时生产系统。

就说组装发动机吧。由看板记下所需部件和供应时间，根据顺序订货。因为在所需的时间内只能得到所需的部件，所以部件没有阻滞，也不需要仓库保管。部件存货少，积压资金就少，由此而来的利息也低。且由于不需要保管仓库，工厂占地及建筑投资也可大大减小。这就是能够低成本制造优质汽车的主要原因。

这在美国能做到吗？即使是依靠转包加工的部件，也不可预见在运输途中可能会遇到怎样的恶劣气候，交通事故和其它阻滞。只有日本，才有可能把生产有关部件的制造厂建在附近。尽管如此，也还发生过由于坡道隧洞阻塞，造成无法向丰田公司供应汽车零部件的事故。

日本虽然国土狭窄，但富于当时当地处理事务的精神，信息交换迅速，生产活动效率也高。这不正是日本的长处所在吗？日本的领土面积只有美国的三十六分之一，美国与日本的土地价格相差约六十倍之多。正因为日本的土地价格高，

所以更应该有效地加以利用。

4. 小就是好

以前，在计算机的组件中曾大张旗鼓地宣扬“大就是好”。那么，大就一定真好吗？当然具体问题应该具体分析。但正如前述美国的弊病那样，一般说来，过大并不好。高山[⊖]高大魁伟，饭量相应就很大，如果人人都长得象高山那样，飞机票马上就得暴涨。

在技术领域内决不要忘记电子计算机小型化带来的好处。最初，电子计算机的心脏部分CPU（中央处理机）是电子管，然后相继采用过晶体管、IC（集成电路），今天已发展为超LSI（大规模集成电路）。一个电子管或一个晶体管分别只能具备一种功能，而IC则可以在二、三毫米长的一块电路板上集成30~50个元件。到了超LSI阶段，便可在同一个电路板上集成几十万到几百万个电路元件。结果是采用电子管的第一代电子计算机的体积相当好几部载重汽车的体积。而在今天，相同功能的电子计算机一个人就可以拿起来。

不仅计算机的体积在缩小，而且计算速度也在飞速增长。十年前的微计算机仅有四位，现在十六位的计算机已经应用了，计算速度提高了三倍。

这样的小型化和超小型化带来的又一特点是电子计算机的可靠性提高。过去，把电子管插在插座上，再用导线相互连接，经常产生接触不良和焊接不好等各种各样的故障。今天的IC和LSI，元件间的结合是在电路板上的直接固结，

⊖ 日本著名的相扑选手。——译注

所以故障本身就不易产生，且由于元件之间距离小，故而产生故障的概率也极小。这样，就使使用微处理机的各种机电一体化的设备的可靠性大大提高了。

实际上目前日本比美国令人高兴，更有趣的是这一点也表现在微电子学领域。今天，小而精密的产品价值高，例如，金刚石的价值就远比煤要高。因此，今天处在了“小就是好”的时代。

一九八一年日本的人口将近一亿二千万，如果每人每天平均摄取二千五百卡路里的热量，那么，日本的耕地和捕鱼量是无论如何也不够的。

这只能进口大豆和小麦，假如在日本本土种植这些进口的谷物，就需要现有耕地面积的两倍半。但不足的那部份耕地面积又从何而来呢？进口谷物的一大半来自农产品出口国——美国。

一亿两千万日本人为能在这片狭窄的国土上过着高水平的的生活而自豪。就这一点而言，日本实际相当于占有与美国同样以致更多的土地。为什么这样说呢？答案很简单。进口价格低廉的原料进行加工，增加它的附加价值，再作为产品出口。日本就是以这种方法来补偿国土、资源的不足。只有制造高附加价值的产品才是日本的出路。而高附加价值的产品都包括哪些因素呢？用一句话来概括，从技术上说就是对原材料进行了多种处理的产品，从经济上说就是“收入”与“耗费”的比值大的产品。主要是他人无法仿制或性能相同但价格比他人产品便宜的产品，从效果上看就利于销售。对用户来说，则由于迫切需要而别的厂家又不生产，或者是价格比别的厂家便宜而由此购入。因而，如果只有技术附加价值高但没有经济附加价值，仍会毫无意义。

5. 对二十世纪八十年代产品的要求

设计其它厂家没有的产品，在获得高附加价值方面是最基本的条件。同时也不要忘记如何才能低成本地制造出所设计的高附加价值产品，即不要忘记如何才能提高生产技术这一侧面。

进入二十世纪八十年代以来，一般用户对产品的需求更加多样化。就以私人汽车来说吧，在二十年前还是以高速、安全、无事故地运载乘客为目的。可以直截了当地说，用户购买的只是“代步的功能”。今天是怎样的呢？汽车成了流行商品和人们爱好的对象。爱好和兴趣是人的精神要求的表现。就汽车而言，对日本将近一亿二千万国民来说，每个人的要求都可能不同。

显然，如果每个人随心所欲地描绘汽车的形象，那么，车形、颜色以及内部设备都会有不同。而且，就实际的汽车而言，发动机和变速箱等决定的行驶性能、悬挂系统形成的转向性能及乘车舒适感的差别等因人而异，所要求的组合形式千差万别。制造厂家应该采取“菜单”式的方式，细致地调查用户的爱好，分析调查结果，尽可能制造出与用户的需求的相差不多的车种，如小星、光环、卡里纳、皇冠等牌子的汽车就是这样。虽然不一定有用户中意的现成汽车，但从齐全的产品样本中，也可以选出最接近理想的某种车型。根据车型、颜色、内部设备、发动机、排气量、变速箱、制动器、方向盘等不同的组合，一个车种实际可以变化一百种以上的车型。仅日本的汽车制造企业就有丰田、日产、本田、富士重、三菱、松田、五十铃、铃木等。而且各公司的车种变化都如上述状况，这样，总车型的变化数就达一千多

种。

福特工厂一九一三年出现的流水生产方式；现在降下了大量生产时代的帷幕。连大量生产的代表性产品——汽车的生产也由于用户爱好的多样化而从纯大量生产变到了准大量生产。

从产品变迁的过程看，是从简单向复杂，从单一品种向多品种变化。物质丰富了，用户由根据性能选择变化到根据爱好选择。可以说，二十世纪八十年代以来，日本等工业发达国家的用户完全进入到根据爱好选择产品的时代。对产品的要求一多样化，一个品种的产量肯定就会减少。这样，就揭开了中小批生产的序幕。制造厂家该怎样合理地适应这个生产发展的要求呢？重复传统的制造方式，不可避免地造成制造成本的升高。根据“组合功能元件”的方法采取了谋求扩大品种范围的方针。以汽车为例，选择标准化的部件，加以适当组合，就可得到适应用户爱好的产品。

但是，部件本身的变化也是多种多样的，也应采取与汽车整体制造同样的方针。测量仪表就是一个很好的例子。对今天的汽车来说，往往是只要认为有必要，就装配燃料计、温度计、压力表等测量仪表。显然，这些仪表随着使用目的不同，其性能、构造以及颜色等都有某些差异，但它们的基本工作原理是一样的。如图1所示，日本电装[⊖]将六种部件重新设计为标准化的十七种部件，又根据这十七种部件的不同组合制造出了二百八十八种测量仪表。虽然有这么多仪表，但仅需改变同一生产系统的工作程序，便可出色地自动进行装配。

⊖ 日本企业名称。——校者注

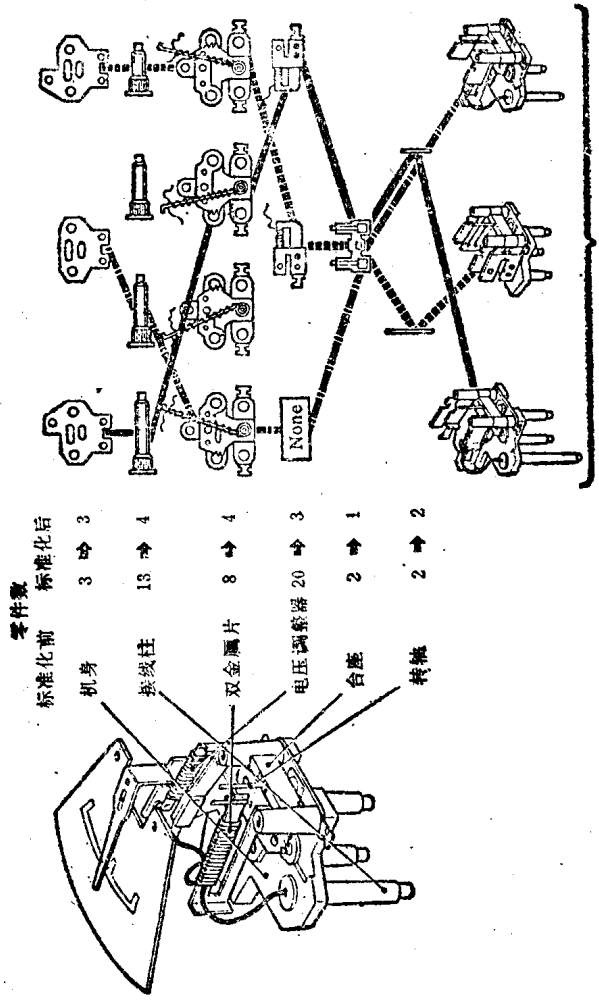


图 1 仪表零件的标准化和多样性的适应
(引自日本电装资料)

6. 对二十世纪八十年代生产系统的要求

随着用户爱好的多样化，八十年代的产品也在向多品种化发展。当然，总产量本身也在增加，但每一品种的产量却有比以往同品种产量减少的趋向。这样一来，为了降低生产成本而采用特定生产设备制造单一产品的传统的大批量生产方式就得重新估价。

就是说，掌握了利用同一生产系统进行多品种、中小批量产品的制造技术，就能够求得设备投资的降低。这就是所谓的“生产设备通用化。”

过去的议论全没有考虑到产品随“时间”变化的情况。但如果能够抓住人们对产品的要求，特别是抓住由于个人对消费的爱好的产品多样化这一点，就不会忘记个人爱好是随时间变化而变化的。

如果一九八二年制造多品种产品的设备到了一九八三年就不能用了，那就难办了。适应用户爱好变化的产品更新正在频繁地进行着。制造厂家无法做到每更新一次产品就引进一套新的生产设备。在设备折旧期限内进行产品更新，必须能利用已有设备。

因此，对八十年代的生产系统特别强调了这样两点：

空间兼容性——可同时进行各种操作。

时间兼容性——适应产品更新和推出新产品。

7. 二十世纪八十年代生产系统的状态

所谓通用生产系统就是由通用机床群构成的生产工厂，由于机床群本身就是通用的，所以这种生产系统整体的通用性就愈发增高。通用，换句话说，就是具有兼容性，或者说