

开拓未来的尖端材料

[日] 岛村昭治 编著

蔡可芬 译

庄明夫 董凤翔 校

冶金工业出版社

开拓未来的 尖端材料

[日] 島村 昭治 编著

蔡 可 芬 译
庄 明 夫
董 凤 翔 校

冶金工业出版社

内 容 简 介

本书从世界技术革命发展的趋势论述了新材料的重要性,指出新型材料是新技术革命的支柱和通向未来的桥梁,同时提出了“材料设计”的概念。书中对于材料的设计和开发、尖端合金、工程塑料、复合材料、精细陶瓷、生物体用材料和智能材料分别作了简要的介绍。

开拓未来的尖端材料

[日] 島村 昭治 编著

蔡可芬 译

庄明夫 董凤翔 校

冶金工业出版社出版

(北京北河沿大街高碑院北巷39号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

850×1168 1/32 印张 $9\frac{1}{8}$ 字数 234 千字

1988年7月第一版 1988年7月第一次印刷

印数00,001~2,950册

ISBN 7-5024-0146-6

TF·53 定价 2.60元

译 者 的 话

第二次世界大战以后，资本主义社会频繁发生的结构性经济危机给老产业结构敲响了丧钟，世界各国的企业都想在尖端技术领域中找到出路，纷纷涌向有发展前途的电子学领域，这就促进了尖端技术的发展，导致了世界新的技术革命，技术密集产业是这场革命中的主角。而新型材料则被认为是新技术革命的支柱，是通向未来的桥梁。美国将计算机、能源和材料并列为国家技术发展的三大重点，可见材料的重要性。

在新技术革命的浪潮中，我们要掌握形势，趋利避害，迎头赶上工业先进的国家，不能不注意材料工业的发展。为了帮助人们了解国外材料科学的发展动向，我们翻译了这本书。

本书对材料的设计和开发，尖端合金、工程塑料、复合材料、精细陶瓷、生物材料和智能材料都作了较好的介绍，通过材料史及尖端技术工业的应用实例的介绍阐明了材料技术是新技术开发的关键，并指出未来材料技术的最大特点是“材料是能够设计的”。过去材料的开发带有相当的盲目性，现在已开始应用电子计算机对合金进行设计，高分子材料学也使用了分子设计的概念。

本书是由从事实际材料科学的以島村 昭治为首的十七名专家执笔编写的，内容广泛，材料新颖，对有志从事材料科学的工作者和工程技术人员是本较好的参考书。

译者对原文有印刷等明显差错的地方进行了订正，一些地方略有删节。

限于水平，定有不妥之处，欢迎读者批评指正。

译 者

1984.4. 于西北电讯工程学院

前 言

从1960年迄今20多年间，日本进行了多种多样的科学研究和新技术开发，大体上可划分为三个阶段，第一阶段是1970年以前的时期，其前半期是高速成长的时代，当时日本的研究开发恰好正处于赶超阶段，即“加速发展”，踊跃进行开发。然而在1964年新干线高速电车的通车和1970年大阪万国博览会开幕等辉煌的成就中，人们迄今仍往往容易忽视的地球资源有限的问题，向高速增长投下了暗影。就在人们开始感到不安时，产生了1973年的第一次石油冲击，它是对过去的加速型技术开发发出的警告。人类赖以生存的能源问题动荡起来，从此以后开始了第二个阶段。这时的研究开发是以通产省工业技术院的“阳光普照”计划为代表的（能源小国）“求生存”类型的研究开发。

随着六十年代的“加速发展”类型和七十年代的“求生存”类型研究开发的进展，日本的科学技术水平迅速提高。除了带浓厚军事色彩的部分外，大多数工业产品的水平都能达到世界水平，已从“赶上”、“并肩”进入到目前“超过”的状况。

但是，就在超前挺进，再拉大差距的这个时候，有关人员却被冷水泼头，其原因之一是追赶时用力过头，感到持久力时有不足，原因之二是由跟在背后跑变为跑在前头的先驱者后，发现自己缺乏调节步速的锻炼。

研究开发有“应需”和“育种”两种类型。日本主要是擅长于前者，但当自己跑在前面时，应当经常产生“种子”，并且要培育它。特别是号称先进技术的东西不能只是纤细的针尖，而必须是金字塔的顶尖，故需要扎实的研究的积累，也就是要有持久力。第三个阶段是在产生这种危机感的二十世纪八十年代开始的，也可以说是“育种”型的研究和开发阶段，在去年同时起步的通产省工业技术院的国家规划——“下一代”和科学技术厅的

国家规划——“创造科学”，正是根据这个指导思想而制订的，这是首次明确地不取“应需”型（即不侧重需要），而是“未来投资”型的研究开发。

上面试着把近20年来的研究开发分成“加速发展”、“求生存”、“育种”三个类型，后者与前者不是矛盾的，三者相辅相成，因而日本的研究开发体制才得以和欧美并驾齐驱。

有许多研究开发是以“硬件”的完成作为目标，这样，材料也就成了一个课题。如果将20年来在各种研究开发中遇到的材料问题加以整理，其情况大致可分为两种，最初是由于材料不顶用使规划受挫失败一直到前不久，这种批评和怨声仍相当大。材料技术人员只能默默地努力去开发能经得起批评的材料。可是最近以来，批评的声调稍有改变“今后就要看材料能否加油赶上去，拜托了”，这些话意思是一样的，就像爬山，以前是要求材料从后面推上去，现在变成叫材料从上面拉一把这样的关系。作为材料工作者不得不深感自己责任的重大。

本书定名为《开拓未来的尖端材料》，就是立足于上述背景。动手去开拓未来，而不是坐等未来，这是作者们共同的想法。根据这个意思，除了个别的章节（例如第九章）外，没有收纳“梦幻般”的材料。论述的中心是现今已在使用、对技术革命有重要作用并正向实用化前进的材料技术。梦想未来是走向未来的第一步，但本书首先注意汇集的是能为走向未来架桥的技术，本书在这个时期如能多少起点作用，编者将感到幸甚。

最后，向不余遗力地把不同的材料科技内容汇编成册而精心工作的工业调查会出版部的古内正行，编辑部的矢口正和两位先生致谢。

著者代表

島村 昭治

1982. 11. 3

目 录

1. 材料在文明史上的地位	1
1.1 文化和文明	1
1.2 物质和材料	2
1.3 衣、食、住与材料	3
1.4 材料技术发展的三个阶段	4
1.5 陶瓷	5
1.6 青铜	6
1.7 铁	7
1.8 铝	10
1.9 塑料	12
2. 技术开发的关键——材料技术	
——技术开发的先行、必要的材料技术——	14
2.1 绪言	14
2.2 宇航技术	14
2.2.1 航天飞机	14
2.2.2 飞机	18
2.3 能源	19
2.3.1 核聚变	19
2.3.2 新能源技术	21
2.3.3 节能技术	23
2.4 其他方面	27
3. 材料的设计	33
3.1 设计的意义	33
3.2 从前的设计和材料的关系——被动地位	34
3.3 对材料的主动探索	35
3.4 材料设计	36

4. 尖端合金.....	40
4.1 尖端合金的开发动向	40
4.1.1 材料开发的方法	41
4.1.2 从制造技术看尖端合金	44
4.2 超耐热合金	45
4.2.1 什么是超耐热合金	45
4.2.2 超耐热合金性能上的要求	47
4.2.3 镍基超耐热合金的研制	50
4.2.4 单向凝固法	52
4.3 超塑性合金	53
4.3.1 超塑性合金——寄托在加工技术的革新上	53
4.3.2 超塑性现象	54
(1) 微晶超塑性	59
(2) 相变超塑性	60
(3) 相变致塑性	61
4.3.3 超塑性合金的加工技术	61
4.3.4 实用超塑性合金	63
(1) 最早的超塑性合金——锌合金	63
(2) 结构材料——超塑性铝合金	63
(3) 超塑性镍合金——难加工材料的成型途径.....	64
(4) 超塑性钢——关于它的多种用途.....	64
(5) 最新航空材料——超塑性钛合金	64
4.3.5 展望未来	65
4.4 形状记忆合金和超弹性合金	65
4.4.1 形状记忆效应和超弹性	65
4.4.2 形状记忆合金和超弹性合金的应用	69
(1) 形状记忆合金的应用.....	69
(2) 超弹性合金的应用	72
4.5 防震合金	73
4.5.1 橡皮般敲不响的金属	73

4.5.2	为什么金属会吸收声音	74
(1)	复合型	74
(2)	强磁性型	74
(3)	位错型	75
(4)	双晶型	76
4.5.3	防震合金的类型	76
4.5.4	防震合金的用途	78
4.5.5	防震合金的发展动向	79
4.6	形变热处理	80
4.6.1	百分之百地发挥材料的潜力	80
4.6.2	形变热处理的类型	81
(1)	锻造淬火	81
(2)	深冷加工	81
(3)	等温变形热处理	82
(4)	温加工	82
(5)	应变-回火	83
(6)	过冷奥氏体形变热处理	86
(7)	TR IP	88
4.6.3	形变热处理的现状	89
(1)	控制轧制	90
(2)	使用带有螺旋形换热器的特殊拉模进行的ST拉丝法	90
(3)	温拉制	91
(4)	锻造	91
(5)	深冷加工	91
4.6.4	形变热处理发展动向	92
5.	工程塑料	98
5.1	工程塑料的诱人前景	98
5.1.1	工程塑料的特征	101
5.2	工程塑料的性能	104
5.2.1	工程塑料的种类和特点	104

(1) 耐纶 (或聚酰胺, 简称PA)	105
(2) 乙缩醛树脂 (POM).....	105
(3) 聚碳酸酯树脂 (PC).....	105
(4) PBT树脂 (PBT)	113
(5) 热固性树脂	113
5.2.2 工程塑料的抗拉强度特性	114
5.3 工程塑料的现状	118
5.4 工程塑料的开发方向	129
5.4.1 各种材料的开发方向	129
(1) 聚乙烯类	129
(2) 聚丙烯类	132
(3) ABS类	133
(4) 耐纶类	133
(5) 聚缩醛类	134
(6) 聚碳酸酯	135
(7) PBT树脂类	136
(8) 酚醛树脂	136
5.4.2 耐高温树脂的开发状况	137
(1) 芳香族聚酯	137
(2) 聚醚醚	142
(3) 聚酰亚胺	142
6. 复合材料	150
6.1 复合材料的分类和开发动向	150
6.1.1 复合材料的种类	150
6.1.2 复合材料的历史	153
6.2 轻质高强度材料	155
6.2.1 增强纤维	155
6.2.2 复合材料的特性	156
6.2.3 轻质高强度材料的用途	158
6.3 耐热材料	160

6.3.1	纤维强化复合材料——W/FeCrAlY	161
6.3.2	单向凝固共晶合金——Co-TaC	163
6.3.3	弥散强化合金—— γ/γ' -Y ₂ O ₃	165
6.3.4	耐热复合结构——NiCrAlY/ZrO ₂ -Y ₂ O ₃	165
6.4	耐腐蚀材料	168
6.4.1	电绝缘用SF ₆ 气体和离子弥散复合材料	168
6.4.2	玻璃短纤维强化复合材料——SMC的耐腐蚀性	169
6.4.3	石墨纤维强化材料	172
6.5	功能材料	174
6.5.1	雷达天线罩 (Radome)	174
6.5.2	X射线诊断用床	175
6.5.3	超导电材料	175
6.5.4	粉末铁芯 (高频磁芯)	178
6.5.5	磁带	181
6.5.6	永久磁铁	181
6.5.7	双金属	182
6.5.8	硼纤维在音响设备上的应用	182
6.5.9	其它	185
7.	精细陶瓷	186
7.1	精细陶瓷的研制动向	186
7.1.1	从普通陶瓷到精细陶瓷	186
7.1.2	精细陶瓷的功能和用途	187
7.1.3	展望未来	197
7.2	陶瓷的电磁功能及其应用	197
7.2.1	陶瓷的电磁功能	197
7.2.2	陶瓷的导电功能及其应用	200
	(1) 变阻特性	200
	(2) 绝缘体和半导体特性	202
	(3) 气体传感性	203
7.2.3	陶瓷介电功能及其应用	204

7.2.4	陶瓷的磁性功能及其应用	206
7.2.5	陶瓷的压电功能及其应用	206
7.3	陶瓷的机械功能及其应用	208
7.3.1	陶瓷的机械性质	208
(1)	杨氏模量(纵弹性模量)	208
(2)	断裂韧性	209
(3)	强度和疲劳	211
(4)	硬度	212
7.3.2	陶瓷作为机械功能材料时的应用	212
(1)	硬度、耐磨损特性方面的应用	212
(2)	高强度性能方面的应用	212
7.4	陶瓷的光学功能及其应用	215
7.4.1	产生光学功能所需的微晶结构	215
7.4.2	耐热光学功能及其应用	217
7.4.3	耐腐蚀、光学功能及其应用	218
7.4.4	陶瓷在激光方面的应用	219
7.4.5	电、光学功能及其应用	219
(1)	图像存贮、显示装置	221
(2)	矩阵显示装置	223
(3)	光学快门	223
(4)	模拟空间调制器	225
(5)	数字显示元件	225
7.4.6	其它功能	225
(1)	光色性	225
(2)	音响光学效应	226
7.5	陶瓷的热功能及其应用	226
7.5.1	开发热学强度功能陶瓷的意义	226
7.5.2	材料的开发状况	226
(1)	碳化硅(SiC)	228
(2)	氮化硅(Si_3N_4)	228

(3) 赛亚纶 (Sialon)	229
7.5.3 改善热功能的探索和实用化方面存在的问题 ...	230
(1) 提高材料特性方面的有关课题	231
(2) 材料的可靠性、大型化、复杂形状化方面存在的 问题.....	232
(3) 评价方法的建立以及其它问题	233
7.5.4 材料的应用和展望	233
8. 生物体用材料	237
8.1 绪言	237
8.2 生物体用材料的研究动向	238
8.3 生物体用材料必须具备的条件	240
8.4 金属材料	242
8.5 生物体用陶瓷	245
8.6 高分子材料	247
8.7 生物体用材料的发展	249
8.8 生物体用材料应用举例	251
8.8.1 人工关节和骨粘接剂	251
8.8.2 人工关节的设计	254
8.8.3 固定法 (包括骨粘接剂).....	260
8.8.4 人工血管	264
9. 智能材料	268
9.1 机械的智能化, 材料的智能化	268
9.2 工业材料的真正革命	268
9.3 磨出胼胝的材料	270
9.4 能变软变硬的材料	271
9.5 材料电子学	274
9.5.1 向外部告知状态的材料	274
9.6 向生物体逼近——新陈代谢	275
后记	276

1. 材料在文明史上的地位

1.1 文化和文明

文化和文明的区别并不十分明确，根据《辞苑》^①关于文化和文明的主要意思分述如下：

文化：社会进步形成文明，文明开化。

文明：文化教育进步，人类的智慧渐渐地丰富起来。

英语中文化是 culture，文明是 civilization，由 P.O.D.^② 指出这两个词的主要词意是：

culture(n)：悟性、行为和风度的教育与教养情况。

civilization(n)：社会发展的高级阶段。

在《辞苑》中对文化和文明两词相应的词意又分别作了如下的解说：

文化：(culture) 不是让自然界保持其原来的状态，而是通过技术，使它在人类的一定生活目的的某个方面起作用（文化活动）。

文明：(civilization) 随着人类的知识进步而开发的世界，在物质上也发达了，特别是使用了机器，尊重人格和机会均等等原则得到承认的社会，也就是近代社会。其反义词就是愚昧、野蛮的社会。

该辞典还从狭义的角度对文化和文明进行了解释，把文化说成为宗教、道德、艺术等纯粹的精神文化，与此相应，把技术和物质文化称为文明。

根据著名的福泽渝吉^③的文明论概括的解说是“文明论就是

① 《辞苑》：日本词典名称。——译者

② P.O.D: Pocket Oxford Dictionary 的缩写，即《袖珍牛津词典》。——译者

③ 福泽渝吉：1831~1901，日本著名的思想家、教育家、庆应义塾大学的创建者

人的精神文明发展”。从本书的狭义观点来说，文明就是技术和物质文化。

1.2 物质和材料

根据上述“文明”的定义，来回顾材料在文明史发展过程中所起的作用，那么材料又是什么呢？

按照广辞苑和 P.O.D 的解释，来论证材料和英语 material 一词的意义。

材料：制作物品的来源即原料或材料。

material(n)：它是某种物质或由它构成某种东西。

上述定义中“来源”和“它”又是什么意思呢？那就是物质。所谓物质这个人们习用的词汇，在物理化学辞典中的解释是冗长的，其解说的开始部分是这样叙述的。

物质(substance, material, matter)，以前对该词的解释是：“根据个人的感觉而知道其存在的一切东西，可理解为与单纯空间有所不同的某些实在的东西”。

后面的解释是关于物理和化学方面的认识，故不再引用。简言之，就是眼能看得到，手能摸得着的东西都是物质。

但要对材料有一个明确的概念，就需要弄清楚物质和材料间的区别的问题。作者认为，当人们带有一定目的观察研究时，物质才开始成为材料。

由此可知，物质包含着材料，但物质并不等于材料，其差异就在于人是否带有一定的目的来对待物质。

按此意义就可以更好地理解材料的含义了。古代人和现代人们所观察到的自然界，如山、河、海洋以及动植物等（动植物可能多少有点变化），恐怕几乎都是相同的。人是构成自然界的主体，不仅笼统地观察物质，而是把物质依照某种目的来使用时，才开始有了材料史。

山上的大小石块仅仅是物质，但把石块加工成石刀，或将岩石加工成四方石块用以建筑房屋，石头就开始成了材料。用石斧宰杀动物，用石块切肉以果腹，吃剩的骨头用来作刀，骨头也就

成了材料，至于骨头成为作汤的材料恐怕是更后的事情。

1.3 衣、食、住与材料

如前节所述，狭义地解释文明，把它规定为衡量人类的物质性或技术性的生活水准的高低，自然就会出现衣、食、住这类词汇。当人类作为“文化人”走上与其它动物不同的道路时，在这三个基本生活手段中人们开始努力做的是哪一个呢？

很显然，那就是“食”。因为即使没有衣和住，在气候暖和的地方也是不致于冻死的，如果无食物就不能维持生命，食物充足时人们就会关心起衣和住了。其中较带有技术性，即文明史中人们最早给予关心的是衣。因为住可以直接使用天然的洞穴或树荫，但是，对于衣来说即使是腰围也需要进行某些加工，因此“衣食足而知荣辱”可理解为二者被满足后（已脱离动物）人类才有了精神文化的一面。

衣、食之后便是住，人们改造洞穴或树荫，开始建造住所。

开始时人类检拾自然界中植物的果实，或宰杀动物以果腹，后来种田栽培植物，饲养动物为家畜（这种事情似乎略迟于农耕，据说是在新石器时代以后，人们便由采集食物进步到生产食物（公元前9000~3000年）。为此不仅要利用木料或石料，还要应用金属，掌握利用金属技术是始于新石器时代，故可以认为材料史也是从新石器时代开始的。

生产粮食，首先要制作农耕用具，当时是用木料制作的。而把收获的小麦做成面粉则需要臼，臼是用石料制作的。总之，古代人类砍倒树木，削成农耕用锄，把天然石料作成石臼。

住也是如此，人类从山洞走出来。垒石筑屋或编织树枝覆盖树叶围成住所，即使号称王宫的住宅也不过是由天然石料做成的四方整齐的石块建筑的，作为材料其本质是没有变化的。

当时衣是把植物叶，树皮或动物的毛皮加工处理披在身上，都是由天然的材料作原料，与食、住相比，也没有什么根本的变化。

在这以前的材料史中，人们使用的能源，除火以外，就是自

己的筋肉了（水车在欧洲起始于罗马时代）。火应用于食物加工，当火在其它方面开始应用时，材料史又向前推进一步。

1.4 材料技术发展的三个阶段^①

考察支持人类文明的材料的历时，按制成常见制品的原料大体可分成以下三个阶段：

第一代制作的物品是只从形状上将天然材料加以改变而得到的，如人类初期砍伐榉木以作农耕用锄，加工天然石块以作刃具。总之，仅把天然树木或岩石的形态作些改变。

金字塔的伟大和建造技术令人惊讶（主要在公元前2500年前后建成），可是材料也只是岩石。

第二代制作的产品仍然以天然材料作原料，但不仅形态而且质地也发生了变化，如埃及人把尼罗河的泥土干固后制成建造住宅用的砖。

第二个例子是金属的制造，众所周知，铜器和铁器在文明史的相当早期就相继登场了。可是象现代那样能从含铜或铁的矿石中提炼出铜或铁的实用技术则是相当晚才发展的。初期是从天然的铜或铁（例如陨铁）制造铜或铁的部件。

第三代是用“合成”方法制作那些在自然界中不存在的材料，开始是合成树脂，从贝克兰德发明的实用的酚醛树脂（商品名称叫电木）^②起，仅仅70多年，就出现了塑料时代。

胜过丝绸的尼龙纤维，比铁还坚固的阿拉米得（商品名）纤维等，就是这类成就之一，当前复合材料也是以塑料系为首。在自然界中不存在的合成材料，不仅是有机系列，也有无机系列，如带来原子能时代的铀等超铀元素，超过碳化钨的CBN（立方晶体的氮化硼）。20世纪可以说是合成材料时代的新纪元。

从上述材料技术的三个发展阶段来看，第一代是有关天然材料形态的加工变化，本书不必要论述，从第二、第三代中，对人

① 原文为材料技术发展的三大要素，根据内容将“要素”改为“阶段”。——译者

② 1909年开始销售。