



〔日〕森村正直 山崎弘郎 著
孙宝元 译 高守义 校

*HUANGANQI
ONG CHENGXUE*

传感器工程学

大连工学院出版社

传 感 器 工 程 学

〔日〕森村正直 编 著
山崎弘郎

孙 宝 元 译
高 守 义 校

大 连 工 学 院 出 版 社

内 容 简 介

这是一本理论性与实践性均较强的纵横论述与介绍传感器设计、工艺与应用的专著。内容丰富而新颖,结构系统而完整,笔法严谨而朴实。是日本东京大学研究生“传感器特论”课第一教学参考书。

本书共分四篇26章:第一篇总论,从横向论述了传感器的基础理论及共同规律;第二篇传感器原理,从纵向深入介绍各种典型传感器原理与设计;第三篇传感器应用技术,介绍传感器在工业、交通、生活、环境以及人体测量等领域的具体应用;第四篇传感器的技术进步,介绍当代传感器技术的最新成果。总之,该书既具有教科书那种严密的理论性与系统性,同时也具有工具书那样解决工程实际问题的实用性。本书适于机械、电子、化工类研究生、大学生及高校教师作为教学参考书,同时也可作为有关专业的科技工作者和工程技术人员的参考书。

传 感 器 工 程 学

Chuanganganqi Gongchengxue

〔日〕 森村正直 编 著
山崎弘郎

孙宝元 译 高守义 校

大连工学院出版社出版发行
(大连市甘井子区凌水河)

大连凌山印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 24 1/4 字数: 572千字

1988年8月第一版

1988年8月第一次印刷

印数: 0001—2000册

责任编辑: 罗 鸿

封面设计: 羊戈

责任校对: 于明珍

ISBN 7-5611-0104-X/TH·3

定价: 4.38元

译者序

译者在日本东京大学进修期间,广泛收集了有关传感器的资料,并于1985年春季学期系统地听取了东京大学教授山崎弘郎先生为研究生讲授的《センサ工学特论》(即传感器工程学特论)课程。当时,除了一些单页讲义外,其主要参考书便是森村正直和山崎弘郎的近著《センサ工学》,朝仓书店1982年初版。这是一本理论性与实践性均较强的纵横论述与介绍传感器设计、工艺及应用的专著,内容丰富而新颖、结构系统而完整、笔法严谨而朴实,既具有教科书那种紧密的理论性与系统性,同时也具有工具书那样能解决工程实际问题的实用性。当即就产生了一种强烈的愿望:将这本书译成中文,介绍给祖国的研究生和大学生以及广大的科学技术工作者们。

回国后,在我给历届研究生开的“传感器工程学”课中都选用《センサ工学》为主要参考教材。并在大连工学院出版社的支持下开始着手翻译工作,经一年半时间译完,并经过大连工学院材料系高守义副教授精心校对,于1987年7月完稿。

本书在完成过程中曾得到多方面许多同志的热情指导与帮助。大连水产学院夏筠同志为本书作了大量文图核对和校后修改工作,大连工学院宫慧贞同志承担了全部图表描绘任务,潘焕成同志完成了全部书稿缮写工作等等,在此一并表示衷心的感谢。

传感器工程学是一门新兴的学科,从纵向来看它是属于技术密集型学科,从横向来看它又是技术分散型学科,所涉及的学科内容繁多,学术与工程领域广阔,再加上原著执笔者众多,写作风格各异,仅译者个人由于专业知识和翻译水平所限,译著中定有许多不当或谬误之处,敬请读者不吝指教,以便改正。

孙宝元

1988年元月于大连工学院

原 序

在高度发展的现代社会中，无论从事生产活动，还是在日常生活中，从外界获得信息，并对其进行处理，在不同程度上，成为人类必不可少的活动。

自古以来，人们通过感觉器官与外界保持着接触。可是，由于由感知所得到的信息与其大小总是有一定限度的，为了代行其作用或弥补其不足，各种各样的传感器件便应运而生。开始时，首先出现了个别的转换元件，进一步研究，传感器便诞生了，随之而来千差万别的传感器元件也就展现出来了。从这个角度来看，传感器技术应该属于技术分散型的。

另一方面，当使用传感器时，传感器的输出信号，对于我们就是输入信号。如果传感器产生错误动作，则输入输出的关系就被歪曲了，甚至被破坏了。其结果对输入信号就会产生误解。因此，对于传感器，动作的可靠性是最基本的要求。再有，传感器多是在酷苛的条件下使用的，如果环境发生变化，为使敏感元件仍能保持准确的动作，必须采用种种相应的技术措施。为要解决这个问题，对与被测量种类无关的许多共同的因素要进行研究。

这种与使用目的和传感器的种类无关的共同性的技术课题是大量存在的，从这个角度来看，传感器技术又是属于知识密集型的。遗憾的是，以往对这方面所进行地系统研究还是很不够的。

为了进一步发展传感器技术，必须对上述问题，从两个不同的方面进行开发和研究，因此本书将第一篇作为总论，对传感器的技术基础、发展现状、技术性能、评价手段以及开发的方法等，从横的方向上进行了论述，试图使传感器技术系统化。

第二篇，则根据被测量的不同，以典型传感器的设计与应用为中心，对其原理、性能进行介绍，同时也提出使用上的注意事项等。传感器是向被测对象索取情报信息不可缺少的重要因素，因此，有人说：“没有传感器便没有计测”。由此可见，传感器技术与测试技术是不可分割的统一体。第二篇的内容正是着重强调了这一点。

第三篇介绍了在各种工业部门，社会活动等各个领域中的传感器是如何使用的。在阐明传感器应用问题的同时，为了扩大其应用范围也提供了其它必要的知识与看法。

第四篇叙述了未来传感器开发的动向以及新的技术成果 (seeds)、新的需求领域 (needs) 等。由于本书是把建立传感器工程学作为目标，从横向进行编纂的，所以立题为“传感器工程学”。

第一篇和第四篇由编者执笔，第二篇和第三篇，由于所涉及的领域较广，所以分别仰承各个领域的专家在百忙中，匀出宝贵时间撰写而成，为此表示衷心谢意。并向为本书出版而尽力的朝仓书店深表谢忱。

编 者

1982年9月

執 筆 者 (執筆順)

計量研究所第二部長 工学博士	森村正直	[第1部 1,3,4(4.1~4節),5,6章 第2部 1章(1.4.4項を除く), 第4部 3章]
東京大学工学部教授 工学博士	山崎弘郎	[第1部 2,4(4.5~7節)7章, 第2部 2章,第3部 3章,第4 部 1,2章]
計量研究所第三部長 主任研究官・工学博士	永井聰	[第2部 1章(1.4.4項)]
(株)横河電機製作所 研究開発部・工学博士	大手明	[第2部 3章]
電子技術総合研究所・電子 デバイス部長・工学博士	片岡照栄	[第2部 4章]
大阪大学工学部教授 工学博士	南茂夫	[第2部 5章]
東京大学工学部教授 工学博士	関口晃	[第2部 6章]
電子技術総合研究所・宇宙環 境技術研究室長・理学博士	小野雅敏	[第2部 7章]
(株)富士電機総合研究所 取締役製品化研究所長	秋山茂	[第2部 8章]
(株)富士電機総合研究所 製品化研究所主幹研究員	鋤柄邦男	
電気化学計器(株)常務取締役 工学博士	高橋昭	[第2部 9章]
宮崎技術研究所所長	宮崎誠一	[第3部 1章]
豊田工機(株)取締役工学博士	和田龍児	[第3部 2章]
デュポン・ファーマーイースト 日本支社・科学機器部長	高橋昭	[第3部 4章(4.1節)]
(財)小林理学研究所所長 理学博士	時田保夫	[第3部 4章(4.2,4.3節)]
日本電装(株)研究開発部主監	伊藤理	[第3部 5章]
(株)日立製作所計測器事業部	木下敏雄	[第3部 6章]
東京大学医学部医用電子 研究施設・工学博士	池田研二	[第3部 7章]

注: 这里的“部”是原著的编排, 相当于本书的“篇”。

2525/00

目 录

第一篇 总 论

1. 传感器的任务	3
2. 信号变换与能量变换	5
2.1 能量与信息	5
2.2 扩展量(Extensive)与密集量(Intensive)	5
2.2.1 与信号相关的变量和与误差相关的变量	6
2.2.2 能量变换型和能量控制型	6
2.3 模拟信号与数字信号	7
2.3.1 模拟变换	7
2.3.2 数字变换	7
2.3.3 数字信号与存储器	8
3. 物理定律与传感器	9
3.1 守恒定律	9
3.2 场的定律	9
3.3 统计定律	11
3.4 物质定律	12
3.4.1 热平衡现象	12
3.4.2 传输现象	14
3.4.3 量子现象	15
4. 构成论	16
4.1 传感器的构成法	16
4.2 传感器与被测对象的关联	18
4.3 多段变换	20
4.4 外围技术的应用	20
4.5 传感器的基本机能	21
4.6 信号变换与数学模型	21
4.7 信号选择的方式	22
4.7.1 信号选择机能	22
4.7.2 信号选择的方式	22
4.8 传感器的标定	28
4.8.1 标定与基准	28

4.8.2 精度传递	28
4.8.3 互换性	29
5. 传感器的技术现状	30
5.1 被测量与敏感元件	30
5.2 根据输出量对传感器分类	32
5.3 变换电路	35
5.3.1 模拟变换电路	47
5.3.2 数字变换电路	52
6. 传感器的特性与评价	53
6.1 传感器的静态特性	53
6.2 传感器的动态特性	56
6.2.1 过渡响应	56
6.2.2 稳态响应	58
6.2.3 动态特性的评价	59
6.3 双通道传感器	61
6.4 传感器与噪声	62
6.4.1 从外部混入的噪声及其对策	63
6.4.2 在内部产生的噪声及其对策	64
6.4.3 传感器向外界发出的噪声	66
6.4.4 低噪声化设计	66
6.5 传感器的误差及信噪比 S/N	67
6.5.1 传感器的误差	67
6.5.2 传感器的信噪比(S/N)	68
6.6 传感器的选择标准	69
7. 传感器的开发	72
7.1 传感器开发的特点	72
7.1.1 传感器技术是计测技术的新起点	72
7.1.2 播种型(Seeds)开发与需求型(Needs)开发	72
7.1.3 企业与传感器技术	72
7.1.4 传感器开发的特点	72
7.2 着眼点	73
7.2.1 信号变换方式	73
7.2.2 物理现象与传感器	73
7.2.3 技术转移	74
7.3 开发体制	74
7.3.1 开发成员与开发集团	74
7.3.2 共同开发	75
7.3.3 国家的援助与负担	75

7.3.4 技术调查	76
7.3.5 未来的开发体制	76

第二篇 传感器原理与设计

1. 力学量传感器	79
1.1 力学量的分类	79
1.2 几何量传感器	79
1.2.1 线位移、变形及位置传感器	79
1.2.2 角度传感器	85
1.2.3 几何量的数字传感器	88
1.3 运动学量的传感器	94
1.3.1 速度、角速度传感器	94
1.3.2 振动传感器	97
1.4 力学量传感器	100
1.4.1 质量传感器	100
1.4.2 力传感器	100
1.4.3 扭矩传感器	103
1.4.4 超声波传感器	104
2. 流体量传感器	109
2.1 流体的计量	109
2.2 压力、差压传感器	109
2.2.1 压力单位	109
2.2.2 压力、差压测量原理	110
2.2.3 弹性压力传感器	110
2.2.4 波登(Bourdon)管式压力传感器	110
2.2.5 波纹管式压力传感器	112
2.2.6 薄膜式压力传感器	112
2.2.7 压力传感器用位移—电信号变换器	113
2.2.8 力平衡式压力变换器	116
2.3 流速·流量传感器	117
2.3.1 流量测定原理	117
2.3.2 节流式流量计原理	117
2.3.3 孔板	119
2.3.4 喷嘴	120
2.3.5 文丘里管	120
2.3.6 孔板流量计的设置	121
2.3.7 面积流量计	122
2.3.8 容积流量计	123

2.3.9	透平流量计	124
2.3.10	电磁流量计	126
2.3.11	超声波流速·流量计	127
2.3.12	多普勒流量计	129
2.3.13	涡旋流量计	129
2.3.14	射流流量计	131
2.3.15	旋流流量计	131
2.3.16	热线流量计	131
2.3.17	开路流量传感器	132
2.4	液位传感器	133
2.4.1	液位测量原理	133
2.4.2	浮力式液位传感器	133
2.4.3	差压式液面计	133
2.4.4	电容式液位传感器	134
2.4.5	超声波液位传感器	134
2.4.6	放射线式液位传感器	135
2.5	粘度传感器	135
2.5.1	粘度的单位和测定法	135
2.5.2	细管粘度计	136
2.5.3	回转粘度计	136
2.6	密度传感器	137
2.6.1	密度测量原理	137
2.6.2	振动式密度传感器	137
3.	热学量传感器	139
3.1	热电偶	140
3.1.1	热电偶的原理与构成	140
3.1.2	热电偶的种类与构造	141
3.2	测温电阻	143
3.2.1	测温电阻材料与温度特性	143
3.2.2	测温电阻的结构	144
3.3	热敏电阻温度传感器	145
3.4	半导体IC温度传感器	146
3.5	NQR 温度计	148
3.6	石英温度传感器	149
3.7	热噪声温度计	150
3.8	辐射温度计与热辐射传感器	152
3.9	热流传感器	153
3.10	湿度传感器	154

4. 磁传感器	157
4.1 概论	157
4.2 半导体磁传感器	157
4.2.1 概要	157
4.2.2 电流磁效应	158
4.2.3 霍耳元件	161
4.2.4 磁阻元件	166
4.2.5 其它	168
4.2.6 半导体磁传感器的应用	169
4.3 磁性体磁传感器	171
5. 光传感器	173
5.1 光与传感器	173
5.2 光传感器的基本效应	173
5.2.1 量子效应	174
5.2.2 热效应	179
5.2.3 波动相互作用	180
5.3 光传感器的特性表示法	182
5.3.1 灵敏度	182
5.3.2 检测限度	183
5.3.3 光谱灵敏度特性	183
5.3.4 时间响应特性	184
5.3.5 内阻	184
5.3.6 其它	184
5.4 应用外量子效应的光传感器	184
5.4.1 光电管	184
5.4.2 光电倍增管	187
5.5 利用内量子效应的光传感器	189
5.5.1 光电导型传感器	190
5.5.2 光电传感器	192
5.6 利用热效应的光传感器	195
5.6.1 热电偶、热电堆	195
5.6.2 热辐射温度计	196
5.6.3 热电型传感器	197
5.6.4 戈里盒(红外线指示器)	198
5.7 多通道(多路)光传感器	198
5.7.1 摄像管	199
5.7.2 固体图像传感器	200
6. 放射线传感器	203

6.1	放射线的测定	203
6.2	利用气体电离的传感器	203
6.3	闪烁检测器	205
6.4	半导体放射线检测器 (固体电离的应用)	207
7.	离子传感器、真空传感器	210
7.1	离子传感器	210
7.1.1	法拉第箱	210
7.1.2	利用二次电子倍增管的离子传感器	210
7.2	真空传感器	212
7.2.1	压力变形真空传感器	212
7.2.2	利用传输现象的真空传感器	213
7.2.3	电离的真空传感器	214
7.2.4	分压测试用传感器	216
8.	气体成分传感器	218
8.1	气体分析仪	218
8.1.1	热传导型分析仪	218
8.1.2	磁式分析仪 (氧气分析仪)	219
8.1.3	气相色谱	221
8.1.4	红外线气体分析仪	221
8.1.5	化学发光式分析仪	224
8.1.6	固体电解质氧气分析仪	225
8.1.7	电化学分析仪	226
8.2	气体传感器	227
8.2.1	半导体气体传感器	227
8.2.2	接触燃烧式气体传感器	230
8.2.3	汽车用 O_2 传感器 (A/F 传感器)	231
8.2.4	湿度传感器	234
8.2.5	烟传感器	236
9.	液体成分传感器	239
9.1	pH 值 传感器	239
9.1.1	何为 pH 值	239
9.1.2	用玻璃电极测定 pH 值	240
9.1.3	无补偿型比较电极	241
9.1.4	ISFET	243
9.2	离子传感器 (离子电极)	244
9.2.1	玻璃膜式传感器	244
9.2.2	固体膜式传感器	245
9.2.3	液膜式传感器	245

9.2.4 隔膜式传感器	246
9.2.5 其它类型的离子传感器	247
9.2.6 使用离子传感器测定的实例	247
9.3 其它	248

第三篇 传感器应用技术

1. 生产过程的计量测试装置	251
1.1 概要	251
1.1.1 连续生产的工业	251
1.1.2 生产过程控制	251
1.1.3 生产过程的计量测试装备	253
1.1.4 电子计算机的应用	254
1.1.5 对传感器的要求	256
1.2 温度	257
1.2.1 热电式与电阻式	257
1.2.2 膨胀式	258
1.2.3 保护管	258
1.2.4 其它	260
1.3 流量	260
1.3.1 阻尼孔式	260
1.3.2 容积式	261
1.3.3 质量流量计	263
1.4 压力	263
1.4.1 JIS 压力计	263
1.4.2 差压计	264
1.5 料位	265
1.5.1 容积的测定	265
1.5.2 连续作业过程的液面	265
1.5.3 液面计的误差	267
1.6 分析	268
1.6.1 质量的测定	268
1.6.2 采用微型计算机的自动化	269
2. 机械工业(含机器人)	270
2.1 机床	270
2.1.1 切削加工	270
2.1.2 磨削加工	275
2.2 测量机、检查机	282
2.2.1 油泵性能试验机	282

2.2.2	车轴测量机	287
2.2.3	磨擦系数测量机	288
2.3	产业机器人	290
3.	安全防灾	293
3.1	技术背景	293
3.2	特征与问题	293
3.2.1	对可靠性和安全性的要求	293
3.2.2	预测的难度与高灵敏度	294
3.2.3	计测的广泛性与同时性	294
3.2.4	维护保养与定检的困难	295
3.2.5	与法令的关系	295
3.3	泄漏传感器	295
3.3.1	可燃性及毒性气体传感器	295
3.3.2	检测管路泄漏的电缆	297
3.3.3	油膜传感器	297
3.3.4	流量差测定法	297
3.3.5	漏电传感器	298
3.4	防侵入传感器	298
3.4.1	金属检测器	298
3.4.2	防侵入传感器	299
3.5	防接近传感器	300
3.5.1	防接近高压线传感器	300
3.5.2	防雷传感器	301
3.6	火警传感器	301
3.6.1	火灾现象的检测方法	301
3.6.2	感温型火灾传感器	302
3.6.3	感烟型火灾传感器	302
3.6.4	火灾传感方式的比较	302
3.7	兼作控制器的传感器	303
3.7.1	安全阀	303
3.7.2	消防用自动喷水器	303
4.	环境测试	304
4.1	空气污染与水质污染的计测	304
4.1.1	测污染物质的传感器	304
4.1.2	电化学分析式浓度计	304
4.1.3	光分析式浓度计	307
4.1.4	气相色谱分析	310
4.1.5	放射线式浓度计	310

4.1.6 磁式浓度计	310
4.2 振动	311
4.2.1 环境中的振动测试	311
4.2.2 振动级	311
4.2.3 振动能级计	312
4.2.4 振动能级的测量方法	313
4.3 噪声	314
4.3.1 环境噪声计测	314
4.3.2 噪声电平与噪声计	314
4.3.3 噪声计的外围设备	315
4.3.4 噪声电平的测量方法	316
5. 汽车	317
5.1 汽车用传感器的特点	317
5.2 汽车用传感器的实例	317
5.2.1 仪表用传感器	317
5.2.2 控制用传感器	319
5.3 未来的汽车用传感器	323
6. 提高生活水平	324
6.1 家用电器中的传感器	325
6.1.1 家用电器用的一般传感器	325
6.1.2 传感器在电烤箱中的应用	327
6.2 集成电路传感器	330
6.2.1 集成电路传感器实例	330
6.2.2 具有可动部的半导体传感器	332
6.3 照相机中的传感装置	334
6.3.1 照相机的自动对焦	334
6.3.2 VTR 用电视摄像机	336
7. 人体计测	340
7.1 人体特性与人体计测	340
7.2 人体电现象的测量和电极	341
7.3 诸循环量的计测与流量传感器	344
7.3.1 血压的测量	344
7.3.2 血流的测量	344
7.3.3 心脏排血量的测量	346
7.4 运动测量与力学量传感器	346
7.5 体温测量与温度传感器	346
7.6 血中离子浓度的测量与化学传感器	348
7.7 系统仪器与传感器	348

7.8 人体用传感器的发展动向·····	348
----------------------	-----

第四篇 传感器技术的进步

1. 新的种类 ·····	353
1.1 精细陶瓷与传感器·····	353
1.1.1 陶瓷 O ₂ 传感器·····	353
1.1.2 新的热敏电阻元件·····	354
1.2 微细加工技术与超小型装置·····	354
1.2.1 微细加工·····	354
1.2.2 用微细加工制作的气体色谱柱·····	355
1.2.3 微细加工与传感器的精巧化·····	356
1.3 仿生传感器·····	356
1.3.1 生物膜与生物传感器·····	357
1.3.2 嗅觉器官与气体传感器·····	357
1.3.3 仿生化学传感器·····	357
2. 新的需求 ·····	361
2.1 家用电器与传感器·····	361
2.1.1 电冰箱与传感器·····	362
2.1.2 室内空调机与传感器·····	362
2.1.3 今后的家用传感器·····	362
2.2 汽车电子化与传感器·····	363
2.2.1 发动机吸气量传感器·····	363
2.2.2 汽车传感器的新需求·····	364
2.3 机器人与传感器·····	364
2.4 传感器技术存在的问题·····	364
3. 传感器的智能化 ·····	366
3.1 微机应用的价值·····	366
3.2 微机应用的现状·····	366
3.3 高技术传感器·····	369

第一篇 总论