

光 缆

〔日〕福富秀雄 编著

李先源 易武秀 杨同友 译

GUANG LAN GUANG LAN GUANG LAN



人 民 邮 电 出 版 社

光 缆

[日] 福富秀雄 编著
李先源 易武秀 杨同友 译

人 民 邮 电 出 版 社

〔改訂版〕
光ファイバケーブル
工学博士 福富秀雄 編著
電気通信協会
1986

内 容 提 要

本书是一本实用技术读物。对光缆的基本原理、光缆的具体结构、线路设计施工和测量维护等实用技术都作了详细的介绍。

全书共分十章，第1章介绍光传输线路在INS中所处的地位，第2章扼要介绍光纤通信概况。第3章到第5章介绍光纤、光缆，光纤和光缆连接。第6章至第8章分别介绍光缆设计、施工、维护和测量。最后，在第9、10章和后记中就光纤通信的研究开发史及未来发表了作者的见解。

本书可供从事光纤通信工程设计、施工、维护工作的工程技术人员及通信专业的师生阅读。

光 纜
〔日〕福富秀雄 編著
李先源 易武秀 杨同友 译
责任编辑：李树岭

人民邮电出版社出版
北京东长安街27号
广 益 印 刷 厂 印 刷
新华书店北京发行所发行
各地新华书店经售

开本：850×1168 1/32 1989年12月 第 一 版
印张：11²⁴/₃₂ 页数：188 1989年12月北京第1次印刷
字数：309 千字 印数：1—2 500 册

ISBN 7-115-03833-3/TN·194

定价：5.50元

中文版序

电气通讯技术日新月异，推动了社会的前进步伐。

我曾在 NTT (日本电信电话公司) 工作过三十余年，主要从事通讯电缆技术的研究和开发。现已转入住友电气工业公司工作。

此次，本人在 NTT 任职期间撰写的《光缆》拙文，被翻译成中文版，将介绍给中国的广大读者，对此，笔者甚感荣幸。

特借此机会，衷心祝愿贵国的通讯光缆技术进一步发展，以促进中国通讯现代化早日实现。

日本住友电气工业公司

工学博士 福富秀雄

一九八八年七月

作者简历

- | | |
|-------------|---|
| 1931 年 | 日本出生 |
| 1955 年 | 早稻田大学电工系毕业 |
| 1976 年 | NTT 钏路电气通信部长 |
| 1978 年 | NTT 茨城电气通信研究所线路研究部长 |
| 1978 年~83 年 | 光纤光缆共同研究委员长
NTT・住友电工・古河电工
藤仓电线・日本大洋海底电线 |
| 1978 年~86 年 | 光纤光缆部件国际电气标准会议日本国内委员长(IEC.
SC 46 E, TC 86) |
| 1984 年 | NTT 茨城电气通信研究所所长 |
| 1986 年~ | 被聘请到住友电气工业公司工作，担任：研究开发本部
副部长 横浜研究所所长 |
| 学位论文 | 信息传送媒介电缆有关的研究 |

修 订 说 明

公用通信网正向着高度发达的信息社会发生重大变化。日本电报电话公司(NTT)抓住最近技术革新和业务种类增加的动向,提出了高级信息传输系统(INS)的设想,进行通信网的变革。日本的光缆技术与本书初版(1983年)的时期相比,现在更经济、更可靠、性能更完备,作为构成INS的主要技术已经具有划时代的意义。

与金属缆相比,光纤具有许多特点,因而,在过去的十年之中,致力于光纤传输方式的研究与开发。而且,现在已经以中继传输方式为主,积极地使用光纤通信系统。

另一方面,已经从10年前开始了在用户传输系统中引进光纤的试验。光纤具有的损耗低、频带宽等特点,使得用原来的金属线路不能实现的宽带图象传输业务已成为可能。以今后要实现的图象社会为目标,用三鹰和东京市区内的INS样板系统对光纤用户传输方式使用的技术进行了鉴定,验证了其业务性能。从通信和广播可能共用设备来看,随着高质量的电视的普及,光纤传输方式作为信息社会的基础的概念会逐年明确起来。

本次修订虽然对所有光缆技术进行了重新估价,但是,主要是对用户系统技术进行了删改。在修订本书时,得到了NTT茨城研究所的小岛伸哉,内田直也,根岸幸康、二瓶文博、石田之则、德田正满、石原浩志、山川进三等人的协助,在此深表谢意。

编著者 1986年2月

推荐者的话

日本电报电话

北原安定

公司副总裁

电信技术的迅速发展，形成了维持信息社会的庞大公用通信网。日本电信事业的规模、业务、技术诸方面，已经达到当今世界最先进水平，在国际上博得了高度评价。

信息的产生和流通比以往有更高的价值，现已进入信息给社会生活带来重大影响的信息时代，通信事业要发生根本性变革，从过去的以电报电话为主转变为提供数据、传真、图象等高级的、丰富多彩的服务。

在信息时代到来之际，NTT要按照国民的愿望，以低廉的价格、简便的手续、简单的操作为用户提供丰富的服务内容。因此，为了提高通信网的经济效益和完善其功能，应该形成以数字化为主的信息网系统(INS; Information Network System)。要实现这种高级通信网，寄希望于光纤通信技术。尤其是光纤通信的先导——光缆技术的进步和普及将会有力地促进实现INS。

尽管实现光纤通信系统要开发大量的新技术，但是，目前已经取得了异常的进展，经过NTT通信研究所的实用化试验，32Mb/s和100Mb/s的中容量光纤通信系统从1981年起开始商业应用，400Mb/s的传输系统和海底无中继传输系统投入商用的建设工程已经从1982年开始。用户光纤通信系统也从1982年开始实用化试验。

光纤通信方式不仅适用于公用通信网，而且对所有通信领域都适用，在这样的形势下，由从事实用研究的专家从基本知识到实

际应用详细介绍构成光纤通信系统的重要组成部分——光缆，出版实用光缆技术方面的著作正适时宜。

期望发展光纤通信技术，这是向从事光缆技术工作的人们，当然，也包括向从事其它工作的各位推荐本书的理由。

1983 年 6 月

序

日本电报电话公司

山口开生

总务理事、总工程师

1970年，是光纤传输技术史上值得纪念的一年，在这一年里制作出了低损耗光纤，半导体激光器也实现了连续振荡(美国)。

1970年以后，光纤传输技术的研究取得了惊人的进展。实现低损耗光纤的世界纪录不断刷新，1972年达到7dB/km(美国)，1973年下降到2.5dB/km(日本)，到1976年，降低到了0.47dB/km(日本)。后来，渐变型光纤的损耗达到了0.35dB/km(日本)，单模光纤的损耗下降到0.2dB/km(日本)，达到了石英系光纤的低损耗极限值。

不论国内外，通信部门的研究机关都迅速地、广泛地研究光缆传输技术。其中NTT的实用研究成果在国际上受到了高度评价。

光缆在用作传送信息的线路时，具有频带宽、损耗低、不受感应、重量轻、直径细等优点，用这样的光缆与激光器等部件组成的新型通信系统应用非常广泛，正在发展成为划时代的通信手段。

光纤传输系统已在日本的中继线路、海底线路、局内线路以及用户线路等公用通信网中得到应用，一部分已在全国范围内引入商用，而且在国际上率先正式使用了长波长频段。

光纤要作为实用的传输线路，重要的是要具备足够的机械强度，以便能够承受成缆、敷设时施加在光缆上的张力。另外，在长时间使用过程中受自然环境和人为的影响，光纤还要承受各种张力的作用，并产生应变，在这些情况下，也必须保证光纤的可靠性。

本书作者从基本知识到实用技术对光缆进行了详细的介绍。

光缆技术不仅应用在公用通信领域，还广泛地应用于工业生产的各种控制系统、计算机装置的母线系统等许多方面，它将促进社会经济的发展。

1983年6月

主 编 的 话

日本电报电话公司

斋 伯 哲

近畿通信局局长

社会向着信息社会发展,要求通信网也相应地得到充实,增加传真、数据、图象通信等非话业务,使通信手段多样化、高级化。

以 LSI 为主的 半导体技术、数字信号技术、光缆传输技术等数字技术发展速度异常地快,促使通信网向数字化方向发展。

从这样的需要和发展动向来看,作为社会脉络的公用通信正处于重大变革时期。NTT 未来通信网的目标是实现 INS。

光缆技术是实现 INS 的重要技术,因而人们渴望光缆技术的进步和普及。

为达到上述目的,NTT 通信技术委员会线路分会决定由本书主编担任调查主任,从 1979 年开始审议光缆技术。

光纤与铜线相比,尽管有许多长处,但是,从本质上说,它是由脆性材料制成的,一受到侧压力等外力的作用,传输特性就发生变化。为了弥补这一缺陷,必须采用不同于电缆的成缆技术、连接技术和测量技术。

本书从光缆的基本原理入手,一直介绍到光缆的具体结构、线路施工和维护。

全书共分 10 章,第 1 章介绍光传输线路在 INS 中所处的地位,第 2 章扼要介绍光纤通信概况。第 3 章到第 5 章介绍光纤、光缆、光纤和光缆连接。第 6 章至第 8 章分别介绍光缆设计、施工、维护和测量。最后,在第 9、10 章和后记中,作者就光纤通信的研究开发史、未来发表了见解。

由福富秀雄执笔，汇编 1982 年前 NTT 通信研究所的主要成果，形成这本实用的技术读物。

本书的编著者从日本进行光纤通信实用试验的初期开始，就担当光缆实用研究的指导工作，在此期间，得到加藤嘉则、栢野邦夫、木村英俊、小岛伸哉、内田直也、坂本光、田口守彦、根岸幸康、高田久夫、稻垣伸夫等人的协助，完成了本书的编写工作。为此，对相关各位表示衷心感谢。

希望通过本书加深广大读者对光缆的了解，使光缆技术蓬勃发展，为实现 INS 起更大的作用。

1983 年 6 月

目 录

第 1 章	INS 和光传输线路技术	1
第 2 章	光纤通信	4
2.1	光纤通信系统的基本构成	4
2.2	光纤通信的特征	5
第 3 章	光纤	10
3.1	光纤的构造	12
3.1.1	光纤的种类	12
3.1.2	光纤的波导结构	12
3.2	光传输原理	14
3.2.1	原理	14
3.2.2	传导模的几何光学解释	15
3.2.3	传导模的波动光学解释	19
3.3	光纤的损耗特性	22
3.3.1	光纤的固有损耗	22
3.3.2	光纤的弯曲损耗	24
3.4	光纤的频率特性	29
3.4.1	基带频率响应	29
3.4.2	传输带宽	29
3.5	光纤的机械特性	31
3.5.1	光纤强度的现状	32
3.5.2	光纤断裂理论	33
3.5.3	环境条件的影响	36
3.5.4	保证强度的方法	37
3.5.5	要求的筛选值	46

3.5.6 其他特性	50
3.6 光纤的制造方法	55
3.6.1 石英光纤的制造方法	56
3.6.2 高速制作石英光纤预制棒的方法	60
3.6.3 光纤涂覆方法	63
3.6.4 光纤的高速拉丝法	65
第4章 光缆	67
4.1 光缆结构	68
4.1.1 基本设计	70
4.1.2 光缆制作技术	82
4.2 各种光缆	84
4.2.1 光缆的种类和适用范围	84
4.2.2 中继传输用的光缆	85
4.2.3 海底光缆	86
4.2.4 用户光缆	88
4.2.5 其他光缆	90
4.3 光缆的特性	92
4.3.1 光缆的传输特性	92
4.3.2 光缆的机械特性	94
4.3.3 光缆的可靠性	96
第5章 光缆连接	98
5.1 光缆缆心的连接	98
5.1.1 光纤的永久性连接	98
5.1.2 光纤连接器连接	126
5.2 光缆外护套连接	143
5.2.1 外护套连接部分的设置环境	144
5.2.2 维护方式和连接部分	151
5.2.3 对连接外护套的要求	153
5.2.4 金属缆的外护套连接方法	155

5.2.5 光缆外护套连接	160
第6章 光线路的设计和施工	183
6.1 陆地上光线路的设计和施工	188
6.1.1 管道区间的设计和施工方法	188
6.1.2 隧道区间的设计和施工方法	198
6.1.3 架空区间的设计和施工方法	200
6.1.4 进局光线路的设计和施工方法	203
6.1.5 中介线对的设计	205
6.1.6 张力	205
6.1.7 一条管道敷设多根光缆	217
6.2 海底光线路的设计和施工	220
6.2.1 海底区间的设计	220
6.2.2 中继区间的设计	225
6.2.3 登陆区间的设计	228
6.2.4 海底光缆的敷设	230
第7章 光线路维护	235
7.1 陆地上光线路的维护	238
7.1.1 充气维护	238
7.1.2 故障预防性维护	243
7.1.3 故障位置的判断	243
7.1.4 排除故障	251
7.2 海底光线路的维护	253
7.2.1 故障检修	255
7.2.2 连接作业	260
第8章 光线路测量	261
8.1 测量光损耗	262
8.1.1 透过法测量光损耗	263
8.1.2 背向散射法测量光损耗	271
8.1.3 激励方法	284

8.2 传输带宽的测量	290
8.2.1 频域的测量	290
8.2.2 时域测量	297
8.2.3 激励方法	300
第9章 光纤的研制经过	310
9.1 光通信发展史	310
9.2 光纤的研究	313
9.3 光缆的现场试验	316
9.4 各国实用化现状	332
第10章 光缆技术展望	342
10.1 光纤制作技术	342
10.2 中继光缆	343
10.3 用户光缆	344
10.4 光纤连接	346
后记	348
参考文献	354

第 1 章 INS 和光传输线路技术

在向信息社会发展的过程中，国民或社会对信息交换的要求更高、交换的内容更丰富。INS 是能满足信息社会的需要，更廉价、更方便地开通电话业务和多种非话业务，提供更加丰富的信息的公用通信网。

为了构成 INS，需要从以模拟技术为基础的模拟传输网过渡到以数字技术为基础的数字传输网。电报电话公司（NTT）为了掌握和解决构成 INS 过程中的各种问题，实施了一个试验性计划——图 1.1 所示的模型。

INS 模型由设在三鹰地区和东京地区内的两部分组成，它可以和日本国内现有的通信网相连接。

三鹰地区设置有数字用户交换机，用金属缆、光缆、大气作传输媒介连接用户交换机和设置在用户室内的电话、数据、传真、静止图象、描绘等方面的数字化设备。而且，还安装有宽频带交换机，用来处理可视电话会议和高速传真信号。此外，还设置了具有选择、转接功能的数字中继线交换机和其它多种通信处理装置，进行信息存储和交换，连接各种信息处理中心。已经证实这种方法是提高通信效率、方便使用、传递多种信息的好方法。为了解决三鹰地区 and 市内商业地带之间的通信，使用光缆传输方式和设置在市区内的遥控集线装置连通各种室内设备。

INS 提供的服务内容非常广泛，包括通过数字化提高了通信速度和质量的各室内装置之间的通信；由这些装置同时进行的或者转接的复合通信；通过通信处理功能实现的不同速度、不同种类的装置之间的通信；同文电报通信以及跟 DDX 和传真通信网之间的连接等等。此外，还提供超高速传真、彩色电视会议等宽频带业

