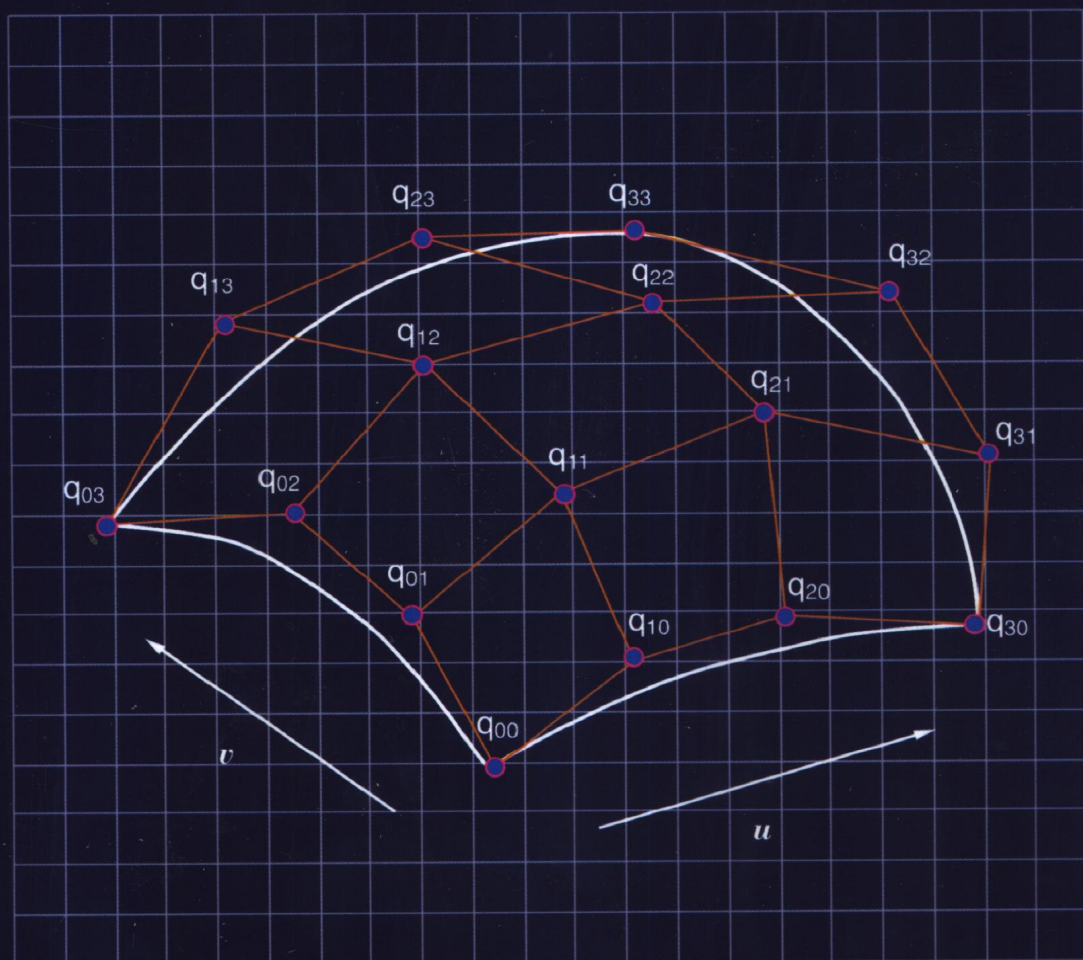


OHM 大学理工系列

计算机图形学

[日] 前川佳德 编著



科学出版社

OHM社

TP3/1.41
Q41C



OHM 大学理工系列

计算机图形学

[日] 前川佳德 编著
乔 双 译

科学出版社 OHM社

2002

图字：01-2002-0301 号

Original Japanese edition

Shinsedai Kougaku Series

Computer Graphics

by Yoshinori Maekawa et al.

Copyright © 2001 by Yoshinori Maekawa

Published by Ohmsha, Ltd.

This Chinese language edition is co-published by Ohmsha, Ltd. and Science Press

Copyright © 2001

All rights reserved

本书中文版权为科学出版社和 OHM 社所共有

**新世代工学シリーズ
コンピュータグラフィックス
前川佳徳 オーム社 2001**

图书在版编目(CIP)数据

计算机图形学/(日)前川佳徳编著;乔 双译. 北京:科学出版社,2002

ISBN 7-03-010063-8

I. 计… II. ①前… ②乔… III. 计算机应用-图像处理-高等学校-教材 IV. TP391.41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 005245 号

北京东方科龙图文有限公司 制作

<http://www.okbook.com.cn>

科学出版社 OHM 社 出版

北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

2002 年 2 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2002 年 2 月第一次印刷 印张: 10

印数: 1-5 000 字数: 143 000

定 价: 19.80 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈新欣〉)

丛书序

主编 樱井良文

现在,很多大学正在进行院系调整以及学科、专业的重组,以研究生培养为重点,引入学期制,采用新的课程体系授课,特别是由于学期制教学计划的引入,使得原来分册编写的教材很难在一个学期的教学中消化。因此,各学校对“易教”、“易学”教材的需求越来越迫切。

本系列是面向通信、信息,电子、材料,电力、能源,以及系统、控制等多学科领域的新型教学参考系列。系列中各册均由活跃在相应学科领域第一线的教授任主编,由年轻有为的学者执笔,内容丰富、精炼,有利于对学科基础的理解。设计版面时着意为学生留出了写笔记的空间,是一种可以兼作笔记、风格别致的教学参考书。

希望肩负新世纪工程技术领域发展重任的青年读者们,通过本教程系列的学习,建立扎实的学科基础,在实践中充分发挥自己的应用能力。

OHM 大学理工系列编辑委员会

主 编

樱井良文 大阪大学名誉教授

副主编

西川祯一 大阪工业大学校长
京都大学名誉教授

编委(按姓氏笔画顺序)

广濑全孝	广岛大学教授	井口征士	大阪大学教授
木村磐根	大阪工业大学教授 京都大学名誉教授	仁田旦三	东京大学教授
白井良明	大阪大学教授	西原 浩	大阪大学教授
池田克夫	京都大学教授	滨川圭弘	立命馆大学教授 大阪大学名誉教授

前 言

本书是作为大学一学期用参考教材而编写的。

计算机图形学(CG)是正在不断发展的技术领域,其应用也在不断地扩大。因此,对这门发展迅速、众人瞩目的技术,想通过在大学一学期的学习,就达到能开发应用的水平,还是不太可能的。学生在大学里往往把CG作为一门课程学习,并不是把CG作为自己将来要从事的专业,因而就不会给予足够的重视。但是,CG作为深深地渗透于我们日常生活的一种技术,是一个通过计算机游戏及CG电影等容易了解和接近的领域,也可以说,几乎所有的学生都对它有某种程度的关注。更何况,今后CG或者虚拟技术会对我们的生活产生越来越多的影响,所以我诚挚地希望有更多的人能够正确地理解其本质。

本书是有关CG基础的入门书。因为是教材,所以书中并不只是定性地解释,而是把重点放在阐述CG的数学基础,使学生能够由此理解CG的本质。因此,本书和现在很多已出版的面向把CG作为专业来学习的人们的专业用书(在本书最后,已作为参考文献CG列出)不同,而是仅仅给出最基本的(入门的)内容,力图使基本知识能够被容易而正确地理解。把必要的、最小限度的内容介绍给学生,为学生毕业后在认为必要时进行自学打下坚实的基础。因此,本书定位于CG专业的入门书。在这个意义上,我认为这是一本很有特点的CG教材。

在本书的编写过程中,特别注意了以下几点:

1. 作为大学参考教材用书,保证在一个课时(90分钟)内讲完一章内容。
2. 由于在大学里有课时的限制,所以只选择介绍了三维形体的创建和再现(写实性的表示)技术的基本内容。
3. 为重视数学基础知识,在书后的练习题中,把计算机执行的计算(算法)用在纸上计算的方法来介绍,以便学生更充分地理解算法的内容。

建议使用本书的授课(学习)方法是,首先让学生把所学的内

容粗略地看一遍,紧接着由授课教师讲解重点,随后(在授课时间内)做几个有关的练习题(本书把做练习题的时间计在授课时间内),以此使学生更充分地掌握各章内容。练习题中前边的几个习题是按照在授课时间内完成的思路设计的。剩余的习题是为了开拓学生的视野,加深理解而安排的。希望学生利用业余时间自主地完成这些习题。

本书虽是作为大学参考教材而编写的,但我认为在企业中对于想学习 CG 知识的技术人员也非常有用。作为一本 CG 专业的入门书,能够有助于扩展 CG 专业领域科技人员的知识面、解决实际问题,我们将感到非常欣慰。

另外,在本书的编写过程中,大阪电气通信大学新关雅俊副教授提出了许多有益的建议。全书的汇总、审校比计划迟了许多,给执笔者及 OHM 社的各位带来了很大的不便,在这里表示歉意,同时衷心地感谢他们在编写过程中给予的诸多帮助。另外,还感谢大阪产业大学前川研究室的研究生、本科生的大力协助。

前川佳德

目 录

第 1 章 计算机图形学概述	1
1.1 计算机图形学的定义	1
1.2 计算机图形学的应用领域	4
1.2.1 在设计、制造领域中的应用	4
1.2.2 在电影、游戏、广告片制作领域中的 应用	6
1.2.3 在景观仿真中的应用	6
1.2.4 在服装流行款式设计中的应用	7
1.2.5 在医学领域中的应用	8
1.2.6 虚拟人	8
1.2.7 虚拟现实	9
1.2.8 CG 艺术	9
1.3 计算机图形学的本质	10
练习题	10
第 2 章 CG 的构成	13
2.1 形体模型制作	13
2.1.1 坐标系	13
2.1.2 三维形体模型	14
2.2 变 换	16
2.3 再 现	17
2.4 形体模型表示	18
2.5 数字图像表示	19
练习题	20
第 3 章 三维形体的创建	23
3.1 边界表示	23
3.1.1 多边形表示	23
3.1.2 对称棱线数据结构	25

3.2	CSG 表示	25
3.2.1	原 胞	25
3.2.2	集合运算	26
3.2.3	边界评价函数	27
3.3	中心球法	28
3.4	三维像素表示	29
3.5	八叉树表示	29
3.6	扫描表示	30
	练习题	31
第 4 章	自由曲面的表示	33
4.1	参数表示	33
4.2	曲线段和曲面片	35
4.3	由控制点生成曲线段	35
4.3.1	曲线段的一般表达式	35
4.3.2	北折曲线	36
4.3.3	B-样条曲线	38
4.4	由控制点生成曲面片	39
4.4.1	曲面片的一般形式	40
4.4.2	北折曲面	40
4.4.3	B-样条曲面	41
	练习题	41
第 5 章	三维形体在二维平面上的投影	43
5.1	同次坐标和射影变换	43
5.1.1	同次坐标	43
5.1.2	射影变换	44
5.2	投影变换	44
5.2.1	投影的一般公式	44
5.2.2	射影变换的表示	45
5.3	平行投影	46
5.4	透视投影	48
	练习题	49

第 6 章 三维形体的变形、移动	51
6.1 二维几何变换	51
6.1.1 点的几何变换	51
6.1.2 图形的几何变换	54
6.2 三维几何变换	56
6.3 几何变换和坐标变换	59
练习题	60
第 7 章 隐藏面的消去方法	63
7.1 矢量的内积和外积	63
7.2 空间中平面的确定	64
7.3 隐藏面消去	66
7.4 Z 缓冲法	68
7.5 扫描线法	69
练习题	70
第 8 章 描影法与映射法	73
8.1 描影法	73
8.1.1 描影法的原理	73
8.1.2 阴影模型	75
8.2 平滑阴影	77
8.2.1 平坦阴影和阴影的平滑化	77
8.2.2 古兰德描影法	78
8.2.3 方描影法	79
8.3 结构映射	79
8.3.1 结构映射的种类	79
8.3.2 图像数据的映射	79
8.3.3 冲击映射法	81
8.3.4 环境映射法	81
8.3.5 立体结构	82
练习题	82
第 9 章 射线跟踪技术	85
9.1 射线跟踪法的原理	85
9.2 可视点的辉度计算	86

9.3	反射、透射和折射现象	89
9.3.1	反射方向	89
9.3.2	透射和折射	89
9.4	射线和物体之间的交点	90
9.4.1	隐函数所表示的物体形状和射线 之间的交点	91
9.4.2	依靠 CSG 表示的物体形状和射线 之间的交点	91
	练习题	92
第 10 章	颜色的表示	95
10.1	颜色的合成	95
10.2	三基色	96
10.3	表色系	97
10.3.1	CIE RGB 表色系	98
10.3.2	CIE XYZ 表色系	98
10.3.3	CMY 表色系和 CMYK 表色系	99
10.3.4	芒塞尔表色系	100
10.4	颜色的指定	101
10.4.1	依靠 RGB 彩色模型的颜色 指定	102
10.4.2	依靠颜色三种属性的颜色 指定	103
10.5	彩色控制	103
	练习题	104
第 11 章	数值再现	105
11.1	数值显像	105
11.2	数值数据	106
11.3	数值显像的框架	107
11.3.1	输入数值数据	108
11.3.2	曲面再现方法	108
11.3.3	数值再现方法	109
11.4	等值面化	109

11.5 数值再现	111
11.5.1 数值格子的分类	111
11.5.2 描影法(色荫)	113
11.5.3 数值射线浇铸法	113
练习题	114
第 12 章 动画与变形	115
12.1 动画的构造	115
12.2 关键帧法	116
12.3 动作的设定方法	117
12.3.1 使用函数生成动作	117
12.3.2 轮廓法	117
12.3.3 运动学	118
12.3.4 动力学	120
12.4 微粒子法	120
12.5 变 形	121
12.5.1 表面波法	121
12.5.2 三维变形	121
12.6 动作输入法	123
12.6.1 动作捕捉	123
12.6.2 动作控制照相机	124
12.7 动作模糊	124
练习题	125
练习题简答	127
参考文献	145

第 1 章

计算机图形学概述

一提到计算机图形学(CG),可能谁都知道。但是,如果要给它下一个准确的定义,就并非易事。由于其涵盖的内容包罗万象,所以把它们统一地进行说明确实很难。在本章中,首先给出计算机图形学的定义,然后用具体实例,说明在各个领域中的典型应用。由此,了解CG的概念及本质,达到本章的学习目的。

1.1 计算机图形学的定义

计算机图形学(computer graphics,CG),我们把它定义为:在计算机中绘制的图形、图像,经计算机进行处理之后,将它们由显示器、打印机等图像输出设备展示的技术。

所谓**图像**(image),就是绘画、照片、影像等的总称。但是,在计算机中,由于能够绘制和处理的图像被数字化了,所以我们称之为**数字图像**(digital image)。图像包括静态图像和动态图像,可按图 1.1 所示分类。所谓**图形**(figure),是构成图像的要素,常被使用于表示图中某一具体形状的场所。图 1.2 是(狭义的)图像的典型示例,图 1.3 是图形的典型示例。图形包括二维图形和三维

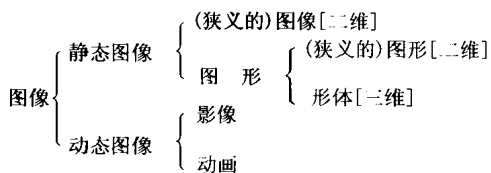


图 1.1 图像、图形、形状之间的关系

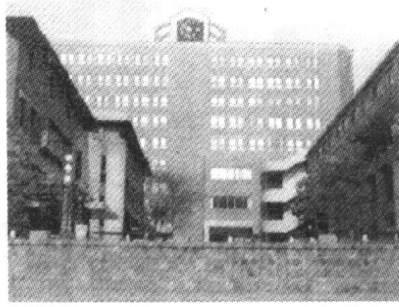


图 1.2 图像示例

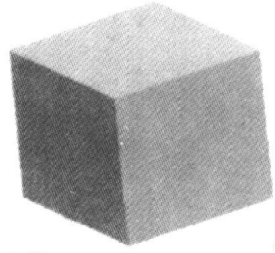


图 1.3 图形示例

维图形。为区别起见,将二维图形称为狭义的图形,将三维图形称为**形体**(shape)。本书中采用这种区分方法。再进一步,我们称使狭义的图像运动的动态图像为**影像**(video, movie),称使其中某一具体图形运动的动态图像为**动画**(animation)。

在这里需要注意的是,假如我们在显示器上显示如图 1.3 所示的图形,会有两种方法:一种是图形数据在计算机内以二维形式来定义,显示时直接显示;另一种是图形数据在计算机内以三维形体来定义,显示时要如图 1.4 所示那样地从某一方向向某一平

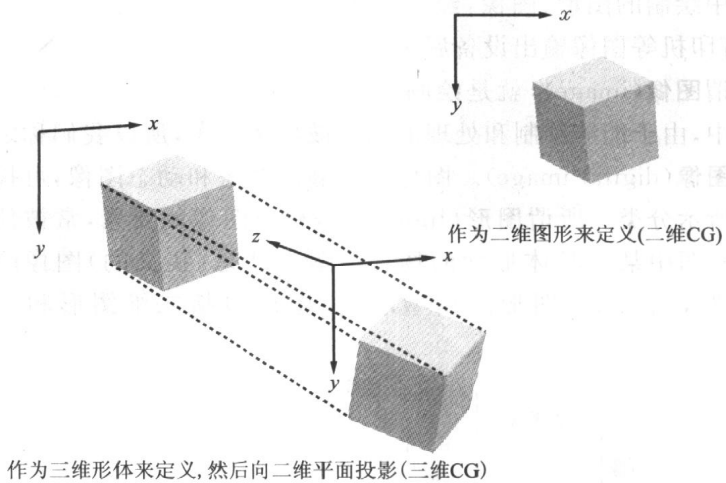


图 1.4 三维 CG 和二维 CG

面投影,变换成二维图形来显示。在计算机内制作的对象不管是二维图形,还是三维形体,由于显示工具(显示器画面和打印输出纸面等)是二维的,所以在显示时二者都要变换成二维图形(图像)。但是,在计算机内作为二维图形来制作的情况称为**二维 CG**(2 dimensional CG),作为三维形体来制作的情况称为**三维 CG**(3 dimensional CG),希望能够留意两者是不同的。

把在计算机内制作(定义)图形及形体称为**图形模型制作**或者**形体模型制作**(geometric modeling),所定义的对象称为**图形模型**或者**形体模型**(geometric model)。图形及形体的模型制作技术,最初是作为**CAD**(计算机辅助设计)开始的。图形及形体是由点、线、面构成,在计算机内变为用它们的几何信息(坐标值)和相位信息(连接关系)定义的数学模型。

我们把给这个图形或形体着色,以真实地表现它们的技术称为**再现**(rendering)。特别地称依靠光线做阴影的技术为**描影法**(shading)。描影法等再现技术依赖于作为图形输出装置的显示器及打印机等的功能。一般情况下,那些输出装置把在计算机内定义的图形及形体,作为**像素**(pixel)的集合来表示。因而,在上述图形及形体的数学模型上施加再现技术,就能变换成作为数字图像数据的**表示模型**(display model)。

CG 技术的主要内容是上述的形体模型的制作和再现,并在它们之上增加了把前述的三维形体表示成二维平面的投影变换,在计算机内使形体变化的几何变换和进一步地使形体运动作为动态图像显示的动画等。它们成为 CG 技术的构成要素。

另一方面,把图像从图像输入装置(数字照相机、扫描仪等),作为像素的集合采集进来,在计算机内提高其价值(附加跟用途相适应的价值),作为另外的图像从图形输出装置输出。这种情况也包含在计算机图形学中。在这种场合下,计算机图形学的定义成为“将图像及影像输入到计算机中,用计算机进行加工,把它们由图形输出装置显示的技术”。图 1.2 是用数字照相机拍摄的图像。把它和用另外的数字照相机拍摄的图像合成的例子,如图 1.5 所示。像这样的技术也经常使用,是计算机图像学的一个重要领域。而且,在本书中,以“在计算机中制作三维形状,用计算机进行处理,依靠显示器等图形输出装置表示的技术”的三维 CG 为主来讲解,关于二维 CG 及图像处理仅仅就必要的部分稍加讲解。

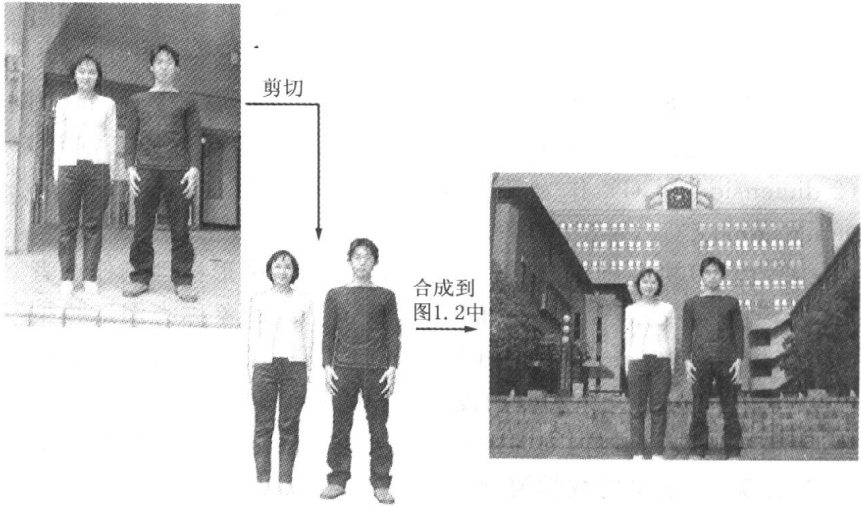


图 1.5 图像的合成(加工)

1.2 计算机图形学的应用领域

在计算机图形学有许多应用领域。在此我们介绍一些具有代表性的应用领域。

1.2.1 在设计、制造领域中的应用

CG 在设计、制造业中的应用被称为 CAD(computer aided design, 计算机辅助设计)、CAM (computer aided manufacturing, 计算机辅助制造)。

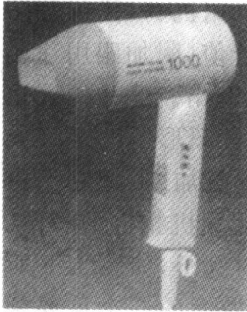


图 1.6 图案设计研讨
(夏普(公司)资料)

CAD 的应用有许多种。如图 1.6 所示是运用于图案设计的例子。通过改变形状、颜色、手柄等进行图案设计。在这种场合,着眼点在于把对象模型真实地表现出来。图 1.7 是运用于功能设计研讨的例子。首先在狭窄的空间配置零件,然后仿真其可动零件的动作,探讨最适合的配置。在这种场合,着眼点在于高精度地定义对象模型形状。

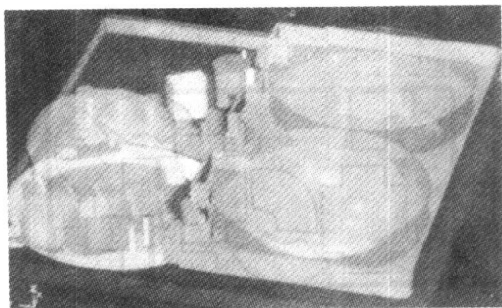


图 1.7 功能设计研讨
(电通国际信息服务公司资料)

用 CAD 进行以上研究与探讨的益处在于因为不是实际制作而是依靠虚拟制作进行研讨,所以制作成本大大降低,开发周期大为缩短。而且,还具有将实际制作物中不易观看的细微部分扩大,遮挡部分可以用半透明形式来显示的优点。

CAM 的应用主要如图 1.8 所示,从 CAD 数据设计作成用 NC (numerical control, 数字控制) 加工的工具路径,进行工具的干涉检查等。这就是应用了工具形状动画制作的结果。而且,如图 1.9 所示,为了提高精度的取材研讨也是辅助制造的一种,这就是图形处理技术的应用。

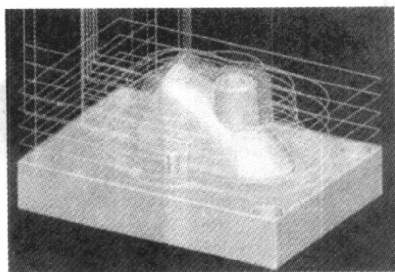


图 1.8 工具路径研讨
(日立造船信息系统(公司)资料)

况且,CAD、CAM 的应用,作为 CG 的应用领域,具有悠久的历史。也可以说,CAD 在先,CG 是从它那儿发展起来的技术。1963 年由 MIT 的 Ivan E. Sutherland 发表的 SKETCHPAD 一文中,最先提出了 CAD 概念(对话型图形处理),可以说这就是 CG 的起源。

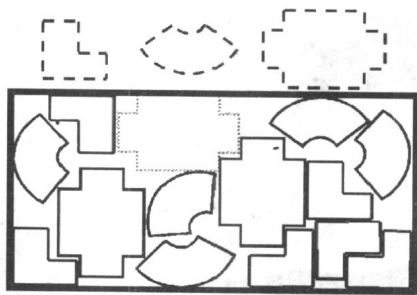


图 1.9 取材研讨

1.2.2 在电影、游戏、广告片制作领域中的应用

在这个领域中的应用,也许是可以看到的离我们最近的CG。所谓由计算机制作影像是20世纪60年代初期在美国的贝尔实验室诞生的,但其目的并不是宣传娱乐业的应用,而是为宇宙开发进行的仿真。从20世纪70年代后期才正式开始将计算机制作影像应用于娱乐业。

如果举出一个由计算机制作影像的例子,那首先就是模拟如图1.10所示的人物,将他们真实地表现出来,而且能够让其自然地运动。这在当时是一项重要的技术课题。而且把像图1.11那样的火、水或者云做成自然的影像也是CG中的重要技术课题。更进一步地,将用CG制作的文字合成到影像中,这在广告片等之中经常被运用。

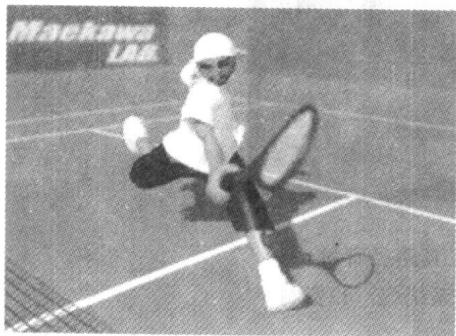


图 1.10 人的模型制作

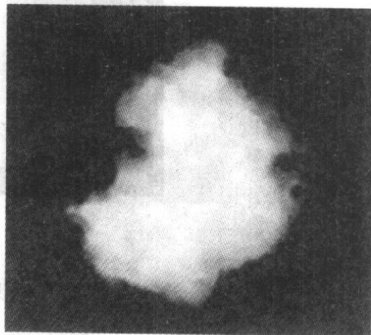


图 1.11 火焰的模型制作

1.2.3 在景观仿真中的应用

图1.12是景观仿真的例子。有时模拟建筑物等,研讨它们的