

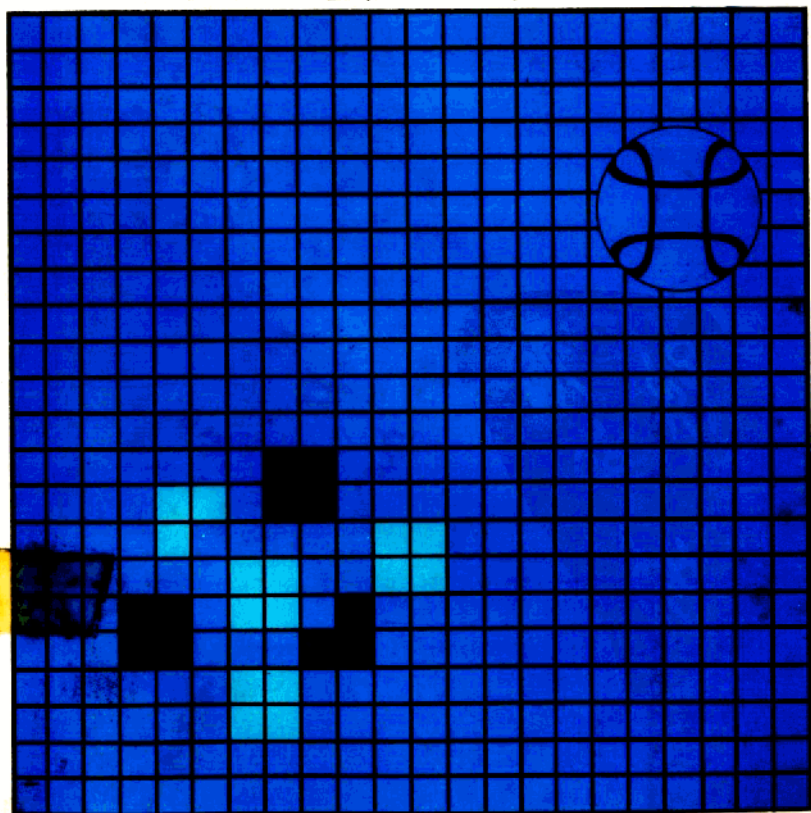
光學技術

眼鏡工學

大頭 仁／一色眞幸／ 鵜飼一彦^著
中島 章／貝瀬 勇／河原哲夫

小瀬輝次 監修

賴耿陽 譯



復文書局

光學技術

眼鏡工學

大頭 仁／一色眞幸／ 鷗飼一彦 著
中島 章／貝瀬 勇／河原 哲夫

小瀬輝次 監修 頼耿陽 譯

復文書局

光學技術 **眼鏡工學**

著作權執照台內著字第 號

版權所有

翻印必究

中華民國七十三年正月初版發行

平裝特價125元

著 者： 小 瀨 輝 次

編 譯 者： 賴 耿 陽

發 行 者： 吳 主 和

發 行 所： **復 文 書 局**

地址：臺南市東門路421巷28號

門市部地址：台南市林森路二段63號

電話：(062)370003・386937

郵政劃撥帳戶32104號

No.28. LANE421 DONG-MEN
ROAD TAINAN TAIWAN REPUBLIC
OF CHINA

TEL:(062)370003・386937

本書局經行政院新聞局核准登記發給
出版事業登記證局版台業字第0370號

序 文

眼鏡只是單純的鏡片，却是高效果的光學器械。但是，可能太常見了，吾人從來不認真地把它當成一門學問。

爲瞭解眼鏡的本質，設計思想，須總合考慮鏡片與眼睛的合成系。所以本書由名分野的專家分別執筆解說眼睛的生理、機能、眼鏡鏡片及隱形眼鏡的特性、鏡框的調整法、最近的檢眼法(驗光法)。

但願不久的將來，可由醫學、工學協力合作，建立眼鏡的學問體系，據而栽培卓越的檢眼技術者，眼鏡技術專家。

本書爲此目的的入門書，若可成啓蒙書，當是編輯們望外之喜。

謹向各位在百忙中又細心執筆的先生們致謝，並對編輯本書時，在各執筆者間來往連絡協調的出版社致誠摯的敬意。

日文版1983年3月30日出版

中文版1983年6月25日譯成

原編集委員簡歷

小瀬輝次—東京大學生產技術研究所教授・工學博士

佐柳和男—キャノン株式會社製品技術研究所部長・工學博士

辻内順平—東京工業大學工學部工學研究施設教授・工學博士

藤原史郎—築波大學物理工學系教授・工學博士

目 錄

1. 序 論	1
1.1 眼鏡是否為光學器械	1
1.2 從眼鏡的計測到眼鏡工學	1
1.3 眼鏡的流通與教育	2
2. 眼鏡的光學	4
2.1 何謂光	4
2.2 Fermat 的原理	7
2.3 光的直進和反射	9
2.4 正反射與擴散反射	10
2.5 光的折射	11
2.6 透鏡	14
2.7 收差	24
2.8 波面收差	30
2.9 干涉	32
2.10 繞射	35
2.11 結像特性	36
2.12 偏光	39
3. 視機能與眼鏡光學	43

3.1	眼睛構造與視覺系	43
3.2	光覺與色覺	46
3.3	兩眼視機能	55
3.4	眼球運動與瞳孔	57
3.5	眼的光學	59
3.6	折射與調節	64
3.7	視力與空間周波數特性	75
4.	眼鏡的透鏡	88
4.1	種類	88
4.2	折射異常矯正用透鏡	89
4.3	亂視透鏡	99
4.4	多重焦點透鏡及progressive power 透鏡	102
4.5	弱視透鏡	106
4.6	護眼透鏡	107
4.7	反射防止膜	110
5.	隱形眼鏡	114
5.1	隱形眼鏡的定義	114
5.2	隱形眼鏡與普通眼鏡的特色比較	115
5.3	隱形眼鏡的歷史	117
5.4	隱形眼鏡的種類	122
5.5	隱形眼鏡的光學	123
5.6	隱形眼鏡的裝用條件	133
5.7	隱形眼鏡的材料	134
5.8	造形與製造法	136

5.9	鏡片的處方與處理、副作用	137
5.10	隱形眼鏡與角膜—氧	140
5.11	隱形眼鏡用液	142
5.12	理想的隱形眼鏡	142
6.	眼鏡的設計與加工	157
6.1	眼鏡的設計	157
6.2	鏡片加工	171
6.3	裝框	175
6.4	最終檢查（最終調和與最終檢查）	175
7.	折射檢查法及檢查器械法	176
7.1	眼鏡決定用檢查	176
7.2	自覺性折射檢查	177
7.3	他覺性折射檢查	190
7.4	眼鏡處方必要的其他檢查	208

1. 序論

1.1 眼鏡是否為光學器械

眼鏡透鏡單體確屬光學器械。裝成眼鏡後，由視力障礙者配戴矯正機能，才有本來的意義，眼鏡的難題在此。施行正確的檢眼（驗光），檢討處方，選擇性能較好的透鏡，而且配合裝用者的臉形或行動，裝入人體工學適稱的鏡框，才完成一副眼鏡。

眼鏡是以1塊單透鏡為主體，如此與人類生活密切關連的機械可說絕無僅有。

人體的機能—特別是直結於腦的視覺機能最複雜，巧妙構成，也富順應性。但吾人作成的眼鏡即使某單一性能優秀，其機能或順應性也近乎零。補助人視覺的眼鏡反而常由人來適應它。錯誤的處方或調整，即使透鏡本身再好，作成的眼鏡不只是不良品，反而有害。不只是補正折射度的透鏡，應利用高度的總合技術，補全視覺機能，才算大功告成。

1.2 從眼鏡的計測到眼鏡工學

在今天的日本，有色眼鏡，工業用保護眼鏡等無折射度者為通產省（經濟部）管轄的器具。但有折射度的眼鏡全為厚生省（衛生福利部）管轄的醫療用具，至少在日本眼科醫生界，眼鏡的地位同眼疾治療用藥品。規定檢眼（驗光）行為為醫療的一部份，對異常眼的眼鏡處方應是醫生的責任。正如對眼疾下眼藥水的處方一樣，對折射異常

2 眼鏡工學

者或低視力者也應只有醫生才有下眼鏡處方治療的責任和義務。

但實際上，此項主張也頗有牽強之處。

第1，例如對高齡的生理性老視用眼鏡是否須處方為眼疾治療用具？很難斷言眼鏡對單純生理性折射異常有何治療功能。亦即，有藉眼鏡產生治療效果的場合，無病態症狀而藉眼鏡使視機能正常化的單純視覺補助具。後者的場合常佔絕大多數。前者的場合當然為醫療行為，需要醫生的適切處置。後者需要專門性眼鏡處方用檢眼，從生理光學、人體工學立場，以機能適合為中心而下處方。亦即，須明確瞭解以醫療為中心的病態疾患檢查，眼鏡處方用檢眼行為的功能，分別正確執行，究竟屬於兩者之何一，要就各患者判定，有時對自認視力減退的患者檢眼而早期發現重要的眼疾，所以目前仍規定此為醫生的責任。

第2 問題牽涉眼鏡的需要量，在一億數千萬人口的日本國內，眼科醫生約5000位。對自認視力減退的患者，全由眼科醫生親自診病、治療、手術，對單純生理性折射異常者的機能眼鏡調整也進行正確的檢眼，是否有足夠的時間？最近技術進步，已開發自動測定眼折射的機器，多少可省力化，但是，只靠這些機器的測定值，無法正確全盤瞭解人類複雜的眼睛機能。若牽涉到適合個人的檢查，調整後的檢查，眼鏡的處方與調整不很簡單。現今的醫療不在量的增高，應以對個人多樣化的質的提高為目標，眼鏡的調整自不例外。

1.3 眼鏡的流通與教育

若從社會流通來看眼鏡，這也是一種特別的行業，透鏡（鏡片）的製造為光學技術的問題，由專門的技術者供給。各種各樣的透鏡批售給眼鏡行，但這畢竟是透鏡，不是眼鏡。但是很遺憾，最終完成與生活密切關連之眼鏡的公認專家在日本竟一個也沒有！（注意：台灣

的眼鏡行廣告無一不自稱專家)，現實的眼鏡需要量却很龐大，因而，大部份眼鏡店是自修或在無正規資格的特殊專門學校接受實務教育，辛苦學成技術，再向顧客供應眼鏡。在醫療、技術都最高度進步的日本，對國民最密切重要的眼鏡竟如此漠視，實令人費解。

在先進國家，已確立大學或研究所的專門教育制度，有與醫師同樣經國家考試取得專門資格的檢眼士 (Optometrists) 或眼鏡調整士 (Opticians) 分別研習專門學問、技術、經驗、連同醫生分擔眼科檢診，為國民的眼科衛生服務。日本也有適合國情的眼鏡高等教育或研究，希望進步的醫學、光學、生理學等實際回饋到眼鏡技術，可密切造福國民生活。

2. 眼鏡的光學

2.1 何謂光

光為電磁波的一種，如圖 2.1 所示，電磁波的波長範圍很廣，長自數公里的無線波短至 $1 \text{ \AA}$ 以下的加瑪射線，因波長的差異而有各種性質。光常指這些電磁波中肉眼可感受的部份——亦即波長 400 nm 到 700 nm 的範圍，也包括隣接可視光線的紫外線或紅外線一部份，總稱為光，光的波長範圍未必明確，以下設光的波長為 λ ， λ 的單位常用 nm 或 $\text{\AA}$ 。

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$
$$1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m} = 0.1 \text{ nm}$$

但此處關心的波長是特定元素放出的輝線光譜，因而，指定波長時，與其用數字，不如用這些輝線的英文字母記號較方便，表 2.1 為基準的輝線光譜、輝線記號、色及其放射元素。

表 2.1 代表性輝線光譜

色	紅		黃		綠	藍			紫
記 號	A'	C	D	d	e	F	g	G'	h
元 素	K	H	Na	Ne	Hg	H	Hg	H	Hg
波長 (nm)	768.2	656.3	589.3	587.6	546.1	486.1	435.8	434.0	404.7

真空中的電磁速度 = 光的速度
 $= 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ ，通常表成 c ，空氣中的光速度也可視為同此。但在玻璃或水等媒質中，光的速度小於 c ，波長也相對減短。所以指定光時，與其用波長 λ ，不如用不拘媒質種類的值——亦即光的周波數（頻率） ν ，

$$\nu = \frac{c}{\lambda}$$

此值為發光體特有，不受媒質影響，可視光線的周波數為 $10^4 \sim 10^{15} \text{ s}^{-1}$ 。

光本質上為波，呈現波動特有的性質——繞射、干涉等現象，但巨視上把光視為光線或光速，調查其舉動的學問稱為幾何光學。幾何光學是取出光物理性質的一部份而抽象化，為所謂的近似理論。藉此可高精度說明的分野也大，非常方便。複雜的物理現象也可藉此有效把握。幾何光學的另一大目的是瞭解、設計光學機器。

光的明度、強度關連光搬運的放射能大小，放射能再大，若是波長不為眼睛感受的光就無助於明度，因而，光的明度、強度問題不是光的物理能量全體，只限其中使肉眼發生視感的部份。例如波長 λ 與 $\lambda + d\lambda$ 間有 $F(\lambda)d\lambda$ 放射能的光源強度在眼的相對視感度（比視感

波長 (cm) 波長 (實用單位) 名稱

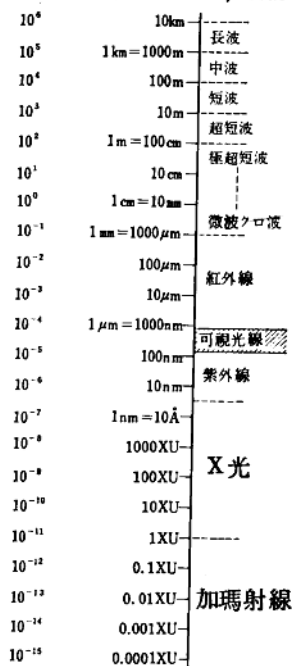


圖 2.1 電磁波的波長及名稱
 XU 稱為 X 單位， $1000 \text{ XU} \approx 1.002063 \text{ Å}$

6 眼鏡工學

度) 當成光波長 λ 的函數而表成 $V(\lambda)$ 時, 正比於

$$\int V(\lambda) F(\lambda) d\lambda$$

圖 2.2 為平均人眼的比視感度曲線。

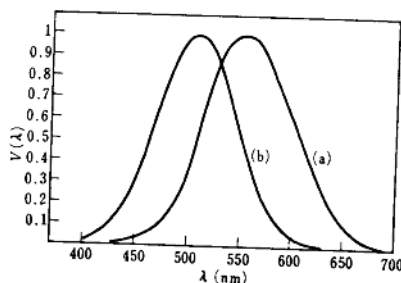


圖 2.2 平均人眼的比視感度曲線 $V(\lambda)$

(a) 對強光, (b) 對弱光

關於光的強度, 有光速、照度、光度、輝度等有待區別的概念, 各有嚴密的定義、單位, 不可混淆。

(1) 光束 (luminous flux) 記號 F

在空間假想某大小的面, 單位時間內通過它而引起光之視感覺的放射能稱為光速。單位用 lumen (流明)。

(2) 照度 (illuminance) 記號 E

這是表示受光面之明暗程度的量。1 平方公尺受 1 lumen 光速之面的照度稱為 1 lux (勒克斯), 另有 phot(ph) 的單位, $1 \text{ ph} = 10^4 \text{ lux}$ 。

(3) 光度 (luminous intensity) 記號 I

從夠小的光源, 在一定方向單位立體角內放射的光速稱為該方向的光度, 其單位為測光單位系的基礎, lumen 也由此導出。光度的

單位採用國際燭光 (international candle)，成其標準的碳電燈置於各國的標準局。但最近被 candela (cd) 單位取代，在白金融點 (約 2045K) 的黑體放射每 1 cm^2 的光度之 $\frac{1}{6}$ 定義為 1 candela，但兩者之間無實質差。從向各方向發出均勻光的 1 cd 光源，在單位立體角內放出的光速為 1 lumen。

(4) 輝度 (luminance or brightness) 記號 B

以光源的外觀大小 (投影於垂直一定方向之面的面積) 除對一定方向之光度，可得輝度，單位為 nt，即 cd/m^2 。另有 stilb。

$$1 \text{ stilb} = 10^4 \text{ nt}$$

鎢絲燈的輝度為 1000 stilb，超高壓水銀燈的輝度約為 1000000 stilb。輝度另有若干常用單位，相當麻煩。

$$1 \text{ Lambert} = \frac{1}{\pi} \text{ stilb} = 0.3183 \text{ stilb}$$

$$1 \text{ apo stilb} = \frac{1}{\pi} \text{ nt} = 0.3183 \text{ nt}$$

$$1 \text{ foot Lambert} = 3.426 \text{ nt}$$

2.2 Fermat 的原理

Pierre de Fermat (1601 ~ 1665) 為純粹的數學家，却研究光線的反射、折射等現象而發表有名的 Fermat 原理，他在研究最大、最小值問題的解法時，發現大自然有追求最小值的思想，推論「光線離開空間的一點，到達另一點時，選到達時間成最小的路線」，較嚴密的說法是取到達時間成極值 (極小值或極大值) 的路線。

8 眼鏡工學

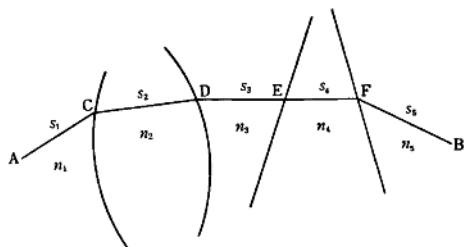


圖 2.3 光 路

如圖 2.3 所示，從 A 點到 B 點的光線經 ACDEFB 的路線，設途中各媒質的折射率為 n_1 ， n_2 ， n_3 ， n_4 及 n_5 ，折射率 n 的媒質內之光速 v 為真空中光速 c 的 $1/n$ 。設 AC 的長度為 s_1 ，光在 AC 間前進的時間為

$$\frac{s_1}{v_1} = \frac{n_1 s_1}{c}$$

同樣，光在 ACDEFB 前進的時間為

$$\frac{n_1 s_1}{c} + \frac{n_2 s_2}{c} + \frac{n_3 s_3}{c} + \frac{n_4 s_4}{c} + \frac{n_5 s_5}{c}$$

Fermat 的原理在此時可表成

$$\sum_i n_i s_i = \text{極值}$$

或

$$\delta \left(\sum_i n_i s_i \right) = 0$$

若更一般性包括折射率 n 連續變化的場合，此關係可表成

$$\delta \int_A^B n ds = 0 \quad (2.1)$$

$n ds$ 稱為光路長，Fermat 的原理可用光路長說成。

「沿連結 2 點之物理光線的光路長取極值」

幾何光學現象全可用此原理說明。

2.3 光的直進和反射

朝陽從百葉窗射入時，對它噴一口香烟，可看到光線成直線前進。由此現象可知光在空氣中或均質玻璃中等均勻物質中都是直進。這從 Fermat 原理看來亦屬當然。

在光的前進路中有異質物體時，光在其交界面局部反射、局部折射，進入該異質物質內，此時，反射光相對於入射光的強度此稱為反射率，反射率因光的波長，入射於交界的光線角度，交界面兩側物質而異。

從入射光線與交界面的相交點，垂直該面而引的直線稱為法線。入射光線或反射光線與法線夾成的角分別稱為入射角或反射角，它們之間有下反射定律成立。

(1) 入射光線、反射光線及法線在同一平面內，而且，入射光線與反射光線在法線的不同側。

(2) 入射角與反射角相等

在平面鏡前的光點 A ，在通過 A 的鏡之法線上，在離鏡等距離的後方點 A' 形成虛像，發出反射光宛如在 A' (圖 2.4) 從 A 發出的光以再大的反射角反射，也宛如全從 A' 而來，換言之，逆向延長反

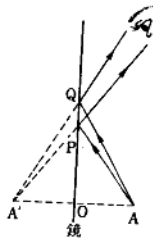
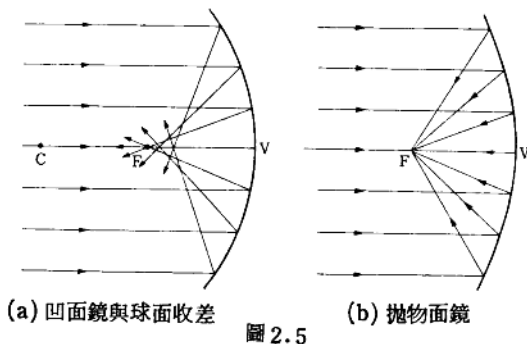


圖 2.4 平面鏡



射光線的話，全集中於一點 A' 。不集中於 A' 時，在光學上稱為有收差。在平面鏡的反射，嚴格說來，並無收差。在球面或一般曲面所致的反射或折射，只限於特別的點或近似的場合，可說是無收差，但平面反射鏡常為無收差。所以，平面鏡為最簡單的光學機械，使用時，相當方便。

現以凹面鏡敘述收差之例，球面一部份作成的凹面鏡有1個焦點 F 。設球面的曲率中心為 C ，頂點為 V ，則 F 為 VC 的中點（圖2.5(a)），平行光軸入射的光線反射後集中 F 點，但嚴格說來，只接近光軸的入射光線才會如此，較遠離的光線如圖所示，從 F 偏向頂點 V ，此稱球面收差。為能正確集中於焦點 F ，須用非球面的拋物面鏡。用於探照燈等的反射鏡即使拋物面鏡（圖2.5(b)）。

2.4 正反射與擴散反射

在充分磨平的金屬或玻璃表面，一定方向的入射光線在表面上任一點也沿一定方向反射。此稱，正反射（圖2.6(a)），物體表面粗