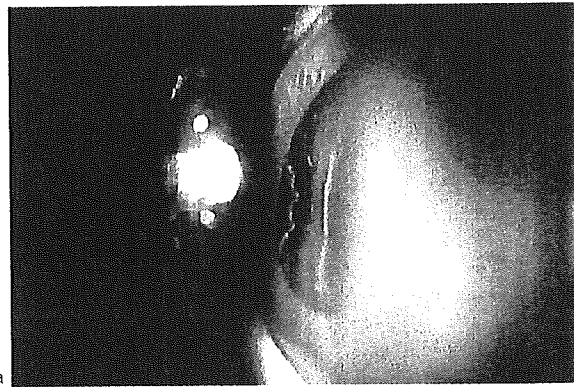


[図10] 高屈折倒像型前置レンズによる眼内レンズ挿入眼の最周辺部眼底の観察

a アトピー性白内障術後(眼内レンズ挿入眼)：この症例では、レンズ光学部よりさらに周辺部の嚢にも後発白内障は生じていない。

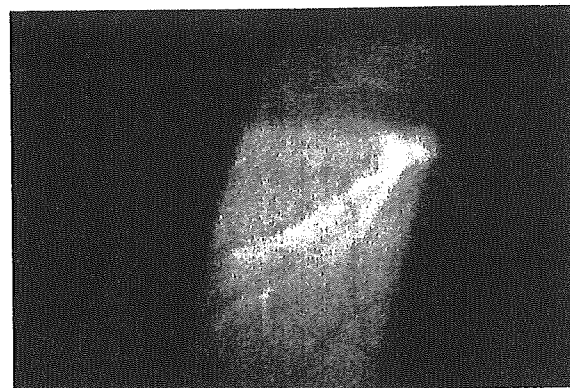
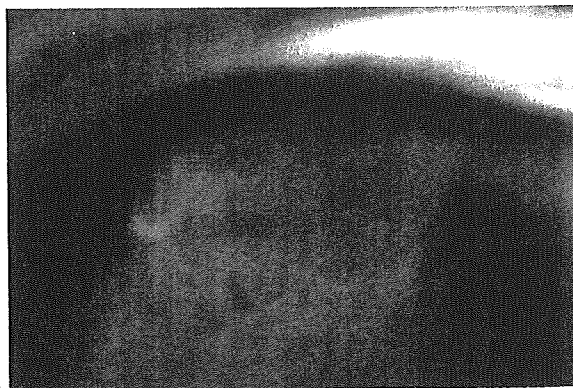
b EquatorPlus NF による網膜鋸状縁～毛様部の“圧迫眼底観察”

この症例では、眼内レンズの光学部よりさらに周辺部の混濁のない嚢を通しての観察ができるため、このように毛様体皺襞部までの観察が可能となる。No fringe type の高屈折前置レンズの接眼部を強膜にやや圧入して操作を行っている。それにより、単純に観察可能な範囲を超えた、より周辺部までの観察が可能となる。



[図11] SuperPupil XL によるアトピー性白内障術後眼の毛様体皺襞部裂孔の観察

左眼の鼻側の毛様体皺襞部裂孔を非接触型レンズで観察している。細隙灯顕微鏡のスリット照明と観察系の角度を狭くとり、共に右側に大きく振って耳側方向から観察する。虹彩裏面と眼内レンズとの間隙から毛様体皺襞部裂孔が観察される。



[図12] 広角型レンズによる眼底観察

視野が広く、焦点深度の深い観察像が広角型レンズによる眼底観察の特徴である。眼球運動に伴う硝子体の動的観察を併用することにより、周辺部網膜病変と硝子体との関係が明瞭に観察される。

a EquatorPlus NF を用いた、後部硝子体剥離に伴って生じた硝子体基底部付近の網膜裂孔の観察。

b TransEquator NF を用いた、鈍的外傷により生じた vitreous-base avulsion の観察。

PRACTICAL 2003

# OPTHALMOLOGY

97

細隙灯顕微鏡の  
すべて

細隙灯顕微鏡の基本観察システム

## 2. 細隙灯顕微鏡の基本構造

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

## 2. 細隙灯顕微鏡の基本構造

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

### ●はじめに

細隙灯顕微鏡の基本構造は、① 光学ナイフ(焦線)を形成するスリット照明系、② 双眼実体顕微鏡観察系とが同軸で回転して連動して、常に観察部位に照明光が当たるシステムである(図1)。

### (I. 照明系)

#### 1. 照明方式

ケラー照明により、照明部位に均一の照度が得られるようになっている(図1, 2)。

#### 2. 光源の位置と照明方向の調整法

Goldmann方式(HAAG-STREIT)とZEISS方式がある(図3)。

##### 1) Goldmann方式(HAAG-STREIT)(図3a)

ランプハウスを照明タワーの上方に設置し、上方からの光束をミラーで反射させて前方へ照明を行う。

##### ◆照明の照射角度の調整法

水平方向は照明ユニット全体の回転で行うが、垂直方向は照明タワー全体を前傾させて照明角を変更する(84頁, 図3, 126~127頁, 図1~4参照)

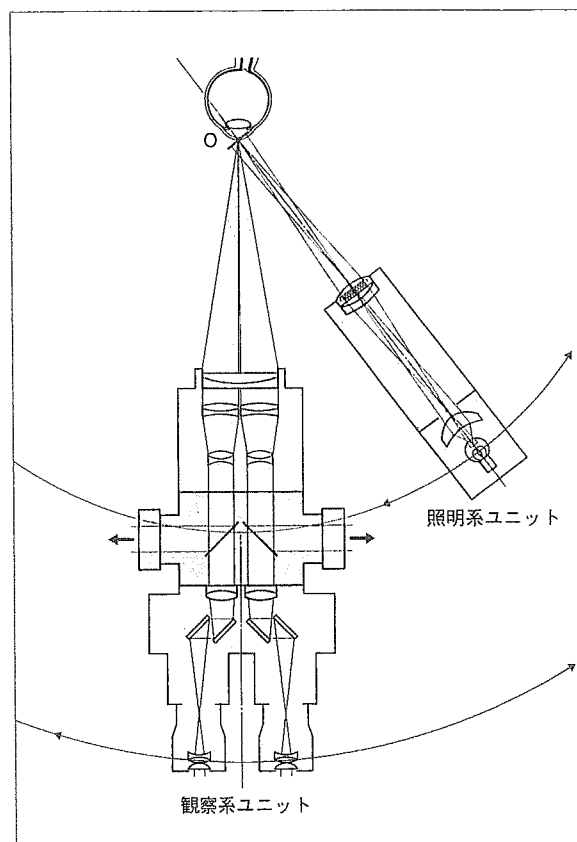
##### 2) ZEISS方式(図3b)

光源を下方に設置し、下方からの光束をプリズムミラーで前方へ照明を向ける。

##### ◆照明の照射角度の調整法

水平方向は照明ユニット全体の回転で、垂直方向の調整は、プリズム位置を上下させることにより行われる(図4)。

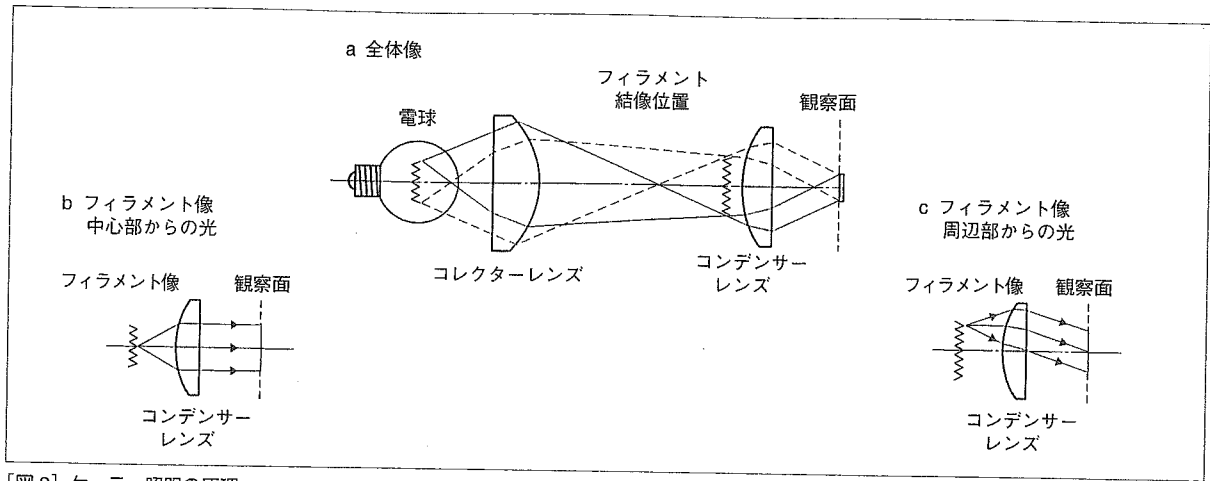
◆間接照明法(反帰光線法)による観察を効果的に行うには、観察光軸と照明光軸の同軸を解除して、観察焦



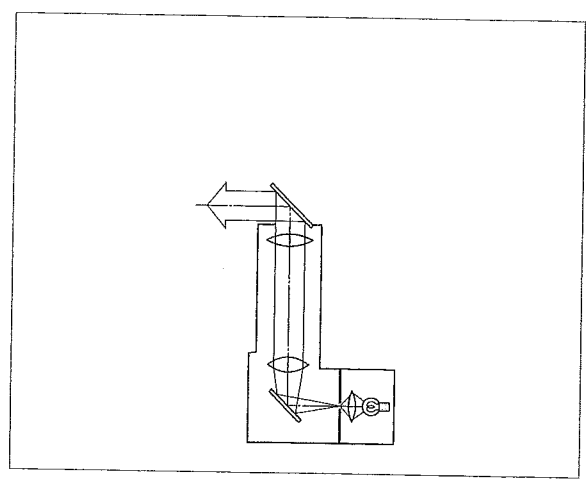
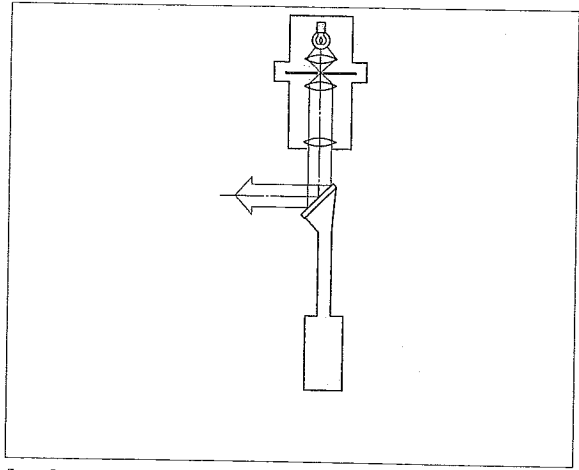
[図1] 細隙灯顕微鏡の基本構造

細隙灯顕微鏡は、双眼顕微鏡観察系ユニットとスリットナイフ(焦線)を形成できる照明系ユニットが、同一の焦点(O)を中心に回転するしくみとなっている。

点部位よりも後方を照明する必要がある。その場合、Goldmann型細隙灯顕微鏡では、観察対象に照明を当てて焦点を合わせた状態で、同軸固定ネジをゆるめて同軸を解除し、照明反射ミラーの方向のみを操作して後方に向かうように照明方向を変更する(5頁, 図5参照)。



[図2] ケーラー照明の原理



[図3] 照明光学系  
光源の位置。  
a Goldmann 方式(HAAG-STREIT).

b ZEISS 方式.

3. スリットナイフの「切れ」：焦点深度 vs 明るさ

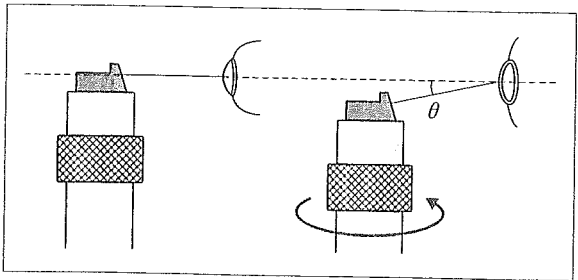
スリットナイフの「切れ」は、その明るさ、焦点深度、光学系の収差に依存する。

照明系の明るさは、照明光源自体の明るさ、照明光学系の透過性、射出瞳サイズ、(射出瞳からスリット形成までの)焦点距離により決まる。

1) スリットナイフの明るさと焦点深度

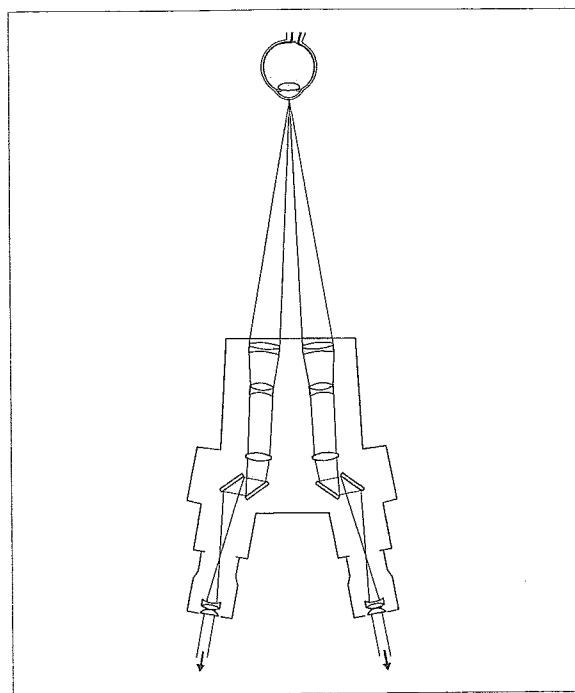
スリットナイフの焦点深度を深く設定すると、照明の明るさが低下する。逆に、明るさを重視した設定では焦点深度が浅くなる。

◆歴史的には、Goldmann(HAAG-STREIT)スリッ

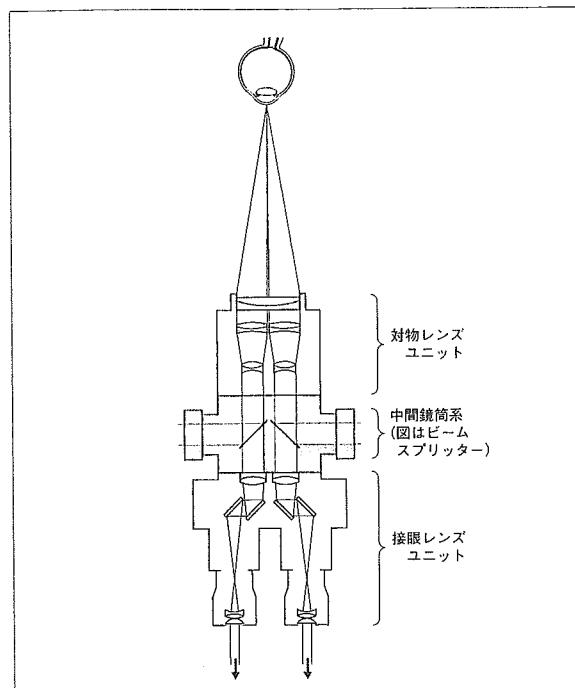


[図4] ZEISS 細隙灯顕微鏡の照明方向の変更法(垂直方向)  
ドラムの回転により、プリズムミラーによる照明光束の方向が変更する。

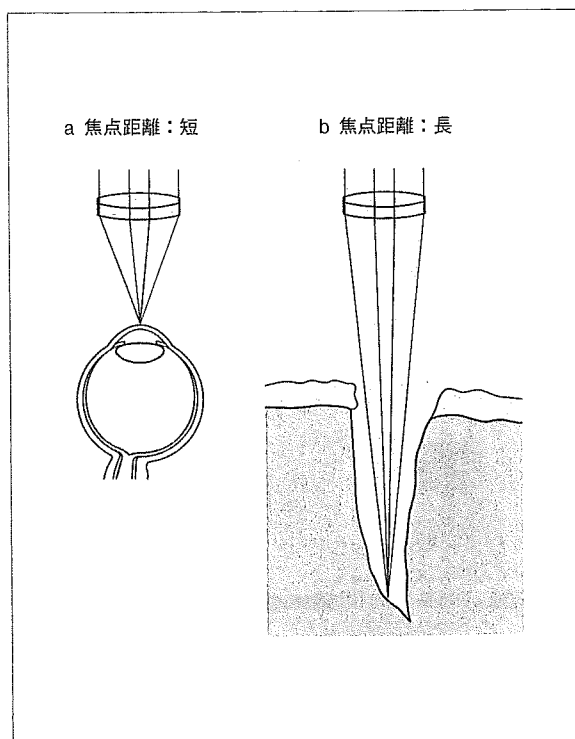
ランプは明るさ重視、ZEISS は焦点深度重視の対照的な設定をとってきた。ZEISS は焦点深度を深くとり、



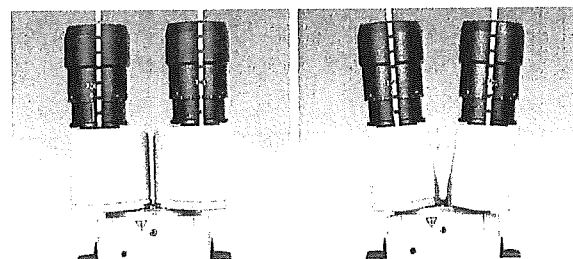
[図5] 双眼顕微鏡：グリノー型とガリレー型  
a グリノー型顕微鏡(Goldmann 900BM).



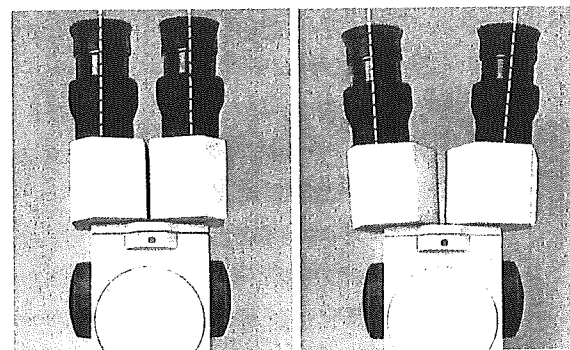
b ガリレー型顕微鏡(ZEISS, Goldmann 900BQ).



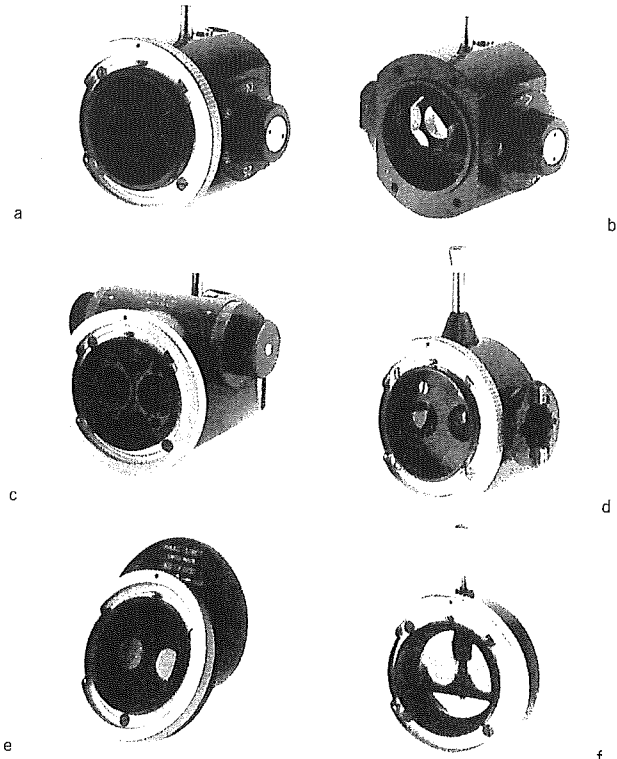
[図6] 対物レンズの焦点距離の違いと観察特性



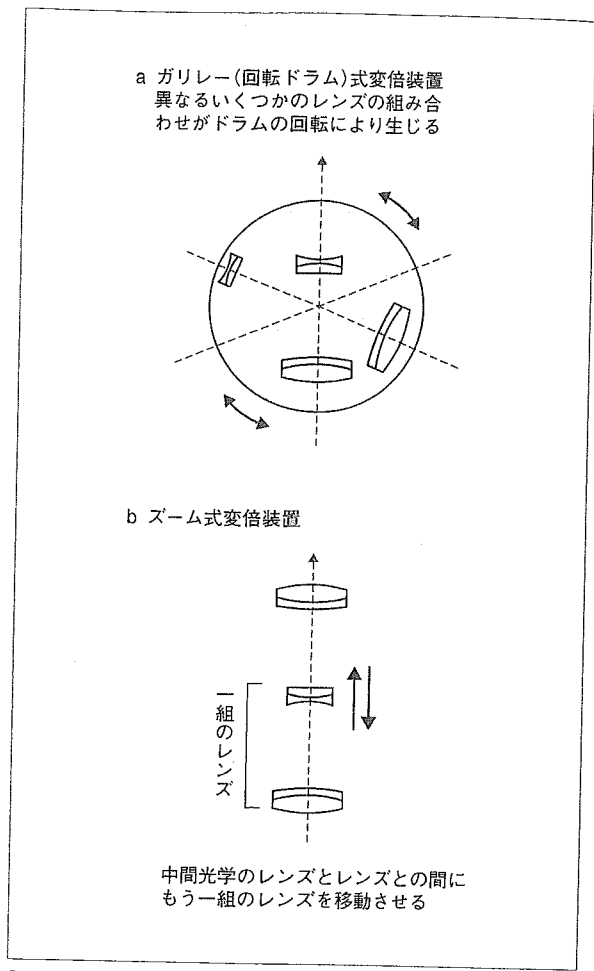
[図7] 接眼レンズユニット  
平行型と内斜型。  
a ZEISSの接眼レンズユニット。  
左 パラレルタイプ、右 コンバージェントタイプ。



b Rodenstockの接眼レンズユニット  
左 パラレルタイプ、右 コンバージェントタイプ。



[図8] HAAG-STREIT Goldmann 900BQ 型細隙灯顕微鏡の中間鏡筒系に設置できる多様なオプションモジュール  
 a ガリレオ回転ドラム式変倍器, b ステレオバリエータ, c ズーム式変倍器, d ビームスプリッタ, e 20°角アダプタ, f イエローフィルター。



[図9] 変倍装置の原理

照度を早期のハロゲン光源の導入により補った。それに対して HAAG-STREIT は、あくまでタングステン光源による観察像の質感にこだわった(現在、日本の Goldmann(HAAG-STREIT)スリットランプはハロゲン電球を使用している)。

#### 4. スリットナイフの焦点調整

スリットナイフの焦点は、観察位置で最も細くなるようにあらかじめ調整しておく。しかし、眼表面で観察系焦点とスリット照明系の焦点が一致していても、眼底の観察においては、両者は異なる光学系を通過して観察対象に至るために、両者の焦点位置が微妙にずれることになる。つまり、観察位置においてスリットナイフの切れが悪くなる。これはスリ

ットナイフの焦点深度の浅い(明るい)顕微鏡で顕著であり、必要に応じて、眼底の観察点においてスリット照明光の焦点調整をし直すようにする(観察しながら、照明反射ミラーの位置調整を行う)。

## (II. 観察系

### 1. グリノー型とガリレー型

顕微鏡観察系は、自然な注視角をつけた内斜光学系のグリノー型(図 5a)(Goldmann 900 BM)と、無限遠方を覗くような設定の平行光学系のガリレー型(図 5b)(ZEISS, Goldmann 900 BQ)があり、現在は後者が主流である。ガリレー型顕微鏡にも、接眼レンズユニットに内斜(コンバージェント)系が用意

されている。

ガリレー型顕微鏡は、中間が平行光学系になっているため、その間に多変倍式ユニット、ビームスプリッター、ステレオバリエーターなどのオプション機能が簡単に着脱可能である。グリノー型の内斜光学系は自然な両眼視が特徴であるが、中間に他の光学系を入れにくい。

## 2. 顕微鏡の基本構造

ガリレー型顕微鏡の基本構造は、一般に、① 対物レンズユニット、② 中間鏡筒光学系、③ 接眼レンズユニットより構成される。

### 1) 対物レンズ

顕微鏡性能に関する特性の詳細に関しては、「顕微鏡光学に関する基礎知識」の項(98頁)を参照いただきたい。細隙灯顕微鏡の観察に影響する重要な因子は、観察像の明るさと焦点深度、解像度、対物レンズの焦点距離、立体視特性であり、それぞれ顕微鏡ごとの設定条件(開口数、左右光路間距離、収差補正法など)により異なる。一般に、大口径のレンズ系を用いれば、同じ倍率でも、観察像は明るく、高い解像度が得られるが、焦点深度は短くなってしまふ。

#### ◆対物レンズの焦点距離

対物レンズの焦点距離は、観察倍率、操作性(短すぎると眼前での開瞼や前置レンズの操作のためのスペースがとれない、長すぎると顕微鏡の操作性が悪い)のほか、観察特性にも影響する。例えば、焦点距離の長い顕微鏡は狭い間隙を通した観察が行いやすい特徴もある(図6)。

### 2) 接眼レンズ

観察者が無理なく観察可能な視角にあうとの観点から、接眼レンズは10×程度が適当とされる(10×、25mm視界は53°視角に相当)。倍率の異なる接眼レンズを交換できるモデルもある。ガリレー型顕微鏡においても、平行光学系であるパラレル型と内斜光学系であるコンバージェント型が選択可能である(ZEISS, Rodenstock)(図7)。

## (Ⅲ. 中間鏡筒光学系

ガリレー式顕微鏡では、対物レンズユニットと接

眼レンズユニットとの間は平行光となっているため、その間にさまざまな追加光学系の着脱が容易に行える(図8)。細隙灯顕微鏡においては、以下のユニットがしばしば選択される。

### 1. 変倍装置

#### 1) ガリレー式変倍機構(図9a)

回転式ドラムの回転により、その中に組み込まれているレンズの組み合わせで段階的に観察倍率を変更する。光学的特性に優れるが、倍率の変更が非連続となる。

#### 2) ズーム式変倍機構(図9b)

ユニット内の複数のレンズの距離を変えることにより、倍率を無段階的に変化させる。光学特性は、ガリレー式と比して同等以下であるが、倍率の変更が連続して行えるのが利点である。

### 2. ステレオバリエータ

HAAG-STREIT Goldmann 900 BQ型細隙灯顕微鏡では、左右の視路角を13°(標準)から4.5°まで連続的に狭められる機能をもつユニットが用意されており、眼底観察に有用なシステムである(図8b: 詳細は「眼底観察法」の項10頁、「Goldmann細隙灯顕微鏡」の項126頁参照)。

### 3. ビームスプリッター

細隙灯顕微鏡による観察映像のモニター、画像撮影のために、観察光束を接眼レンズによる観察用と映像記録用に分配して振り分ける(「映像記録システム」の項108頁参照)。

### 4. 各種フィルター

観察条件に応じて、選択的に特定の波長をカットするフィルターが設置される。最近では、フルオレセイン染色による蛍光観察所見を強調するブルーフリーフィルターが設置されることが多くなっている(「ブルーフリーフィルターシステム」の項26頁参照)。

PRACTICAL 2003  
OPHTHALMOLOGY  
97

細隙灯顕微鏡の  
すべて

細隙灯顕微鏡の基本観察システム

### 3. 映像記録システム

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

### 3. 映像記録システム

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

#### ●はじめに

診断用細隙灯顕微鏡に CCD カメラを設置して、観察所見を映像化するシステムは、動画映像をテレビ画面などに表示するだけでなく、静止画像撮影法としても今や基本的なシステムとなりつつある。従来の写真撮影法と異なり、リアルタイムで撮影画像を閲覧できるだけでなく、映像をその場で確認しながら何度でも即座に撮影し直しができるため、撮影に熟練を要さず誰でも容易により観察像が撮影できることが特徴である。さらに画像ファイリングシステムとの組み合わせにより、細隙灯顕微鏡所見の記録データの電子化、データベース化にも不可欠なシステムである。

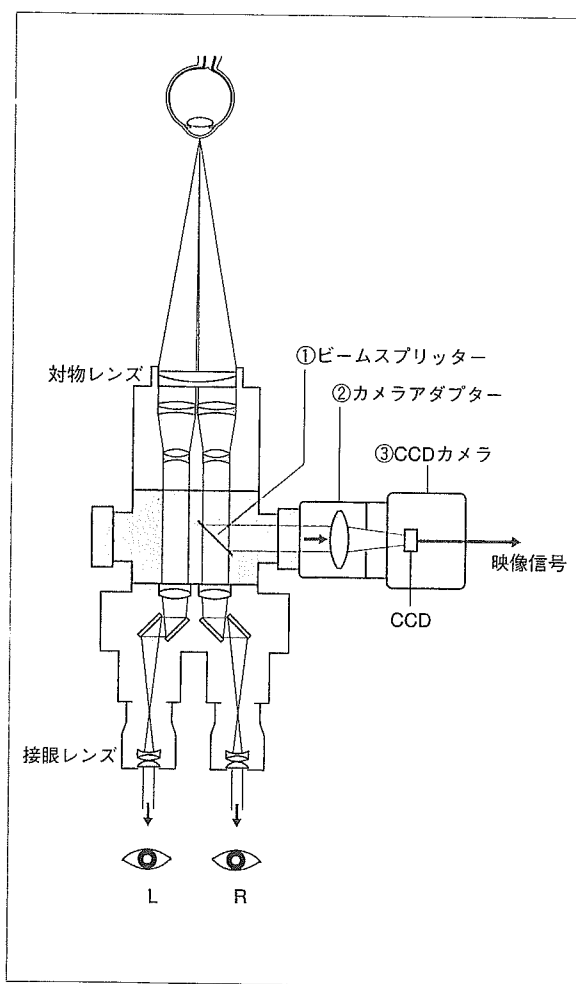
#### (I. 細隙灯顕微鏡への CCD カメラの設置

細隙灯顕微鏡に CCD カメラを設置するためには、対物レンズから接眼レンズに至る観察光から、CCD カメラに至る記録系に光を分配するビームスプリッターと、分配された観察光を CCD 板上に投影するアダプターレンズを必要とする(図 1, 2, 3)。

##### 1. ビームスプリッター

ZEISS タイプもしくは、ハーグストライト Goldmann 900 型 BQ タイプのように、ガリレー型変倍器のつく機種では、ビームスプリッターは、変倍器と接眼レンズユニットとの間に容易に設置できる(図 1)。レバーなどでスプリットミラーのオン/オフが切り替えられるものが便利である。接眼レンズへの光量：CCD カメラへの光量の分配比率が選択できる(5:5, 8:2 など)。

ローデnstock 社の細隙灯顕微鏡には、左右の中間に撮影用の専用光路が設けられている。撮影映



【図1】細隙灯顕微鏡への CCD カメラの設置  
ビームスプリッターで分配された光束がカメラアダプターレンズで CCD 板の大きさに合わせて投影される。

像は厳密にみれば左右どちらの接眼レンズで観察される所見ともわずかに異なるが、ビームスプリッターを使用しないので、(CCD カメラの撮影も 100%、接眼レンズでの観察も 100% で)光量に関する条件は最も有利である。

## 2. カメラアダプター

ビームスプリッターで分配された光束を適切な CCD の面積に適切な明るさで投影する。

### 1) 焦点距離

CCD カメラの撮像素子寸法に合わせた焦点距離のアダプターレンズを使用する(合わないとお観察像とモニター像の画角がずれる)。

### 2) マウント形式

システムにより異なるマウント形式がある(例: Cマウント, バヨネットマウント)。

ビームスプリッター・アダプター一体型でワンタッチでビームスプリッターのオン・オフができるものもある。

### 3) 光学絞り機能

絞り機能が付属しているものでは、撮影条件に合わせた光学絞りを手動で調整しながら撮影できる。固定または開放絞りとして、露出調整はすべて CCD カメラで行うものもある。

## 3. CCD カメラ

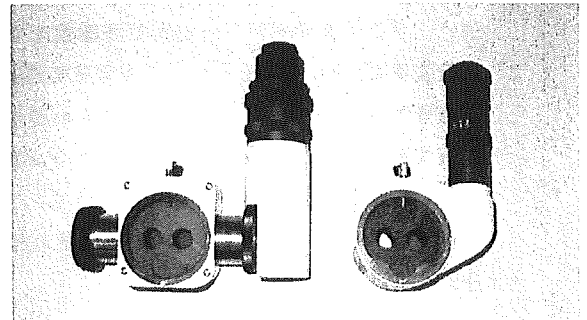
CCD カメラには、静止画用のいわゆるデジタルカメラと動画用のいわゆるビデオカメラがある。

### 1) 静止画用デジタルカメラ(図 4)

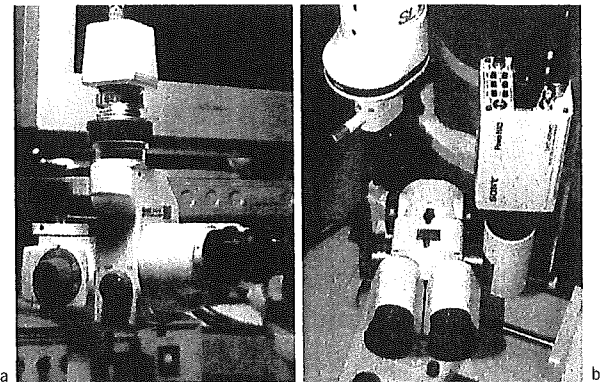
静止画用デジタルカメラでは、デジタル化された画像の信号を高速ケーブルでコンピューターボードを介して記録メディアに入力する。高性能なカメラでは、銀塩フィルムで撮影した写真に遜色ない撮影が可能であるが、高画質高画素数の画像ファイルはサイズが大きく、デジタルファイルとしての取り扱いは重くなる。ストロボ同期信号を出力できるフォトスリット装置と画像ファイリングシステムを組み合わせれば、ストロボ発光のトリガー信号を記録装置に同期させて記録することにより、光量に依存する各条件がより良好な画像が得られる。

### 2) 動画用 CCD カメラ

現在医療用に汎用されているものは、1/2 インチ、1/3 インチもしくは 2/3 インチの CCD を 3 枚用いた 3 CCD 型が主流で、CCD チップからの信号は、アナログ信号(コンポジット, RGB, Y/C など)とし



[図 2] ビームスプリッターとカメラアダプターレンズ  
左 ビームスプリッター+カメラアダプターレンズ。  
右 一体型(右光路専用)ビームスプリッター・アダプターレンズ。



[図 3] 細隙灯顕微鏡への CCD カメラの取り付け例  
a ビームスプリッターとカメラアダプター一体タイプに CCD カメラを取りつけた例。  
b ビームスプリッターにカメラアダプターに接続して CCD カメラを取りつけた例(旧モデルを例としたため、システムがやや大型となっている)。

て出力される。動画のビデオ映像は、S-VHS などのアナログビデオテープもしくは DV-CAM や DV などのデジタルビデオテープに録画するか、デジタル変換ボードを搭載したパソコンでデジタル動画ファイルとして記録する。

現在の標準のビデオ映像は、1 秒間に約 30 フレームの画面を連続表示しており、その中の 1 画面を静止画として記録することができる。現在は、標準ビデオ映像(NTSC 規格)に加えて、ハイビジョン規格に対応したシステムも実用化されている。高性能の静止画用デジタルカメラの画像には及ばないものの、学会発表用のスライド作成や通常サイズの出版物への掲載などには十分対応できる画像の撮影は可能である。

◆背景照明装置の設置

通常、日常診療で用いている細隙灯顕微鏡を使用して、前眼部撮影を行う場合、細い細隙光照明で撮影すると、背景が暗い画像となってしまいます。明るい背景の細隙光観察像を撮影したい場合は、バックグラウンド照明ユニットを設置するとよい。日常診療においても、フォトスリットカメラを用いたような明るい背景の観察画像の撮影が手軽に行える(図5)。

(II. 撮影のコツ

・ビームスプリッターを設置した細隙灯顕微鏡では、接眼レンズによる観察は通常両眼で行うが、撮影は左右どちらか一方の像となるため(ローデンストック社では左右の中間の撮影専用の第三の光路を用いる)、左右どちらの接眼レンズで見られる像がモニターされるかを意識して観察すると、観察所見と一致した画像を撮影しやすい(図1)。

・動画用 CCD カメラを用いる場合は、シャッタースピードが高速でない(通常約1/30秒)ことを意識して、静止画で撮影したいと思う場面で、なるべく被写体の動きが静止したときに撮影するのがこつである。

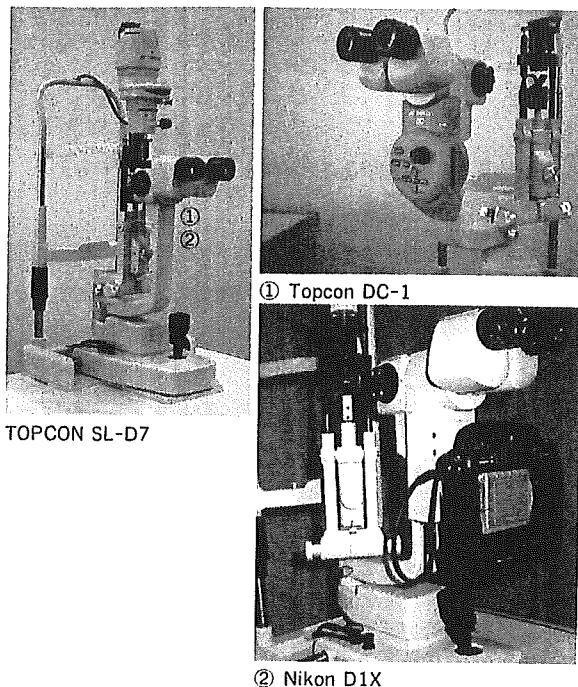
・カメラ感度(ゲイン)と画像の質との関係

CCD カメラの露出の調整は、(1) アダプターの光学しぼり(通常手動)と、(2) CCD カメラのゲイン調整、で行われる。(1)を開放または固定絞りとし、(2)をオート設定とすれば、完全な自動露出撮影となる。

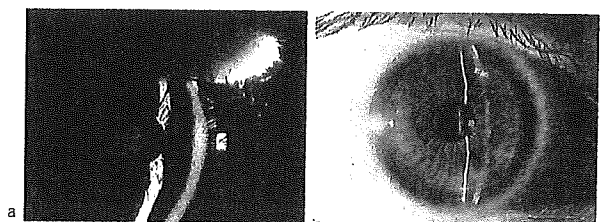
① 光学絞りの設定と画質：絞れば暗くなるが、焦点深度が増す。開けば明るくなるが、焦点深度は浅くなる。

② CCD カメラのゲイン値と画質：信号の感度を上げることにより、暗い映像も明るく撮影できるが、画面にノイズが増える(S/N比が悪化する)。

撮影条件ごとに最適な画像を撮影したい場合は、CCD カメラのゲインを固定として、観察条件に合わせて手動で光学絞りと細隙灯顕微鏡の照明の明るさの組み合わせをその都度調整するようにする(慣れれば、その方が目的とする画像がむしろ短時間で確実に得られる)。そのうえで、どうしても画像が暗



[図4] 細隙灯顕微鏡への静止画デジタルカメラの設置例



[図5] 背景照明の有無による撮影像の違い  
a 細隙光照明のみでの撮影。  
b 細隙光照明に背景照明を加えた撮影。

い場合に、カメラのゲイン調整を手動操作で加えるようにする。

補 CCD と映像信号に関する基礎知識

1) CCD

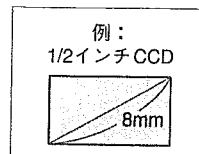
CCD は、電荷結合素子(charge coupled device)の略で、光情報を電気信号に変換する半導体素子である。

(1) CCD 板の結像寸法(対角線)

2/3 インチ CCD：約 11 mm

1/2 インチ CCD：約 8 mm

1/3 インチ CCD：約 5 mm



## (2) 1 CCD 方式と 3 CCD 方式

## ① 1 CCD 方式

1枚の CCD で画素を RGB の 3 原色に振り分けて電気信号に変換する方式。構造が簡単で安価で小型化できるのが利点。しかし、解像度、色再現性は劣る(赤色解像度は 3 CCD 方式の 1/4 程度)。

## ② 3 CCD 方式

プリズムで RGB の 3 原色に分光し、おのおのの CCD で別々に電気信号に変換する方式。解像度、色再現性に優れるが、高価でカメラは大型になる。

◆カメラの性能は画素数と CCD 板の数が基本となる。

## (3) カメラの基本性能(表 1)

① 水平解像度：数値が大きいほど、高精細できめ細やかに再現できる。

② S/N 比：数値が大きいほど、映像が鮮明で、特に暗い部位でも映像ノイズが少ない。

③ 感度：F 値が大きいほど高感度で、より暗い部分も見える。

## (4) CCU ユニット

CCD の基本性能のみで得られる映像が決まるわけではない。CCD からの映像信号が、いかに自然な画像となるべく手術野の特殊な色や輝度分布特性とその変化に対応できる調整プロトコルかプログラムされているかが重要である(特に赤色の再現性は重要)。

## 2) 映像信号

## (1) 映像信号の種類

コンポーネント(RGB)信号とコンポジット(複合ビデオ)信号があり、それぞれにアナログとデジタルの形式がある。従来の(日本の)標準的な映像信号である NTSC はアナログコンポジット形式であり、その輝度信号と色信号を分離して画質の向上を図ったものが Y/C(いわゆる S ビデオ)信号である。ベータカム VTR ではコンポーネント信号を記録する。

[表 1] ビデオカメラの例(IKEGAMI)

カメラ	IKEGAMI MKC-305D	IKEGAMI THD-330
CCD サイズ	1/2 インチ	1/3 インチ
水平解像度	800 本	700 本
S/N	63dB	60dB
感度	2,000lx/F9.5	2,000lx/F5.6
レンズマウント	バヨネットマウント	C マウント
アイリス機能	オートアイリス	電子シャッターアイリス

[表 2] NTSC(標準映像)とハイビジョン(高品位映像)

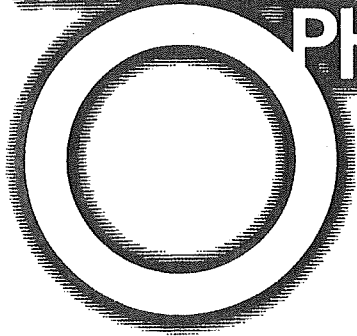
	標準放送 (NTSC)	ハイビジョン
走査線数	525 本	1,125 本
フィールド数	59.94/秒	60.00/秒
走査方式	インターレス	インターレス
縦横(アスペクト)比	3 : 4	9 : 16
最適視聴距離	画面縦長の 6~7 倍	画面縦長の 3 倍
音声信号	FM	PCM(デジタル)

デジタル信号では、非圧縮のデジタルコンポーネント(D1)、デジタルコンポジット(D2)規格が放送レベルである。非圧縮業務・民生レベルでは映像信号を圧縮する。圧縮形式には、MPEG(MPEG 1 : 1/140 圧縮：ビデオ CD の映像に相当、MPEG 2 : 1/40 圧縮：DVD の映像に相当)、DV 圧縮(1/5 圧縮プロトコル：民生用が DV 規格、業務用は DV-CAM、DVC-PRO などのよりトラック幅の広い規格)などが汎用されている。

## (2) 標準放送規格(SDTV)と高品位規格(HDTV)

現行の NTSC には画質に限界があり、より高品位の映像規格の標準化が進められている。アナログ圧縮技術(MUSE)により実現したハイビジョンは、走査線の数だけでも 525 本から 1,125 本になりデータ量として約 5 倍となった(表 2)。しかし、アナログ時代のハイビジョンは過渡期の技術となり、今後はデジタル HDTV へと全面移行する。すでに細隙灯顕微鏡に設置できる小型のハイビジョン規格のカメラシステム、ハイビジョンモニター、ハイビジョンビデオ装置も市販されている。

PRACTICAL 2003  
PHTHALMOLOGY



97

細隙灯顕微鏡の  
すべて

細隙灯顕微鏡こだわりの機種

## 4. TAKAGI 細隙灯顕微鏡 SM-70

◆ — 野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

細隙灯顕微鏡こだわりの機種

## 4. TAKAGI 細隙灯顕微鏡 SM-70

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

### ●はじめに

国産の細隙灯顕微鏡を代表する機種として、本稿ではタカギセイコー SM-70 を紹介する。筆者は SM-70 を、国産の細隙灯顕微鏡として、Goldmann オリジナルモデルに「代わる」性能を有するという観点からの、国産第一号顕微鏡と位置づけている。もちろん、厳密な光学性能、観察像の質感に関して同じ性能を有するという意味ではなく、むしろオリジナルモデルとは異なる特性をもつ(観察像の明るさに優れ、操作性が良く、コストパフォーマンスに特に優れる)顕微鏡として考えている。

### (I. 照明系と観察系の特徴

SM-70 の最大の特徴はその明るい観察性能にある。また、タカギセイコー社の細隙灯顕微鏡の開発コンセプトは、観察性能と並んで、安全性、インフォームドコンセントの充実に貢献するための映像化、が重要な課題であるという。

#### 1. 基本構造

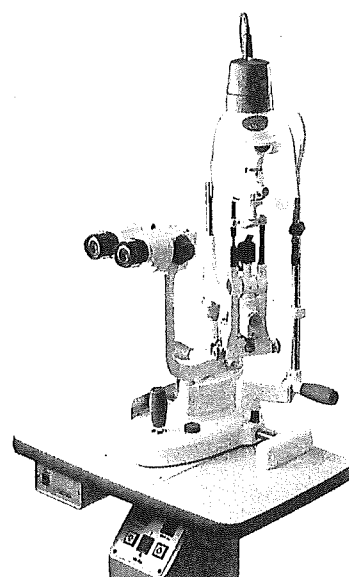
SM-70 の基本構造はガリレー式 Goldmann 型細隙灯顕微鏡である。観察倍率は、変倍ノブで5段階(6.3・10・16・25・40倍)切り換え式である(図2)。接眼レンズユニットは、6°の内斜鏡筒型である(図3)。

#### ◆抜群の明るさ

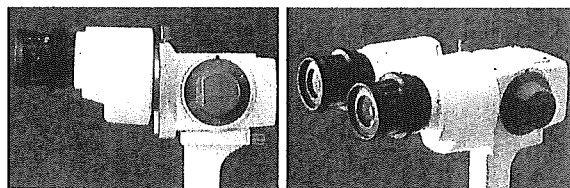
ハロゲン照明(12V, 30W)を用いた照明系は明るく、観察系の特性と併せて、欧米ではしばしば「明るすぎる」との指摘を受けるほどである。

#### 2. 安全性に対する設計思想

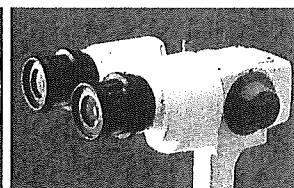
顕微鏡性能と同時に、安全性に対する設計思想も



[図1] TAKAGI 細隙灯顕微鏡 SM-70



[図2] 変倍機構



[図3] 6°内斜型接眼鏡筒

重視されている。

#### ◆コールドミラーの採用

光障害から観察眼を保護する観点から、ハロゲンランプから発生する有害な赤外光、紫外光を効果的に軽減しながら観察に必要な明るさを確保するコールドミラーが採用されている(SM-90 開発より)。

#### 1) 短波長光に対する効果

コールドミラーによる紫外線遮断効果は、従来のスリットランプに内蔵されていたフィルターに比較

して、2倍以上向上している。

## 2) 長波長光に対する効果

透過性赤外光のうち、網膜、脈絡膜に対する障害は、750~1,200 nmの波長の短波長赤外光による細胞内への熱の貯留により生じると考えられている。コールドミラーはその波長域の光線を遮断する効果が従来のものに対して約4倍強化されている。

## 3. 前眼部フルオレセイン蛍光観察システム(図4)

従来のコバルトフィルターは、フルオレセイン蛍光をより効果的に励起し、蛍光の観察を強調する波長特性をもつ新たな励起フィルターへとすべて変更されている。さらに、観察系には、より選択的な蛍光観察を行うためにブルー波長をブロックするイエローフィルターが中間鏡筒に用意されている。

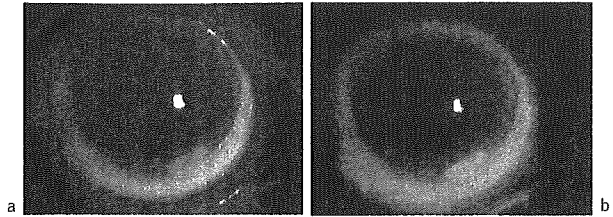
## (II. デザイン, 塗装, 操作性)

SM-70を筆者が好む理由の一つに、そのデザインがある。明るい色調の塗装とあわせ、その型は精悍で飽きがこない。また、長年使っても、きれいな塗装が保たれている。スリットランプの操作で頻繁に触れられる部分には特に、磨耗に強い特殊コーティングが施こされている(これは、自衛隊の各機器の塗装に採用されているものと同等のものという)。

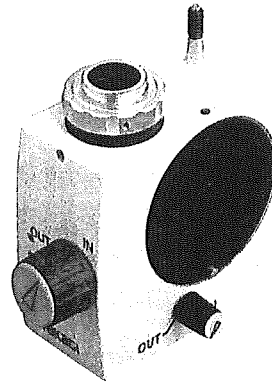
各部の操作性もよく、日常診療における取り回しも軽快で疲れにくい。また、アイピース部の視度調整も調整しやすくずれにくい形状になっている。

## (III. 映像モニターシステム)

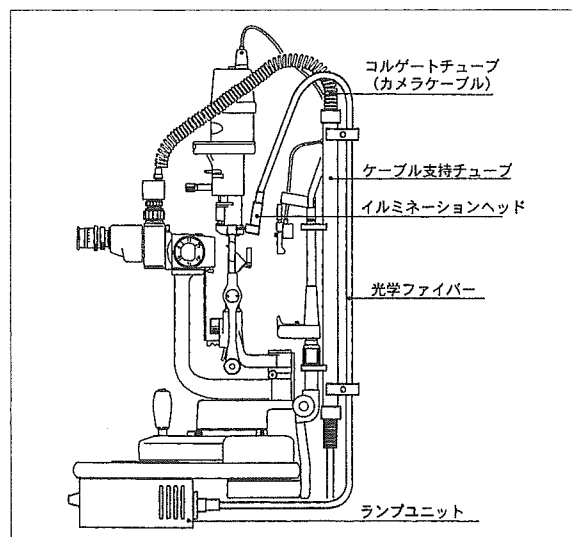
細隙灯顕微鏡の最も重要な性能は、観察性能にあることはもちろんであるが、最近のインフォームドコンセントに対する眼科診療における対応の観点から、観察所見の映像化機能も、細隙灯顕微鏡の重要な機能となっている。CCDカメラによる映像化を考えた場合、現状のCCDカメラの性能では、SM-70の明るい観察系は特に大きな利点となる。



[図4] フルオレセイン蛍光撮影システムの効果(角膜輪部付近の上皮剥離症例)  
a 通常のCCDカメラによる撮影所見。  
b 蛍光撮影システム使用による撮影所見(角膜輪部付近の上皮剥離症例)。



[図5] コンビネーションアダプター S10-17



[図6] バックグラウンド照明装置

## 1. 撮影装置

### 1) コンビネーションアダプター

#### ① コンビネーションアダプター S10-15

ビームスプリッター(右観察光路)・レンズアダプターの一体型で、 $F=3$  から  $F=22$  の 8 段階の手動絞り機能が装備されている。カメラをアダプターの上方に設置するデザインは、きわめて機能的である。

## ② コンビネーションアダプター S 10-17(図 5)

ビームスプリッター(右観察光路)・レンズアダプター機能に加え、前眼部蛍光観察のためのイエローフィルターが内蔵されており、ワンタッチでオン・オフが行えるしくみとなっている。絞りは開放と 70% の 2 段階のみの変更となり、CCD カメラのオートゲイン機能を利用した撮影に適したモデルである。

## 2) ビデオ/ビームスプリッター

単板の 1/4 CCD モジュールをアダプターに内蔵したモデルであり、スリットランプの操作性を損なわず、安価で映像モニターが可能となる。コンタクトクリニックなどに適している。

## 2. バックグラウンド照明装置(図 6)

診断的な観点からは、スリット照明のみで十分であるが、患者説明を前提とした場合、背景照明の設置は、大きな利点となる(図 7)。オプションで設置されるバックグラウンド照明は、スリットランプの操作性を損なわずに装着でき、明るさ調節が光源の色温度を一定に保ちつつ行える。光源ユニットはスリット照明とは独立しており、十分な明るさと精密な光量調節が行える。

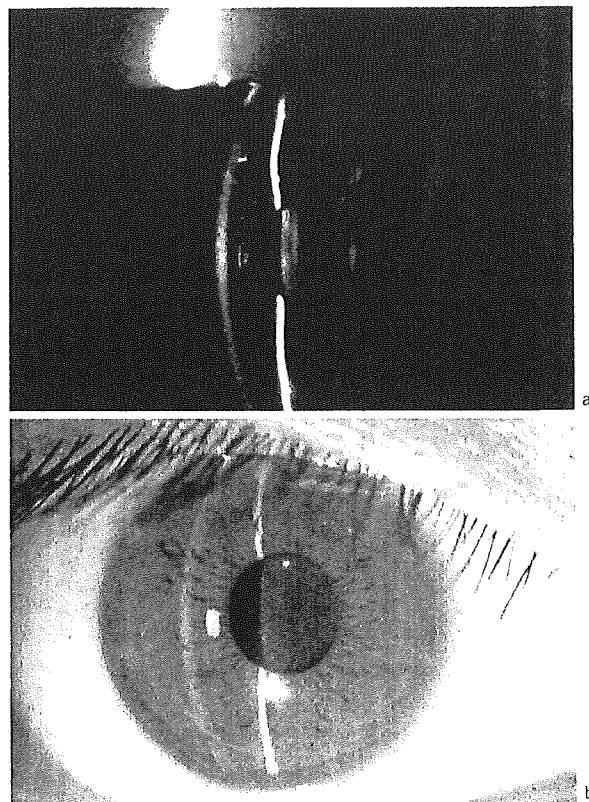
## 3. その他の機能

### 1) トリガーボタン(図 8A)

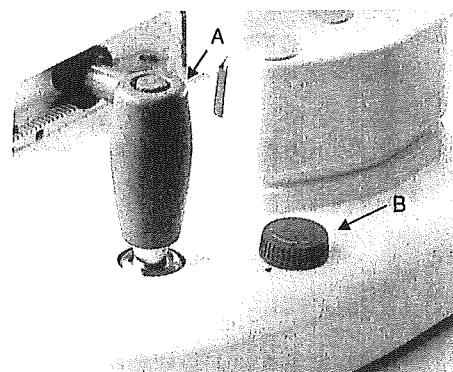
顕微鏡を操作するジョイスティックの上部にトリガーボタンが設置されており、ジョイスティックを操作しながらの撮影動作が行える。

### 2) スリット照明の明るさ調整ボタン(図 8B)

スリット照明の明るさ調整ボタンがスリットランプのジョイスティック脇に設置されており、明るさ調整をジョイスティックから手を放さずに行える。



【図 7】バックグラウンド照明の有無による撮影画像の違い  
a バックグラウンド照明なし  
b バックグラウンド照明あり



【図 8】ジョイスティック周辺の機能装備

## ●おわりに

タカギセイコー社 SM-70 は、明るさに優れた機能的な細隙灯顕微鏡である。何よりも、Goldmann オリジナルモデル 1 台を購入するのと同じ予算で、場合によっては 3 台の購入が可能となるコストパフォーマンスは何にも代えがたい特長といえるだろう。

PRACTICAL 2003

# OPHTHALMOLOGY

97

細隙灯顕微鏡の  
すべて

細隙灯顕微鏡こだわりの機種

## 5. トプコン細隙灯顕微鏡 SL-D7

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター眼科]

東京 文光堂 本郷

細隙灯顕微鏡こだわりの機種

## 5. トプコン細隙灯顕微鏡 SL-D7

◆——野田 徹 [国立病院東京医療センター-眼科]

細隙灯顕微鏡のすべて

### ●はじめに

トプコンGoldmann型細隙灯顕微鏡にはSL-7F, SL-8Zがあるが、本稿では、最近開発された新機種SL-D7について紹介する。

SL-D7は、旧モデルから光学性能、操作性、スタイルが革新的に進化している。日常診療に必要な十分な観察光学性能に加え、オリジナルモデルにはない、現代の診療スタイルへの対応を先取りした特徴ある機能が備えられており、SL-D7はまさにHAAG-STREIT, ZEISS, Rodenstockに追従する国産フラッグシップモデルと考えられる。

### (I. 照明系と観察系の特徴

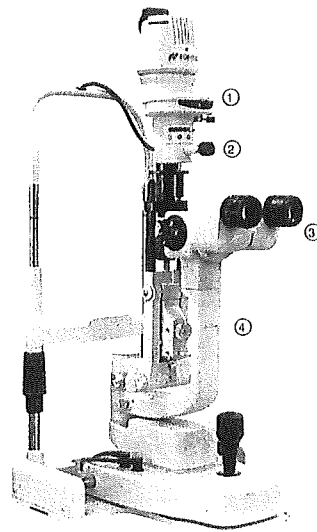
SL-D7の基本構造はガリレー式Goldmann型細隙灯顕微鏡である。観察倍率は、変倍ノブで5段階(6・10・16・25・40倍)切り換え式である。ハロゲン照明は明るく、また、観察される眼の安全性に対しても配慮がなされた波長選択となっている。

#### ◆観察目的に特化した新フィルター照明・観察系の装備

Goldmann型顕微鏡で使用されている従来のフィルター(熱吸収, 減光, レッドフリー, コバルト)に加えて、前眼部蛍光観察と眼底観察に関しては、オリジナルモデルにはない、それぞれの観察条件に特化した観察系(フィルターシステム)が新たに装備されている。

#### 1. ブルーフリーフィルターシステム(図2)

コバルトフィルターよりも効率よくフルオレセインを最も効率よく励起する波長特性を持つ励起フィルターが新設され、さらに中間鏡筒光学系のバリアフィルターとの組み合わせにより、角膜のみならず、結膜や涙液層に関してもフルオレセイン染色による詳細な評価が可能になった。



[図1] TOPCON SL-D7

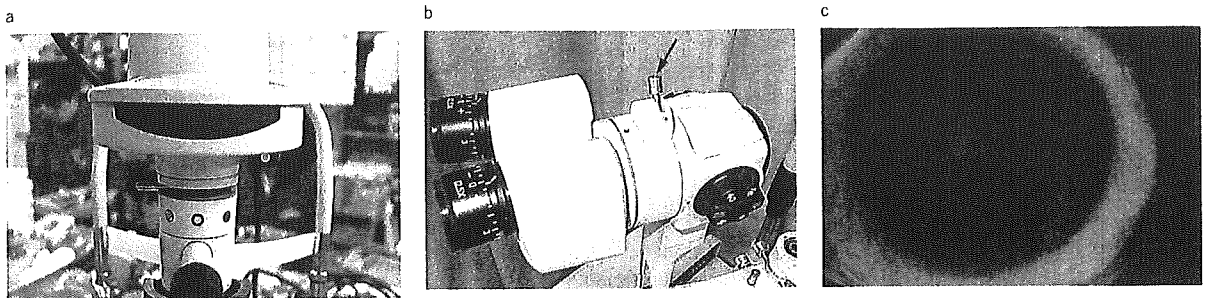
観察条件に特化した観察システム。① 網膜観察時：温度フィルター、② 前眼部蛍光観察時：蛍光励起フィルター、③ 前眼部蛍光観察時：蛍光バリアフィルター、④ ケーブル内蔵型支柱。付属機器のケーブルを支柱内に内蔵させることにより、ケーブルの露出が最小限となる。

[表1] SL-D7の特徴

- |                            |
|----------------------------|
| ●基本性能の向上                   |
| ・光学性能, 耐久性の向上              |
| ・操作性, 安全性の向上               |
| ●観察条件ごとに特化した観察系を装備         |
| ・眼底(網膜)観察用温度フィルター          |
| ・前眼部観察用ブルーフィルターシステム        |
| ●観察映像記録, デジタルファイリングへの先進的対応 |
| ・撮影システムの充実                 |
| ・画像ファイリングシステムとの接続          |
| ・ケーブル内蔵型支柱デザイン             |

#### 2. 網膜観察用フィルター：色温度フィルター(図3)

短波長(青色)を除いた照明光を用い、眼底観察の障害となる照明光の中間透光体通過の際の散乱を防止することにより、より明瞭な眼底(網膜)観察が可



【図2】前眼部蛍光観察用：ブルーフリーフィルターシステム

a エキサイターフィルター。

エキサイターフィルターは従来のコバルトブルーフィルターの位置に設置。

b バリアフィルター(矢印)

バリアフィルターを中間鏡筒系に設置し、ストロークが短く操作性の良いレバーによる切替え操作が行える。

c ブルーフリーフィルターシステムによる観察所見

能となる。日常診療に繁用されることを想定して、独立したオン・オフ操作レバーとともに新設された。

## （Ⅱ. 充実した映像モニター，静止画撮影システムへの対応

SL-D7は，観察所見の映像モニター，静止画撮影へのシステムは特に充実しており，ケーブル内蔵型支柱デザインとともに，デジタル画像ファイリング，電子カルテ時代への対応を先取りした細隙灯顕微鏡といえる。

### 1. 撮影装置

#### 1) 一般診療用細隙灯顕微鏡システム

ビームスプリット(通常50%-50%)で観察光束を分割し，接眼鏡による観察と同時に，TVリレーレンズを介したCCD(TV)カメラによる映像モニターおよび静止画撮影が行える。

##### ◆代表的なTVカメラ

IMAGEnet 2000との接続にも対応したシステムを基本に考えると，以下の3機種が推奨されている。

- ・ Sony DXC-990(NTSC 640×480)，
- ・ DXC-990 P(PAL 756×576)，
- ・ JVC KY-F 70 B(1,360×1,024)

#### 2) デジタルカメラフォトシステム(図4)

フォトスリットシステムでは，ビームスプリットの代わりにクイックミラーを使用することで，接眼鏡で観察しながら撮影用ボタンによりデジタルカメラに光路が切り換わり，ストロボに同期した高精度な画像撮影が行える。

##### ◆代表的なデジタルカメラ

- ・ Nikon D1 X：APSサイズ(Fマウント)デジタルカ

メラで，その解像度は600万画素以上にも及び，きわめて高品位なデジタル撮影画像が得られる(7頁，図9a参照)。

・ Topcon DC-1：トプコンオリジナルのデジタルカメラDC-1との組み合わせは，コンパクトなスタイルとともに操作性に優れている。

### 2. デジタル画像ファイリングシステムとの接続

トプコン社 IMAGEnet 2000 システムとの接続により，撮影された画像を記録して患者情報と画像情報をデータベース管理することができる。最も一般的なシステムとしては，SL-D7とSony C33を組み合わせてIMAGEnet 2000上でライブ画像を表示しながら，ジョイスティックを押すことにより静止画を撮影する。SL-D7は左右眼情報を出力する機能を備えているので，撮影した画像の左右眼情報が合わせて記録される。IMAGEnet 2000 動画画像システムとの組み合わせにより，硝子体の動的観察所見や，ドライアイ症例におけるBUT計測時の涙液層のダイナミックな変化などを動画ファイルとして記録することもできる。

##### ◆取り付け可能TVカメラ・デジタルカメラ

表2に示す。

## （Ⅲ. 付属装置

### 1) 接眼鏡観察形式の選択

内斜型接眼鏡(標準)，平行接眼鏡が選択可能。

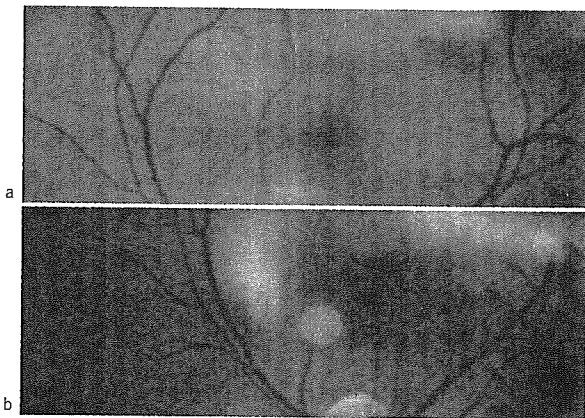
### 2) 背景照明装置

通常背景照明(BG-4)，TVカメラに最適な背景照明(BG-1GN)が設置可能。

[表2] 取り付け可能TVカメラ・デジタルカメラ

メーカー	型名	出力信号	最大解像度*1	画像ファイルサイズ(MB)*2
Sony	C-33	Analog(NTSC)	640×480	0.9
Sony	DXC-390	Analog(NTSC)	640×480	0.9
Sony	DXC-990	Analog(NTSC)	640×480	0.9
Sony	DXC-990P	Analog(PAL)	768×576	1.3
JVC	KY-F70B	Analog	1,360×1,024	4
Nikon	D1X	Digital*3	3,008×1,960	17
Topcon	DC-1	Digital*4	2,048×1,536	9.5

\*1カタログ記載, \*2カラー画像非圧縮時, \*3IEEE1394, \*4USB

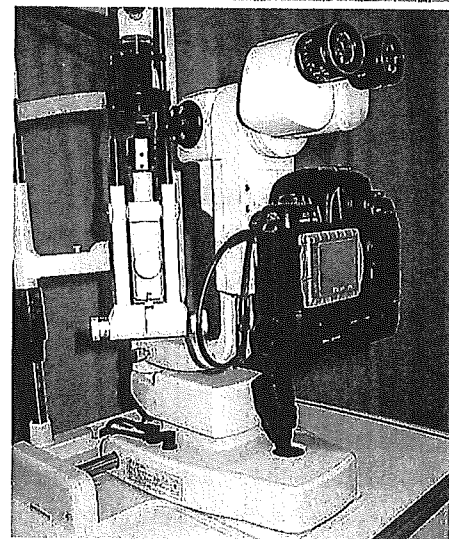
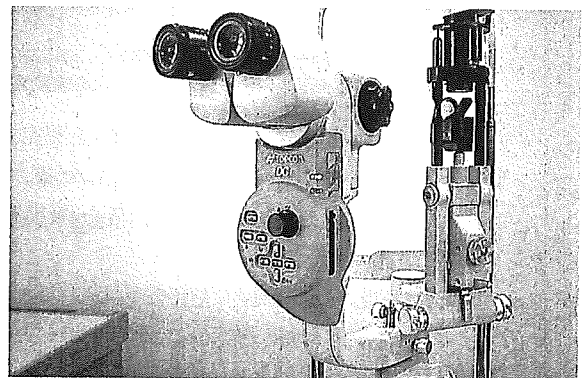


[図3] 眼底観察用：色温度フィルターの効果  
a フィルターなし  
b フィルターあり

3) 角膜内皮細胞を精密に撮影するための、「スペキュラー アタッチメント」が用意されている。

#### ●おわりに：国産細隙灯顕微鏡のこだわり

細隙灯顕微鏡の観察性能に関しては、スリットの「切れ」に加えて、その顕微鏡で観察される独特な「質感」を含めて、単純に光学設計上の数値だけでは評価できない領域が存在する。ちょうど、ピアノの調律が機械信号による調整後、最後には必ず熟練した調律士の耳で行われるのと類似している。国産の細隙灯顕微鏡は、ようやく世界の3大メーカーと並べて、見え方や機能性などの特徴からどちらを選択するべきかが判断されるだけの、独自の性能、機能を備えるまでとなったと考える。これもどこか、Stainway & Sons, Boesendorfer, Bechsteinを目標としたYAMAHA, KAWAIのピアノ開発の歴史と似ているように思える<sup>1)</sup>。ところで、逆にデジタル楽器の領域では、それら国産メーカー



[図4] デジタルカメラの接続例  
a Topcon DC-1  
b Nikon D1X

は、世界の中ですでに他の追従を許さない高い評価を受けていることは、さまざまなことを暗示してはいないだろうか。

文献

- 1) 前田孝則ほか：日本のピアノ100年—ピアノづくりに賭けた人々、草思社、東京、2001