

インタラクティブシステム特論 | (3)

梶本 裕之
人間コミュニケーション学科
kajimoto@hc.uec.ac.jp
http://kaji-lab.jp

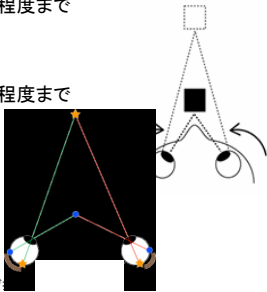
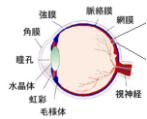
講義目次

- 感覚総論
- 人間の視覚, 視覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の聴覚, 聴覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の触覚, 触覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の運動, 体性感覚ディスプレイ技術
- 拡張/複合現実感とウェアラブル技術

インタラクティブ技術特論

前回の補足: 奥行き手がかり

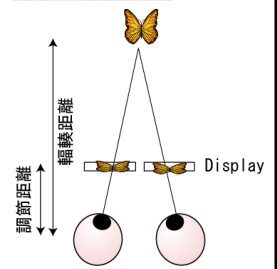
- 焦点調節
 - 奥行き知覚への寄与は2m程度まで
- 輻輳
 - 奥行き知覚への寄与は4m程度まで
- 両眼視覚
 - 最も高精度な奥行き知覚



インタラクティブ

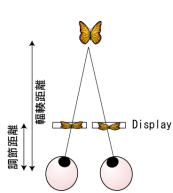
輻輳と調節の運動

- 輻輳と調節は連動する
 - 輻輳性調節
 - 調節性輻輳
- 両眼ステレオ視の問題: 輻輳と調節の矛盾
 - 調節距離は固定
 - 輻輳距離は変動
- ⇒ 疲労

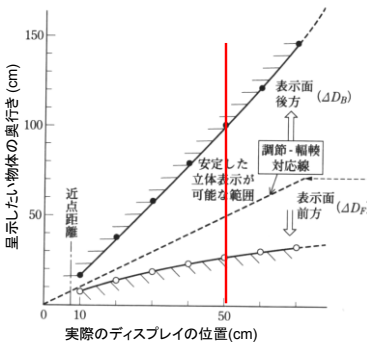


インタラクティブ技術特論

輻輳調節矛盾の許容範囲

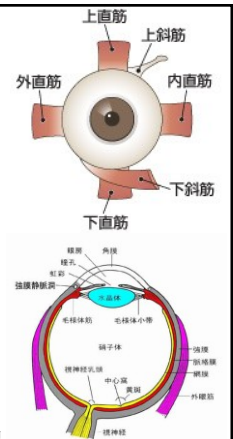


(例) 眼から50cm離れたディスプレイ
⇒ 25cm~1mの距離のステレオ表示ができる



眼球運動

- 6つ(3対)の眼筋による3自由度回転運動
 - 外・内直筋: 左右運動
 - 上・下直筋+上・下斜筋: 上下運動と前後軸周りの運動 (綺麗に独立していない)
 - 前後軸周りの運動は不随意



インタラクティブ技術特論

眼球運動: 重要な入力インタフェース

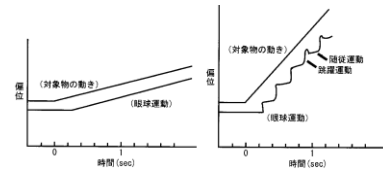
先を読む頭脳
伊藤 敏志
松原 仁
羽生善治
Hideo Shohzoh
Hitoshi Matsubara

目録者の視線の動き
中級者の視線の動き
羽生さんの視線の動き

新報社
ブ技術特論

眼球運動

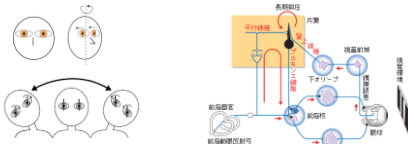
- Smooth Pursuit (滑動性追跡眼球運動)
 - ゆっくりと動く小さな点を追跡する, **随意性**
- Saccade (跳躍性眼球運動)
 - ステップ状の眼球運動
 - 起動は**随意** or **不随意**, 運動中は止められない
Saccade中は視力低下



- Miniature eye movement (固視微動)
 - 30~100Hzの微小振動, 網膜上の像の消失を防ぐ(麻酔⇒像消失)
インタラクティブ技術特論

眼球運動: 網膜像の安定化

- Vestibulo-ocular reflex (VOR, 前庭動眼反射)
 - 頭部回転運動と逆向きに回転することで網膜像を安定化
 - 簡単な実験: 首を振っても指先を注視できるが, 指を振るとぶれる



- Optokinetic Response (OKR, 視運動性眼球運動)
 - 視野全体が動いたときに眼球が同方向に動く
 - Optokinetic Nystagmus (視運動性眼振)
 - 電車で外の景色を眺めたときの振動
 - 進行方向に早く, **反対方向に遅い** 繰り返し運動

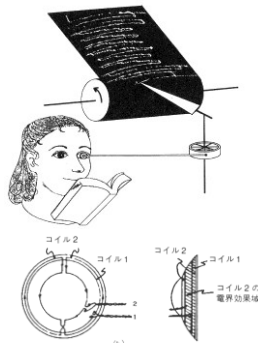
眼球運動をどう測るか?

- アナログ計測
 - コンタクトレンズ
 - 眼底電位
 - 強膜反射
- 画像処理
 - パッシブな方法
 - アクティブな方法
 - 角膜反射, 赤目現象

インタラクティブ技術特論

眼球運動計測 (コンタクトレンズ)

- カイモグラフ (Kymograph)

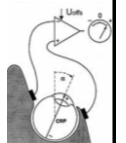
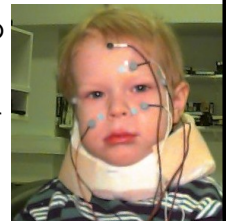


- バリエーション
 - オプティカル・レバー法
コンタクトレンズに微小ミラー装着
 - サーチコイル法
コンタクトレンズにコイルを埋込

インタラクティブ技術特論

眼球運動計測 (眼底電位: EOG)

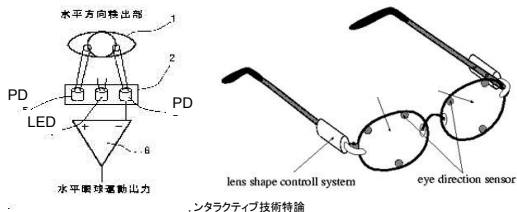
- 角膜は, 網膜に対して1mV 弱の正の電位をもつ.
- 眼の周囲に皮膚電極を取り付ける⇒電圧変化は眼球の回転角にほぼ比例
- 広い眼球運動検出範囲(速度, 周波数)を有する
- 1 deg 以上の精度を得ることは難しい



インタラクティブ技術特論

眼球運動計測: 強膜反射(リンバストラッキング法)

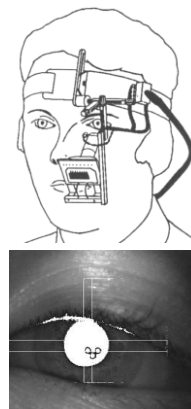
- 角膜(黒目)と強膜(白目)の反射率の違いを利用
- 黒目と白目の境界付近に微弱赤外線を照射
- 反射光: 白 > 黒 ⇒ 受光量は眼球運動に伴って変化.
- 水平方向に強い, 垂直方向は弱い. 装着必須



インタラクティブ技術特論

眼球運動計測(画像処理)

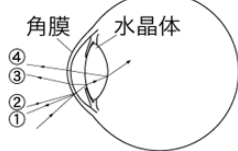
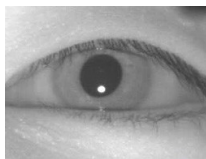
- 眼球をビデオカメラで撮影
- 画像処理により瞳孔, 虹彩を抽出, 眼球運動を計測.
- まつ毛やまぶたなどノイズの影響を避ける画像処理(パターンマッチング)
- 処理速度: ビデオカメラのフレームレートに依存. サッカードでは高速ビデオカメラ必要.



インタラクティブ技術特論

眼球運動計測: 角膜反射

- 点光源の角膜照射時に現れる角膜反射像(プルキニエ像)から眼球運動を計測
- ビデオカメラで撮影⇒画像処理
- 瞳孔中心との相対位置を使う

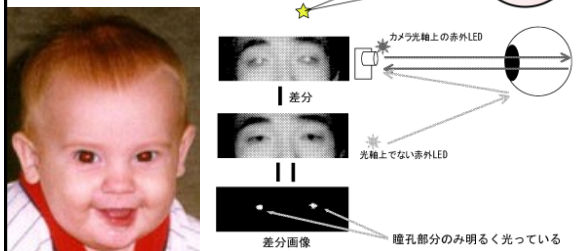


インタラクティブ技術特論



眼球運動計測: 赤目現象の利用

- 目のレンズによる再帰性反射で網膜の色(血管)が反射する現象. 光源に返ってくる
- 光源を2種類(同軸上か否か)用意すれば差分画像として瞳孔だけ検出可能



講義目次

- 感覚総論
- 人間の視覚, 視覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の聴覚, 聴覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の触覚, 触覚センシング, ディスプレイ技術
- 人間の運動, 体性感覚ディスプレイ技術
- 拡張/複合現実感とウェアラブル技術

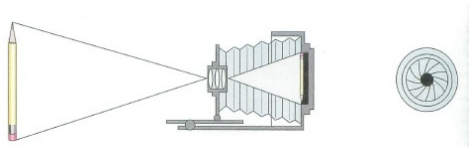
インタラクティブ技術特論

視覚センシング

- 撮像系の基礎
 - レンズについて
 - レンズの敵: 収差
 - その他の光学素子
 - 撮像素子
- 画像補正技術
 - フレ補正
 - 見たいものだけ見る
- 立体情報の取得 (来週)

インタラクティブ技術特論

カメラの構造

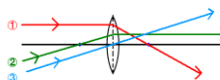


- レンズ
- 絞り
- シャッター
- フィルム

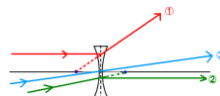
インタラクティブ技術特論

レンズ

- 凸レンズ



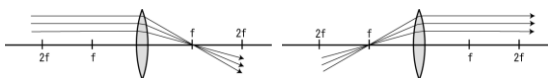
- 凹レンズ



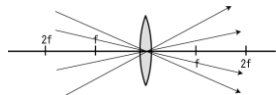
インタラクティブ技術特論

焦点距離, 実像, 虚像

- ルール1: 光軸に平行な光は焦点に集まる (逆に焦点から出た光は光軸に平行になる)



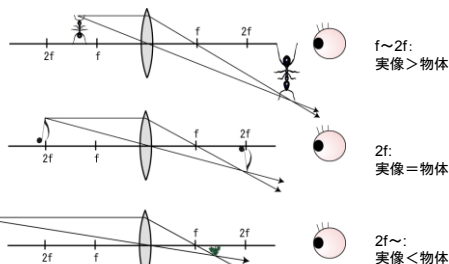
- ルール2: レンズ中心を貫く光は方向をかえない



インタラクティブ技術特論

焦点距離, 実像, 虚像

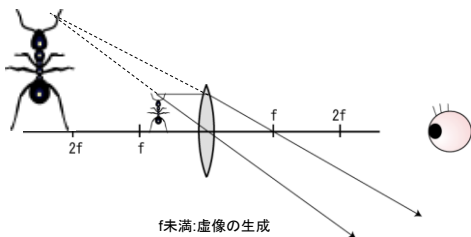
- 実像: 観察している像から実際に光が出ているとき, その像を実像(Real Image)という



インタラクティブ技術特論

焦点距離, 実像, 虚像

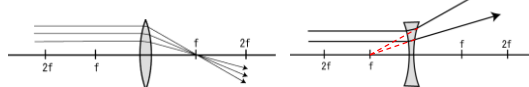
- 虚像: 観察している像から実際には光が出ていないとき, その像を虚像(Virtual Image)という



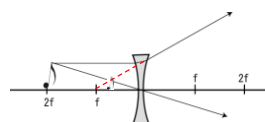
インタラクティブ技術特論

凹レンズ

- ルール1改: 平行光は「後ろ側焦点」から発したように拡散する



- 虚像しか出来ない



インタラクティブ技術特論

像とは何か？

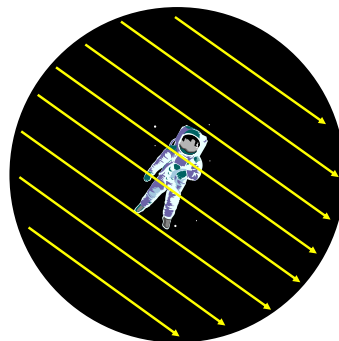
インタラクティブ技術特論

Quiz

貴方は真っ暗な宇宙空間を遊泳している。

今、一方向の平行光が宇宙空間を満たしたとする。

貴方は何を見るか？

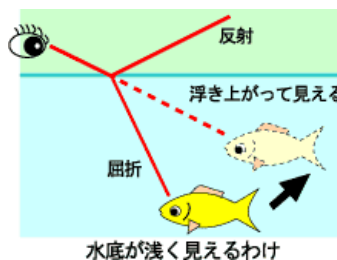


像とは

「まるで
その点から
光が
(ほぼ)四方八方に
出ている
かのように見える状況」

光線ではなく、**光線群**が大切。

屈折像の誤解



水底が浅く見えるわけ

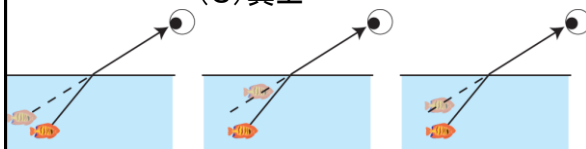
普通の図：一本線しか書いてない

- 目に到達する一本の光線だけ重要な？
- 斜めから見ないと浅く見えないの？

Quiz

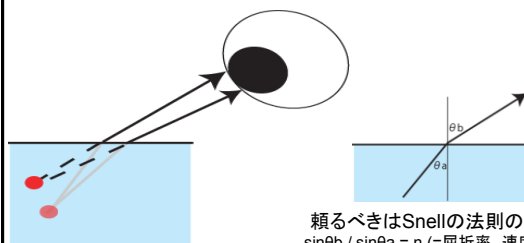
水中物体を水面から見ると浅く見えることはよく知られている。では**奥行き**は？

- (A) 少し奥
- (B) 少し手前
- (C) 真上



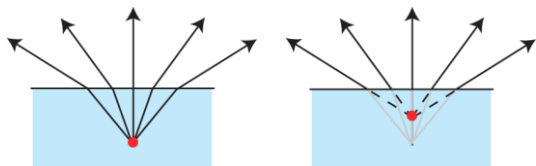
屈折像の奥行きを考えるには？

「**像**」の定義に立ち返り、
ほんの少しずれた
2本の光線の**結像**を考えればよい。



頼るべきはSnellの法則のみ：
 $\sin\theta_b / \sin\theta_a = n$ (=屈折率, 速度比)

真上から見ても(屈折によって)浅くなる！



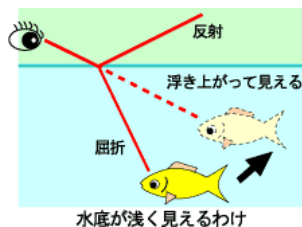
理想的には...

一点から出たあらゆる方向の光が別の一点から出ているように見える。

現実的には...

一点から出た瞳孔に入る範囲の光が別の一点から出ているように見える。

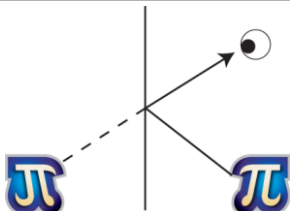
「屈折像の誤解」の原因



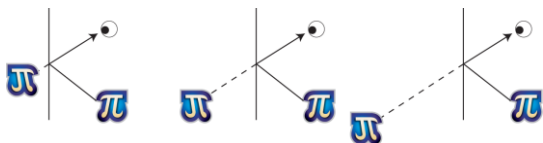
一本線しか書いてないことが原因。

像は(実物と同様に), そこからあらゆる方向に光が出ないといけない

鏡面の誤解

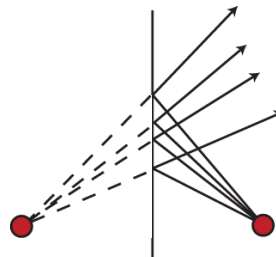


一本の反射光線では鏡像を理解できない。下のような色々な可能性がありうる。



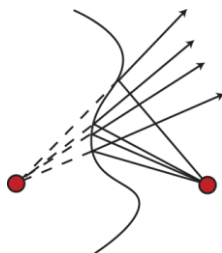
平面の鏡像... 一種の奇跡

鏡面は、一点から出たあらゆる光が、別の一点から出たかのような軌跡を描く。よって像となる。この場合、虚像。



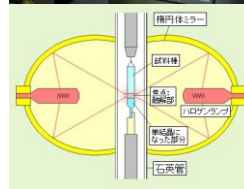
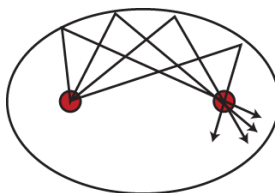
平面は奇跡か？

「ある点から出た、あらゆる方向の光」を「別のある点から出た光」に変換できる曲面は、平面以外にあるか？



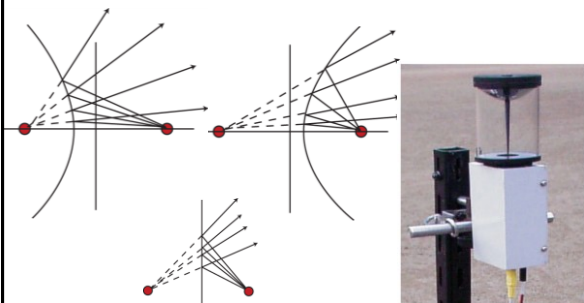
楕円ミラー

- 実像を作る。
- 宇宙炉などに利用



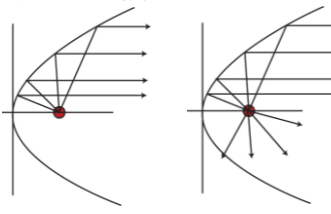
双曲面ミラー

- 虚像を作る
- 双曲面ミラーの特殊な例が平面ミラー
- 監視カメラ等に活用



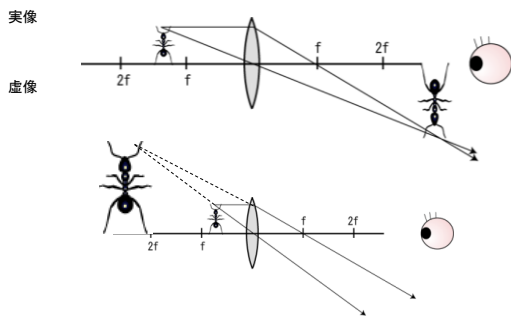
放物面ミラー(パラボラ)

- 平行光を集約させる
- 一点からの光を平行光に変換
- 双曲面に似ているが、楕円ミラーの拡張として理解すべき。片方の焦点が無限遠

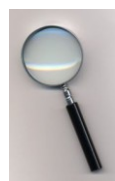
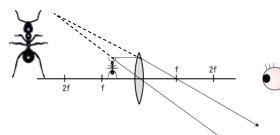


レンズの「像」に戻って...

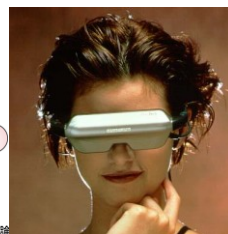
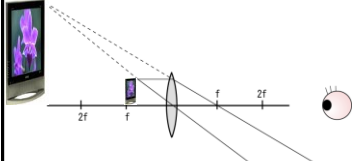
代表的な2本の光線だけ書いているが、実際には無数の光線によって「あたかもそこから出ているかのように」感じる。



虚像の利用: 虫眼鏡とHMD

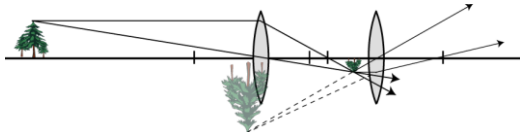


- Head Mounted Display



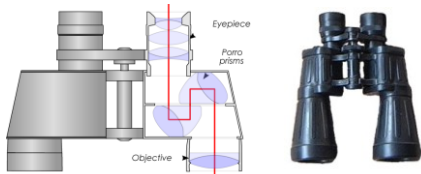
輻輳調節矛盾から出る望ましい距離に飛ばす
インタラクティブ技術特論

望遠鏡

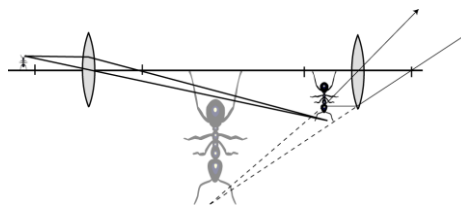


- 観察対象はほとんど無限遠。実像が焦点付近に出来る
- それを接眼レンズで拡大。虚像を観察

- 双眼鏡



顕微鏡



- 測定対象は対物レンズの焦点付近
- 対物レンズで作った実像を接眼レンズでさらに拡大、虚像を観察する

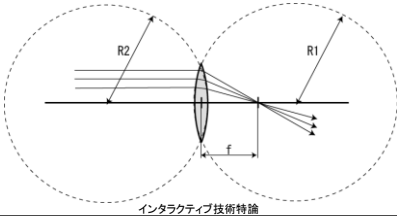
インタラクティブ技術特論

参考：屈折率と曲率と焦点距離

- 球面レンズの場合の近似式

$$\frac{1}{f} = (N-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) - \frac{(N-1)^2 d}{NR_1 R_2}$$

- f: 焦点距離, N: ガラスの屈折率, R1, R2: レンズの曲率半径, d: レンズの厚み
- 薄いレンズでは第二項は無視することが多い。

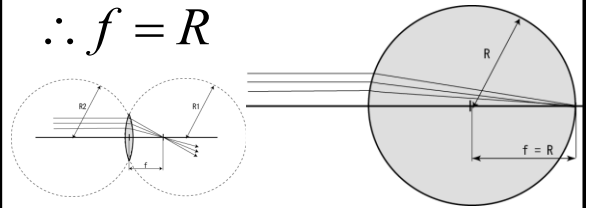


N=2のときは？

- N=2, R1=R2=R, d=2Rを代入

$$\frac{1}{f} = (2-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - \frac{(2-1)^2 \cdot 2R}{2R \cdot R} = (2-1) \left(\frac{1}{R} + \frac{1}{R} \right) - \frac{(2-1)^2 \cdot 2R}{2R^2} = \frac{1}{R}$$

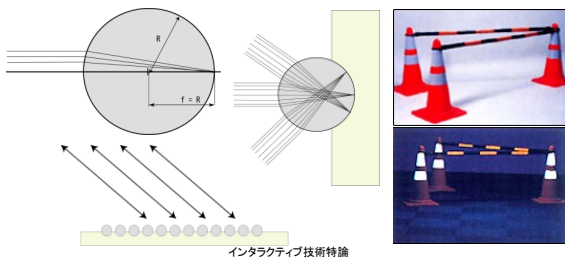
$$\therefore f = R$$



- 球面の反対側表面に焦点を結ぶことを意味する

再帰性反射材

- 屈折率2のガラスビーズは、光が来た方向に帰る
- 球面内側表面での「鏡面」反射は本質ではない。拡散反射しても再帰性反射は生じる(赤目現象と同じ。当然鏡面反射の方が強い反射光を得られるが)



再帰性反射材



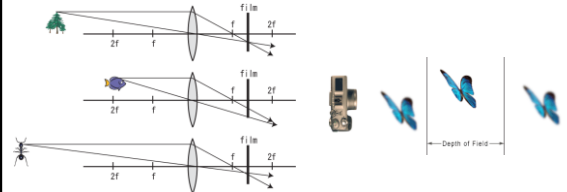
被写界深度



- 左: 被写界深度が浅い
- 右: 被写界深度が深い

インタラクティブ技術特論

被写界深度

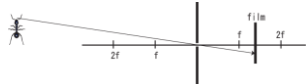


- 焦点の合う距離は一つだけ
- 他の距離ではすべてボケる。
 - しかし、ボケが人間に判別できないレベルの範囲であれば許容できる⇒この許容範囲のことを被写界深度と呼ぶ。

インタラクティブ技術特論

被写界深度

- 被写界深度は、絞りと焦点距離に依存
- 絞り(=レンズの実質的な大きさ)
 - 大きいほどぼけやすくなる。(被写界深度が浅い)
 - 逆の極限:ピンホールカメラ
 - 応用:視力の良くなるアイマスク

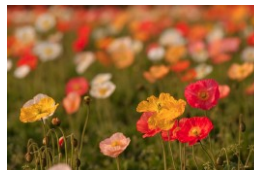


- 焦点距離
 - 長いほどぼけやすくなる(望遠レンズ)

インタラクティブ技術特論

被写界深度:コンパクトカメラの大問題

- レンズが小さい=ピンホールに近い.
- 被写界深度を浅く出来ない.



- こういう写真が取れない

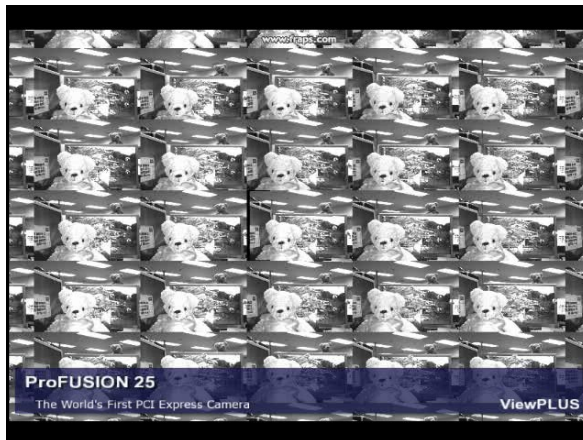
インタラクティブ技術特論

被写界深度:最近の研究

- Synthetic Refocusing
 - 一つ一つのカメラは小さく、被写界深度は深いが、合計することで浅くする.
- 他にも、後処理による被写界深度調整は今ホットな話題.



インタラクティブ技術特論

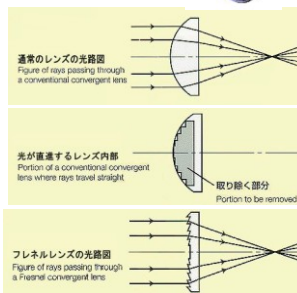
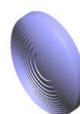


その他インタラクティブシステムでよく用いられる光学素子

- フレネルレンズ
- ハーフミラー
- 偏光板
- プライバシーフィルタ
- 波長フィルタ
- 光ファイバ

インタラクティブ技術特論

フレネルレンズ

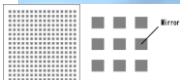
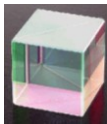


- 薄い平板状のため、大面積のレンズが安価、軽量に作成可能
- 照明光学系に多く使用(カメラのストロボ、灯台)
- フレネルミラーもある(表面に蒸着)

インタラクティブ技術特論

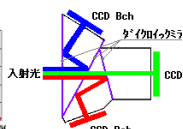
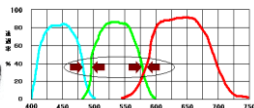
ハーフミラー(ビームスプリッター)

- プリズムタイプ
- 平面タイプ
- 特殊タイプ



関連

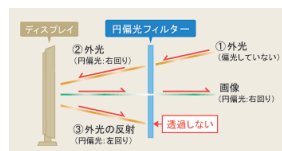
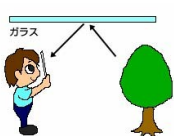
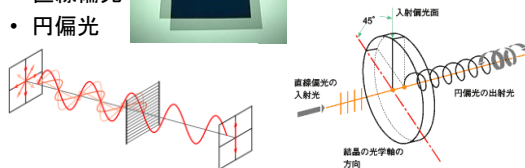
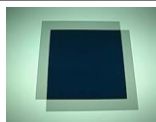
- ダイクロミックミラー: 特定波長のみ反射
- コールドミラー: 可視光を反射, 赤外を透過
- ホットミラー: コールドミラーの逆



インタラクティブ技術特論

偏光板

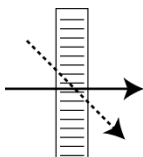
- 直線偏光
- 円偏光



インタラクティブ技術特論

プライバシーフィルタ

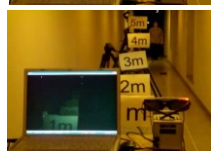
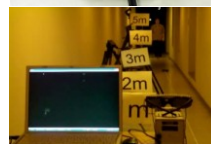
- 覗き見防止
- 撮影時には照明光の直接入射防止



インタラクティブ技術特論

波長フィルタ

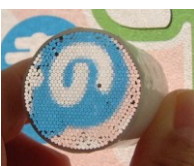
- 照明光による反射光のみ撮影したい
- 太陽光の影響を避けたい
- ハイパスフィルタ(赤外防止フィルタ)
 - カメラレンズに必ず付属
 - 赤外光でホワイトバランスが崩れるのを防ぐ。
- ローパスフィルタ(赤外透過フィルタ)
 - 赤外照明による撮影
- バンドパスフィルタ



インタラクティブ技術特論

光ファイバ

- ファイバースコープ
 - 撮像素子が入り込めない微細な場所で使用
- テレビ石
 - 光ファイバの束, 自然の鉱石



インタラクティブ技術特論

今日はここまで

インタラクティブ技術特論