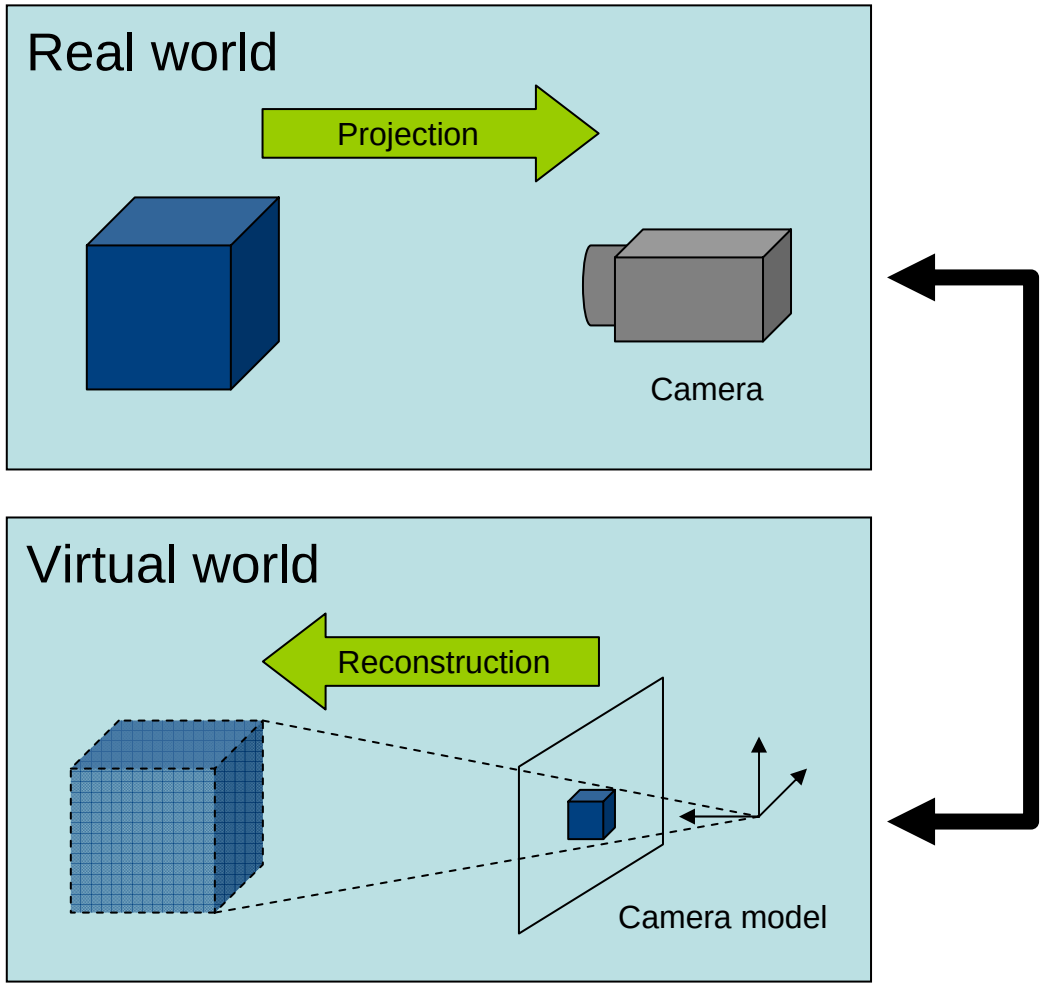
ボリュームデータ生成 (2)

情報メディア工学特論
2004年11月9日

投影



カメラキャリブレーション

- カメラのモデル化
- 各種カメラパラメータの推定

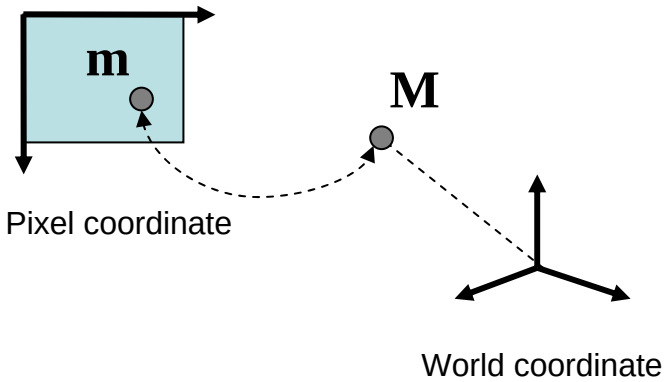
カメラキャリブレーション (1)

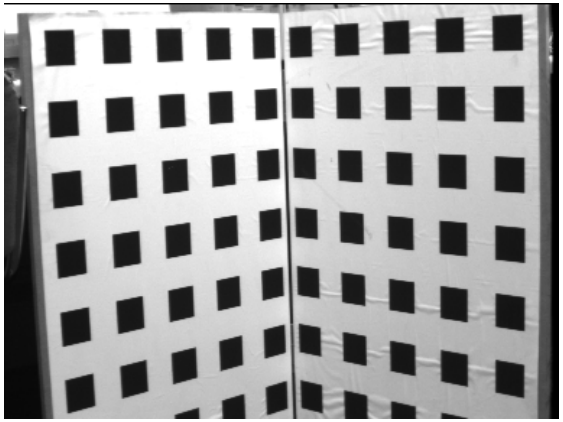
単眼 (Single-View Geometry)

座標値が既知である空間中 (世界座標系上) の点と画像上 (ピクセル座標系上) の点の対応関係より、射影行列を算出する。

⇩

形状が既知であるパターンが必要





$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P}\tilde{\mathbf{M}}$$

s: スカラー
$\mathbf{m}$: ピクセル座標系上の座標
$\mathbf{M}$: 世界座標系上の座標
$\mathbf{P}$: 射影行列

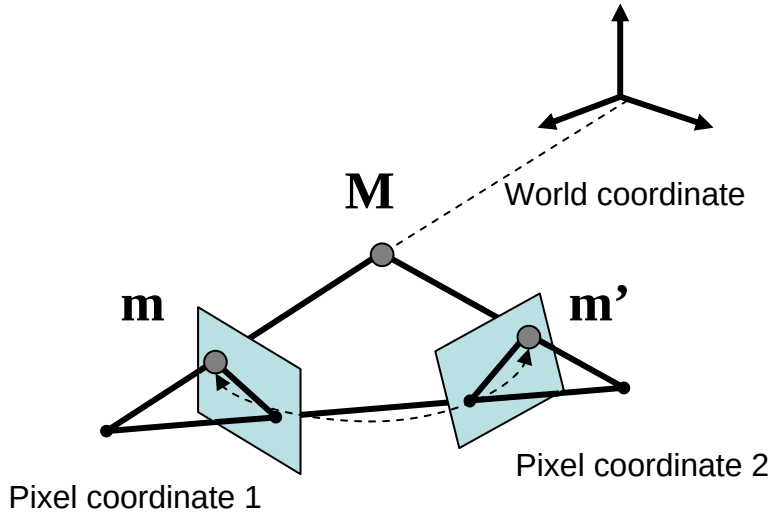
カメラキャリブレーション (2)

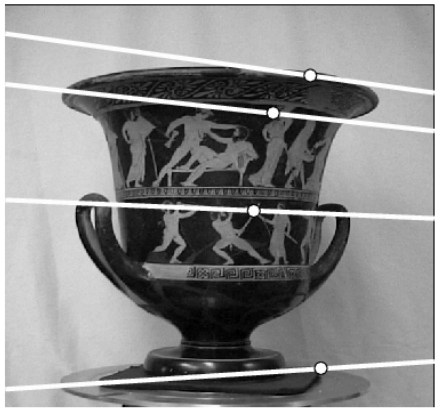
二眼 (Two-View Geometry)

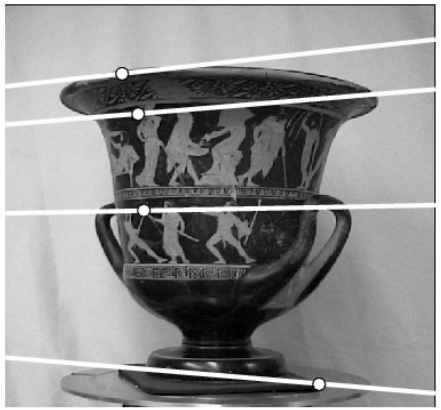
画像間 (ピクセル座標系間) の点の対応関係より、Fundamental行列を算出する。

⇩

形状が既知であるパターンは不要
画像間での点の対応付けが必要







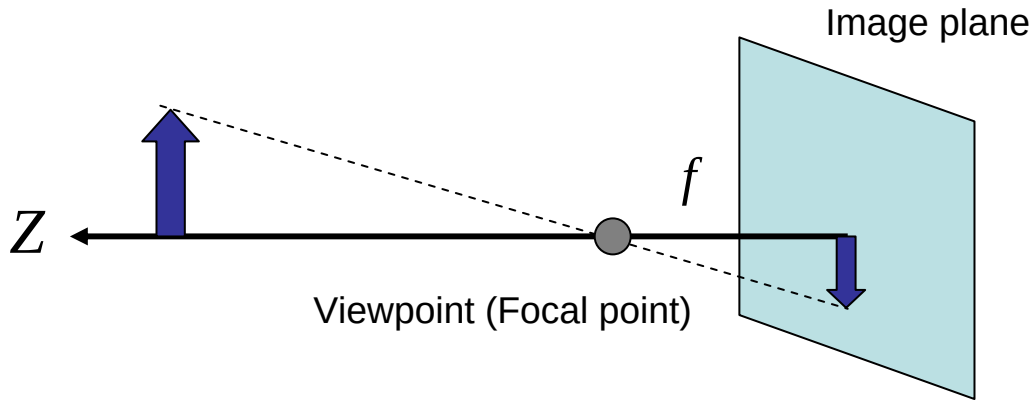
$$\mathbf{m}^T \mathbf{F} \mathbf{m}' = 0$$

$\mathbf{m}$:	ピクセル座標系1上の座標
$\mathbf{m}'$:	ピクセル座標系2上の座標
$\mathbf{M}$:	世界座標系上の座標
$\mathbf{F}$:	Fundamental行列

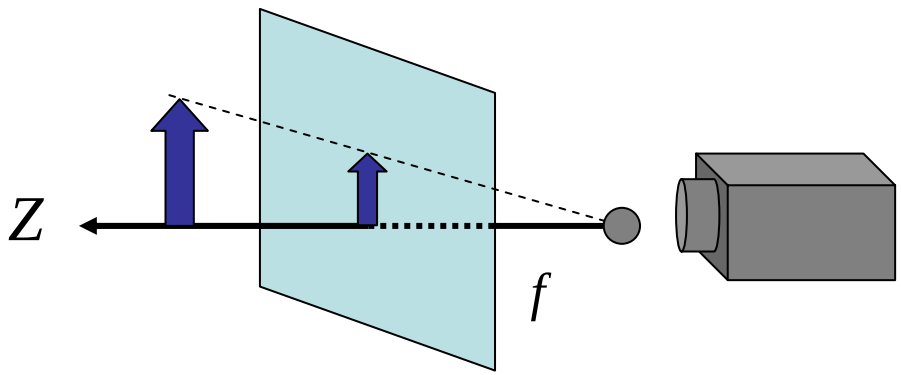
Single-View Geometry

ピンホールカメラモデル

(a)

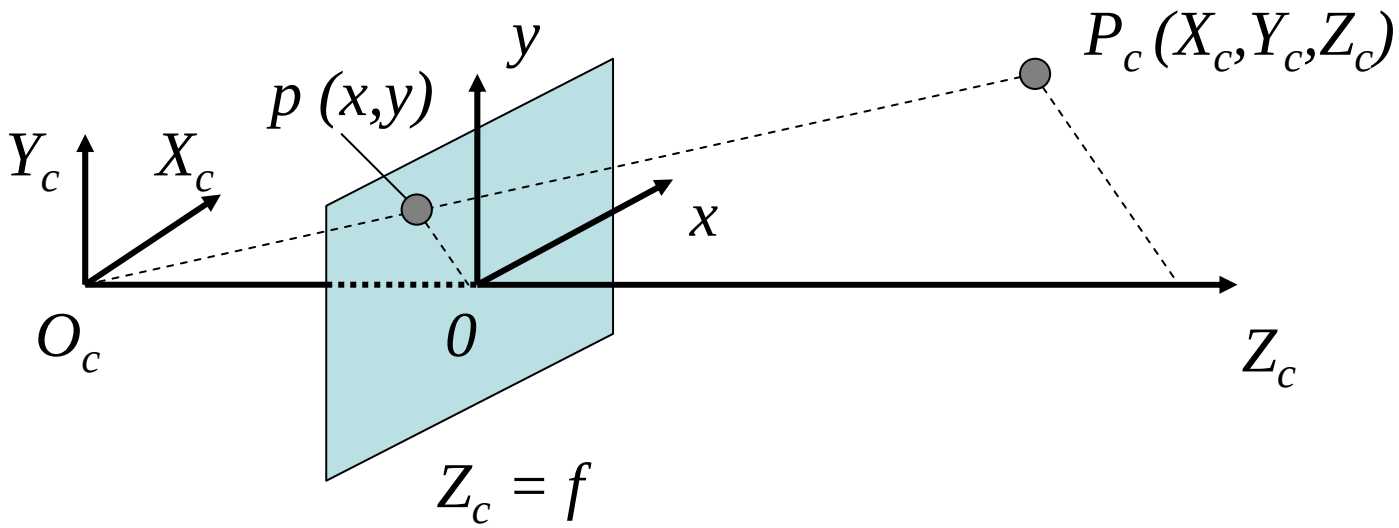


(b)



Z: Optical axis
f: Focal length

透視投影

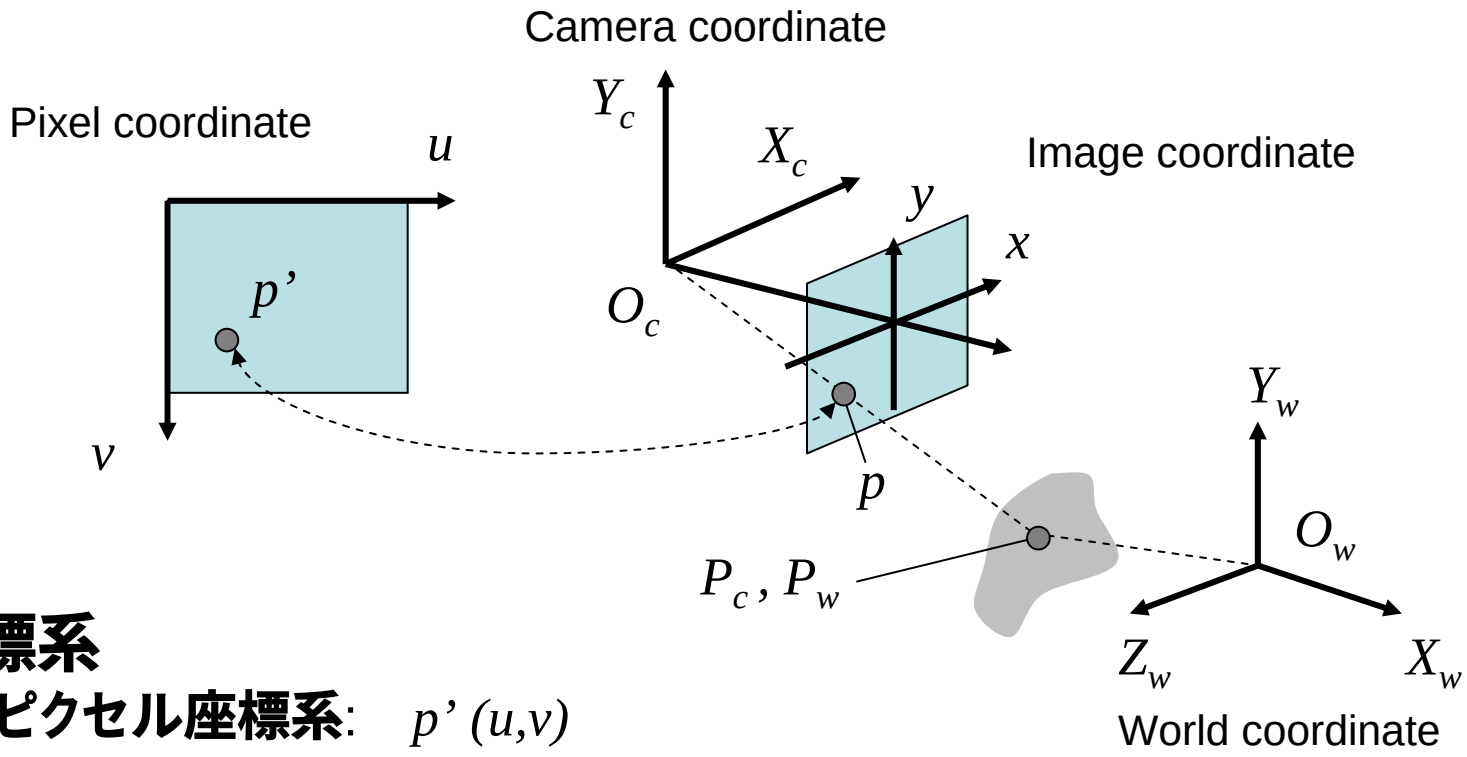


- **画像座標上の点**: $p\,(x,y)$
- **カメラ座標上の点**: $P_c\,(X_c,Y_c,Z_c)$

$$\Leftrightarrow \quad x = f\,\frac{X_c}{Z_c},\ \ y = f\,\frac{Y_c}{Z_c}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c}\begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{p}} = \frac{1}{Z_c}\begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}\tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{c}}$$

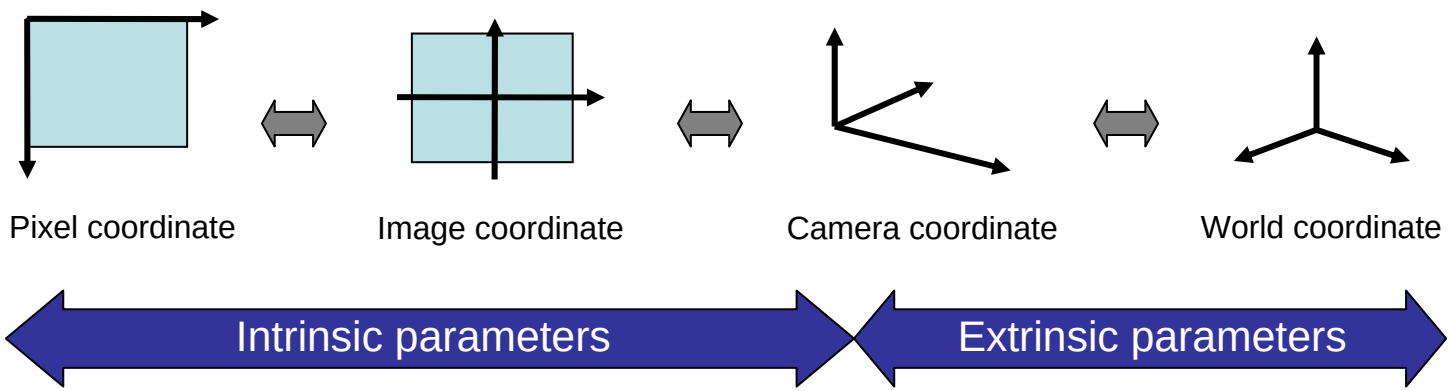
座標系



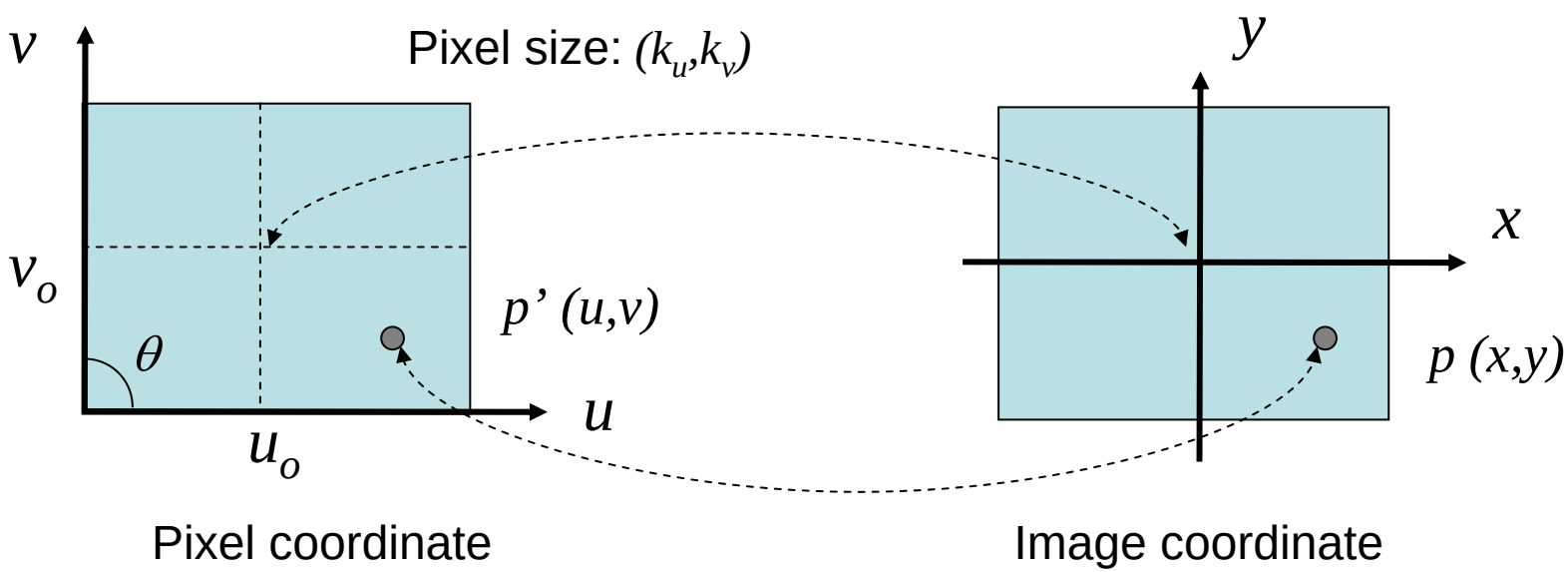
- **座標系**
  - **ピクセル座標系**: $p'\ (u,v)$
  - **画像座標系**: $p\ (x,y)$
  - **カメラ座標系**: $P_c\ (X_c,Y_c,Z_c)$
  - **世界座標系**: $P_w\ (X_w,Y_w,Z_w)$

カメラパラメータ

- **内部パラメータ**
  - **焦点距離**: f
  - **画像主点**: (u_0,v_0)
  - **ピクセルサイズ**: (k_u,k_v)
  - **レンズ歪み係数**: k_1, k_2
- **外部パラメータ**
  - **平行移動ベクトル**: $\mathbf{T}$
  - **回転行列**: $\mathbf{R}$



内部パラメータ (1)

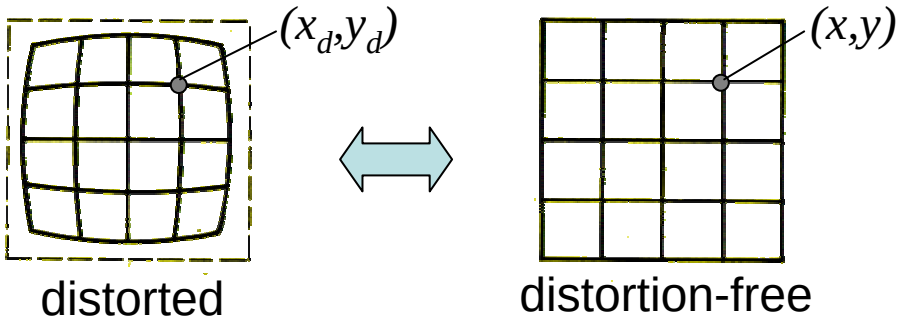


From Pixel coordinate to Image coordinate:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & k_v / sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \Leftrightarrow \tilde{\mathbf{p}}' = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & k_v / sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tilde{\mathbf{p}}$$

内部パラメータ (2)

Lens distortion



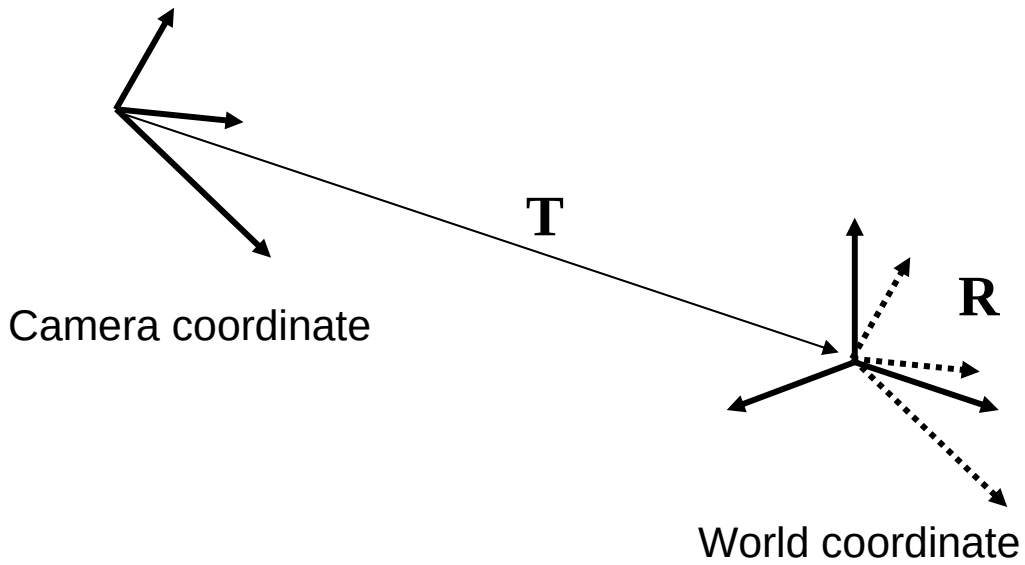
From Ideal (distortion-free) to Real (distorted):

$$\begin{bmatrix} x_d \\ y_d \end{bmatrix} = \left(1 + k_1 \cdot r^2 + k_2 \cdot r^4\right) \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

R.Hartley and A.Zisserman, “Multiple View Geometry”, Cambridge University press, 2001.

外部パラメータ (1)



From World coordinate to Camera coordinate:

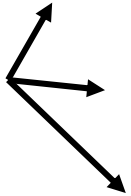
$$\mathbf{P_c} = \mathbf{R}\mathbf{P_w} + \mathbf{T}$$

$$\Leftrightarrow \tilde{\mathbf{P}}_\mathbf{c} = \left[\begin{array}{ccc|c} & \mathbf{R} & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \cdot \tilde{\mathbf{P}}_\mathbf{w}$$

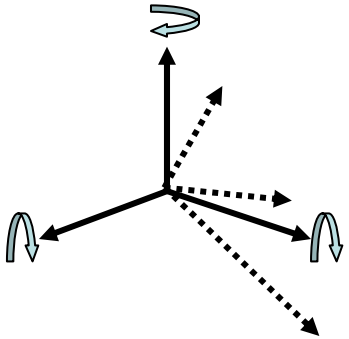
$\mathbf{R}$: Rotation matrix (3x3 matrix)

$\mathbf{T}$: Translation vector (3D vector)

外部パラメータ (2)



Camera coordinate



World coordinate

From World to Camera:

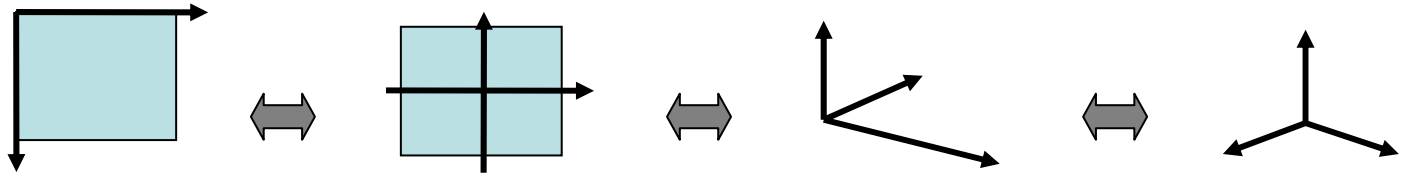
$$\mathbf{P} = \mathbf{R}\mathbf{P}_{\mathbf{w}} + \mathbf{T}$$

$$\mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{R} = \mathbf{R}_\alpha \mathbf{R}_\beta \mathbf{R}_\gamma = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\alpha & -sin\alpha \\ 0 & sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\beta & 0 & -sin\beta \\ 0 & 1 & 0 \\ sin\beta & 0 & \cos\beta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\gamma & -sin\gamma & 0 \\ sin\gamma & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\gamma & -\cos\beta sin\gamma & sin\beta \\ sin\alpha sin\beta\cos\gamma + \cos\alpha sin\gamma & -sin\alpha sin\beta sin\gamma + \cos\alpha\cos\gamma & -sin\alpha\cos\beta \\ -\cos\alpha sin\beta\cos\gamma + sin\alpha sin\gamma & \cos\alpha sin\beta sin\gamma + sin\alpha\cos\gamma & \cos\alpha\cos\gamma \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \mathbf{r}_3 \end{bmatrix}$$

世界座標からピクセル座標 (1)



Pixel coordinate　　Image coordinate　　Camera coordinate　　World coordinate

$$\tilde{\mathbf{p}}' = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & k_v / sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \tilde{\mathbf{p}}$$

Image to Pixel

$$\tilde{\mathbf{p}} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{c}}$$

Camera to Image

$$\tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{c}} = \left[\begin{array}{ccc|c} & \mathbf{R} & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{w}}$$

World to Camera

$$\tilde{\mathbf{p}}' = \begin{bmatrix} k_u & -k_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & k_v / sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot \left[\begin{array}{ccc|c} & \mathbf{R} & & \mathbf{T} \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array}\right] \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{w}}$$

世界座標からピクセル座標 (2)

$$\tilde{\mathbf{p}}' = \frac{1}{Z_c}\begin{bmatrix} fk_u & -fk_u\cot\theta & u_0 \\ 0 & fk_v/sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{T}\end{bmatrix} \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{w}} \quad , \quad \begin{cases} \alpha = fk_u \\ \beta = f\,k_v/sin\theta \\ \gamma = -fk_u\cot\theta \\ s = Z_c \end{cases}$$

$$s \cdot \tilde{\mathbf{p}}' = \mathbf{AM} \cdot \tilde{\mathbf{P}}_{\mathbf{w}} \qquad \mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha & \gamma & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{M} = \begin{bmatrix}\mathbf{R} & \mathbf{T}\end{bmatrix}$$

A: **内部パラメータ行列** (intrinsic parameter matrix)
M: **外部パラメータ行列** (extrinsic parameter matrix)
AM: **射影行列** (projection matrix)

射影行列の算出 (1)

世界座標系からピクセル座標系への変換

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P}\tilde{\mathbf{M}}$$

s:	スカラー
$\mathbf{m}$:	ピクセル座標系上の座標（点の位置座標）
$\mathbf{M}$:	世界座標系上の座標（点の位置座標）
$\mathbf{P}$:	射影行列（3x4、自由度11）

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} & p_{14} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{p}_1 & p_{14} \\ \mathbf{p}_2 & p_{24} \\ \mathbf{p}_3 & p_{34} \end{bmatrix}$$

射影行列の算出 (2)

Pについてまとめると

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P}\tilde{\mathbf{M}} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{M}}^T & \mathbf{0}^T & -u\tilde{\mathbf{M}}^T \\ \mathbf{0}^T & \tilde{\mathbf{M}}^T & -v\tilde{\mathbf{M}}^T \end{bmatrix} \mathbf{p} = \mathbf{0}$$

ただし

$$\mathbf{p} = \left[\mathbf{p}_1^T, \quad p_{14}, \quad \mathbf{p}_2^T, \quad p_{24}, \quad \mathbf{p}_3^T, \quad p_{34} \right]^T$$

⇩

座標値が既知である点が1つあれば、2個の拘束式が得られる。

▽

Pは自由度が11であるため、座標値が既知な点が6点あればPを決定できる。

射影行列の算出 (3)

$$s\tilde{\mathbf{m}} = \mathbf{P}\tilde{\mathbf{M}} \Leftrightarrow \begin{bmatrix} \tilde{\mathbf{M}}^T & \mathbf{0}^T & -u\tilde{\mathbf{M}}^T \\ \mathbf{0}^T & \tilde{\mathbf{M}}^T & -v\tilde{\mathbf{M}}^T \end{bmatrix} \mathbf{p} = \mathbf{0}$$

座標値が既知な点がn点あれば

$$\mathbf{B}_{2n\times 12}\ \mathbf{p} = \mathbf{0}$$

と表すことができる。

- $\mathbf{p}$ = ($\mathbf{B}^T\mathbf{B}$の最小固有値に対する固有ベクトル)
- 最小二乗推定

$$\sum_{i=1}^{n} \left\| \mathbf{m}_i - \hat{\mathbf{m}}_i(\mathbf{p}, \mathbf{M}_i) \right\|^2$$

カメラパラメータの算出 (1)

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \alpha_u & -\alpha_u \cot\theta & u_0 \\ 0 & \alpha_v / sin\theta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{r}_1 \\ \mathbf{r}_2 \\ \mathbf{r}_3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{T} = \begin{bmatrix} t_1 \\ t_2 \\ t_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} \alpha_u \mathbf{r}_1^T - \alpha_u (\cot\theta) \mathbf{r}_2^T + u_0 \mathbf{r}_3^T & \alpha_u t_1 - \alpha_u (\cot\theta) t_2 + u_0 t_3 \\ (\alpha_v / sin\theta) \mathbf{r}_2^T + v_0 \mathbf{r}_3^T & (\alpha_v / sin\theta) t_2 + v_0 t_3 \\ \mathbf{r}_3^T & t_3 \end{bmatrix}$$

カメラパラメータの算出 (2)

内部パラメータ

$$u_0 = p_1 \cdot p_3$$

$$v_0 = p_2 \cdot p_3$$

$$\alpha_u = \left\| p_1 \times p_3 \right\| sin\theta$$

$$\alpha_v = \left\| p_2 \times p_3 \right\| sin\theta$$

$$\theta = \cos^{-1}\left(-\frac{(p_1 \times p_3)\cdot(p_2 \times p_3)}{\left\| p_1 \times p_3 \right\| \left\| p_2 \times p_3 \right\|} \right)$$

外部パラメータ

$$\mathbf{r}_1 = \frac{1}{\alpha_u}\left(\mathbf{p}_1 + (\mathbf{p}_2 - v_0\mathbf{p}_3)\frac{\alpha_u}{\alpha_v}\cos\theta - u_0\mathbf{p}_3 \right)$$

$$\mathbf{r}_2 = \frac{sin\theta}{\alpha_v}(\mathbf{p}_2 - v_0\mathbf{p}_3)$$

$$\mathbf{r}_3 = \mathbf{p}_3$$

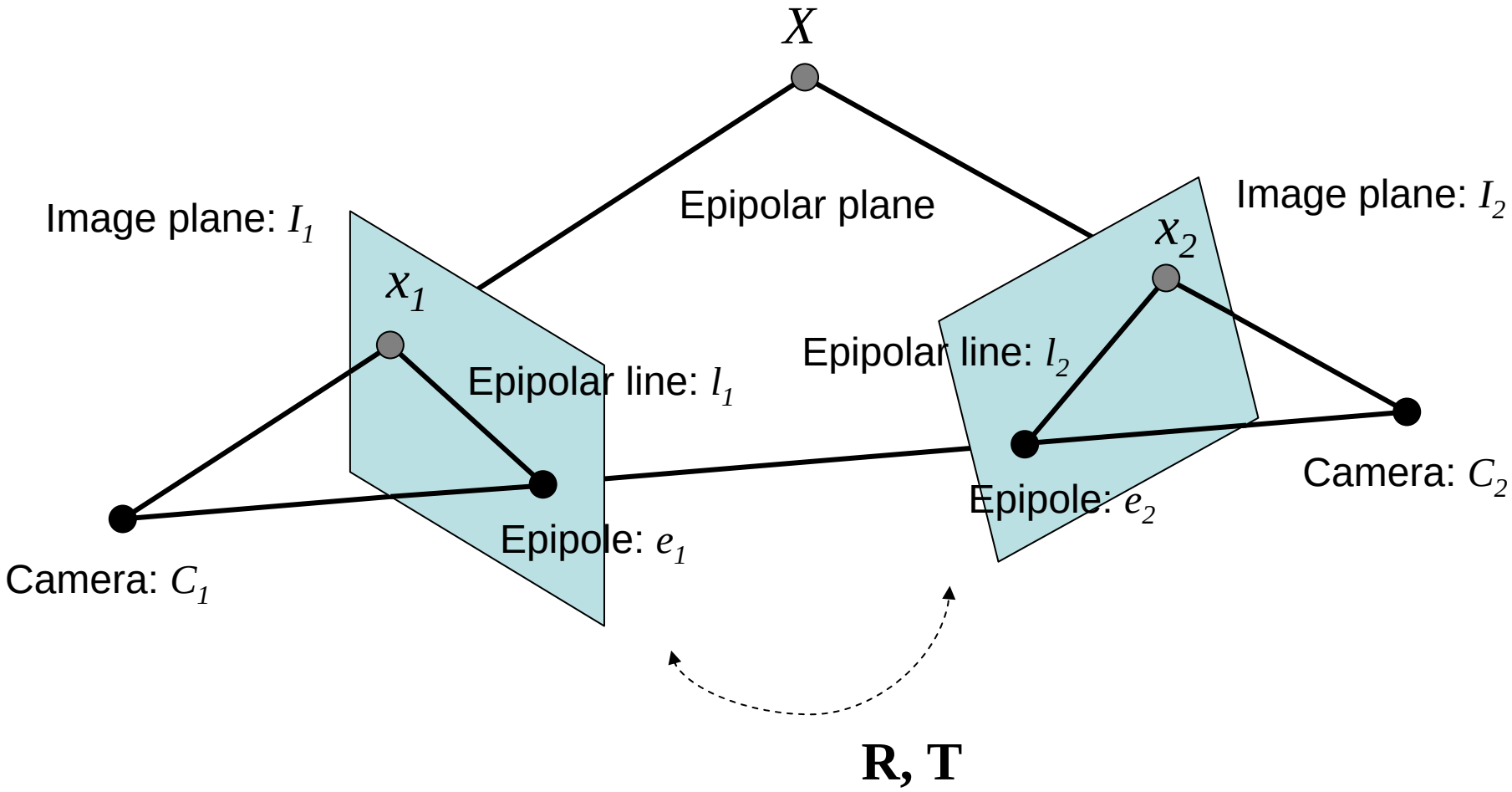
$$t_1 = \frac{1}{\alpha_u}\left(p_{14} + (p_{24} - v_0 p_{34})\frac{\alpha_u}{\alpha_v}\cos\theta - u_0 p_{34} \right)$$

$$t_2 = \frac{sin\theta}{\alpha_v}(p_{24} - v_0 p_{34})$$

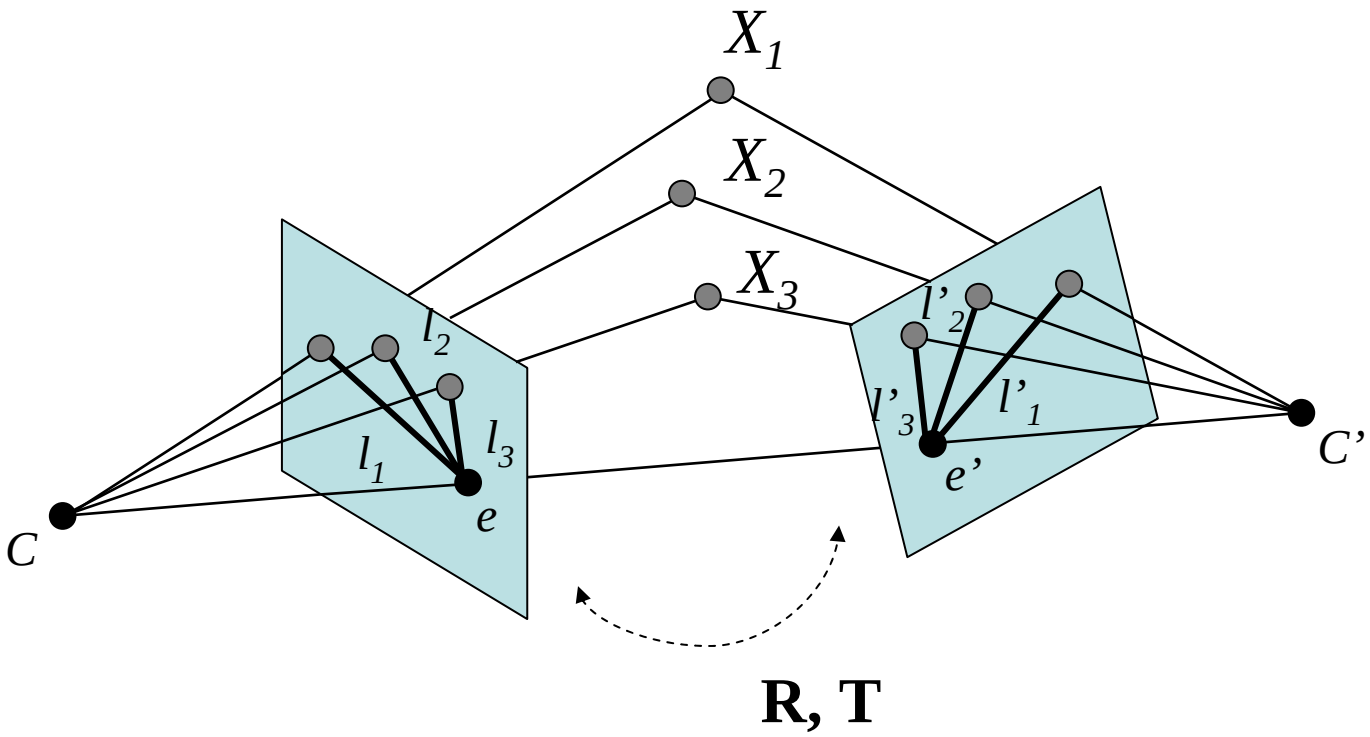
$$t_3 = p_{34}$$

Two-View Geometry

エピポーラ幾何 (1)


X
Epipolar plane
Image plane: I_1
x_1
Epipolar line: l_1
Epipole: e_1
Camera: C_1
Image plane: I_2
x_2
Epipolar line: l_2
Epipole: e_2
Camera: C_2
R, T

エピポーラ幾何 (2)



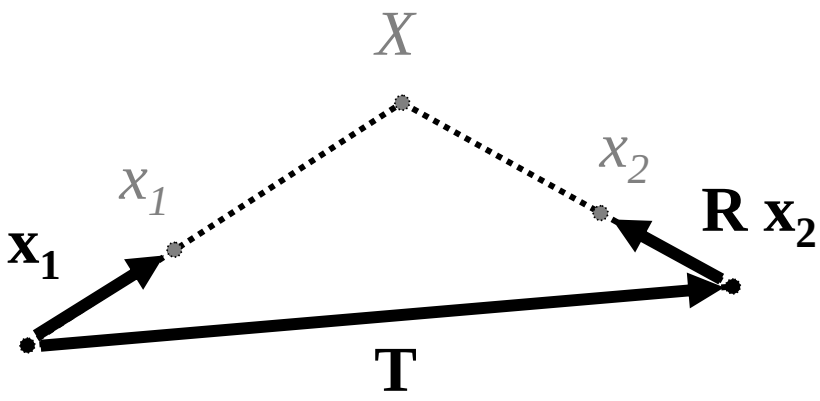
エピポーラ幾何に含まれる情報はカメラ間の回転と並進のみ

▽

エピポーラ幾何情報が得られれば、対象物体の形状によらず
カメラの3次元空間における運動が推定できる。

Essential 行列

$\mathbf{x_1}=(x_1,y_1,f_1)$, $\mathbf{x_2}=(x_2,y_2,f_2)$ とするとき、
$\mathbf{x_1}$, $\mathbf{T}$, $\mathbf{R}\,\mathbf{x_2}+\mathbf{T}$ は同一平面上に存在



$$\mathbf{x_1}^T\left\{\mathbf{T}\times\left(\mathbf{R}\mathbf{x_2}+\mathbf{T}\right)\right\}=0$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{x_1}^T\left(\left[\mathbf{T}\right]_\times\mathbf{R}\right)\mathbf{x_2}=0$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{x_1}^T\mathbf{E}\mathbf{x_2}=0$$

$$\left[\mathbf{T}\right]_\times=\begin{bmatrix}0 & -t_z & t_y\\ t_z & 0 & -t_x\\ -t_y & t_x & 0\end{bmatrix}$$: 歪対称行列

エピポーラ方程式

$$\mathbf{x_1}^T\mathbf{E}\mathbf{x_2}=0$$

Essential**行列** (E**行列**)

$$\mathbf{E}=\left[\mathbf{T}\right]_\times\mathbf{R}$$

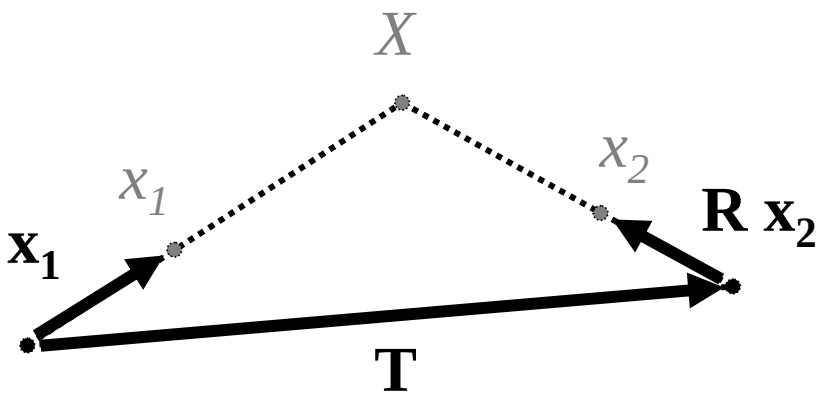
Fundamental 行列

カメラの内部パラメータが未知である場合

$$\mathbf{x}_1^T \mathbf{E} \mathbf{x}_2 = 0$$

$$\Leftrightarrow \left(\mathbf{x}'^T_1 A_1^{-T}\right) \mathbf{E} \left(A_2^{-1} \mathbf{x}'_2\right) = 0$$

$$\Leftrightarrow \mathbf{x}'^T_1 \mathbf{F} \mathbf{x}'_2 = 0$$



エピポーラ方程式

$$\mathbf{x}'^T_1 \mathbf{F} \mathbf{x}'_2 = 0$$

Fundamental**行列** (F**行列**)

$$\mathbf{F} = \mathbf{A}_1^{-T} \mathbf{E} \mathbf{A}_2^{-1} = \mathbf{A}_1^{-T} [\mathbf{T}]_\times \mathbf{R} \mathbf{A}_2^{-1}$$

E行列とF行列の自由度

E行列　・・・　自由度5

- 回転行列　　自由度3（各軸周りの回転角）
- 平行移動ベクトル　　自由度2（定数倍の不定性）

F行列　・・・　自由度7

- 定数倍の不定性
- rank($\mathbf{F}$) = 2,　| $\mathbf{F}$ |=0

エピポーラ線

エピポーラ方程式

$$\tilde{\mathbf{m}}'^T \mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}} = 0$$

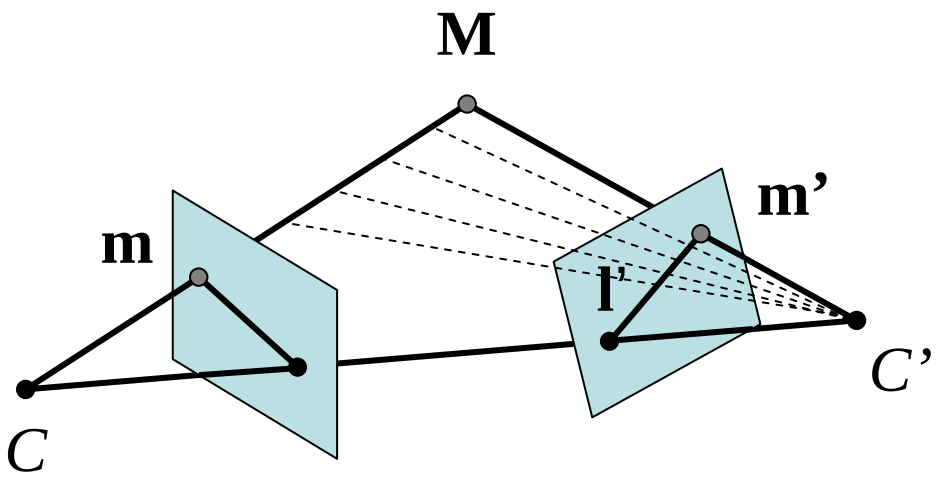
より

$$\tilde{\mathbf{l}}' = \mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}}$$

を考えると

$$\tilde{\mathbf{m}}'^T \tilde{\mathbf{l}}' = 0$$

となることから、m'が未知変数であるとき
l'は第2画像上の直線を表す。



⇒ l'は第1画像の点mに対応する第2画像上のすべての点の集合（エピポーラ線）を表す。

エピポール

エピポーラ方程式

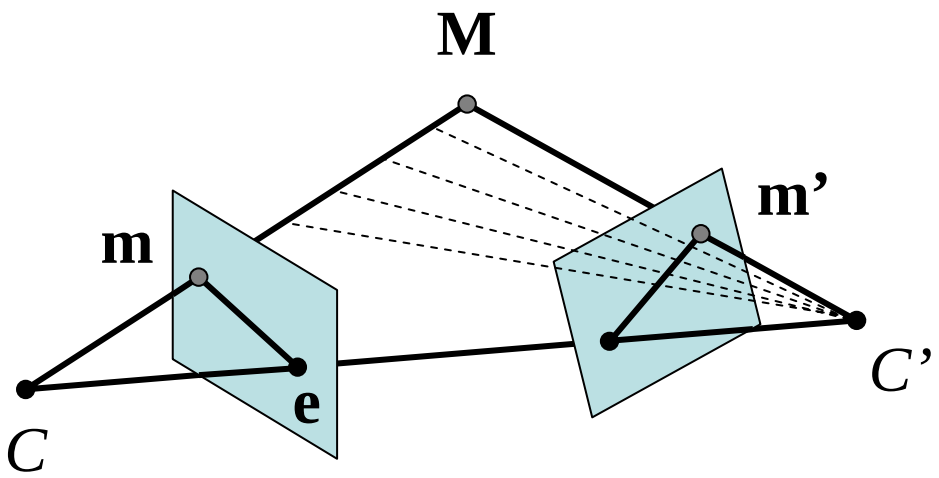
$$\tilde{\mathbf{m}}'^T \mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}} = 0$$

が、すべてのm'に対して成立するためには

$$\mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}} = 0$$

でなければならず、このときのmをeとすると

$$\mathbf{F} \tilde{\mathbf{e}} = 0$$



となることから、点eは第2画像上のすべての点m'に対応する第1画像上の点である。

⇒ 点eは第1画像においてすべてのエピポーラ線の交差する点（エピポール）である。

F行列の算出 (1)

1組の対応点が与えられれば、1つの拘束が得られる。

$$\tilde{\mathbf{m}}'^T \mathbf{F} \tilde{\mathbf{m}} = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} u' & v' & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & f_{13} \\ f_{21} & f_{22} & f_{23} \\ f_{31} & f_{32} & f_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = 0$$

$$\Leftrightarrow \begin{bmatrix} uu' & vu' & u' & uv' & vv' & v' & u & v & 1 \end{bmatrix} \mathbf{f} = 0$$

$$\mathbf{f} = \left[f_{11}, f_{12}, \cdots, f_{33} \right]^T$$

F行列の算出 (2)

n組の対応点が与えられれば

$$\mathbf{M}_{n\times 9}\,\mathbf{f} = \mathbf{0}$$

$$\mathbf{f} = \left[f_{11}, f_{12}, \cdots, f_{33}\right]^T$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} u_1u_1' & v_1u_1' & u_1' & u_1v_1' & v_1v_1' & v_1' & u_1 & v_1 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_nu_n' & v_nu_n' & u_n' & u_nv_n' & v_nv_n' & v_n' & u_n & v_n & 1 \end{bmatrix}$$

と表すことができる。

- $\| \mathbf{f} \| = 1$
- $\mathbf{f}$ = ($\mathbf{M}^T\mathbf{M}$の最小固有値に対する固有ベクトル)

F行列の算出 (3)

F行列の階数が2となるように修正

F行列を以下のように特異値分解する。

$$\mathbf{F} = \mathbf{UDV}$$

ここで、Dは対角行列であり、その対角要素をd_{11}, d_{22}, d_{33}とすれば

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{bmatrix}, \quad d_{11} \geq d_{22} \geq d_{33}$$

と表すことができる。このとき、$d_{33}=0$とした行列D'を用いることによって階数が2であるF行列を以下のようにして求めることができる。

$$\mathbf{F}' = \mathbf{UD}'\mathbf{V} = \mathbf{U}\begin{bmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}\mathbf{V}$$

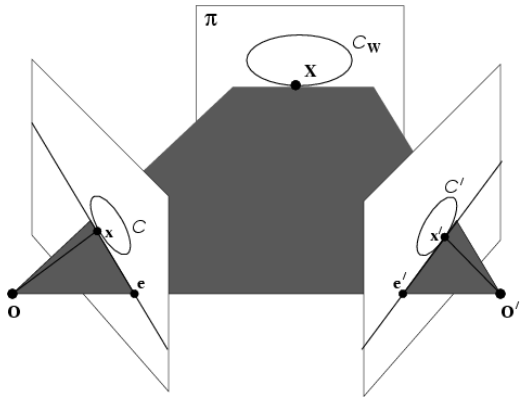
カメラパラメータの算出

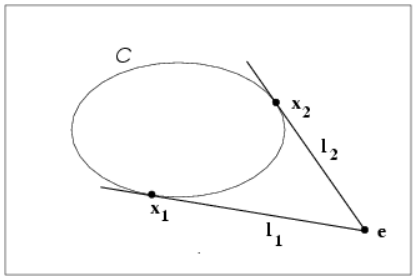
外部パラメータ

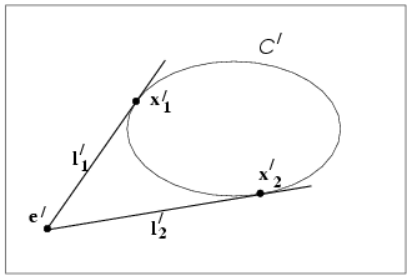
E行列が求まっていれば、E行列が歪対称行列Tと直行行列Rの積で表せることから、これをTとRに分解することが可能である。

内部パラメータ

任意の円錐曲線(conic)に対するエピポーラ接線(epipolar tangent line)の対応を代数的に表したKruppa方程式を利用することにより、内部パラメータに関する2つの拘束式が得られるため、3つの視点の画像が得られれば内部パラメータの全ての要素を計算することが可能である。







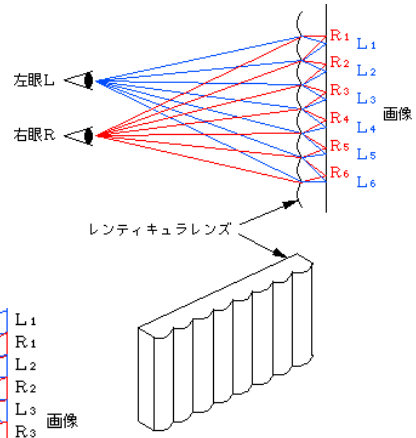
Cw:	絶対円錐曲線
C:	円錐曲線
l:	エピポーラ線（接線）

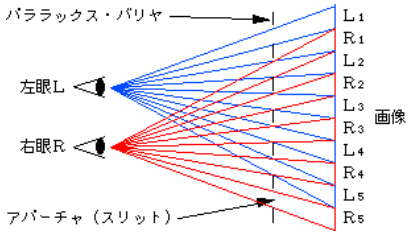
立体表示装置

立体表示方式

- 立体画像
  - のぞきメガネ式
  - フィルタメガネ式
    - アナグリフ式
    - 偏光メガネ式
    - 時分割式
  - メガネなし式
    - パララックスバリア式
    - レンチキュラ式

- 3次元画像
  - 多眼式
  - 奥行き標本化式
    (断層面再生像)
  - ホログラフィ式
    (空間像表示)





投写型立体表示装置

立体画像/フィルタメガネ式/偏光メガネ式

左右画像提示用プロジェクタ

偏光フィルタを取り付け
左右の画像を分離する。

偏光フィルタ付き
メガネで観察する。

偏光メガネ

http://www.kgt.co.jp/product/avs/pvr/

没入型立体表示装置：CAVEシステム (1)

世界を驚かせた没入型VRシステム

ＣＡＶＥＴＭは、米イリノイ大学ＥＶＬの商標

・ CAVE:　CAVE Automatic Virtual Environment

・ ＥＶＬ： Electronic Visualization Laboratory

多面没入型の総称として

ＣＡＶＥという名称が一般化

利点)

→　ＶＲ空間に没入

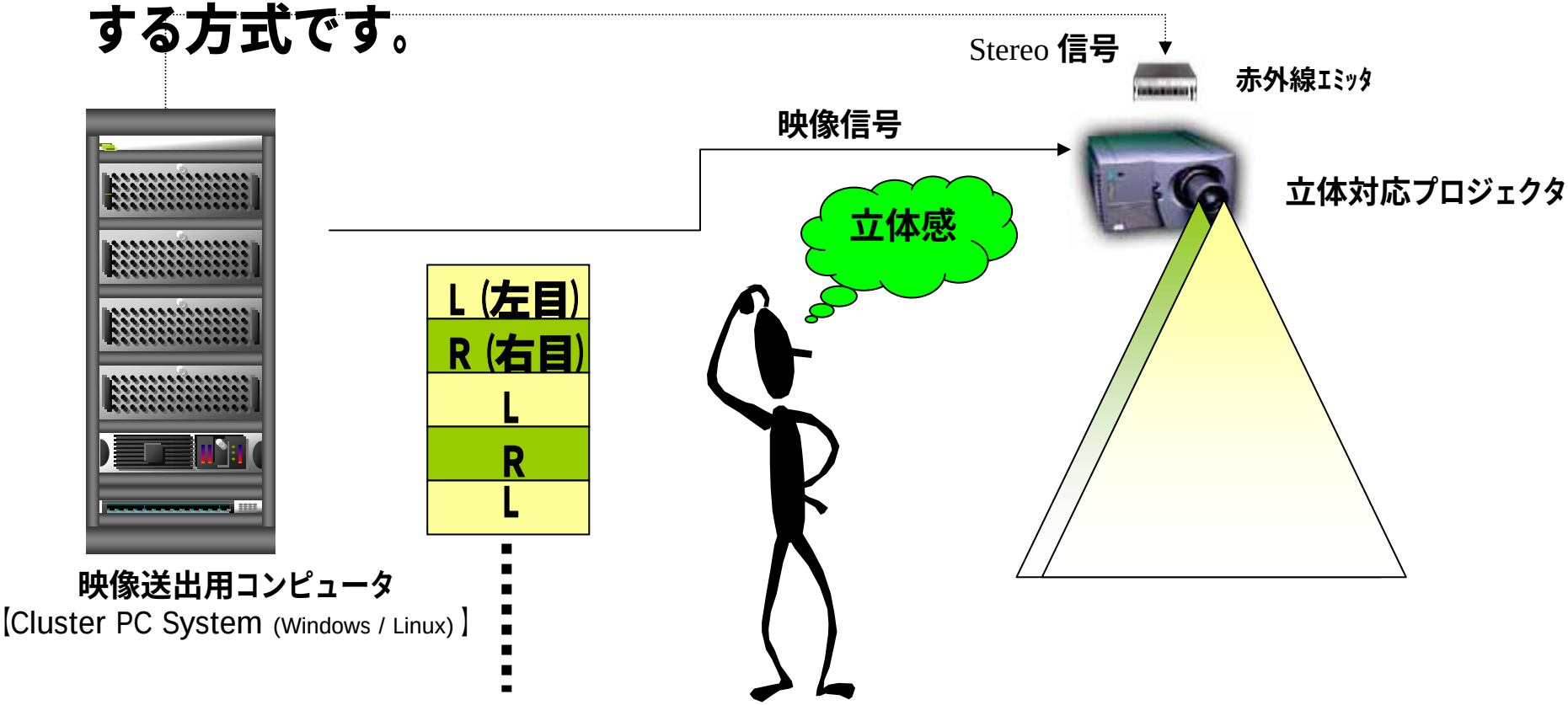
→　自分の視点から

立体視可能

核融合科学研究所 MHDダイナモ

没入型立体表示装置：CAVEシステム (4)

映像送出用コンピュータで左目用映像と右目用映像を交互に出力し、観察者がかける液晶立体眼鏡 (CrystalEYES) を通じで観察者の左右の目に分離して認識させる事により立体映像を提供する方式です。

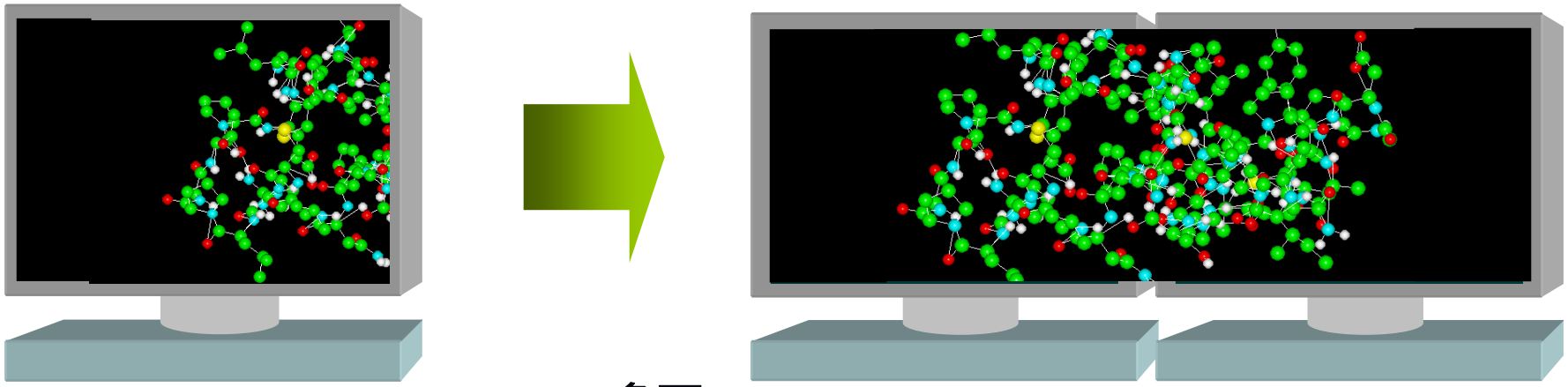


没入型立体表示装置：CAVEシステム (2)

- 広視野：6面スクリーンにより視野全体をカバー　（高い没入感を得られる）
- 開放型：複数人数が同時体験可能
  (但し、ヘッドトラッキングは一人
  のみ)
- 簡易装着：液晶シャッターメガネ

没入型立体表示装置：CAVEシステム (3)

いままでコンピュータ上で見えていなかった部分を一度に捉える（大規模、高解像度の可視化システムを構築）ことにより、全体像をより深く理解できます。また仮想空間内を自由に視点移動可能（ズームイン・ズームアウト・空間移動など）なため、細部も把握可能です。



単面　　多面

多面に同時に同一コンテンツを投影できることにより、スクロール縮尺の変更なしで全体を表示することが可能となります。

没入型立体表示装置：CAVEシステム(5)
～立体プロジェクタ～

- ３D対応DLP：3chip DMD
- 解像度：１２８０×１０２４
- 輝　度：２０００ANSIルーメン
- 水平周波数：１５-１２０kHz
- 垂直周波数：２４-１２０Hz

Mirage2000

http://www.nissho-ele.co.jp/product/mirage/

＜長所＞

- 高輝度。
- 設置調整/メンテナンスが容易。
- ｺﾝﾋﾟｭｰﾀ映像を精細に投影できる。
- 反射型の為、光の利用効率が良い。

＜短所＞

- コントラストが弱い。
- 黒浮きが発生する。
- ジオメトリーに対する制御が弱い。
- ランプの交換時間が早い。

没入型立体表示装置：CAVEシステム (6)
～操作デバイス～

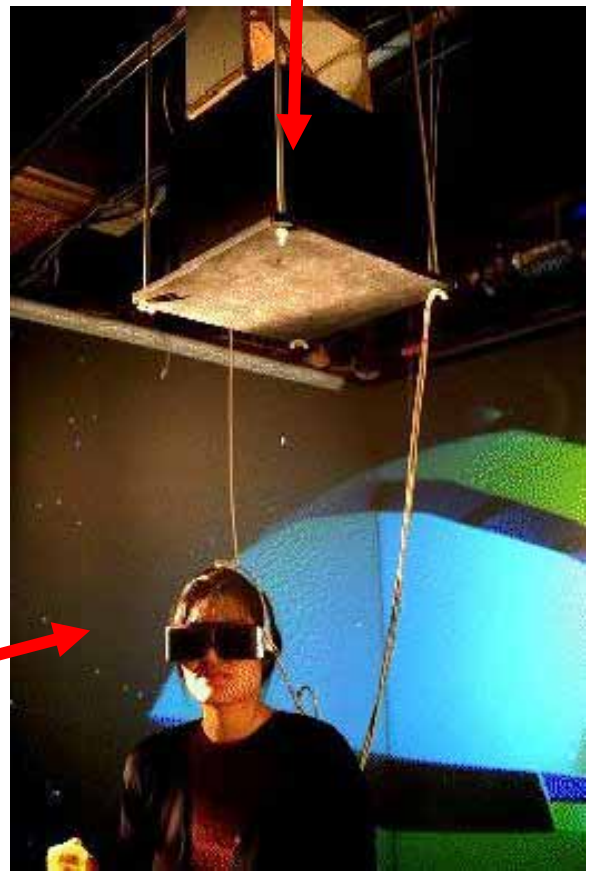
- “ヘッドトラッキング”：

  3次元センサーを用い観察者の位置や向きをフィードバックします。つまり、観察者が首を振れば首の動きに合わせて映像が追随する機能を提供します。

- “３Dジョイスティック”：

  Wand （ワンド）により3次元空間の物体移動操作する機能を提供します。

磁気発生器



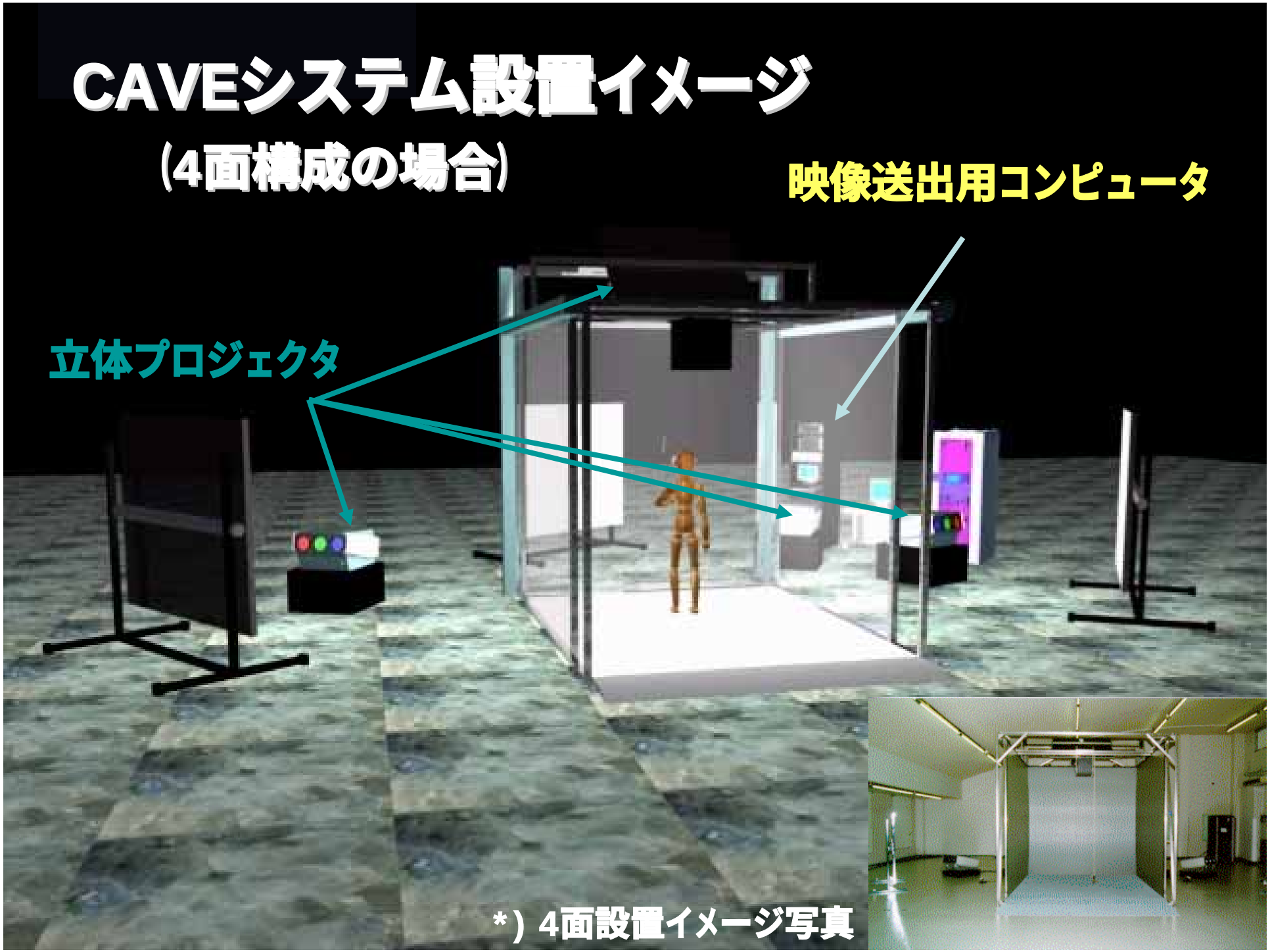
磁気センサー付き
液晶シャッター（立体視用）眼鏡

3Dジョイスティック

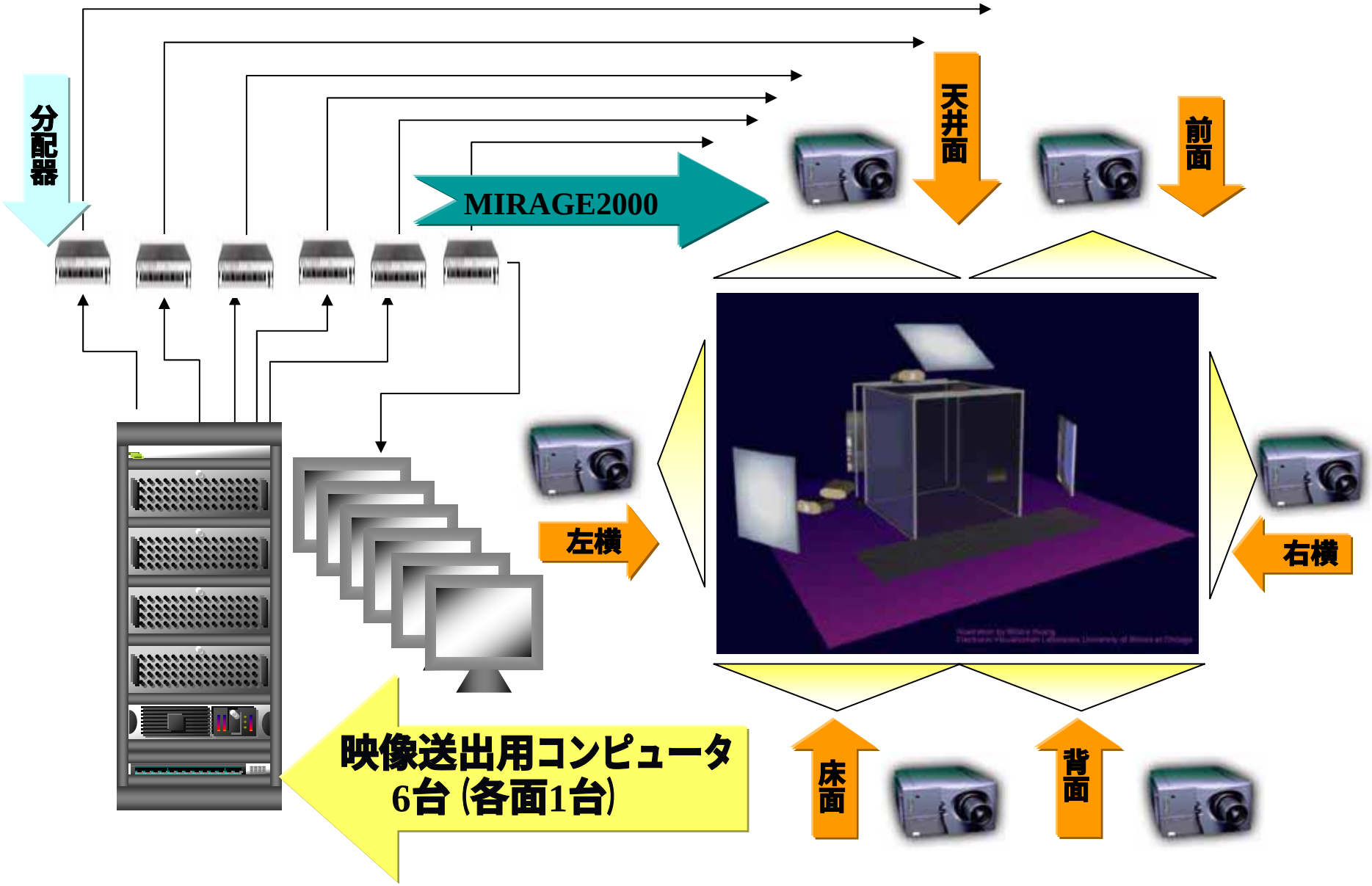
ヘッドトラッキング

CAVEシステム設置イメージ

（4面構成の場合）



没入型立体表示装置：CAVEシステム (7)



没入型立体表示装置：CAVEシステム (8)
導入事例

岐阜県科学技術振興センター(6面)

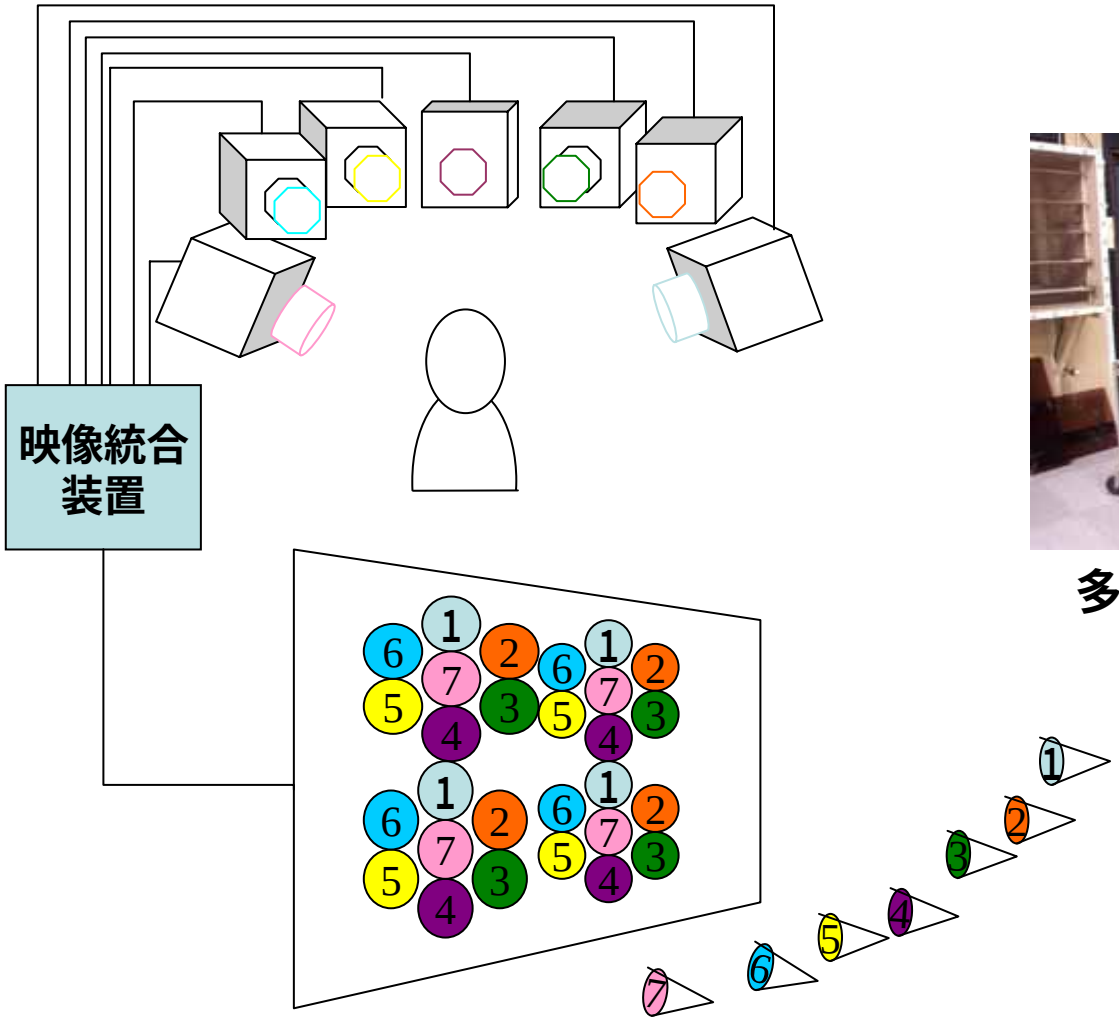
東京大学(5面)

その他：

- 東京工業大　(4面型)
- 女子美術大　(4面型)
- 埼玉大　(4面型)
- 大阪大　(4面型)

多視点対応型立体表示装置 (1)

3次元画像/多眼式/パララックス式



多視点対応型立体表示装置

- ディスプレイに遮光版（イメージスプリッタ）を装着
- 多視点映像を斜めバリアに適合するように重畳

多視点対応型立体表示装置 (2)

7つのビデオカメラからなる
カメラアレイにより実映像を
撮影する。

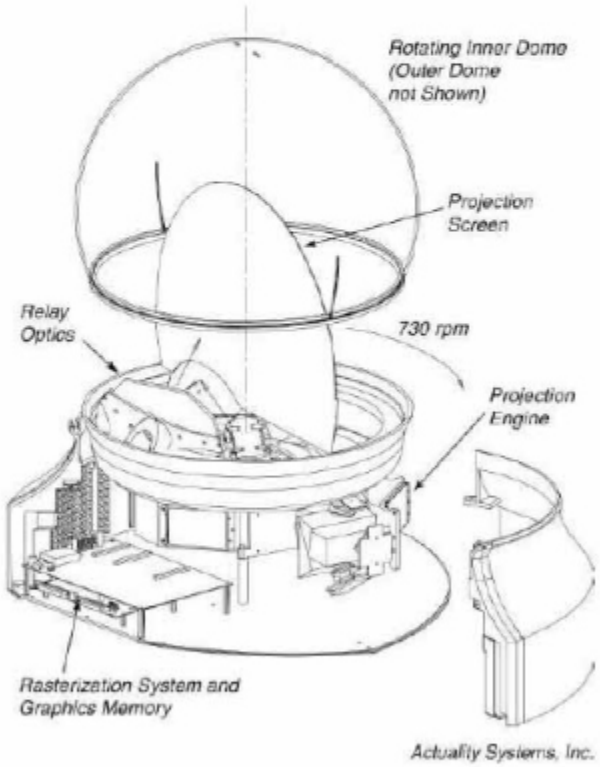
7視点分のCG映像を
生成する。

画像重畳装置

CG映像と実映像を統合表示

全方位型表示装置 (1)

3次元画像/奥行き標本化式



全方位型表示装置（Actuality社製Perspecta）

出所：http://www.nissho-ele.co.jp/product/perspecta/

全方位型表示装置 (2)

Image

Size	approx. 10” diameter
Color:	
undithered	8 colors at highest resolution
dithered	hundreds of colors
Resolution:	
slices per volume	198 slices
per circular slice	768 x 768 pixels
Frame date	24 Hz volume refresh
Viewing angle	360 ° horizontal, 270 ° vertical

Computation

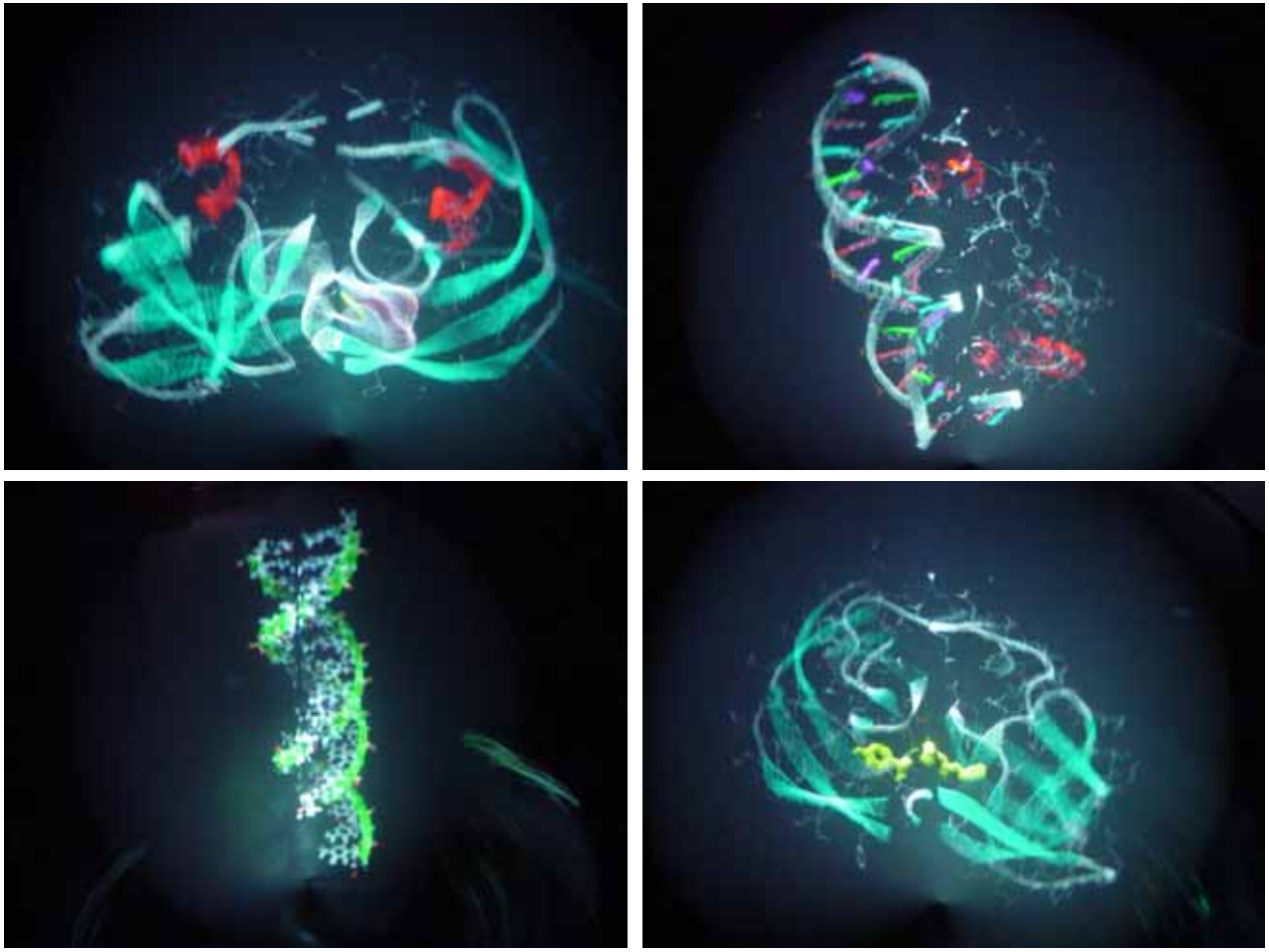
Microprocessor	TI™ TMS320C6201™
CPU clock speed	200MHz
Performance	1600MIPS
Data bus width	32 bits

Memory

CPU RAM	16MB, 100MHz SDRAM
CPU ROM	4MB, Flash ROM
Graphics Memory	3GBit, 66MHz DDR SDRAM

Perspecta

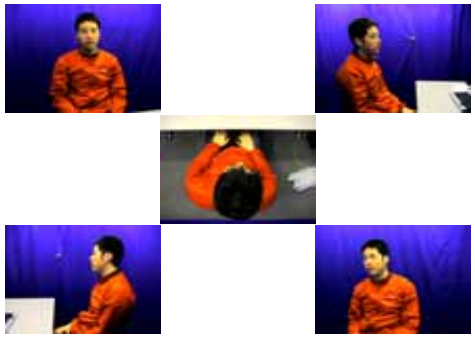
全方位型表示装置 (3)

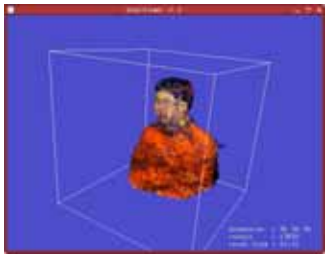


表示例

全方位型表示装置 (4)

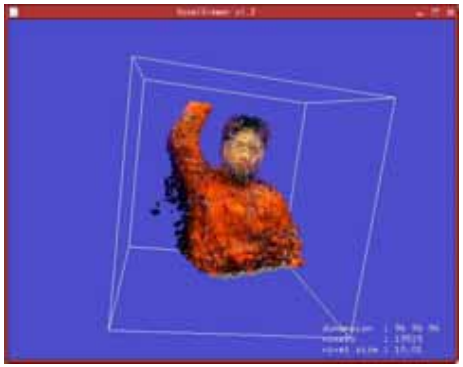
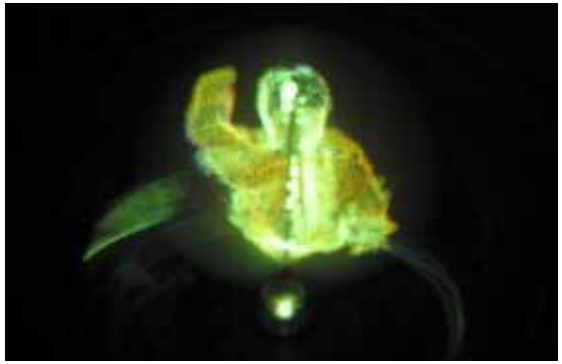
3次元形状復元結果の表示

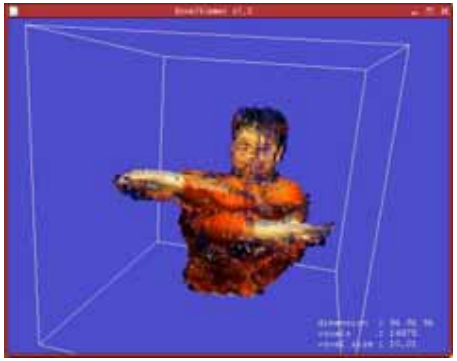
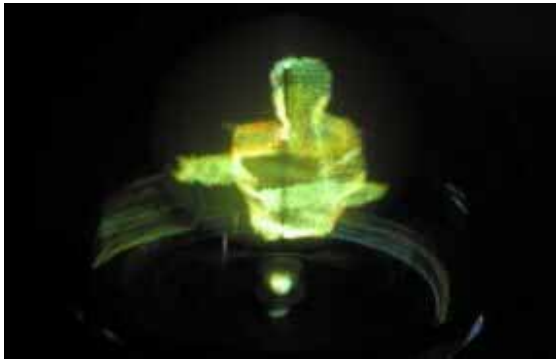




撮影 → 撮影画像 → 復元 → 表示

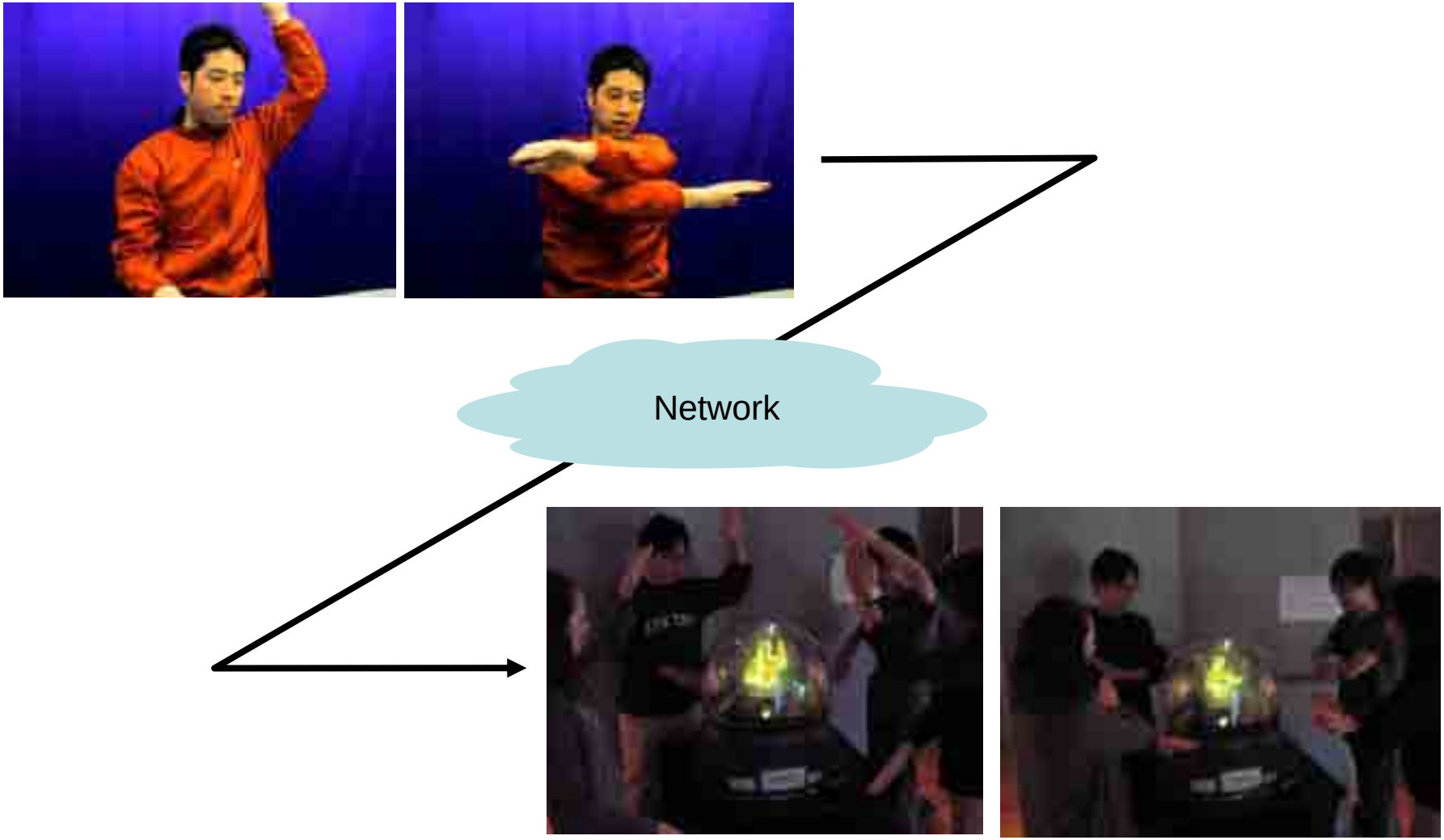
全方位型表示装置 (5)

撮影画像　　復元結果　　表示結果

全方位型表示装置 (6)



デモビデオ

小テスト（氏名：　　）

- どのような分野で立体表示技術の適用が有効であると考えられるか？理由も含めて述べよ。