

静と動の解析

—文化遺産のデジタルコンテンツ化—

東京大学大学院 情報学環

(生産技術研究所)

池内克史

大型有形文化財のデジタル化



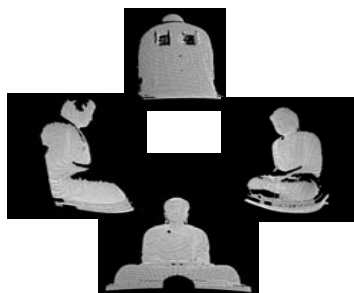
大型有形文化財



センシング技術



デジタル文化財



多量の部分データ群



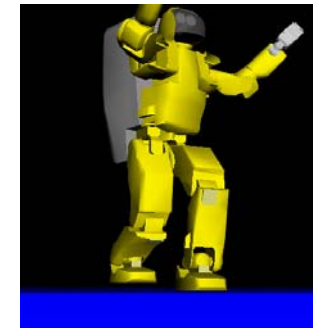
ソフトウェア技術

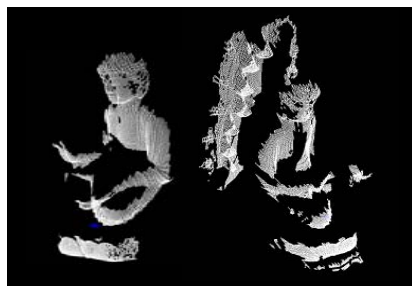
文化遺産のデジタル化

◆ 大型有形文化財



◆ 無形文化財





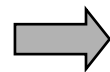
部分観測画像列



幾何情報処理



カラー画像列



光学情報処理



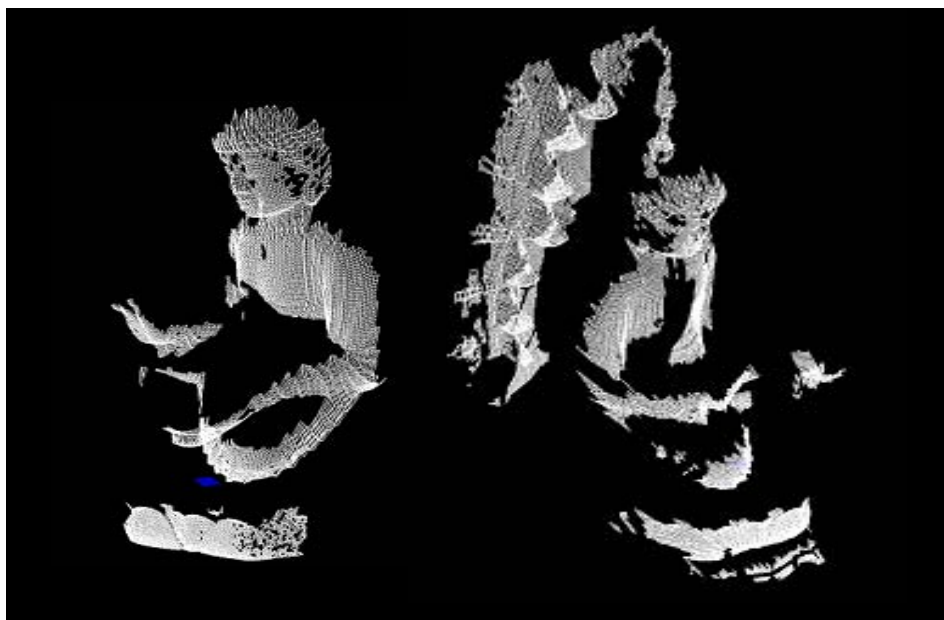
環境情報



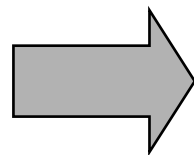
環境情報処理



幾何情報取得

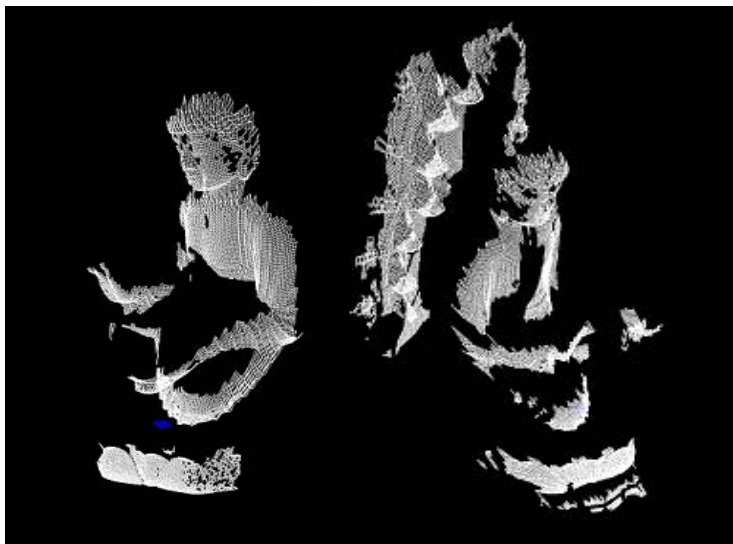


部分観測画像列

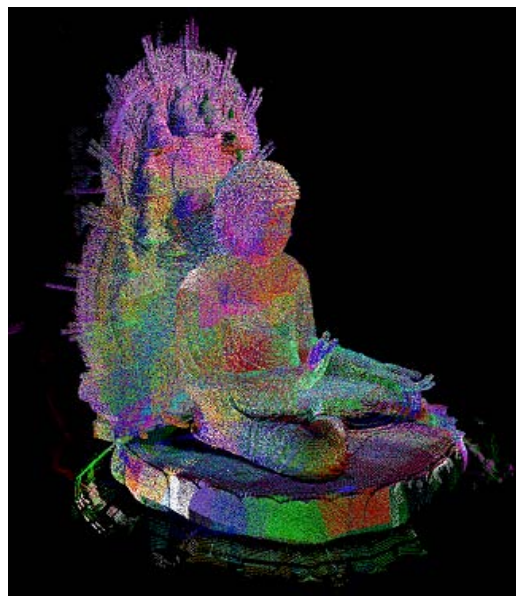


幾何形状モデル

データ取得



位置合わせ

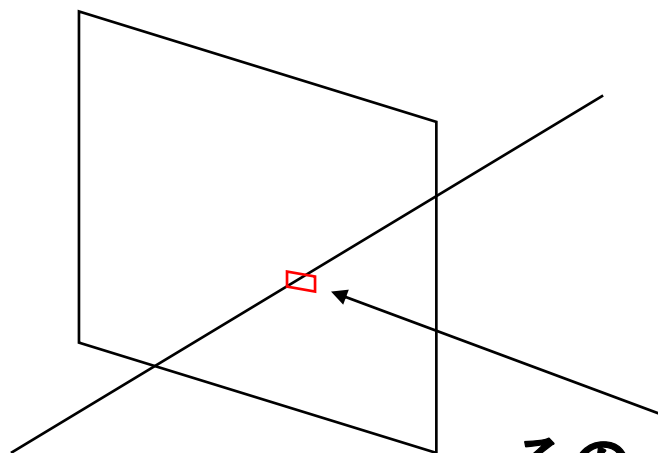


統合



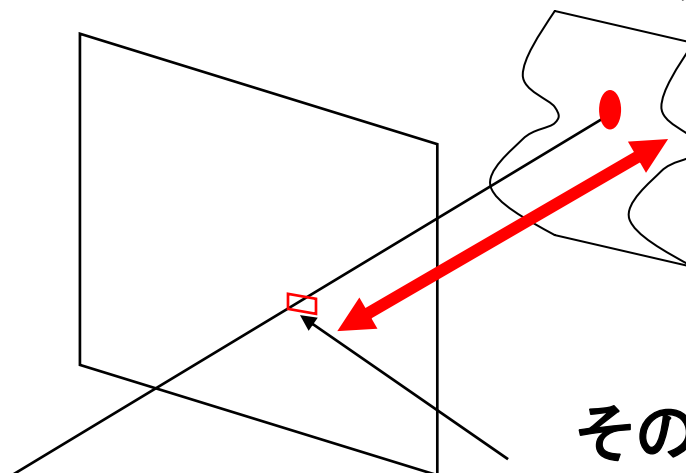
濃淡画像(写真)と距離画像

写真:



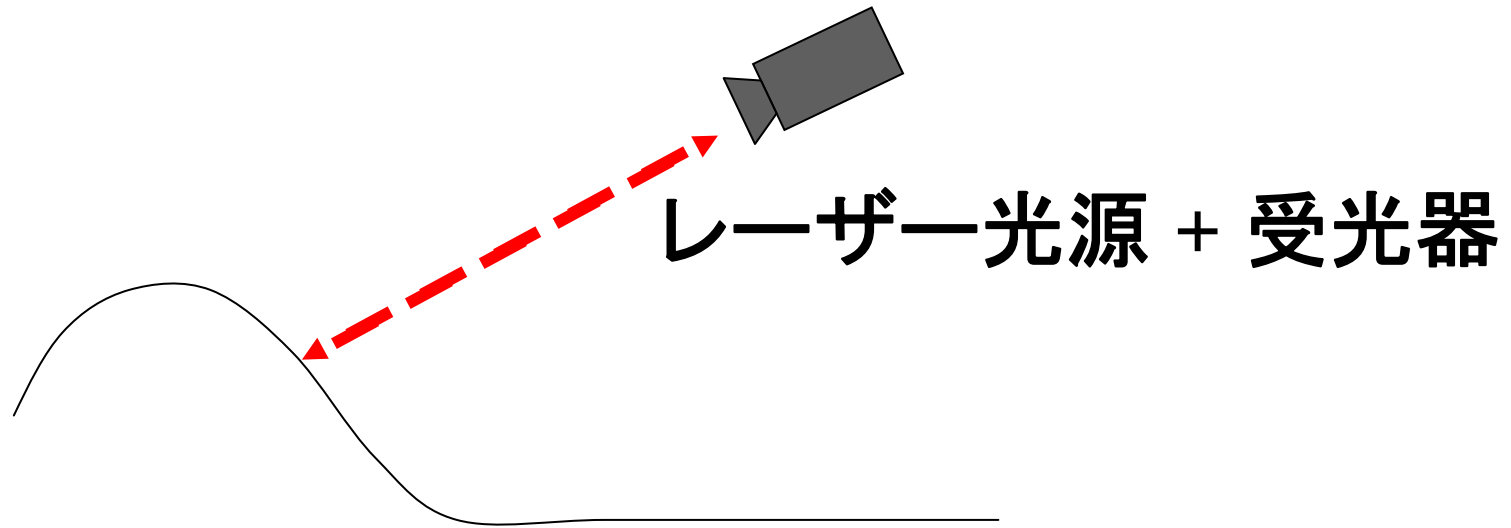
その点の明るさ情報
(赤、青、黄)

距離画像:



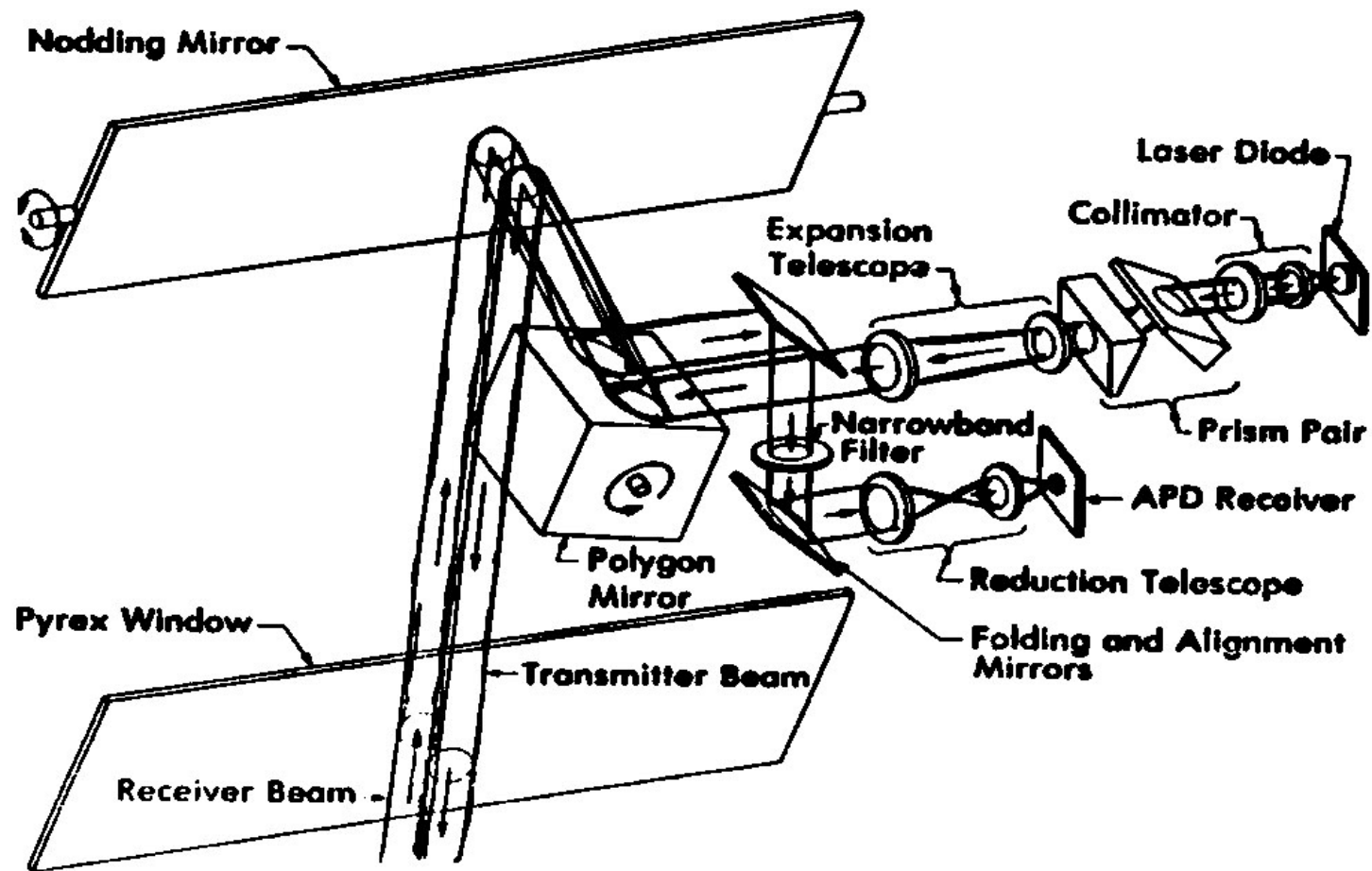
その点までの距離

距離センサー(往復時間型)



往復時間 → 距離

スキャンニング機構



CYRAX センサー



- ◆ 往復時間方式
- ◆ 範囲: 3m ~ 100m
- ◆ 精度: 5mm

CYRAセンサーによる距離画像

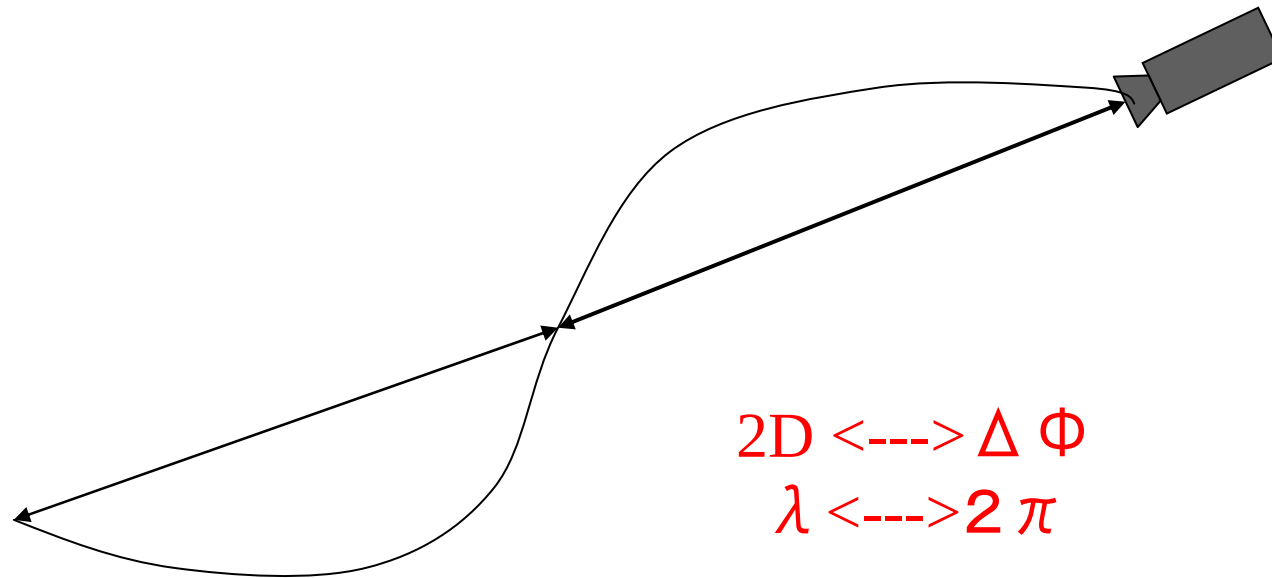


ビデオ映像

変調方式距離センサー

AM変調

$$D = (\lambda / 4 \pi) \Delta \Phi$$



ZFセンサー

- ◆ AM変調方式
- ◆ 範囲：0.6m ~ 50m
- ◆ 精度：5mm
- ◆ 全周型



ZFセンサーによる距離画像

(1回のスキャン)



ビデオ映像

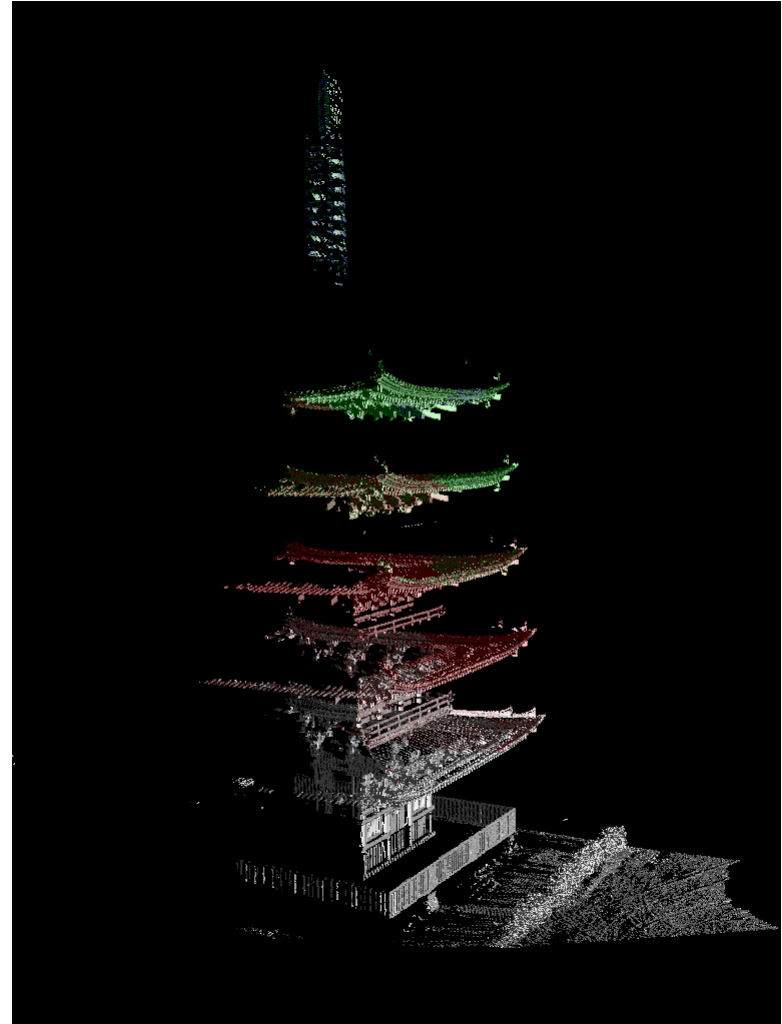
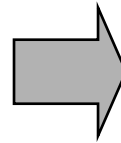
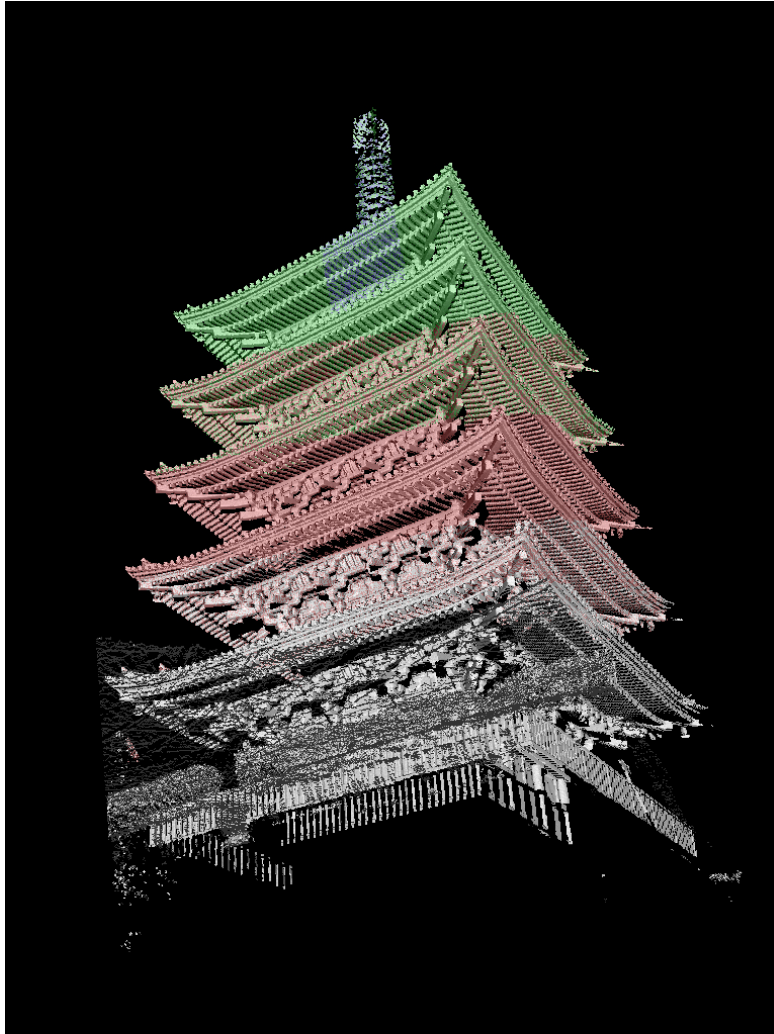
可能なセンサー

◆ CYRAX	100mまで	精度	2-3 mm
◆ K2T	25mまで	精度	2-3 mm
◆ Pulstec1	10m-3m	精度	1mm
◆ Pulstec2	3m-1m	精度	1mm
◆ Pulstec3	1m-0.3m	精度	1mm
◆ Vivid900	0.5m-0.2m	精度	0.1mm

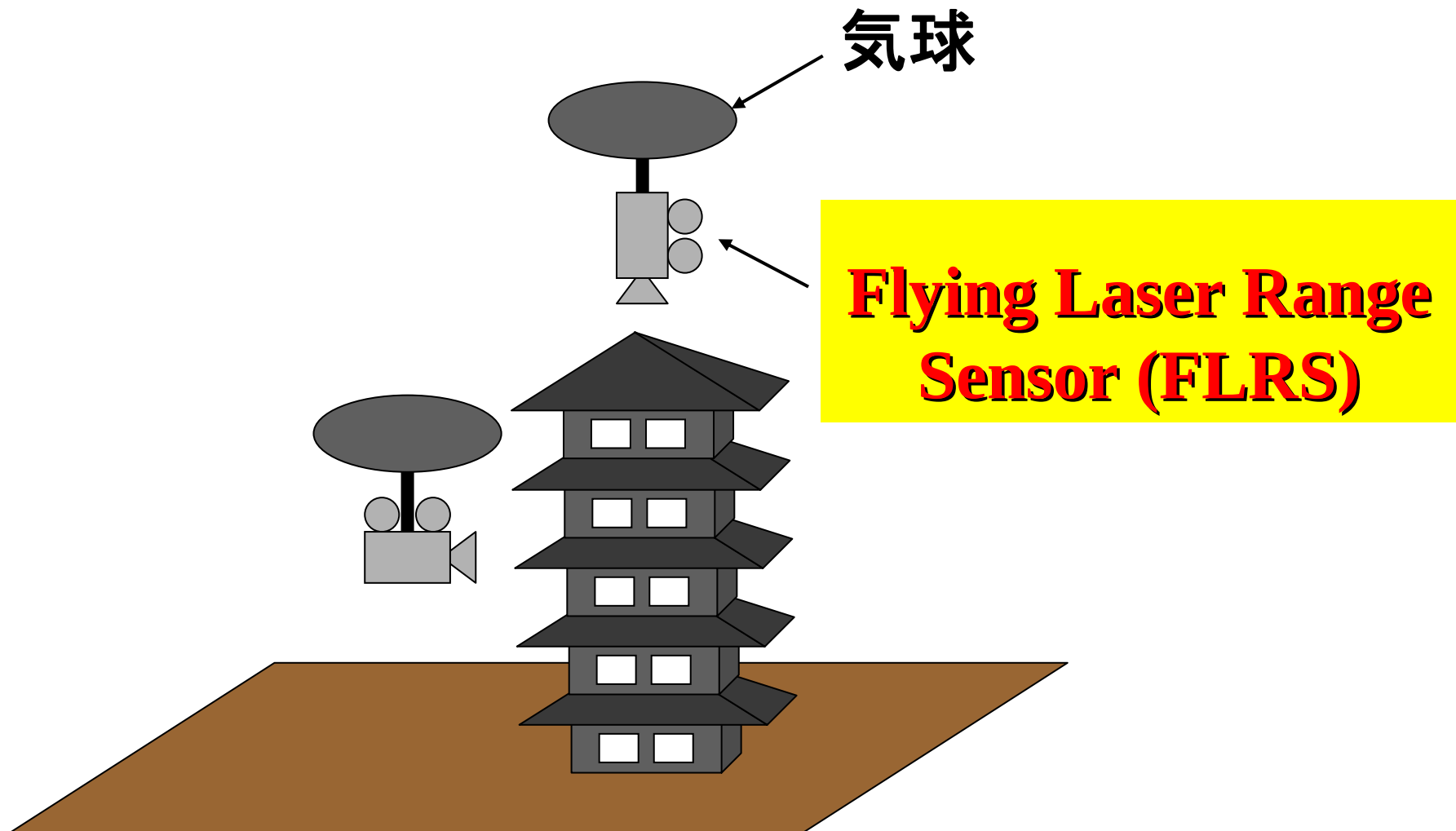


これらは全て地上据え置き型

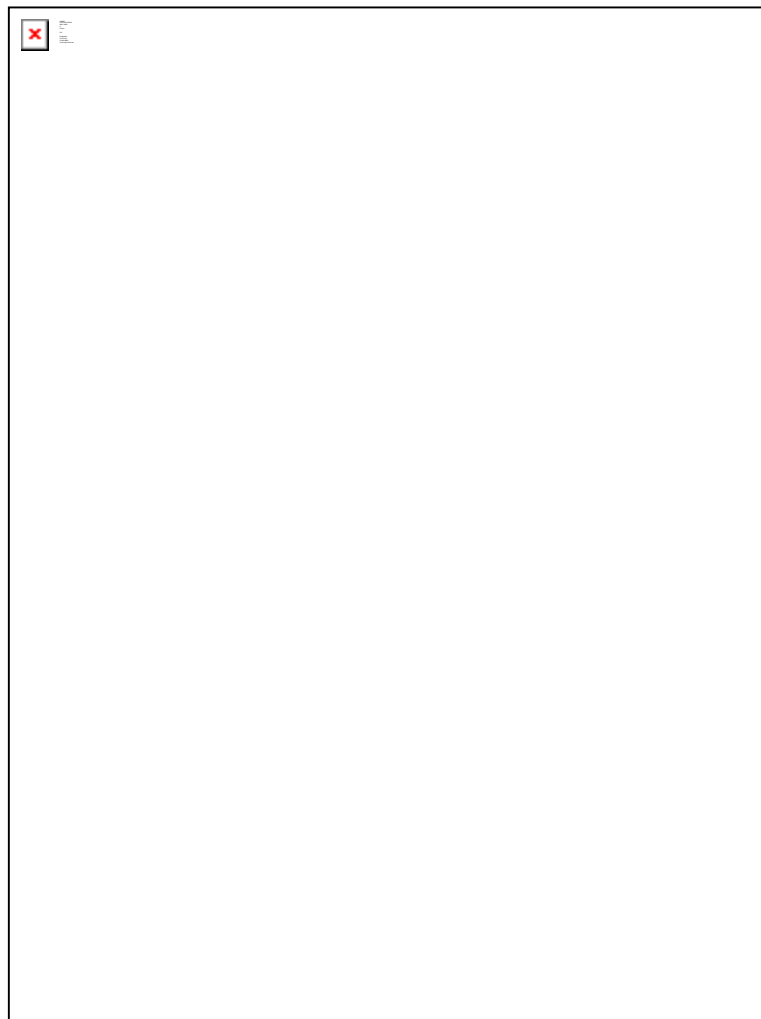
地上据え置きセンサーの問題点



気球搭載型局所距離センサ



気球センサー



気球搭載型局所距離センサー実験



ビデオ映像

気球センサー

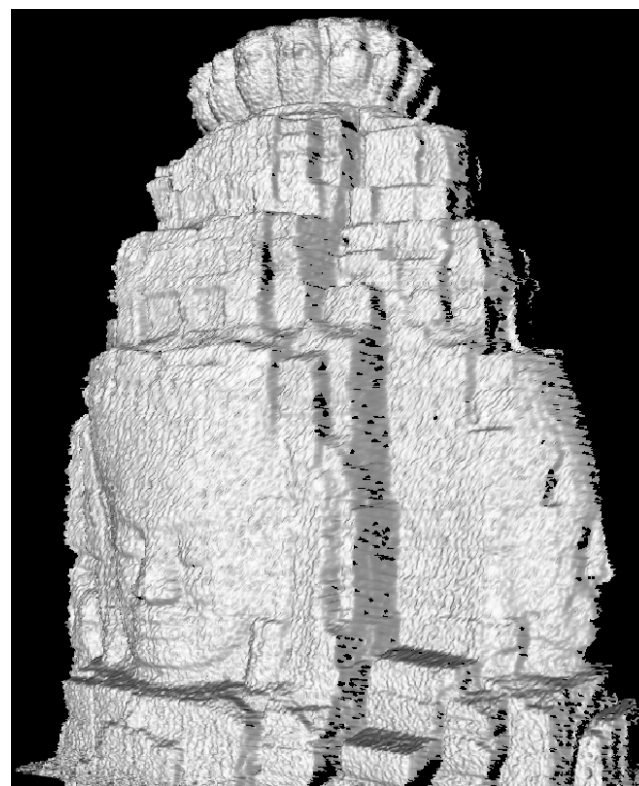
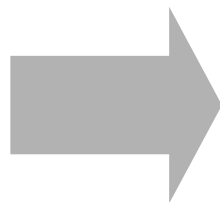
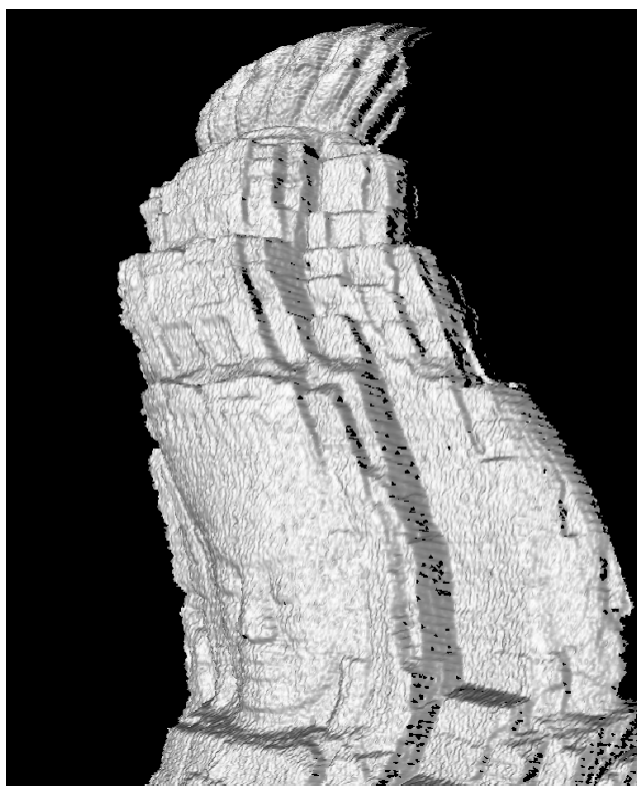
- ◆ モデル単純化のため
撮像時間の短縮: 1秒
- ◆ それでも撮像中に動く
- ◆ 距離画像がゆがむ



アプローチ

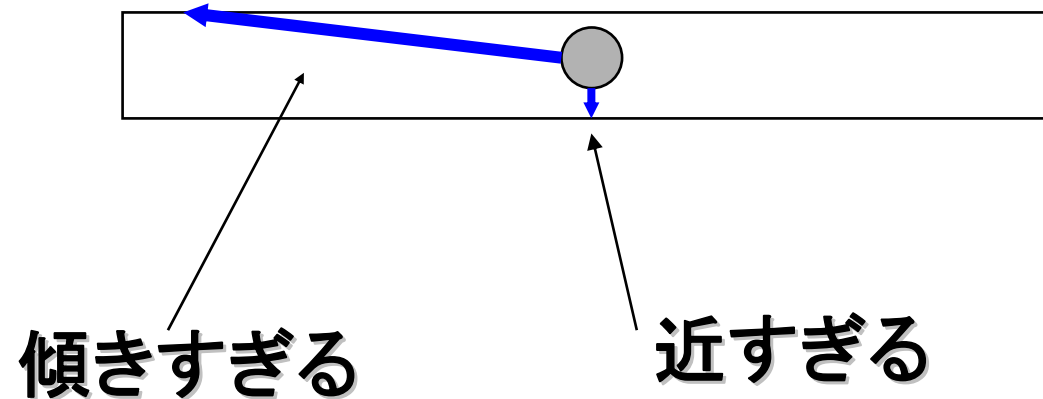
- ◆ 機構上の工夫： 縦横比：1 対 5
- ◆ 動き推定法の開発
 - ハード： ジャイロ
 - 画像： 画像トラック
 - ソフト： 距離画像同士の比較より推定

画像データとの融合によるデータ補正



狭隘部

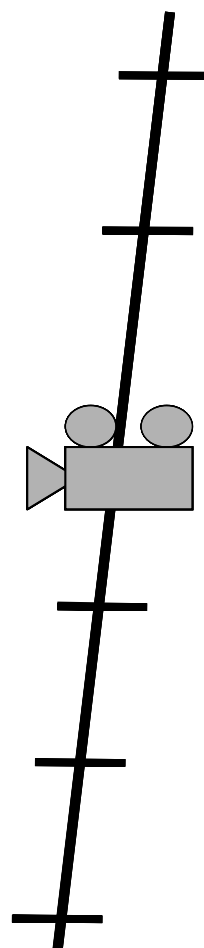
- ◆ 通常のセンサーが入らない
- ◆ 角度の関係でデータがひずむ



木登りセンサー

◆ はしご

◆ 自走機構

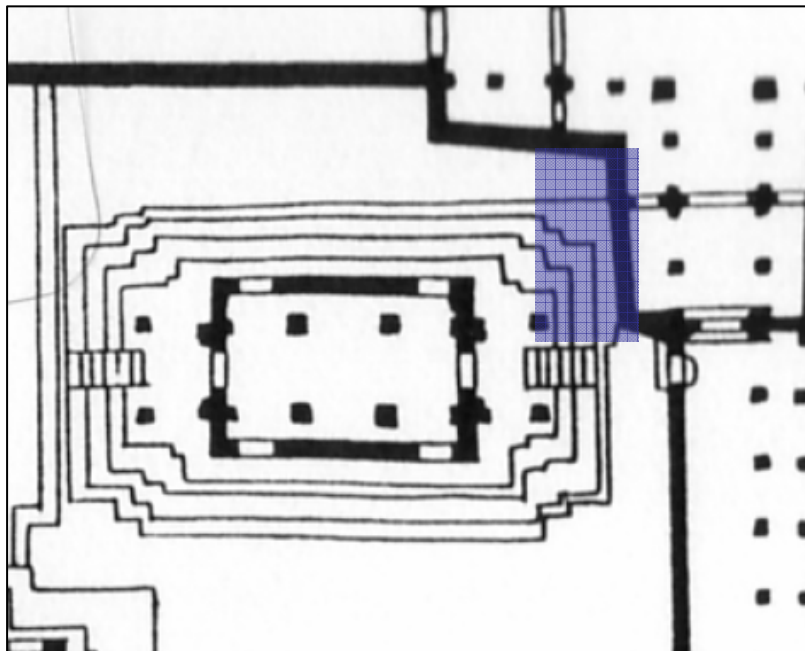




ビデオ映像

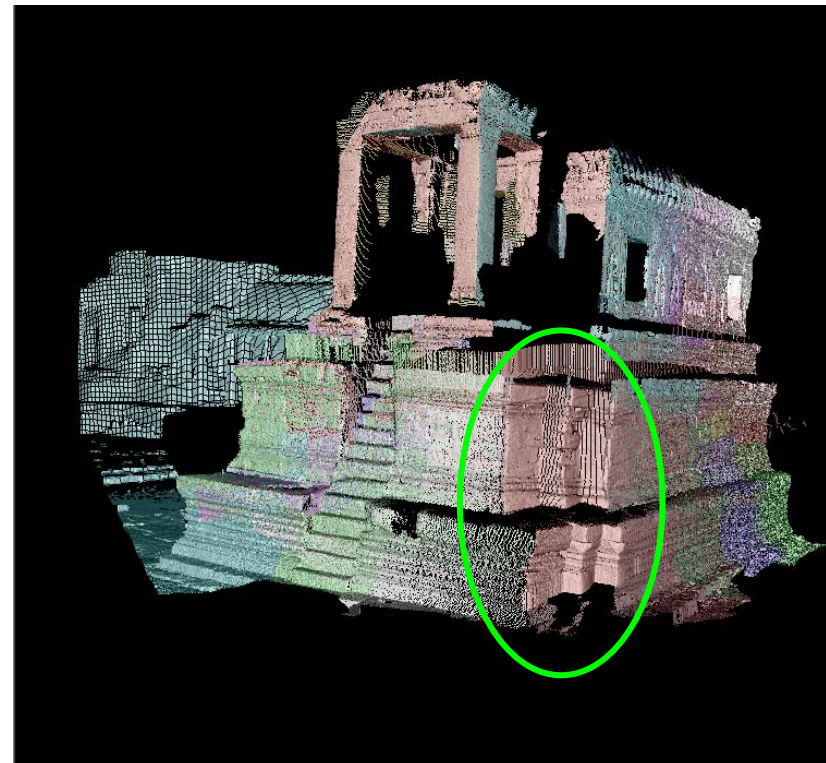
計測例

◆ 北経蔵北東部

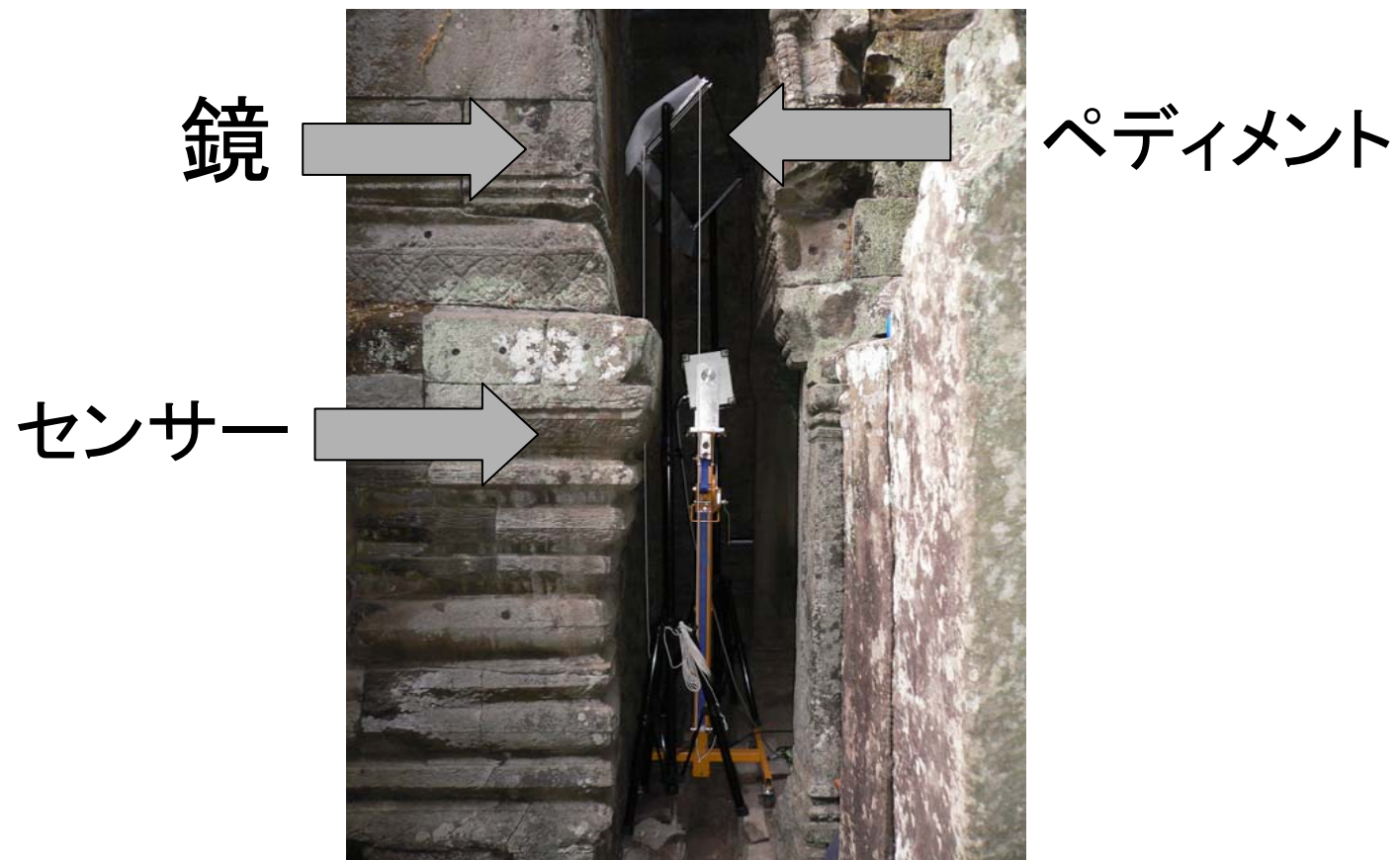


実用例

バイヨン北経蔵北東部



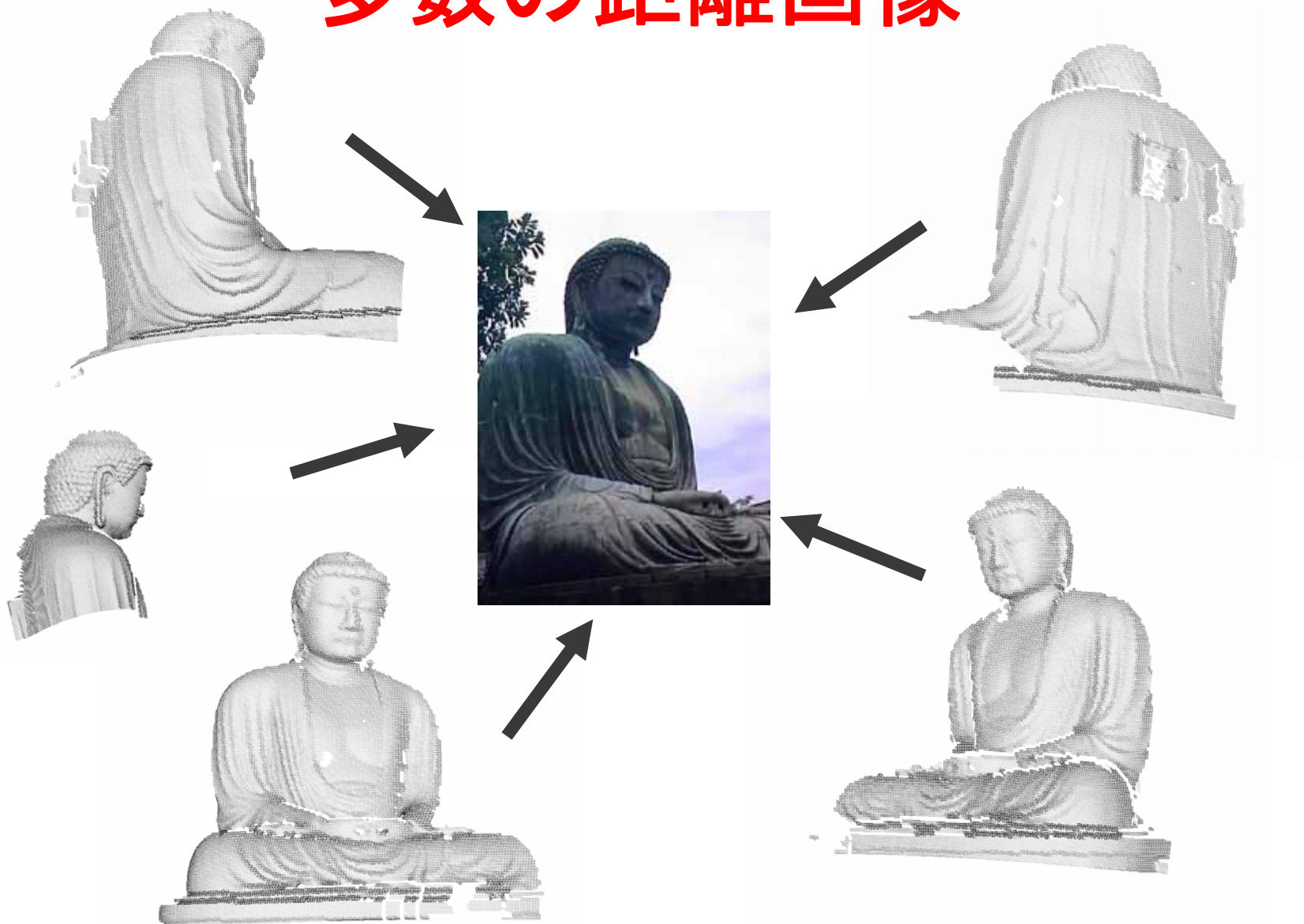
鏡使用の測定風景



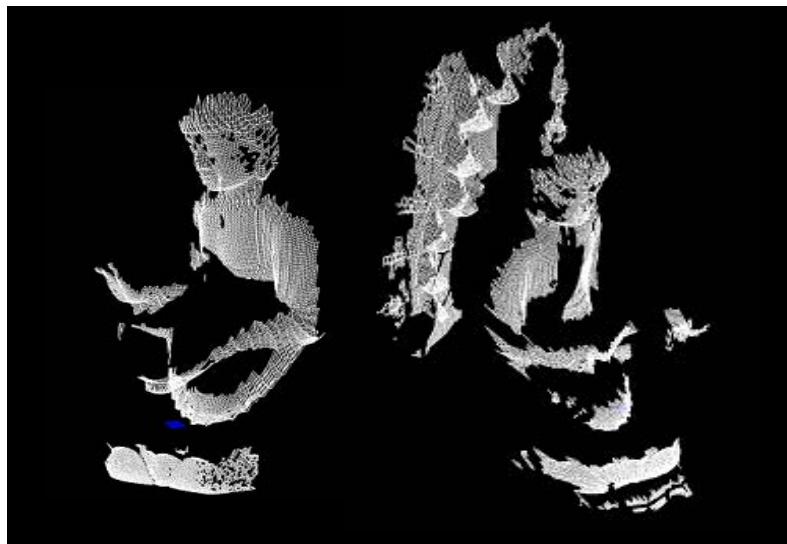
隠されたペディメント(世界初)



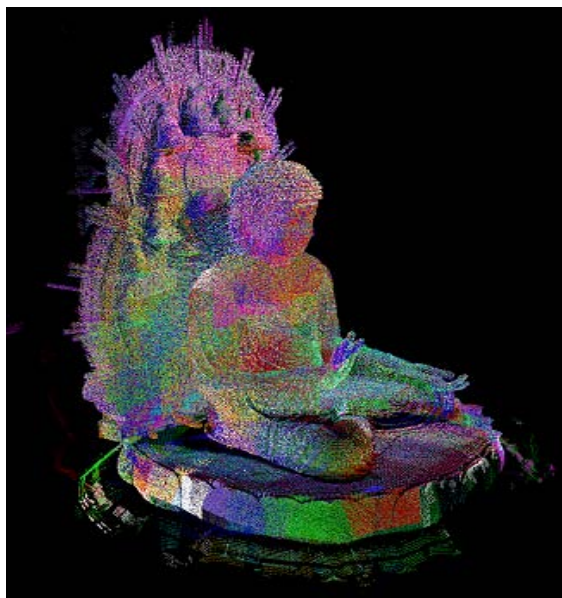
多数の距離画像



データ取得



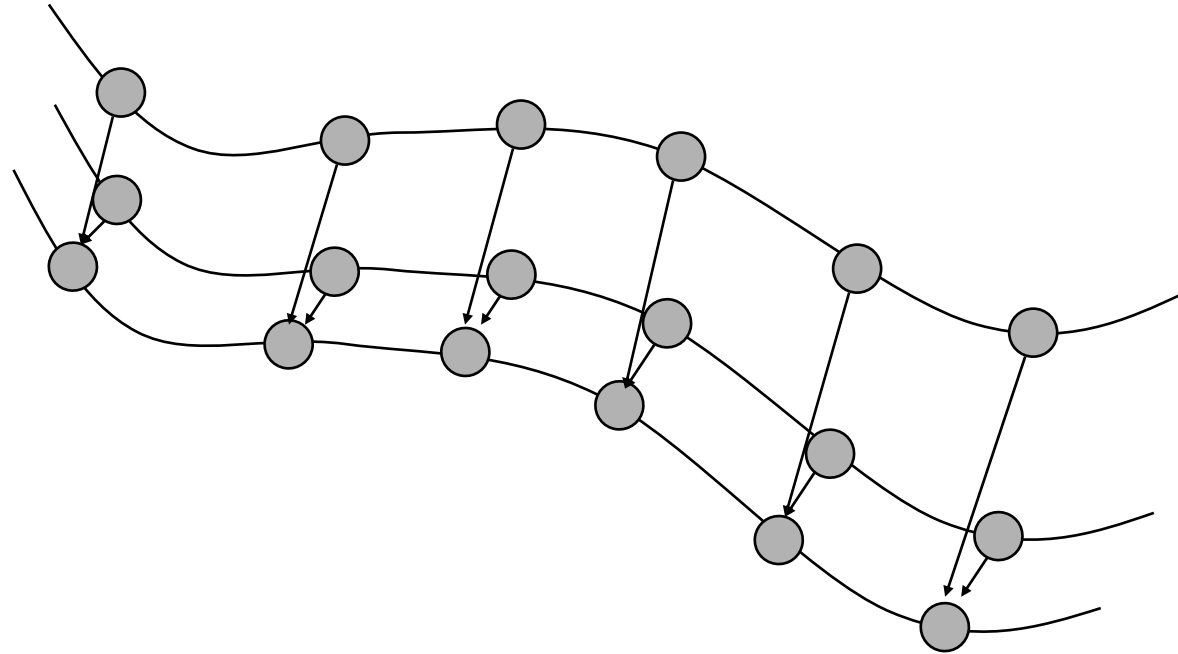
位置合わせ



統合



位置合わせ

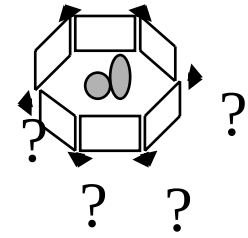


重ね合わせ



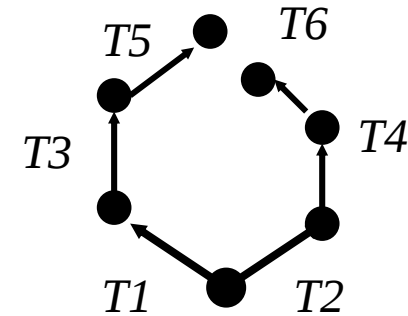
相対関係

大規模位置合わせ

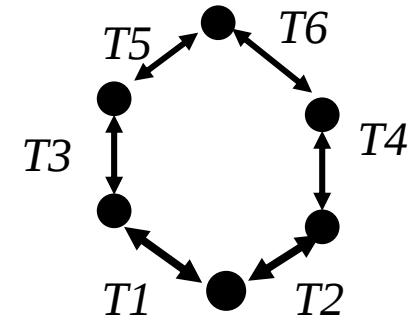


◆ 逐次位置合わせ

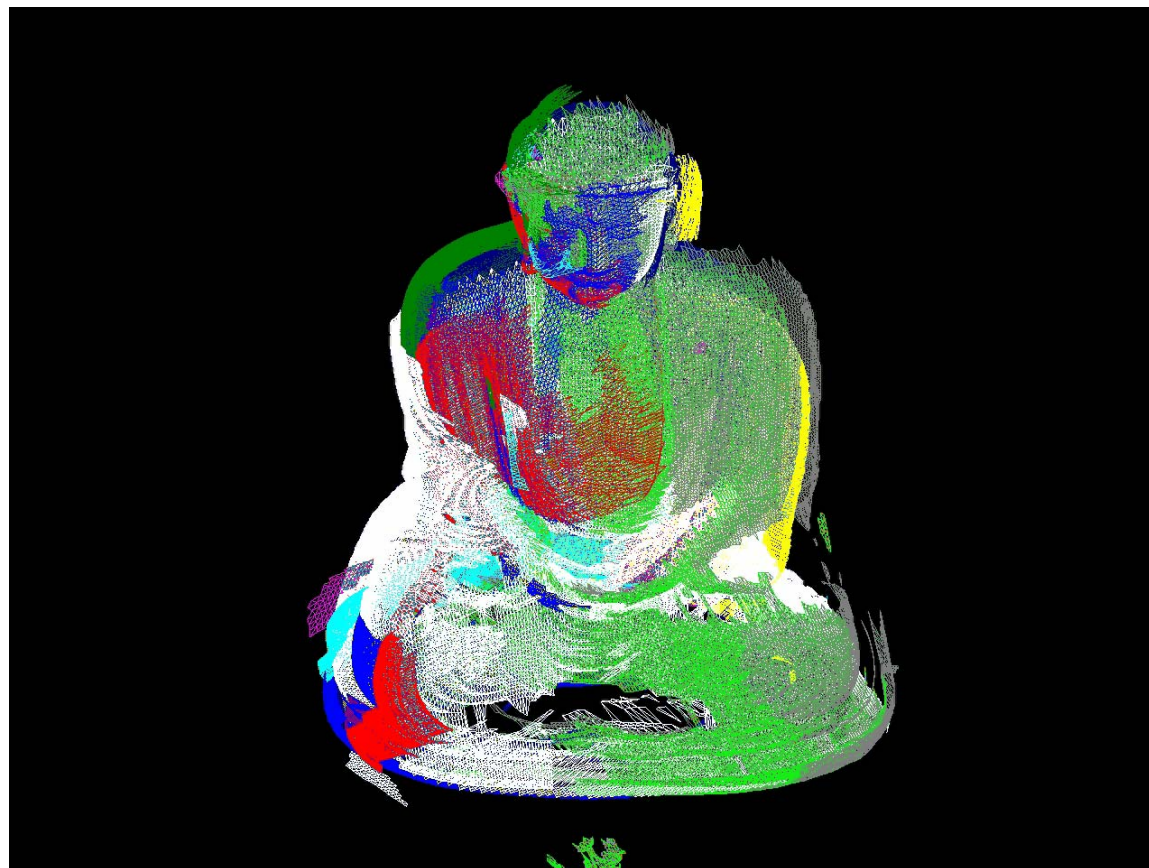
-> 誤差の集積



◆ 同時位置合わせ



同時位置合わせ結果

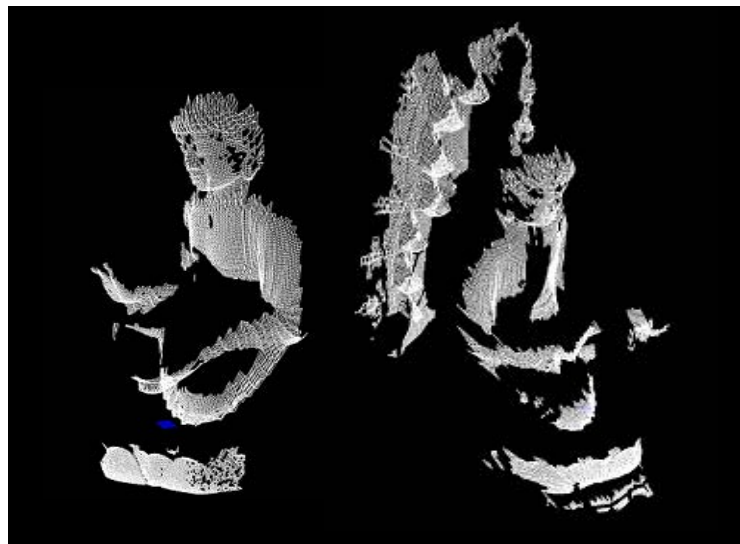


ビデオ映像

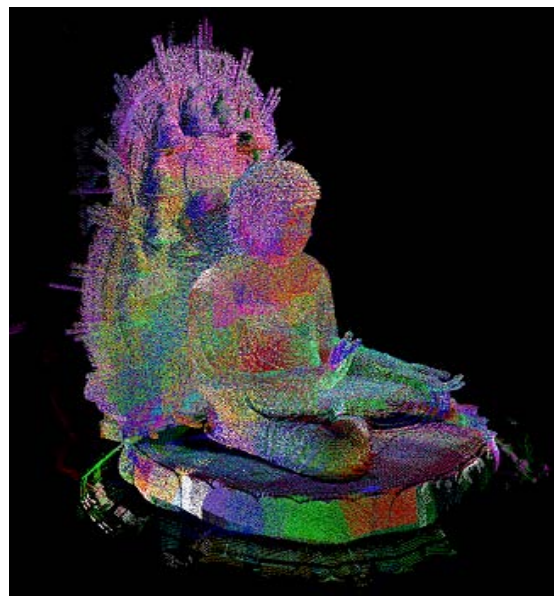
位置あわせアルゴリズム

- ◆ GPUベース高速位置あわせアルゴリズム
 - 現場でのクイックデータ処理
- ◆ PCクラスターベース超大型データ同時位置あわせアルゴリズム
 - 最終的な位置あわせ

データ取得



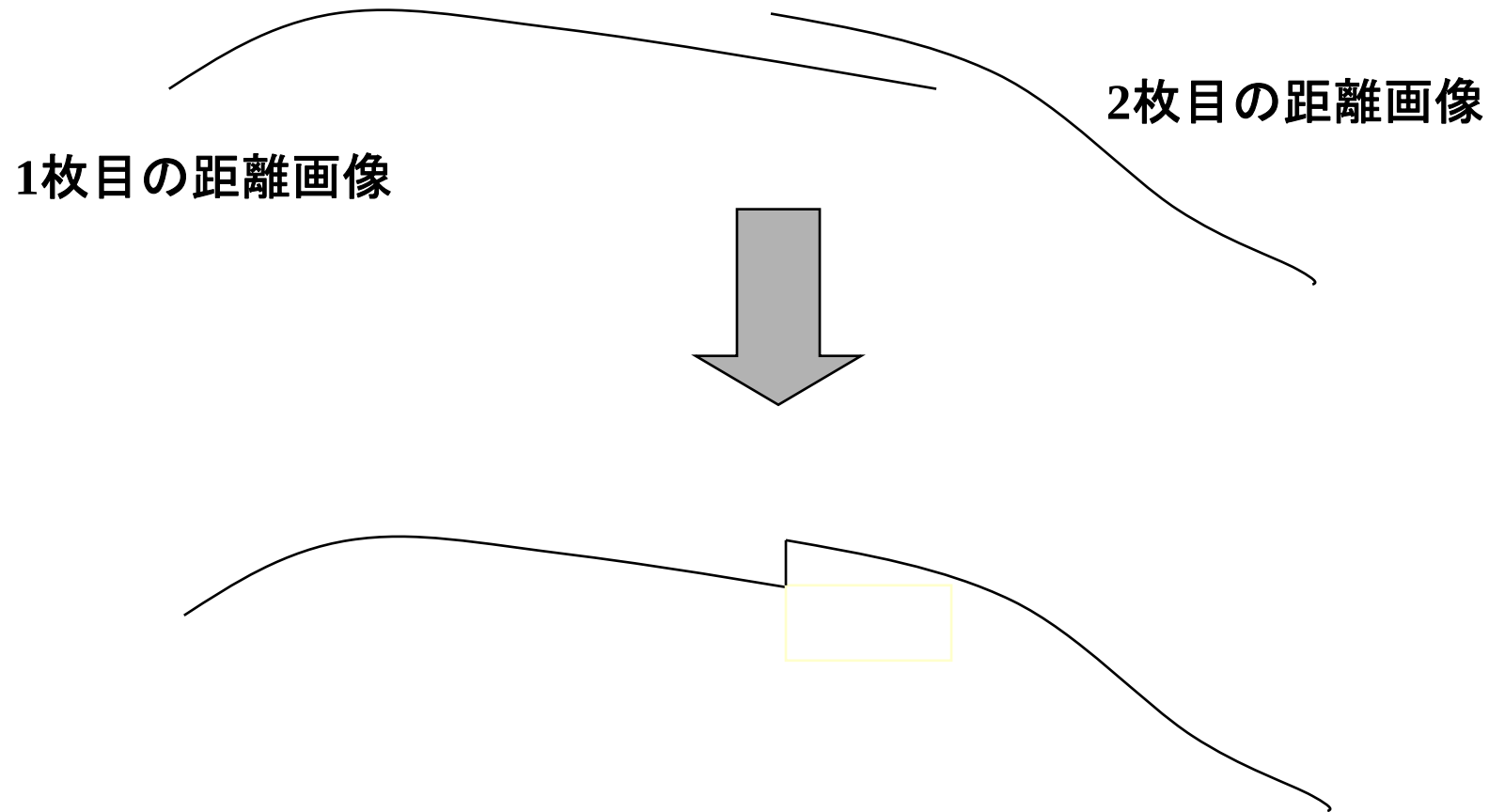
位置合わせ



統合

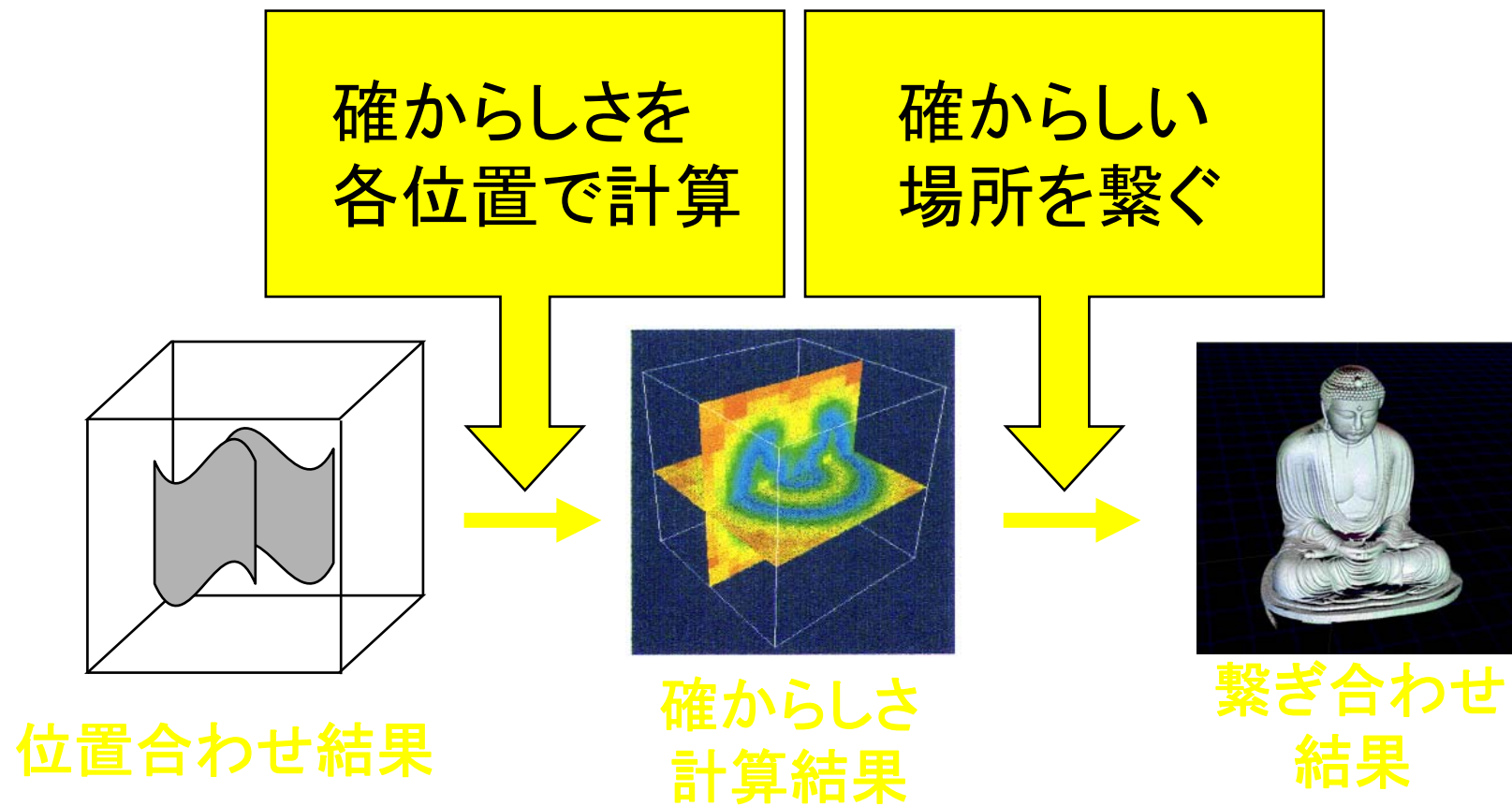


データ統合



統合法

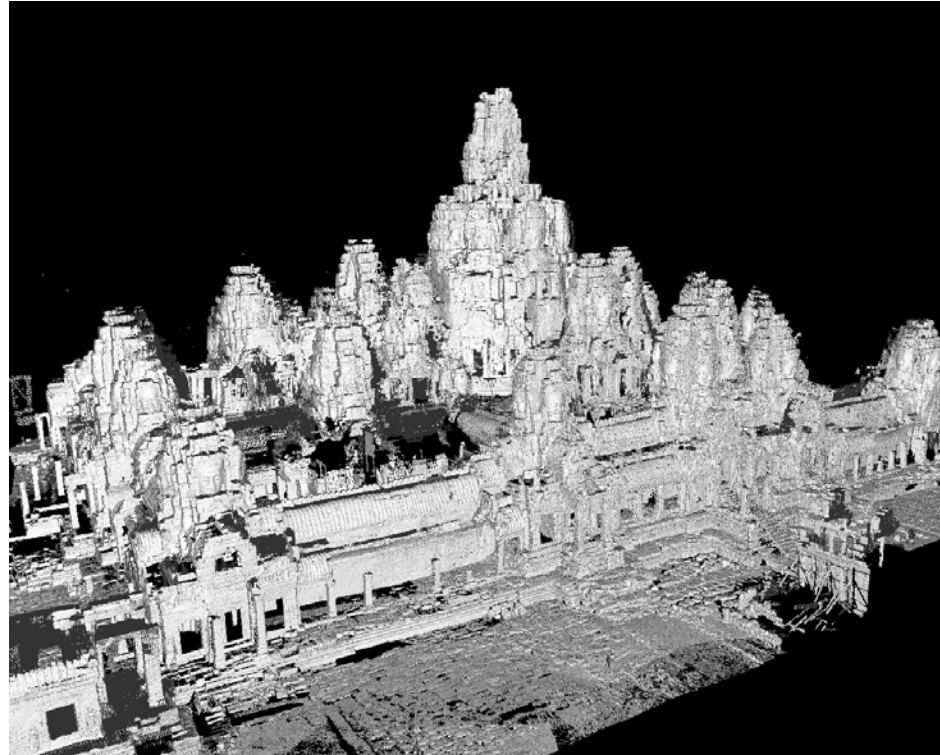
体積法



並列分散統合

- ◆ 高容量化
 - データ表現の階層化(オクトリー化)
 - セル分割とPCクラスターによるデータの分割処理
- ◆ 高速化
 - PCクラスターによる処理の並列
- ◆ ロバスト化
 - 陰関数改良による穴埋め
 - 光学情報もふくめた統合

統合結果(Bayon 2003年冬まで)



- ・2003年春計測 2月16日～3月5日
- ・2003年冬計測 12月14日～12月30日
- ・2004年冬計測 12月5日～12月27日
- ・2005年春計測 2月11日～3月5日

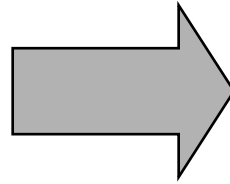
光学情報処理



カラー画像列



幾何形状モデル



見えのはりつけ

幾何モデル



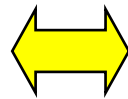
カラー画像



テクスチャマッピング



相対姿勢



カラーセンサ

レーザーセンサ

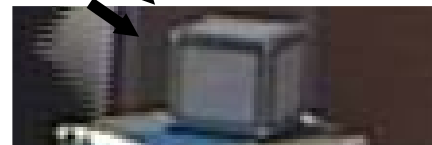
キャリブレーション法

カラー
カメラ

レンジ
センサー



相対関係



キャリブレーション
ボックス

テクスチャの張り合わせ



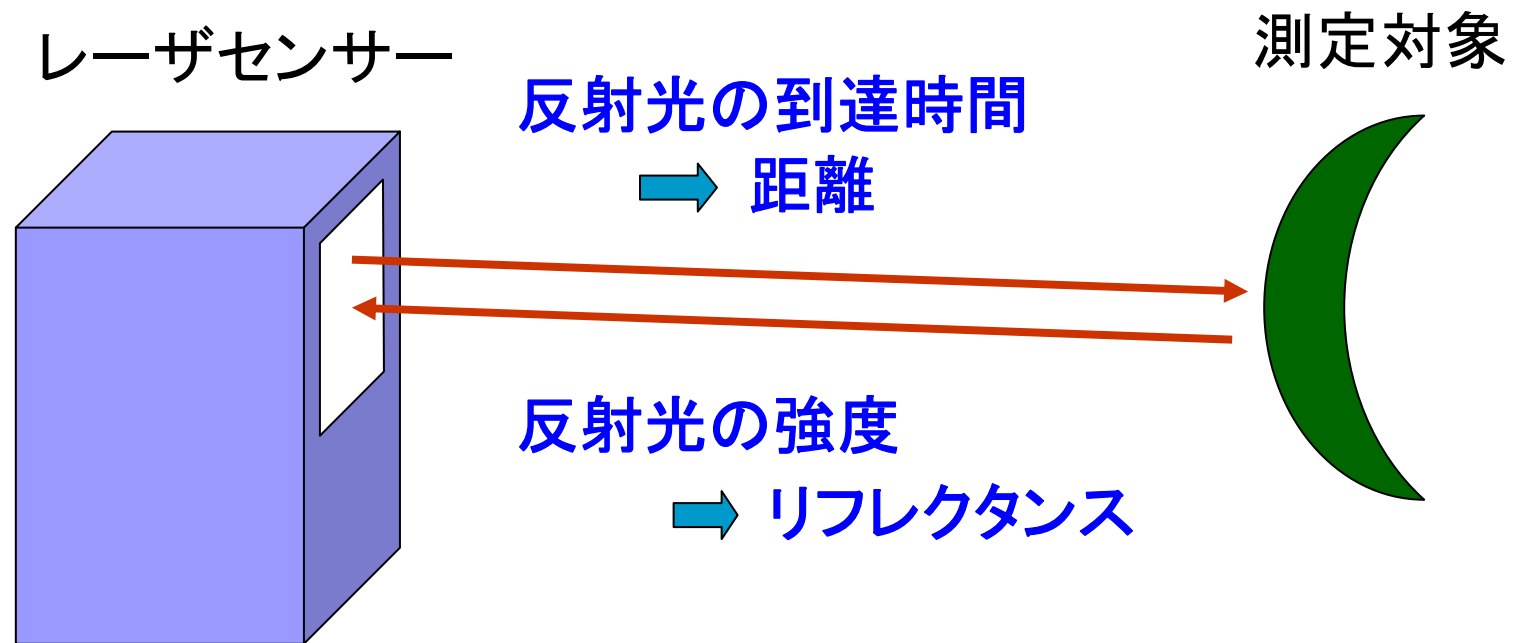
ビデオ映像

光源効果(朝日→夕日)



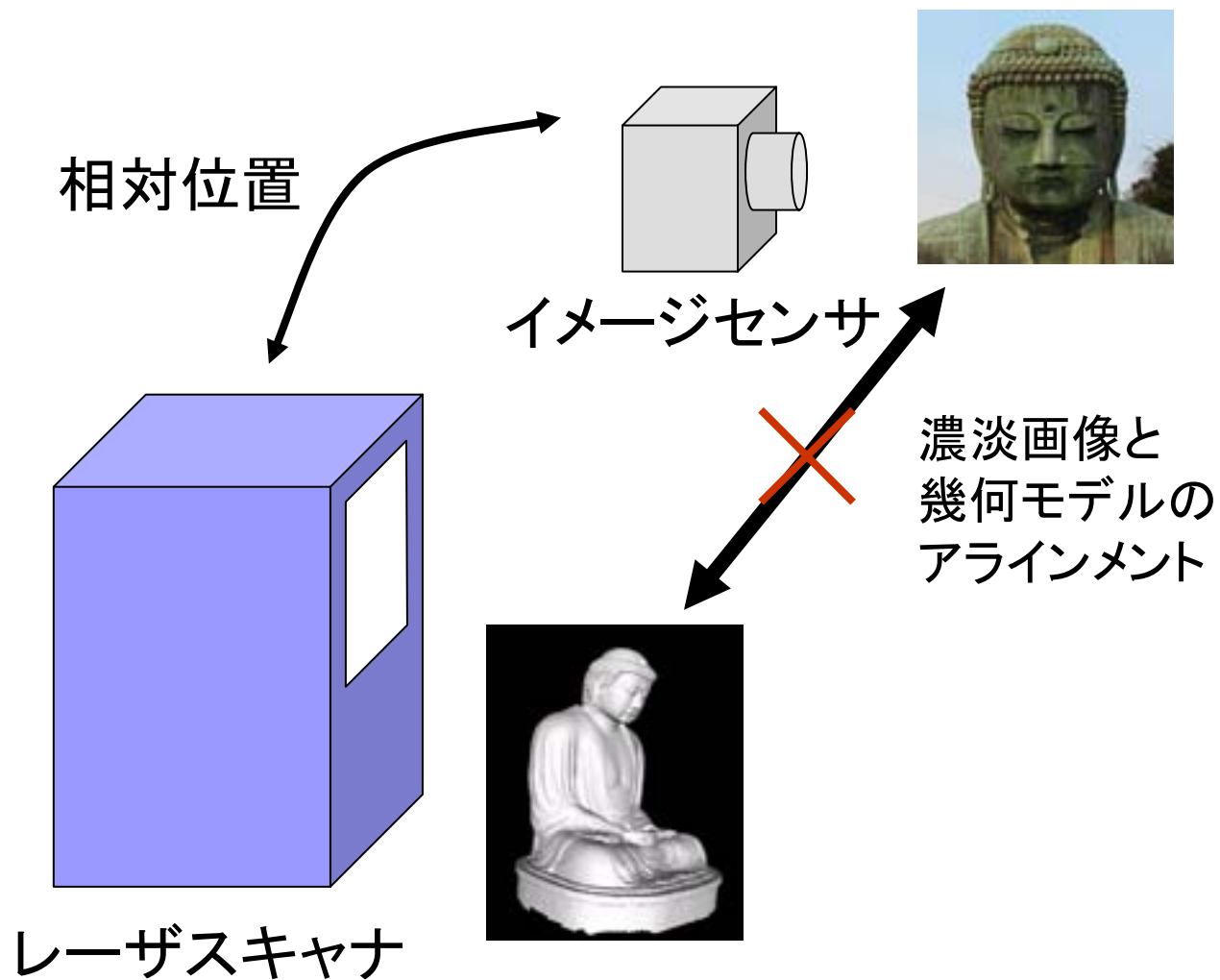
ビデオ映像

エッジベース法

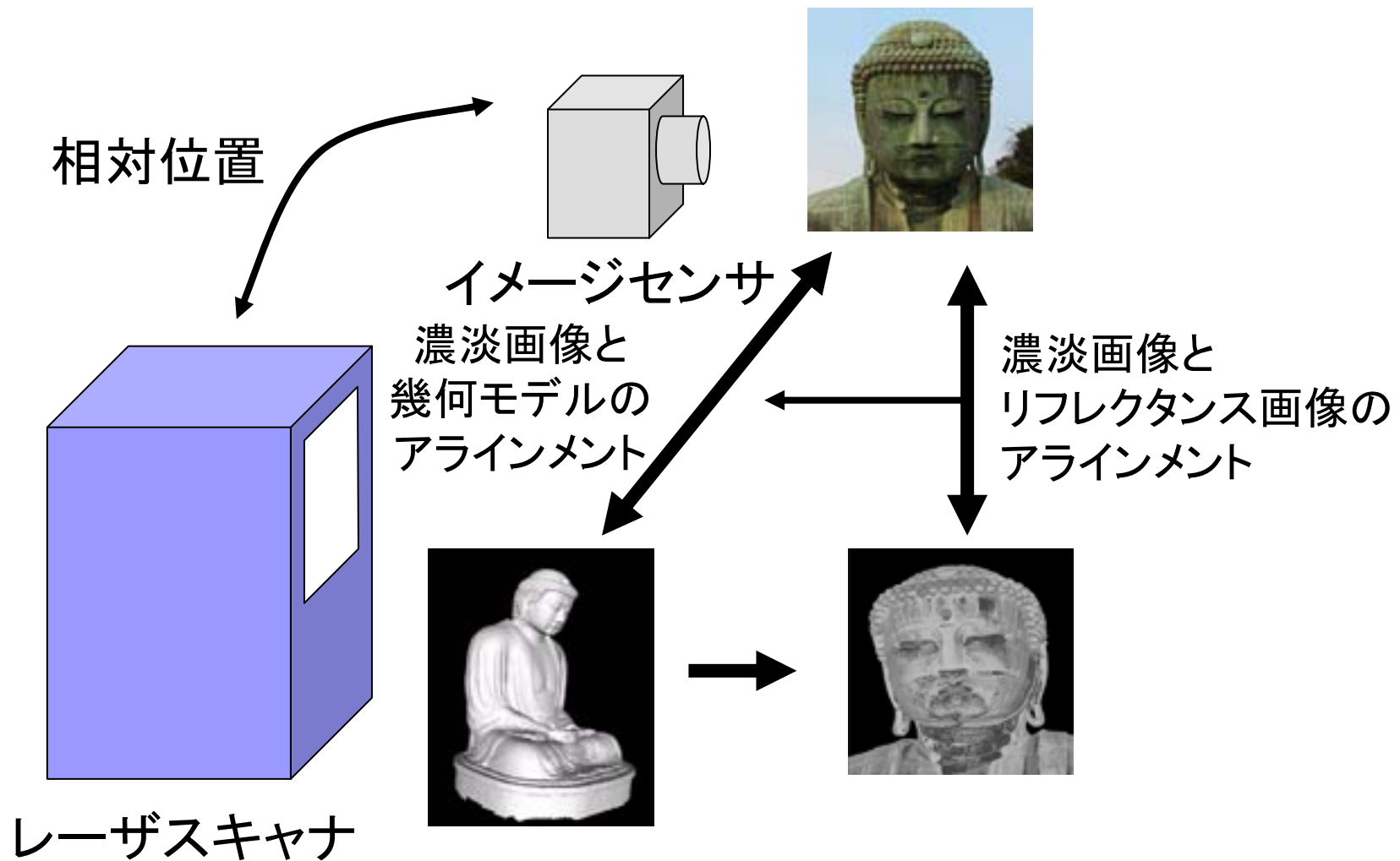


距離とリフレクタンスは同じ位置(ピクセル)に得られる

リフレクタンスを用いた キャリブレーション



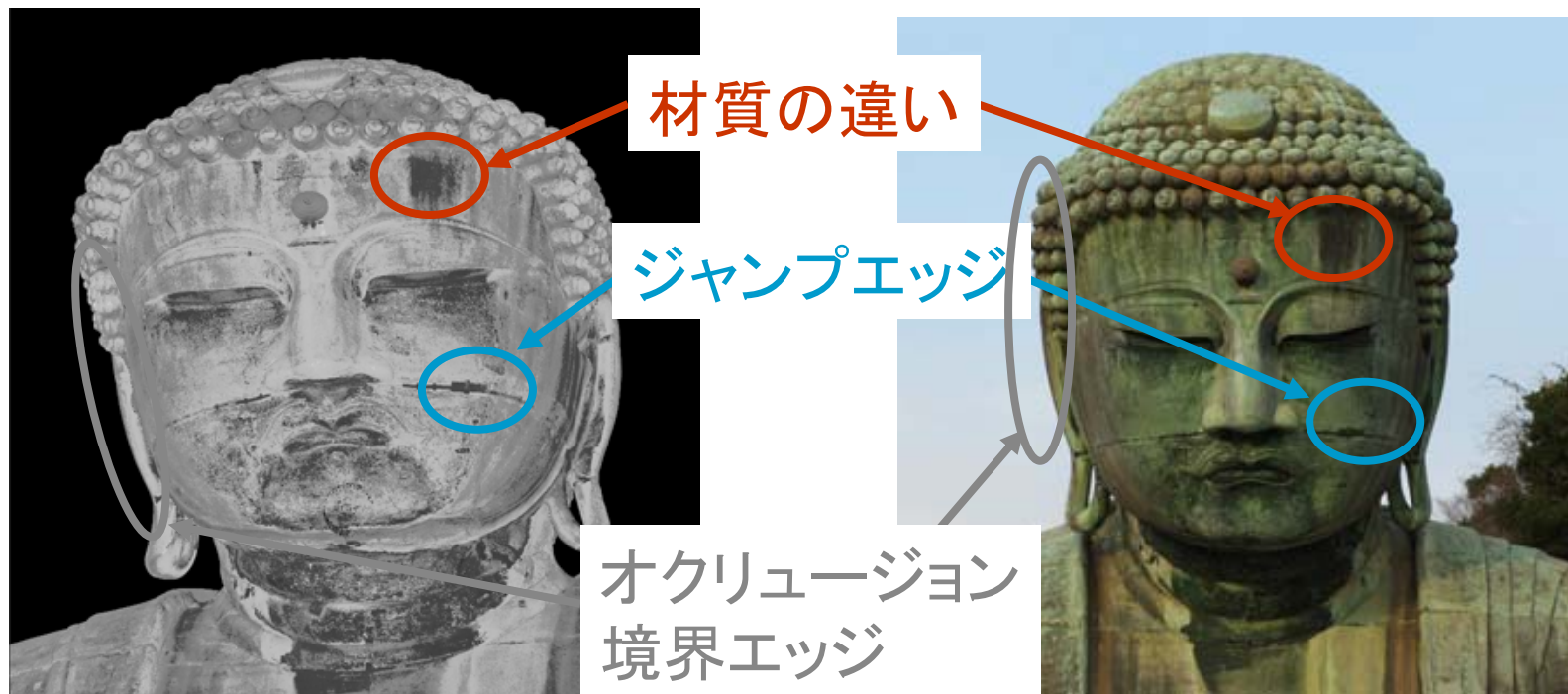
リフレクタンスを用いた キャリブレーション



リフレクタンスエッジとカラーエッジ

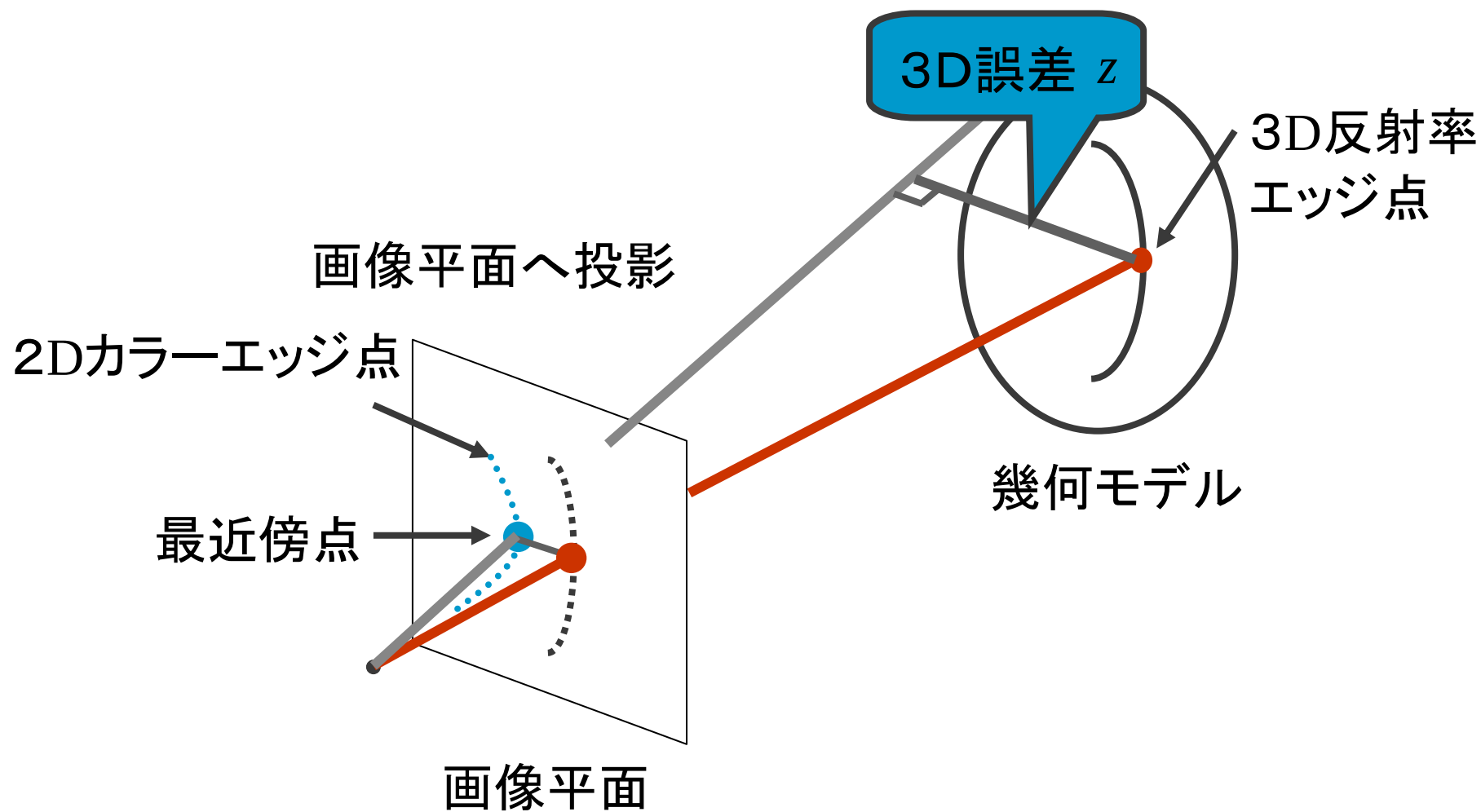
リフレクタンス画像

カラー画像



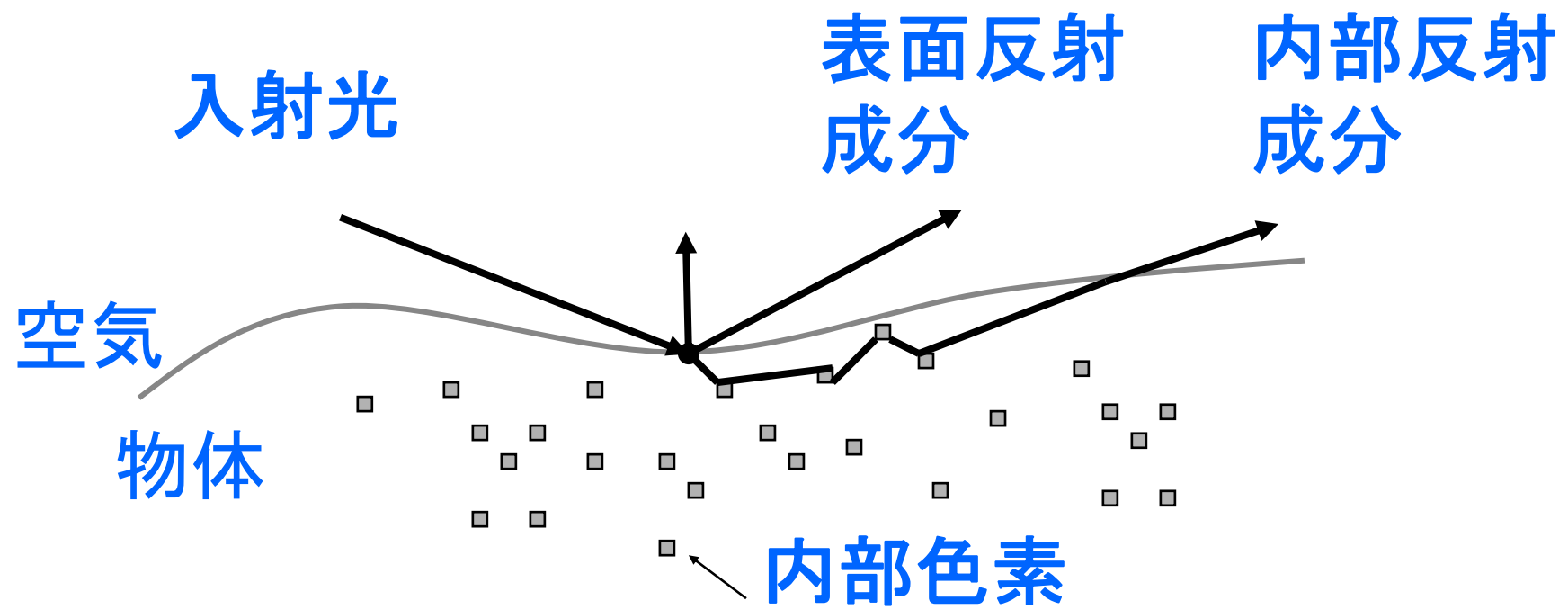
両者は似た特徴を有する

2D-3Dエッジ点の対応





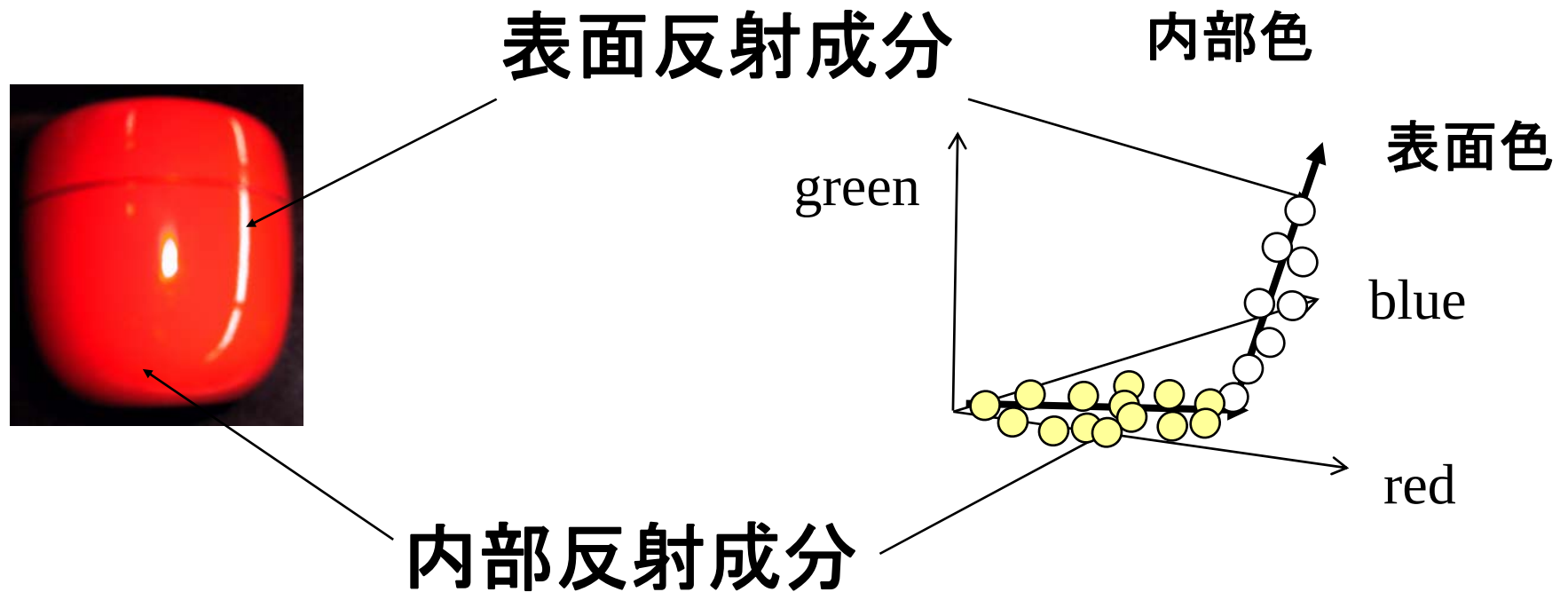
反射モデル



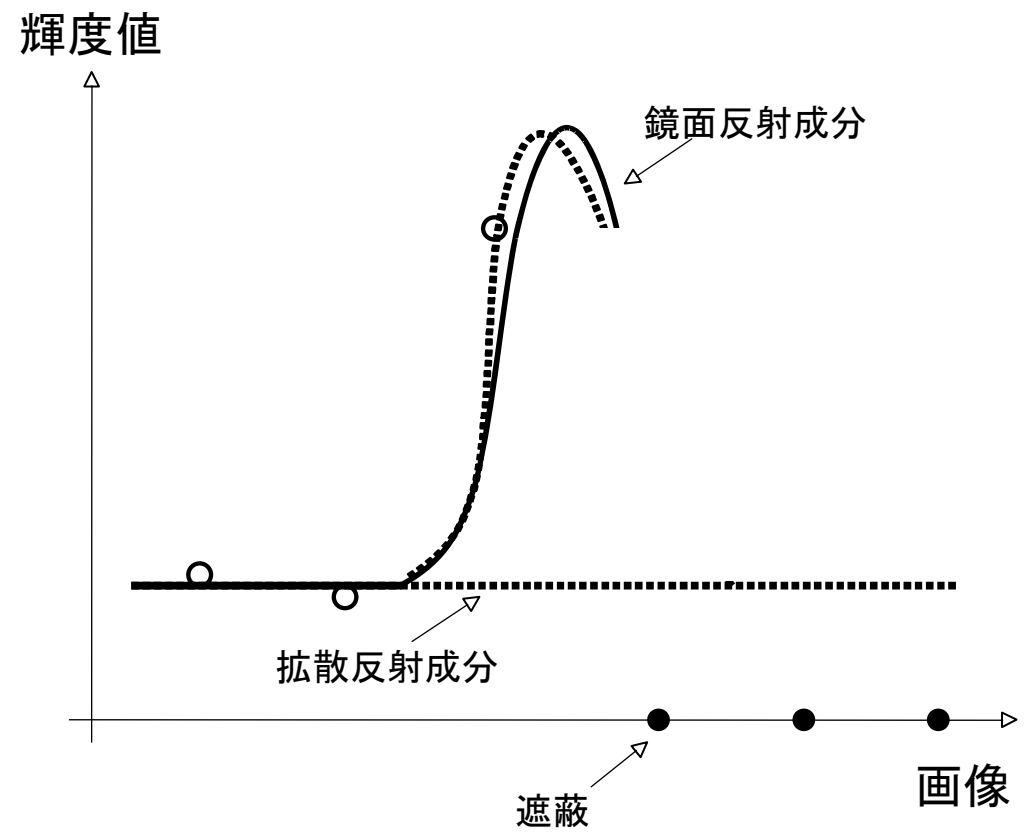
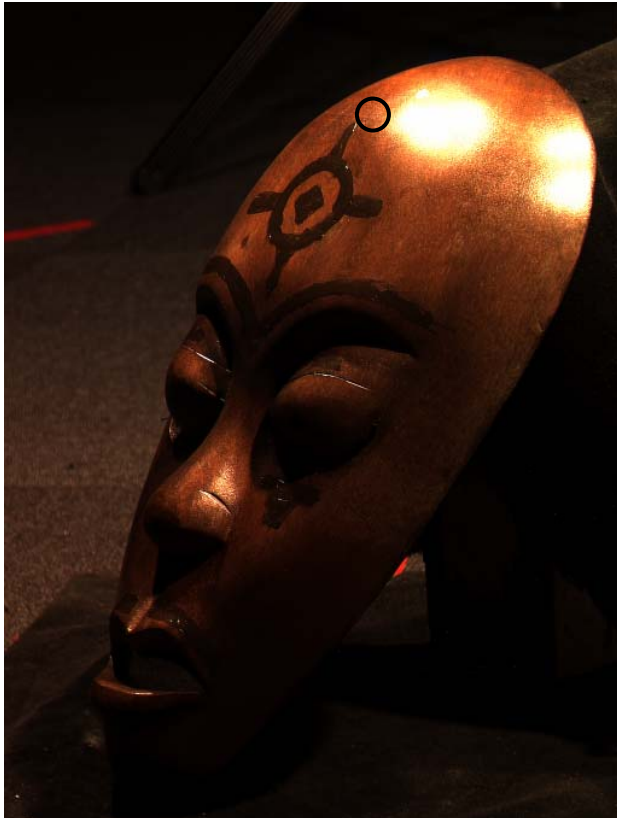
色空間

Klinker/Shafer/Kanade 88

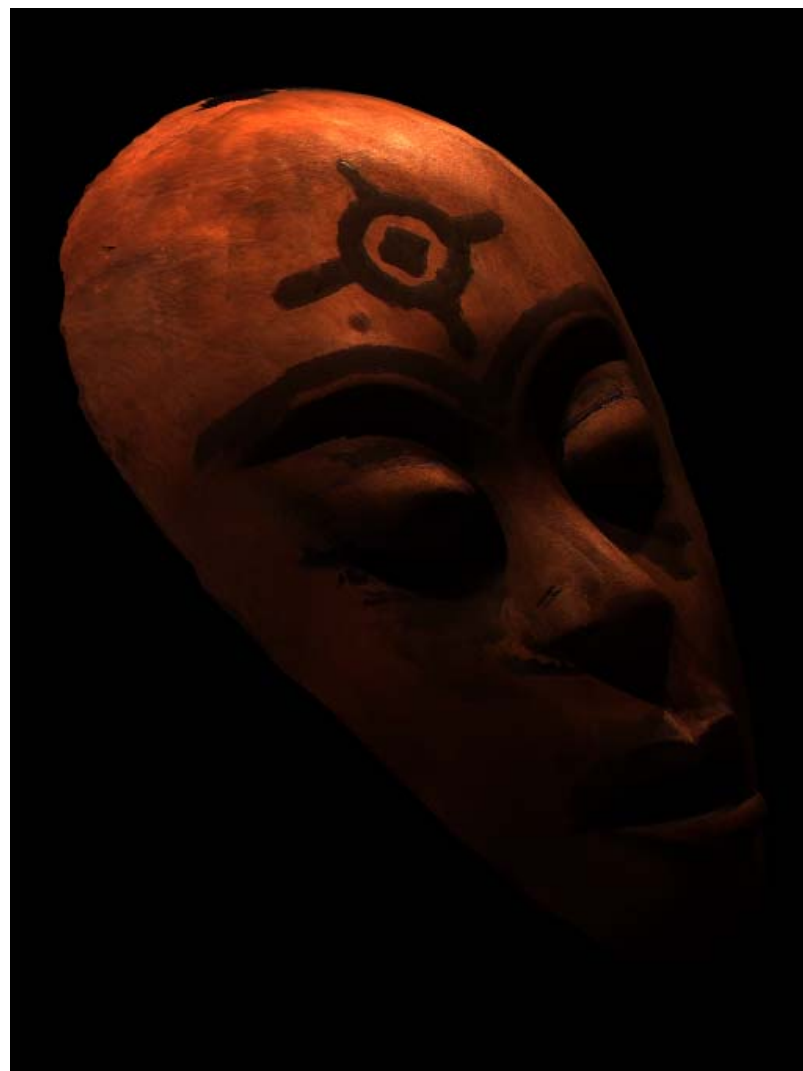
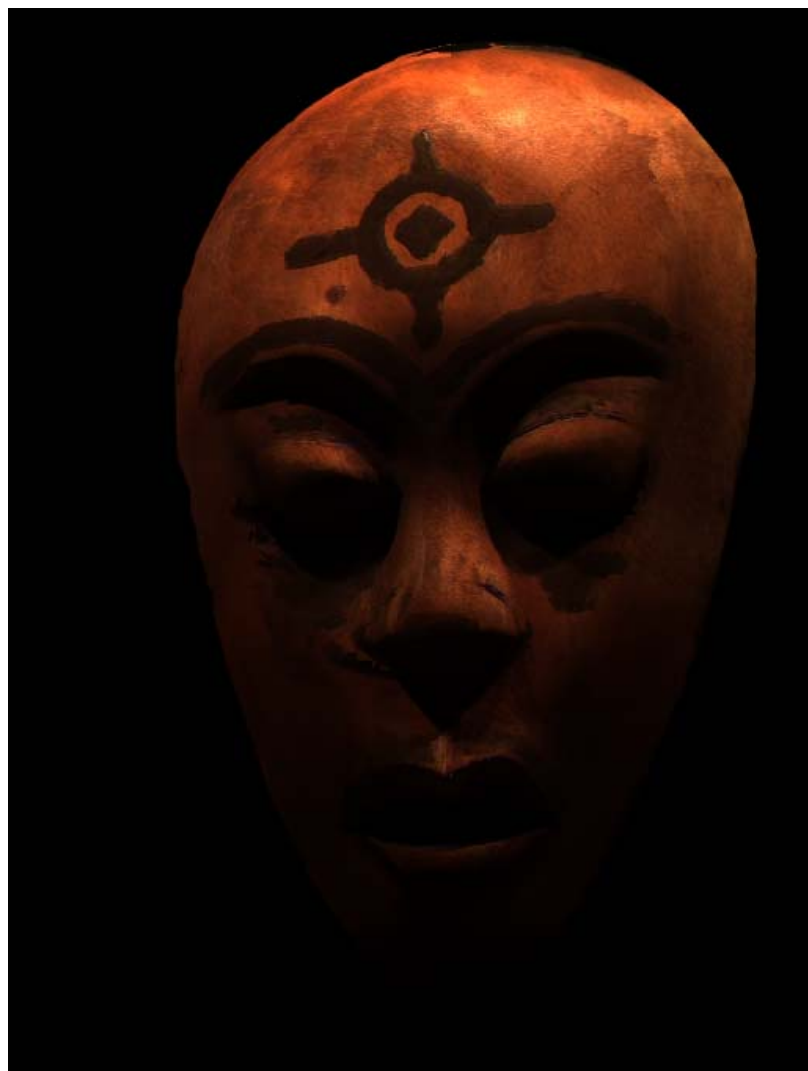
◆ 色ベクトルの線形和 $aS + bB$



明るさ解析に基づく手法



内部反射成分画像



表面反射成分画像

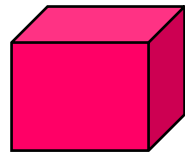


光学情報取得例(質感表現)



ビデオ映像

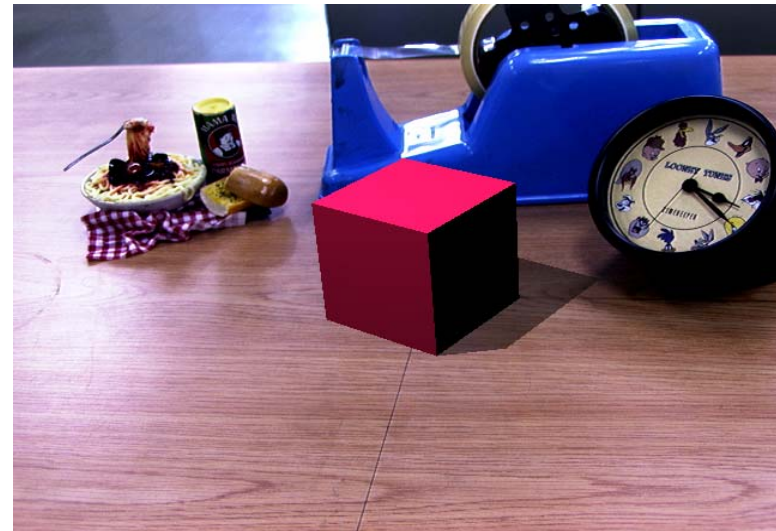
環境情報



孤立コンテンツ

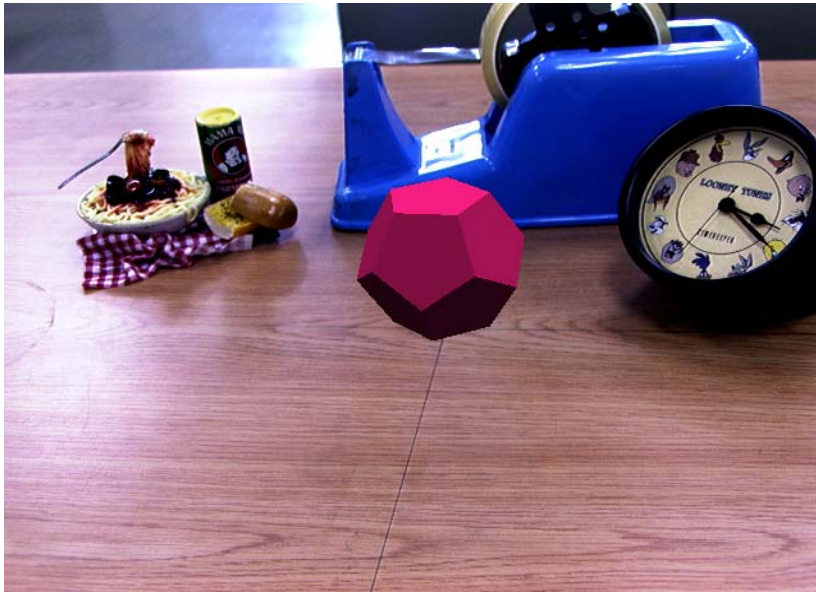


背景画像

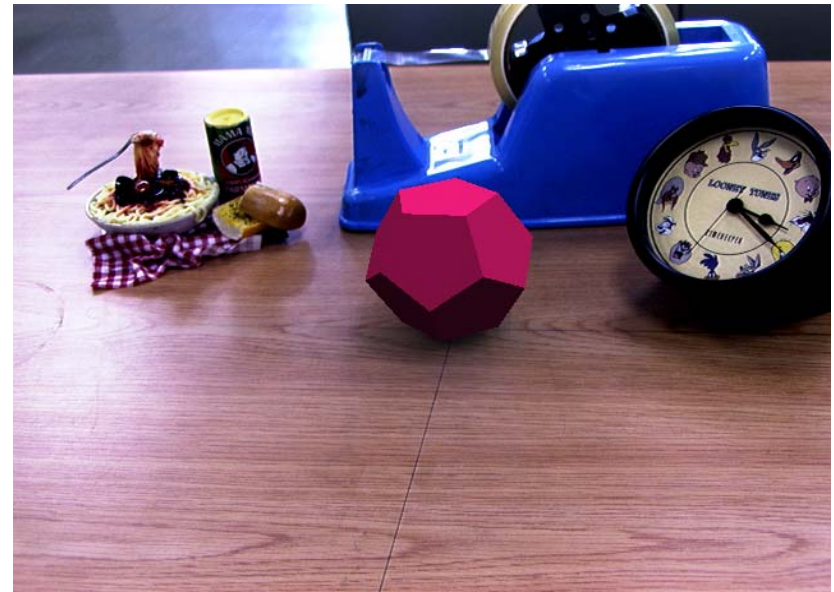


複合コンテンツ画像

環境情報の重要性

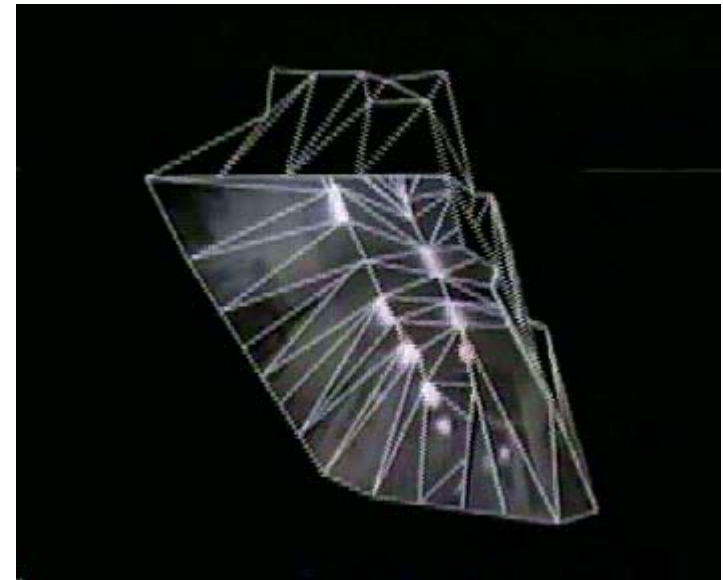
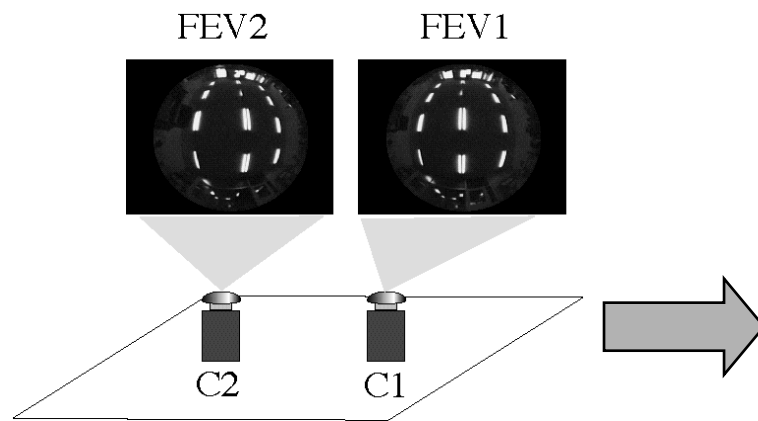


光源環境不一致



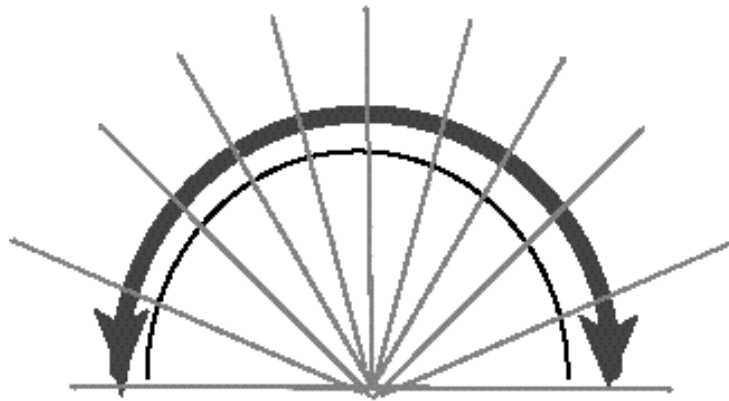
光源環境一致

光源環境のモデル化 (直接法)



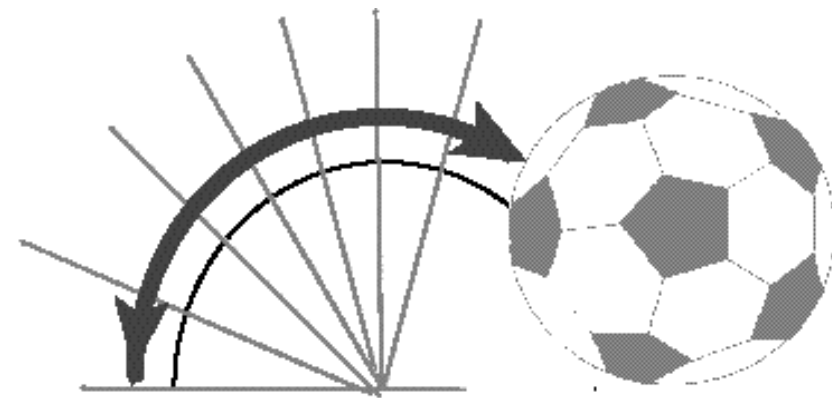
- ◆ 特徴点抽出
- ◆ 特徴点の位置決定
- ◆ 三角メッシュによる輝度表現

ソフトシャドウの計算法



Without object:

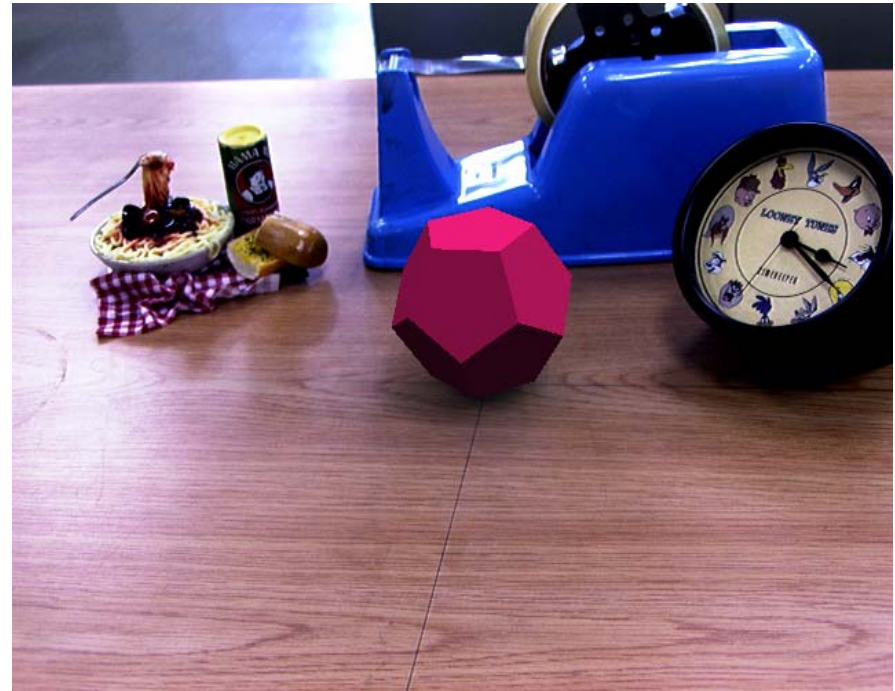
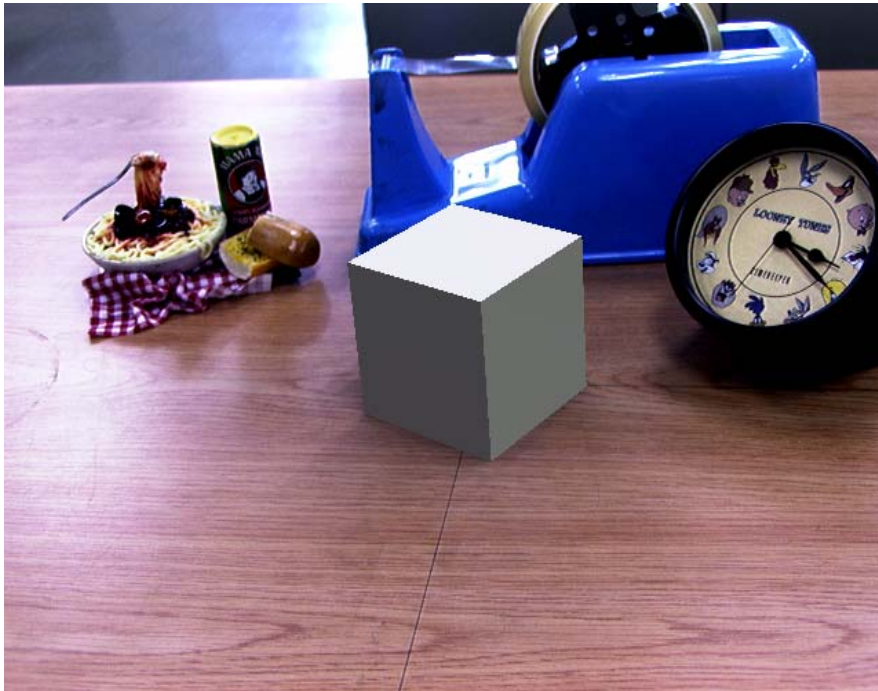
$$E^1 = \sum_{i=0}^N L^i \cos \theta_i$$



With object:

$$E^2 = \sum_{i=0}^N S_i L^i \cos \theta_i$$

複合画像生成例



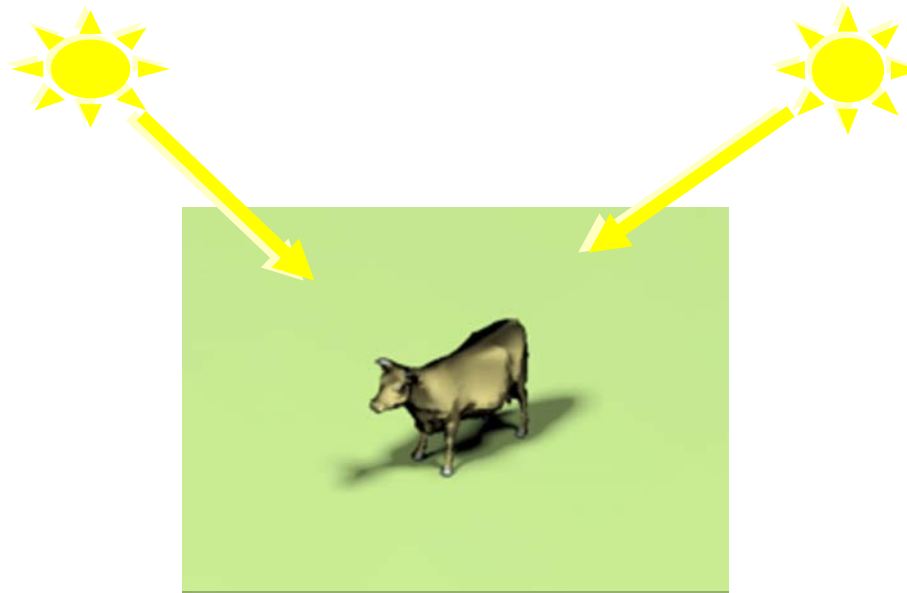
環境情報取得例



ビデオ映像

実時間レンダリング

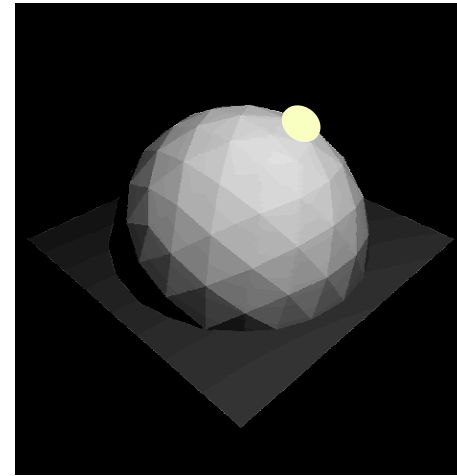
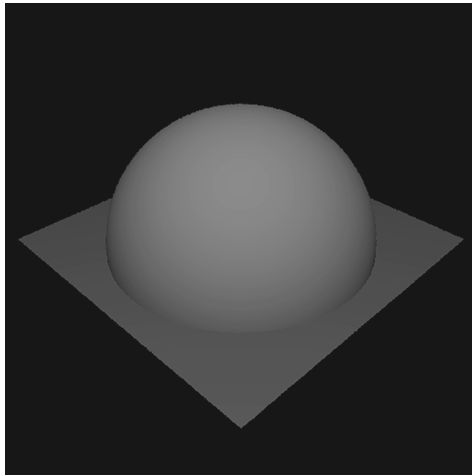
画像の線形性



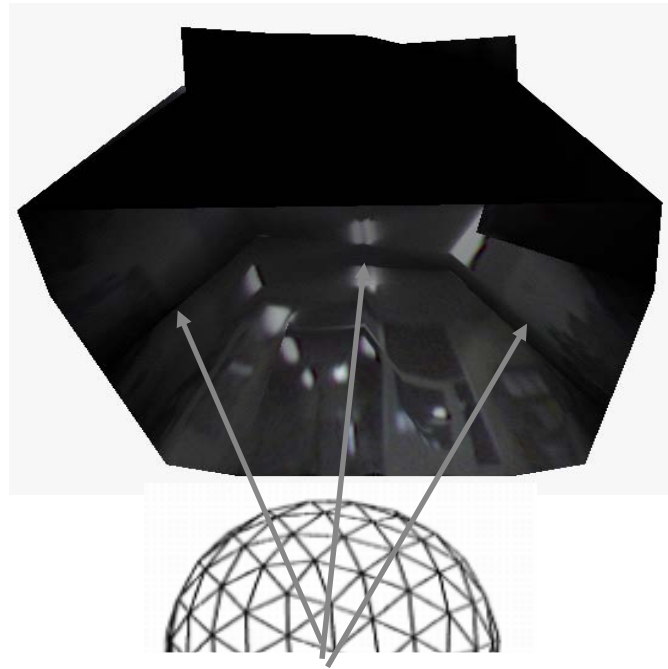
+



基準影画像の生成

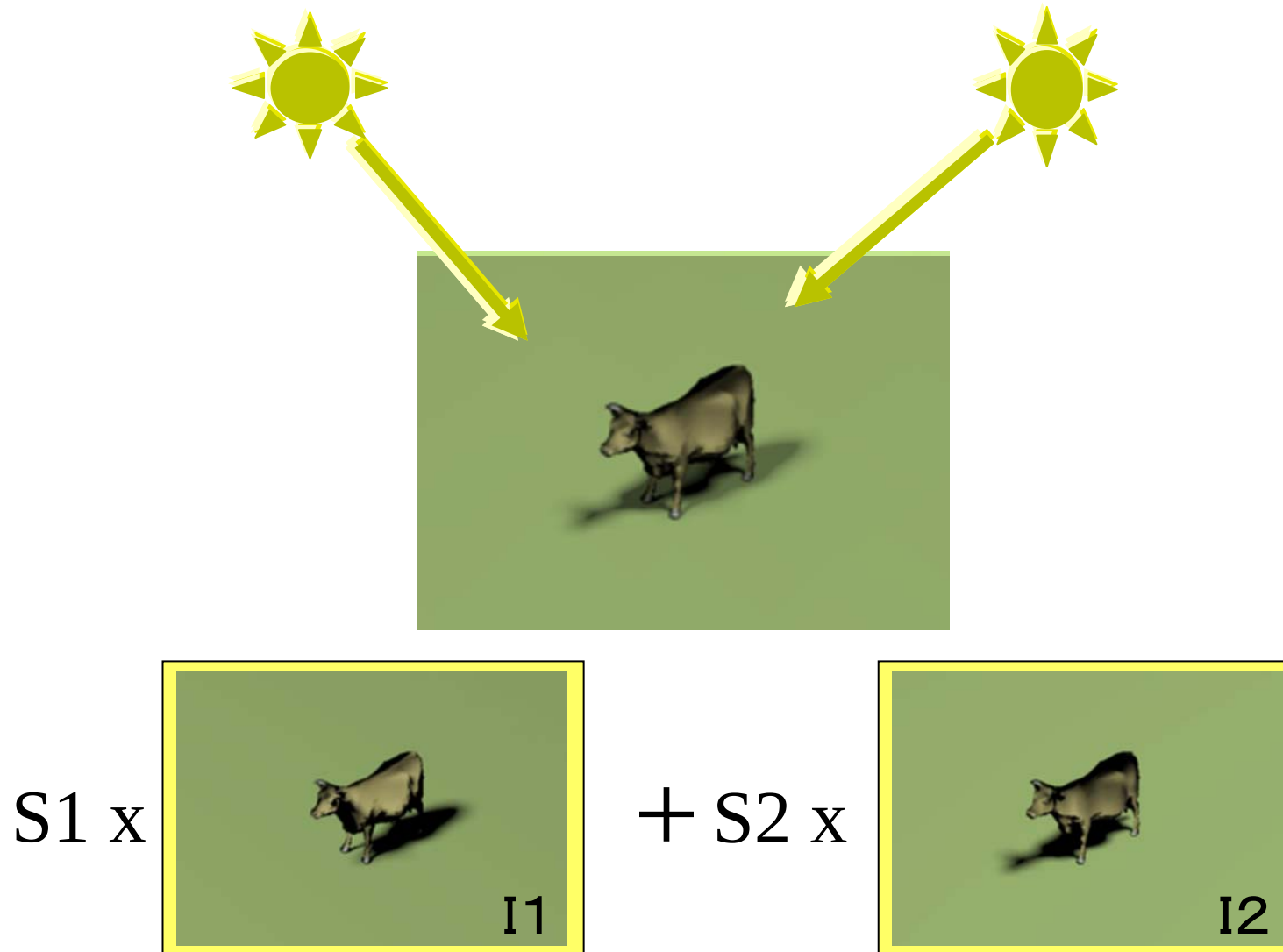


光源分布の測定



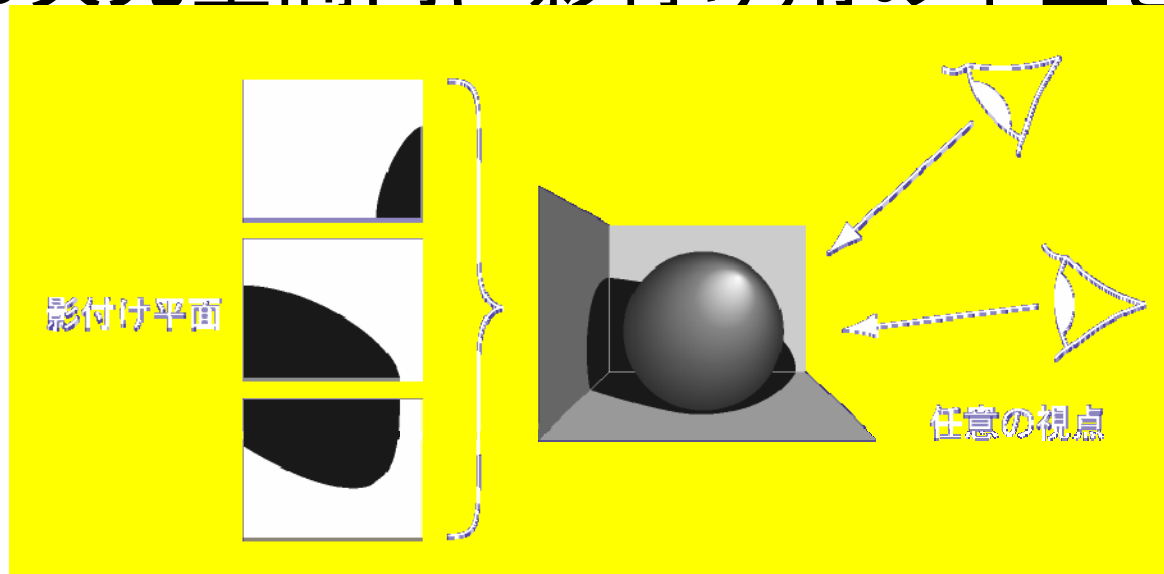
Geodesic Dome

合成画像の生成

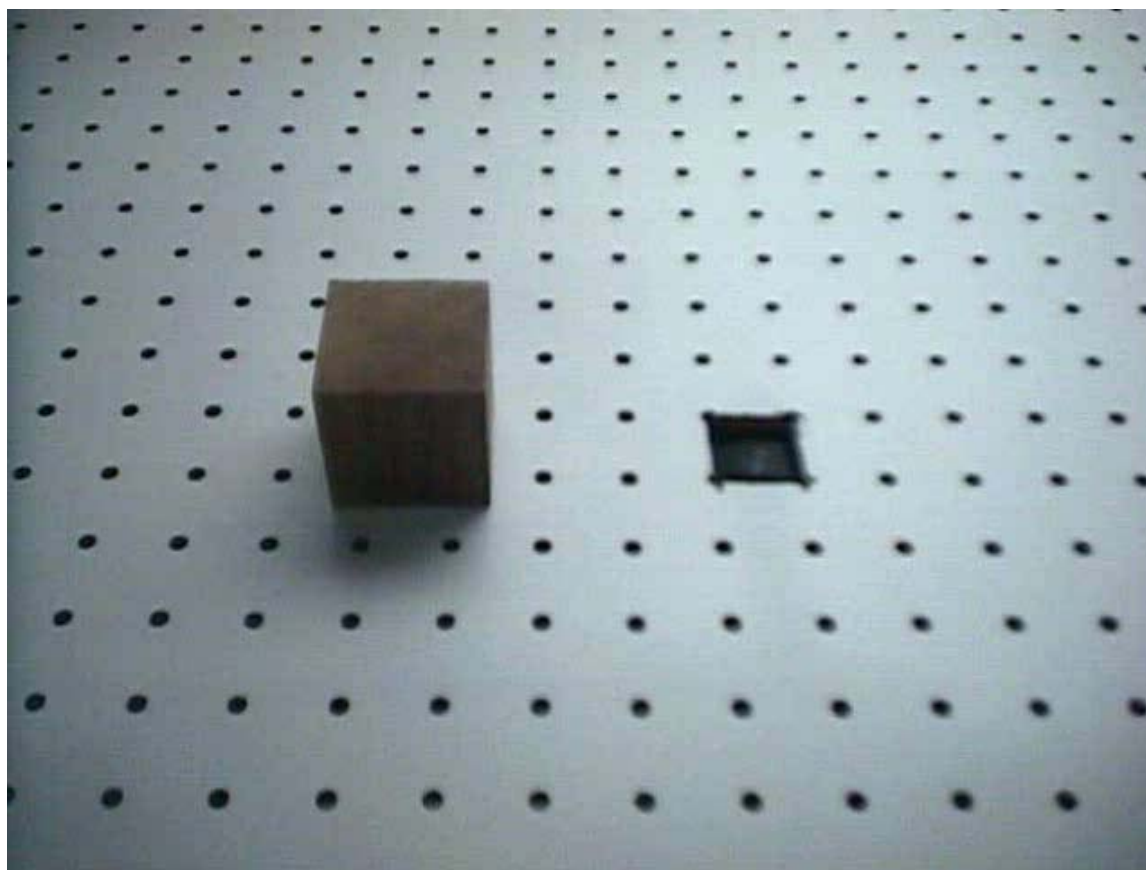


影付け平面

- ◆ 3次元空間内に影付け用の平面を配置



- 視点が動いても正しい位置に影を表示
- 地面だけでなく、3次元空間内のあらゆる平面に対して影付けが可能



ビデオ映像

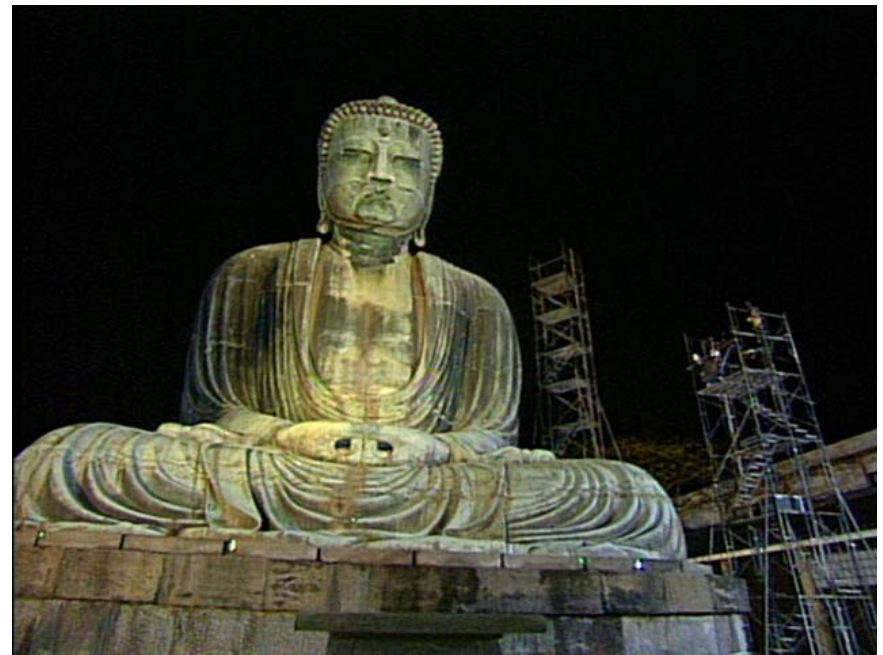
バーチャル川原寺プロジェクト
現地合成実験
2004.12/2~4

ビデオ映像

大仏ライブラリ

- ◆ 鎌倉大仏
- ◆ 奈良大仏
- ◆ 飛鳥大仏
- ◆ 古園磨崖仏(大分県臼杵市)
- ◆ 龍門仏(中国)
- ◆ アチャ大仏(タイ、スコタイ)
- ◆ バイヨン仏(カンボジア、シェムリアップ)

データ収集状況（鎌倉）







奈良大仏



データ収集状況（奈良）



奈良大仏

CVPR01



奈良県明日香村 飛鳥大仏



飛鳥大仏から奈良大仏へ

飛鳥大仏(飛鳥時代) 鎌倉大仏(鎌倉時代) 奈良大仏(江戸時代)



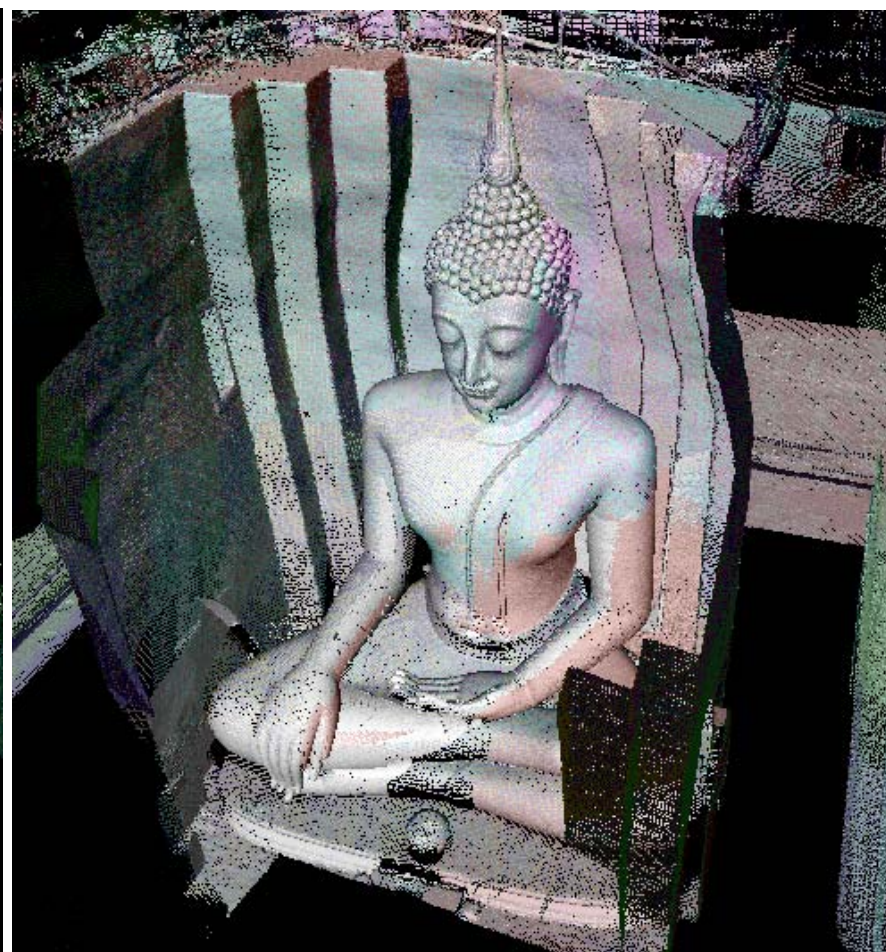
シーチャム寺院 (スコタイ、タイ)



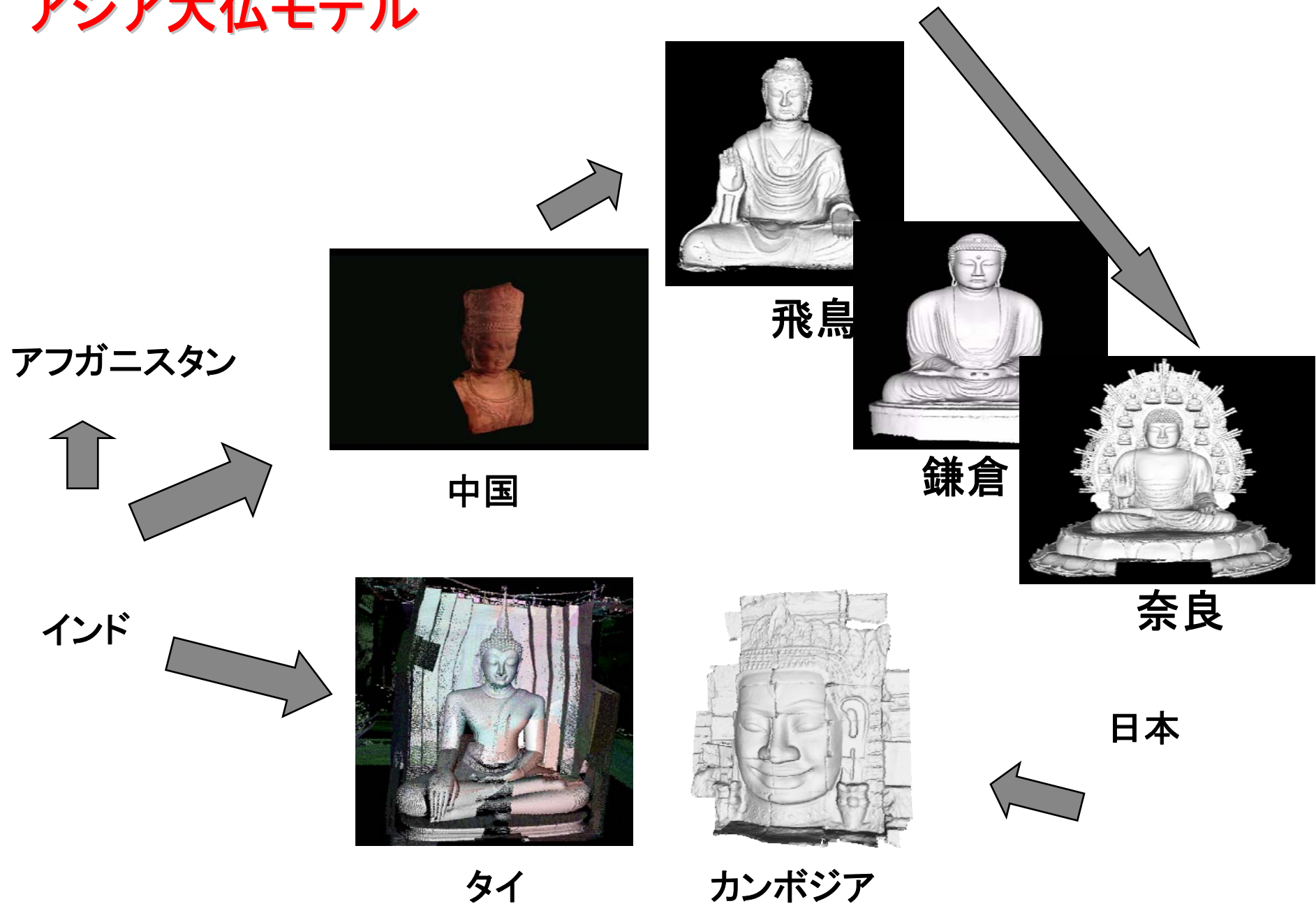
2002年3月

共同研究： タイ文化局
東京文化財研究所

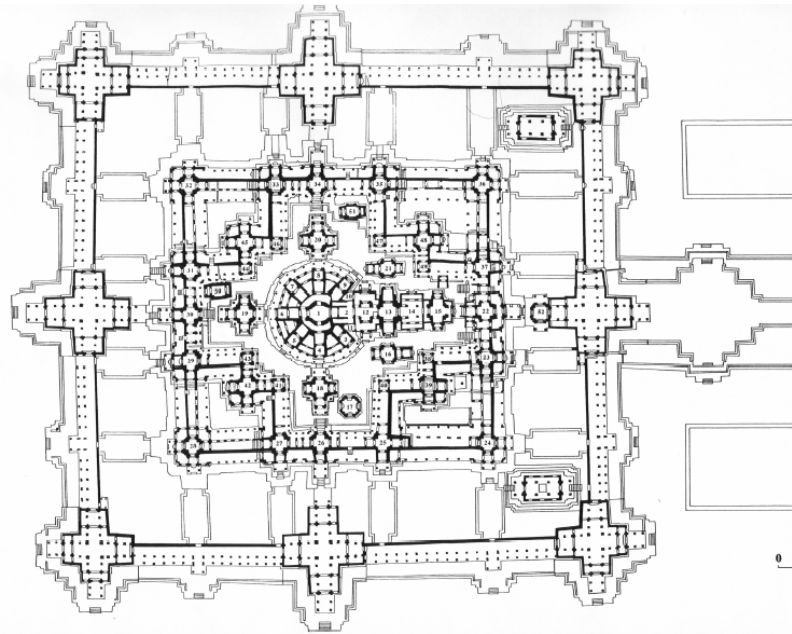
点データ



アジア大仏モデル

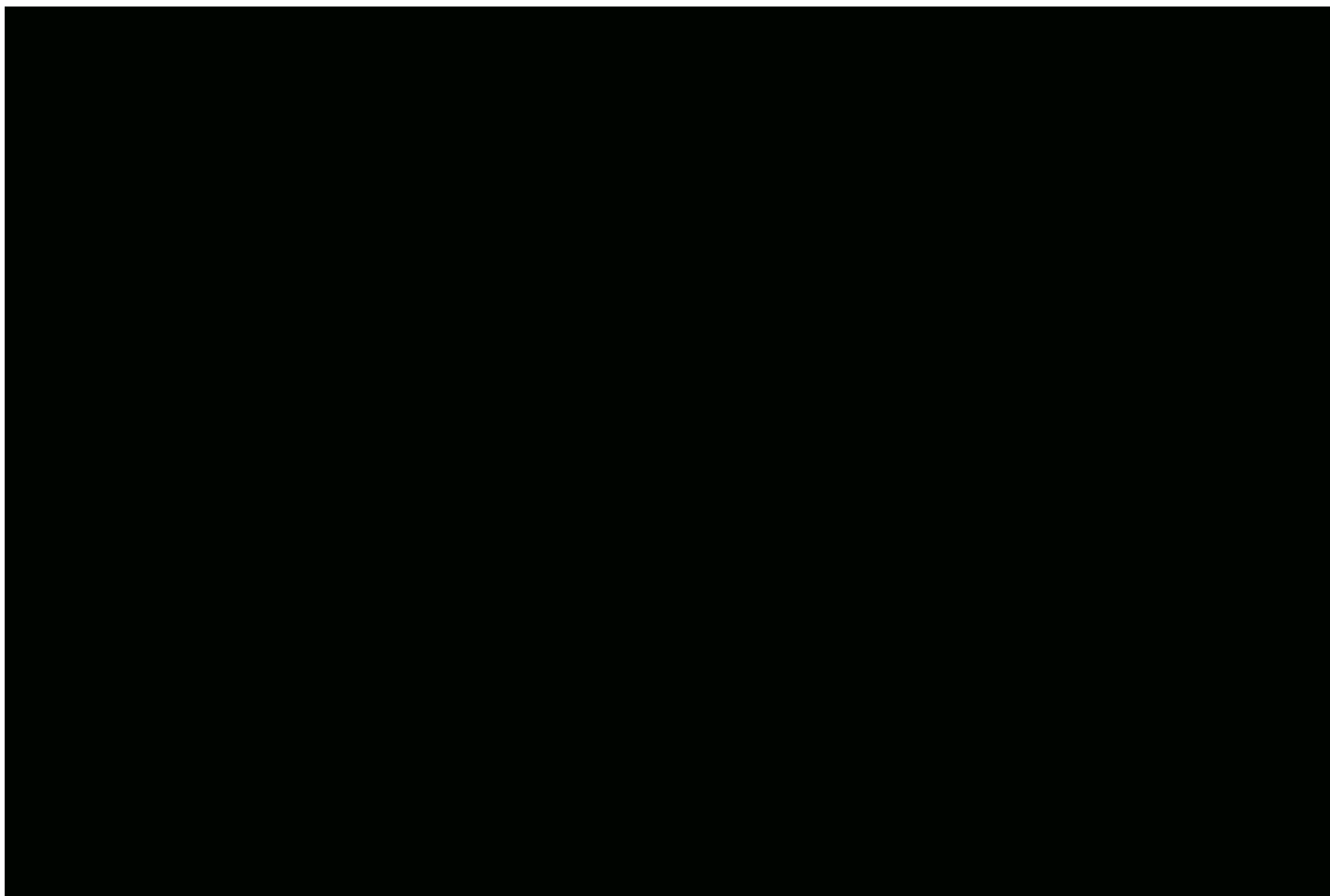


デジタルバイヨンプロジェクト



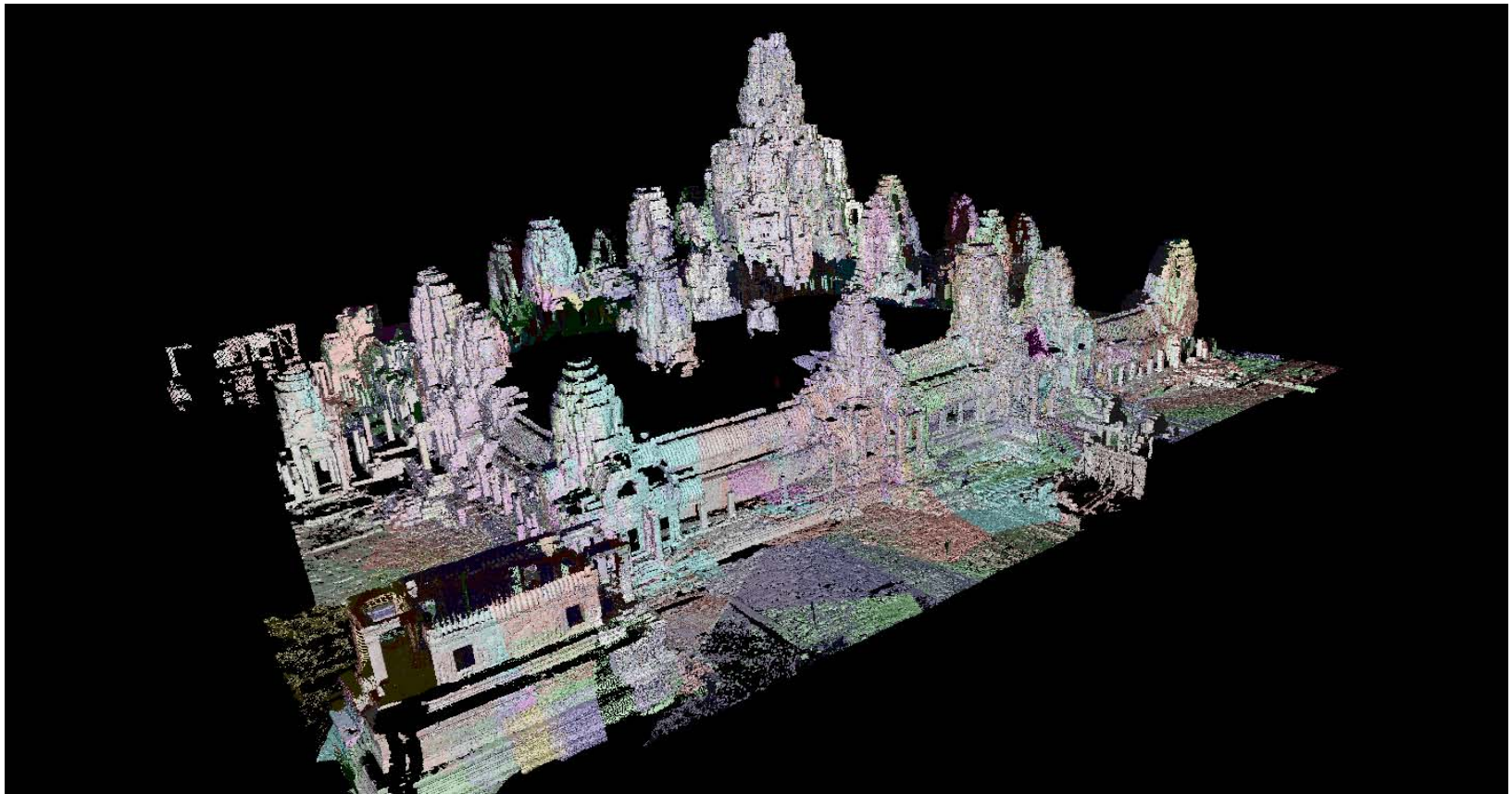
(協力 日本政府アンコール遺跡救済チーム(JSA))

バイオンプロジェクト

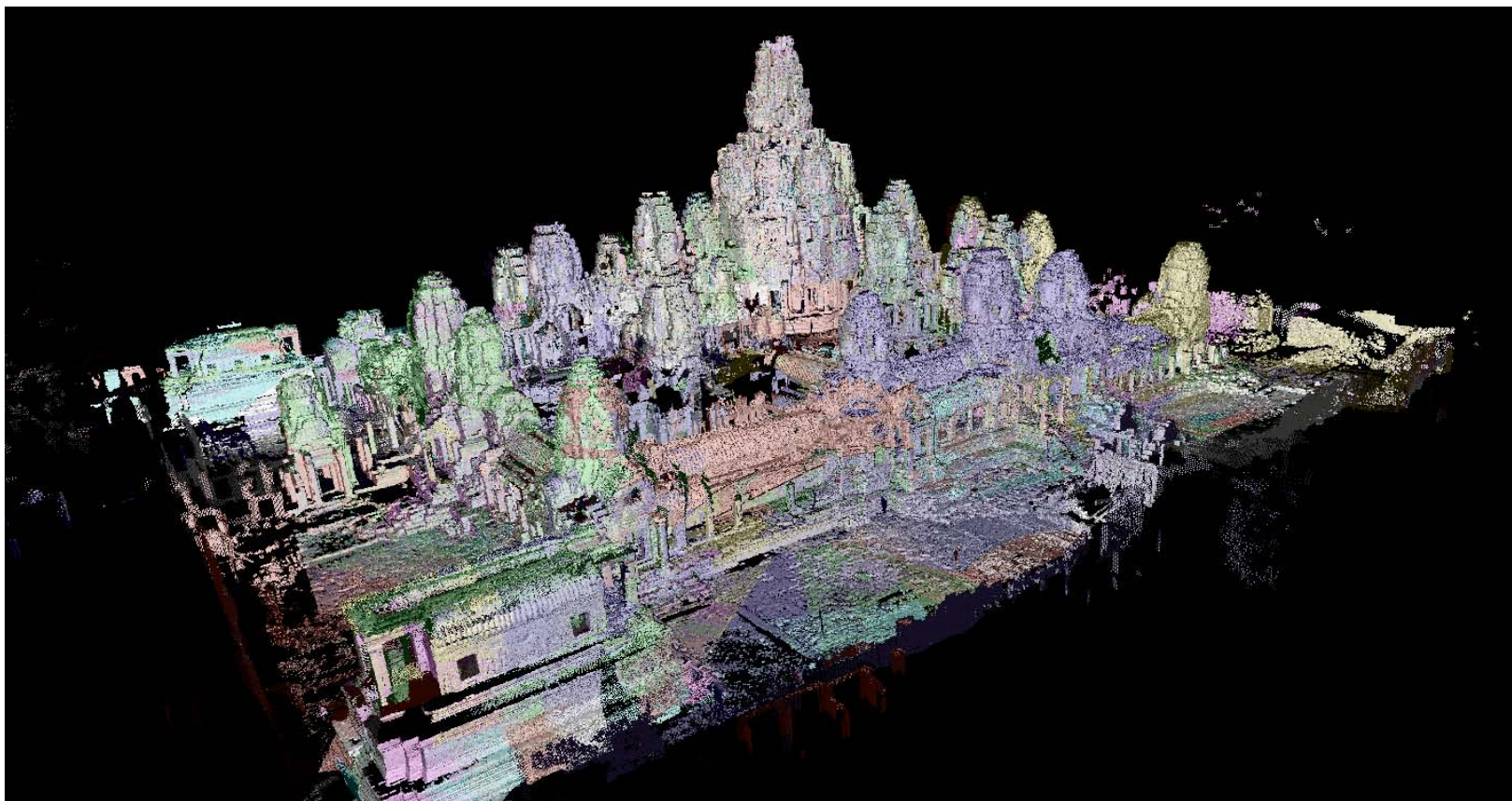


ビデオ映像

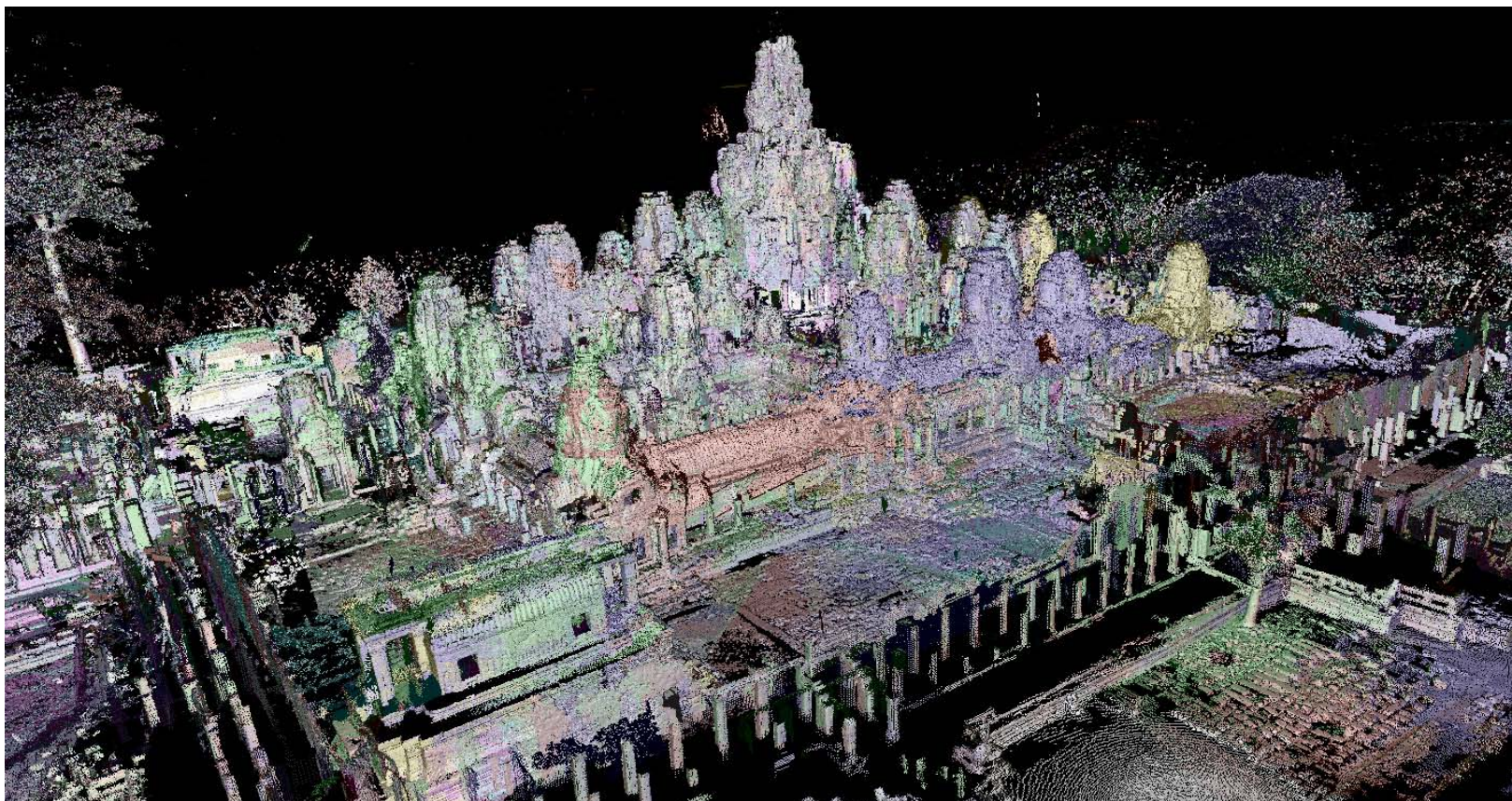
2003年3月



2003年12月



2004年12月

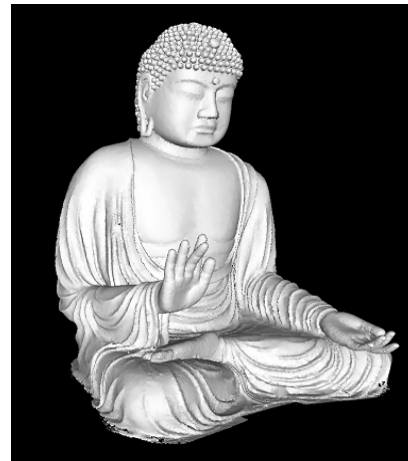


天平仏の復元

東大寺大仏： 751年建立後、2度炎上
現存仏は江戸期再建

		創建時		現在	
		(曲尺)	(メートル)	(計算値)	(文献値)
1	結跏趺坐高	53.50	16.2105	14.96788	14.98
2	肉髻	3.00	0.909	0.9095	
3	自髮際至頂	7.00	2.121	2.0784	
4	自眉上至髮際	1.92	0.58176	0.3786	
5	御眉間	1.10	0.3333	0.220007	
6	御目長	3.90	1.1817		1.02
7	御目間	1.60	0.4848		
8	自目至眉	0.80	0.2424		
9	自鼻前至眉間	1.50	0.4545		

古文書



デジタルデータ



パリ万博出展の模型



CG再現

The New and Forthcoming Great Books



From the University of Toronto
Toronto, Ontario, Canada

ビデオ映像

天平大仏の鍍金量のなぞ

- ◆ 文献記述は大両(42g)か小両(14g)か？
- ◆ どの文献が確からしいのか？
- ◆ 小西正彦さんの指摘

天平大仏の鍍金量

- ◆ 大仏殿碑文＝5412両
 - － 10, 466両(本体＋蓮華座)
 - － 大両説 227Kg
 - － 小両説 76Kg
- ◆ 延暦僧録文＝4, 187両
 - － 大両説 176Kg
 - － 小両説 59Kg

◆ 鍍金の厚さ = 6 ~ 10 mg/平方cm

◆ 天平表面積 = 597 平方メートル
36kg ~ 60kg

◆ 現在表面積 = 556 平方メートル
33kg ~ 56kg

◆計測値

◆天平(計測値)

◆現在(計測値)

36kg~60kg

33kg~56kg

◆記録

◆碑文 (大両説 227Kg、小両説 76Kg)

◆録文 (大両説 176Kg、小両説 59Kg)

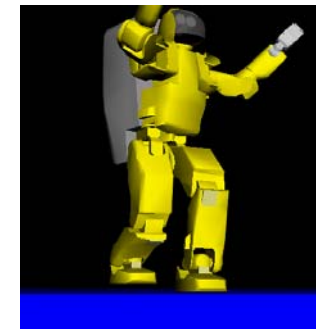
小両説 延暦僧録文が一番近い！

文化遺産のデジタル化

◆ 大型有形文化財



◆ 無形文化遺産

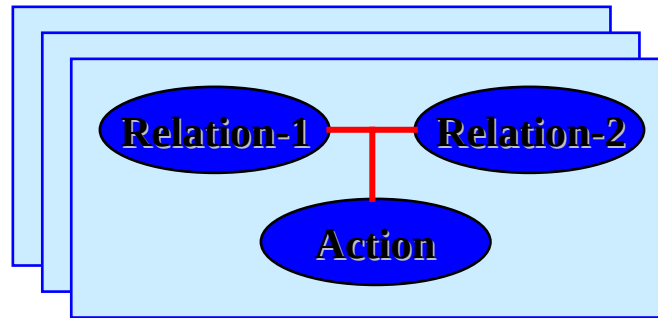


動的解析

- ◆ 日本各地で伝承されている伝統舞踊
→後継者不足等により失われつつある



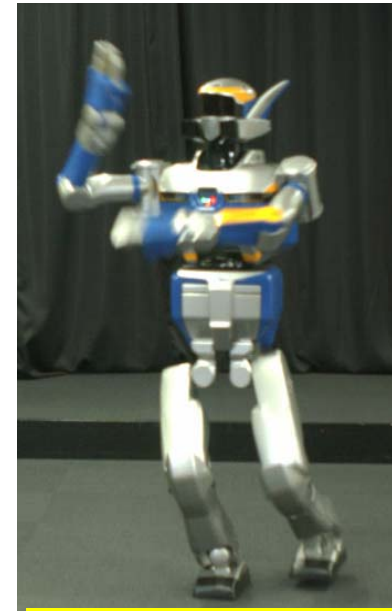
人間行動観察学習ロボット



意図理解



動作観察



学習・熟練

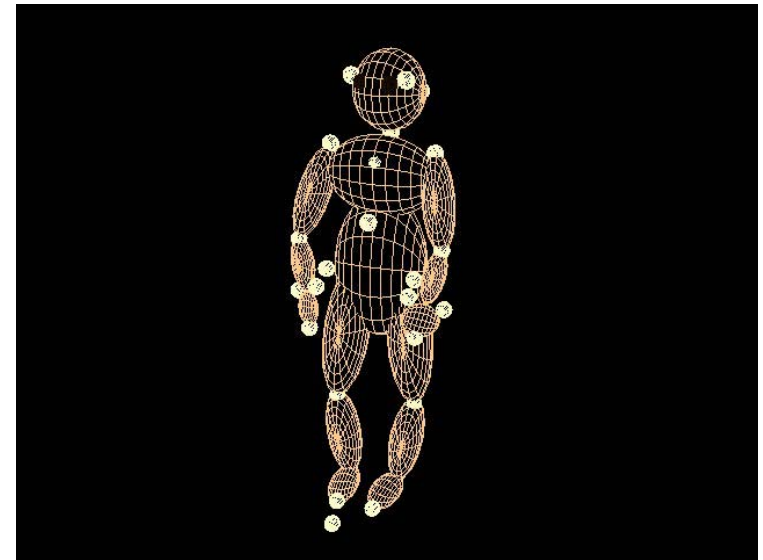
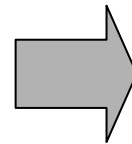
人間行動観察学習パラダイム

- ◆ 単にまねるのではなく、何をどのようにするかロボットが認識
 - タスク認識 — 何をするか
 - スキル認識 — どのようにするか
- ◆ 認識に基づくロボット行動

モーションキャプチャシステム (動きの取り込みシステム)



会津磐梯山踊り
会津民謡玉水会
山田師範



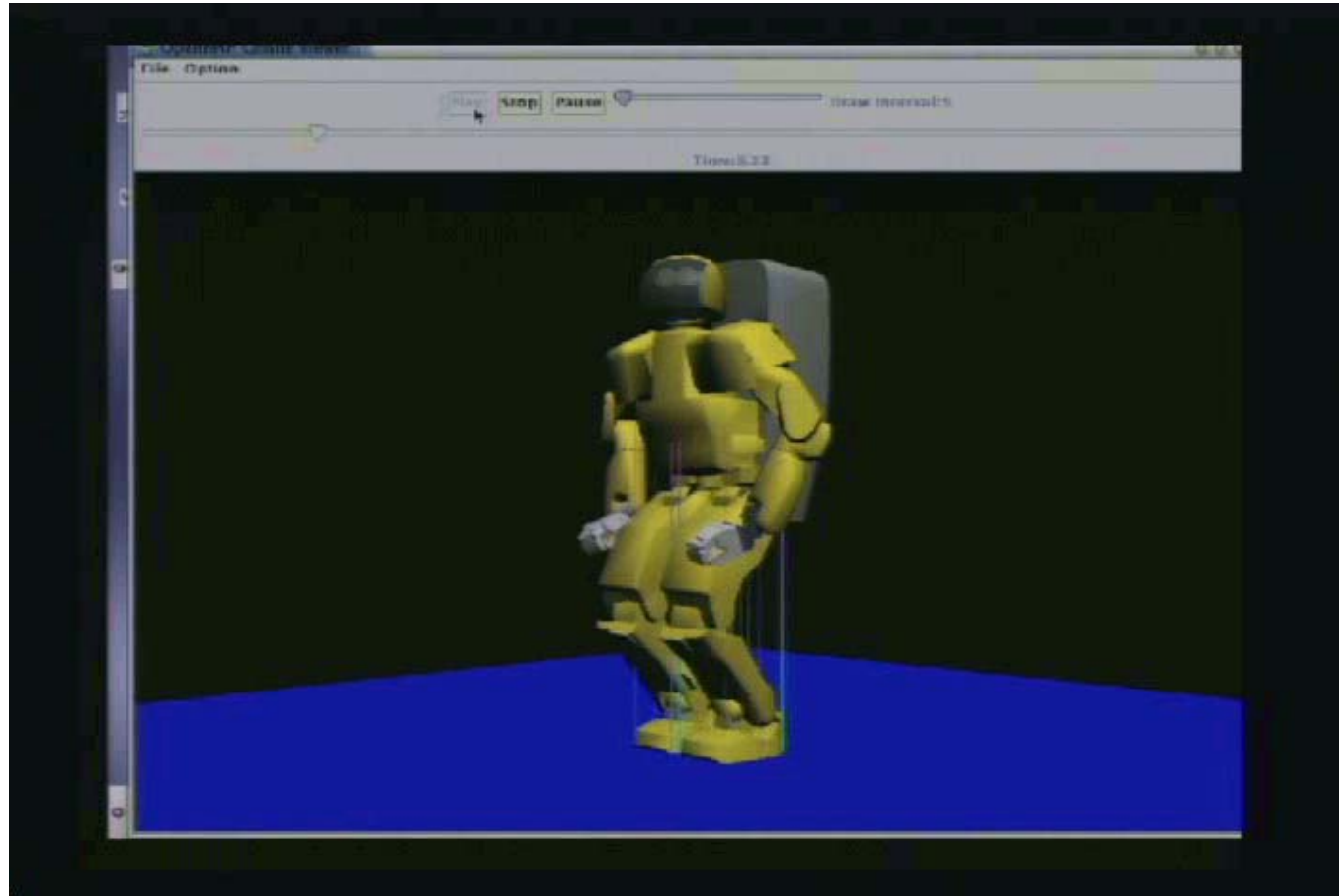
取り込まれた動き

モーションキャプチャシステム協力

会津大学

マッピングの問題点

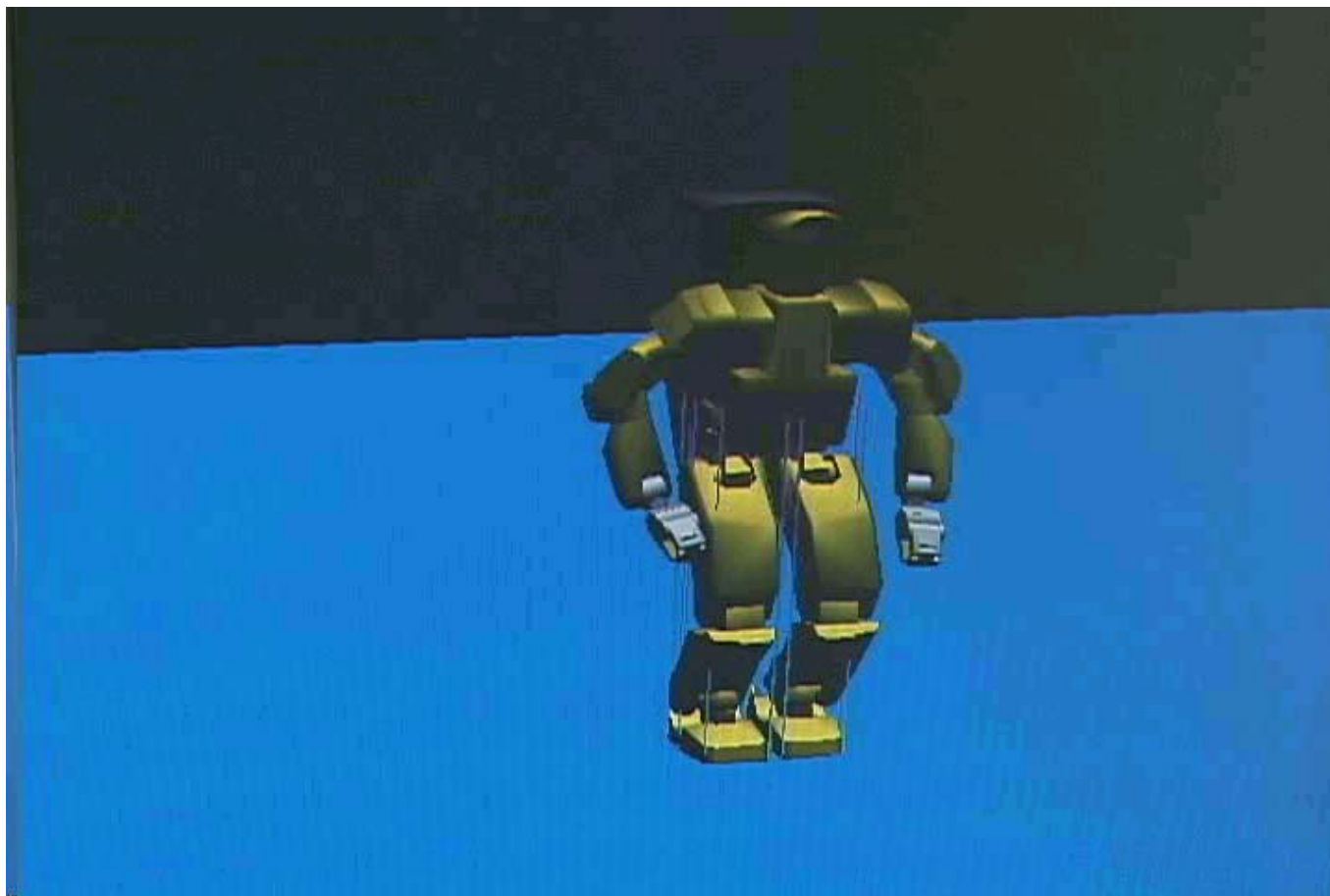
(脚の動きなし: 比較的簡単なはず)



産総研動力学シミュレータ

ビデオ映像

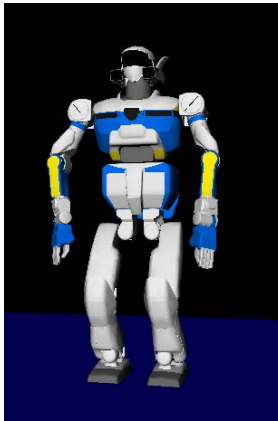
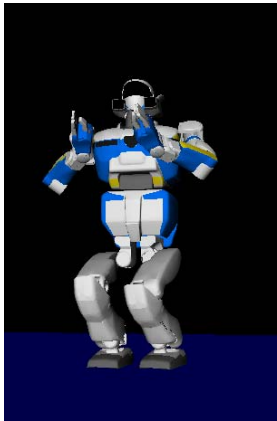
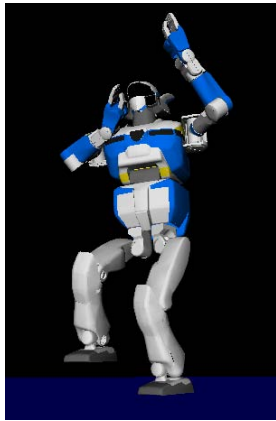
脚動あり(さらに悪化！)



ビデオ映像

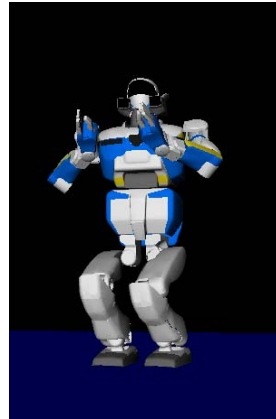
タスクモデル

トップダウンに設計

たち	沈みこみ	右踏み出し	左踏み出し
			

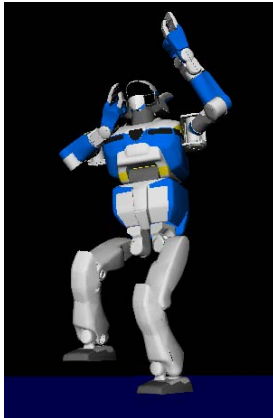
タスクモデル間の遷移

腰の位置による分類

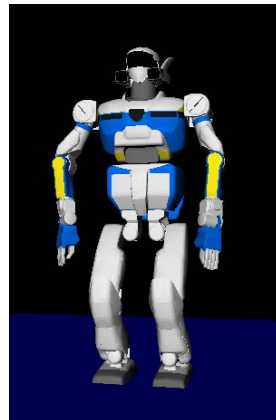


沈み込み

足接触による分類



右踏み出し

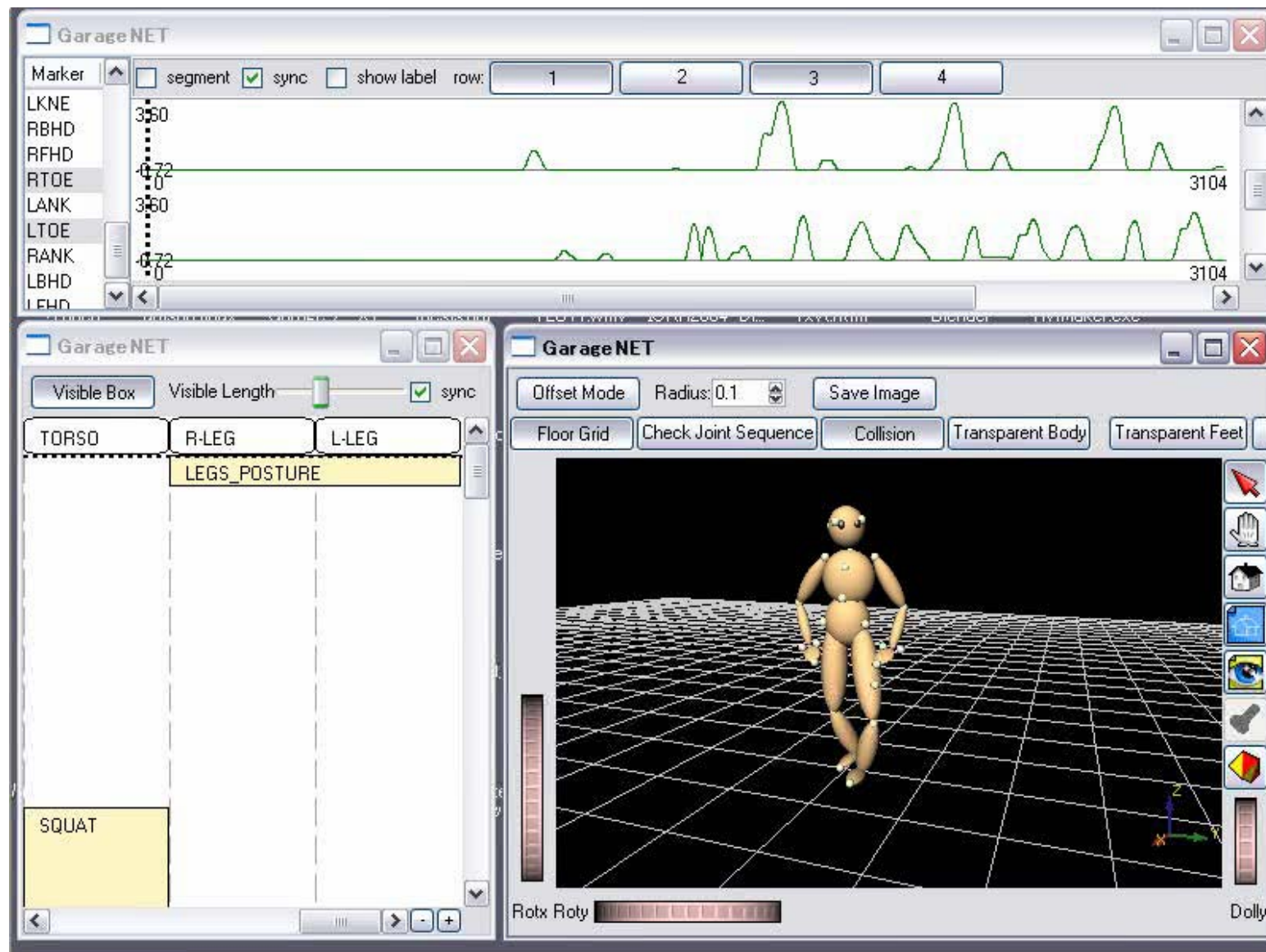


たち



左踏み出し

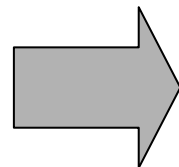




ビデオ映像

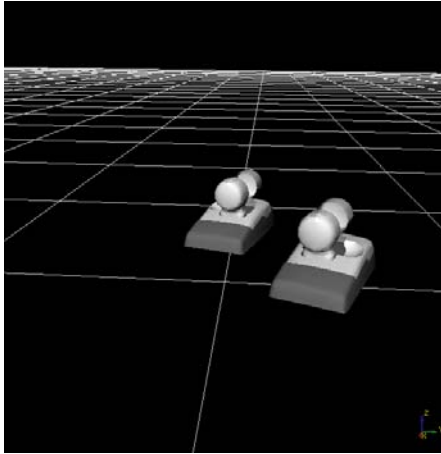
スキルパラメタ

	たち	沈みこみ	踏み出し
タスク モデル			 
スキル パラメタ	持続時間	歩幅 深さ	歩幅 最高点



モーキャプデータより

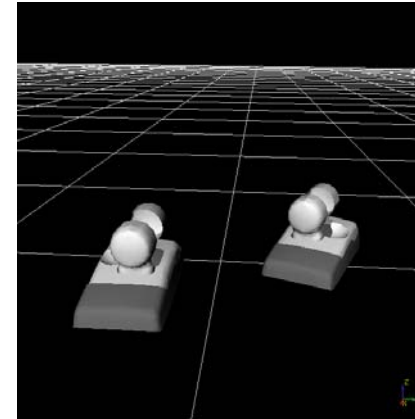
観測による
スキルパラメタ



始点

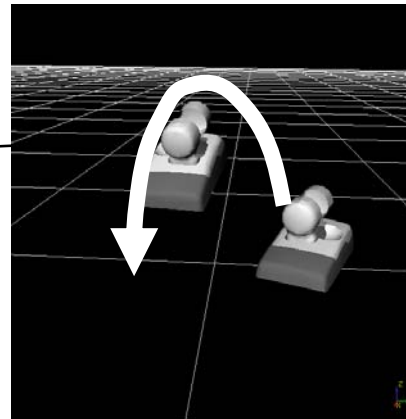
最高点

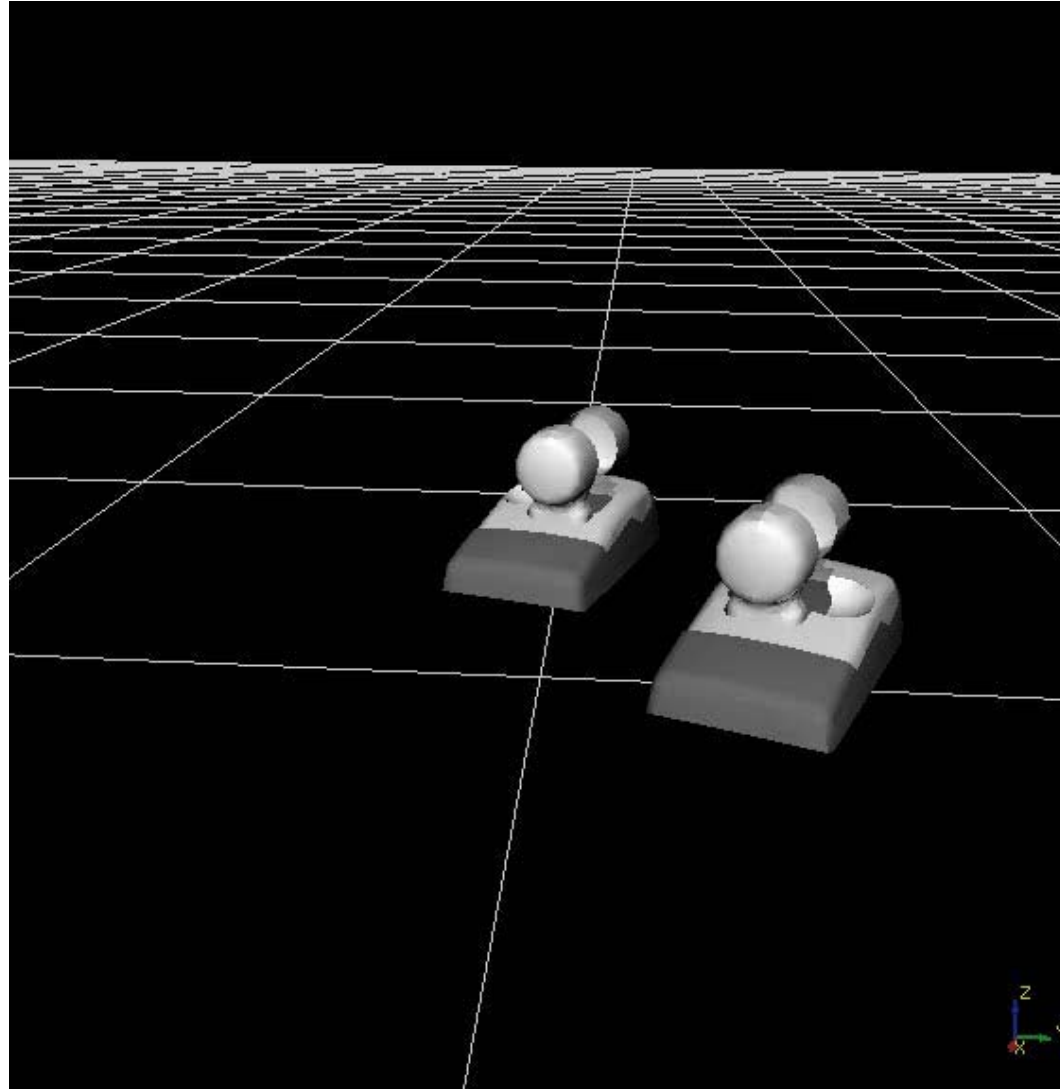
歩幅



終点

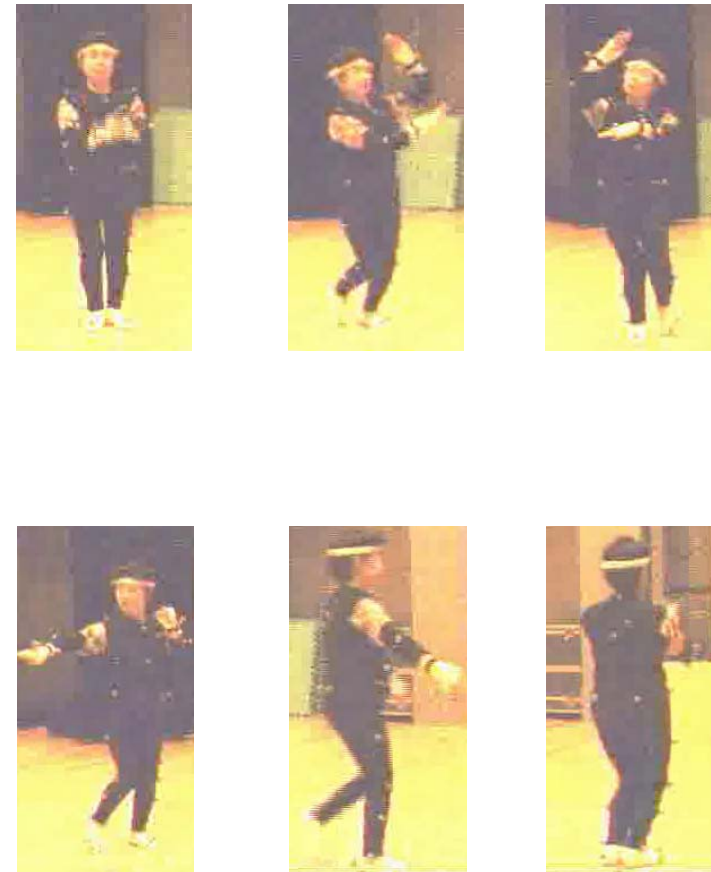
生成された
軌道





ビデオ映像

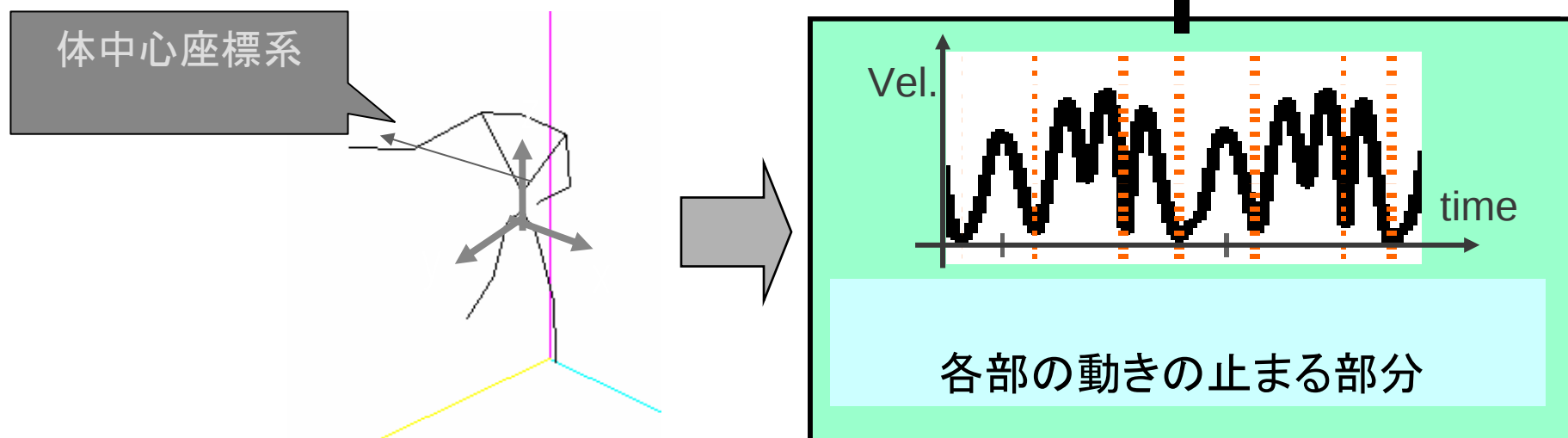
師範による踊りの留め



師範によるスケッチ

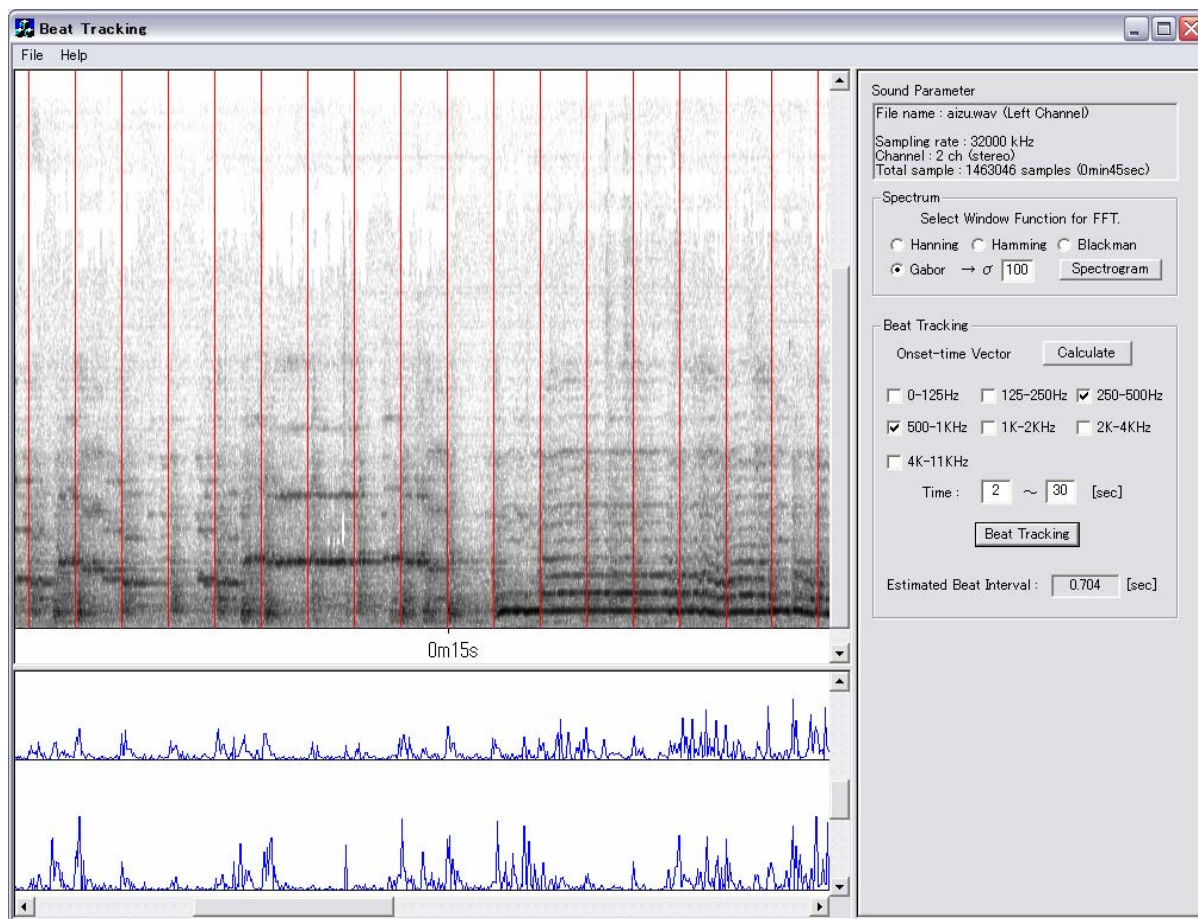
タスク(=留め)の抽出

- ◆ 体の各部の動きの止まる部分
- ◆ 音楽のリズム



リズム分析結果

◆ 会津磐梯山



Estimated Beat Interval
0.704 [sec]

♪ = 84

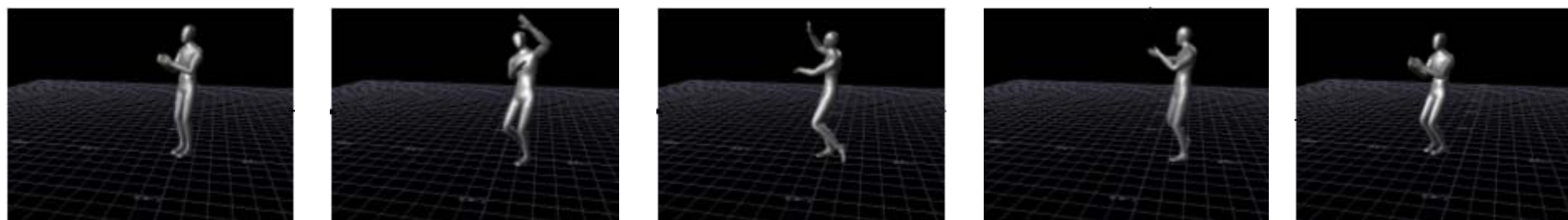
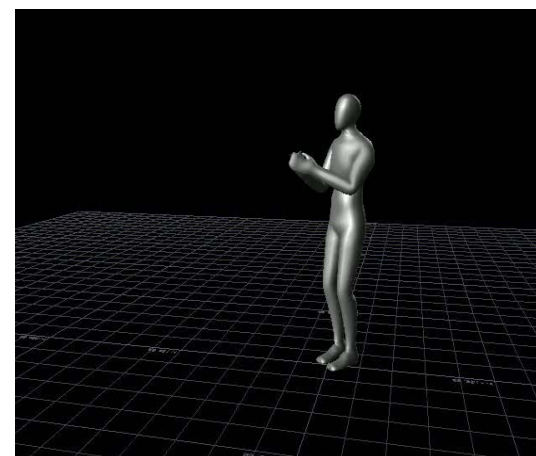
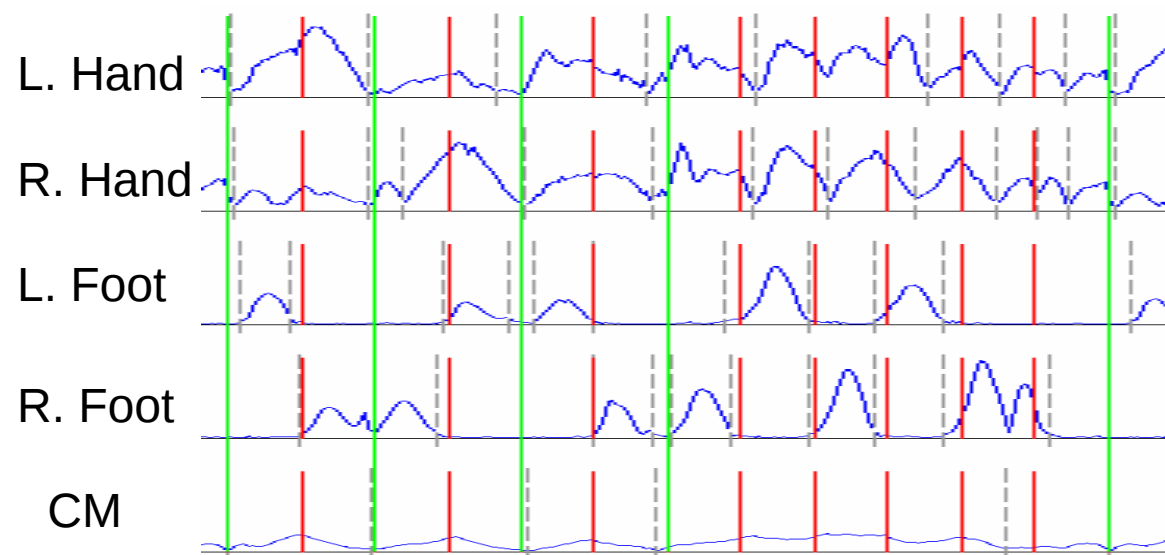
Music
with inserted Beep



音楽ストリーム

タスク抽出結果

◆ 音楽＋動き



ビデオ映像

比較 — 磐梯山おどり

師範による留め



自動抽出されたタスクモデル



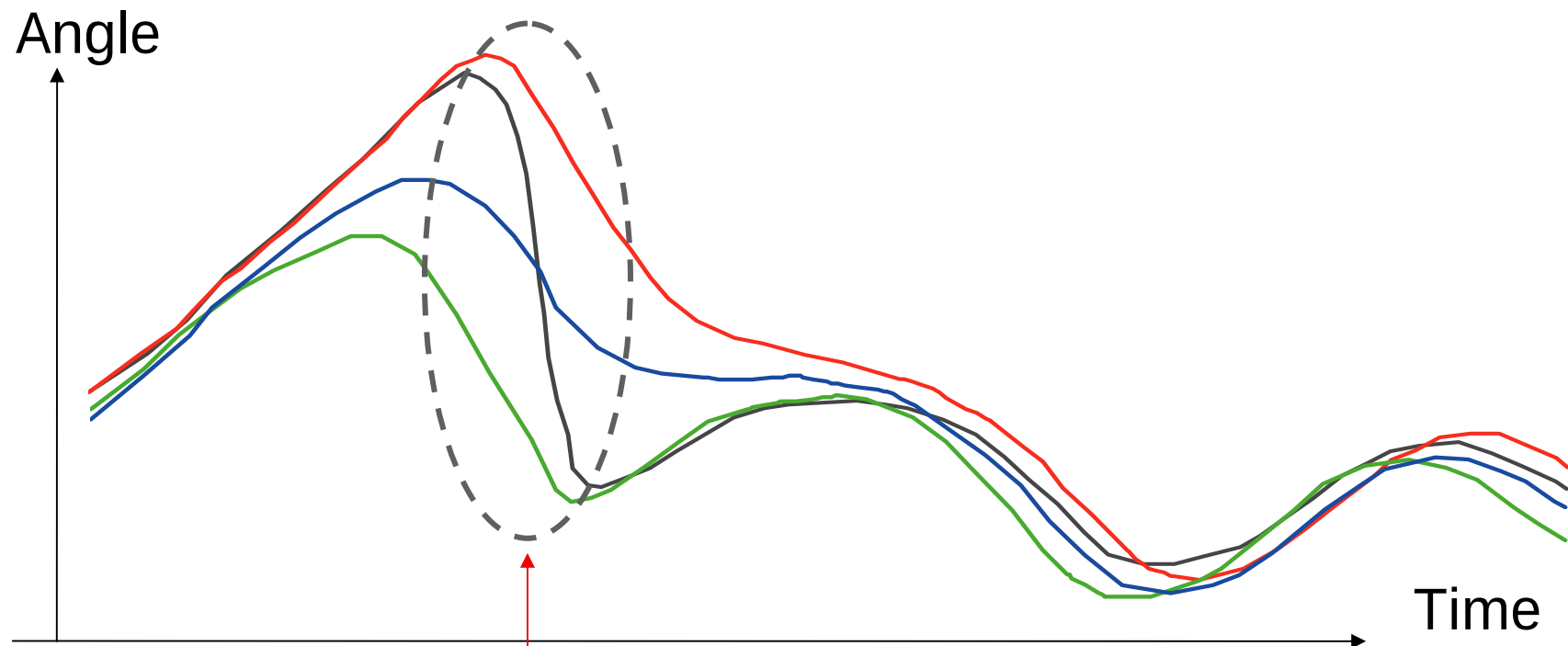
undetected



スキル生成

逆運動学： 観測マーカから関節角計算

フィルター： 前後のタスクをなるべく滑らかに

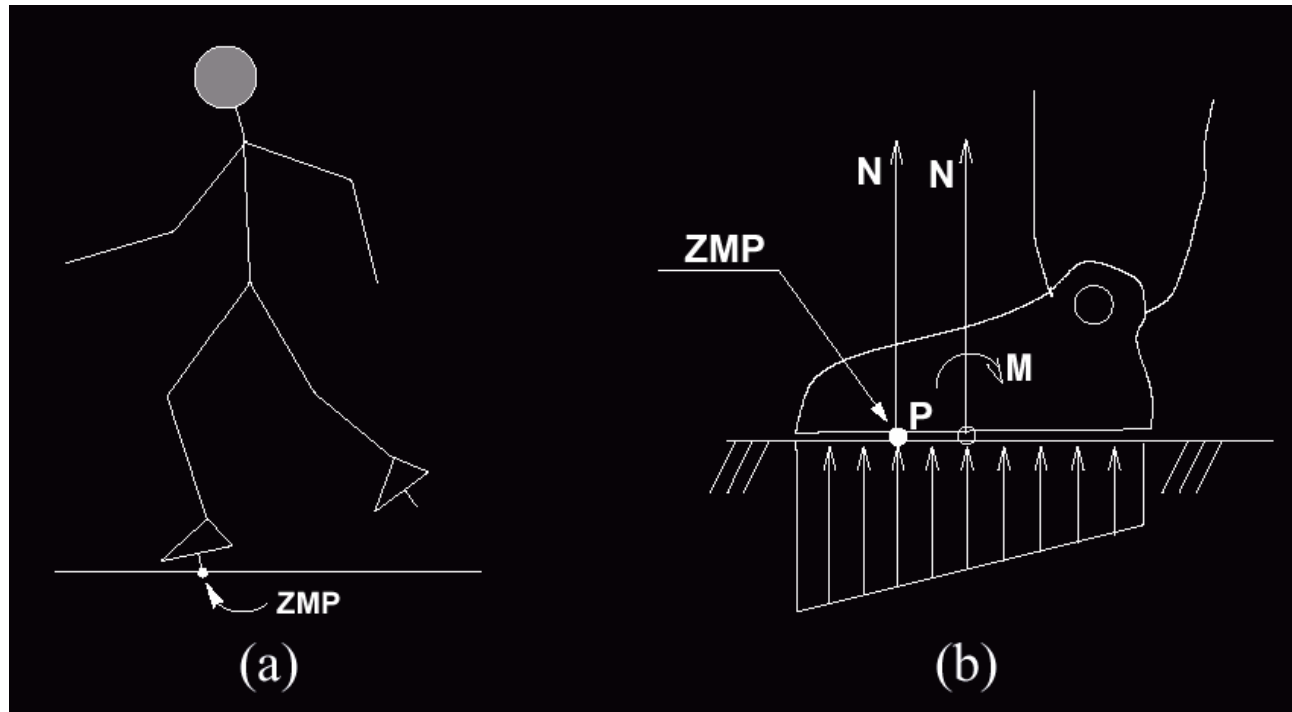


急激な動きをなるべく滑らかに

バランス調整

ZMP = Zero Moment Point

重心位置を慣性力で補正したもの
安定した姿勢のためには脚の境界内にある必要



ヒューマノイドロボットHRP-2の仕様



Dimensions	Height	1,540 [mm]
	Width	600 [mm]
	Depth	340 [mm]
Weight inc. batteries		58 [kg]
D.O.F.		Total 30 D.O.F.
		Head 2 D.O.F.
		Arm 2 Arms × 6 D.O.F.
		Hand 2 Hands × 1 D.O.F.
		Waist 2 D.O.F.
		Leg 2 Legs × 6 D.O.F.
Walking Speed		up to 2.0 [km/h]

(産業技術総合研究所・川田工業)



ビデオ映像

プロジェクトの意義

- ◆ 文化遺産の高度メディア空間への保存
- ◆ 文化遺産の高度メディア空間での修復
- ◆ 文化遺産の高度メディア空間への展示
- ◆ 画像処理・メディアコンテンツ化技術の開発

開発分野

- ◆ コストを意識する開発分野
若干閉塞感あり
- ◆ コストを無視する開発分野
 - ベンチマークシステム群
 - 工業技術のレベルを引っ張る

コストを無視する開発分野

- ◆ 軍事研究(米国の大学)

 - => 国家: 掛け替えのないものをまもる

 - => **日本の大学はやらない!**

- ◆ 掛け替えのない物のための開発分野

 - 人命
 - 宇宙船地球号(環境)
 - 民族のアイデンティティー: 文化

文化大国としての日本

- ◆ 文化をまもるための技術開発への国家予算の投入
- ◆ ベンチマーク工業技術の向上
ー＞閉塞感の打開
- ◆ 日本文化の発信 ー＞ 各国からの信頼

文化遺産メディアコンテンツ化

◆ 静的解析

- 幾何情報取得
- 光学情報取得
- 環境情報取得

◆ 動的解析

◆ コンテンツライブラリ

<http://www.cvl.iis.u-tokyo.ac.jp>

主なフアンディング

H9－H13: 文部省・学術創成・「人間主体のマルチメディア環境形成のための情報媒介システムの研究」(研究代表者 坂内正夫)

H12－H16: 科学技術振興機構・CREST・「文化遺産の高度メディアコンテンツ化の自動化手法」(研究代表者 池内克史)

H16－H20: 文部科学省・リーディングプロジェクト・「大型有形・無形文化財高精度デジタル化ソフトウェアの開発」(研究代表者 松山隆司)