

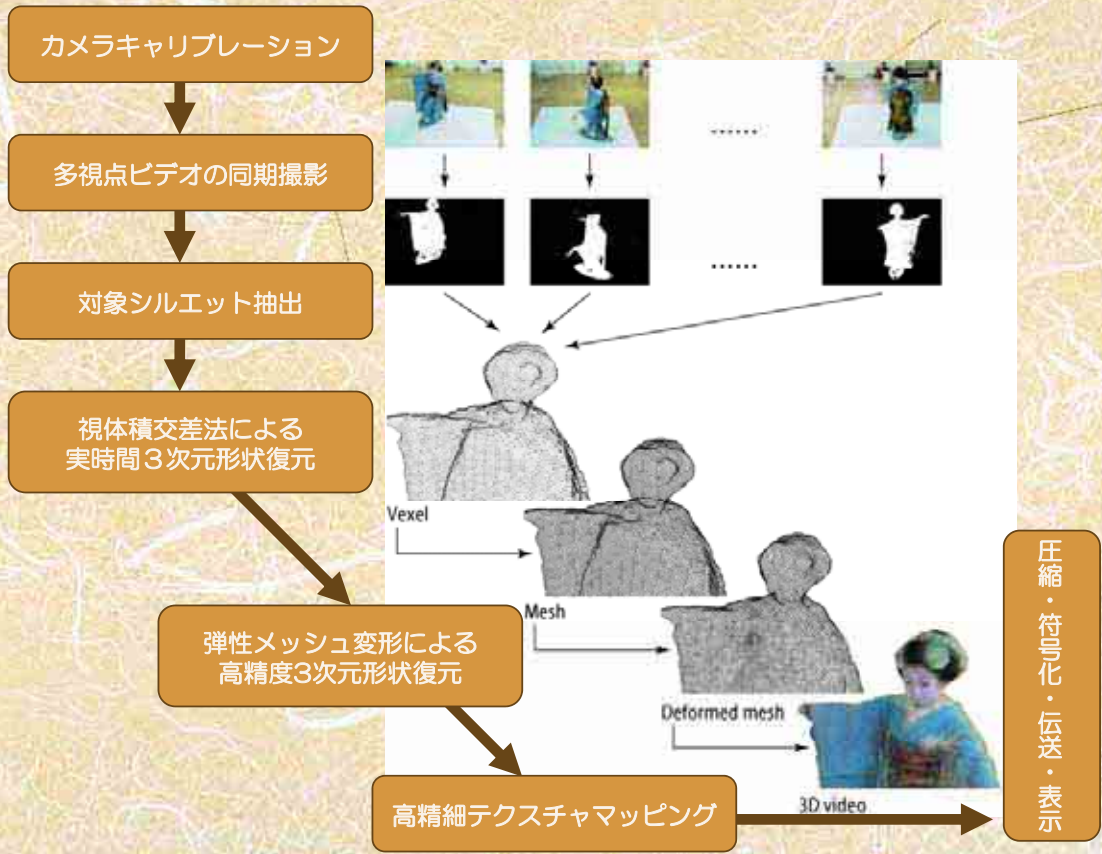
大型有形・無形文化財の 高精度デジタル化 ソフトウェアの開発

Development of High Fidelity Digitization Software
for Large-Scale and Intangible Cultural Assets

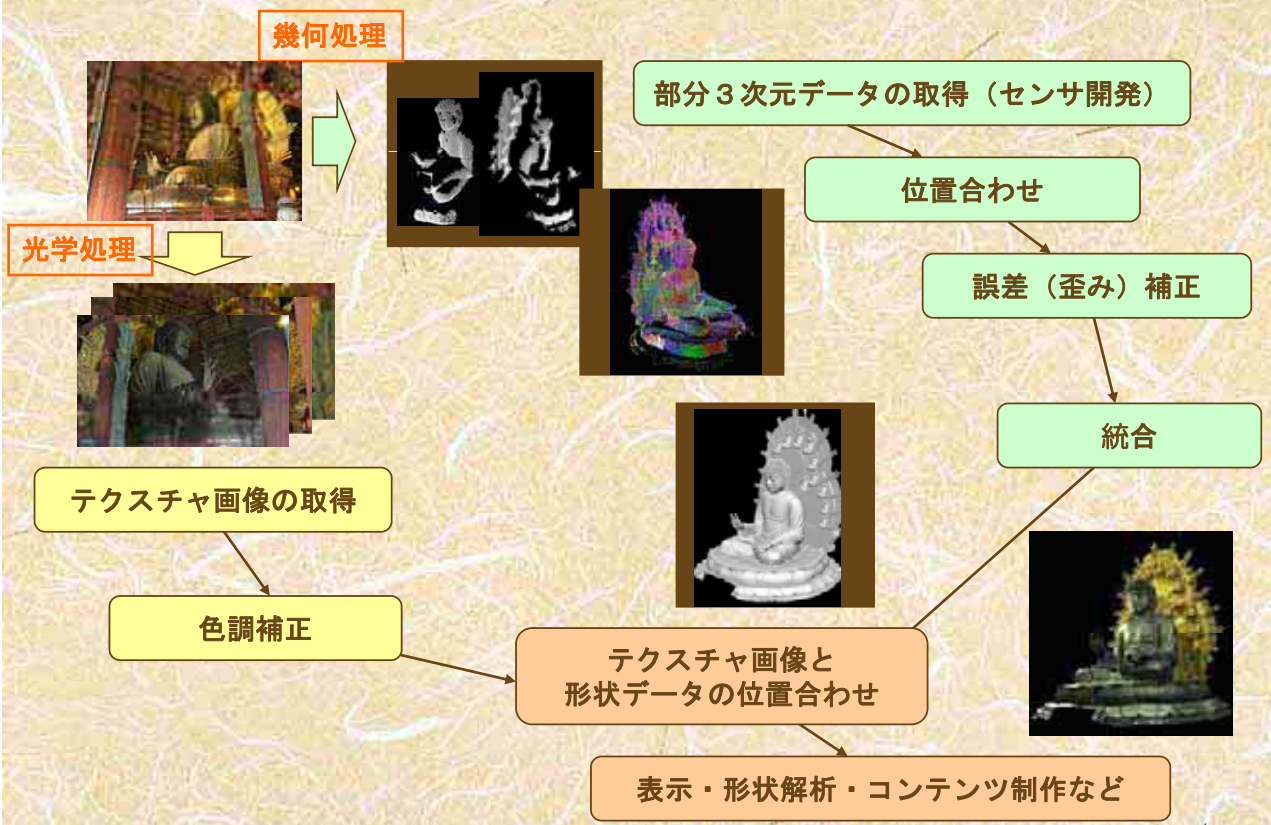
京都大学 東京大学
松山隆司 池内克史



無形文化財の高精度デジタル化ソフトウェアの構成

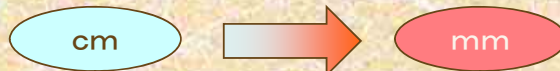


大型有形文化財の高精度デジタル化ソフトウェアの構成



研究開発目標と達成度

【1】 3次元形状計測精度の向上



【2】 処理可能データ処理量の飛躍的向上



【3】 計算速度の向上

大型有形文化財：500~1000倍の高速化
無形文化財：ビデオレート(30フレーム/秒)処理

【4】 画質の向上



【5】 同時撮影人物の複数化・撮影範囲の広域化



【6】 高効率符号化・編集・表示機能の実現



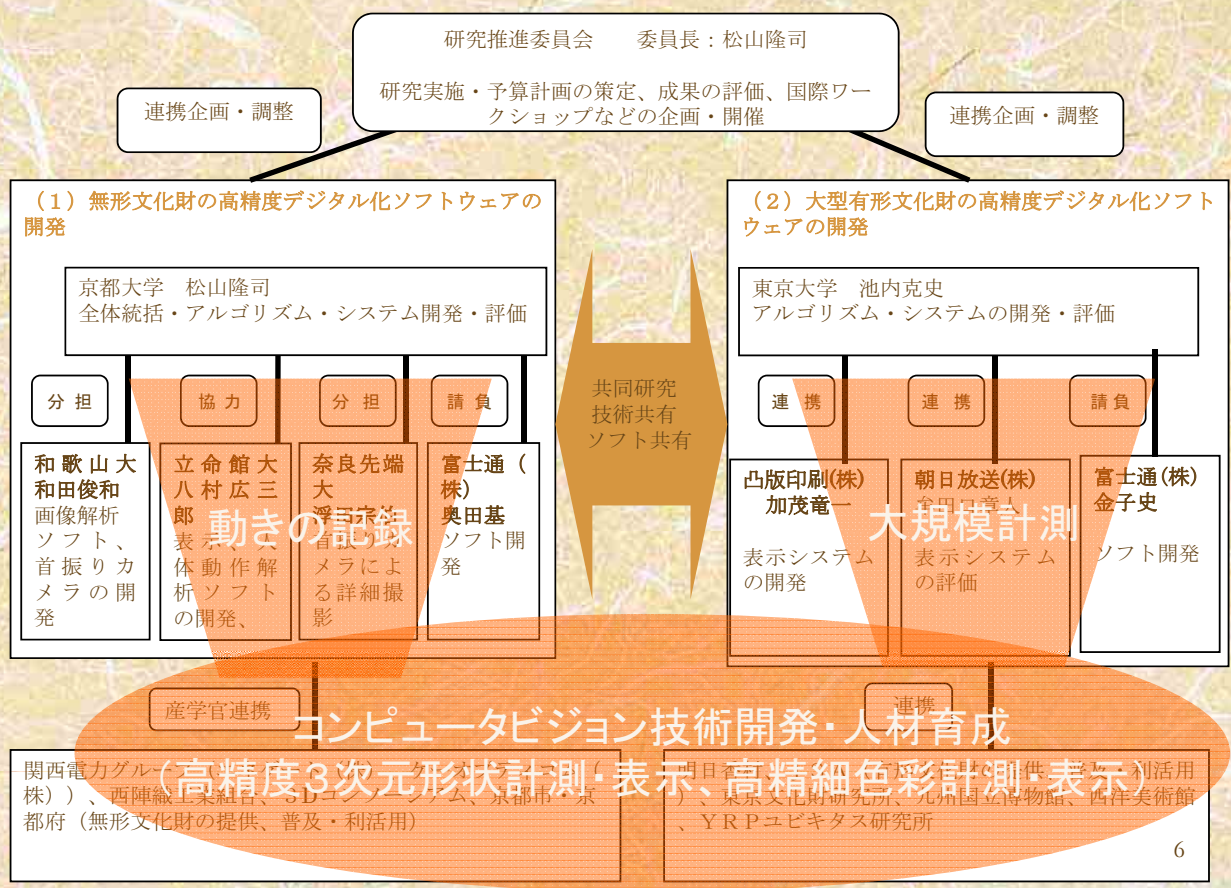
【世界初】
空中浮遊型
レンジセンサ

【世界初】
高精度
大規模
3次元モデル

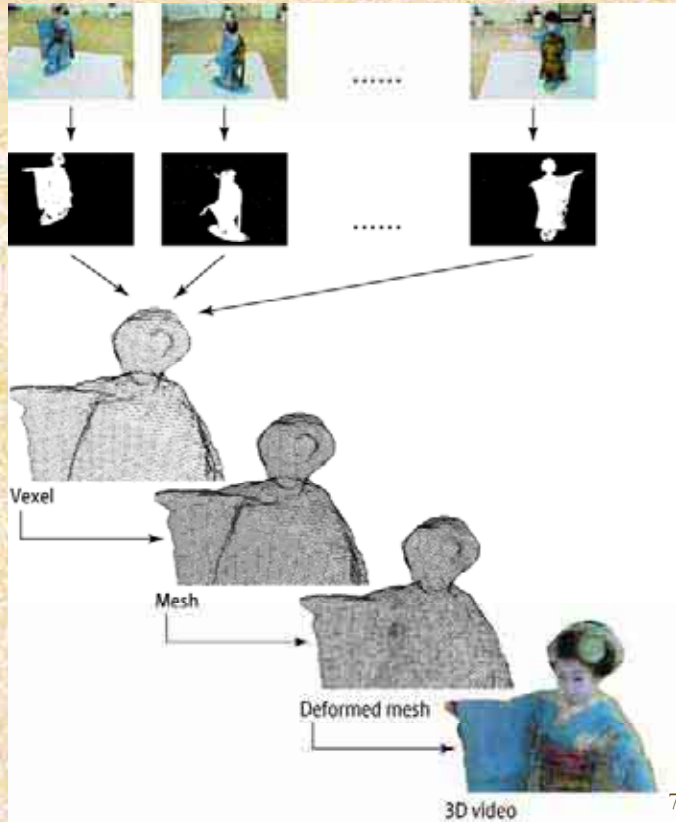
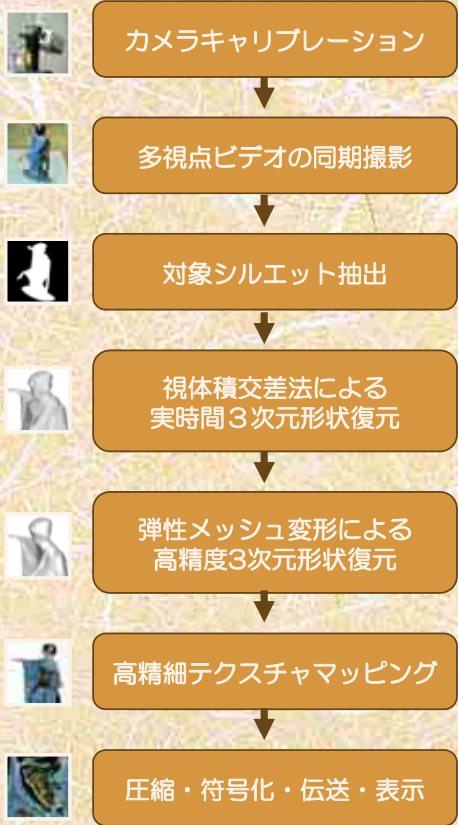
【世界初】
ビデオレート
3次元
形状復元

【世界初】
広域移動
対象の3次元
ビデオ撮影

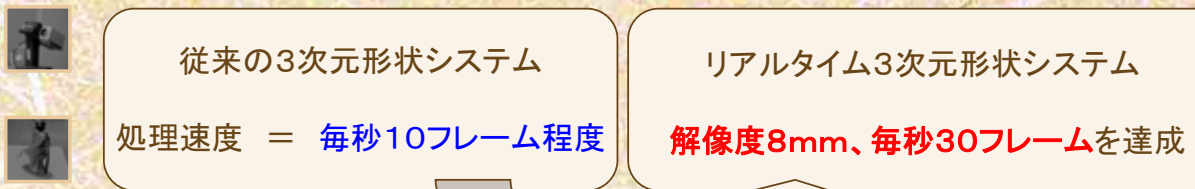
研究開発の実施体制



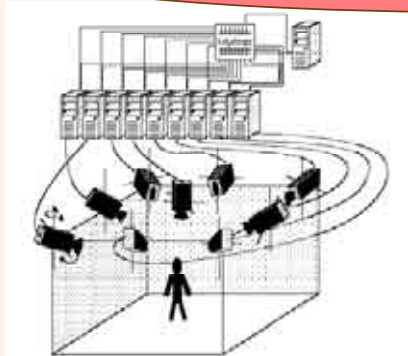
研究開発の獨創性、優位性（無形文化財のデジタル化）



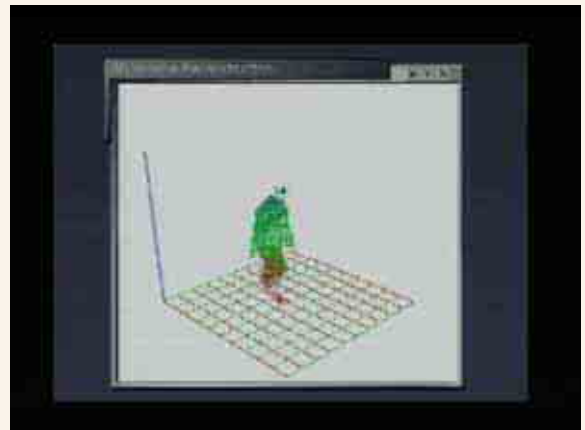
【1】PCクラスタを用いた人間動作のリアルタイム3次元形状復元技術(1)



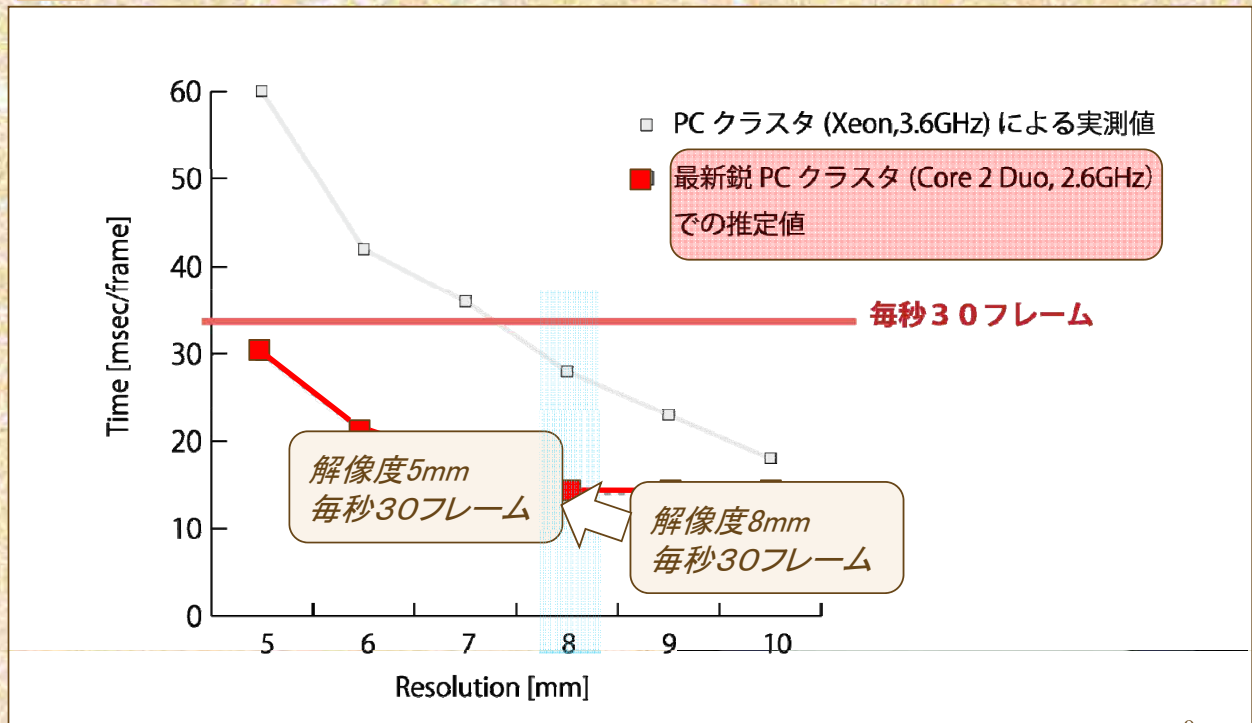
PCクラスタを用いた並列パイプライン処理ソフトを開発



- PCクラスタの計算機アーキテクチャまで考慮した並列パイプライン処理技術を開発
- 複数の企業へライセンス供与



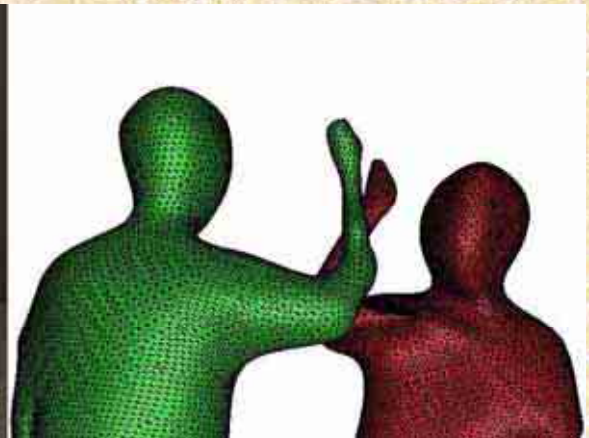
【1】PCクラスタを用いた人間動作のリアルタイム3次元形状復元技術(2)



【2】弾性メッシュモデルを用いた高精度3次元形状復元(1)



【2】 弾性メッシュモデルを用いた高精度3次元形状復元(2)
 【複数人物による複雑な動作の3次元復元】



複数人物の3次元形状・運動の同時復元

【3】 3次元ビデオのインタラクティブ表示ソフトウェア



3次元ビデオ表示ソフトウェア

- 高精細3次元ビデオ（最大数百万ポリゴン）のリアルタイム表示
- 実写全方位パノラマビデオ背景との同時表示



- ソースコード：
複数の企業へ有償ライセンス
- オブジェクトコード：
一般利用者への配布

高精細テクスチャマッピング

- 新アルゴリズム「Harmonized Texture Mapping法」を開発
 - 高精細映像表示
 - データ量の削減



従来手法

新手法

	従来手法	開発した手法
頂点数	107,406	654
ポリゴン数	214,816	1,000

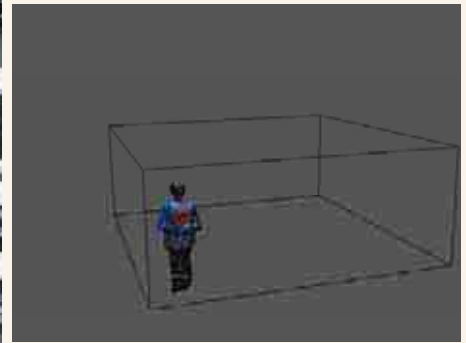
【4】首振りカメラ群による
リアルタイム複数人物追跡撮影に基づく3次元ビデオの生成



従来の撮影システム
カメラ **固定**
撮影可能範囲 **2m × 2m × 2m**

セル分割追跡撮影方式
カメラ **首振り機能**
撮影可能範囲 **10m × 10m × 2m**

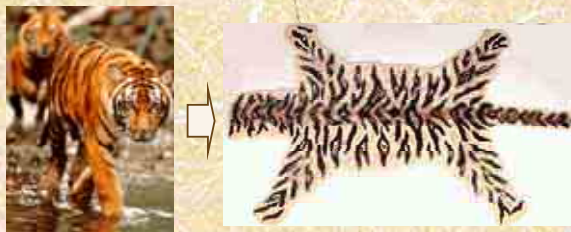
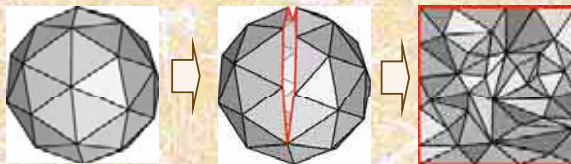
カメラに首振り機能を追加し、自動追尾撮影技術を開発



新規に開発した首振りカメラ 首振りカメラ群によるリアルタイム人物追跡撮影

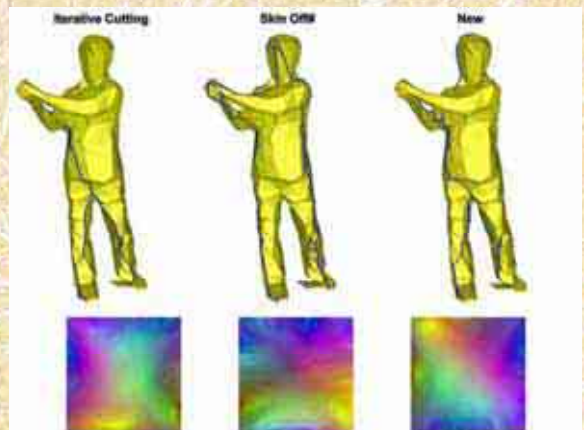
生成した3次元ビデオ

【5】3次元ビデオおよび全方位パノラマビデオの高効率符号化法



Skin-off

- (1) 3次元物体の表面に切れ目を入れる。
- (2) 切れ目から表面を開き、平面に延ばす。
- (3) 通常の2次元画像符号化を適用する。



3次元ビデオの安定な符号化
(点のXYZをRGBで表示)

大型有形文化財の高精度デジタル化ソフトウェアの構成



15

【6】高精度同時位置合わせアルゴリズムの開発

・高所、狭隘部用データ取得システムの開発



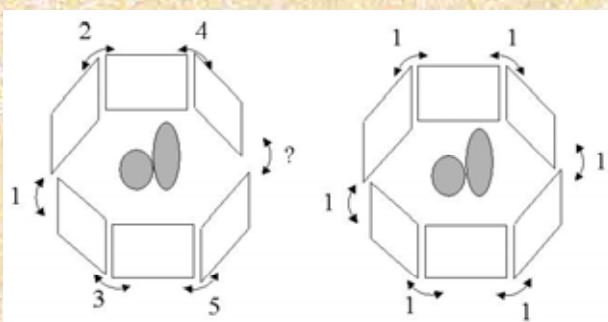
気球搭載型レンジセンサ



木登りセンサ

- ・距離歪み補正アルゴリズム
 - ・速度推定アルゴリズム
 - ・計測誤差補正アルゴリズム
- により**精度±1~3mmを実現**

・高精度同時位置合わせアルゴリズム

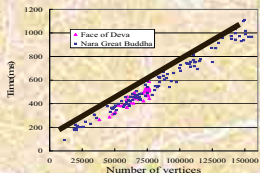


- ・複数距離画像を同時に位置合わせ
- ・十数メートルの物体でアルゴリズムの精度が1mm程度
- ・以降のソフトウェア開発の基本ソフト

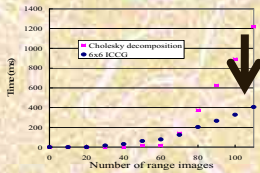
16

【7】高速位置合わせアルゴリズムの開発

GPUの効果
 $n \log(n) \Rightarrow n$
 n=100万 頂点で
19.93倍高速化



ICCGの効果
 $O(M^3) \Rightarrow O(M^{2.8})$
 M=1000枚で
5.2倍高速化

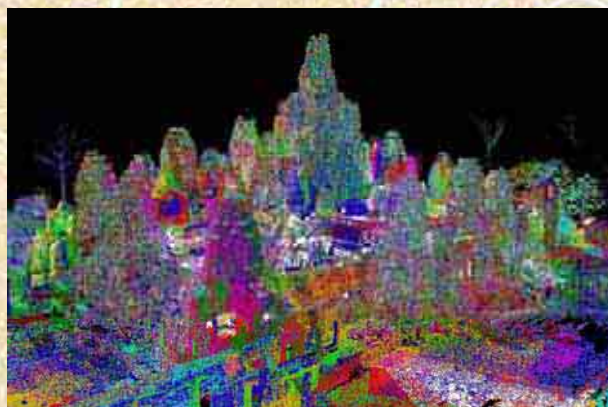


並列計算の効果

$$\text{計算時間} = \frac{1}{p}$$

P: CPU数

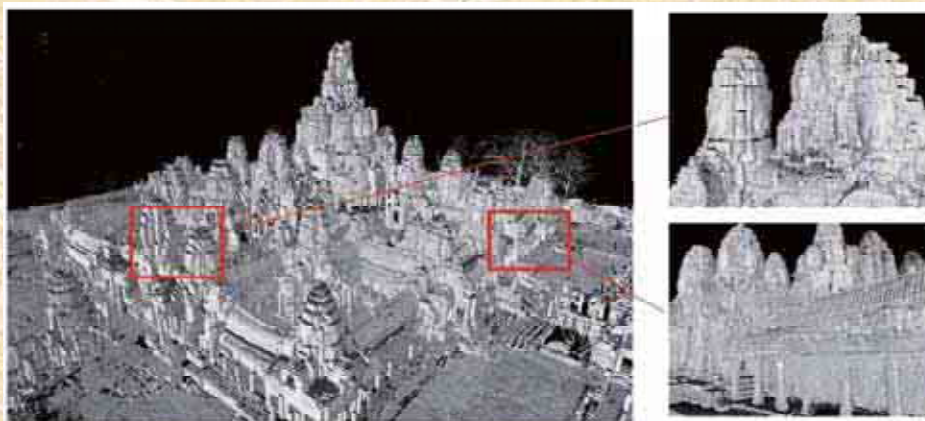
16CPUで11倍観測



• **19.93X5.2X11=1138倍の高速化**
 目標(500~1000)を上回る結果

• バイオン寺院データセット(1000枚以上)の位置合わせ成功

【8】大規模距離データ統合アルゴリズムの開発



- 表面合致法の基礎
- 並列処理アルゴリズム
- Gred kd-tree データ構造
- 数十メートル規模の文化財で1mm精度
- 150m×150m×40m 規模のバイオン寺院 計測全データセット(1000枚、0.1TB) 16ノード並列で7日間の計算で1cm精度の3次元幾何モデル作成

大型有形文化財のデジタル化では
 世界初の高精度3次元モデル

【9】 色彩画像・距離画像間高精度位置合わせアルゴリズムの開発



オリジナルの
色彩画像



幾何モデルと
色彩画像とを
位置合わせし
た結果



色彩情報が
はりついた幾
何モデル

- 色彩画像と距離画像との位置合わせ
- 色彩画像を取得した時のカメラ位置、パラメータを推定することに帰着
- 色彩画像のエッジと距離画像のエッジを対応させる
- 同一点に複数の色彩画像が対応する場合は最適なものを選ぶ

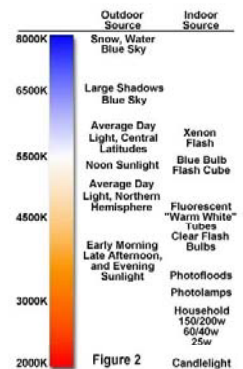


ロバストな位置合わせ手法を実現

【10】 画像間色彩調整アルゴリズムの開発



黒体光源仮定による異光源環境下の2枚の色彩画像から物体色推定法



黒体光源(ほぼ
全ての自然光
が近似可能)

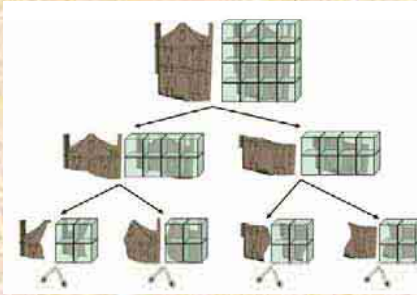


最終年度: 1枚の画像のみで物体色を推定するシステムの確立

【1 1】 高効率化表示・転送アルゴリズムの開発

- 階層型高速3次元モデル表示システム
 - 視点に応じてモデルの粗さを階層化し、高速化を実現
 - 1.6億ポリゴンのバイオン寺院データを10fpsで表示

階層化の原理図



バイオン寺院データ表示システムデモ



- 影付け平面を利用した実環境反映実時間レンダリングシステム
- 大規模3次元モデルへのタグ付け情報システム
- 表示画像のネットワーク配信システム

21

中間評価指摘事項への対応

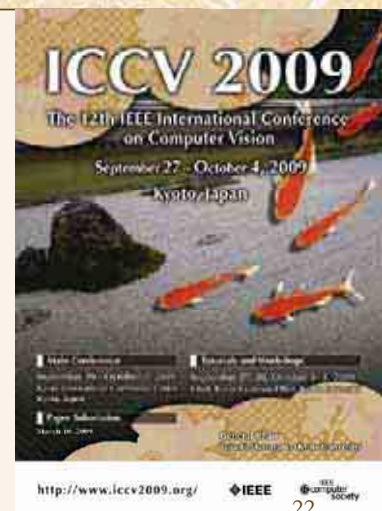
【中間評価での指摘事項】

今後は、**新規市場**、**国際連携**等への更なる展開も視野に入れながら引き続き研究開発を行い所期の目標を達成するとともに、プロジェクト終了後には体系化された**学術分野**や技術を実現し、よりインパクトの強い研究となることを期待する。



【国際連携】

- ・ 英国Surrey大学との継続的共同研究
- ・ 英国、フランス人ポストクの雇用
- ・ 日本人ポストクの英国Surrey大学への異動
- ・ 国際ワークショップ（カナダ・バンフ）
- ・ 第12回コンピュータビジョン国際会議の主催（ICCV2009 京都国際会館 2009.9.27～10.4）
- ・ ICCV2009でのワークショップ主催
- ・ インド文化遺産のデジタル化への協力
- ・ 中国政府等が計画中的のe-Heritageプロジェクトへの協力
- ・ 韓国KAISTグループとのワークショップの定期開催
- ・ UCバークレー校McKayからの招聘



22

中間評価指摘事項への対応（続き）

【新規市場・社会展開】

- ・映画製作への3次元ビデオ技術の提供
- ・一般人向け3次元ビデオ撮影・配信
- ・九州装飾古墳のコンテンツ化
- ・バイヨン寺院デジタルデータ展覧会の開催
- ・日本国政府アンコール遺跡救済チーム（J S A）への協力
- ・エジプト遺跡の学際的研究への協力
- ・「バーチャル飛鳥京」の開催
- ・先進モビリティ（ITS）連携研究センターとの連携
- ・東京へのオリンピック誘致活動への協力

【学術分野の創成】

- ・3D Cinemaに関する書籍の国際共同出版
- ・デジタル・ミュージアム事業の推進
- ・学会による講義DVDの製作・販売
- ・大学院セミナー用の教科書執筆（日、英）
- ・学部生向け授業「情報メディア表現論」の新設

23

独創性・優位性

【独創性・優位性】

- **世界初**のリアルタイム3次元形状復元（8mm、30フレーム/秒）の達成
- **世界初**の広域移動対象の自動追尾3次元ビデオ撮影の実現
- 可搬式3次元ビデオ撮影スタジオによる**いつでも、どこでも3次元ビデオ撮影**を実現（SCOPEプロジェクトとの共同開発）
- **従来は不可能であった**空中の任意視点からの距離画像を取得するシステムの開発という成果
- 150m四方、高さ40mのバイヨン寺院の3次元幾何モデルを1cm精度で取得するという、**大型有形文化財のデジタル化における世界初の成果**

【国際的外部評価】

- Int' l WS on Computer Vision Technology for High Fidelity Digitalization of Cultural Assets (2006年3月31日（金）～4月1日（土）、京都大学)にて高い評価を得た。
- ・ 12th International Conference on Computer Vision (2009年9月27日～10月4日、京都国際会館)を主催し、研究成果発表および実演デモ
- ・ デジタルバイヨンのCGムービー：SIGGRAPH ASIAのAnimation Theatreで採択・上映、アジアデジタルアート大賞で優秀賞を受賞。²⁴

人材育成

【施策】

① 国際研究集会・交流の継続的開催

- ◆ International Workshop on Computer Vision technology for High Fidelity Digitalization of Cultural Assets、2006年3月31日～4月1日 京都大学
- ◆ International workshop on recent trends in Computer Vision、2009年6月8～9日 京都大学
- ◆ The 12th International Conference on Computer Vision 2009年9月27日～10月4日 京都国際会館
- ◆ 英国Surrey大学との継続的人材交流（京都大学）
- ◆ 韓国KAISTとの合同ワークショップ2005年4月24日～27日（Dejjon）、2006年7月22日～23日（東京）、2007年11月19日（東京）、2009年1月10日（済州島）を毎年開催（東京大学）
- ◆ The 12th International Conference on Computer Vision における大型有形文化財のワークショップを主催

25

人材育成

【施策】

② 国際研究機関への長期派遣

- フランスINRIAおよびドイツHHIへのポスドク研究員、博士学生の派遣
- 中国北京マイクロソフト研究所へ、ポスドク研究者、博士学生を下記の通り長期派遣

ポスドク研究員A	2007年1月14日	～	2007年4月14日
ポスドク研究員B	2007年9月1日	～	2008年3月31日
博士学生A	2007年10月15日	～	2008年4月18日
博士学生B	2008年10月20日	～	2009年3月23日

③ 研究室の国際化

- 英国、フランス人ポスドクの雇用

26

人材育成

【効果】

博士学生の進路

・ 京都大学特認助教	1名
・ 京都大学特定助教	1名
・ 大手情報通信会社研究所研究員	1名
・ 映像コンテンツ制作会社技術員	1名
・ 国立情報学研究所准教授	1名
・ 広島市立大学准教授	1名
・ 東京大学特任講師	1名
・ 東京大学特任助教	5名
・ 産業技術総合研究所研究員	1名
・ 海外企業研究所研究員	1名
・ 映像コンテンツ制作会社	2名
・ 映像コンテンツベンチャー会社起業	1名

27

人材育成

【効果】（続き）

ポスドク研究員・若手教員の異動

- ・ 1名が京都大学特定助教に採用
- ・ 1名が2009年5月から英国Surrey大学へ研究員として赴任
- ・ 2008年からは、JSPSの外国人（フランス）研究員
- ・ 若手准教授が、2008年6月より英国研究所研究員に異動
- ・ 1名が奈良先端大学院大学准教授に採用
- ・ 1名が九州大学特任准教授に採用
- ・ 1名が広島市立大学講師に採用

28

学会・社会への情報発信活動

● 学術的成果

	16年度～20年度
受賞	11
招待講演・招待論文	19
書籍(分担執筆を含む)	4
英文論文	25
和文論文	46
解説・総説論文	9
国際会議論文	79
口頭発表	124

● 報道発表

	16年度～20年度
新聞	71
テレビ	34
雑誌・一般誌	9

● 国際ワークショップ・会議の開催

- ・Int'l WS on Computer Vision Technology for High Fidelity Digitalization of Cultural Assets, 2006/3/31～4/1, 京都大学
- ・International workshop on recent trends in Computer Vision 2009/6/8～9, 京都大学
- ・The 12th International Conference on Computer Vision 2009/9/27～10/4, 京都国際会館
- ・KAIST-UT ワークショップ2005/4/24～27, 2006/7/22～23, 2007/11/19, 2009/1/10

29

研究成果普及・社会展開

特許(5件)

- 3次元画像データ圧縮装置、該方法、該プログラム及び記録媒体、特願2004-358612
- 3次元画像データ圧縮装置、該方法、該プログラム及び記録媒体、PCT/JP2005/22686
- 分光測定データに基づく画像データの色変換システム、特願2005-160567
- 形状解析プログラム及び形状解析装置、特許出願:2007-211899, 出願日2007.8.15.
- インデックス画像を用いた複数距離画像の高速同時位置合わせ手法、特願2005-14837, 出願日2005.1.21.

ソフトウェアライセンス(19件)

管理番号	著作物の名称	ライセンス企業数
C003	多眼カメラによる大阪海遊館グレートバリアリーフ水槽内水中撮影映像	1
C004	多眼全方位パノラマカメラに関するプログラム	1
C005	3平面視体積交差法による実時間3次元形状復元ソフトウェア	2
C013	視点依存頂点ベーステクスチャマッピング法による3次元ビデオプレイヤープログラム	2
C014	ぬいぐるみに係る3次元ビデオ映像	1
C015	飛行船に係る3次元ビデオ映像	1
C016	十二単に係る3次元ビデオ映像	1
C022	視点固定型パン・チルト・ズームカメラによる対象検出	1
C023	非対称パラボラフィッティングによるサブピクセルマッチングプログラム	1

契約種類	名称	実施件数
著作物使用許諾契約	・ロダン彫刻「カレーの市民」3次元デジタルモデル	1
ソフトウェアライセンス契約	・画像処理装置および画像処理方法並びにこれらに用いるプログラム	2
著作権共有契約	・九州装飾古墳群(王塚古墳、弁慶穴古墳)の3次元データ ・九州日ノ岡古墳の3次元データ ・千金甲古墳に関するデジタル画像	2 1 1
譲渡契約	・位置合わせ処理装置、位置合わせ方法、プログラム、及び記憶媒体	1

このほか、研究機関向けには無償でソフトウェア、コンテンツを提供している。 30

他のプロジェクト等との連携協力

<p>国プロジェクト4件</p>	<p>(1) CREST研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究課題「映画製作を支援する複合現実型可視化技術」(代表: 田村秀行立命館大学教授)</p> <p>(2) 総務省SCOPE「和装文化振興を目的とした実写3次元映像のインターネット配信技術の研究開発」(代表者: 高岡良行エネゲート(株))</p> <p>(3) 科学研究費補助金「火山噴火罹災地域の地力回復過程の時空間的解析に関する研究」(東京工業大学)</p> <p>(4) 科学研究費補助金「エジプト, メンフィス・ネクロポリスの文化財保存面から見た遺跡整備計画の学際的研究」(代表: 吉村作治早稲田大学教授)</p>
<p>海外関連プロジェクト2件</p>	<p>(1) インド政府、Indian Institute of Technologyグループ、マイクロソフトリサーチ・インドの研究者が計画しているインドの文化遺産のデジタル化</p> <p>(2) 中国政府、北京大学、マイクロソフトリサーチアジアの研究者が計画しているe-Heritageプロジェクト</p>

31

他のプロジェクト等との連携協力

<p>企業3件</p>	<p>関西電力グループ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ケイ・オプティコム(株) 公開ネット配信実験 ・ エネゲート(株) 記念写真ビジネス <p>九州装飾古墳のコンテンツ化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 凸版印刷(株)
<p>その他6件</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 京都西陣織会館 ・ 日本国政府アンコール救済チーム(JSA) ・ 奈良県明日香村 ・ 東京文化財研究所、九州国立博物館(九州装飾古墳) ・ 西洋美術館, NHK(ウェル.com美術館) ・ 先進モビリティ連携研究センター

32

研究開発成果の有する中長期的な 経済的、社会的効果、社会的ニーズ

	経済的効果	社会的効果
無形文化財の 高精度デジタル化 ソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> ● 映画、TVゲーム ● 教育・学習ビジネス ● 記念写真ビジネス ● スポーツ練習システム ● 3次元テレビ放送 	<ul style="list-style-type: none"> ● 文化・芸術の振興に寄与 ● 教育・スポーツ分野への応用 ● コンテンツ創生・人材育成
大型有形文化財の 高精度デジタル化 ソフトウェア	<ul style="list-style-type: none"> ● 古墳・遺跡等のコンテンツ化 ● 美術館での映像ガイド ● カーナビゲーション用コンテンツ生成 ● マンション販売市場 ● 災害シミュレーション市場 ● 動物骨格標本等のモデル化を通しての系統分類 	<ul style="list-style-type: none"> ● 遺跡観光産業への寄与 ● 国際協定に基づく世界遺産保存・修復活動による友好関係の構築