

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23700152
 研究課題名（和文）デジタルミュージアム実現のための直接タッチ可能な実物大展示システムに関する研究
 研究課題名（英文）A Research on the Direct-touchable Real Scale Exhibition System for the Digital Museum Realization
 研究代表者
 脇田 航（WAKITA WATARU）
 立命館大学・情報理工学部・助教
 研究者番号：80584094

研究成果の概要（和文）：

デジタルアーカイブ化された文化財をより自然な形で展示するには、直接インタラクション可能なシステムを実現する必要がある。しかしながら、鑑賞者がデジタル文化財にインタラクション可能な範囲は触力覚デバイスの構造およびグリップの可動範囲に大きく依存するため、システムのマルチスケール化および、より高い没入感を得るためのシステムの大型化が大きな課題となる。また、いかに視触力覚提示において提示精度を落とさずリアルタイム性を確保するかが課題となる。そこで本研究では、大型で立体的な織物文化財を対象とした展示システムの開発を行った。

研究成果の概要（英文）：

To represent large digital archived cultural artifacts more naturally, a directly interactive large-scale visuo-haptic exhibition system and a technique which enables real-time processing of large data are necessary. Therefore, we modeled by 2D texture-base method, from geometry information of the object for decoration by 3D measurement, and developed an exhibition system which enables directly interaction to the stereo-scopic vision of the digital cultural artifact.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ

1. 研究開始当初の背景

近年、日本における博物館の役割や、博物館を取り巻く環境が大きく変化しつつある。情報通信（ICT）技術の急速な進歩に伴い、美術品や歴史資料を収集・保存し、展示・研究するだけでなく、コンピュータビジョン（CV）技術、人工現実感（VR）技術等により、多感覚情報を用いて文化財を多面的にデジタルアーカイブ化し、文化財（モノ）の色や形、質感等を高忠実・高精細に再現したり、ICT 技術や拡張現実感（AR）技術等により、

博物館の運営支援や、モノだけでなく、モノにまつわるコトを重畳表示するといった、展示支援や教育的利用としての期待が急速に高まりつつある。しかしながら、このようなデジタルミュージアムに関する研究は海外では国を挙げて精力的に取り組んでいるのに対し、日本は遅れているのが現状である。このため、文化財を多感覚で直接的に展示するためのインタフェース技術や、間接的に展示するための高精細計測・モデリング技術、リアルタイムかつ高忠実・高精細な展示技術

等の確立ができれば、デジタルミュージアムの実現は大きく進展する。

2. 研究の目的

デジタルミュージアム実現のために必要な技術課題として、(1)非接触方式で貴重な文化財の形状や質感を計測し、画像解析に基づき、多感覚情報を用いて多面的かつ高精細にモデル化するデジタルアーカイビング技術、(2)実物大かつ等身大スケールで展示された文化財モデルに直接タッチ可能な高臨場・高没入型展示インタフェース技術、(3)計測ベースでアーカイブ化された文化財モデルを多感覚情報を用いてリアルタイムかつ高忠実・高精細に再現するための提示技術、(4)文化財モデルとのリアルタイムかつ高精細な多感覚インタラクション技術、が重要であると認識するに至った。そこで本研究では、デジタルミュージアム実現のため、重要文化財を非接触で計測し、視覚情報だけでなく、触力覚などの多感覚情報を用いて多面的にモデル化し、実物大・等身大スケールでリアルタイムかつ高精細に文化財を提示するだけでなく、直接触ったり、手にとって重さや形、触感を感じながら、様々な方向からインタラクティブに観賞するといった、直接インタラクション可能な高臨場感・高没入感を伴う展示インタフェースを実現する。また、文化財の形状、色、質感などを効率よく計測・モデル化し、多感覚で提示するためのフレームワークを確立する。

3. 研究の方法

本研究では、京都祇園祭をテーマとしたデジタルミュージアム実現のため、非接触方式で文化財の形、反射特性、質感を多感覚情報を用いて多面的に計測し、画像解析に基づいて文化財をテクスチャベースでモデル化し、実物大かつ等身大スケールで展示された文化財の立体映像に直接タッチ可能な高臨場感・高没入感を伴う展示インタフェースを実現し、鑑賞者の視点や視線に応じて文化財モデルを自然に提示しつつ、両手多指で文化財の形や重さ、触感等をリアルタイムかつ多感覚でインタラクション可能な手法を実現する。また、非接触方式で文化財の形状、反射特性、質感等を多感覚情報で多面的に計測・モデル化・提示するための効率的なフレームワークを確立する。

(1)直接タッチ可能な実物大の文化財展示システムの実現：

実物大の文化財モデルを展示可能なインタフェースを実現し、鑑賞者の視点や視線に応じて自然に文化財モデルを提示しつつ、鑑賞者の指先に触力覚提示デバイスを取り付け、文化財の三次元立体映像に直接タッチ可

能な手法を研究する。

・鑑賞者の視点・視線に応じた実物大文化財モデルの視覚提示手法の実現

実世界の鑑賞者の視点及び視線を計測し、仮想空間内のカメラの位置及び方向と一致させることにより、鑑賞者の動きに応じて実物大の文化財モデルの三次元立体映像を様々な角度や距離から自然に鑑賞可能な視覚提示手法を研究する。

・実物大の文化財モデルに直接タッチ可能な触力覚提示手法の実現

鑑賞者の視点・視線に応じた視覚提示手法を拡張し、糸ベースの力覚提示装置 SPIDAR を用いて実世界の鑑賞者の指先位置を計測し、仮想空間内の指先位置と一致させることにより、鑑賞者の視点や視線に応じて描画された文化財の三次元立体映像に直接タッチ可能な力覚提示手法を研究する。また、ユーザの指先に振動モータを取り付け、文化財モデル表面をなぞった時の微小な凹凸感の提示や、指先が文化財表面に触れた瞬間、指先で押さえているとき、指を離れたとき等の触感を提示可能な触力覚提示手法の研究を行う。

(2)非接触方式による祇園祭の文化財の計測：

平成 23 年の祇園祭終了後、船鉾保存会の収納庫の改修工事のため、収納庫に保管する文化財を長期間外部に移動する計画が予定されている。この機を利用し、レーザレンジスキャナによる三次元形状計測を行う。

(3)画像解析に基づくテクスチャベースの触力覚モデリング及びレンダリング手法の実現：

・画像解析に基づくテクスチャベースの多感覚モデリング

レーザレンジスキャナを用いて得られた文化財表面の三次元の点群データから、三次元形状モデルを作成する。次に、マルチバンドカメラ等を用いて得られた画像データから、画像解析に基づき、文化財モデルの反射特性や表面の微小構造等を抽出し、二次元画像化する。また、抽出したデータをもとに、文化財表面の色、反射特性、微小凹凸、ザラザラ感やツルツル感といった質感を推定し、形状モデル表面にマッピングし、テクスチャベースでモデル化する。

・画像解析に基づくテクスチャベースの多感覚レンダリング

画像解析に基づいて作成したテクスチャベースのモデルを三次元立体視し、表面の形

状やザラザラ感やツルツル感といった質感を多感覚でレンダリング可能な手法を提案し、有効性や正当性の検証を行う。

4. 研究成果

(1) 直接タッチ可能な実物大の文化財展示システムの実現：

デジタルアーカイブ化された文化財をより直観的に文化財を展示するには、直接見て触ることが可能な展示インタフェースが必要である。そこで、実物大の文化財モデルを展示可能なインタフェースを実現し、鑑賞者の視点や視線に応じて自然に文化財モデルを提示しつつ、鑑賞者の指先に触力覚をフィードバックすることで文化財の三次元立体映像に直接タッチ可能な手法の研究を行った。

・鑑賞者の視点・視線に応じた実物大文化財モデルの視覚提示手法の実現

立体ディスプレイにより提示される VR 映像は、観賞者の位置や視線方向によっては VR 世界と実世界との座標系にズレが生じてしまう問題がある。そこで本研究では、視覚提示装置に HMD を用い、HMD の位置・姿勢を 6DOF で計測することにより、視覚提示への影響や座標系のズレ・解像度の問題への解決を試みた。

図 1 にシステムの概略図を示す。



図1. ヘッドトラッキング可能な展示システム

観賞者は、8本の糸が取り付けられたリング状のバンドを HMD とともに装着し、各モータのエンコーダで計測した糸の長さをもとに頭に装着したリング状のバンドの位置および姿勢を計算する。この情報をもとに VR 空間におけるカメラの位置および方向制御を行うことにより、観賞者の位置や視線に応じた視覚提示を行う。

図 2 に観賞者の位置や視線に応じた視覚提示結果を示す。



図2. ヘッドトラッキングによる提示結果

通常、触力覚デバイスと VR 空間の座標軸は異なるため、画面上に表示されている仮想物体に自然に触れるためには、デバイス空間におけるグリッパ先端位置を仮想空間におけるカメラの位置や向きに合わせる必要があるが、本システムにおいては、指先位置とユーザの視点および視線方向の座標系は同一のデバイス座標系であるため、この処理を行う必要はなく、直接的に仮想物体に触れることが可能である。現状、様々な方向から仮想物体を見て触ることが可能であるが、HMD の視野角が狭いため、やや没入感に欠ける問題がある。また、システム自体が大きくなりすぎると、視点の移動および回転のズレが大きくなる問題がある。

・実物大の文化財モデルに直接タッチ可能な触力覚提示手法の実現

本研究ではマルチスケールに対応しやすい糸ベースの力覚提示装置 SPIDAR および三次元立体視可能なディスプレイを用いてデジタル文化財に直接タッチ可能な視触力覚インタフェースの実現を行った。図 3 に開発した展示システムを示す。



図3. 直接タッチ可能なシステム

(2) 非接触方式による祇園祭の文化財の計測：

平成 23 年の祇園祭終了後、船鉾保存会の収納庫の改修工事のため、収納庫に保管する文化財を長期間外部に移動する計画が予定された。本研究では、この機を利用し、立体的な織物文化財に限定してレーザレンジスキャナによる三次元形状計測を行った。

動く美術館とも呼ばれる京都祇園祭の山鉾巡行では、色鮮やかな装飾品等で飾られた 32 基の山と鉾が市内を練り歩く。山鉾に飾られる装飾品には金糸、木綿、ガラス、フェルト等の様々な材料による色鮮やかな刺繍が施されており、質感も非常に複雑である。中でも、船鉾の懸想品の多くには綿が詰め込まれているため、非常に起伏の激しい立体的な構造となっている。また懸想品のほとんどが 1m×3m 程の大きなものが多く、分割して計測したデータを最終的に 1 つに統合する際に非常に手間がかかることが予想される。

そこで我々は、統合処理のしやすさを考慮した三次元織物文化財の計測システムの構築を行い、様々な材料に応じてレーザー強度を多段階に変化させてレーザーレンジスキャナによる三次元計測を行った。図4に構築した懸想品の三次元計測システムを示す。

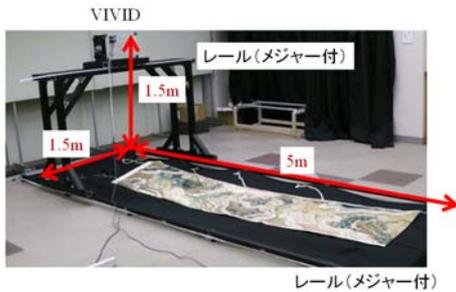


図4. 懸想品の三次元計測システム

三次元計測にコニカミノルタの VIVID910 を用いた。VIVID910 は1回のスキャンで 640 × 480 点の距離データとカラー画像の計測を行うことができる。測定入力対象設置範囲は 0.6~1.2m となっており、レンズは TELE/MIDDLE/WIDE の三種類がある。本計測においては最も焦点距離の大きい TELE レンズを用いた。また、今回の計測では船鉾本体や車輪等のような立体的なものではなく、平面的かつ表面が立体的な織物のみを対象とした。また、計測後の統合処理をできるだけ簡略化するため、撮影対象は動かさず、図4に示すように、床にレールを敷き、その上を車輪付きの台車を乗せて左右に動かせるようにし、台車の上にも VIVID を乗せるための車輪付きの台車を設けて前後左右に動かせるようにした。また、レール部分に巻尺を貼り付け、メモリの値を記録しつつ、台車を左右に 20cm ずつ、前後に 15cm ずつずらしながら計測を行った。

図5はレーザー強度を 7~220 の範囲で 17 段階変化させて計測したものである。

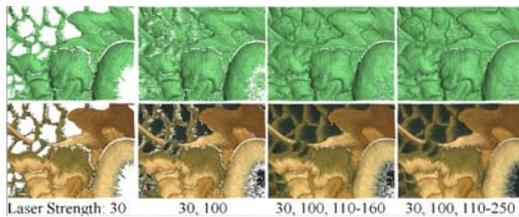


図5. 多段階レーザー強度による計測結果

(3) 画像解析に基づくテクスチャベースの触力覚モデリング及びレンダリング手法の実現：

・画像解析に基づくテクスチャベースの多感覚モデリング

レーザーレンジスキャナを用いて得られた文化財表面の三次元の点群データから、三次元形状モデルを作成した。次に、マルチバンドカメラ等を用いて得られた画像データから、画像解析に基づき、文化財モデルの反射特性や表面の微小構造等を抽出し、二次元画像化し、また、抽出したデータをもとに、文化財表面の色、反射特性、微小凹凸、ザラザラ感やツルツル感といった質感を推定し、形状モデル表面にマッピングし、テクスチャベースでモデル化を行った。

計測した各データを統合する際、位置合わせと重複点除去による統合処理が必要である。統合処理は三次元空間内でボクセルベースで行うことが一般的であるが、本研究では二次元平面的にレーザーレンジスキャナをスライドさせながら計測を行ったため、計測した三次元点群データを一旦オルソ画像に変換した後、画像ベースで位置合わせを行うことにより、統合処理にかかるコストを削減した。

先に述べたように、懸想品は様々な材料で構成されており、レーザー強度を変更しながら1個所につき何度も計測を行っているため、重複点が多数存在する。また、計測の際、CCDカメラによるカラー画像の計測も同時に行っており、計測した各点群データにはカラー画像の UV 座標が格納される。このため、同一の UV 座標を持つ点群は重複点とみなし、隣接点との距離以外のものはノイズとして除去し、残った点群の位置ベクトルの平均を重複点除去後のデータとした。次に、穴が空いている部分の近傍の点群データの高さ情報から穴埋め補間を行い、補間した点に新たな UV 座標を割り当てた。

次に、全点群データを等間隔のボクセル内に格納し、各ボクセルに対して隣接ボクセルとの位置ベクトルの差から表面勾配および高さ変化の計算を行い、高さマップおよび法線マップのオルソ画像を出力した。また、UV 座標に対応する色情報からカラーマップのオルソ画像を出力した (図6参照)。

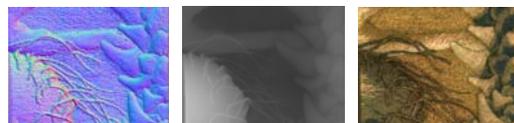


図6. オルソ画像の出力結果

次に、出力した全オルソ画像から画像ベースでの位置合わせを行った。計測した時の観測点の情報からある程度の位置合わせを行い、隣接画像とのピクセルの一致度から詳細に位置合わせを行った (図7参照)。

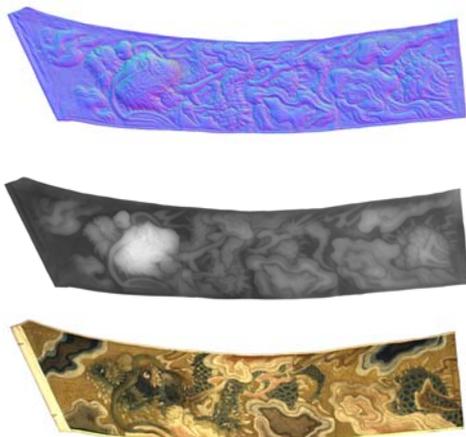


図7. 位置合わせ結果

・画像解析に基づくテクスチャベースの多感覚レンダリング

本研究では、リアルタイム性の確保を行うため、ジオメトリベースで計算を行うのではなく、あらかじめ幾何情報を画像に変換した高さマップ(図7中央)および法線マップ(図7上)をそれぞれマッピングした平面モデルを用いて触力覚の計算を行う。

まず、SPIDARを用いて仮想物体の立体映像に自然に直接接触するためには、デバイス空間における指先位置と立体映像を投影する仮想空間との位置関係を一致させる必要がある。このため、指先位置をユーザの視線(カメラ空間)に合わせて仮想空間内の座標に変換する。

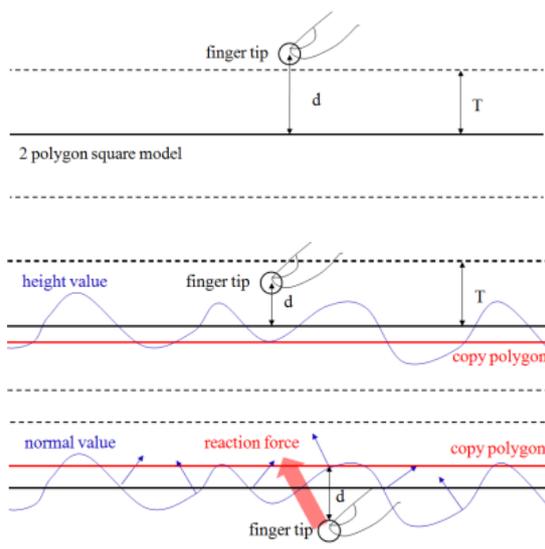


図8. テクスチャベースの触力覚提示法

次に、指先が平面モデルに接触するかどうかの判定を行い、接触しそうな場合、平面モデルを複製し、高さマップに応じて複製した平面モデルの高さを変動させる。次に、複製した平面モデルに指先が触れた際、指先の侵入量および交点に対応する摩擦、硬さパラメータに応じて反力を計算し、法線マップに依

じた方向に反力を振動させる(図8参照)。これにより、画像に応じた表面凹凸や質感を低コストに表現できる。本手法を開発した展示システムにおいて使用したところ、力覚提示装置 SPIDAR の各糸の張力制御により、表面の凹凸、硬さ・摩擦の違いをリアルタイムに表現することができた。小さなスケールで展示する場合は、図3のようなシステムが有効である。しかしながら、さらに大型化する場合、糸の張力制御が困難となるため、等大で展示する際は図1、図2のようなHMDによるシステムが有効であると考えられる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

- ① 著者名 : Wataru Wakita, Masaru Tsuchiday, Shiro Tanaka, Takahito Kawanishi, Kunio Kashino, Junji Yamato, and Hiromi T. Tanaka, 論文標題 : High-resolution and Multi-spectral Capturing for Digital Archiving of Large 3D Woven Cultural Artifacts, 雑誌名 : Lecture Notes in Computer Science, 査読 : 有, 巻 : 7729, 発行年 : 2013, ページ : 83-93
DOI: 10.1007/978-3-642-37484-5_8
- ② 著者名 : Wataru Wakita, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki, and Hiromi T. Tanaka, 論文標題 : A Realtime and Direct-touch Interaction System for the 3D Cultural Artifact Exhibition, 雑誌名 : Lecture Notes in Computer Science, 査読 : 有, 巻 : 6774, 発行年 : 2011, ページ : 197-205
DOI: 10.1007/978-3-642-22024-1_22
- ③ 著者名 : Wataru Wakita, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki, and Hiromi T. Tanaka, 論文標題 : A Texture-Based Direct-Touch Interaction System for 3D Woven Cultural Property Exhibition, 雑誌名 : Lecture Notes in Computer Science, 査読 : 有, 巻 : 6469, 発行年 : 2011, ページ : 324-333
DOI: 10.1007/978-3-642-22819-3_33
- ④ 著者名 : Kazuyoshi Nomura, Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, and Hiromi T. Tanaka, 論文標題 : A Development of a 3D Haptic Rendering System with the String-Based Haptic Interface Device and Vibration Speakers, 雑誌名 : Lecture Notes in Computer Science, 査読 : 有, 巻 : 6469, 発行年 : 2011, ページ : 316-323
DOI: 10.1007/978-3-642-22819-3_32

- ⑤ 著者名：脇田 航，田中弘美，論文標題：同一力覚デバイスによるテクスチャベースの摩擦力計測・モデル化・提示システムの開発，雑誌名：電子情報通信学会論文誌D，査読：有，巻：J94-D，発行年：2011，ページ：814-820

〔学会発表〕(計11件)

- ① 発表者名：脇田 航，田中弘美，発表標題：デジタルミュージアム実現のための間接的展示技術，学会等名：電子情報通信学会 MVE 研究会，発表年月日：2013年1月23日，発表場所：京都大学（京都府）
- ② 発表者名：Wataru Wakita, Masaru Tsuchida, Junji Yamato, and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：Digital Archiving and Large-scale Visuo-haptic Display of Large 3D Woven Cultural Artifacts, 学会等名：The 19th International Display Workshops in conjunction with Asia Display 2012 (IDW/AD '12), 発表年月日：2012年12月6日，発表場所：国立京都国際会館（京都府）
- ③ 発表者名：Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：A Multi-scale and Direct-touchable Immersive Visuo-haptic Interface, 学会等名：The 8th Joint Workshop on Machine Perception and Robotics (MPR2012), 発表年月日：2012年10月17日，発表場所：九州大学（福岡県）
- ④ 発表者名：脇田 航，赤羽克人，一色正晴，田中弘美，発表標題：大型立体的織物文化財の没入型 VR 展示システム，学会等名：第17回日本バーチャルリアリティ学会大会，発表年月日：2012年9月14日，発表場所：慶應義塾大学日吉キャンパス（神奈川県）
- ⑤ 発表者名：Wataru Wakita, Masaru Tsuchida, Shiro Tanaka, Takahito Kawanishi, Kunio Kashino, Junji Yamato, and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：High-definition and Multispectral Capturing for Digital Archiving of Large 3D Woven Cultural Artifacts, 学会等名：ACM SIGGRAPH 2012, the 39th International Conference and Exhibition on Computer Graphics and Interactive Techniques, 発表年月日：2012年8月7日，発表場所：ロサンゼルス（アメリカ）
- ⑥ 発表者名：Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：Digital Archiving of Large 3D Woven Cultural Artifacts, 学会等名：Eurographics 2012, the 33rd Annual Conference of the European

Association for Computer Graphics, 発表年月日：2012年5月15日，発表場所：キャリアリ（イタリア）

- ⑦ 発表者名：脇田 航，田中弘美，発表標題：立体的織物文化財の多感覚デジタルアーカイブ，学会等名：情報処理学会人文科学とコンピュータシンポジウム「じんもんこん 2011」，発表年月日：2011年12月11日，発表場所：龍谷大学大宮キャンパス（京都府）
- ⑧ 発表者名：Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：3D Digital Archive of the Large 3D Woven Cultural Artifact, 学会等名：The 13th IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV2011), 発表年月日：2011年11月9日，発表場所：バルセロナ（スペイン）
- ⑨ 発表者名：脇田 航，田中弘美，発表標題：立体的織物文化財のリアルタイムかつ直接的 VR 展示システム，学会等名：電子情報通信学会 MVE 研究会，発表年月日：2011年10月14日，発表場所：稚内総合文化センター（北海道）
- ⑩ 発表者名：Wataru Wakita, Katsuhito Akahane, Masaharu Isshiki, and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：A Multi-scale and Multimodal Direct Interaction System for the 3D Cultural Artifact Exhibition, 学会等名：The 6th International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, HAID 2011, 発表年月日：2011年8月25日，発表場所：立命館大学びわこくさつキャンパス（滋賀県）
- ⑪ 発表者名：Wataru Wakita and Hiromi T. Tanaka, 発表標題：A Real Object Oriented Haptic Rendering Method, 学会等名：The 6th International Workshop on Haptic and Audio Interaction Design, HAID 2011, 発表年月日：2011年8月25日，発表場所：立命館大学びわこくさつキャンパス（滋賀県）

〔図書〕(計1件)

- ① 著者名：田中弘美，脇田 航，尹新，土田 勝，坂口義之，出版社名：ナカニシヤ出版，書名：デジタルアーカイブの展開（八村，田中編）第7章：有形文化財の視触覚モデリングと呈示，発行年：2011，担当ページ：108-134, 280-309

6. 研究組織

(1) 研究代表者

脇田 航 (WAKITA WATARU)

立命館大学・情報理工学部・助教

研究者番号：80584094