

研究課題別評価

1 研究課題名：次世代電子商品取引のための質感再技術の構築

2 研究者氏名：津村徳道

3 研究の狙い：

商品の色や質感は、商品の印象を大きく左右する重要な要素の一つである。開発段階においては、色や質感は、形状と同様に、数値的な値ではなく実際に物体を観察することでのみ評価されることが多い。形状に関しては、モックアップを作成したり、コンピュータグラフィックスによる表示により試作前のある程度評価は可能である。しかし、色や質感に関しては、その表示デバイス依存性、照明環境依存性や、色や質感の正確な表現技術の未成熟さ等から試作前の評価は困難であり、開発サイクルにおけるボトルネックとなっているケースが多い。したがって、商品の色や質感を予測し、人間の目に観察される画像として正確に再現することが現在求められている。さらに、異なる場所(地域)に所在を持つセクションが、ネットワークを介して協調し、商品開発を短いサイクルで実現するためには、ネットワークを介した色や質感の正確な伝送が必要となる。色や質感は観察者の照明などの環境に大きく依存するため、異なる環境下間の色や質感の正確な再現が求められている。

本研究課題では、色や質感の記録と再現に関する新しい学問領域として質感工学を立ち上げ、その要素技術とその応用に関わるフレームワークに関してまず考察する。さらにその考察に基づき具体的な事例研究を行う。なお、ここでは、商品開発を例に質感工学に関わるフレームワークを説明するが、これは、電子商取引や電子美術館、遠隔医療、化粧品評価など多様な応用に適用することが期待される。

4 研究成果：

(1)これまでの質感工学の考察とフレームワークの構築

製品開発においては、材料に手を加えることにより試作品が作られ、それをある照明下で人間が観察し、製品の質感を評価する。評価結果がプロセスや材料にフィードバックされ、試作品の改善が行われる。しかし、この過程には多大な労力と時間を要し、開発サイクルのボトルネックとなっている。本研究課題では、これまでの質感工学を考察し、コンピュータグラフィックス、コンピュータビジョン、コンピュータネットワークとの関係をまとめて、一つのフレームワークとして下記のようにまとめた。

1.1 コンピュータグラフィックスと質感工学

コンピュータグラフィックス(CG)技術を用いることで、実際に材料から試作することなく、計算機内で加工し、表示デバイスに画像として商品の色や質感が表示することができる。この時、3D形状を作成し、表面の反射特性を付加する処理をCGではモデリング(Modeling)と呼ぶ。計算機内で構築された3D物体に、光線追跡などにより計算機内で照明をあて、仮想カメラで撮影する処理をレンダリング(Rendering)と呼ぶ。

これまで光線追跡などによるリアルなレンダリングには大変な時間を要した。そのため見る角度を変化させたり照明条件を変化させて観察することは困難であった。(リアルさに乏しいCGでは可能であった。)しかし、近年グラフィックボードに搭載されるグラフィック・プロセッシング・ユニット(GPU)の進化が目覚しく、ビデオレート程度の速さで、異方性や羽毛感などの様々な反射特性、さまざまな周囲照明環境下の画像を再現することが可能となった。これによりGPUに与える制御プログラミングが複雑になったが、2003年よりCg(C for Graphics)などGPU用の高級言語が開発され、一般にも大変利用しやすくなってきている。今後、CGを利用した質感工学はますます発展

すると思われる。また、これまでCGにおいては、R、G、Bの3色と透明性を決めるの4つの色属性のみで計算されてきた。しかし、周囲照明による色の变化や、物体間の相互反射など抽象的な4つの色属性のみでは十分に再現できない。そこで、色の物理情報である分光情報を利用するSpectral Renderingの機運がCGの分野でも近年活発になりつつある。

1.2 コンピュータビジョンと質感工学

CGを用いたリアルな再現技術が近年急速に充実してきた。しかし、モデリングには多大な時間を要し、また実物の製作は可能であるがプロセスを計算機で書き出すことが不可能な場合も多々ある。たとえば、化粧品開発において顔画像のモデルは非常に重要であるが、実際の顔のようにリアルなものは容易に作成できない。また、個人にカスタマイズした忠実なモデリングなど不可能に等しい。そこで、撮影された画像または画像群から3次元形状や反射特性を推定するImage Based Modelingが、1990年代後半から活発に研究され実用化されてきた。画像から再構成されたモデルに異なる視点、異なる周囲照明下での画像をレンダリングすることで簡易にリアルな画像を合成することができる(Image Based Rendering)。これらは画像からシーンを解析するコンピュータビジョン(CV)の技術を応用したものである。

インバースレンダリングは撮影された画像群から照明や視線の影響のない物体固有の反射特性や3D形状を復元する過程である。インバースモデリングは、さらにその反射特性や3D形状を生成する要素に分解する過程である。物体固有の反射特性や3D形状を復元することにより、様々な環境下での画像、反射特性を変化させたときの画像を予測することが可能である。さらにインバースモデリングにより材料特性まで分解することにより、その材料を変化させた場合の画像の予測が可能となる。

1.3 コンピュータネットワークと質感工学

近年の開発プロセスにおいて、距離による時間短縮のためネットワークを介して遠隔で評価することが求められている。さらに、電子商取引や遠隔医療ではこれが必修の要求となる。この時、観察する環境により表示デバイスの特性や、周囲環境が異なる。したがって、これらを考慮した色と質感の再現技術が必要となる。表示デバイスの特性では、その特性に応じて感じる光沢感や透明感が異なるため、デバイスに依存しない光沢感や透明感の再現が必要である。有効な輝度のダイナミックレンジ圧縮も求められている。また、周囲環境光の変化による色の見えの変化に対しては正確な色再現が必要となる。

(2) 質感工学の事例研究 : 次元印刷色校正システム (質感工学とコンピュータグラフィックス)

一般に、現在のB to B電子商取引システムによる印刷色校正では、測色的に正確に色再現された色見本画像を使用している。色見本画像は特定の光源・視線方向における色情報であり、実際の印刷色見本の光沢感を十分に伝えることができない。この問題を解決するために、印刷色見本の偏角分光反射特性を取得し、実際の色見本を眺める時のように様々な光源・視線方向における色見本の再現画像をコンピュータ・グラフィックス技術により作成することが求められている。コンピュータ・グラフィックス技術を用いることにより、さらに、周囲環境光を考慮した3次元印刷された商品の質感を再現することが期待されている。

印刷色見本のように表面反射光が強い物体の再現画像はダイナミックレンジが非常に高く、ディスプレイ装置のダイナミックレンジ以上となることが多い。このような再現画像をディスプレイ装置に表示するためにはダイナミックレンジの圧縮が必要であり、測色的色再現を適用することはできない。この問題に対して従来のレンジ圧縮は、図1に示す従来法のように、色や陰影が変化し、印刷色校正のための再現画像としては不十分であった。

そこで本研究では、表面反射成分と内部反射成分を分離し、表面反射成分のみをレンジ圧縮し、さらに空間的なざらつきとして感じる小粗面の影響を考慮した印刷色見本の相対的光沢感再現を

実現した。図1にその結果を示す。従来法に比べて与える光沢感の程度の順番が入れ代わらず、かつ色再現性に高い画像が生成されている。

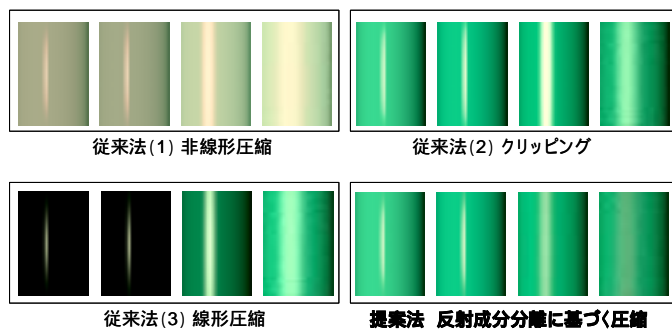


図1 従来法と提案法によるレンジ圧縮結果

(3) 質感工学の事例研究 : 画像に基づく顔画像の解析・合成法 (質感工学とコンピュータビジョン)

肌色の再現は、写真や印刷の分野において従来からもっとも重要であるとされてきた。近年、カメラ付携帯電話、TV電話、メイクアップアドバイスシステム、遠隔医療システムなどの新しい画像システムの登場により、ますます肌の色の再現は、画像コミュニケーション、メイクアップアドバイス、遠隔医用診断等の多種の応用のために重要となっている。たとえばカメラ付き携帯電話で撮影された顔画像を恋人に送信するときには、できるだけ好ましい肌色で再現されることを人々は望む。このような肌の色に関する付加的な処理は、e-コスメティック(電子化粧)と呼ぶことができる。

カメラ付き携帯電話やデジタルカメラに付属のソフトで行われる美白処理等のほとんどは、画像を明るくしたりする階調変換がほとんどである。この場合、変換された画像は、現実には存在しない肌色になることが多い。欧米人とは異なりアジア人は、化粧に対して自然な肌色の変化をもとめる傾向がある。すなわち、化粧とは、現実には存在しえる好ましい肌色を、化粧品を塗布することにより作り出すことといえる。人間の肌色は、表皮に存在するメラニン色素、真皮に存在するヘモグロビン色素によりほとんど決定される。これらの成分にしたがって肌色を変化することにより自然な好ましい肌色を再現することが可能であると考えられる。

そこで、本研究では、メラニン色素とヘモグロビン色素を考慮した物理特性と皮膚生理に基づく画像処理による e-コスメティック手法を開発した。オリジナル画像は、偏光板を組み合わせることで、肌の表面のみで反射される表面反射成分と色素により吸収された後反射される内部反射成分とに分離される。偏光版を用いない場合は精度が落ちるが、コンピュータビジョンの技術を用いて表面反射成分と内部反射成分を分離する。得られた内部反射成分は、陰影除去法を組み込んだ独立成分分析法により、ヘモグロビン成分、メラニン成分、陰影成分に分離される。抽出されたヘモグロビン成分、メラニン成分において、皮膚生理学的画像処理が行われ、変化した成分は再び合成され画像を得ることができる。

(4) 質感工学の事例研究 : 表示デバイスや視環境に依存しない物体の光沢感再現法 (質感工学とネットワーク)

表示デバイスに依存しない画像再現としては、sRGB のように標準色空間を使用したり、ICC Profile のようにデバイスのプロファイルを記述する手法が一般的であった。しかしこれらの手法では、照明などの視環境が限定されており、各デバイスの特性を予め計測する必要があるため実用的な手法ではない。また、表示デバイスに依存しない色再現については考慮されているが、色

に次いで重要とされる光沢感再現に関しては考慮されていない。

そこで本研究では、光沢感に着目し、表示デバイスや視環境に依存しない光沢感再現方法を提案した。Ferwerdaらは物体の持つ物理的特性のうち、色・偏角反射特性と人間が知覚する光沢感の関係をモデル化した。本研究では、Ferwerdaらの手法を拡張し、デバイスの最大輝度・物体の偏角反射特性と人間が知覚する光沢感の関係をモデル化することにより、異なる最大輝度を持つデバイス間における最大輝度に依存しない光沢感再現方法を実現した。図2に光沢感モデルを作成する際に用いた画像の例を示す。デバイスの最大輝度 I 、光沢成分の強度、広がりを制御するパラメータ A_s, n を変化させている。

図2に示すような評価画像を、20名の被験者に光沢感 G に関して評価してもらった結果を統計処理することによって図3に示すような等光沢感曲面(図では曲線)を得ることが出来る。図3は、説明のため I, A_s, n の3次元空間の中から $n = 0.027A_s + 0.005$ の面を切り出して表示している。図4に、得られた等光沢感曲面を利用して異なる輝度をもつデバイス間の光沢感を補正した結果をしめす。図4(a)は輝度の高いディスプレイに表示された原画像、図4(b)は、原画像をそのまま輝度の低いディスプレイに表示した場合である。原画像に比べて対象の光沢感が低く感じられる。図4(c)は、原画像と同じ光沢感を与えるように図3に示す等光沢感曲線上を維持したまま、デバイス輝度 I の変化に従って、光沢感パラメータ A_s, n を変化させた場合の補正画像である。原画像に近い光沢感を再現できている。

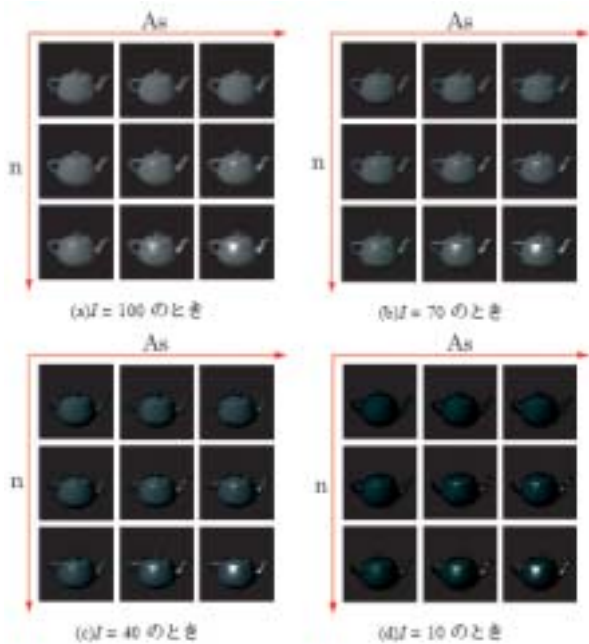


図2 光沢感のモデル化に用いた評価画像の例

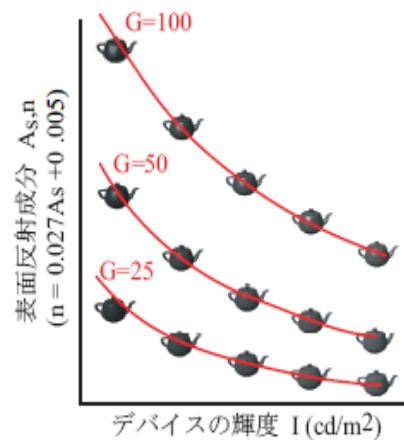


図3 等光沢感曲線

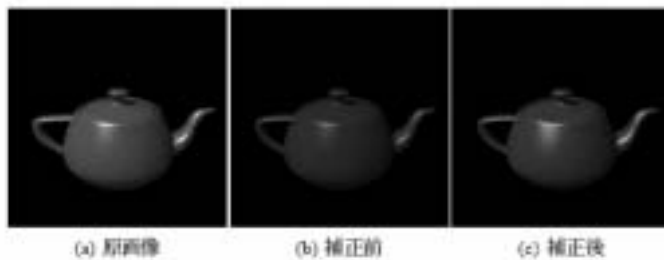


図4 等光沢感曲線を利用した異なる輝度をもつデバイス間の光沢感再現

(5) その他の質感工学の事例研究成果

本評価では割愛したが、本研究では質感の記録に関して、図5に示すように回転式ロボットアームを用いて光源を任意の位置に配置するシステムを構築し、撮影対象に応じて適応的に光沢などの質感情報を撮影するシステムを開発した。本システムで撮影した質感画像情報をDirectXを用いてディスプレイに表示し、その再現評価を行っている。一方、すでに撮影された単一画像に対しても表面反射成分と内部反射成分をインタラクティブに分離することにより、光沢感を制御する手法を提案し、図6に示すような光沢感制御GUIを作成している。また他に、入力された画像に対して、光沢感の以外に、半透明感を光の散乱特性を考慮することにより制御する手法を提案している。

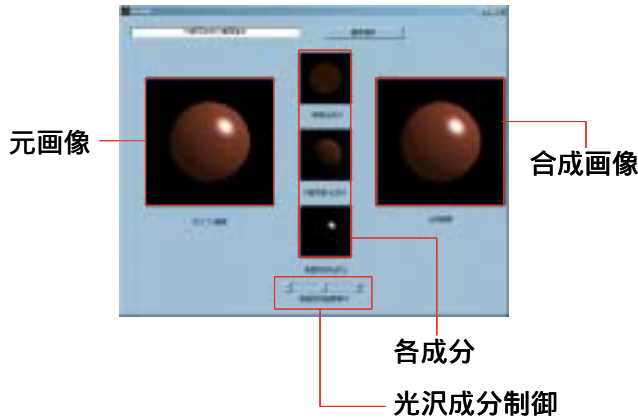
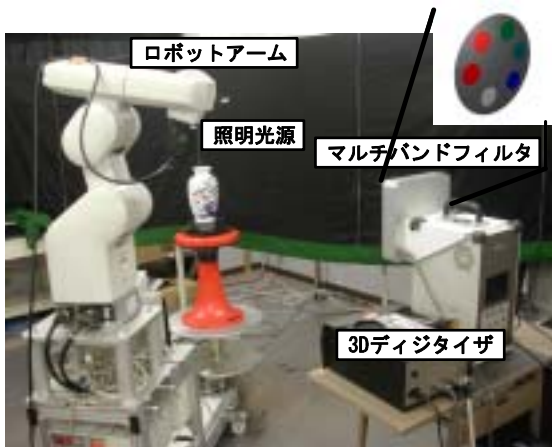


図5 適応的偏角分光イメージングシステム

図6 単一画像に対する光沢感制御GUI

5 自己評価:

さきがけプログラムに採用いただいたことにより、これまで入手困難であった質感計測のための計測装置を購入、または開発することができた。これにより得られた計測データを利用し、研究成果で述べたように質感工学の構築のために作成したフレームワークに関係する幾つかの事例研究を行うことが出来た。

色、光沢感、透明感などの物体の質感を、顧客のディスプレイ上に正確に配信する技術の構築を行うために当初の研究計画では下記の3点を主として挙げていた。(1)各デバイスは、その色再現域、最大輝度、ダイナミックレンジが異なるため、物理的に物体の輝度を再現することは不可能である。そこで、順応などの視覚特性を考慮した適応的な再現を行う。(2)順応などの視覚特性は、コンピュータグラフィックスを用いた再現画像を用いて、実際に主観評価実験と行い、心理

物理量である尺度空間内でモデル化を行う。(3)さらに、顧客の要求にインタラクティブにサーバ内で再現画像をレンダリングする必要があるため、複数のコンピュータを用いた並列・分散処理による質感再現のための配信サーバ・アーキテクチャの研究・構築を行う。上記の(1)(2)に関しては、映像メディア学会誌に採録された論文に示すように、十分な成果が得られた。(3)に関しては、情報処理学会で発表するなどある程度の成果を挙げたが、個人研究者のみでは、実用的な配信サーバ・アーキテクチャを構築することができず、アイデアの提示と非常に簡単なデモ実験をおこなう程度となった。

しかし、実用的な配信サーバ・アーキテクチャを構築する代わりに、作成したフレームワークに基づき複数の実用的な事例研究を行い、それぞれが十分に実用的な成果を挙げていることは高く評価できる。また、実用的な事例研究に必要な質感の記録に対しても研究を注力し、アーカイブ応用としては偏角分光画像計測装置を開発し、光沢感の正確な記録とその再現方法の有効性を実証した。

色や質感は、人間の評価のもとに存在する属性であり、様々な環境によって人間の感じる色や質感は変化しうる。本研究課題では、一方では、合成画像を作成し最終的な評価を人間にゆだねるアプローチをとり、また、一方では多くの主観評価結果の統計解析の結果、人間に感じる光沢感のモデル化に迫った。人間の評価は大変奥が深い。人間に評価をゆだねる部分と、人間の評価をモデル化する部分のバランスを絶妙なセンスで保つことがこの分野の安定な今後の発展に重要と考えている。

6 研究総括の見解:

色や質感に関しては、その表示デバイス依存性、照明環境依存性、色や質感の正確な表現技術の未成熟さ等からその正確な再現が困難であった。津村研究者は、色や質感の記録と再現に関する新しい学問領域として質感工学を立ち上げ、その要素技術と応用に関わるフレームワークを作成した。そして、その考察に基づき「3次元印刷色校正システム」、「画像に基づく顔画像の解析・合成法」など複数の事例研究を行い、質感工学の有効性を示した。招待講演も多く、この研究は実用価値の非常に高い研究であると思われ、電子商取引や電子美術館、遠隔医療、化粧品評価など多様な応用に利用されることが期待できる。

7 主な論文等:

論文(原著論文)

1. Koichi Takase, Norimichi Tsumura, Toshiya Nakaguchi and Yoichi Miyake, Fast Estimation Algorithm for Calculation of Reflectance Map based on Wiener Estimation Technique, OPTICAL REVIEW Vol.12, No.1 pp.20-24(2005).
2. 津村徳道, 池田哲男, 三宅洋一, 表示デバイスや視環境に依存しない物体の光沢感再現法, 映像情報メディア学会誌, Vol.58. No.9, pp.1324-1329(2004).
3. Norimichi Tsumura, Nobutoshi Ojima, Kayoko Sato, Mitsuhiro Shiraishi, Hideto Shimizu, Hirohide Nabeshima, Syuuichi Akazaki, Kimihiko Hori, Yoichi Miyake, Image-based skin color and texture analysis/synthesis by extracting hemoglobin and melanin information in the skin, acm Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 3.pp. 770-779(2003). (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003)

査読付き国際会議論文

1. Takashi Sugaya, Koichi Takase, Toshiya Nakaguchi, Norimichi Tsumura, Yoichi Miyake, Chiba University Hideto Motomura, Super Resolution Based on Texton Substitution, ACM

- SSIGGRAPH 2004 Poster (2004.8.10,11, LA)
2. Norimichi Tsumura, Nobutoshi Ojima, Toshiya Nakaguchi, Yoichi Miyake, "Empirical model of skin diffuse reflectance for skin color analysis," 2004 ICO International Conference Optics & Photonics in Technology Frontier, pp.117-118, Chiba, Japan, July, 2004.
 3. Koichi Takase, Norimichi Tsumura, Toshiya Nakaguchi, Yoichi Miyake, "Rapid BRDF estimation method from measured radiances based on Wiener estimation technique," 2004 ICO International Conference Optics pp.315-316, Chiba, Japan, July, 2004
 4. Norimichi Tsumura, Minh Nguyet Dang, and Yoichi Miyake, Estimating the Directions to Light Sources Using Images of Eye for Reconstructing 3D Human Face, IS&T/SID's 11th Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Appl. , 77-81(2003).
 5. Toru Ishii, Norimichi Tsumura, Masami Shishikura, Yoichi Miyake, Reproducing 3D Prints on Monitor by Relative-Glossiness Matching Technique, IS&T/SID's 11th Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Appl. , 23-29(2003).
 6. Norimichi Tsumura, Nobutoshi Ojima, Kayoko Sato, Mitsuhiro Shiraishi, Hideto Shimizu, Hirohide Nabeshima, Syuuichi Akazaki, Kimihiko Hori, Yoichi Miyake, Image-based skin color and texture analysis/synthesis by extracting hemoglobin and melanin information in the skin, acm Transactions on Graphics, Vol. 22, No. 3.pp. 770-779(2003). (Proceedings of ACM SIGGRAPH 2003)
 7. K. Cherdhirunkorn, N. Tsumura and Y. Miyake, Spectral Based Color Reproduction Compatible with sRGB System under Mixed Illumination Conditions for E-Commerce, Proc. IS&T PICS Conference, 264-269(2003,Rochester).
 8. M. Okuyama, N. Yokoyama, D. Nakao, N. Tsumura and Y. Miyake, Accurate Mapping Pigmentations in Human Skin by Spatio-Temporal Modulation of Light Source in the Multi-spectral Imaging, Proc. IS&T PICS Conference, 272-277(2003,Rochester).
 9. T.Ikeda, N.Tsumura and Y.Miyake, Device Independent Gloss Reproduction Model for E-Commerce: Estimation of Radiance on Display, Proc. IS&T PICS Conference, 425-428(2003,Rochester).
 10. T. Fujimaki, K. Ishii, N. Tsumura and Y. Miyake, Proposals of Standard Spectral Image and Its Application to Designing of CCD camera, Proc. IS&T PICS Conference, 496-499(2003,Rochester).
 11. N. Ojima, N. Tsumura, H. Shimizu, H. Nabeshima, S. Akazaki, K. Hori and Y. Miyake, Measurement of Skin Chromophores by Independent Component Analysis and the Application to Cosmetics, Proc. IS&T PICS Conference, 571-574(2003,Rochester).
 12. N. Tsumura, K. Cherdhirunkorn, T. Ikeda, D. Nakao and Y. Miyake, Spectral Based Color Reproduction for E-commerce with High Compatibility,IS&T/SID's 10th Color Imaging Conference, Color Science, Systems and Appl. , 246-249(2002).

特許出願

1. 津村徳道, 高瀬紘一, 三宅洋一, 中口俊哉, 物体の双方向反射分布関数の高速推定法、
特願 2004 - 072620、04/3/15
2. 津村徳道, 河西将範, 藤牧達彦, 三宅洋一, 画像の取得方法、特願 2003 - 080137、
03/3/24
3. 津村徳道, ダン・ミン・グィエン, 三宅洋一,
眼球画像からの光源情報の抽出方法及び光源情報の抽出装置、
特願 2003 - 080138、03/3/24

4. 津村徳道, 通信ネットワークを介した商品画像の色再現方法、特願 2002 - 312057、02/10/28
5. 津村徳道, 池田哲男, 三宅洋一, 表示デバイスの特性に依存しない光沢感再現方法、特願 2002 - 079328 02/3/20

招待講演

1. Norimichi Tsumura, Appearance reproduction and multi-spectral imaging, 10th Congress of the International Colour Association, AIC Colour 05 (2005.5.10)
2. 津村徳道, 分光画像に基づく色と質感の再現, 日本写真学会年次大会 2004 (2004.5.27, 東京) 12-13.
3. 津村徳道, 顔色解析・合成方法: IT時代に求められる電子化粧技術, 独立行政法人 科学技術振興機構 2004 第1回基礎研究報告会 シンポジウム「ITが変える世界と生活」p.34 (2004.3.9)
4. 津村徳道, 色素成分分離計測法による肌の色とテクスチャーの解析・合成, レーザ学会創立30周年記念 レーザ学会学術講演会第24回年次大会, 講演予稿集 212-213(仙台, 2004.1.29).
5. 次田哲也, 津村徳道, OCTによる肌計測と肌画像の解析, 生体医用光学ブレイクスルーフォーラム 進化するバイオイメージング, 予稿集 pp.27-34(2003.12.22, 財団法人 光産業技術振興協会 A/B 会議室))
6. 津村徳道, 画像に基づく肌の色とテクスチャーのヘモグロビンとメラニン 情報の抽出による解析・合成法, 第19回 NICOGRAPH 論文コンテスト pp.1-9(2003.11.21, 慶応大学 矢上キャンパス).
7. 津村徳道, 小島伸俊, 佐藤加代子, 三宅洋一, 独立成分分析を用いた肌の実画像の解析と合成法, Visual Computing グラフィックスとCADの合同シンポジウム 2003, pp.117-120(2003)
8. 津村徳道, 可視光領域の分光画像計測とその応用, 電子情報通信学会技術研究報告(信学技法), PRMU2003-5, MI2003-5, pp.25-30(2003).
9. 津村徳道, スペクトラルイメージングとその応用, 日本写真学会 サマーセミナー 2002 資料 23-32(2002).