

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 10 日現在

機関番号：32619

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2013

課題番号：24656147

研究課題名(和文) 光学的質感制御に向けた透明感の定量化

研究課題名(英文) Study on Quantifying Visual Quality and Feeling of Semitransparent Medium

研究代表者

山田 純 (Yamada, Jun)

芝浦工業大学・工学部・教授

研究者番号：40210455

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円、(間接経費) 930,000円

研究成果の概要(和文)：市場にある製品全般について言えることであるが、求められる機能を持つことは当然として、競合する製品との差別化のために、高い質感が要求されている。本研究では、高い質感をもつ製品素材の開発に資することを目標に、陶器や半透明プラスチックなどの散乱性媒質を対象に、それらの透明感に影響することが確認される、媒質の光物性や形状の影響を定量的に調べた。ここでは、平板状の散乱性媒質として、その透明感に与える光学厚さ、幾何学厚さの影響をサーストンの一対比較法を適用して定量評価した。その結果、透明感を強く知覚する光学厚さが存在することが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：As well as utilitarian functions of commercial products, their visual quality and feeling have become significant in differentiating strategy. This study dealt with the visual feeling of transparency on scattering material, such as cultured marble and earthenware. We quantitatively evaluated the effects of an optical property and thickness of planar scattering media on its visual feeling by the Thurstone scale based on a pairwise comparison technique. The results revealed that there exists optical thickness where the visual feeling of transparency is maximized.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：ふく射 光 質感 散乱 透明感 一対比較

### 1. 研究開始当初の背景

市場にある製品全般について言えることであるが、求められる機能を持つことは当然として、競合する製品との差別化のために、高い質感が要求されている。その要求に応えるには、その質感をもたらす因子を把握すると同時に、それらが、その質感に与える影響を定量化することが望まれる。

近年、質感の一つである「光沢感」に関する研究が報告された。金属などの不透明な媒質表面について、表面の輝度に関するヒストグラムの形状が、光沢感の高低を表す指標になることが示された<sup>(1)</sup>。この研究の成果は、写真画像やCGに光沢感を付与するために利用することができる。

光沢感と同様、見た目の質感に大きく影響する半透明媒質(散乱性媒質)の透明感についても、写真やCGに透明感を付与するために研究されている<sup>(2)</sup>。この報告では、不透明な物体であっても、その表面の凹凸に適切な陰影をつければ、半透明に感じさせられることが示された。これは、「人は、見た物が不透明であるか、半透明であるかを、さまざまな情報とこれまでの経験に基づいて感じる」からである。「物体が半透明であれば、このような陰影になるはず」という経験に合った陰影をつけることで、実際には半透明で無くても、そう感じさせることが可能となる。

以上の研究では、光沢感や透明感を生じさせる経験的な因子を明らかにする、また、そう感じさせる画像をつくるという点では、大きな成果を得たと言える。しかしながら、その成果を、実在する物の質感制御に利用するのは難しい。製品における高い質感の実現には、その素材そのもの、あるいは、その表面が持つべき性質を明らかにすることが望まれる。

### 2. 研究の目的

本研究では、散乱性媒質を対象として、媒質の透明感をもたらす因子を考察するとともに、その因子が透明感に与える影響を定量的に評価することを目的とする。

### 3. 研究の方法

人は、見た物が不透明であるか、半透明であるかを、さまざまな情報とこれまでの経験を基に感じる。例えば、経験的に奥行きがあることを知っているものを見ると、その経験から、実際には奥行きは無くても、あるように感じてしまう。

いま、室内の照明下で、散乱性素材でできた長方形の板(例えば、10 cm 四方、厚さ 1 cm)を見る状況を考えてみよう。板に入射した光が、板の側面や背面から抜け出るので、角部に陰影が生じる。板を手にとって、いろいろな方向から眺めた経験があれば、板の写真を見ても、角部の陰影で、奥行きを感じてしまう。しかし、その写真の一部、例えば、長方形の板と認識できない一部だけを見ると、そ

れに対して、奥行きを感じることはない。

ここでは、極力、経験に基づかずに奥行きを感じさせる因子を特定し、その影響を調べるための実験系について検討した。検討に先立ち、まず、これまでに考えられてきた「奥行き感」に影響を及ぼす因子について整理した。

- 1) 素材の光物性
- 2) 媒質の幾何学的な厚さ
- 3) 対象となるものの周囲の状況
- 4) 媒質表面の光沢
- 5) その媒質を通して見る背面の明るさ、模様

1)の光物性と2)の幾何学厚さについては、影響を及ぼすことは当然と言える。実験系では、これらを変化させて、その影響を調べることが望ましい。ここでは、散乱性媒質として、水で希釈した脱脂粉乳(森永スキムミルク)の液層を用いることにした。これは、粉乳の濃度を調整することで光物性(減衰係数)を、液量を調整することで媒質の幾何学厚さを容易に変化することができるからである。このほか、粉乳の方が長期保存に優れることや、粒径の分散が大きい脂肪球が少ないために、光物性のばらつきが少ないなどの理由から採用を決定した。

3)の周囲の状況は、経験的に奥行き感をもたらす因子と考えられる。対象以外に周囲が見えると、それを判断材料として、経験的に奥行き感を感じてしまう場合があるために、視野を限定できる実験系を開発することとした。

4)の表面の光沢については、光沢を感じさせる映り込みを排除することで、考慮しないことにした。

5)の媒質を通して見る背面の明るさ、模様に関しては、予備実験において、奥行き感に影響を及ぼすことは分かったが、本論では、取り扱わない。

以上のことを考慮して実験系の開発を行ったが、開発に当たり、官能評価の再現性を高める工夫を行っている。まず、官能評価の対象が人ごと、評価の機会ごとに異なることを避けるため、本研究では、一旦、対象を画像として保存し、直接対象を被験者に見せるのではなく、画像を見せることで、奥行き感を評価することとした。この場合、人が奥行きを判断できる必要がある。ここでは、奥行きを認識できる3Dの手法を採用することにした。実験装置を図1に示す。

液相を通して見るものが無地であると、奥行きを感じにくいことが、事前の予備的観察において分かったので、ここでは、一辺 3.9 mm の白黒の市松模様を、対象の液相を通して、上方から観察することにした。

対象の直上 450 mm の位置にデジタルカメラ(Nikon D3100、レンズ Micro-NIKKOR 55 mm)を設置し、水平方向に±35 mm 移動した2箇所から平行法で撮影し、3D 画像(MPO形式)を生成した。内面を白色コーティング

(白色拡散反射コーティング剤, Edmund optics Japan)した発砲スチロール球(内径 554 mm)の中に, この対象を設置して, 実験を行った。これは, スチロール球を積分球として機能させ, 照明の偏りを無くすためである。光源には, 色温度 5600K の LED 光源(ケンコー・トキナー, KTX-20LC)を用い, スチロール球の下方より導入した。図に示すように, スチロール球の中には, 拡散反射板が設置されており, まず, ここで反射された光がスチロール球内面でも反射し, 間接的に, かつ, 均一に対象を照らすようになっている。

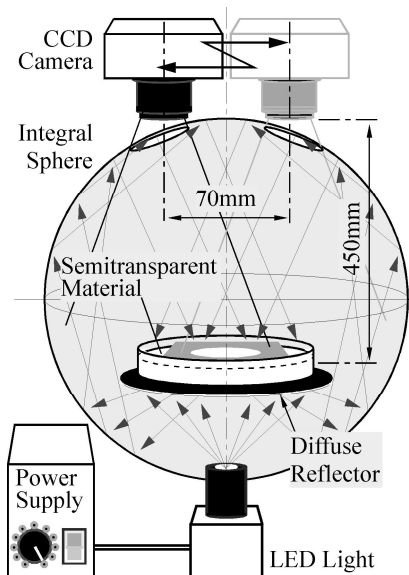


Fig. 1 Apparatus for taking 3D image for sensory assessment

取得した 3D 画像の一例を図 2 に示す。これら一組の図は, ステレオグラムになっている。交叉法で見ると奥行きを認識できる。また, 対象の希釈粉乳の容器や, 液表面への周囲の映り込みが無いこと, すなわち, 経験的に奥行きを判断できるものが, 写っていないことが確認できる。実際には, この二つの画像から MPO 形式の 3D 画像を生成し, 3D テレビ (Panasonic TH-P46TR2B) とシャッター式 3D 眼鏡 (3D Eyewear TY-EW 3D 3MW) を用いて, 官能評価を実施した。

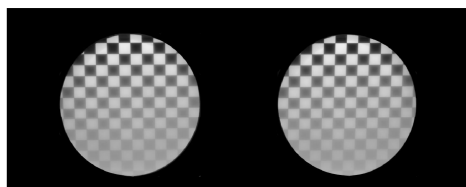


Fig. 2 A sample image for sensory assessment (Stereogram)

実験では, 確実に影響を及ぼすと考えられる液相深さ(幾何学厚み), および, 光物性(希釈粉乳の濃度)を変えて, 3D 画像を生成した液相深さについては, 1 mm から 4 mm まで, 希釈粉乳については, 質量濃度を 2% から 12%まで変化させた。

さて, 人の感覚は絶対評価に向いていないが, 相対評価にはきわめて敏感であることを考慮して, 官能評価では, 希釈粉乳の濃度(光物性)および深さ(幾何学厚さ)を変えて生成した複数の 3D 画像から 2 枚を選び, 複数の被験者に, 「どちらの画像からより強く透明感を感じるか?」を評価してもらった。評価は, 二つの内どちらか, あるいは, 判断できない, の三者択一で行った。全ての画像の組み合わせについて行った評価結果に, サーストンの一対比較法を適用し, 透明感の定量化を行っている。

サーストンの一対比較法とは, ある母集団を形成する要素が, それぞれ, 何らかの感覚的な状態を持つとき, それらの状態に尺度を付けるための方法である。本研究の例で言うと, 要素とは, 光物性や幾何学厚さの異なる媒質(評価実験においては, その画像)で, 感覚的な状態とは, 媒質(画像)の透明感の強さである。この方法を用いることで, 各要素の透明感の強さを数値化できる。ただし, この方法で得られる数値は, その母集団における相対値である。母集団における透明感の平均値が零となり, 平均よりも透明感が強い場合が正, 弱い場合が負となる。なお, 本論では, サーストンの一対比較法の中で, 最もシンプルなケース V の方法を採用した<sup>(3)</sup>。

#### 4. 研究成果

実験に先立ち, 使用した希釈粉乳の光物性の計測を行った。今回のサンプルのような散乱性媒質の光物性は, 減衰係数, アルベド, および, 散乱位相関数である。これらの計測には, 筆者らの研究室において開発した装置, 方法を用いた<sup>(4,5)</sup>。計測結果を図 3 に示す。

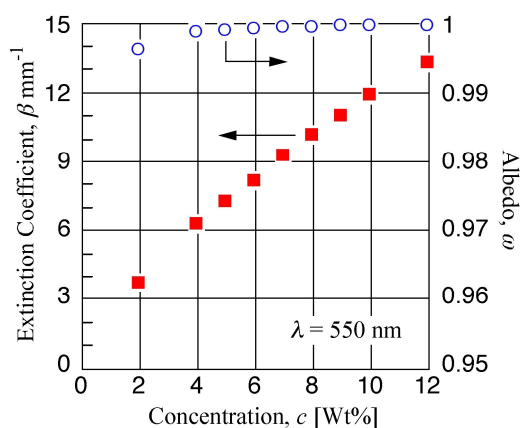


Fig. 3 Radiative properties of the scattering & absorbing media against the concentration of milk.

減衰係数 $\beta$ は, 粉乳の濃度  $c$  [Wt%] に依存する。今回の計測範囲内で, 以下に示す関係式が得られた。波長 $\lambda$ は 550 nm。

$$\beta = 0.95c + 2.37 \text{ [mm}^{-1}\text{]}$$

アルベド $\omega$ は, 図 3 より, 濃度に対してほぼ一定で, 0.995 以上であることが分かる。

散乱位相関数  $p(\theta)$  については、計測から、Henyey- Greenstein 関数 ( $P_{HG}$ ) を用いた次の近似式を得た。

$$\left. \begin{aligned} p(0^\circ \leq \theta < 14^\circ) &= 0.704 \cdot p_{HG}(g = 0.95) \\ p(14^\circ \leq \theta < 149^\circ) &= 0.89 \cdot p_{HG}(g = 0.65) \\ p(149^\circ \leq \theta < 180^\circ) &= 0.029 \cdot p_{HG}(g = -0.40) \end{aligned} \right\} \text{at } 633 \text{ nm}$$

幾何学厚さ 4 種、1, 2, 3, 4 mm と減衰係数 3 種、1.10, 8.27, 13.30  $\text{mm}^{-1}$  の組み合わせ、計 12 のサンプルを用意し、先に述べたサーストンの一対比較法で、それらの透明感を定量化した。被験者は 7 人である。結果を図 4 に示す。

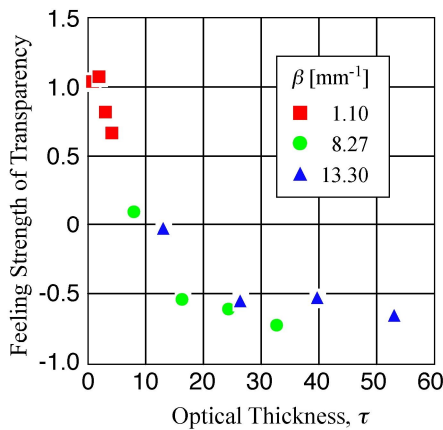


Fig. 4 Visual feeling of transparency against optical thickness

透明感の強さを光学厚さに対して示した。この図から、光学厚さ  $\tau$  が小さい領域 ( $\tau < 4$ ) を除いて、透明感が光学厚さに対して単調に減少し、 $20 < \tau$  でほぼ一定になっているのが分かる。 $20 < \tau$  の領域では、媒質を通して、背面の市松模様は全く認識できない。透明感を判断する材料がなくなるためと言える。

光学厚さが小さい  $\tau < 4$  の領域をより詳細に調べるために、幾何学厚さ  $d$  を 1~4 mm、減衰係数  $\beta$  を 0.23~4.0  $\text{mm}^{-1}$  の範囲で変化させて準備した計 11 のサンプルに対して、官能評価を行った。被験者は 7 人である。結果を図 5 に示す。

光学厚さが大きい場合と異なり、 $\tau = 2$  近辺にピークが存在することが分かる。この領域では、媒質を通して、明確に市松模様を観察できる。この結果は、より明瞭に背景が観察されるからと言って、透明感を強く感じるわけではないことを意味している。

本評価実験では、媒質の幾何学厚さ、減衰係数の異なる組み合わせが限られており、図 5 に示した透明感のピークが光学厚さ 2 付近にあると結論づけることは難しい。しかし、本実験系、および、本実験条件の範囲ではあるが、透明感の定量化が可能であること、なおかつ、その結果を素材の質感制御に活かせる可能性があることは示されたと言える。

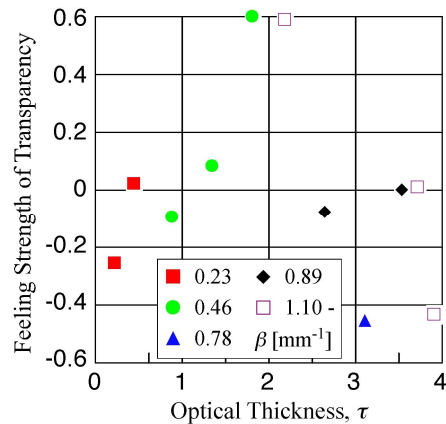


Fig. 5 Visual feeling of transparency in thin optical thickness

#### 参考文献

- (1) Motoyoshi, I., et al., Nature, 447(2007), 206.
- (2) Yoshida, K., et al., J. Vision, 11-15(2011), 65.
- (3) 印東太郎, 日本音響学会, 18-1(1962), 16.
- (4) 山田・他 4 名, 機論(B), 74-745(2008), 2034.
- (5) Naito, K., et al., 熱物性, 24-2(2010), 101.

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

山田純, 神佳弘, 光学的質感制御に向けた散乱性媒質の透明感の定量化, 第 51 回日本伝熱シンポジウム, H343 (2014.5.21-23, アクトシティ浜松)

山田純, 石崎翔, 細貝真理子, 兵江直生子, 庄野信浩, 光学的質感制御に向けた半透明媒質の透明感・奥行き感の評価, 第 50 回日本伝熱シンポジウム講演論文集, Vol. I, pp.183-184 (2013.5.29-31, 仙台)

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

山田 純 (YAMADA, Jun)

芝浦工業大学・工学部・機械工学科・教授  
研究者番号: 40210455