

論 文 要 旨

申請者氏名 若林 祐次

申請学位 博士(工学)

主論文題目

透明なアクリル樹脂板を対象とした視覚のテクスチャー評価システムに関する研究

主論文要旨 [邦文は4,000字以内
外国語は2,000語以内]

本論文は6章で構成され、第1章以降の内容は以下のとおりである。

第1章「緒論」では、本研究の意義や目的などを示した。現在、IoT (Internet of Things) の進展や人工知能 (AI) の登場・普及に伴ういわゆる「第四次産業革命」が到来し、かつて暗黙知としてものづくりの現場に蓄積されてきたノウハウがデジタル技術を通じてソフトウェアに内蔵され、形式知化している。そして、そのソフトウェアを使用し、デジタル制御された3Dプリンターなどで工業製品が生産されるため、世界中の様々な場所で類似の工業製品が簡単に作り出せるようになった。そのため、日本の高い品質・性能と信頼性の高い製造展開といった競争優位性が薄まっている。この現状を打破し、日本のものづくり企業が自社の競争優位性を高めるには、人間の感性に訴えかける特徴のある工業製品を開発し、他社製品との差別化を図る必要がある。そして、そのためには消費者の感覚や感性によって認識される工業製品の「質感」を如何に高めるかが重要なポイントとなる。「質感」は、「もの

の材料・素材やその表面の状態から受ける感じ」と定義され、その認識は、視覚や触覚を通して心理的な現象として起こるため、視覚などに影響を及ぼす物理的なプロセスを理解する必要がある。視覚について言えば、ものからの反射や透過する光の光学的な特性の理解と材料とその表面の状態といった物理的な特性の理解が必要となる。すなわち、質感を把握するためには、ものの表面の状態と光学的特性との相関関係を明らかにする必要がある。ものの表面の状態はテクスチャーと呼ばれ、ISO規格やJIS規格に表面性状パラメーターとして規定されている。一方、光学的特性は製品の外観評価方法として、光沢度、色や曇り度等が規格で定められている。しかし、これらのパラメーターを相互に関連付け、定量的な評価を行った研究は少ない。特に、光を透過する透明な材料を対象にした研究はない。また、ISO規格などに規定されているパラメーターは数多く存在しているため、それらを比較検討する準備作業として、各パラメーターの組み合わせを2次元グラフに描写する必要があり、非常に多くの手間と時間がかかっている。そこで、この準備作業の手間と時間を短縮する方法が求められる。

本論文では、透明なアクリル樹脂板を試験片材料として、視覚のテクスチャーの定量的な評価と自己組織化マップを用いた視覚のテクスチャーの相関関係を簡易に評価するシステムの提案を行った。

第2章「視覚のテクスチャー評価パラメーター」では、本論文においてテクスチャーの定量的評価指標として用いる「表面粗さ」、「光沢度」、「表面色」及び「曇り度(ヘーズ)」の概要と測定方法について示した。また、本論文で試験片として使用する透明なアクリル樹脂板及び本論文で試験片を加工するために用いたショットブラスト加工の概要を示した。

第3章「透明アクリル樹脂板の表面性状が透過率及び曇り度(ヘーズ)に及ぼす影響」では、透明なアクリル樹脂板を試験片材料として取り上げ、表面の算術平均高さSaが $1.0\mu\text{m}$ 以下となる微小な凹凸領域において表面凹凸が透過率及び曇り度(ヘーズ)に与える影響を実験的に調べた。まず、アクリル樹脂板の表面をショットブラスト加工により、表面の凹凸が段階的に異なる試験片を準備し、面領域の表面性状を数値化するためにISO25178-2に準拠した三次元表面性状パラメーターを用いてショットブラスト加工面における凹凸形状の定量化を行った。次に、試験片の全光線透過率、平行透過率、拡散透過率及び曇り度(ヘー

ズ)と相関の高い三次元表面性状パラメーターについて検討した。その結果、本論文において使用した試験片のガラスビーズをメディアとしたショットブラスト加工面におけるスキューネス Ssk は約0、クルトシス $Skul$ は約6となった。また、テクスチャーのアスペクト比 Str は0.5以上となり、等方性を有する凹凸形状であることを示した。そして、算術平均高さ Sa が大きくなるに従い、最大高さ Sz 、二乗平均平方根勾配 Sdq だけでなく、凹凸周期を示す最小自己相関長さ Sa_l も増加した。また、透明アクリル樹脂の表面に付与した凹凸形状が算術平均高さ $Sa \leq 0.1 \mu\text{m}$ の場合、全光線透過率は約90%となり、平行透過率は約80%、拡散透過率は約10%で構成されていた。透明アクリル樹脂表面の凹凸が算術平均高さ Sa の値を約 $1.0 \mu\text{m}$ まで大きくすると、拡散反射率が約65%となり、曇り度（ヘーズ）の値も増加し白っぽい色へと変化することを示した。さらに、透過率及び曇り度（ヘーズ）の値は凹凸の勾配を示す二乗平均平方根勾配 Sdq との相関が高く、相関係数は約0.98を示した。そして、二乗平均平方根勾配 Sdq が0.07から0.25の範囲で、曇り度（ヘーズ）が約15%から65%に直線的に増加した。以上より、透明なアクリル樹脂板における視覚のテクスチャーのうち曇り度（ヘーズ）は、三次元表面性状パラメーターを用いて定量化が可能なことを示した。

第4章「透明アクリル樹脂板の表面性状が透過率、曇り度（ヘーズ）及び光沢度に及ぼす影響」では、表面の算術平均高さ Sa が約 $1.0 \mu\text{m}$ 以下となる微小凹凸領域を対象として、片面または両面にショットブラスト加工を施し、種々の表面粗さを付与した試験片の凹凸形状が視覚のテクスチャーに与える影響について調べた。まず、アクリル樹脂表面の凹凸形状を定量化するため、面領域の評価が可能な三次元表面性状パラメーターについて検討した。次に、各三次元表面性状パラメーターが視覚のテクスチャーを構成するパラメーターのうち曇り度（ヘーズ）及び光沢度に与える影響について調査した。これらの結果を基に、微小凹凸が付与された透明なアクリル樹脂板における視覚のテクスチャー評価指標について検討した。その結果、片面にショットブラスト加工を施した試験片と両面に加工を施した試験片において、算術平均高さ Sa の増加に伴う全光線透過率の低下の度合いは異なる傾向を示した。一方、曇り度（ヘーズ）の増加の度合いは、両試験片ともほぼ同じ傾向であった。次に、ショットブラスト加工を片面にのみ施した場合、曇り度（ヘーズ）の値は加工面から

測定しても、未加工面から測定してもほぼ変化が見られなかった。しかし、測定面の違いは光沢度の値に大きく関与した。すなわち、曇り度（ヘーズ）は透過光を強く反映し、光沢度は測定面の散乱光を強く反映していた。したがって、曇り度（ヘーズ）は光の入射面に対して、その面の加工・未加工にかかわらず、加工した面の表面性状に依存し、光沢度は光の入射面の表面性状に依存していた。以上の結果より、加工面の表側と裏側の加工条件によって、例えば光沢度の値を一定となるよう設定し、曇り度（ヘーズ）の値のみを変化させることが可能であることを示した。以上の結果より、透明なアクリル樹脂板を外観材として用いる際、その表面性状の変化に起因する光の透過や反射を活用した意匠性向上を設計する指針となりえることを示した。

第5章「自己組織化マップによる透明なアクリル樹脂板のテクスチャー評価方法」では、パラメーター間の相関関係を評価するため、ニューラルネットワークの教師なし学習モデルの1つである自己組織化マップを用いた評価方法の導入を提案した。まず、自己組織化マップを用いたパラメーター間の相関関係を評価する方法について、その評価方法の有効性を示すために、任意の関数を用いて予備的な検証を行った。その結果、得られた自己組織化マップの重み分布の類似性が高い場合、入力ベクトルの相関関係も高くなる。さらに、重み分布が一致している場合、入力ベクトルの相関関係も一致する。それに対して、重み分布の類似性が低い場合、入力ベクトルの相関関係も低くなる。すなわち、自己組織化マップの重み分布の色（重み）とその領域形状との類似性を視覚的に評価することで正の相関関係を評価できることを示した。また、入力ベクトルの値を正規化し、1から減じた値を用いることで、負の相関関係についても、重み分布を比較することで評価できることを示した。そして、第3章で使用した透明なアクリル樹脂板にショットブラスト加工を施した試験片を用いて、視覚のテクスチャーである曇り度（ヘーズ）、光沢度及び表面色に影響を及ぼす表面性状パラメーターについて自己組織化マップを用いて調べた。その結果、本章で使用した試験片の曇り度（ヘーズ）、光沢度 $G_s(60^\circ)$ 及び明度 L^* に対して主に影響を及ぼしていると考えられる表面性状パラメーターは複数あり、最大高さ S_z 、最大山高さ S_p 、二乗平均平方根勾配 S_dq 及びテクスチャーのアスペクト比 S_{tr} であった。さらに、従来の方式、例えば9パラメーターを相互に評価する場合では、36枚の二次元グラフを製作し、比較検討する必要があ

ったのに対して、本章で提案した手法では12枚の重み分布を作成し、それらを視覚的、直感的に比較検討することで、複数の相関関係を評価することが可能であった。すなわち、自己組織化マップによる評価方法は、従来の方式に比べ効率的な評価システムであった。特に、検討対象となるパラメーター数が増えるほど、その有用性が高まることを示した。

第6章「結論」では、本論文の各章で得られた結果を総括した。