

京都大学	博士 (工学)	氏名	井原 基博
論文題目	視覚シミュレーションによる切削加工面の官能指標の解析		
<p>(論文内容の要旨)</p> <p>本論文は、金属を切削したときの加工面の官能評価に対して客観的な知見を与えるために、散乱理論を用いて加工面の反射光を視覚情報に変換するシミュレーション法を構築し、これを用いて実際の加工面を分析して官能評価と比較した結果についてまとめたものであり、全7章からなっている。</p> <p>第1章は緒論であり、部品製造プロセスでの切削加工面の官能評価の重要性と客観的な分析の必要性について述べている。</p> <p>第2章では、加工面評価の現状と課題をまとめ官能指標を解析する方針を示している。まず切削加工面の基本的な創成機構と従来の定量評価指標を整理し、従来の定量評価指標である表面粗さでは切削加工面の巨視的、微視的な形状が官能指標に与える影響を考慮できないという仮説をたてた。これを確認するため、切削条件を変えた切削加工面を準備して官能評価アンケート調査を行い、表面粗さと官能指標の間に明らかかな相関関係はみられないこと、代表的な官能指標として光沢の度合い、虹面、均一さがあることを明らかにした。さらに、官能指標の定量化に関する先行研究について調査した結果、加工面の微視的な形状を考慮した研究が見当たらないことを示した。そして、巨視的、微視的な形状をもつ切削加工面で反射した光が人間の肉眼に届く物理的な過程と、肉眼に届いた光が視覚情報に変換される心理物理的な過程をモデル化した視覚シミュレーション法を構築し、シミュレーション結果を視覚情報として処理して官能指標を定量的に評価するという方針をたてたことについて述べている。</p> <p>第3章では、官能評価における心理物理的・物理的な過程をモデル化し、視覚シミュレーション法を構築する方法について説明している。まず心理物理的な過程として、人間の視覚系の構造と視覚情報の処理の流れについてまとめ、視覚情報を定量化するための測光学、色彩工学についての基本事項を整理している。次に物理的な過程のモデルとして、既存の視覚シミュレーション法であるコンピュータ・グラフィックスの工程を示した。そして、この中で特に重要となる光の反射の計算法において、従来の計算モデルでは加工面の微視的な形状が平均化されるという問題を指摘し、Beckmannの散乱理論を用いて加工面の形状データの微視的な特性を平均化せずに計算する方法を考案して、この計算過程を詳述している。</p> <p>第4章では、旋削加工面とボールエンドミル加工面において微視的な形状による光沢の度合いを解析した結果を述べている。具体的には、構築した視覚シミュレーションを利用し加工面の反射輝度分布曲線を描き、輝度対比弁別閾を用いることで光沢の度合いが明確に認識されるかを判定している。旋削加工面の解析では、異なる切削速度で加工することで光沢の度合いに差がある加工面を準備し、その形状測定データに提案計算手法を適用し光沢の度合いを解析して、官能評価との比較を行った結果、「白っぽい」という官能評価が光沢の度合いと微細な条痕の多少と関連することを見出した。さらに、外観の差を明確化できる撮影条件を視覚シミュレーションで予測し、画像撮影して解析結果と同様の傾向がみられることを示した。ボールエンドミル加工面のケーススタディでは、異なる材質の工具を用いて切削した加工面の反射輝度分布を</p>			

京都大学	博士 (工学)	氏名	井原 基博
<p>視覚シミュレーションで計算し、光沢の度合いの差を明確に認識できる観察セットアップを予測して、官能評価を行い、シミュレーション結果と同様の評価結果が得られることを示した。そして、輝度の差が加工面の勾配分布、波長、照明光と観察の方向に影響されることを定量的に示し、波長を選択することで光沢の度合いの差を明確に検出できる可能性を示した。</p> <p>第 5 章では、虹面の評価としてボールエンドミル加工面の色の均一さと鮮やかさを視覚シミュレーションで解析した結果を述べている。虹面では照明光と観察の方向によって色が変化するため、照明と観察の方向を変えて加工面の色の均一さと鮮やかさを解析した。均一さの解析では、第 2 章で述べた官能評価アンケートにおいて肯定的な評価を受けた虹面での計算結果を解析し、照明光の方向および観察方向を変えたときの色相変化の傾向が画像撮影結果と一致すること、ならびに加工面の異なる形状測定位置でも同様の色相が計算されることを示した。色の鮮やかさの解析では、異なる材質の工具で切削した虹面の色の鮮やかさを、様々な観察方向での色の彩度を計算することで評価し、官能評価アンケートの結果と比較した。この結果、彩度による評価は、特定の観察角度では官能評価と一致しなかったが、観察角度全体での傾向は一致していることを示し、全体的な加工面観察に利用できる結論づけている。</p> <p>第 6 章では、ボールエンドミル加工面にあらわれる切削模様の均一さを定量化するために、視覚シミュレーションにより計算された輝度分布に 2 次元フーリエ変換を行って空間的コントラストを計算する方法と、ガボール変換を適用する方法を比較した結果について述べている。「均一」「不均一」に見える切削模様をもつ加工面に対して視覚シミュレーションで輝度分布を計算し、画像撮影結果に同様の特徴を確認したのち、空間コントラストとガボール変換による輝度分布を計算した。その結果、不均一さは、空間コントラストよりもガボール変換による輝度の高低差の方が判定しやすいことを示した。さらに、微視的な要因が影響する切削模様に対しては、変換前の輝度分布で観察される不均一さは、ガボール変換後により明確になり、巨視的な要因が影響する模様のずれは、ガボール変換後の輝度高低差と対応することを示した。</p> <p>第 7 章は結言であり、切削加工面の官能指標を視覚シミュレーションにより定量化した結果をまとめている。</p>			

氏名	井原 基博
----	-------

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、金属を切削したときの加工面の官能評価に対して客観的な知見を与えるために、散乱理論を用いて加工面の反射光を視覚情報に変換するシミュレーション法を構築し、これを用いて実際の加工面を分析して官能評価と比較した結果についてまとめており、得られた成果は以下の通りである。

切削加工面を用いた官能評価アンケート調査により、加工面の表面粗さと良否の間に明らかな相関関係はみられないこと、代表的な官能指標が、光沢の度合い、虹面の色、切削模様の均一さであることを明らかにした。

官能評価における人間の視覚系の心理物理的過程と物理的過程をモデル化し、Beckmannの散乱理論を応用して視覚シミュレーションを構築した。加工面の形状と屈折率、照明光の分光分布と方向、観察者の方向と観察距離を入力として、視覚情報である輝度と色を計算する方法を示した。

視覚シミュレーションで得た加工面の反射輝度分布曲線から光沢の度合いを判定する方法を提案した。旋削加工面の評価では、切削速度によって微視的な形状が変化することで光沢の度合いに差が生じること、反射輝度分布曲線を用いて外観の差が明確にできる画像撮影条件の予測が可能なことを示した。ボールエンドミル加工面の評価では、材質の異なる工具の加工面の光沢の度合いの差を解析し、この差を明確に認識できる観察方向を明らかにして官能評価を行った結果、予想通りの評価が得られることを示した。また、シミュレーションを用いて、波長を選択することで光沢の度合いの差を明確に検出できる可能性を示した。

ボールエンドミル加工で得られる虹面の色の均一さと鮮やかさを解析するために、照明光の方向および観察方向を変えて視覚シミュレーションを行った。計算された観察角度による色相の変化が画像撮影結果と一致すること、異なる観察位置でも同じ色相が得られることから、均一さの評価を行えることを示した。様々な観察方向で計算された彩度を官能評価アンケートの結果と比較して、全体的な加工面評価に利用できることを示した。

「均一」「不均一」に見える切削模様をもつ加工面に対して視覚シミュレーションで輝度分布を計算し、2次元フーリエ変換による空間コントラストとガボール変換による輝度を比較しながら、均一さの定量指標を示した。空間コントラストと比べてガボール変換後の輝度高低差のほうが不均一さを検出しやすいことを示した。また、巨視的、微視的な要因による不均一さがガボール変換後の輝度分布に特徴的にあらわれることを示した。

以上、本論文は、形式知化が難しい切削加工面の官能指標を視覚シミュレーションにより定量化することで、精密計測加工分野に有用な知見を与えたものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、令和4年1月21日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。