

(様式5)

指導教員 承認印	主	副	副
	Ⓜ	Ⓜ	Ⓜ

学 位 （ 博 士 ） 論 文 要 旨

論文提出者	生物システム応用科学府 生物システム応用科学専攻 博士後期課程 <u>生体機構情報システム学</u> 専修 平成 25年度入学 氏名 <u>吉田 健一郎</u> Ⓜ				
主指導教員 氏 名	岩井 俊昭	副指導教員 氏 名	西舘 泉	副指導教員 氏 名	
論文題目	Quantitative evaluation for functions and appearance of human skin tissue using reflectance spectroscopy. (反射分光法を用いた皮膚の機能と見え方の定量評価に関する研究)				

論文要旨 (2,000字程度)

皮膚からの反射光には皮膚状態に関わる多くの情報が含まれており、臨床への活用などを目指して多くの研究が行われてきている。特に内部光には散乱係数、吸収係数、あるいは色素濃度という、皮膚の診断における有用な情報が含まれており、精度の改善などが実現できれば、大きな波及効果が期待できる。色素濃度は皮膚色を左右し、また、多くの皮膚病変が色素異常を伴うことから、その定量化及びその画像化は大いに関心を持たれている。さらに、皮膚は体の最外層を成しており、人の目に触れるため、審美的な意味でも、見えの評価、つまり画像化は重要な意味を持つ。色素濃度の画像化を考えた時、皮膚上の各点の反射スペクトルが求めれば良いが、皮膚の立体形状の影響により各点の照度を正確に求めることが困難であり、そのために精度が大きく損なわれていた。反射分光法における最大の関心は色素濃度であるが、屈折率、散乱係数も反射光の挙動に影響を与えることから、色素濃度の定量化を精度よく行うためには、これら全ての光学的性質を考慮する必要がある。屈折率については、皮膚を *in vivo* で精度よく測定する方法はこれまでなく、皮膚切片を使って得られた結果から推定されていた。皮膚の見えを考えた場合、見えを決める因子としては反射スペクトルに加えて、皮膚内部での光の広がり、半透明性も重要であるが、表面の細かい凹凸の目立ち具合などに影響すると考えられる。なお、これらの問題を正確に解くためには、モンテカルロシミュレーションがよく用いられるが、計算に膨大な時間を要することが問題であり、最適化問題などを解く際には、他の近似法が用いられていた。

本論文では、色素濃度推定の高精度化、皮膚屈折率の定量化、皮膚の半透明性の評価、光伝搬解析法の高速度といった課題を克服することで、皮膚状態をより詳細かつ正確に評価するための手法を実現することを目指した。

第一章では、可視光を使った皮膚内部状態計測法及び本論文の各研究に関わる領域の背景を述べた。また、本研究を行う目的と諸言について述べている。

第二章では、皮膚及び光学における本論文に関わる基礎知識について述べている。特に皮膚の光学モデルについて詳しく述べている。

第三章では、色素濃度の画像化における問題の抽出と改善法について述べている。色素濃度推定を精度よく行うためには、散乱の効果を取り入れる必要がある。しかし、そのことが画像化を行う上では、照度推定の誤差(陰影)により、色素濃度推定の誤差となってしまう。反射率を吸光度に変換したとき、陰影は波長依存性のない定数となるため、ランベルトベール法を適用したときに、陰影は定数項のみに入り込む。このことを利用し、散乱の効果を補正する際に定数項を使用しない新しいアルゴリズムを提案している。これにより、対象の向きを変えても同一部位の色素濃度はほぼ同じ値をとることが明らかとなり、各色素濃度画像から陰影の影響を取り除くことが可能であることを実証している。

第四章では、皮膚の屈折率を *in vivo* で測定する方法について述べている。液体の屈折率は全反射法を用

いることで簡易に測定することができるが、固体の屈折率を測ることは難しい。屈折率既知の媒体と接触させ、その時の反射を測る方法が一般に用いられているが、皮膚を対象とした場合、屈折率既知の媒体と皮膚を完全に接触させることが難しいため、従来法による皮膚屈折率の測定は困難であった。そこで、本章では皮膚をプリズムに押し当てた際に、部分的に接触した部分からの反射成分を取り出したうえで、全反射法を適用することで屈折率を求める方法を提案している。提案法をヒト皮膚に適用したところ、コンダクタンスを使って推定した水分量と良い相関がえられ、水分量が多いほど屈折率が低くなるという結果が得られている。これは水の屈折率が角層細胞の屈折率よりも小さいことを勘案すると妥当な結果であり、本方法により皮膚の屈折率が正確に測定可能であることが明らかにされている。

第五章では、皮膚の半透明性の計測について述べている。半透明性により、光の照射領域と反射率の測定領域に差異が生じることで観測される反射率が変化することを利用し、各領域のサイズを変えた際の反射率の変化から半透明性指数を求める方法を提案している。ここで求まる値は最終的な光の広がりに関する量であり、皮膚の見え方との相関が極めて高いと考えられる。UV照射による紅斑及びアセトン-エーテル処理により作った荒れ肌を測定したところ、妥当な結果が得られている。さらに、光子輸送方程式の拡散近似を用いて皮膚の吸光係数と散乱係数を求める方法についても検討している。

第六章では、光伝搬モンテカルロシミュレーションにおける計算時間の短縮に関して述べている。ここではホワイトモンテカルロシミュレーションの層化と **adding-doubling** 法の組み合わせにより、計算時間の短縮を実現する新しい方法を提案している。提案法により、多層膜モデルにおける反射率、透過率及びその角度分布の計算において、従来のモンテカルロシミュレーションモデルに対して、約 250 倍の計算時間の短縮が可能であることを実証している。また、提案したシミュレーションモデルを利用した色素濃度の推定において、従来のモンテカルロシミュレーションを利用した推定法に対して、約 0.1% の精度で同等の値が得られることを明らかにしている。

第七章では、本論文のまとめと今後の研究の展望について述べている。

(文字数 2261 文字)