

## 審査の結果の要旨

氏名 サウトン ジャリヤポーン

本研究は、老化ジワ形成による心理的影響が、クオリティ・オブ・ライフを大きく低下させるとの認識の下、シワを未然に防ぐことを最終的な目標として、老化ジワ形成の機構を、弾性安定論の観点から検討したものである。シワ形成に影響を与える因子については、種々の仮説が提示されているが、それらを定量的に評価し真偽を判断するための方法論が未成熟である。本研究では、定量的議論を展開するための端緒を座屈解析に求め、老化ジワ形成モデルを構築するにあたっての基礎となる数理的検討を行い、老化ジワの顕在化が座屈モードのスイッチング現象と関連づけて説明できるとの仮説を打ち立てるに至った。その妥当性を有限要素解析により示し、皮膚を線形弾性体とみなすという大胆な近似に基づく方法論であっても、材料定数等のパラメータ設定に加齢の影響を適切に反映させれば、座屈解析により老化ジワ形成の機序を的確に捉えることが可能であることを示した。

第1章 Introduction では、皮膚の加齢とシワ形成に関する諸説を概観し、現状ではシワ形成機構にまで踏み込んだ検討がほとんどなされていないことを示し、機構解明の意義を明らかにした。本研究では座屈解析を機軸とするが、その観点からシワ形成機構にアプローチするとの方法論はほとんどないことを示した。その上で、研究の目的と意義および本論文の構成を示した。

第2章 Structure and aging of skin では、皮膚の構成組織と加齢にともなう変化について関連する知見をまとめ、座屈現象を機序としてシワが形成されるとの仮説を示した。また、シワを力学的に検討するためには、皮膚を角層、表皮層、乳頭層、網状層、皮下組織の5層に分けて、それらのヤング率と幾何学的特質の変化により、加齢モデルを設定することが妥当であることを示した。

第3章 Formulation of minimum-buckling analysis では、皮膚を線形弾性体として一軸圧縮で行う座屈解析の意義を示し、弾性床上の梁モデルに関する理論的座屈解析より、固有座屈長さと臨界ひずみを求めることで、皮膚の座屈特性に関して定量的議論を展開できることを示した。皮膚の非均質性を考慮し、より現実的な解析を行うためには有限要素解析が有効と考えられる。その際に、座屈ひずみの最小化を有限要素モデル長さに関して行なうことで、梁モデル同様の理論を展開できることを示し、そのための定式を導いた。

第4章 Finite element model validation では、提示した有限要素解析に基づく座屈解析手法の妥当性を検証している。梁モデルにより理論的に得られた固有座屈長さと臨界ひずみが、有限要素解析によっても得られることを実証し、十分な皮膚層厚を考慮すべき場合には有限要素解析が不可欠であることを示した。

第5章 Skin aging model without papillary では、層境界が平坦な5層皮膚モデルを用いて、加齢の影響を反映させてヤング率と層厚変更した座屈解析を行い、ある年齢で座屈モ

ードがスイッチすることを明らかにした。すなわち、若年皮膚では角層が座屈するステージⅠ座屈が臨界ひずみを与え、老年皮膚では角層と表皮層が一体となったステージⅡ座屈が臨界ひずみを与える。ステージⅡ座屈では固有シワサイズが拡大し、大きく深いシワが表皮および真皮に大きなダメージを与え、加齢による再生能力の低下とあいまって、老化ジワを形成すると考えられる。つまり、このステージⅠからステージⅡへのスイッチが、老化ジワ顕在化に対応しているとの仮説を導くに至った。

第6章 **Skin aging model with papillary** では、加齢による真皮乳頭の扁平化が座屈モードスイッチにいかなる影響を与えるかを明らかにするため、表皮層と乳頭層の境界形状を波状とし、その振幅と波長に関するパラメトリックスタディを行なった。その結果、若い真皮乳頭がステージⅠ座屈の座屈ひずみを低下させ、モードスイッチの発現年齢を遅らせる効果があることを明らかにした。この検討においても、モードスイッチに着目した議論が有効であることを示した。

第7章 **Concluding remarks** では、本論文の総括と提案した方法論の発展可能性を論じている。老化ジワ形成を防止するためには、モードスイッチを遅らせる処方が有効であり、その観点から座屈解析により処方の効果を実量的に評価し得る可能性があることを示した。

以上要するに、本研究にて提案した有限要素座屈解析を機軸とする方法論により、シワ形成機構の解明に関して、新たな展開が可能となった。この点において本論文の工学的意義が認められ、よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。