

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 1279 号
------	--------------

氏 名 毛 雪 偉

論 文 題 目

Study on Superficial Layer Delamination for Investigation of Frictional Damage Characteristics at Skin-Cuff Contact Systems
(皮膚-カフ接触部における摩擦損傷特性究明のための皮膚表面層剥離に関する研究)

論文審査担当者

主査	名古屋大学	教授	山田 陽滋
委員	名古屋大学	教授	松本 健郎
委員	名古屋大学	教授	水野 幸治
委員	名古屋大学	教授	秋山 真志

論文審査の結果の要旨

毛雪偉君提出の論文「Study on Superficial Layer Delamination for Investigation of Frictional Damage Characteristics at Skin-Cuff Contact Systems (皮膚-カフ接触部における摩擦損傷特性究明のための皮膚表面層剥離に関する研究)」は、人間の皮膚と装着型ロボットのカフ接触部において摩擦を伴う接触力によって引き起こされる皮膚損傷(創傷)の主な生成要因と考えられる皮膚表面層剥離と創傷の中でも水泡や擦過傷に関する力学的な特性を明らかにしている。各章の概要は以下の通りである。

第1章では、研究の背景を述べている。すなわち、装着者が装着型ロボットの運転に起因するリスクの分析によれば、人間の動きによる関節位置姿勢の運動軌跡が、ロボットの関節の場合とは異なるため、運動中に両者の間に大きな相互作用が生じて人間が関節や皮膚に損傷を生じる可能性があること、したがって、装着型ロボットのための安全性検証試験が必要であることなどが述べられた。加えて、水泡や擦過傷に対して、安全性検証に資するデータが過去にないことを調査結果として表し、これをもって、本論文では、表面層の剥離に起因して発生する水泡と擦過傷に関する力学的特性の解明が本研究の目的であると述べている。

第2章では、皮膚摩擦損傷の初期段階における表面層の剥離を調べるための主要なパラメータを特定し、これらのパラメータの皮膚摩擦損傷に対する影響が、水泡あるいは擦過傷を対象として調査される。皮膚とカフの接触面における力学的な特性の変化は、皮膚摩擦損傷の発生と関連しており、初期的な皮膚摩擦損傷の目安として利用でき、損傷が進行する皮膚の力学的な特性を分析することが可能になる。水泡については、せん断応力-摩擦時間と摩擦水泡発生との関係にとくに注目して解析することにより、装着型ロボットの本質的に安全な使用条件を示すための安全性検証方法を開発することができる。また、皮膚とカフの接触条件の更なる評価を行うために、押し込み深さ、先端速度、及び擦過頻度などと摩擦回数との関係を調べた。

第3章では、本研究に用いられた実験方法について説明する。実験対象が人間の場合、倫理的な問題が発生することからブタの皮膚と、独自に開発したダミー皮膚を使用した。上記の皮膚を用いて人間の皮膚とロボットのカフ接触力学の分析モデルの作成を行った。初期の水泡または擦過傷は微視的であるので、この章ではまず、損傷した皮膚サンプルの外観を調べる方法を説明する。つぎに実験装置を紹介した後、主要な実験手順を示す。実験手順によって、実際の人間の皮膚とロボットのカフの接触条件がシミュレーションされるだけでなく、皮膚損傷発生条件のさらなる解析にとってな情報が与えられる。

第4章では、水泡が発生するリスクを低減し、本質的に安全な接触条件を装着型ロボット装着者に提供するために安全性検証手法を開発した。水泡生成に関するブタの皮膚は、これを人間の皮膚の代替資料として選択する妥当性を確認するために選定される。顕微鏡によって観察された実験結果に基づいて、ブタ皮膚サンプルの生存関数を計算するためのノンパラメトリックな推定方法を導入した。せん断応力と摩擦時間との関係には、摩擦損傷を生じない本質的に安全な領域が見出された。人を対象とする実験で得られた水泡の生成条件と合わせて、本質的に安全な領域がさらに調整される。装着型ロボットの実際の利用時として、起立・着座動作を実施した際における本質的に安全な接触条件の範囲での使用可能性が、安全性検証実験を用いて検証された。

第5章では、皮膚擦過傷の発生過程におけるダミー皮膚-カフの接触系のモデル接触面の力学的特性について考察し、摩擦係数の顕著な低下傾向が不可逆的擦過傷の手掛かりであることを発見した。傷害誘発損傷メカニズムのこれまでの研究によると、圧痕深さ、先端速度、擦過頻度の3つの物理的因子が、人間とロボット相互作用の面で接触条件に起因する擦過傷にとって、最も重要な因子とみなされている。これらの物理的因子の擦過傷に対する異なる影響は、その後、分析モデルにおける擦過回数によって決定される。同じ実験システムを使用して、新鮮なブタの皮膚サンプルの摩擦係数も同様の変化を示す。凍結切片観察結果に伴い、実際の人間の皮膚とロボットのカフ接触条件を評価するための実験的方法論が実現可能であることが検証された。

第6章では、人間の皮膚とロボットカフ接触システムにおける摩擦損傷特性に関するこの論文で行った主な調査と重要な結論を説明している。また、本論文で総括した研究結果を実際の装着型ロボットの使用に適用するための要件を踏まえて、今後の課題についても紹介している。

以上のように本論文では人間の皮膚が装着型ロボットのカフとの接触によって生じる創傷の主な生成要因と考えられる皮膚表面層剥離と、水泡や擦過傷に関する力学的な特性を明らかにした。これにより得られた結果は、装着型ロボット安全性検証手法を確立するために重要であり、工学の発展に寄与するところが大きいと判断できる。よって、本論文の提出者である毛雪偉君は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格があると判断した。