

研究課題 (テーマ)		手指ダミーを用いた協働ロボットの定量的安全評価方法の考案	
研究者	所属学科等	職	氏 名
代表者	知能ロボット工学科	助教	李 豊羽
分担者			
研究結果の概要			
人間とロボットの協働作業における手部の安全性を向上させるために、軽度な接触の安全レベルについて文献及び実験によって調査を行った。その安全レベルを定量的に評価するために、人間の手指の代わりとなるセンサ内蔵型手指ダミーを開発し、動作確認と接触状態の測定を行った。 まず、安全レベルの調査結果について述べる。接触評価についての関連研究を調べたところ、ヒトの指を対象とした痛みの閾値についての調査は少なく、痛みの閾値以下の力についての調査はない。そこで、本研究では痛みの閾値とその値以下の力を与えた際の痛みのレベルについて調べた。結果としては文献を基にした痛みのレベルによると、軽度傷害における応力閾値は $0.48\text{--}0.92\text{ MPa}$ とした。さらに、文献調査結果に基づき、ヒトとロボットの接触を想定した接触実験を行い、接触箇所の傷害耐性評価を行った。協働ロボットの挟み込みを想定した実験から設定した。実験はマニピュレータを用いて、協働ロボットの動きの再現を行った。実験は被験者の右手人差し指を対象として、疼痛閾値を計測した。疼痛閾値は 40 N であり、疼痛閾値以下の接触力を与えた際の応力閾値は $0.13\text{--}0.51\text{ MPa}$ であった。接触状態における安全な領域を $0.13\text{--}0.51\text{ MPa}$、危険な領域を $0.57\text{--}1.14\text{ MPa}$ として安全レベルを設定した。 次に、安全レベルを基にセンサ内蔵手指ダミーによる計測について述べる。手指ダミーは先行研究を参考に新しく作製した。新しく作製した手指ダミーは、複数のセンサを取り付けられるような人工指骨を新たに設計し 3D プリンタで作った。軟組織部は人肌のゲルで成型した。また、内蔵される小さなセンサは PVDF 素材を用いて加工した。このセンサは高感度であり、ひずみやエネルギーの定量的計測が可能になっている。実験用マニピュレータを用い、調査した接触モードの実例を手指ダミーで再現した。それと同時に手指ダミー内部に配置されたセンサによるひずみ・エネルギーの計測を行った。安全レベルを参考に手指ダミーの計測したところ、接触前後において電圧の変化を計測することができた。衝撃力の増加とともに、皮膚傷害レベルも深刻になっていくと考えられ、軟組織の痛覚・損傷の発生条件について明らかにした。			
今後の展開			
より正確に安全レベルを設定するために被験者の人数を増やし応力閾値と痛みの強さ、周期を測定する必要がある。また、手指ダミーは多様な物理量を計測できるように改良を行っていくと考えている。本研究で手指ダミーの軟組織部に使用した人工皮膚は、準静的接触力が 30 N 以上になると、表面が裂け始めることが分かった。そのため、今後軟組織ダミーの材質を選定する際、規定の粘弾性と摩擦係数以外、永久ひずみや引き裂き強さも考慮する必要があると考えられる。			