

氏名(本籍)	安藤 潤人 (東京都)		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	博甲第 9678 号		
学位授与年月日	令和 2 年 9 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当		
審査研究科	システム情報工学研究科		
学位論文題目	ヒトが面歪を感知する能動触メカニズムを規範とした触覚センシングに関する研究		
主査	筑波大学 教授	博士(情報科学)	望山 洋
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	相山 康道
副査	筑波大学 教授	博士(工学)	鈴木 健嗣
副査	筑波大学 教授	博士(情報学)	黒田 嘉宏
副査	名古屋工業大学 教授	博士(工学)	佐野 明人

論文の要旨

審査対象論文は、ヒトが能動的に腕を動かして掌の触覚によって微小な面歪を感知するという、実際に現場で行われている作業に着目し、その触覚センシングについて調査している。その上で、微小面歪を検知するための、新たな触覚センシングシステムの可能性を論じている。

まず、ヒトの指の周りに形成した薄いゴム層にひずみゲージを埋め込んだ簡単なデバイスによって、微小面歪の走査方向に沿った形状の曲率をどの程度再構築できるか、という問いを立て、ヒトが能動触によって得ている微小面歪に関する情報を、定量的に調べている。触覚を担う指の皮膚と、触対象との間のひずみ信号から、曲率振幅が $10[1/m]$ レベルの、極めて平坦に近い正弦波状の触対象形状を、精度よく再構築可能であることが示されている。

さらに、触覚コンタクトレンズとよばれる、ヒトの触感を増強する、視覚における虫眼鏡のような触覚デバイスを用いて、ヒトが能動触によって微小面歪を感知する状況を、異なる角度から調査している。ヒトは、この触覚コンタクトとよばれる剣山のような形をした柔軟構造体を介して、微小面歪をなぞると、素手でなぞるときよりも、微小面歪を明瞭に感じることができていることが知られている。触覚コンタクトを介して、触対象形状の再構築を行った結果、触覚コンタクトを用いない場合に比べて、正弦波状の触対象形状のシグナルノイズ比が大きく向上することが明らかにされている。

これら二つのヒトの触覚情報処理に関する知見を踏まえた上で、微小面歪を、ヒトの触覚に頼らずに検出するための走査型触覚センシングシステムが提案され、その有効性が調査されている。実際の微小面歪作業は、探索作業であるため、走査する際の検出幅は、十分に広くなくては現実的ではない。そのための具体的な工夫が示され、提案するセンシングシステムの能力が定量的に議論されている。

最後に、論文の成果がまとめられ、触覚センシングにおける今後の課題が述べられている。

審査の要旨

【批評】

本論文では、主に自動車ボディの鋼板に対して行われている微小面歪検査が、未だにヒトの触覚によってなされているという事実に着目し、その際に得られる触覚センシングに関する知見を、ユニークな自作デバイスを用いて、独創的な観点から調査している。さらに、多大な労力を必要とする微小面歪検査の自動化に繋がる過程として、走査型触覚センシングシステムの可能性が提示されている。

本論文の独自の視点は、ヒトが面歪を感知する能動触メカニズムが、微小面歪検査を達成する鍵であるとの洞察に基づき、この能動触の状況を可能な限り維持することで、能動触メカニズムを規範とした触覚センシングの調査を行っていることである。この視点により、以下の二つの新たな知見を得ている。

第一の知見は、ヒトが能動触を行う際の界面におけるひずみ信号から、触対象のほんの僅かな形状の変化を正確に読み取ることができるという点である。第二の知見は、触覚コンタクトレンズという柔軟構造体を、ヒトが能動触を行う際の界面に介在させることによって、さらに微妙な触対象の形状変化のセンシングを達成できるという点である。これら二つの知見は、物体の形状センシングに対する、触覚の新たな可能性を示し、ハプティクス（触覚学）に対する貢献とみなすことができる。また、これらの知見が明らかにするセンシングの効果は、柔らかさを有するデバイスによりもたらされていることから、柔軟物の機能の活用を指向するソフトロボティクスの観点からも、価値ある貢献であるといえる。

一方、これらの二つの知見を踏まえて、新たな走査型触覚センシングシステムが提案されている。このシステムでは、広い検出幅を有する面状のひずみセンシングデバイスを介して、雑巾がけのようにヒトが触対象を走査することにより、面歪の探索を行う。ヒトの手と触対象の間に、面状ひずみセンシングデバイスが介在すること以外は、ヒトが能動触により面歪を感知する状況と本質的に同じという意味で、そのメカニズムを念頭に置いた触覚センシングシステムとなっている。この提案触覚システムが実現されれば、微小面歪検査における大幅な労力の低減に繋がり、産業的にもインパクトが大きく、学術的な貢献のみならず、産業応用の観点からも大きな貢献である。

本論文の成果の主要部分は、日本機械学会のオープンアクセス欧文誌である ROBOMECH Journal の学術論文として採択され、世界に公表されている。

以上のことから、本論文は、ハプティクスとソフトロボティクスの両方に貢献する価値のある研究成果と認められる。

【最終試験の結果】

令和2年7月29日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。