

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	衝突時における硬さの知覚および表現に関する研究
Title(English)	Study on Hardness Perception and Rendering at Collision
著者(和文)	齋藤靖之
Author(English)	Yasuyuki Saito
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11186号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:只野 耕太郎,小俣 透,小池 康晴,八木 透,長谷川 晶一
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11186号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第 号			学位申請者氏名		齋藤 靖之	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	只野 耕太郎	准教授	審査員	長谷川 晶一	准教授	
	審査員	小俣 透	教授				
		小池 康晴	教授				
		八木 透	准教授				

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は、「衝突時における硬さの知覚および表現に関する研究」と題し、全 6 章から構成されている。

第 1 章「序論」では、ロボットの遠隔操作による作業において、ハプティックデバイスによる力触覚提示が有効であるとする一方で、人と同等な迅速な作業を行うためには、ハプティックデバイスに高剛性環境との衝突時の硬さを表現する能力が求められるとしている。しかし、従来のハプティックデバイスでは、サイズや出力の制約から、衝突時の衝撃力を提示することは困難であることを指摘している。一方、人が硬さを知覚するメカニズムはまだ十分に解明されておらず、機械的な刺激に対する明確な指標が存在しないことを述べている。そのため、本研究では、硬さの知覚メカニズムを解明することで、機械的な刺激に対する硬さ知覚の指標を導出するとともに、ハプティックデバイスの硬さ表現能力を向上させることを目的としている。

第 2 章「衝突時の硬さ知覚メカニズム」では、硬さ知覚に影響を及ぼす刺激要因を明らかにするために、スタイラスを手で持ってブロックをタップしたときのスタイラスの運動と知覚する硬さの関係を実験的に調べている。ヤング率の異なる複数のブロックに対して、衝突時に知覚する硬さを順位付けした結果、低剛性材料同士の衝突では知覚する硬さとヤング率の間に正の相関が認められるのに対し、高剛性材料同士の衝突では硬さの知覚がヤング率に依らないことを明らかにしている。本現象を解析するためスタイラスの加速度計測と高速度撮影を行い、その結果から、低剛性材料同士の衝突時では加速度波形がヤング率に応じた減衰振動となるのに対し、高剛性材料同士の衝突時にはね返りによって 2 度打ち現象が生じることを確認している。このことから、衝突時の硬質感は、2 度打ち現象に伴う高速な皮膚変形による振動刺激がパチニ小体によって感受されることで得られると仮定している。そこで、タップ動作によって発生する皮膚感覚への刺激量を加速度波形から算出する方法を提案し、算出された皮膚感覚への刺激量と知覚する硬さの关系到非常に強い相関があることを確認している。これにより、2 度打ち現象がパチニ小体への刺激として硬さ知覚に影響を及ぼしていることを明らかにしている。

第 3 章「衝突時における硬さ知覚の指標」では、第 2 章の結果に基づいて、皮膚感覚への刺激量と衝突速度の比を硬さ知覚の指標として提案し、ハプティックデバイスによる仮想壁およびブロックを用いて評価している。知覚評価および計測実験の結果から、提案した硬さ知覚の指標が仮想壁で表現される硬さと相関があるとともに、衝突速度に依存しないことを示している。また、知覚する硬さが同程度となる仮想壁とブロックで、提案した硬さ知覚の指標値は必ずしも一致しないことから、本指標による評価は絶対的なものではなく、スタイラス毎の相対的なものとなることを明らかにしている。

第 4 章「ハプティックデバイスの硬さ表現能力の向上」では、第 2 章の結果に基づいて、小型アクチュエータの振動を効率的に活用して、衝突時の硬さ感覚を提示する方法を提案している。ボイスコイルモータにより振動刺激を発生可能な U 字型スタイラスを設計、製作し、その振動が硬さ知覚に及ぼす影響を調べている。知覚評価実験の結果から、U 字型スタイラスを 300 Hz 付近の周波数で共振させ、提示時間を 20 ms とすることで、ハプティックデバイスの硬さ表現能力を効果的に向上できることを明らかにしている。これにより、従来の方法では不可能であった、フッ素樹脂およびアルミニウムブロックに相当する硬さを表現できることを確認している。

第 5 章「遠隔操作システムにおける硬さ表現」では、第 3 章において提案した硬さ知覚の指標および第 4 章において提案した硬さ表現方法を利用した、遠隔操作システムにおける硬さの計測、提示について述べている。衝突時の力波形からオンラインに硬さ指標を計算し、ハプティックデバイス側で指標値に応じた振動を発生させるシステムを提案、構築している。知覚評価実験の結果から、ロボットに衝突する物体が未知であっても、高剛性材料の硬質感を操作者に違和感なく提示できることを確認している。

第 6 章「結論」では、本論文により得られた結果を総括するとともに、今後の課題について述べている。

以上を要するに、本論文は、衝突時の硬さ知覚メカニズムを解明するとともに、それに基づく硬さ知覚の指標およびハプティックデバイスの硬さ表現能力を向上させる方法を提案し、実験によりその有効性を示すものであり、工学上ならびに工業上寄与するところが大きい。よって、我々は本論文を博士（工学）の学位論文として十分に価値があると認める。

注意：「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。