

審査の結果の要旨

氏名 杉田 直彦

ナノバイオテクノロジーは現在の最先端技術分野であり、将来的にはライフサイエンスを中心とした高度な社会の形成に必須の要素技術となる。例えば、人工関節と骨組織の接合強度を最大にするような人工関節置換術の実現がナノ医療の一つの柱となる。これを実現するためには、材料工学とトライボロジーの観点から、磨耗がなく半永久的に使用できる人工関節の開発とともに、再生医療工学の観点から、骨組織と人工関節を最大の強度で接合する骨加工法が課題となる。また、骨再生速度が最大になるような骨切除形状が望まれており、マクロな切削特性だけでなく、ミクロな切削特性を検討する必要がある。しかしながら、骨の加工現象は十分に明らかにされておらず、そのために、骨の組織構造と切除メカニズムの関係を明らかにすることが重要な研究課題となっている。

本研究は、将来のナノ医療における生体組織のマシニングへと展開するための基礎となるものであり、バイオメカニクスと機械工学の立場から骨切除加工にみられる諸問題を解明するものである。そこで、生体組織や細胞への損傷回避、生体に対する低侵襲加工といった点に着目し、骨の組織構造と微小切削現象、実用的骨加工に関連したフライス加工特性、切削温度測定と骨細胞の熱損傷回避の3つの観点から、人工関節置換術に関わる骨加工の切削現象が考察されている。

第1章では、序論として本研究の背景、従来の研究、目的を述べている。

第2章では、開発した人工関節置換術支援骨切除装置の実働機能評価と加工機能評価に基づいて、装置に必要な骨加工情報の検討項目を明確にしている。また、その検討項目に基づき、骨材質と加工の関係、切削挙動の解明など、本研究にて行う具体的な研究内容とその必要性について述べている。

第3章では、骨が工業材料とは異なり、特殊な材質と組織構造を有していることから、その組織構造と強度や硬度に代表される機械的性質との関係を明らかにしている。また、骨の組織構造を考慮したときに骨切除装置がどのような加工方法を選択すればよいかについての検討を行っている。

第4章では、骨の微小切削現象そのものを2次元切削において動的に捉え、切りくず生成形態を解析している。また、2次元微小切削における、いわゆる切削理論的な切削特性を

明らかにすることによって、骨の被削性を論じている。骨組織は非常に複雑であり、骨の切削特性と密接な関係があると考えられる。そのために、骨の組織によって微視的にどのような切削の違いが見られるのか、あるいはまた、その切削メカニズムが被削性とどのような関係があるのかを明らかにして、その加工情報を骨切除装置にフィードバックすることを試みている。特に、骨切除装置で加工が困難とみられる皮質骨の切削形態を、2次元切削装置下で可視化するとともに、微小切削域での切削機構を比切削抵抗とせん断応力から明らかにしている。

第5章では、骨切除装置と同様の骨のエンドミル加工を実験室的に行い、骨切削における加工変質層、組織構造と切除メカニズムの関係、組織の疎密と比切削抵抗との関係、加工条件が切削抵抗に及ぼす影響等を明らかにしている。

第6章では、骨の切削温度測定に際して、赤外線熱画像装置で切削直後の工具切れ刃温度を測定するとともに、被削材内部に設置した熱電対で内部の温度分布を測定している。このことによって、骨の切削温度の実態を明らかにするとともに、加工環境の冷却による切削熱の除去方法について提案をしている。

第7章では、将来展望および今後の研究課題として、骨組織の切除メカニズムに基づいて新たな加工法を提案し、骨再生効果を最大にするような生体組織のマシニング法を確立することで、人工関節と骨との接合を最大にする人工関節置換術を構築することを述べている。

第8章では、本研究の結論が述べられている。

以上を要するに、本研究では、骨の材質・組織と微小切削現象の関係を明らかにするとともに、骨切除にフライス加工を適用する場合の加工特性と切削温度の影響が検討されている。その結果、本研究は人工関節置換術における骨切除加工に有益な情報を提供するとともに、将来期待される生体組織のナノマシニングの基礎研究となる。

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。