

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	兪 浩 洋
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学教授	工学博士 大西 公平
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 村上 俊之
	副査	慶應義塾大学准教授	博士(工学) 矢向 高弘
	副査	慶應義塾大学教授	博士(工学) 西 宏章
	副査	パドバ大学准教授	Ph.D. OBOE, Roberto
(論文審査の要旨)			
<p>学士(工学), 修士(工学), 修士(医学) 兪浩洋君提出の学位請求論文は「Implant Surgery Supporting System Based on Potential Field and Bilateral Control」(ポテンシャルフィールドとバイラテラル制御を用いたインプラント手術支援システム)と題され, 6章から構成されている。</p> <p>義歯に代わる喪失歯治療として 1960 年代半ばからインプラント治療の臨床応用が始まったが, 顎骨に人工歯根を埋め込む精密な骨手術であるため, 手術成績が術者の技量に大きく依存している。現在インプラント手術の成功率はほぼ 90%を越えているものの, 顎骨の近傍には神経や血管が密集しているため一旦事故が起こると重大なケースに至る場合がある。従ってインプラント手術における骨切削には特段の安全性が求められている。本論文は対象とする顎骨近辺に人工のポテンシャルフィールドを設定し確実にドリルのオリエンテーションを行うと共に, バイラテラル制御によりドリルの切削開始点と切削停止点を術者に教示するシステムを開発し, 安全で正確な顎骨切削を可能にしたものである。</p> <p>第 1 章では, 研究の背景と目的を述べ, 従来の研究を概説している。</p> <p>第 2 章では, ドリルが装着される多自由度ロボットの関節座標系と骨側に原点のある作業座標系の定義を行い, ポテンシャルフィールドの設定とロボットの動作を結びつける関係式を運動学に基づき導いている。</p> <p>第 3 章では, ドリルが装着されている手先効果器の動作が満たすべき三要件, すなわちドリル刃先が切削すべき骨表面より離れている場合に必要な自由動作, ドリル刃先が骨表面に近接したときにあらかじめ設定した切削開始点に近付ける誘導動作, および切削開始点を行き過ぎたときに開始点に戻す補助動作が Lennard-Jones ポテンシャルにより可能になることを明らかにしている。またこれを制御系に組み込み, 術者に力覚フィードバックするシステムを開発し, 有効に作動することを実験でも明らかにしている。</p> <p>第 4 章では, 骨密度が X線吸収率より推定できることを利用し, 切削力と骨密度を同時に計測表示するシステムについてその原理と実装を示している。切削力は切削速度と骨密度の関数として近似できるためドリル切削トルクと回転速度より両者を同時に推定することが可能である。実際に歯の硬度に近い擬似ファントムを用いて実験を行いその有効性を示している。</p> <p>第 5 章では, 手先効果器のマスタとスレーブにバイラテラル制御を適用し, 術者が力覚を得ながら安全に切削するシステムの原理と実装を示している。また, スケーリング技術と切削開始点からの切削深度制限をバイラテラル制御に組み込むことで安全性の高い骨切削が可能になることを実験でも明らかにしている。</p> <p>第 6 章は本研究の成果を要約し, 今後の展望を述べている。</p> <p>以上要するに, 本論文ではポテンシャルフィールドの導入とバイラテラル制御による術者への切削力フィードバックにより, 安全で正確な施術を可能にするインプラント手術支援システムを開発したもので, ロボット工学分野において工学上, 工業上寄与するところが少なくない。</p> <p>よって, 本論文の著者は博士(工学)の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第 2 (システム統合工学専修) 科目担当で試問を行い, 当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また, 語学 (英語) についても十分な学力を有することを確認した。</p>		