

研究種目： 基盤研究(B)
 研究期間： 2006～2008
 課題番号： 18300170
 研究課題名（和文）患者中心医療に向けた口腔インプラント手術支援システムに関する研究
 研究課題名（英文）Studies on Oral Implant Surgery Support System towards Patient-Centered Health Care
 研究代表者 伊藤 照明（Ito Teruaki）
 徳島大学・大学院リハビリテーション研究部・准教授
 研究者番号：90284306

研究成果の概要：

本研究は一人一人の患者の要求仕様にあった口腔インプラント手術を支援し、患者中心歯科医療の実現に向けた取り組みを支援するための基礎的研究を行った。インプラント治療に必要な治療ジグの症例別設計に基づく手術シミュレータの開発と、コンピュータ制御により正確な埋入前処理を可能とする口腔内装着型マイクロドリルシステムの開発を中心に取り組んだ。海外共同研究活動や教育プロジェクトにおいても有意義な結果が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	11,400,000	3,420,000	14,820,000
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	14,000,000	4,200,000	18,200,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用システム

キーワード：コンピュータ外科学

1. 研究開始当初の背景

本研究の目標は患者中心の医療に向けた口腔インプラント治療の実現を支援するシステムを開発することである。口腔インプラント治療は、ブローネマルク教授がチタンを用いて直接骨に埋め込むブローネマルクシステムインプラントを考案したのがきっかけとなり、1960年代後半から本格的な普及が始まった。高齢化社会が進むわが国においても口腔インプラント手術に対する需要は年々増加し、もはや特殊な手術ではなく一般的な歯科手術として定着しつつある。口腔インプラント治療の基本は歯の抜けた部分の

顎の骨にフィクスチャー(人工歯根部)を入れて支柱とし、その上に支台部(歯を直接支える部分)と人工の歯を固定する治療法である。フィクスチャーは埋入後、顎骨との静着(オッセオインテグレーション)のために約4ヶ月以上の治療期間が設けられる。こうしたインプラント治療は35年以上にわたり優れた成績を残し、予知性の高い治療法として多くの患者を救う一方で、患者にとって3つの大きな欠点が指摘されてきた。すなわち、治療に長期間を要すること、その結果として治療費が高額となること、また予備手術による患者の負担が大きいことである。こうした問

題を克服するために生まれたのがノヴァム・システムである。1990年代後半から臨床応用が開始され、治療期間の短縮と治療費の低減を図ることができるようになった。その治療の基本は事前に準備される3つのコンポーネントつまり、フィクスチャー、プライマリーバーおよびセカンダリーバーから構成される。ステント（ガイド役を果たす補助器具）を応用しながらフィクスチャーの埋入を行い、粘膜を縫合する。その後、プライマリーバーをチタン製スクリューでしっかりと固定する。その上にセカンダリーバーを置いてパテ状印象材あるいはワックスを用いて咬合採得し、人工歯排列、重合を行い完成した上部構造をスクリューで固定する。入念に事前準備を行うことにより埋入から上部構造の装着までを短期間で行うことが可能となる。

こうしたノヴァム・システムは高級既製服にたとえられるが、患者中心の医療で求められるテーラーメイド医療のためには更なる技術革新が求められている。そのためには、症例別に個別の設計を短期間で行うための技術、そして手術の不安を最小限に抑えるために、患者が治療内容を十分に理解できること可能とする技術開発が強く求められている。

申請者らはCT スキャン等の患者の医療データからRP手法（ラピッドプロトタイプ）により顎骨部分のモデルを作成し、そのモデルによりコンポーネントの形状設計と製造を行う治療方法を提案している。これは高級既製服のノヴァム・システムに対して高級注文服に相当する治療法であり、従来にない独創性を有することが特徴である。提案手法では、手術前に準備する部材を手術中に正確に患部に取り付けるためのステントもあわせて準備される。これもまた患者毎に異なるため汎用的な部材で対応するのではなく、個別の対応を行うためである。

こうしたコンポーネントやサポート部材は患者毎に手作りで準備し、テーラーメイドによる質の高い製品を使用する。しかしその一方で、(a)設計・製造には相当の時間がかかること、(b)その結果として費用が高額になってしまうこと、(c)また事前に設計評価が十分に行えないため手術後の状態を想定した最適設計を行うことが困難である等といった問題点が認識されている。一人一人の患者の要求により一層応え、患者中心の治療を実現するためにはさらに新しい技術が期待されている。

2. 研究の目的

先に述べた研究背景を踏まえ、申請者らは一人一人の患者の要求仕様にあった手術を行うための口腔インプラントの設計製造に

関する総合的なシステム開発を進めている。本研究はその一部を構成するものとして開発するシステムであり、インプラント治療に必要なコンポーネントおよびステントの症例別設計を行うとともに、力覚提示機能を有する仮想空間技術による手術シミュレーションを可能とするVirtual Implanter System (VIS)、そしてNC制御による正確な埋入前処理を可能とする口腔内装着型多軸制御方式マイクロドリルシステムであるIntraoral Dental Drill System (IDD)から構成される統合型システムである。それぞれのシステムを開発し、最終段階では2つのシステムが統合され、仮想空間を介した口腔インプラント手術支援システムとして完成する。本研究では、短期間での治療準備を可能とする環境構築に加えて、VISを用いた患者との情報共有により、治療計画やその手術シミュレーションの詳細を患者が感覚的に把握することを可能とすることで患者の抱く不安を最小限に抑える効果の実現も目標とする。また、こうした本研究のアプローチによる患者中心の医療に対する有効性についても検証する。

3. 研究の方法

本システムの開発においては、仮想空間シミュレーションサブシステム (VIS: Virtual Implanter System) と口腔内装着型マイクロボール盤サブシステム (IDD: Intraoral Dental Drill System) の2部構成で開発を行う。開発にあたってはソフトコンピューティングによるシステム開発技術や、モーションキャプチャリングによる動作解析、複合現実感技術の応用技術を取り入れ、最終的には2つのシステムが統合され、協調的仮想空間を介した口腔インプラント手術支援システムとして完成される。研究方法について以下に述べる。

(1) 研究計画立案：本研究で提案する研究組織を編成し、研究代表者を中心としてシステムの設計・開発企画を行い、全体のシステム設計仕様を作成する。本研究で開発するVISシステムは力覚提示型フィクスチャー埋入シミュレーションシステム (VFIX) を中心として、VFIXにデータを提供するためのプリプロセッサモジュール (PREM)、コンポーネント (プライマリーバー・セカンダリーバー) とステントを設計するための (COMP) プロトタイプ作成システムで構成される。また、IDDシステムは、VISで行う口腔インプラント手術シミュレーションを実空間内で行うためのサブシステムである。IDDシステムは、口腔内に装着するための空間的な制約条件、臨床で用いられるための機能要求を詳細に分析し、求められる設計変数を算出し、3次元ソリッドモデルの作成と製造に関する計画を立案する。

(2) 役割分担：VIS システムの開発に関しては、VFIX は伊藤と福田、PREM は伊藤と溝渕、COMP は溝渕が開発担当とし、PREM で持っている臨床データは友竹が準備を行う。開発後の評価に関しては VFIX システム評価とその臨床評価は友竹と市川が、COMP での設計は友竹が行い、COMP での設計データを基に溝渕が機械加工により試作品の作成を行う。試作品を用いた臨床評価は市川が担当し、全体に関する総合評価は MIT およびスタンフォード大学における技術動向を参考としながら伊藤と福田が行う。また、IDD システムの開発に関しては、伊藤、溝渕、福田が担当し、その評価を市川と友竹が分担する。その設計と開発においては、MIT の Slocum 教授との連携を予定している。

(3) 力覚提示デバイス開発環境①の構築：卓上型の力覚提示装置 PhanTom/Desktop および制御用ワークステーションを導入する。また、開発用ソフトとなる GHOST-NT とそのためのワークステーションを徳島大学に導入する。なお、インプラント治療部材の設計の前提となる顎骨のデータを処理するためにデータ処理ソフトが不可欠となるため Magics システムの導入も同時に行う。

(4) 精密機械加工装置②の導入と IDD 開発③の準備：ステントやコンポーネントの試作品作成および IDD サブシステムの製造における部品作成には不可欠となる 3次元 RP 装置を導入する。また、IDD で使用するマイクロモータとドリルも導入する。また、MIT の Slocum 教授との連携で、機能要求と設計変数に関する議論を行い、開発に取り組む。

(5) 力覚提示システムプリプロセッサ (PREM) の開発：研究分担者の友竹から提供される顎骨の臨床データは、CT スキャンデータの一般フォーマットである DICOM あるいは RP 用の汎用フォーマットである STL により提供される。この 2種類のデータを統合して骨の内部状態を示す骨密度を加味した形式の STL データを作成するプログラムの開発を行う。データ処理自体は汎用のプログラミング言語による開発を行うが、臨床データの直接的な処理は専用のソフトを利用することが効率的である。そのため業界標準に近い形で普及している Magics を併用する。

(6) 力覚提示型フィクスチャー埋入シミュレーションシステム (VFIX) の設計と開発：インプラント治療の基礎となるフィクスチャーの種類選択およびその埋入位置と方向の設計は顎骨の状態、つまり骨組織密度や骨形状を考慮して行われる。従来の 3次元モデルによる処理では、その設計には時間がかかるとともに、骨形状や密度により精度にばらつきが発生することが指摘されている。本研究で開発するシステムでは力覚提示が設計者にリアルタイムでフィードバックされ

るため、あたかも目の前に治療対象となる顎骨を置いて検討している感覚を提供する。さらに、物理モデルでは内部の骨組織密度を考慮し作成することは困難であるが、本システムでは内部状態を表現したデジタルモデルと力覚提示機構を併用することにより、直感的な状態判断のインタフェースを提供するシステムを開発する。

(7) コンポーネント設計システム (COMP) の設計と開発

RFIX によりフィクスチャーの埋入設計が行われると、その設計に基づいて実際の手術を正確に行うための補助器具であるステントの設計が行われる。本研究で用いるステントは顎骨形状に合致した形状を持つチタン合金によるジグであり、フィクスチャーの埋入のためのドリリングを正確に行うためのガイドホールを有している。COMP はそうしたステントを設計するための支援システムである。また、フィクスチャーの埋入後に装着するプライマリーバーとその上に取り付けるセカンダリーバーの設計も COMP により行う。こうした設計データに基づく実際の製造は (4) で述べた装置により作成を行うため、機械加工のテストを行いながら進める。

(8) VIS システムによるインプラント手術設計：開発した VIS の VFIX モジュールを用いて、フィクスチャー埋入設計を試験する。顎骨の密度や形状を VFIX の提供する力覚提示機構により確認しながら症例に最適なフィクスチャーの選択を行い、その埋入位置と方向を決定する。この作業は友竹が臨床データに基づいて行い、従来用いてきた商用ソフト Sim/Plant による設計との比較による評価を行う。さらに、COMP モジュールによるステントのモデリングを行う。これは VFIX の設計仕様に基づいて作成する。このモデリングにおいては科補綴学の観点から市川が設計の仕様検討を入念に行うことで要求を十分に満足させる。また、患者には VFIX による力覚シミュレーションを体験してもらい、顎骨の状態とインプラント手術の実感をつかんでもらうことで、患者中心の医療に対する有効性を検証する。また、福田が客員教授を努めるスタンフォード大学との連携および研究分担者の Slocum 教授との連携による評価も行い、日米間の評価の違いについても調査を行う。

4. 研究成果

本研究は患者中心医療に向けた口腔インプラント手術支援を目的とし、そのための支援システムの研究開発に取り組んだ。研究活動内容としては、仮想空間シミュレーションサブシステム (VIS: Virtual Implanter System) と口腔内装着型マイクロボール盤サブシステム (IDD: Intraoral Dental Drill

System) の設計・開発を中心に行った。本助成金によって導入した機器に加えて、研究室に既存の設備を用いて本研究を遂行した結果、その一部を成果報告として出版することができた。つまり、VIS システムに関しては、その構築の基礎となるインプラント配置シミュレーションの開発を行い、その結果について学術論文で報告した。また、IDD システムに関しては海外協力研究者との共同研究により基本設計仕様を作成し、試作品の開発を行った。これらの内容については学術論文にて報告した。また、本研究に関連した技術を扱ったシミュレーションや教育関連の論文についても学術論文として採択された。しかし、臨床面での評価については十分でなく、SimPlant との比較研究についても今後の課題として取り組む予定である。

本研究は仮想空間内の設計製造と力覚提示装置を用いたシミュレーション技術により、臨床データから口腔インプラント埋入計画および手術用サポート部材の設計・製造を行い、その実用化の基礎技術を確立することを目指してきた。この手術シミュレーションは患者との共有利用を想定しており、患者が手術内容の理解をより一層深めることで患者中心の医療の実現に向けての取り組みである。世界一の高齢化社会となっているわが国においては、患者中心の医療に対する要求はさらに拡大することが予測されるが、そうした要求に応えるために、歯科医療のあり方においても様々な角度からの研究が進められている。本研究はそうした患者中心の医療に対する新しいアプローチの一つであり、研究から得られる臨床試験の結果は実用化を検討する上で大きな意義を持つとともに、歯科医療を通じて人々の福祉に大きな貢献が期待される。そのために、工学と歯学の複合領域に関するニューフロンティア分野の研究テーマとして、徳島大学工学部機械工学科と徳島大学歯学部との共同プロジェクトを立ち上げ、今後の更なる発展への出発点を作ることができたことは大きな成果である。また、世界的のトップクラスの技術を誇る米国 MIT との共同研究を通じた研究交流ができたことも非常に意義のある成果である。工学と歯学の複合領域の研究は学術的に様々な可能性を秘めた分野として注目されており、本研究を出発点として今後も新しい技術革新に取り組む所存である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件) 全て査読有り

- ① Ichikawa, Tetsuo, et. al.: A new retrieval system for cement-retained implant superstructures, *Journal of Prosthodontics*, 17(6), 2008, pp. 487-489.
- ② Mizobuchi, Akira, et al.: Drilling machinability of resin-less "green" composites reinforced by bamboo fiber, *WIT Transactions on The Built Environment*, 97, 2008, pp.185-194.
- ③ Hua W, Tomotake Y, Nagao K, Ichikawa T., Implant prosthesis and adjacent tooth migration: Preliminary retrospective survey using three-dimensional occlusal analysis. *International Journal of Prosthodontics*, Vol.20, No.4, 2008, pp. 302-304.
- ④ Ito, Teruaki and Alexander H. Slocum: Teaching collaborative manufacturing: experience and observation, *International Journal of Internet Manufacturing and Services*, Vol.1, No.1, 2007, pp.75-85.
- ⑤ Ito, Teruaki: Dealing with uncertainty in design and decision support applications, *International Journal of Soft Computing Applications*, Vol.1, No., 2007, pp. 5-16.
- ⑥ Kasawabara T., Tetsuo Ichikawa, et al.: Denture plaque microflora in geriatric inpatients and maxillary defect patients, *Prosthodontic Research Practice*, 6, 2007, pp.153-158
- ⑦ Ito, Teruaki & Teisuka Sato: Custom-made production of porous ceramics implants towards e-manufacturing, *International Journal of Manufacturing Technology and Management*, Vol.10, No.4, 2007, pp. 419-428.
- ⑧ Ito, Teruaki: An approach towards collaborative communication, *International Journal of Advanced Manufacturing Systems*, Vol.10, No.1, 2007, pp. 65-69.
- ⑨ 伊藤照明: 教育効果を高めるプロジェクト指向型授業に求められる基礎的要件, *工学教育*, Vol.54, No.6, 2007, pp.122-127.
- ⑩ Ito, Teruaki: A virtual environment

approach for planning implant placement, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.30, No.9-10, 2006, pp.974-978.

- ⑪ Ito, Teruaki & Tomoyuki, Hiramoto: A general simulator approach to ETC toll traffic congestion, Journal of Intelligent Manufacturing, Vol.17, No.5, 2006, pp.597-607.
- ⑫ Ito, Teruaki: CE in engineering education, Leading the web in concurrent engineering, Vol.143, 2006, pp.758-765.
- ⑬ Chen J, Nagao K, Tomotake Y, Oka K, Hada M, Ichikawa T, Influence of vent hole dimension on the retentive strength of a cement-retained superstructure: thermocycle test. Prosthodontic Research & Practice, 5(3) : 157-160, 2006.

[学会発表] (計 5 件)

- ① Ito, Teruaki: A marker-based viewpoint recognition for interaction with virtual objects, UKSim 2009, 2009年3月27日, Cambridge, UK
- ② Ito, Teruaki: Walking motion analysis using 3D acceleration sensors, European Modelling Symposium 2008, 2008年9月8日, Liverpool, UK
- ③ Ito, Teruaki: Intuition-based browsing interaction towards emotional design, ASME 2008 International Design Engineering Tech Conf. & Comp and Info in Eng Conf, 2008年8月6日, New York, USA
- ④ Ito, Teruaki: Teaching creative engineering: education in Japan and the USA, ASME 2008 International Design Engineering Tech Conf. & Comp and Info in Eng Conf, 2008年8月5日, New York, USA
- ⑤ Ito, Teruaki: Soft computing approaches towards design and decision support applications, IEEE International Conference on Fuzzy Systems, p.1192, London, UK, July 2007.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 照明 (ITO TERUAKI)
徳島大学・大学院バイオヘルスサイエンス研究部・
准教授
研究者番号 : 90284306

(2) 研究分担者

市川 哲雄 (ICHIKAWA TETSUO)
徳島大学・大学院バイオヘルスサイエンス研究部・
教授
研究者番号 : 90193432

友竹 偉則 (TOMOTAKE YORITOKI)
徳島大学・大学院バイオヘルスサイエンス研究部・
講師
研究者番号 : 70263853

溝渕 (大山) 啓 (MIZOBUCHI AKIRA)
徳島大学・大学院ソシオテクノサイエンス研究部・
助教
研究者番号 : 70314838

福田 収一 (FUKUDA SHUICHI)
首都大学東京・工学部・
教授
研究者番号 : 90107095

(平成18年研究分担者,
平成19年研究協力者)

(3) 連携研究者

なし

(4) 海外研究協力者

Alexander H. Slocum
Massachusetts Institute of Technology,
Professor