

平成 30 年 6 月 20 日現在

機関番号：17701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11199

研究課題名(和文) 歯科CAD/CAMシステムのフルデジタル化 特に形成の自動化について

研究課題名(英文) Development of a fully computerized dental CAD/CAM system: Focusing on computerization of tooth preparation

研究代表者

菊地 聖史 (KIKUCHI, Masafumi)

鹿児島大学・医歯学域歯学系・教授

研究者番号：50250791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：近年、歯科へのCAD/CAM技術の導入により、歯科技工領域を中心としてデジタル化が進んでいる。一方、歯の形成(切削)は、依然としてハンドピースによる手作業で行っている。本研究は、形成もデジタル化(自動化)することで、形成から修復物製作までの全行程をデジタルすることを目的とした。模型歯の形成を自動で行う歯科治療ロボットを試作し、問題点を把握した結果、より小型の口腔内加工装置を考案するに至った。

研究成果の概要(英文)：In recent years, CAD/CAM technology has been changing dentistry and computerization is progressing rapidly, mainly in the field of dental laboratory work. However, tooth preparation is still performed manually using a dental handpiece. The purpose of this study was to computerize/automate tooth preparation with the intention of realizing a fully computerized dental CAD/CAM system. A prototype robotic dental treatment system was developed. Grasping the problems of the system led to inventions of a smaller-sized intraoral machining device.

研究分野：歯科生体材料学、歯科理工学

キーワード：歯科医療用ロボット 歯牙切削 CAD/CAM 形成

1. 研究開始当初の背景

現在、歯科 CAD/CAM システムの利用が世界的に拡大しつつあり、口腔内の 3 次元形状測定から修復物製作までのデジタル化が進んでいる。デジタル化によって歯科鑄造における多くの材料を介することによる煩雑さや誤差要因の多さ、材質劣化などの諸問題を回避することが可能となった。さらに、ジルコニアのような従来加工が難しかった材料を用いて審美性の高い修復物を製作できるようになった。日本では、近年、ハイブリッドレジン製の CAD/CAM 冠が保険に導入されたこともあり、今後 CAD/CAM システムの普及に拍車がかかると思われる。

一方で、修復物製作の前工程である窩洞形成や支台歯形成（以下、形成）は、依然としてハンドピースによる手作業で行われており、その良否は、術者の技量に完全に依存している。歯科 CAD/CAM システムメーカー各社は、自社のシステム的能力を最大限に引き出す上で形成が極めて重要であることを強く認識していると考えられ、形成の要件について情報提供をしている。

形成の良否が治療品質に影響を与える例として、歯質削除量が不足していたりマージン形態が不適切だったりすると、修復物が壊れやすくなることが挙げられる。また、形成に面荒れやうねり、鋭角部、アンダーカットなどがあると、形状測定や設計への影響、本来不要なカッターパス（工具の運行軌跡プログラム）の補正、加工難度の上昇などによって、修復物の歯への適合精度が悪化する。さらに、過剰なテーパの付与は、歯質削除量の増加や修復物の脱落を引き起こす。

高精度化や省力化といった CAD/CAM の利点や審美材料の利点を最大限に引き出すためには、形成を含む全工程をデジタル化すること、すなわち、フルデジタル化が考えられる（図 1）。フルデジタル歯科 CAD/CAM システムにおいては、あらかじめ対象歯の形状測定と窩洞や支台歯の設計を行い、専用の歯科治療ロボット（加工装置）で自動形成を行うことが想定される。従来の CAD/CAM システムに関する研究は、形成後の工程、すなわち、形状測定や修復物の設計・製作、あるいは工具や材料などに関するものであり、形成を含む全工程のデジタル化を目指した研究は、国内外を問わず行われてこなかった。

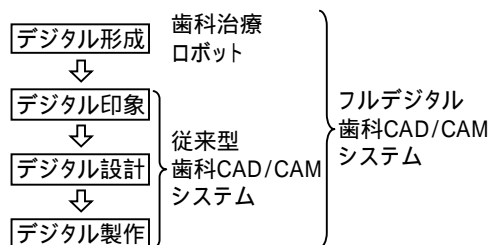


図 1 フルデジタル歯科 CAD/CAM システムのコンセプト

2. 研究の目的

本研究は、歯科 CAD/CAM システムのフルデジタル化の鍵となる形成の自動化について、これまでの歯科治療ロボットに関する研究を進展させ、装置の試作・改良と評価を通して自動形成の効果を確認するとともに、フルデジタル化した場合の有効性や問題点を臨床的視点並びに医療機器開発の視点からも検討し、問題点については解決策の検討も行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 歯科治療ロボットの試作・改良

装置の改良

従来の試作歯科治療ロボットは、3 軸自動ステージに装着するエアタービンユニットとカメラユニットが独立していたため、工具座標系とカメラ座標系の位置合わせや操作性に難があった。そこで、両ユニットの機能の統合を図った。

自動形成を行うためには、形成前のアンダーカットがある状態で対象歯の形状測定を行う必要がある。しかし、隣接面や歯肉縁下など、非接触的な形状測定が難しい部位については、現状では接触式によらざるを得ないと考えられる。従来の試作タッチプローブは、精度が充分でなかったため、プローブの可動範囲の自由度を最小限とした設計とし、さらに角度センサーを高精度なものに置き換えるなどして改良を図った。

プログラムの改良

これまで作成してきた形状測定、形成形状設計、カッターパス生成、自動形成の各プログラムの改良を図った。特に、隣接面形成時の形状測定からカッターパス生成までの一連の処理について検討した。

(2) フルデジタル化の有効性の検討と問題点の把握並びに解決策の検討

装置の動作検証と評価

歯科用マネキンに対して試作装置による自動形成を試み、意図したとおり動作するか確認し、評価した。

臨床的視点・医療機器開発の視点での検討

自動形成の歯科治療における位置づけや適用範囲、患者の安全性や負担、操作性などの視点からフルデジタル化の有効性や問題点を洗い出し、解決方法を検討した。

4. 研究成果

(1) 歯科治療ロボットの試作・改良

装置の改良

小型の防水カメラモジュール並びに外付けの光学系（レンズとミラー）で構成されるカメラユニットをハンドピースに装着して一体化するとともに、光学系の曇り防止のためエアフロー機構を追加した。

タッチプローブユニットについては、可動

範囲の自由度の不足を自動ステージの移動で補う構成とした。また、ポテンショメーターをロータリーエンコーダーに変更するとともに、設計を見直して剛性の向上を図った。また、計測制御用コンピューターと接続するためのインターフェースも試作した。

プログラムの改良

装置各部の改良に伴って計測制御プログラムも改変するとともにアルゴリズムの見直しにより処理速度と安定度の向上を図った。また、タッチプローブの出力と自動ステージの座標からプローブ先端の座標を求めるプログラムを作成した。

大臼歯隣接面のスライスカットを行う場合を想定し、形状測定からカッターパス生成までの処理を検討した。その結果、プローブによる測定時間を抑えるため、工具の通過が想定される部位の付近についてのみ測定し、カッターパス生成に必要な測定点間の座標については、曲線補間により求めることとした。また、カッターパスの水平（近遠心）方向については、隣在歯を傷つけないように隣在歯までの距離が工具半径より大きくなければならないこと、垂直（歯冠軸）方向については、歯肉を傷つけないように工具先端が歯肉辺縁より少し歯冠側寄りの位置から歯冠に接近する、歯肉溝で工具を歯根側寄りに移動する、反対側の歯肉溝で再び歯肉より少し歯冠側寄りの位置へ移動する、歯冠から離れる、といった一連の動作が必要であることが分かった。さらに、工具の移動に際しては、工具のテーパーも考慮する必要があることが分かり、プログラムに反映させた。

(2)フルデジタル化の有効性の検討と問題点の把握並びに解決策の検討

装置の動作検証と評価

歯科用マネキンの下顎第一大臼歯について試作装置の動作確認を行った。タッチプローブについては、歯頸部座標を取り込むために最低限必要な可動範囲が確保でき、再現性も改良前より向上した。また、スライスカットについては、装置の校正も含めると形成までの工程数が多く、装置やプログラムの操作性に改善の余地があったが、原理的には隣接面の形成も可能であることが分かった。冷却液が工具や形成面に十分に到達せず、焼き付けを起こすことがあった。これは、試作機が1点注水だったためであり、多点注水とすることで改善可能と考えられた。

臨床的視点・医療機器開発の視点での検討

本研究では、研究期間全体を通じて、フルデジタル化の鍵となる形成の自動化について有効性の検討と問題点の把握並びに解決策の検討を行った。その結果、歯科治療ロボットの使用は形成精度の向上に効果があると思われたが、解決すべき問題点も明らかになった。

試作装置では、装置の支持に自在アームを用い、歯列に対する装置の位置決めに印象材と印象用トレーを用いた。これは、大きさの

問題で装置全体を口腔内に収めるのが難しく、口腔外の対象歯から離れた位置に配置せざるを得なかったためである。しかし、この方法は、トレーに対する装置の着脱が煩雑で時間がかかること、患者が動いたときの装置の追従性が悪いこと、そのため患者が動いたときに「てこの原理」で大きな力が発生し、トレーがずれたり外れたりする可能性があることが分かった。形状測定から形成まで歯列と装置の位置関係が変わらないことが求められるが、自在アームを用いる限り大幅な改善は難しいと思われた。

本研究の成果として、上記の問題を解決するためには、試作歯科治療ロボットの機能を口腔内外で分離すればよいとの着想に至り（図2）口腔内加工装置を考案し、特許を出願した（出願状況）。同装置は、小型口腔内加工装置の工具の位置を口腔外に配置したアクチュエーターで制御する構成となっており、自在アームは不要である。形成中に患者が動いてもアクチュエーターから加工装置へ動力が伝達できるようにするためには、可とう性を有するフレキシブルシャフトなどを利用することが考えられる。しかし、単にフレキシブルシャフトなどで加工装置とアクチュエーターを接続しただけでは、両者が患者の動きによって相対的にねじれた場合に意図しない回転が加工装置に伝達されてしまい、工具の位置が動いてしまうという問題がある。そこで、そのような場合でも意図しない回転が口腔内の加工装置に伝達されない動力伝達装置を考案し、特許を出願した（同、）。

本研究では、画像計測とタッチプローブによって簡易的に対象歯の形状測定を行ったが、口腔内スキャナーを使用する場合は、プローブを装着することで歯肉縁下など通常は測定できない部位も測定できるようになると考えられた。これについては、調査の結果、先行技術が存在していた。

本研究の派生成果として、ハンドピースによる形成の支援システムも考案し、特許を出願した（同）。これは、術者の視点から見た加工後の形状や工具の姿勢などを術野にリアルタイムで投影することで術者に視覚的な案内を提供するものであり、対象歯から視線をそらさずに支援情報を見ながら形成できるようにすることを意図している。

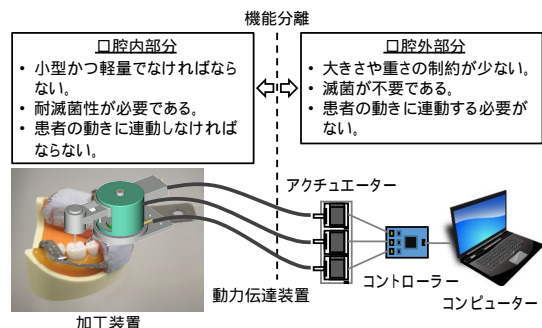


図2 口腔内加工装置の概念図

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1件)

菊地聖史、フルデジタル・デンティストリーの実現を目指し、QDT Art & Practice、査読無し、41(9)、2016、1222.

[学会発表](計1件)

菊地聖史、歯科CAD/CAMシステムのフルデジタル化の可能性 Software-Defined Dentistry に向けて、第7回日本デジタル歯科学会学術大会、2016年5月29日、札幌市。

[図書](計0件)

[産業財産権]

出願状況(計5件)

名称：動力伝達装置及び口腔内加工装置
発明者：菊地聖史
権利者：国立大学法人鹿児島大学
種類：特許
番号：PCT/JP2018/010869
出願年月日：平成30年3月19日
国内外の別：国外

名称：歯科手術支援システム及びプログラム
発明者：菊地聖史
権利者：国立大学法人鹿児島大学
種類：特許
番号：特願2017-231483
出願年月日：平成29年12月1日
国内外の別：国内

名称：動力伝達装置及び口腔内加工装置
発明者：菊地聖史
権利者：国立大学法人鹿児島大学
種類：特許
番号：特願2017-134001
出願年月日：平成29年7月7日
国内外の別：国内

名称：動力伝達装置及び口腔内加工装置
発明者：菊地聖史
権利者：国立大学法人鹿児島大学
種類：特許
番号：特願2017-060700
出願年月日：平成29年3月27日
国内外の別：国内

名称：口腔内加工装置及び口腔内治療システム
発明者：菊地聖史
権利者：国立大学法人鹿児島大学
種類：特許
番号：特願2016-183463

出願年月日：平成28年9月20日
国内外の別：国内

取得状況(計0件)

[その他]

出展(計1件)

菊地聖史、ロボットが歯を削る 歯科治療ロボットの開発、イノベーション・ジャパン2017 大学見本市、2017年8月31日~9月1日、東京。

報道関連情報(計2件)

ロボットが「歯の形成」、日本歯科新聞、2017年9月12日発行、紙面1面及びウェブ版(ウェブ版は概要のみ掲載)。
<http://www.dentalnews.co.jp/news/detail/2017/index.html#091201>

第7回日本デジタル歯科学会学術大会開催「拡大し続けるデジタルデンティストリーの世界」をテーマに。
<https://www.quint-j.co.jp/web/topic/topi.php?id=1920>

6. 研究組織

(1)研究代表者

菊地 聖史(KIKUCHI, Masafumi)
鹿児島大学・医歯学域歯学系・教授
研究者番号：50250791

(2)研究分担者

有川 裕之(ARIKAWA, Hiroyuki)
鹿児島大学・医歯学域歯学系・助教
研究者番号：90128405

(3)連携研究者

南 弘之(MINAMI, Hiroyuki)
鹿児島大学・医歯学域歯学系・教授
研究者番号：50244257

高久田 和夫(TAKAKUDA, Kazuo)
東京医科歯科大学・生体材料工学研究所・教授
研究者番号：70108223