

機関番号：32622

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20592309

研究課題名(和文) 複合計測システムによる顎顔面シュミレーションシステムの開発

研究課題名(英文) The development of the maxillofacial simulation system unified with multiple measurement devices.

研究代表者

堀田 康弘 (HOTTA YASUHIRO)

昭和大学・歯学部・講師

研究者番号：00245804

研究成果の概要(和文)：矯正用歯列模型シミュレーションシステムとリアルタイム顔面計測システムの開発を行った。また、実際の臨床ケースを用いて治療経過に沿った歯列模型から得られるデータの変化と顔貌データの変化をそれぞれ比較し評価を行った結果、十分に実用可能なシステムであることが分かった。しかし、データ統合時の歯の分割面設定によっては、治療前後で特徴点に変化してしまうため、歯の移動に伴う軟組織変化量の推測が難しく、更なる検討が必要であった。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a dentition model simulation system for orthodontic treatment and the real-time face measurement system. Also we evaluated the differences of remedy progress between real patients and this system using a clinical case. As a result, this system has a enough ability for clinical use. However, it was difficult to predict the soft tissue change with the tooth movement, and we have to keep improving further software.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・歯科医用工学・再生歯学

キーワード：歯科理工学

1. 研究開始当初の背景

(1) これまで歯科用CAD/CAMシステムの一部として開発されてきた計測システムでは、適合の良い補綴物の製作が目的であった。そのため、残存する歯牙やその周囲組織を精密に計測することよりも、形成された支台歯や窩洞をいかに精度よく計測するかに尽力してきた。その甲斐あって現在の歯科用CAD/CAMシステムでは、20 μ m以下の適合精

度を謳うものも少なくない。しかし、歯列模型全体を精度良く計測する点においてはまだ、十分なシステムがないのが現状である。

(2) 歯科では小児や矯正、口腔外科など補綴物の作製用途以外にも、顎模型を用いた様々な評価を行う必要があるが、ひとたび採取された模型は長期にわたって保管する義務も出てくるため、その保管場所の確保も大

きな問題となっている。申請者らもこれまでに歯科用 CAD/CAM システムの実用化を行ってきており、その計測技術を発展させた歯列模型計測器の開発ならびに、RP システムを用いた三次元データから模型を復元する技術の開発を行ってきた。しかし、たとえば矯正で使われる、顎模型を一歯毎に分割して再配列するシミュレーション模型を作製するような用途には、現在の歯列模型の計測データでは、まだ不十分であることは間違いない。

(3) 昨今の風潮として、単に口の中の歯列を綺麗にするだけの目的だけではなく、顔貌を含めた審美が求められるようになっていくことから、口腔内と口腔外の三次元データの融合が求められている。これまでも、顎模型データと CT データ、顔貌データを融合しようとする研究はなされてきたが、個々のデータが簡便に融合するものではなかった。

2. 研究の目的

(1) 計測ソフトウェアの改良

矯正におけるシミュレーション模型作製のように模型上の歯牙一本一本が正確に分割できるような分解能を持った歯列模型計測器と顔貌計測システムとの融合ソフトウェアの開発を行う。

(2) 歯列模型計測装置を用いた計測精度と RP 復元模型

上下顎石膏模型の測定精度、測定時間、ファイルサイズの関係を検証し、RP 装置を用いた復元模型の経時変化について検討する。

(3) リアルタイム顔面三次元計測と模型計測の組み合わせ

これまでに申請者が開発してきた計測システムの基本技術を応用し、本研究の研究協力者は現在リアルタイム顔面三次元計測器の開発を行っている。これは顔面形状をラインレーザーと CCD カメラを用いて計測し、計測データから再構築した三次元形状にカメラで撮影された実際の写真をテクスチャ貼りこみするシステムとなっており、人間の顔貌評価に使うことができる。このシステムで得られるデータと、顎模型データを組み合わせることで、矯正や口腔外科などのシミュレーションが顔貌の変化も含めて観察・評価できるようになる。現状ではデータ密度や座標系の全く違うこれらデータを組み合わせることのできるソフトウェアの開発を行う。

3. 研究の方法

(1) 計測ソフトウェアの改良

試料には矯正治療を行う予定の上下顎石膏模型を全顎模型計測装置（デジタルプロセス（株））を用い、計測ピッチ $100\mu\text{m}$ で計測

を行い 3D デジタル模型を製作した上で以下の手法を試みた。

(a) 個々の歯の自動認識；歯冠の標準的なベースモデルを作成し、このモデルを変形、座標変換して実際の歯冠形状にマッチングさせる。ベースモデルと実際の歯の形状は異なるので最も近い形状に変形させる必要があるが、本研究では Vote 法を用い、並進 3 自由度、回転 3 自由度に揺動させてマッチングスコアを計算し、値が最小となることを歯の位置とした。

(b) 歯冠分割は、歯とベースモデルが重なる部分は歯の形状を用い、隣接面などの計測が難しい部分に関してはベースモデルの形態を用いて補った。さらに、マッチングに用いるパラメータを調整することで歯とベースモデルの割合を変更できるようにした。

(2) 歯列模型計測装置を用いた計測精度と RP 復元模型

試料には矯正治療を行う予定のボランテ



ィアの上下顎石膏模型を用いた。上下顎石膏模型は全顎模型計測装置 [Decsy Scan；デジタルプロセス（株）]

を用いて 50, 60, 80, 100, 150, 200 μm の計測ピッチで測定、RAW データ及び STL 画像で出力、適正な測定精度を求めた。さらに、歯列模型の三次元計測データの臨床応用を試みた。

- (a) デジタル歯列模型のデータベースの作成。
- (b) デジタル歯列模型を用いたカスタムメイド矯正装置の設計および製作。
- (c) デジタル歯列模型を用いた模型計測、および歯列移動シミュレーション。
- (d) 矯正治療への CAD/CAM の応用。

(3) リアルタイム顔面三次元計測と模型計測の組み合わせ



本計測装置では、装置中央に組み込まれたラインレーザーをミラーで反射させ、上下 22° の範囲を 1.6 秒で走査し、その投影された像を装置下方に取り付けられた CCD カメラで読み取る。また、ラインレーザー発振部の直上には

カラーCCDカメラがあり、取り込みと同時にカラー画像が保存される。この取り込まれたカラー画像は、コンピュータ画面上で三次元像を構築する際にテクスチャとして張り込まれ、三次元のテクスチャ画面上で各種距離の測定が可能となっている。そこで、実際の計測対象上での距離と三次元で表示されたサーフェス画像、ならびに、テクスチャ画像間での測定精度を検証した。

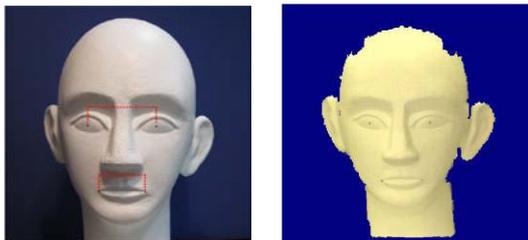


a. サーフェスとテクスチャの測定精度

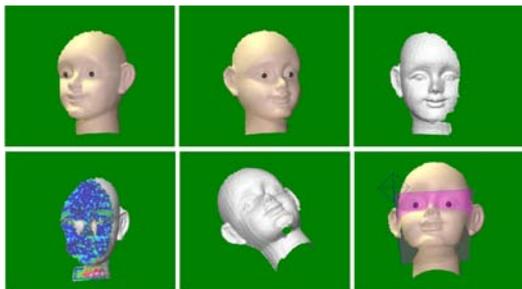
直径 200mm の発泡スチロール製ボールの表面に、円周上の 25mm 間隔で一辺が 5mm の三角錐状に窪みをつけ、その窪み周囲をマジックでマーキングした。これを本装置で取り込みした後、各窪み中央部を測定点として、中心から左右各 4 か所の間の直線距離をテクスチャ張り込みされた状態の画像と、サーフェスモデルの画像で各 5 回計測を行い、ノギスを用いた実測値との間で比較した。

b. 顔貌形状の再現と歯列模型との重ね合せ

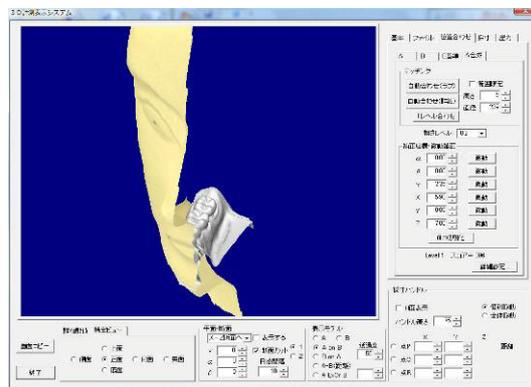
発泡スチロール製マネキンの両目中央部と両口角位置にマジックによるマーキングを行ったものを、本装置を用いて計測した（各点間距離は其々 60mm, 40mm）。計測後テクスチャ張り込みされた画像上で各計測点間の距離を PC 上で測定し、ノギスを用いた計測との差を比較した（図）。



また、正面からの計測だけでは側面後方のデータが十分に採取できないため、右向きと左向きの 2 方向から三次元データの計測を行い、計測データの一致状態を自動的に判断してデータの合成を行うソフトウェアを作成した。



同様に、これまでに開発してきた歯列模型計測装置で取り込んだ模型データも読み込むことができ、顔貌と歯列の関係を同時に観察できるようにした。



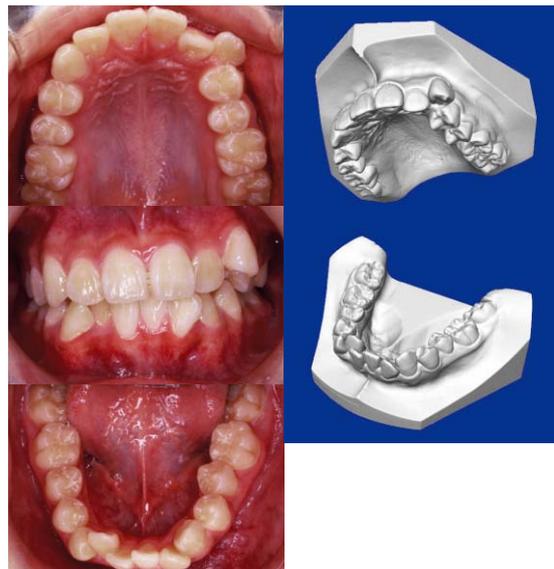
4. 研究成果

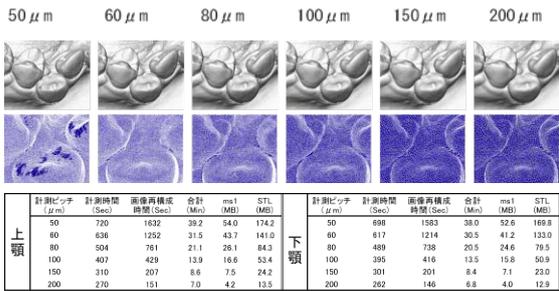
1) 計測ソフトウェアの改良

3D デジタル模型の歯冠部に平均的歯列を設定、その後、手動でおおよその歯の位置を示した後、各歯の位置設定を自動で行った。さらに、その位置情報を元に歯冠の自動切り出しを行った結果、片顎 14 本の歯の自動分割を 2 分程度で行う事ができた。しかし、(A)ベースモデルが 1 種類であるため特殊な歯の形態では誤差が生じやすい、(B)実際の歯とベースモデルの移行部に若干の段差が発生する、(C)三次元的に叢生がある症例の場合、歯の位置決めにかかる時間が掛る、などの課題も明らかとなった。

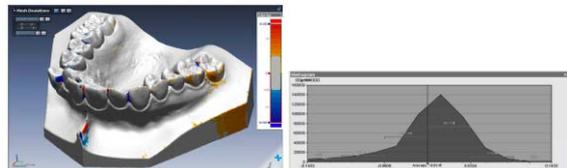
2) 歯列模型計測装置を用いた計測精度と RP 復元模型

左：口腔内写真、右：デジタル歯列模型

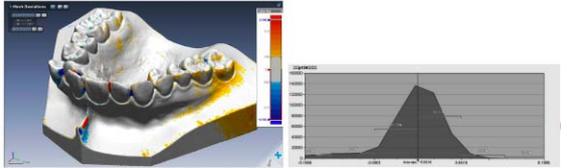




・計測精度を 50 μm とすると、上顎の計測時間・再構成時間の合計が 39.2 分、データ容量が STL で 174.2MB と非常に大きい。さらに、模型上の細かい凹凸も計測するため、再構成面が荒れてしまう。



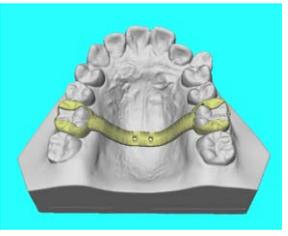
50 μm Vs. 100 μm
許容範囲:-0.05~0.05mm 内 84.26%
平均誤差: -0.0141mm (STD 0.0465mm)



50 μm Vs. 150 μm
許容範囲:-0.05~0.05mm 内 80.12%
平均誤差: -0.0241mm (STD 0.066mm)

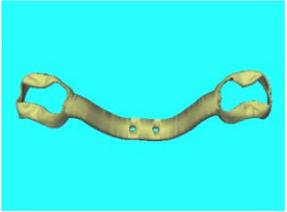
・50 μm と 100 μm の測定誤差比較では平均誤差 (-0.0141mm), 許容範囲 (-0.05~0.05 mm) 内で約 84.26%。
・測定誤差が大きい部分は測定不十分なアンダーカット部であるため、再測定とデータの合成で対応できるものと考えられた。RP 装置は造形方法により積層ピッチ、積層時間、保存性が異なっていた。さらに、その復元模型は経時的に膨張 (収縮) していた。つまり、用途により造形方法を選択する必要性が示唆され、現時点では 100 ミクロンピッチ程度が効果的であると考えられた。

また、このデータから個々の歯牙形状を自動的に分離し、其々の歯牙を移動させた予測模型を設計することが可能となったことで、カスタムメイドの矯正装置の設計ならびに、予後の確認



が可能であった。

右図に、実際のデジタル歯列模型を用いたカスタムメイド矯正装置を示す。



3) リアルタイム顔面三次元計測と模型計測の組み合わせ

a. サーフェスとテクスチャでの測定精度
計測に用いたボール (左) と三次元サーフェスモデル (中) とテクスチャ張り込みされた三次元像 (右) を図2に示す。表1に各画面上での測定値とノギスによる実測値を示す。

表 各測定部位における実測値との差

左4	左3	左2	左1	単位 (mm)	右1	右2	右3	右4	中央上	中央下
90.28	70.12	47.75	24.45	ノギスを用いた実測値	24.45	49.91	70.19	90.33	49.91	49.61
90.23	70.17	47.81	24.51	サーフェスモデル測定値平均	24.51	49.96	70.26	90.41	49.72	49.95
0.06	0.06	0.03	0.03	サーフェスモデルSD	0.03	0.03	0.06	0.07	0.03	0.03
90.43	70.26	47.85	2.52	テクスチャモデル測定値平均	24.48	49.93	70.20	90.34	49.96	47.74
0.05	0.02	0.05	0.03	テクスチャモデルSD	0.03	0.04	0.07	0.05	0.04	0.05
0.05	-0.05	-0.06	-0.06	サーフェスモデル測定値差分	-0.06	-0.05	-0.07	-0.08	0.19	-0.34
-0.15	-0.14	-0.10	-0.07	テクスチャモデル測定値差分	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01	-0.05	-0.13

b. 顔貌形状の再現と歯列模型との重ね合わせ

一方、マネキンを用いた測定では、実測値とテクスチャ間での差はなかった。以上の結果より、直径 200mm のボールを用いた測定精度では、実測値との間で 100 μm 以上の差となる部分があったが、今回の計測モデルは、サーフェス画像上で穴の形状をはっきりと認識するために、窪みの形状を大きくしていたため、測定時のばらつきが大きくなった。しかし、上下方向での計測で、特に三次元データとして重要なサーフェスモデルのデータが実測値と比べ大きく差が付いた。これは、曲面上に投影された光を読み取る CCD カメラが装置下部に取り付けられているため、特に、上側の形状が十分に認識できなかったと考えられるが、実際には下側の方が大きな誤差を生んでしまう結果となった。この部分における誤差は大きかったが、実際のばらつきに関しては、他の部位とはほぼ同じ結果を示すことから、計測ソフト側での補正值の修正により対応が可能と考えられる。一方、マネキンの計測では測定点をテクスチャ上で特定することができるため、ばらつきのない測定が可能であった。

まとめ

本研究において我々がこれまでに開発してきた歯列模型計測器とリアルタイム顔貌計測システムを用いることで、実際の歯科臨床の現場における治療技法のひとつとして十分応用可能であることが分かった。しかし、

実際の治療に用いるには、治療前後で変化してしまう特徴点の見極めや、歯の移動に伴う軟組織変化量の推測が難しく、更なる検討が必要であることも分かった。

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6件)

①Miyazaki T, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Tamaki Y. A review of dental CAD/CAM: current status and future perspectives from 20 years of experience. Dent Mater J 2009; 28(1): 44-56 (査読有)

②Tamaki Y, Hotta Y, Kunii J, Kuriyama S, Higuchi D, Miyazaki T. CAD/CAM All Ceramic Dental Restorations on Implants: A Panacea or a Challenge? Dental Medicine Research 2010; 30(1) : 42-49 (査読有)

③秋月文子, 角谷徳芳, 堀田康弘, 宮崎隆. 当科における両側唇顎口蓋裂の初回口唇形成術前後の歯槽形態の変化. 昭和医学会誌 2010; 70(4): 293-301 (査読有)

④堀田康弘, 宮崎隆. 歯冠修復物作製に利用されるキャドキャムシステムの現状と将来. 日補綴会誌 2011; 3: 1-11 (査読無)

⑤宮崎隆, 堀田康弘. CAD/CAM を中心とした Digital Dentistry の現状と将来展望. DE (The Journal of Dental Engineering) 2011; 178: 投稿中 (査読無)

⑥宮崎隆. Digital dentistry の現状と将来展望. 日本歯科CAD/CAM学会誌 2011; 1(1): 2-8 (査読無)

[学会発表] (計6件)

①堀田康弘, 国井淳, 栗山壮一, 照井優一, 中納治久, 藤原稔久, 宮崎隆. 非接触型リアルタイム顔面三次元計測装置の開発. 第54回日本歯科理工学会学術講演会. 2009年10月2日かごしま県民交流センター

②中納治久, 菱田桃子, 浅間雄介, 堀田康弘, 藤原稔久, 鈴木淳一, 宮崎隆, 榎宏太郎. 歯列模型のデジタル化測定精度とRP復元モデルの検証. 第68回日本矯正歯科学会大会. 2009年11月16日福岡国際会議場

③中納治久, 吉田美智, 武井久美子, 堀田康弘, 梅川克己, 藤原稔久, 宮崎隆, 榎宏太郎. 矯正歯科臨床におけるCAD/CAMの応用. 第20回日本シミュレーション外科学会. 2010年11月6日宇都宮

④中納治久, 吉田美智, 堀田康弘, 宮崎隆, 榎宏太郎. Digital Photogrammetry(ステレオ画像方式)を用いた光学印象法の開発ーデジタル歯列写真三次元化の試みー. 第69回

日本矯正歯科学会大会. 2010年9月28日横浜

⑤中納治久, 吉田美智, 武井久美子, 堀田康弘, 梅川克己, 藤原稔久, 宮崎隆, 榎宏太郎. 矯正歯科臨床におけるラインレーザーの応用. 第10回日本歯科用レーザー学会. 2010年9月5日東京

⑥堀田康弘. レーザー計測によるセラミック修復. 第10回日本歯科用レーザー学会. 2010年9月4日東京

[図書] (計1件)

三浦宏之, 宮崎隆, 馬場一美, 澤田智慈編. 医歯薬出版, ナノジルコニアを生かしたオールセラミック修復 新たなメタルフリー修復の時代. 2010年, 133

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

○取得状況 (計0件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀田 康弘 (HOTTA YASUHIRO)
昭和大学・歯学部・講師
研究者番号: 00245804

(2) 研究分担者

中納 治久 (NAKANO HARUHISA)
昭和大学・歯学部・准教授
宮崎 隆 (MIYAZAKI TAKASHI)
昭和大学・歯学部・教授

研究者番号: 80297035

(3) 連携研究者

()

研究者番号: