

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月11日現在

機関番号：12602

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21592442

研究課題名（和文） フルカラー三次元プリンタを用いたエピテーゼ製作システムの基盤技術の開発

研究課題名（英文） The fabrication of facial prostheses using three dimensional full-colored rapid manufacturing method

研究代表者

大木 明子（OKI MEIKO）

東京医科歯科大学・歯学部・准教授

研究者番号：10345225

研究成果の概要（和文）：

顔面欠損に用いられるエピテーゼや義眼の製作には高度な審美性が要求される。本研究では、デジタル写真データから色データを利用し、フルカラー三次元プリンターでエピテーゼや義眼を製作するシステムの基盤技術を開発することを目的とした。シリコン材料を直接三次元造形することはできなかった。義眼の三次元形状をコンピュータ上で作成し、食塩を材料としてフルカラー三次元プリントを用いた新しい義眼製作法を開発した。

研究成果の概要（英文）：

To fabricate of ocular and facial prostheses for patients with facial defects, the acceptable esthetic is important. The purpose of this study was to develop a basic technique for directly fabricating ocular and facial prostheses with digital imaging photography and using three dimensional full-colored rapid manufacturing method. The facial prosthesis made of silicone cannot be produced directly using three dimensional printer. In this study, the new method to fabricate artificial eyes made of salt were developed using three dimensional full-colored printer.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1400000	420000	1820000
2010年度	1000000	300000	1300000
2011年度	1100000	330000	1430000
年度			
年度			
総計	3500000	1050000	4550000

研究分野：生物系（医歯薬学）

科研費の分科・細目：歯科・補綴系歯学

キーワード：顎顔面補綴学

## 1. 研究開始当初の背景

顎顔面領域の外傷や腫瘍の切除などによって顎顔面部に欠損や変形が生じたり先天性疾患により形態異常があったりする場合、摂食・咀嚼・嚥下・発音・審美障害を生じ患者の QOL は著しく低下する。欠損の程度や部位、患者の条件によって再建手術が困難な

場合には（特に眼を含む欠損の場合には、形成外科的再建だけでは審美的に改善することは非常に困難である）、審美性や形態の回復と精神的・心理的配慮のため、二次的な治療法として顎顔面補綴リハビリテーションが選択される。これは、欠損に対して補綴的手法を用いて人工的に修復し、患者の社会復

帰を図るものである。この治療法の利点は、患者に侵襲を加えることなく可撤性の複数の形状の顔面補綴物（エピテーゼ）を試用できることである。顔面領域の欠損に用いられるエピテーゼは高度な審美性が要求される。エピテーゼの製作には、現在、顔面印象法が用いられている。これは、印象材を使用して欠損部分の模型を製作し、模型上でワックスアップを行い、患者に試適、修正したワックスパターンを埋没、無色の医療用シリコンに色素を配合して混和、重合して製作する方法である。心理的問題が大きく、より患者に受け入れられやすいような顔面形態を再現するために、患者の以前の顔貌をある程度再現する、顔面変形に対してより自然に見えるようにエピテーゼを製作するなどの技工上の工夫が必要となる。エピテーゼ製作における問題点には、顔面形態の再現が難しい、眼球欠損に対する義眼の三次元的位置の決定が難しい、顔面変形に対してより自然に見えるようにする、エピテーゼが顔面に調和するように顔の色にあわせてより自然な彩色を行う必要があるなどがあげられる。形態の再現には、近年、コンピュータによる三次元計測、三次元デザイン、三次元造形が利用されるようになってきた。しかし、エピテーゼの色の再現には術者の色彩感覚とシリコン重合の際の色素の配合に関する経験と感覚が重要になり、エピテーゼの変性・変色・劣化による再製作の際には色の再現をすることが難しい。

近年のCAD/CAM技術の進展は著しく、石膏や光硬化性樹脂を用いた単色の三次元造形は口腔外科領域の顎骨手術やインプラント埋入手術のシミュレーションモデルとして臨床に用いられてきている。エピテーゼの製作においても、三次元形状計測装置を用いた方法や三次元造形装置を用いた方法が開発されるようになってきた。コンピュータ処理、ミラーイメージを利用することで、形態をより簡単にデザイン、再現できるという利点がある。最近、フルカラー三次元プリンターの登場によって三次元CADなどのデザインデータを立体造形により素早くフルカラーで手に取ることが可能になってきている。顎顔面補綴の分野にこの最新のテクノロジーを導入することによって生まれる新たな技術は、新しい顎顔面補綴の創造という観点からも重要と考えられる。

## 2. 研究の目的

レーザー・スキャナやCT、MRI、三次元デジタル写真の三次元形状データをもとにコンピュータ上で三次元データを編集してエピテーゼの設計を行ない、デジタル写真データを利用して色情報を得て、従来の方法による印象採得、模型およびワックスパターン

製作の過程を省略し、直接、フルカラー三次元プリンターでエピテーゼを製作するシステムの基盤技術を開発することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 造形材料の検討

エピテーゼ材料として用いられているものとしては、シリコンやアクリリックレジンがあげられる。また、義眼の材料としてアクリリックレジンが用いられている。本研究では、海外で市販されているエピテーゼ用シリコン（A-2186、Factor II社製、USA）を材料として、5×5×5cmの立方体を、ラビッド・プロトタイピングによる三次元造形装置（SONY社）を用いて紫外線やレーザー照射で積層造形を試みた。

次にフルカラープリント可能な材料を検討した。現在カラーモデルとして造形されている材料には石膏や食塩があり、本研究では義眼の材料として食塩をフルカラープリントし、アクリリックレジンでコーティングできるかどうかを検討した。材料は、富田薬品社製食塩を用い、中央に直径12mmの瞳を配した直径20mm、高さ7mmのドーム型の形状にSONY社製フルカラープリンターで粉末積層造形法により造形した。形態の再現性と発色状態、色の再現性を検討した。

### (2) フルカラー三次元プリンターによる形状・色調の再現性・安定性に関する検討

義眼を直接造形することを目標として、形状・色調の再現および安定性に関して検討を行った。

義眼は虹彩部分と強膜部分とに大きく分けられる。瞳の部分は大きさや色調において個人差が大きく、デジタルカメラによる画像から、個人個人の眼にあった色情報を得る必要がある。強膜部分においては色調と毛細血管の状態に差があると考えられる。さまざまな色彩を持つ眼に対してオーダーメイド可能な義眼を作製するために、虹彩部分5色と強膜部分の色調5色をそれぞれ次のように決定した。緑/アイボリー、青/グレー、淡茶/淡ピンク、茶/白、濃茶/ピンクである。カラーデータをコンピュータ処理し、ビットマップイメージデータを作成した。形状は、22×24×6.5mmの楕円ドーム型とし、虹彩を中央に配し、その直径を緑と青が12mm、淡茶と茶が13mm、濃茶が14mmとした（図1）。

富田薬品社製食塩を用いてSONY社製フルカラー三次元プリンターにより粉末積層三次元造形を行った。造形した食塩製義眼をデンツプライ社製アクリリックレジンでコーティングし、25×29×9mmの形態に成形し、研磨した（図2）。できあがった義眼の形状のサイズをノギスで計測、色調は色彩度計を用いて計測して再現性を検討した。また、色

調の短期および長期安定性に関して検討を行った。

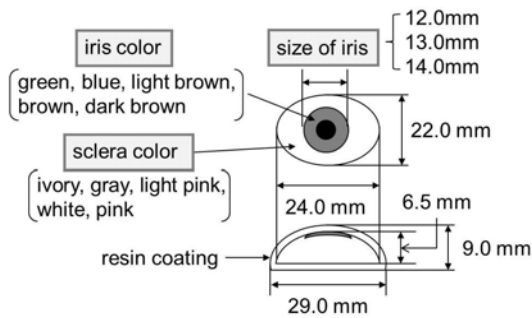


図1 試作した義眼の形状

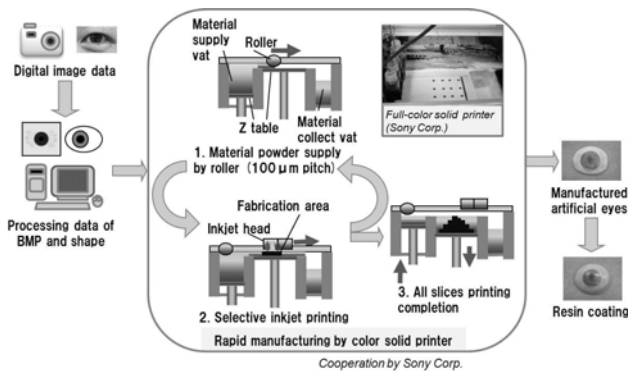


図2 義眼作製方法

(3) 義眼のフルカラー三次元造形の検討

これまで開発したオーダーメイド可能な義眼製法をもとに、臨床にもちいられている義眼の形態に近いシェル状の義眼を、フルカラー三次元プリンターを用いて直接造形する方法について検討した。本研究に同意が得られた患者1名の眼部をデジタルカメラで撮影してデジタル色情情報データを得た。実際の義眼と同じように、虹彩の直径12mmで辺縁から10mmの位置に瞳の中心を配し、18×23×3mmのシェル状形態に三次元的に構築し、三次元データを作成した(図3)。フルカラー三次元プリンターと食塩を用いて三次元造形を行ったのち表面をアクリリックレジンでコーティングを行い、色調の再現および安定性に関して検討を行った。

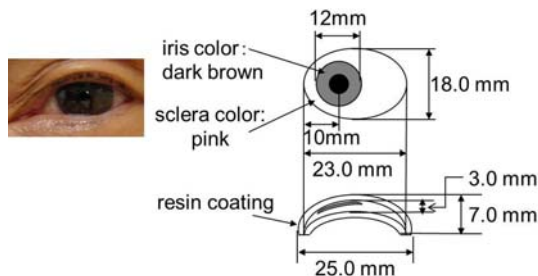


図3 シェル状義眼の形状

4. 研究成果

(1) 造形材料の検討

フルカラー三次元プリンターを用いて海外で市販されているシリコン材料をレーザー光および紫外線照射で立方体のフルカラー造形を試みたが、硬化せず、材料の再検討が必要となった。

食塩のフルカラープリントによる義眼製作については、デジタルカメラから得られた色情情報から粉末積層造形で200μmと100μmピッチで白地に黒と茶をフルカラーで積層造形した。発色状態と色調の再現性について最適な印刷条件を検討した。その結果、100、200μm積層ピッチともに良好にフルカラープリントが可能であった。データ処理に1時間半、食塩造形には2時間半の時間を要した。三次元造形法が義眼に適用することが可能なことが示された。

(2) フルカラー三次元プリンターによる形状・色調の再現性・安定性に関する検討

形状の再現性について、虹彩の大きさ12mmの緑と青について検討したところ、プリントした緑4個の平均が11.97mm(図4)、青4個の平均が11.81mm(図5)となり、良好な再現性が得られた。

緑、青、茶、淡茶、濃茶の5タイプを印刷し、デジタル画像の眼の色の再現性と発色性を検討した(図6)。いずれも良好な色が再現されていた。各4個ずつを色彩度計で計測し、L\*、a\*、b\*で評価した。色彩度図を図7に示す。特に大きなばらつきは認められなかった。

色調の安定性について、耐水試験と耐紫外線試験を行った。純水27日間の耐水試験を行ったところ、若干の吸水性と赤みの増加が認められた。330時間の耐紫外線試験では濃度の変化は認められなかったがレジンの黄変色が認められた。以上より、一定期間での変色は避けられず、定期的な再製作が必要であると考えられた。今後は、臨床応用にむけてさらなる材料とシステムの検討が必要であると思われる。

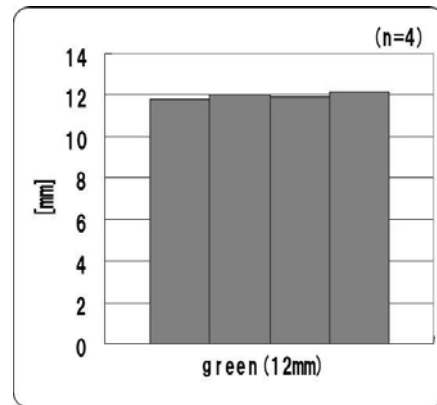


図4 虹彩(緑)の寸法

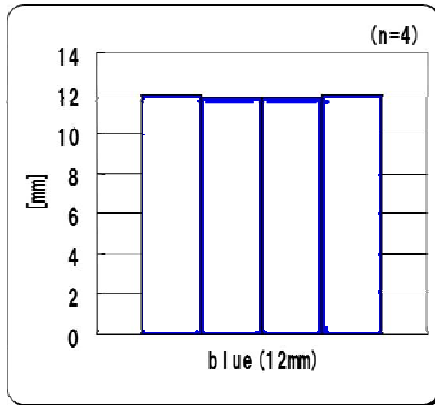


図5 虹彩（青）の寸法

	green	blue	light brown	brown	dark brown
Iris color	green	blue	light brown	brown	dark brown
Size of iris	12mm	12mm	13mm	13mm	14mm
Digital image of eye models					
Sclera color	ivory	gray	light pink	white	pink
Bitmap image data					
3D printed eye models					
After resin coating					

図6 5種類のフルカラー造形義眼の色調

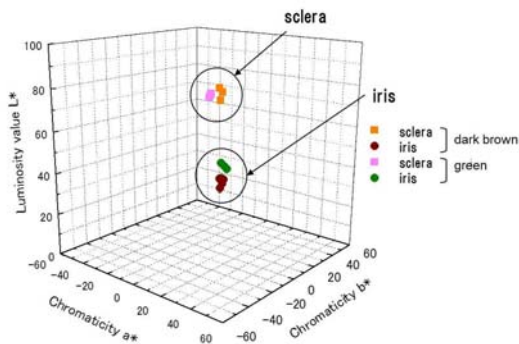


図7 緑と濃茶の色彩度図

(3) 義眼のフルカラー三次元造形の検討  
楕円形だけではなくシェル状にも造形することが可能であった。(図7)



図7 フルカラー造形したシェル状義眼

フルカラー三次元プリンターでフルカラーの色調が再現できる材料は今のところ食塩だけであるため、レジンコーティングをしないと義眼やエピテーゼに利用できない。本研究より義眼においてはレジンコーティングにより利用できる可能性がでてきたが、最終目的であるエピテーゼ完成までの三次元造形については何らかの加工や修正を行わないとできない。そのほかにフルカラープリントできてやわらかく耐水性のある材料でエピテーゼに利用できるものを現在までに見つけることができなかった。

フルカラー三次元プリンターを利用してエピテーゼを製作するためには、シリコン材料でフルカラープリントができ、かつ、三次元造形法で重合させることができる材料を開発、検討しなければならないと思われる。

三次元造形法を利用するという点では、シリコン材料に置き換える前のワックスパターンを三次元造形機で造形するという方法について、さらに検討する必要があると思われる。最近ではさまざまな三次元スキャナ、三次元CAD、三次元CAMが開発されてきており、利用できる材料も新たに開発されてきている。エピテーゼを製作するにあたり、どのような材料が適切なのか、三次元データ処理方法の簡略化、システム化、色情報の与え方など、エピテーゼの製作に利用するにあたり、さらなる研究が必要であると思われる。

## 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1件)

大木明子、山越典雅、門田千晶他：広範囲にわたる顔面欠損に対してCTデータを利用して製作したエピテーゼの1例. 顎顔面補綴誌 35(1), 2012. (投稿中)

〔学会発表〕(計4件)

大木明子、山越典雅、末永英之他：The Fabrication of Ocular Prostheses Using Rapid Manufacturing Method. 9th Meeting of International Congress on Maxillofacial Rehabilitation 2010年5月19日. Fondazione Mediaterraneo Congress Center (イタリア、セストリ・レバンテ)

大木明子、山越典雅、門田千晶他：広範囲にわたる顎顔面部腫瘍切除再建後のエピテーゼの1例. 第27回日本顎顔面補綴学会、2010年6月18日、岡山大学創立50周年記念館(岡山県)

大木明子：顎顔面補綴各論. 平成23年度全技協第7回専任教員講習会I. 2011年8月1

日、東京医科歯科大学歯学部第一講義室（東京都）。

大木明子：顎顔面補綴治療と歯科技工。東京都歯科技工士会・全都講習会 2011. 2011年9月10日、東京医科歯科大学歯学部特別講堂（東京都）。

〔図書〕（計0件）

〔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  
なし

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

大木 明子 (OKI MEIKO)  
東京医科歯科大学・歯学部・准教授  
研究者番号：10345225

### (2) 研究分担者

末永 英之 (SUENAGA HIDEYUKI)  
東京大学・医学部附属病院・助教  
研究者番号：10396731

森 良之 (MORI YOSHIYUKI)  
東京大学・医学部附属病院・准教授  
研究者番号：70251296

飯野 光喜 (IINO MITSUYOSHI)  
山形大学・医学研究科・教授  
研究者番号：50212717  
(H21)

谷口 尚 (TANIGUCHI HISASHI)

東京医科歯科大学・医歯学総合研究科・教授

研究者番号：90171850  
(H23)