

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12602
研究種目：基盤研究(C) (一般)
研究期間：2014～2016
課題番号：26462947
研究課題名(和文) アディティブ・マニファクチャリングを応用したエピテーゼ用シリコン樹脂の開発

研究課題名(英文) Development of silicone elastomer for facial prosthesis using additive manufacturing

研究代表者
高橋 英和 (Takahashi, Hidekazu)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究科・教授

研究者番号：90175430
交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：アディティブ・マニファクチャリングを応用したエピテーゼを製作可能なシリコン樹脂を開発する目的で、新たに市販された顎顔面補綴に応用可能なシリコン樹脂の物性調整を行った。アディティブ・マニファクチャリングは3次元ロボットに装着した吐出装置からシリコン樹脂を吐出して積層することで行うが、粘度調整剤を用いることで、設計通りの積層造形は可能であった。しかし、表面性状等はずしも満足に行くものではなく、今後の検討が必要であった。

研究成果の概要(英文)：To develop silicone elastomers for maxillo-facial prosthesis using additive manufacturing, physical properties of a newly introduced commercial silicone material were investigated. Viscoelastic properties of the modified commercial silicone elastomer with thixotropic agent were applicable for maxillo-facial prosthesis. A sample of maxillo-facial prosthesis could be fabricated with this silicone elastomer using the 3-D robot with a small amount injector, however the quality of the manufactured work was not fully satisfied. Additional researches to improve the quality are required.

研究分野：歯科理工学

キーワード：シリコン樹脂 エピテーゼ アディティブ・マニファクチャリング

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顔面欠損が生じた場合、審美性や形態の回復と精神的・心理的配慮のため、顎顔面補綴的リハビリテーション(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)が選択され、エピテーゼが製作されている。現在、エピテーゼの製作には印象材もしくは顔面スキャナーを用いて顔面部の印象を採得し、欠損部分の模型を製作し、模型上でワックスアップを行う。このワックスパターンを患者に試適、修正してから、埋没してから主に圧縮成形などを行って、シリコン樹脂の重合をして製作する。近年、3次元造形装置を用いて、エピテーゼの原型を作って製作する方法も紹介されているが、中間体のワックスパターンしか作ることができず、最終的にシリコン樹脂に置き換える必要がある。

エピテーゼの製作は熟練した歯科技工士や顎顔面補綴歯科医でも患者の自然な顔の形態回復、色合わせや自然な色を再現することが難しい。そのため、3次元CAD/CAMシステムを応用することで誰でも同じようにエピテーゼを製作することができるのではないかと考えた。しかしながら、現在用いているシリコン樹脂では、3次元プリンターで造形することができず、アディティブ・マニファクチャリング用のシリコン樹脂を開発する必要性が明らかとなった。

現在、日本で薬事承認・認証が得られているエピテーゼ用シリコン樹脂はなく、海外製品(アメリカ Factor 社製のシリコンなど)の輸入に頼っているのが現状である。日本顎顔面補綴学会では薬事承認、認証にむけた国産のエピテーゼ用シリコン樹脂の開発に着手し、現在、その物性評価に研究代表者らも参加している。しかしながら、このシリコン樹脂は従来の圧縮成形法で使用することを前提としており、新たな技術である3次元積層造形の材料として使用することは難しい。

そこで、今回は顔面形状の情報を基にあらかじめ製作した模型上に、色調の異なるシリコン樹脂を用いて、アディティブ・マニファクチャリング造形法にて立体的なエピテーゼを製作する方法を考案した。この方法に使用できるシリコン樹脂を開発できれば、従来の3次元プリンターで造形の際に問題となってサポートの問題を解決でき、色調の異なる複数のシリコン樹脂を積層した審美的に優れたエピテーゼの製作が可能である。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、3次元積層法であるアディティブ・マニファクチャリングに用いることのできるエピテーゼ用材シリコン樹脂を開発し、複数層からなる審美的に優れたエピテーゼを製作することである。具体

的には、以下のとおりである。

(1) アディティブ・マニファクチャリングに応用可能なエピテーゼ用シリコン樹脂の創生

シリコン樹脂の基材、反応剤、フィラーの成分比を調整して、3次元造形時に適切な成形性を保てる組成を求める。この組成比のシリコン樹脂の硬化前の粘弾性、硬化後の機械的性質について単純形態の試験片を用いて、現在広くエピテーゼ材料として使用されている製品との比較を行い、同等以上の物性を有することを確認する。

(2) アディティブ・マニファクチャリングで使用可能なシリコン樹脂少量吐出装置の開発

本研究で考案しているアディティブ・マニファクチャリングでは練和直後のシリコン樹脂を石膏模型上に吐出し、さらに加熱することでシリコン樹脂を十分に硬化させる。

そのためには、積層造形時に適切な量だけ吐出させる必要がある。そこで、造形装置の移動量と調和した少量吐出装置を開発する必要がある。この開発には従来の小型ロボット等を応用して製作する予定である。

(3) 本研究で開発したシリコン樹脂を用いた複数層からなるエピテーゼの製作

いままでのエピテーゼは基本的に単色であり、表面彩色により審美性を改善していた。本研究では、異なる色調のシリコン樹脂を積層するアディティブ・マニファクチャリングを行うことで、今までのエピテーゼでは得ることができなかった、より審美性に優れたエピテーゼの製作を試みることである。

3. 研究の方法

(1) アディティブ・マニファクチャリングに応用可能なエピテーゼ用シリコン樹脂の創生

アディティブ・マニファクチャリングでの積層を可能なシリコン樹脂を試作し、成形時の吐出後に適当な形態保持が可能な成分比について検討し、比較対象として現在用いられているエピテーゼ材料との物性の比較検討を行う。また、シリコン樹脂の吐出装置を製作し、実際のエピテーゼが製作可能かを検討する。

(2) シリコン樹脂の少量吐出装置の開発

本研究のアディティブ・マニファクチャリングでは練和直後のシリコン樹脂を石膏模型上に吐出し、さらに加熱することでシリコン樹脂を十分に硬化させる。そのため、アディティブ・マニファクチャリング時にノズル先端の移動速度に対応した粘弾性挙動が必要となる。ノズルの移動速度と吐出量で形態保持状況にどのような関係が出るかをあらかじめ検討する必要がある。そこで、シリコン樹脂の吐出量が可変できるシリコン樹脂の練和・吐出装置を開発する。次にこの装置を用いて、ノズル移動速度と吐

出したシリコン樹脂の形態保持性について検討する。

(3) 試作シリコン樹脂を用いたアディティブ・マニファクチャリングによるエピテーゼの試作

当初計画では複数層の色調からなるエピテーゼを試作する予定であったが、交付された予算では複数層積層できる試験機器の作製ができなかったため、本研究では単層のエピテーゼを前出の少量吐出装置と3次元ロボット造形装置を組み立てて、開発してきたシリコン材料で実際に積層造形化可能かを検討した。

4. 研究成果

(1) アディティブ・マニファクチャリングに応用可能なエピテーゼ用シリコン樹脂の創生

国産のエピテーゼに応用可能なシリコン樹脂が市販されたが、従来からエピテーゼに使用している製品と同様に流動性が大きく、少量吐出すると形態を維持できずに、流れてしまった。そこで、粘度調整剤を添加することで流動性と粘弾性にどのような変化を与えるかを検討した。粘度調整剤の量を調整したシリコン樹脂練和物 0.1 g ずつ、直径 7mm の大きさを、練和終了から 15 分後の広がり直径に変化量を測定した結果を図 1 に示す。

この結果よりごく少量の粘度調整剤の添加で流動性は大きく減少することが判明した。しかしながら、粘弾性特性に及ぼす粘度調整剤の影響は小さかった。そこで、市販の製品に粘度調整剤を添加することで以降の実験に用いることとした。

(2) シリコン樹脂の少量吐出装置の開発

空気圧と軸の回転を用いて少量のシリコン樹脂を吐出できる製品を購入し、これに3次元ロボットを組み合わせたこととした。

3次元ロボットは市販の塗料塗布用の製品を改良し、少量塗布装置のノズル先端位置を GCODE で3次元制御することが可能となった。

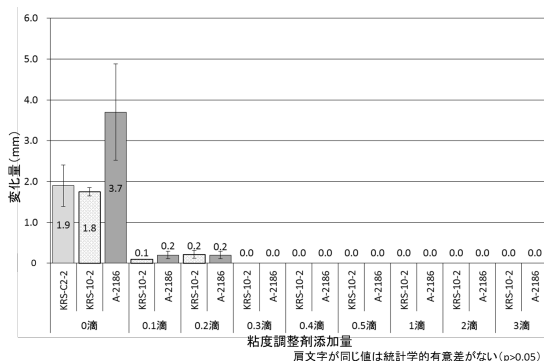


図 1 粘度調整剤が広がり直径に及ぼす影響

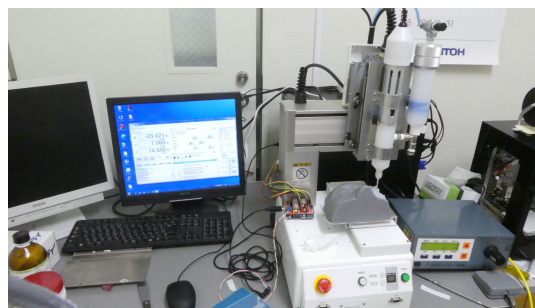


図 2 少量吐出装置を装着した3次元積層装置

(3) 試作シリコン樹脂を用いたアディティブ・マニファクチャリングによるエピテーゼの試作

倫理審査委員会の承認を受け、健常被験者の顔面印象を基に作製した眼球部を含む顔面補綴物の形態を模倣し、顔面補綴装置としてのエピテーゼの STL データを作成した。この STL 作成データを基に積層装置への制御用 Gcode ファイルを作成した。この Gcode ファイルを PC を介して 3次元ロボット造形装置に信号を送り、造形装置に装着した少量吐出装置を移動させた。移動時にマニュアルコントロールで吐出量を調整した。これは少量吐出装置の移動速度が作製する形態により異なり、一定速度で吐出すると部分的な過不足が生じたためである。

製作したシリコン樹脂による製作物を図 3 に示す。積層ピッチによる条痕が観察される。シリコン樹脂の重合は少量吐出装置内で硬化することを避けるため、模型表面および積層されたシリコン表面に重合触媒を塗布することで行った。

表面は粗造であり、内部に気泡も観察され、このままで臨床使用することは難しいと思われる。そのため、吐出量をより微小にして積層ピッチを小さくすること、吐出量を3次元ロボットの移動速度に合わせて自動調整する制御ソフトの開発等により、この問題は解決可能と思われる。

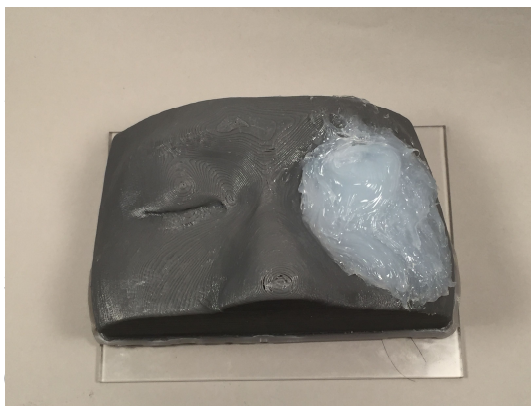


図 3 アディティブマニファクチャリングで作製したシリコン樹脂性エピテーゼ

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, 風間はるか, 高橋英和, 鈴木哲也.
粘度調整剤によるシリコン材料の流動性
への影響. 顎顔面補綴学会誌, 2016;39:1-8
(査読あり)

〔学会発表〕(計 2 件)

隅田由香, 大木明子, 服部麻里子, 吉 志元,
Muhamoud Ellarousi Elbashti, 岩崎直彦,
高橋英和, 大木明子, 谷口 尚. 試作エビテ
ーザ用シリコンの粘弾性特性の検討 第 2
報, 第 31 回日本顎顔面補綴学会 2014/6/21,
仙台市民会館(仙台市)
高柳皓香, 八巻知里, 岩崎直彦, 杉本久美子,
大木明子, 高橋英和. エビテータ用材料の粘
弾特性 第 36 回日本歯科技工学会 2014/9/14,
北海道大学学術交流会館(札幌市)

〔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

[http://www.tmd.ac.jp/bmoe/research_topi
cs/research_topics/61_5933d110bf749/add
itive.html](http://www.tmd.ac.jp/bmoe/research_topics/research_topics/61_5933d110bf749/additive.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 英和 (TAKAHASHI, Hidekazu)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・教授
研究者番号: 90175430

(2) 研究分担者

大木 明子 (OKI, Meiko)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・准教授
研究者番号: 10345225

岩崎 直彦 (IWASAKI, Naohiko)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・助教
研究者番号: 20242216

(3) 連携研究者

(4) 研究協力者

鈴木 哲也 (SUZUKI, Tetsuya)
東京医科歯科大学・大学院医歯学総合研究
科・教授
研究者番号: 60179231

藤田 忠寛 (FUJITA, Tadahiro)
東京医科歯科大学・歯学部・非常勤講師