

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 8日現在

機関番号：32665

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2011

課題番号：20592286

研究課題名（和文） レーザー光による金属とレジンとの接着

研究課題名（英文） Adhesion of metal and resin using laser beam

研究代表者

菊地 久二 (KIKUCHI HISAJI)

日本大学・歯学部・講師

研究者番号：40120422

研究成果の概要（和文）：本研究は、審美的な歯科補綴物を作製するために金属とレジンの接着方法について検討したものである。金属とレジンの接着方法は、レーザー光を用いた新しい発想の接着を試みた。レーザー光は、Nd:YAG レーザーを用いた。その結果、レーザー光を使うことにより歯科用チタンおよびコバルトクロム合金がポリエチレンテレフタレート樹脂と接着することが判明した。しかし、接着には、適切なレーザー照射条件と適切な加圧が必要であった。

研究成果の概要（英文）：This study examined bonding procedure of metal and resin to produce esthetic dental prosthesis. An original adhesion method by laser beam was tried. Nd:YAG laser was used as a laser beam. As a result, it was proven that both of dental titanium and cobalt-chromium alloy were bonded with polyethylene terephthalate resin by using the laser beam. However, both appropriate laser irradiation condition and pressurization were required for the adhesion.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：歯学，レーザー，接着，生体材料

1. 研究開始当初の背景

歯科補綴物を作製するためのフレーム材料は、機械的強度の観点から金属材料が選択される。しかし、金属材料は、金属色であり、患者の審美的な要求を満たすことはできない。したがって、審美的要求からレジン系材料やセラミックス系材料との複合が必要であり、金属材料とレジン系材料やセラミックス系材料との強固な接着が望まれる。

硬質レジン前装冠は、金属フレームと硬質レジンとの接着にリテンションビーズによる機械的嵌合力とプライマー等の塗布による化学的結合が利用されている。しかし、リテンションビーズの付与は、そのための厚みを確保するために歯質の削除量が増えることになり、さらにリテンションビーズの付与は技工操作を煩雑化させ、光重合型硬質レジンでは、リテンションビーズのアンダーカット

ト部のレジンが未重合となることが懸念される。したがって、機械的維持力を用いずに金属とレジン系材料の強固な接着が得られる方法が望まれている。

本研究は、金属とレジンとの接着方法として従来の機械的維持力やプライマー処理による方法ではなく、新しい発想としてレーザー光による金属とレジンとの接着（溶着）を企図した。

工業界では、レーザー光を用いて金属と樹脂の接着について溶接学会全国大会での発表がある。この研究は金属と樹脂との直接接着にNd-YAGレーザーを用いて接着を試みたもので、適切なレーザー照射条件において接着が可能であることを報告している。使用した金属は、SUS304、チタン、アルミニウム合金などで、樹脂としては、ポリカーボネート、ポリエチレンテレフタレート、ポリアミドなどである。また、PETFに芳香族ポリエステルやグラファイト、カーボンブラックをブレンドしてレーザー光を照射すると接着性の大幅な改善が見られることも報告されている。

以上の背景より、歯科用金属および歯科用レジンとの接着の可能性について検討した。

2. 研究の目的

工業界で行われている金属と樹脂のレーザー光による接着は、2007年に発表されたもので、歯科用金属と歯科用レジンとの接着については不明である。そこで歯科用金属として金合金、金銀パラジウム合金、チタンおよびコバルトクロム合金とPMMA樹脂や歯科で利用されているレジンをレーザー光によって接着することが可能なのか検討を行った。すなわち、歯冠補綴用レジンは、フィラーの高配合化やモノマーの研究によって高強度で、耐摩耗性の高い材料となってきた。しかし、強度を必要とする場合には、金属フレームが必要であり、金属との安定した接着が望まれる。金属材料とレジン系材料がレーザー光によって容易に接着することが可能となれば、技工操作も簡略化するものと考えられる。また、パーシャルデンチャーでの連結装置と義歯床用レジンとの接着、さらに、矯正用ワイヤーとレジンとの接着などにも応用することが可能であり、歯科臨床に大いに貢献するものと思われる。

さらに、硬質レジンと金属とがレーザー光によって容易に結合することが可能となれば、診療室での前装冠や義歯の修理などが短期間に行なうことができ、スピーディーな治療が可能となり、患者さんの要望にも応えるものとなると思われる。また、新しい術式なども検討されて歯科医療の発展につながるものと考えられる。

3. 研究の方法

(1) 歯科用金属とPMMAの接着

歯科用金属としては、金合金、金銀パラジウム合金、チタンおよびコバルトクロム合金を用いた。それぞれの金属は、铸造によって、せん断接着試験用試験体(10×8×1.5mm)を作製した。金合金、金銀パラジウム合金およびコバルトクロム合金の铸造は、アルゴンキャスターC(松風)を用いた。チタンの铸造は、タイキャストスーパーR(セレック)を用いた。レジンとしては、PMMA樹脂として常温重合レジン(ユニファースト:ジーシー)を用いた。金属表面は、サンドブラスト処理(松風ハイブラスター、空気圧0.4MPa、アルミナ)および鏡面研磨処理とした。金属面に常温重合レジンを築盛し、上面からレーザー光を照射した。レーザー光としては、Nd-YAGレーザーおよび高出力半導体レーザーを用いて、様々なレーザー照射条件で金属とレジンとの接着性の可能性を検討した。

(2) チタンとレジンの接着

チタンは、木幡工業社製のJIS2種チタンインゴット(φ25×9mm)を用いた。表面はサンドブラスト処理と鏡面研磨(サンドペーパー#1500、エメリーペーパー#2000、フェルトクロスにコロイダルシリカの順に研磨)とした。レジンはポリカーボネート、アクリル、ポリアミド、ポリエチレンテレフタレートの4種類を用いて、直径6mm厚さ2mmの円盤状に加工して用いた。レーザー光は、Nd:YAGレーザー(ネオレーザーP:セレック)を用いて、印加電圧160~220V、パルス幅2~14ms、スポット径2.0mmの条件でチタンインゴット上にレジンを置いて一回の照射を行った。なお、レーザー照射エネルギーが高いとレジンがチタン表面で焦げた。そこで、レジンが焦げずに接着するレーザー照射条件を求めた。

接着強さの測定は、万能試験機(インストロン)によってクロスヘッドスピード1mm/minで、せん断圧縮試験によって行った。

(3) 歯科用合金とポリエチレンテレフタレート樹脂の接着

レジンとしてレーザー光によって接着したポリエチレンテレフタレート樹脂を用い、歯科用合金铸造体との接着について検討を行った。

歯科用合金は、金合金としてPGA-13(石福金属興業)、金銀パラジウム合金としてパラトップ12マルチ(デンツプライ三金)、コバルトクロム合金としてピオジル1(デンツプライ三金)、チタンとしてJS2(セレック)を用いた。铸造用埋没材は、金合金および金銀パラジウム合金ではクリストバライト埋没材(ジーシー)、コバルトクロム合金ではスノーホワイト(松風)、チタンではセレベス

ト CB (セレック) を用いた。パターンは、直径 25 mm 厚さ 1 mm のアクリル板を用いた。鑄造機は、金合金、金銀パラジウム合金、コバルトクロム合金ではアルゴンキャスターC、チタンではタイキャストスーパーR を用いた。鑄造体表面は、サンドブラスト処理と鏡面研磨 (研磨機 (ドクターラップ: マルトー) にダイヤモンドパッド (#600, #1000)、ポリッシングクロスにダイヤモンドスラリーの順に研磨) とした。レジンは、ポリエチレンテレフタレート (タキロン, ペテック #6010) を直径 6 mm 厚さ 2 mm の円盤状に加工して用いた。

レーザー照射機は、Nd:YAG レーザーを用いた。まず、レーザー照射条件を検討するため、金属面にレジンを置いて加圧し、一回の照射を行い、接着強さを測定した。その結果、レーザー照射条件は、印加電圧 220 V、パルス幅 4 ms、スポット径 2 mm、パルス周波数 1 Hz で 1 回照射とした。

(4) チタンとチタン合金

CP チタンは、木幡工業社製の JIS2 種チタンインゴットを用いた。Ti-6Al-7Nb 合金は、ジーシー社製の T-アロイタフインゴットを用いた。表面はサンドブラスト処理と鏡面研磨とした。ポリエチレンテレフタレート樹脂は、歯科用のエステショット (アイキャスト, クリア) を用い義歯成型器によって成形した板 (厚さ 2 mm) を直径 6 mm の円盤状に加工して用いた。

レーザー光は、Nd:YAG レーザーを用いて、印加電圧 160, 180, 200 および 220 V、パルス幅 4 ms、スポット径 2.0 mm、パルス周波数 1 Hz の条件で、インゴット上にレジンを置いて加圧下で一回の照射を行った。なお、加圧力を測定するために、富士フィルムプレスケールを用いた。

接着強さの測定は、せん断圧縮試験によって行った。

なお、それぞれのレーザー照射エネルギーをサーモパイルセンサヘッド (30A-N-SH : Ophir) で測定した。

4. 研究成果

(1) 歯科用金属と PMMA の接着

各種歯科用金属に PMMA の常温重合レジンを築盛してレーザー光を照射して接着を試みたが、僅かな力によって剥離してしまった。レーザー光は、歯科用レーザー溶接機として使用されている 1064nm の波長の Nd:YAG レーザーと高出力工業用半導体レーザー (940nm) を用いて検討したが、いずれにおいても望ましい結果が得られなかった。

(2) チタンとレジンの接着

チタンと 4 種類のレジンの接着試験の結

果、アクリル樹脂は、接着するレーザー照射条件を見出すことができなかった。

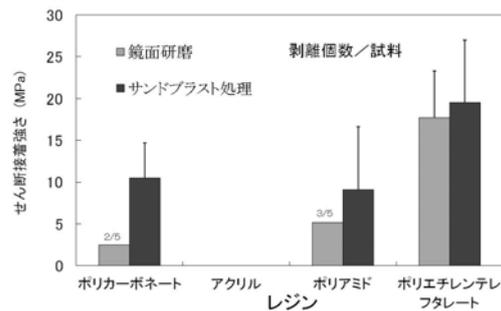


図 1 せん断接着による接着強さ

図 1 はせん断接着強さの結果である。最も大きい接着強さは、ポリエチレンテレフタレート樹脂で、サンドブラスト処理した場合、19.5 MPa であった。また、鏡面研磨でも 17.7 MPa を示した。一方、ポリカーボネート樹脂およびポリアミド樹脂では、鏡面研磨において一部剥離する試料があった。

チタンとポリエチレンテレフタレート樹脂はレーザー光を用いて接着することが明らかとなり、学会発表を行った。この研究成果は、新しい方法によって接着することを示すもので、他の大学でもレーザー光による検討が開始される切っ掛けとなり、大きなインパクトを与えた。

(3) 歯科用合金とポリエチレンテレフタレート樹脂の接着

図 2 にせん断圧縮試験による接着強さの結果を示した。金合金および金銀パラジウム合金の鏡面では、全く接着することができなかった。一方、サンドブラスト面は、金合金および金銀パラジウム合金でいずれも 4.3 MPa を示した。

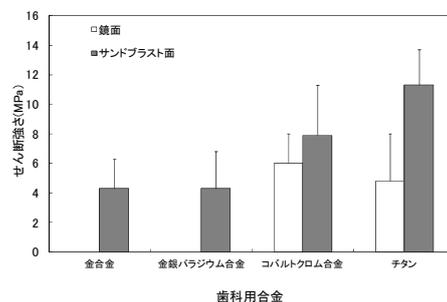


図 2 歯科用合金とレジンのせん断接着強さ

最も大きい接着強さを示したのは、チタンのサンドブラスト面で、11.3 MPa であった。しかし、鏡面は、2.3 MPa と小さい値であった。コバルトクロム合金のサンドブラスト面は 8.1 MPa とチタンのサンドブラスト面に

次いで大きい値であった。

金属とレジンの接着には、金属の表面状態、レーザー光の吸収率、熱伝導率などが影響する。また、樹脂としては、熱可塑性樹脂が接着しやすい。

(4) チタンとチタン合金

レーザー照射エネルギーは、印加電圧 160, 180, 200 および 220 V の条件で、それぞれ 1.4, 2.3, 3.5 および 5.0 J であった。

図 3 にレーザー照射条件を変化させた場合のせん断接着強さを示した。

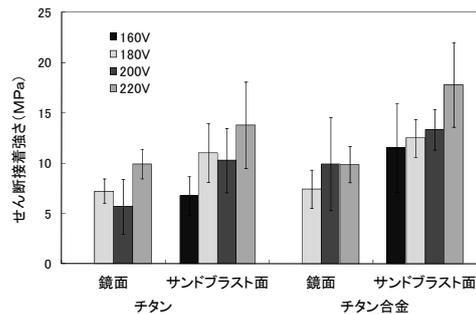


図 3 チタンおよびチタン合金のせん断接着強さ

せん断接着強さは、印加電圧を高くすることによって、大きくなる傾向を示した。鏡面とサンドブラスト面について比較すると、サンドブラスト面が大きい値を示した。CP チタンと Ti-6Al-7Nb 合金を比較すると Ti-6Al-7Nb 合金がやや大きい値を示した。一方、印加電圧 160V において CP チタンおよび Ti-6Al-Nb 合金ともに鏡面では接着しなかった。

本研究で最も大きいせん断接着強さを示した条件は、印加電圧 220 V での Ti-6Al-Nb 合金のサンドブラスト面であった。せん断試験後の破断面を CCD カメラで観察した結果、金属表面がレーザー光によって溶融している状態が観察された。したがって、光エネルギーが大きすぎると、レジンの溶融とともに金属の溶融も起こり、レジンの焦げ付きや金属の凹みが発生するため、適切なレーザー照射条件を設定して接着を行う必要が示唆された。

また、レジンの加圧力によっても接着強さが異なり、適切な加圧が必要であった。

以上の結果をまとめると現段階では、レーザー光によって接着（溶着）できる歯科用合金とレジンの組み合わせが限られている。特に、歯科用レジンとして多用されている PMMA 系レジンとの接着は難しいものであった。

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 0 件)

〔学会発表〕 (計 3 件)

- ① 菊地久二、黒谷知子、掛谷昌宏、廣瀬英晴、米山隆之、チタンと PET 樹脂のレーザー溶着、第 58 回日本歯科理工学会学術講演会発表、2011 年 10 月 22 日、奥羽大学歯学部 (福島県)
- ② 菊地久二、椎名芳江、林 純子、米山隆之、レーザーによる歯科用合金と樹脂の接合、第 32 回日本歯科技工学会学術大会発表、2010 年 11 月 6 日、名古屋国際会議場 (愛知県)
- ③ 菊地久二、宮永光一、赤司幸勇、中野俊明、米山隆之、Nd-YAG レーザーによるチタンと樹脂の接着、第 54 回日本歯科理工学会学術講演会発表、2009 年 10 月 2 日、鹿児島県民交流センター (鹿児島県)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

菊地 久二 (KIKUCHI HISAJI)
日本大学・歯学部・講師
研究者番号：40120422

(2) 研究分担者

米山 隆之 (YONEYAMA TAKAYUKI)
日本大学・歯学部・教授
研究者番号：00220773