

機関番号：31602

研究種目：基盤研究 (C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20592275

研究課題名 (和文) 歯科用金属の適切なレーザー溶接条件の確立

研究課題名 (英文) Establishment of Appropriate Laser Welding Condition for Dental Metals

研究代表者

嶋倉 道郎 (SHIMAKURA MICHIO)

奥羽大学・大学院歯学研究科・教授

研究者番号：80111730

研究成果の概要 (和文)：3種類の歯科用金属を用いて、レーザー溶接を行った後の金属の性質変化や変形量などを調べた。その結果、溶接部の金属は組織変化を起こし硬くなることが分かった。またレーザー溶接を行う場合には、フレームの接合部は貫通溶接が可能な開先形態とし、メインパルスの直後に付加パルスを追加した波形で溶接する方が、変形が小さくなることが分かった。さらに3種類の金属の中では純チタンが最も溶接後の変形が小さく、金銀パラジウム合金、Co-Cr合金の順に大きくなった。

研究成果の概要 (英文)：Change of properties and deformation of three dental metals after laser welding were examined. As a result, the metals were hardened and the metallograph was changed in the fusion zone. Besides, the deformation of the metal frames was smaller when the joint part prepared to bevelled edge compared with square edge and that was smaller when the laser was irradiated with the main pulse and the subsequent weak addition pulse compared with the only main pulse. In three kinds of the metals, pure titanium was shown the smallest deformation, then Au-Ag-Pd alloy, Co-Cr alloy in that order.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
総計	2,500,000	750,000	3,250,000

研究分野：歯科補綴学

科研費の分科・細目：歯学・補綴系歯学

キーワード：レーザー溶接, 歯科用金属, レーザー波形, 変形, 硬さ

1. 研究開始当初の背景

従来歯科領域においては、金属フレーム同士を接合する必要がある場合、鑲着法が用いられていた。近年この鑲着法に代わる金属の接合法として、レーザー溶接法が普及しつつある。レーザー溶接法は鑲着法のように煩雑な操作を必要とせず、作業模型上で直接操作するため簡便である。また接合部に鑲のような異種金属を介在させないため、耐食性や強度に優れるといった利点を有している。

しかしながら金属を急激に熔融、凝固させて接合するため、接合部にクラックやポロシティといった溶接欠陥ができやすいことが報告されている。また熔融部金属の機械的性質変化については、不明な点が多かった。さらに凝固収縮により金属が接合部に引かれ、フレーム同士の位置関係が微妙に変化するなど、臨症的に解決しなければならない問題が残されていた。

2. 研究の目的

レーザー溶接はレーザーの光エネルギーが、金属表面で熱エネルギーに変換されることにより、金属が溶けて接合されることによりなされる。すなわち照射するレーザーと、照射される金属との相互作用で行われる。したがって精確なレーザー溶接を行うためには、使用する歯科用金属それぞれに対して、適切なレーザー照射条件を設定する必要がある。

そこでこの研究では、試料として3種類の歯科用金属を使用し、照射するレーザーのパラメーターや接合部の形態を変えて溶接実験を行い、強固で変形の少ないレーザー溶接を行うための、適切なレーザー照射条件を見出すことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) レーザー溶接による金属フレームの変形
実験用材料として純チタンを使用し、鑄造により15.0×10.0×3.0mmの板状試料を作製した。この試料の短辺同士を溶接することとし、接合部がそのままの単純形態と、上下を斜めに削除して厚さを1.0mmに減じた開先形態の2種類の試料を準備した。2枚の試料の短辺同士を突き合わせ、超硬質石膏に埋没して溶接用ブロックを作製した。

この接合部の中央と両端から1mmの3か所にレーザーを照射し、溶接後実体顕微鏡を用いて、試料断端の石膏面からの浮き上がり量を測定した。レーザーの照射条件はスポット径を0.6mmに固定し、出力は2.5kW、パルス幅3msの矩形波（波形①）、波形①の直後に出力1.6kW、パルス幅2msの矩形波付加パルスを追加した波形（波形②）、波形①の直後に出力1.6kW、パルス幅4msの矩形波付加パルスを追加した波形（波形③）の3種類とした。なお溶接用ブロックは各条件につき5個ずつ作製した。

以上により、接合部の形態とレーザー波形の違いが、純チタンフレームの変形に及ぼす影響について比較検討した。

(2) レーザー溶接における熔融部の様相

材料として金銀パラジウム合金、Co-Cr合金、純チタンの3種類の歯科用金属を使用し、鑄造により15.0×10.0×3.0mmの板状試料を作製した。そしてレーザー照射により熔融した金属の様相変化を調べるため、この試料表面に照射条件を変えてレーザーを照射した。レーザー照射条件はスポット径を0.75mmに固定し、出力が2.0kW、2.5kW、3.0kWの3種類、パルス幅が4ms、8ms、12msの3種類、計9種類のいずれも矩形波とした。なお試料数は各条件5個ずつとし、レーザー照射にあたっては、アルゴンガスを毎分81の割合で噴きつけ

ながら行った。

レーザー照射後、まずそれぞれの金属表面溶融部の直径を実体顕微鏡を用いて測定した。次に溶融部の中央まで金属を削って断面を露出させ、研磨した後、同じく実体顕微鏡で溶融部の溶け込み深さを測定し、合わせて走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察、電子線プローブマイクロアナライザー (EPMA) による元素分析を行った。さらに機械的性質の変化を調べるため、同じ断面でビッカース硬さを測定した。

以上により、代表的歯科用金属がレーザー照射により溶融した場合、照射条件により溶融部の様相がどのように異なるか、また硬さはどのように変化するか比較検討した。

(3) 連続波によるレーザー溶接

実験(2)と同様の材料を使用し、 $20.0 \times 6.0 \times 1.0$ mmの板状試料を製作した。この試料の短辺同士を溶接した後、実験(1)と同様の方法で試料断端のブロック面からの浮き上がり量を測定した。照射条件は、従来のパルス波ではスポット径を0.6mm、パルス幅を5msに固定し、出力を金銀パラジウム合金では3.0kW、Co-Cr合金では2.8kW、純チタンでは2.4kWに設定した。さらに連続波の照射が可能なファイバーレーザーを用い、照射条件はスポット径を0.1mm、走査速度を5mm/sに固定し、出力を金銀パラジウム合金は400W、Co-Cr合金は250W、純チタンは150Wに設定して行った。

溶接後、パルス波と連続波によるレーザー溶接後の変形の違いについて比較検討した。

4. 研究成果

(1) レーザー溶接後の試料断端浮き上がり量の結果を図1に示す。

接合部が単純形態でレーザー波形①の試料が $109.0 \pm 7.3 \mu\text{m}$ と最大の値を示し、接合部が開先形態で波形②の試料が $79.4 \pm 3.0 \mu\text{m}$ と最小

の値であった。

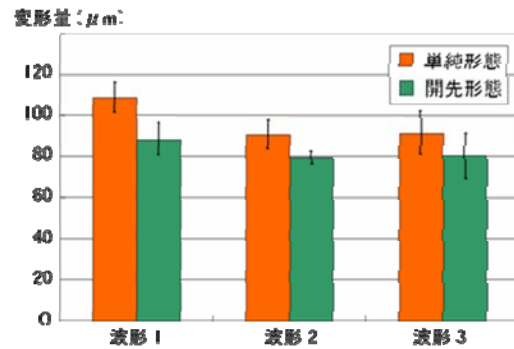


図1. レーザー溶接後の浮き上がり量

接合部の形態とレーザー波形の二つを要因とし、二元配置分散分析およびTukeyの多重比較により検定を行ったところ、どちらの因子についても有意性が認められた。すなわちレーザー溶接にあたっては、接合部の形態を断面の上下にベベルを付けた開先形態とした方が、そのままの形態よりも変形が少ないことが判明した。またレーザー波形に矩形波を用いる場合は、メインパルスの直後に弱い付加パルスを追加した方が変形が少ないことも分かった。しかしながら波形②と波形③の間では有意差は認められず、適切な付加パルスの出力やパルス幅については、今後さらに検討する必要がある。

また溶接後試料を破断して接合部断面を観察すると、単純形態では金属溶融部であるキーホールが底面まで貫通せず、開先形態では貫通溶接がなされていた。レーザー溶接による変形は、金属溶融部の凝固収縮が原因と考えられる。したがって貫通溶接が行われないと、上方の金属溶融部のみが凝固収縮し、角変形が大きくなるものと推測された。

またメインパルスの直後に、それより弱い付加パルスを追加した波形では、溶けた金属が凝固収縮する時間がわずかでも長くなり、応力集中も緩和されることが、試料の変形を

抑制したのではないかと考えられた。

(2) 3種類の歯科用金属にレーザーを照射した場合、表面溶融部の直径と溶け込み深さは同様の傾向を示し、純チタンが一番値が大きく、次にCo-Cr合金、そして金銀パラジウム合金が一番小さな値を示した。またレーザー照射条件は出力が大きくなるほど、パルス幅が長くなるほど溶融部の直径と溶け込み深さの値は大きくなった。ただ金銀パラジウム合金は、出力2.0kW、2.5kWではパルス幅にかかわらず、溶け込み深さが300 μ m以下と熱伝導型の溶融様相を示し、3.0kWになると550 μ m以上のキーホール型の溶融に移行した。金銀パラジウム合金の溶け込み深さを図2に示す。

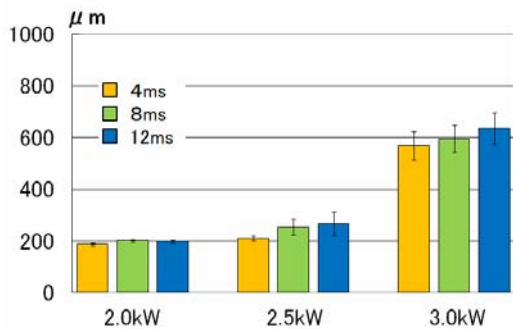


図2. 金銀パラジウム合金の溶け込み深さ

また溶融部のビッカース硬さをもとの casting 体部と比較すると、金銀パラジウム合金ではほとんど変化がなかったが、Co-Cr合金、純チタンでは値が大きくなり、特に純チタンでは約2倍の値を示した。純チタンにおける casting 体部および溶融部のビッカース硬さを図3に示す。

しかしながらレーザーの出力およびパルス幅と、溶融部のビッカース硬さの関係については、特別な傾向は認められなかった。

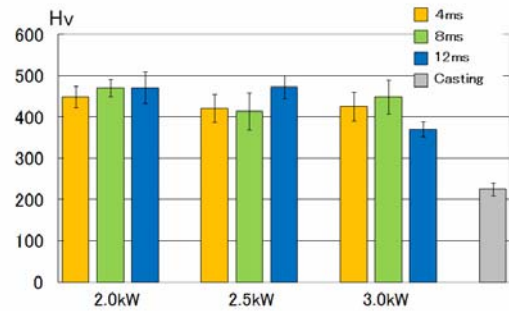


図3. 純チタン溶融部のビッカース硬さ

SEMによる観察、EPMAによる元素分析の結果では、金銀パラジウム合金およびCo-Cr合金において、 casting 体部では各合金を構成する元素が偏在しているのが認められたが、溶融部ではそれが均一に分布していた。また純チタンにおいては、溶融部で針状結晶が多く認められた。

Co-Cr合金と純チタンで溶融部のビッカース硬さが高くなったのは、酸化による影響が大きいものと考えられる。溶融部の酸化防止には、不活性ガスとしてアルゴンガスが用いられることが多いが、照射部に十分近づけて噴きつけないと効果が薄いことも伺われた。

(3) 金銀パラジウム合金は、従来のパルス波による溶接では $310.3 \pm 38.8 \mu\text{m}$ の浮き上がり量を示したのに対し、連続波による溶接では $120.1 \pm 26.3 \mu\text{m}$ と、半分以下浮き上がり量となった。Co-Cr合金および純チタンにおいても、従来のパルス波での浮き上がり量は、それぞれ $477.7 \pm 77.2 \mu\text{m}$ 、 $169.0 \pm 29.7 \mu\text{m}$ を示したのに対し、連続波での浮き上がり量はそれぞれ $101.0 \pm 25.1 \mu\text{m}$ 、 $83.1 \pm 12.0 \mu\text{m}$ となり、絶対量は異なるものの、同様の傾向が認められた。

以上のことから、ファイバーレーザーによる連続波を使用したレーザー溶接は、従来のパルス波によるレーザー溶接よりも、金属フレームの変形が少ないことが分かった。しか

しながら、連続波は金属に加わるレーザーの総エネルギー量が多くなるため、周囲へ熱影響が及ぶことが推測され、歯科における実用化へ向けての課題と考えられた。

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4件)

- ① 嶋倉道郎、竹内 操、歯科用金属のレーザー溶接時における溶融部の硬さ変化、日レ歯誌、査読有、21巻、2010、149-156
- ② 嶋倉道郎、竹内 操、三浦浩輝、歯科用金属のレーザー溶接時における溶融部の様相、奥羽大歯誌、査読有、37巻、2010、99-104
- ③ Shimakura M、Yamada S、Takeuchi M、Miura K and Ikeyama J、Influence of irradiation conditions on the deformation of pure titanium frames in laser welding, Dental Materials Journal、査読有、28巻、2009、243-247
- ④ 嶋倉道郎、レーザーの歯科技工領域への応用、D E、査読無、No.170、2009、13-16

[学会発表] (計6件)

- ① 坂井祐真、雨宮幹樹、西本秀平、佐藤仁昭、嶋倉道郎、レーザー溶接時の純チタンプレートの変形に波形が及ぼす影響、第24回歯科チタン学会学術講演会、2011、横浜
- ② 嶋倉道郎、歯科用金属フレームのレーザー溶接時の変形、第22回日本レーザー歯学会学術大会、2010、名古屋
- ③ 三浦浩輝、坂井祐真、嶋倉道郎、レーザー溶接時における純チタンプレートの変形の進行、第56回日本歯科理工学会学術講演会、2010、岐阜

- ④ 嶋倉道郎、竹内操、レーザー照射による歯科用金属の溶融地の様相変化、第21回日本レーザー歯学会学術大会、2009、福岡
- ⑤ 竹内操、太田麻生、坂井祐真、嶋倉道郎、レーザー溶接が歯科用金属の機械的性質に及ぼす影響、第54回日本歯科理工学会学術講演会、2009、鹿児島
- ⑥ 嶋倉道郎、レーザー溶接時の照射条件が純チタンの溶解様相に及ぼす影響、第20回日本レーザー歯学会学術大会、2008、大阪

6. 研究組織

(1) 研究代表者

嶋倉 道郎 (SHIMAKURA MICHIO)
奥羽大学・大学院歯学研究科・教授
研究者番号：80111730

(2) 研究分担者

竹内 操 (TAKEUCHI MISAO)
奥羽大学・歯学部・講師
研究者番号：245010