加工用レーザーの歯科補綴への応用

第6報 レーザ溶接とろう付との併用法

南 里 嶽 仁

The Use of Laser Welding in Prosthodontics

The sixth report ; The Combination of Laser Welding and Soldering Technique

Takehito Minamizato

I. はじめに

著者は加工用レーザーを用いた歯科補綴物の接合法について検討してきた。すなわち第1～4報¹⁻⁴⁾で種々の基礎的研究を行い、第5報⁵⁾で臨床的検討を加えた。その結果レーザー溶接法はろう付法に比較して種々の点で優れていることを明らかにし、この利点を生かすことにより従来の補綴物の設計や技工操作の改良を可能にし、またいくつかの新しい技工術式を開発することができた。

レーザー溶接はろう付と異なり中間金属を用いない自家溶接であるため十分な接合強度が得られ、また口腔内における腐食に対しても問題が少ない。さらに模型上で溶接されるため大型の補綴物や精密な装置においても適合性が優れている。

しかし約85の臨床例中、Crown-Bridgeで1例、義歯修理で2例の破損が生じたので、それらの結果を詳細に観察検討した結果、レーザー溶接のみでは原理的に十分な接合が得られない場合や技術的に完全な溶接が困難な場合があることが明らかとなった。そこでレーザー溶接法とろう付法を併用しそれぞれの利点を生かした接合術式を考案し、多くの臨床例に応用した結果、満足のいく結果が得られたので報告する。

II. レーザ溶接の問題点

図1-aにレーザー溶接を行った連結冠の溶接破面を示す。昭和49年8月「4-67 Bridge」で、 $\overline{15}$ 、 $\overline{16}$ 部分と $\overline{16}$ 、 $\overline{17}$ 部分とにレーザー溶接を行った⁶⁾。 $\overline{17}$ の二次う蝕により、昭和55年12月に $\overline{16}$ 、 $\overline{17}$ 連結部分のみを切断し、その溶接破面を観察した。図1-aに示すように溶接断面は辺縁部1mm前後の溶接深度でほぼまんべんなく溶接されている。特に咬合面部からの溶接深度はかなり深い。舌側部分、舌側歯肉側部分からの溶接深度は浅い。また中央の芯の部分は中空である。

以上の観察結果から、

1) 咬合面部の溶接のようにレーザー光を溶接部に垂直に照射することが可能な場合はフォーカスを合わせる事が容易であり、さらに溶接深度も深く、十分な溶接が可能である。しかし舌側部分や舌側歯肉側部分の歯冠鼓形空隙部の溶接では、光線に対して接合部を垂直に対向させることが困難である。したがってフォーカスが合わせにくく、溶接深度が浅くなり十分な接合が期待できない。またフォーカスが合わせにくいため冠のマージン部分を損傷する恐れもある。

2) 溶接深度はレーザー光の出力に依存する。工業的には高出力のCO₂レーザーによって数十mmの鋼板の溶接も行われている^{6,7)}。しかし歯科補綴物の場合には小さなビームを用いた精密溶接であるから、その溶接深度には限界があり、接合面の大きい場合にはその周辺部がまんべんなく溶接されたとしても、その中心部は接合されな

九州大学歯学部歯科補綴学第2講座（主任：末次恒夫教授）
Dept. of Prosthodontics, Kyushu Univ. School of Dentistry (Chief: Prof. Dr. Tsuneo Suetsugu)
昭和56年2月12日受付

図 1

- 1-a : レーザ溶接破面
 1-b : 不容易なレーザ溶接は、外冠を傷つける (矢印)
 1-c : コーヌスクローネの外冠と金属床のメタルフレームのろう付時の埋没コア、およびV字溝
 1-d : ろう付不良のコーヌスクローネの外冠とメタルフレーム (矢印)
 1-e : テレスコープのろう付不良 (矢印)

い。したがって咬合調整等に際して削合を余儀なくされる場合には未接合部が削合により露出する恐れがある。

3) 被接合材の一方の肉厚が大きく、他方が薄い場合、例えば歯冠内アタッチメントを溶接する時やマージン部に近いテレスコープやコーヌスクローネの外冠と金属床のメタルフレームを溶接する時など、溶接深度をあまり大きくすれば一方が破損する恐れがある (図 1-b)。

4) 接合部全周にわたる溶接が不可能かまたは非常に困難な場合がある。たとえば金属焼付ポーセレンの後溶接⁵⁾や 3/4 冠の唇側部分のような片面照射しかできない症例等においては十分な接合強度が得られない。特に曲げ応力³⁾が加わる場合には容易に破損するものと思われ

る。

5) レーザ溶接を行う予定で緊密な Butt 接合⁵⁾を作ったが一部の Butt 接合部に隙間が生じてレーザ溶接のみでは満足いく接合が得られない場合もあり得る。

III. レーザ溶接・ろう付併用法

以上述べたように、レーザ溶接法のみでは接合面全体にわたって緊密な接合が不可能な場合が幾つかある。これらはレーザ溶接の溶接深度に限界があること、補綴物の設計上あるいは技術上照射が不可能な部位のあることによる。一方ろう付法では、ろう材は接合面間のいかな

る細い隙間にも毛細管現象によって流れ、接合面全面にわたる接合が可能である⁸⁾。そこでレーザー溶接後ろう付を行えば、それぞれの欠点を補うことができると考え、両者の併用を試みた。以下にその手順および概要を述べる。

1) 補綴物や補綴装置等の被接合材を作業模型上で組立てスティッキーワックス等で固定する。

2) 作業模型上でレーザー溶接が可能な範囲で溶接を行う。これで被接合材の位置関係が固定される。歯科補綴学では間接法による補綴物の製作が殆どである。この間接模型法によって作製される補綴物の出発点は精密に印象されたものに超硬石膏を流し込んで作られた作業模型の精度と言っても過言ではない⁹⁾。

それゆえこの精度の良い作業模型上で補綴物を種々組立てて適合の良い完成された補綴物を製作することは、すなわち口腔内に対しても適合の良い補綴物の装着となるゆえんである。そこでこのレーザー溶接法によって作業模型を傷つけることなく、種々の補綴物を作業模型上で組立てて連結固定できる方法は、補綴物の接合手段としては非常に良いと思われる。

3) 次に模型から取りはずし、口腔内に試適する。

4) 口腔内で適合調整を行った後、埋没材に埋没することなくブローパイプやファネス内でろう付を行う。このことは埋没材の硬化膨張や加熱膨張による変形^{8,10,11,12)}、すなわち被接合材の位置関係の狂いを生じることなく、口腔内での適合不良を招く恐れがないことを意味しており、レーザー溶接応用の利点である。また埋没されていないため、ろう付が完全に行われたかその場で確認できる。一方一般にろう付法は口腔内や作業模型上で、図1-cに示すようにスティッキーワックス、レジンや石膏等でコア採得を行い、次いで埋没材に埋没され乾燥、予熱を行う。補綴物が大型化されればその埋没コアは大きなものとなる。その結果、埋没材の膨張も大きくなりろう付時の加熱時間も長くなる。また、図1-d, eに示すように粘膜面においてはろう付が十分できたかどうかの確認ができず、不良ろう付で終わることがある。テレスコープやコーススクローネ等を含む大型補綴物のろう付では、ろう付の真の難しさを経験する¹³⁾。それゆえ、ろう付に際し種々工夫がなされている¹⁴⁾。

5) 補綴物の加熱による変形は金属の非等方的熱膨張、鑄造や加工によって内蔵される内部応力の開放、合金の相変態¹⁵⁾などによる。したがってろう付を行う限り、わずかな変形は避けられない。しかし、埋没材で固定し長時間の乾燥、予熱を行う埋没ろう付法と比較すれ

ば、加熱部分は限定され加熱時間も短時間であるからその量は微小と考えてよい。

以上のような手順で行われるレーザー溶接・ろう付併用法は、両者の欠点を補うべくいかなる臨床例にも応用できる。今までのレーザー溶接のみの症例に比べて、その応用範囲が広く利用価値が高くなると思われる。

以下症例の幾つかを報告する。

IV. 臨床応用ならびに考察

〔症例Ⅰ〕 654321|12457 欠損義歯

図2-aに示すように、7|36にコーススクローネの外冠と金属床のメタルフレームを作業模型上に組立て、スティッキーワックスで固定を行う。この際、外冠とメタルフレームとの接合状態は図2-aのような緊密な Butt 接合を行う。またその位置は辺縁隆線部が冠の最大豊隆部が最適である。これはレーザー光を接合部に対し垂直に照射することが容易で、なおかつフォーカスが合わせ易いからである。使用金属は外冠には白金加金を、メタルフレームには 12% 金パラ合金を使用した。

図2-bはレーザー溶接を行っているところである。このように作業模型上で外冠とメタルフレームを溶接することができる。図2-bに示すように咬合面からのレーザー溶接が一番容易に行える。頬側、舌側部分になると作業模型を斜めにするため、レーザー光を被接合面に垂直に照射することが困難である。

図2-cはレーザー溶接後の状態を示す。このように周辺のワックスも固定用のスティッキーワックスも溶かすことなく、極く微細にレーザー溶接を行うことができる。固定用のワックスを取り除き、外冠とメタルフレームを一塊にして容易に変形することなく模型から取りはずすことができる。その後口腔内に試適する必要があるれば試適を行い、適合状態や咬合状態を観察する。

図2-dに示すように、溶接後補綴物を一塊にして取りはずすことができる。取りはずした補綴物の外冠とメタルフレームの境界部、すなわち非溶接部にスリット状の隙間が生じる。この部分にフラックスを流しろう付を容易にする。

図2-eに示すように、埋没材に埋没することなくブローパイプで接合部の隙間を完全にろう付する。埋没材に埋没されていないため、短時間でろう材が流れる。また上下左右のあらゆる角度からろうが流れたかどうかの確認ができる。

図2-fはろう付が終了したところである。このように

図 2 654321|12457 欠損義歯

2-a : 外冠とメタルフレームの適合 2-b : レーザ溶接 2-c : レーザ溶接後 2-d : フラックス塗布
2-e : ブローパイプでろう付 2-f : ろう付後の粘膜面 2-g : 右側の適合状態 2-h : 左側の適合状態

まんべんなく均一にろう材が流れている。

図 2-g, h は左右の外冠、内冠の適合状態およびメタルフレームの適合状態を示している。非常に満足のいくものである。

〔症例Ⅱ〕 7 6 5 4 2 1 | 1 2 4 5 6 欠損義歯

図 3-a の作業模型は 3 | 3 にパテスティ根管内アタッチメント、17 にコーヌスクローネの外冠を示している。また、これらのアタッチメントの雄部とコーヌスクローネの外冠とを連結固定するための金属床のメタルフレームを示している。使用金属は症例Ⅰと同様である。

図 3-b はアタッチメント、コーヌスクローネの外冠およびメタルフレームを作業模型上にセットし、スティッキワックスで固定を行ったところである。各連結部分は図 3-b のようにできるだけ緊密な Butt 接合面になっている。この状態で図 2-b のようにレーザー溶接を行う。

図 3-c はレーザー溶接された咬合面観である。外冠とメタルフレームの接合が緊密であればこのように連続的なスポット溶接が可能である。また、咬合面からの溶接はレーザー光を垂直に照射することが容易であるため、溶接深度も深く溶接することができる。しかし、頬側、舌側部分からの溶接は模型を斜めにするため、レーザー光を垂直に照射しにくい。また、外冠の厚みはマージン部分に近づくに従い薄くなるため、不容易な溶接は図 1-b に示すように外冠をこわす恐れがある。但し、咬合面部と頬舌側との隅角部はしっかりと固定しておくことが、曲げに対し効果がある。アタッチメント部分はパテスティの頭とメタルフレームとを強固に固定しておくことが重要である。

図 3-d はレーザー溶接によって固定された補綴物の粘膜面観である。左右のパテスティアタッチメントやコーヌスクローネの外冠と、金属床のメタルフレームとの境界部にはスリット状の隙間が生じている。この場合は粘膜面からのレーザー溶接は不可能である。また、アタッチメントにみられるように、アタッチメントとメタルフレームの金属の厚さの差が大きいと連続的に全周レーザー溶接を行うことは殆ど困難である。この症例ではパテスティの雄部の維持装置をはずし、ネジ部分に埋没材を満たし、ろう材がネジ部分に流れないように注意した。コーヌスクローネの外冠には埋没材を入れる必要はない。

図 3-e は図 2-e のようにしてブローパイプでろう付を行った後、パテスティの維持装置をセットしたところである。ろう材は細部にわたりきれいにまんべんなく隙間を満たしている。

図 3-f, g, h はレーザー溶接・ろう付後の唇側部、頬側

部、舌側部の適合状態を示す。

これらの写真からもわかるように、作業模型上で精度よく作製された補綴物は、完成後口腔内に装着した時、生物学的にも強度的にも、満足のいくものと思われる。

〔症例Ⅲ〕 6 2 1 | 1 2 3 4 5 6 7 欠損義歯

図 4-a は 7 5 4 3 | に I.R.V. テレスコープを作製し、内冠と外冠をセット後に金属床のメタルフレームを製作、適合させた状態である。メタルフレームと外冠との接合位置を図 2, 3 のコーヌスクローネよりもかなり歯頸部側（最大豊隆部より下方）に置いた。そのため、外冠の厚みが十分取れていない部分がある（使用金属は症例Ⅰ、Ⅱと同様である）。

図 4-b は外冠の厚みが不十分と思われたため、厚みの十分と思われる歯冠鼓形空隙の部位のみをレーザー溶接したところである。しかし、図 4-b のように歯冠辺縁部は波状（鳩尾）形をとっているため、直線的な溶接よりも曲げに強い。そのため 6 カ所の不連続な溶接にもかかわらず強固な固定ができた。

本来、接合位置はレーザー光が照射しやすい位置（この場合は図 2, 3 のような辺縁隆線部か最大豊隆部）に設定するのが一番良い。また、最大豊隆部は外冠の厚みを一番多くとれる。この症例のように最大豊隆部の下方では、レーザー光を垂直に照射するには作業模型を斜めに傾ける必要がある。さらに、歯冠鼓形空隙部はフォーカスを合わせる 것이 難しい。

図 4-c はレーザー溶接後に取り出した I.R.V. の外冠とメタルフレームの粘膜面観である。接合部の位置にわずかのスリット状の隙間が生じている。その隙間の量は図 2, 3 よりもはるかに少ないが、これら接合部をレーザー溶接することは困難である。また、外冠のマージンを損傷させる恐れがある。そこでろう付法の特長である毛細管現象を利用し、細いスリット状の隙間を奥深くまでろう材を満たし、接合面全面にろう付すれば満足のいく接合が期待できる。

図 4-d は直径 1 mm 位の球状にしたろう材をスリット状の隙間に置いてブローパイプでろう付を行っている。この症例のように咬合面部がまんべんなく連続的にレーザー溶接されていない時やレーザー溶接によって溶接部に欠損⁹⁾が生じた時は、このように咬合面部からも粘膜面部からもろう付を行う。レーザー溶接・ろう付併用法は埋没材に埋没されていないため、咬合面部からも粘膜面部からも自在にろう付が行え、かつ、ろう材が各所に流れたかどうか確認でき、さらに追加補充も容易に行える。

図 3 7654 21/12456 欠損義歯

3-a : メタルフレームと各支台装置 3-b : 支台装置とメタルフレームの適合後スティッキーワックスで固定
 3-c : レーザ溶接後 3-d : レーザ溶接後の粘膜面 3-e : ろう付後の粘膜面 3-f : 唇側面の適合状態
 3-g : 左側頬側部の適合状態 3-h : 後方からの適合状態

図 4 6211234567 欠損義歯

4-a : 外冠とメタルフレームの適合 4-b : レーザ溶接後 4-c : レーザ溶接後の粘膜面 4-d : ろう付
4-e : ろう付後の粘膜面 4-f : 後方からの適合状態 4-g : 咬合面からの適合状態 4-h : 頬側部からの適合状態

図 5 4 1/1 4 Bridge

5-a : 4 分割されたポーセレンおよび 4/5 冠 5-b : レーザ溶接後 5-c : 口腔内試適
5-d : ろう付後 5-e : 研磨完成 5-f : 口腔内装着

一方ろう付単独法においてはろう付が完了し、埋没材を除去した後、図 1-d, e のように不良なろう付となった場合は、ろう付部を取りはずし、再度始めからやり直す必要が生じる。

図 4-e はろう付が完了したところである。内面に流れ込む心配もなく安心してろう付を短時間に行える。

図 4-f, g, h はそれぞれの位置からの適合状態を示す。粘膜面の適合も、外冠と内冠の適合も十分満足のいくものであった。

〔症例Ⅳ〕 4 1/1 4 Bridge

図 5-a に示すように補綴物を 4 分割にし、ポーセレン前装を施す。使用金属は 321|123 にポーセレン焼付合金、4/4 には白金加金で pin のついた 4/5 冠である。

図 5-b では 4 分割したものを作業模型上に固定し、正中部分と 4/4 の近心部分のみ咬合面部と一部舌側面部からレーザ溶接を行い、唇側部分、歯肉側部分からのレーザ溶接は行わない。これで相互の位置関係は固定される。

図5-cのように作業模型から取りはずした後、口腔内で試適を行い、適合状態その他について検討した。その結果、正中部分のレーザー溶接は不必要と思われたので、溶接部をパーで取り除くことにした。

図5-dは適合状態のチェックの後、口腔内から取り出し、埋没材に埋没することなく、ポーセレンファーンズ内で14Kの後ろ付を行う要領で金ろうを流した状態である。この際、埋没材に埋没していないためろう材が唇側部分は勿論、歯肉側にも流れたかどうかその場で確認できる。

この症例をレーザー溶接のみで行うと、唇側部分の4/5冠のマージン部分やBridgeのポーセレンを損傷する。その結果、従来までは咬合面、舌側面部の片面照射⁵⁾でしのいでいたが、唇側部の溶接されていない部分が問題となる。しかし、今回レーザー溶接・ろう付併用法を適用することによってこの問題点は解決できた。

図5-eはレーザー溶接・ろう付併用後の作業模型上での適合、図5-fはその口腔内の状態である。写真で明らかに非常に適合が良い。万一咬合調整等で咬合面を削合することがあっても溶接されない部分が露出する等の心配がない。

レーザー溶接のみの片面照射だけで行った場合よりもずっと曲げ（咬合力）に対し抵抗し得るものと思われる。

V. 結 論

著者は加工用レーザーを用いた歯科補綴物の接合法について、基礎的にも臨床的にも種々検討を加えてきた¹⁻⁵⁾。また、Gordon¹⁶⁻¹⁹⁾やその他も²⁰⁻²⁴⁾同様の研究を行った。その結果、レーザー溶接はろう付法に劣ることなく、むしろ優れた接合法として期待できる。しかし、レーザー光を溶接部に垂直に当てるのが困難または不可能な場合、溶接深度が不十分で両面照射を行っても溶接されていない中空部分が問題となる場合、金属の厚みの差が大きい場合、溶接部全周にわたってまんべんなく均一な溶接ができない場合やButt接合不良の場合の症例においてレーザー溶接のみの接合には困難性や問題点を指摘できる。

そこでろう付法の利点を取り入れたレーザー溶接・ろう付併用法を導入した結果、次のような利点が明らかとなった。

1) レーザ溶接のみでは緊密なButt接合を作る必要がある。しかし、一部分に隙間を生じたり、溶接後の欠損⁴⁾ができた場合にろう付によって追加補充ができる。

2) レーザ溶接で一部分固定しているため、口腔内に試適できる。ワックス、レジン、石膏等の固定材を必要としないため、口腔内の適合状態や咬合関係のチェックが十分行える。

3) 補綴物をろう付する際、ワックス、レジン、石膏等でコア採得を行う必要がある。この際、変形や破損を生じることがある¹³⁾。また固定源となる維持部分を作る必要がある。しかし、レーザー溶接でしっかり固定しておけば、着脱時に変形を生じる恐れがない。また、維持部分を作る必要もない。電気溶接器を応用した同様の固定方法^{25,26)}もあるが、厚みのあるものや熱伝導の良いものには溶接が困難であるため、固定に不安がある。

4) 埋没材に埋没することなくろう付が行える。

レーザー溶接で固定したものは埋没材に埋没する必要がなく、直接ブローパイプやファーンズ内でろう付できる。そのため乾燥、予熱の必要もなく、埋没材による汚染もなく、ろう付時の熱の回りが良く酸化も少ない。その結果、ろう付が短時間に行える。また、接合部位は全周肉眼で確かめることができ、ろう材が確実に流れたかどうか容易に判断できる。さらに埋没ろう付法のように埋没材の硬化膨張や加熱膨張等による補綴物の変形も生じない。レーザー溶接は作業模型上で確実に固定された自家溶接であり、さらに溶接部の熱影響部^{1,2,5)}が非常に狭い範囲に局限されているため、加熱時の内部応力の開放や相変態による変形も埋没ろう付法よりもはるかに少ないと思われる。

一方埋没せずにろう付する方法としては、電気溶接器を用いる方法^{25,26)}、ろう付部分の他にバイパスを作り、そこを溶接またはろう付後本来のろう付部分をろう付する方法がある。前者は3)で述べた通りで、後者のバイパス法^{27,28)}も煩雑である。また左右にバイパスを作ればよいが、一方のみでは変形する恐れがある。

5) レーザ溶接・ろう付併用法では、接合部分が多くなっても少なくともほぼ同時に多数ろう付が可能である。しかし、埋没ろう付法はろう付部分が多くなると埋没コアが大きくなる。また、ろうを流すV字型のとんろを数多く作る必要があり、埋没による固定が不良となる。その結果、ろう付時間が長くなり不完全なろう付となることが多い。

レーザー溶接・ろう付併用法において生じる問題点

6) レーザ溶接単独法では作業模型上のみで補綴物を連結固定できる。しかし、併用法では作業模型上からはずしてろう付する。その際、短時間であるが加熱されるので、内部応力の開放や相変態による変形¹⁵⁾がわずかで

あるが起る恐れがある。

7) ろう材という異種金属が介在することになる。

併用法が適用できないケース

8) Co-Cr や Ni-Cr 合金等の非金属合金については金ろう付が非常に困難である^{8,29)}。したがって、レーザー・ろう付併用法は適用できず、この場合にはむしろレーザー溶接単独法^{4,20,22,23)}がよい。

歯科補綴物の接合手段として、レーザー溶接法を行ってきた。その結果、約 85 の臨床例のうち失敗と思われるものが 3 例だけであった。この事実が示すように、極く一般的な Bridge や partial denture においてはレーザー溶接単独法で十分な接合が得られる。しかし、レーザー溶接のみでは困難な症例や問題点のある場合は、ろう付法の利点を取り入れたレーザー溶接・ろう付併用法を適用することにより、それらの問題点や困難性を十分克服することができ、歯科補綴物のレーザー溶接応用の幅を広げるものと思われる。

本論文は昭和 55 年度日本補綴歯科学会九州支部会 (1981. 2. 21) および第 16 回九州大学歯学会 (1981. 2. 28) において発表し、その講演集に抄録を掲載した。

稿の終わりに臨み、本研究のご指導とご校閲の労を賜った末次恒夫教授および歯科理工学教室太田道雄助教授に厚く謝意を表します。

また技工部門に対しお世話になった本学附属病院中央技工部中満嘉彦氏、さらに各臨床例を与えて下さった鬼頭政勝助教授および岡野裕先生 (宇部市開業) に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 南里嶺仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用，第 1 報 レーザ溶接の基礎的研究，補綴誌，17：524～529，1974。
- 南里嶺仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用，第 2 報 レーザ溶接の基礎的研究，補綴誌，19：633～640，1976。
- 南里嶺仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用，第 3 報 レーザ溶接の基礎的研究—曲げ試験—，補綴誌，21：276～281，1977。
- 南里嶺仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用，第 4 報 レーザ溶接の基礎的研究—溶接時の雰囲気と溶接部の問題点—，補綴誌，21：282～290，1977。
- 南里嶺仁：加工用レーザーの歯科補綴への応用，第 5 報 レーザ溶接の臨床的検討，補綴誌，21：291～307，1977。
- 神保龍太郎，志田朝彦：レーザーの加工への応用，電子装置研究会資料，EDD-77-39，1977。
- 神保龍太郎：レーザー加工，レーザーの基礎とその応用—第 2 回レーザー入門サマーセミナーテキスト—，52～69，1977。
- 歯科理工学会編集：歯科理工学，141～147，医歯薬出版，東京，1972。
- 山根正次：歯科医療技術とせつこう，材料，29：421～427，1980。
- 山田早苗訳：最新版クラウン・ブリッジの製作法 (6th, ed.)，89～103，医歯薬出版，東京，1976。
- 松葉 久：鑲接用埋没材の研究，歯材器誌，No. 3：47～59，1959。
- Skinner, E.W. and Philips, R.W.: The science of dental materials, ed. 6, 552～580, Chap. 33, W.B. Saunders Company, Philadelphia and London, 1967。
- 津留宏道，中本 守，長沢 亨共訳：テレスコープシステムの実際，109～113，Die Quintessenz, Berlin-Tokyo, 1976。
- 川崎従道：私のテレスコープ義歯製作法—特にミルド・パーのパターン作製と鑲着操作を中心として—，歯科技工，5：13～24，1977。
- 歯科理工学会編集：歯科理工学，176～184，医歯薬出版，東京，1972。
- Gordon, T.E. and Smith, D.L.: Laser welding of Prostheses—an initial report, J. Pros. Dent., 24：472～476，1970。
- Gordon, T.E. and Smith, D.L.: A laser in the dental lab., Laser Focus Magazine, June, 37～39，1970。
- Gordon, T.E. and Smith, D.L.: Laser welding of ceramic fixed prostheses, Dental Digest, 306～309，1970。
- Smith, D.L., Burnett, A.P. and Gordon, T.E.: Laser welding of gold alloys, J. Dent. Res., 51：161～167，1972。
- Preston, J.D. and Reisbick, M.H.: Laser fusion of selected dental casting alloys, J. Dent. Res., 54：232～238，1975。
- Eshleman, J.R., Svitzer, J.R. and Moon, P.C.: Heat treatment of laser-welded gold alloys, J. Pros. Dent., 36：655～659，1976。
- Van Benthem, H. und Vahl, J.: Untersuchungen zur zerreiβfestigkeit lasergeschweißter Dentallegierungen, Dtsch. zahnärztl. Z., 33：262～266，1978。
- Van Benthem, H. und Vahl, J.: Vorteile des Laserschweißens von Dentallegierungen—Ein neuer Weg in der dentalen Technologie, Dtsch. zahnärztl. Z., 33：486～488，1978。

- 24) Vahl, J., van Benthem und Masslich, L.P. : Lasereperimente an Teilprothesen und Kronen im Verbund mit dem Zahn (in vitro), Dtsch. zahnärztl. Z., 34 : 792~798, 1979.
- 25) 齒科理工学会編集 : 齒科理工学, 147~148, 医歯薬出版, 東京, 1972.
- 26) Mandolesi Rolf : アタッチメント雄部を金属床フレームに電気溶接する方法, Quintessence of Dental Technology, 10 : 19~21, 1979.
- 27) Winslow, M.B. : Fixed splint and bridge assembly, J.A.D.A., 51 : 47~50, 1955.
- 28) Perdigon, G.J. and Van Eepoel, E.F. : Minimizing solder joint warpage in fixed partial denture construction, J. Pros. Dent., 7 : 244~249, 1957.
- 29) 金竹哲也 : 齒科理工学通論, 216~241, 永末書店, 京都, 1968.