フェイザー溶接を活用した高精度のインプラント上部構造の製作

竹宇治篤子, 松本直人, 渡邊一史

Production of Implant Superstructure of High Accuracy that uses Feizar Welding

Atsuko Takeuzi, Naoto Matsumoto, Kazufumi Watanabe

It divides it roughly, and a fixed style of the fixed prosthesis implant superstructure is cement retained, and screw retained. The domination of excellent screw retained in maintenance recovery Ritoribabiriti is high though appreciation of the beautiful is requested while being acknowledged assuming that the implant treatment foresees and is high, and a lot of cement retained is adopted. However, a difficult point of the screw retained is achievement of the agreement of high accuracy.

The production of a screw retaining superstructure with high promptness and accuracy becomes possible without depending on the difference between the experience and the technology by using together about Fazar (TIG weiding) and soldering plan though one peace casting and soldering plan need the skill level and both experience values.

固定性インプラント上部構造の固定様式は、大別してセメントリテイニング、スクリューリテイニングである。インプラント治療が予知性の高いものとして認知されるにしたがい、審美性も求められ、セメントリテイニングが多く採用されているようであるが、メンテナンス・リカバリー・リトリバビリティに優れるスクリューリテイニングの優位性は高い。しかし、スクリューリテイニングの困難な点は、高精度の適合の達成である。

ワンピースキャスト、ロウ着法は、どちらも熟練度、経験値を必要とするが、フェイザー（TIG 溶接）とロウ着法の併用により、経験、技術の差によることなく、迅速かつ精度の高いスクリューリテイニング上部構造の製作が可能となる。

Key words : フェイザー溶接 Feizer welding, インプラント上部構造 Implant Superstructure, スクリューリテイニング Screw retaining, ワンピースキャスト One peace cast, ロウ着法 Soldering

はじめに

スクリューリテイニング上部構造は、メンテナンス、リペア、リトリバビリティに優れ、インプラント補綴において非常に有効な補綴様式であると思われるが、製作上以下のような問題点もある。

I. 高い適合精度の必要性

1. インプラント体の不動性……被圧変位による適合補正を期待できない
2. 機械加工によるコンポーネントでの上部構造製作システム……適合に対する曖昧さを容認しない¹⁾

本稿では、スクリューリテイニングによるインプラント上部構造製作過程においてワンピースキャストにより不適合が確認されたため、迅速・簡便・確実に接合できる方法を考察し、リカバリーした症例を紹介する。

図1 49歳、女性。

図3 最遠心に1本の追加埋入をした症例。

図4 最遠心に口ウ着し、追加した上部構造。

図2 経年的変化によりコンタクトが離開したため、印象を採得し、外した上部構造印象に戻し、製作した模型。離開したコンタクト修正を模型上で行う。外し易いスクリーリテイニング上部構造の利点であるといえる。

症例

I. 症例

患者：49歳 女性（図1）

主訴：上顎左側第二小臼歯～第二大臼歯まで、前医院で抜去したままの状態。上顎右側第二小臼歯の知覚過敏と下顎のインプラントの緩みで来院。

口腔内所見：上顎右側第二小臼歯のう蝕と、咬合崩壊が見られる。

処置：咬合再構築のため、上顎右側大臼歯に3本、左側第二小臼歯～大臼歯部に4本埋入した。

II. スクリーリテイニング上部構造の利点

1. 着脱が容易な構造であるため、メンテナンス時（リコール時）に上部構造を外し、口腔外での清掃、研磨が可能である。その際、リムーバー等で上部構造に外力を加える必要のないスクリーリテイニングは安全である。

2. 上部構造の咬頭干渉となる箇所をメンテナンス時に、調整することが可能である。

とくにインプラントは側方圧に弱いとされているが、取り外し診査することで咬頭干渉となる箇所を調整できる。当医院では、定期的なメンテナンス時に上部構造を清掃

研磨するだけでなく、咬合面に現れたオクルーザルコンタクトや咬頭干渉を観察し、オーバーロードとなり得る側方圧と判断される咬頭干渉は削除するようにしている。

3. 口腔内の経年的変化に対応しやすい

天然歯、インプラントが混在した歯列では、経年的にコンタクトが離開してくることがある（図2）。また隣接の天然歯が抜歯に至った場合、インプラントの追加埋入や上部構造の形態を変更することを余儀なくされるが、インプラント体レベルでの印象が必要になった場合、上部構造が外し易いスクリーリテイニングは対応が容易となる（図3、4）。

4. 上部構造のリペアに対応し易い

インプラントには衝撃吸収機構が存在しないことから、天然歯支台のクラウン・ブリッジに比較し、破折等のリスクが高いと考えられる。外し易いスクリーリテイニングは、リペアに対応し易い。

5. 歯肉縁下のセメントの残留がない

セメントリテイニングは、支台歯形態の内冠を製作し、クラウン・ブリッジをセメント仮着するため、マージンラインを歯肉縁上とすれば別であるが、インプラントヘッドから歯肉縁までにインプラントーアバットメント（内冠）接合部と、アバットメント マージン（内冠）ー外冠（クラウン・ブリッジ）と2つのマージン（接合部）が存在する。接合部（マージン）はマイクロギャップ程度となる

図5 TIG溶接の原理。

元素	熱吸収率(%)	熱伝導率(%)	液相点(°C)
金	0.03	2.97	1063
銀	0.03	2.29	961
白金	0.27	0.72	1769
パラジウム	0.26	0.72	1552
チタン	0.4	0.17	1668
クロム	0.4	0.67	1875
コバルト	0.32	0.71	1495
モリブデン	0.4	1.42	2610
ニッケル	0.32	0.92	1453

表1 金属の熱吸収率・熱伝導率・液相点。

インプラント上部構造だけであるほうが望ましい。

以上、スクリューリテーニングの利点を挙げたが、1, 2はインプラント脱落の原因の2大要素である、「オーバーロード（荷重負担）」、「ペリインプランタイティス（インプラント周囲炎）」を未然に防止することから、スクリューリテーニングは有用性の高い補綴様式と言える²⁾。

Ⅲ. スクリューリテーニング上部構造のフレームの製作の方法

スクリューリテーニング上部構造には欠点もある。歯根膜が存在しないため被圧変位による適合補正は期待できず、機械加工された精密なパーツ同士の適合は曖昧さを容認できない。そのため、スクリューリテーニングにおけるパッシブフィット（静的な適合）は必要かつ技術を要する。フレームの製作方法として、以下の1～4が一般的と思われるが、それぞれの方法を検証する。

1. ワンピースキャスト法
2. ロウ着法
3. レーザーまたはフェイザー溶接法
4. 2と3の併用

1. ワンピースキャスト

ワンピースキャスト法は簡便で、フレーム強度も得られることから優れた方法である。しかし、ロストワックス法は材料を置換する方法で、行程における材料の寸法変化をコントロールしなければ高い精度を得ることはできない。バーンアウトされる材料はともに凝固収縮するため、その扱いに熟練していなければ応力の少ないパターンを製作することはできない。また、埋没材の種類、性能にも影響される。埋没材は硬化膨張する材料であり、混水比、室温、湿度等が硬化膨張量に関係する因子となる。また、鋳造された金属は凝固収縮し、その影響を最小限とするスプレーイングも重要となる。

以上のように、コントロールしなければならない因子は多く、かならずしも容易な方法ではない。

2. ロウ着法

ロウ着法は、前ロウ法、後ロウ法があり、仮固定するために、ロウ着用埋没材を使用する場合（既成スタンドを使用する場合、カスタムスタンドを製作し使用する場合、埋没材のみで固定する場合の3つの方法がある）と、仮着器で固定する場合、両方を併用する場合などがあり、方法も多岐にわたり、理工学的知識や材料をコントロールする技術も必要であることから、容易な方法ではない。また、スクリューリテーニングの上部構造はメタルの量が多くなることもロウ着を難しくさせている。

3. レーザー、フェイザー溶接

レーザー、フェイザー、どちらもロウ着とは逆の概念で、熱伝導率の高い金属ほど溶接しづらく、ロウ着間隙のような隙間があつてはならない。模型上での溶接が可能であるが、一方向からの集中的な溶接は歪みを生じるため、接合断面から見た場合、可能な限り対角線状となるように溶接し、歪みを生じさせないように配慮が必要である。母合金を酸化させず、母合金と同一メタルで溶接されるため強度があり、ロウ着法に比較して技術的に習得しやすいと思われるが、レーザー溶接機は非常に高価で、一般的ではない。フェイザー溶接機は、レーザー溶接機に比較するとコストパフォーマンスに優れるが、浸透度の浅さが問題となる。

4. 2ロウ着法と3フェイザー溶接法の併用

前述したように1～3の方法は、どれも一長一短がある。1のワンピースキャスト法以外は、2つ以上の鋳造体を接合する方法であるが、高い精度を求めるためには熟練が必要となる。しかし、フェイザー溶接機により母合金と同一メタルで数箇所固定し、断面部分においてほかの接合されていない部分にロウを流すことで、とくに熟練度の必要

図6 溶接各種溶接熱源による溶融池形状の違い。青：レーザー溶接／緑：電子ビーム溶接／黄：プラズマ溶接／赤：TIG溶接。

図7 フェイザー本体。

図8 クラスプの脚が破切していた為（赤の点線部分から）、パラジウムのキャストクラスプに既製の補強線をコバルトアロイワイヤーで溶接した。

なロウ着法での問題点、フェイザー溶接機における浸透度の浅さや、溶接を必要最小限にすることで歪みも生じにくいなど問題点を解決できるだけでなく、ロウ着法単独よりも強度を獲得することができる。また、熟練度に左右されることなく、迅速に精度を上げることが可能となる。

Ⅳ. フェイザーの原理

フェイザー溶接機の正式名称は、「プリモテックフェイザー mx1」という。この溶接機は、タングステン不活性ガス（TIG）を利用し、単独パルスで溶接する。ティグ溶接（TIG溶接）とは、溶接技術の分野において術語として用いられる溶接用語の1つで、アーク溶接の溶接方法に定義される用語の1つである。ティグ溶接（TIG溶接）は、アーク溶接（アークを熱源とする溶接）に分類される溶接で、イナートガスアーク溶接の一種である。シールドガスとしてAr（アルゴン）やHe（ヘリウム）などのイナートガス（不活性ガス）を用い、電極にはタングステンあるいはタングステン合金を用いることから、ティグ溶接：TIG溶接（Tungsten Inert Gas welding）と呼ばれている。

ティグ溶接（TIG溶接）は、プラズマ溶接などと同じように、溶接材料に溶加棒を用い、電極（一般にタングステン電極）が溶接材料とはならない非溶極式（非消耗電極式）のガスシールドアーク溶接である（図5）。

1. レーザー溶接との相違点

レーザーと単独パルス TIG 原理における主な相違点としては、レーザーが「光」エネルギーを対象物に当てるといふことに対して、単独パルス TIG は「電気」エネルギーを利用する。しかし、対象物にとっては、エネルギーが光からでも電気からでも、熱エネルギーがあたれば溶解するだけで、大した違いはない。重要な点は、レーザー溶接同様、フェイザー溶接では、合金を融解するエネルギーは合金の融解範囲よりも熱伝導率に依存する。高い金含有率を持つ

合金は、高い熱伝導率のため、エネルギーを早く吸収してしまう。よって、コバルトクロムやチタンより、より高いエネルギーが必要となる（表1）。また、TIG溶接のパワー密度はレーザー溶接に比べると非常に小さく、レーザー溶接のように深い溶け込みが得られないので、レーザー溶接と同レベルの溶接品質を得ることは困難である（図6）³⁻⁴⁾。くわえて、フェイザーの他の利点として、投資コストの軽減（レーザーの約3分の1）や、非常に小型で軽量であることがあげられる。おおよそ作業機1人分で十分である。

2. フェイザーの特性

- 1) 信頼性のある高性能な電子工学
- 2) パワー／パルスデュレイションのため、溶接箇所の直径は自由に調節できる
- 3) レーザーのような低い熱影響部でのパルス出力機構
- 4) 5種類（金合金・コバルトクロム・異種金属の複合体・チタン・矯正用メタル）のプリセットプログラムがあるが、それぞれは自由に調節できる
- 5) 最大のパルス周波数は2Hz（1秒間に2回のパルス発振）
- 6) アルゴンガスのプリフロー時間は0.5～1.5秒の間で調節できる
- 7) 最大4L/minという、非常に低いガス消費量
- 8) コンパクトで軽量（12Kg）（図7）
- 9) 運転中に音がしない（本体には換気装置もポンプも使用していない）
- 10) メインテナンスフリーで手入れがいらない
- 11) 4～20倍ズーム付の実体顕微鏡（図7）
- 12) 電子シャッターで目の保護をする（溶接時に強い光が出るため）（図7）
- 13) ハンドピースが取り外し可能
- 14) 異種金属の接合が可能であるため（チタン、コバルトクロムは理論上不可能である）、緊急のリペアにも迅

図9 鑄造欠陥が原因したのか、メンテナンス時に第二小臼歯の咬合面に穴が空いているのが認められた。
図10 レジンに多少のススは付いたが、損傷はなかった。
図11 穴は綺麗に修復された。

合金	基礎構成要素	利用するワイヤー
プレシャス合金	AuTi AuAgCu AuPdAg AuPtAg AuAgPt	同じ、または同種類のハイゴールドコンテンツワイヤーおよび、AuTiワイヤー (99.7%Au)
セミ・プレシャス合金	AuAgPd AuPdAg	合金と同質の溶接ワイヤー
パラジウムベース合金	PdAgAu PdCuGa	ハイゴールドコンテンツ溶接ワイヤー、最終的には合金と同質の溶接ワイヤー
シルバーパラジウム合金	AgPdAu	合金と同質の溶接ワイヤー
コバルトクロム合金	CoCrMo CoNiCrMo	カーボンフリーのコバルトクロム溶接ワイヤー
ニッケルクロム合金	NiCrMo	合金と同質の溶接ワイヤー
チタン	Ti	機械加工された純粋のチタンワイヤー
ガルバノゴールド (99.9%)	Au 99.9%	Au—ワイヤー AuTi—ワイヤー (99.7%Au) プレシャスアロイワイヤー

表2 合金・金属の種類と、それらに適切な溶接ワイヤー⁵⁾。

速に対応可能である (図8)。

- 15) レジン、セラミック前装部を損傷させることなく、接合、リペアが可能である (図9-11)。

以上が、フェイザー溶接機の特徴である。

3. フェイザー溶接に正しいワイヤーを選ぶには (表2)

現在の市場では、約1,400種類以上もの歯科技術用の合金が販売されている。溶接ワイヤーは溶接される母合金となる物質と同じ合金 (少なくとも同じ種類の合金) でなければならない。以下に、母合金に対して、どの種類の溶接ワイヤーが適切か説明する。

1) プレシャスアロイ、セミ・プレシャスアロイ

これらの合金は一般的にフェイザー・レーザー溶接するのが容易とされる。隣接面と咬合コンタクトの盛り上げに使用

するには、直径0.35～0.5mm厚のワイヤーが適している。

2) パラジウムベースアロイ、シルバーベースアロイ

この種類の合金は金を含む合金のように、溶接するのは容易ではない。とくに、ガリウムや他の低温で融解する物質を多く含むパラジウムベース合金は金属相を分離する傾向がある。シルバーパラジウム合金は多少の金を含んでいるため、同じ種類のワイヤーの利用も可能だが、この種類の合金にもゴールドワイヤーがよりよい選択肢といえる。

3) コバルトクロムアロイ

コバルトクロム合金を正しく溶接するには、機械加工されたカーボンフリーの溶接ワイヤーを使用することが必須である。自分で鑄造したコバルトクロムワイヤーの場合、含まれているカーボンにより溶接が壊れやすくなり、ほとんど失敗におわる。

図 12 チタン片のうち、青みや黄色みの様子を見ながら、アルゴンガスの量を調節する。
図 13 インプラント模型。

図 14 上顎右側部分である。矢印部分に不適合が確認された。
図 15 上顎左側部分である。矢印部分に不適合が確認された。

4) ニッケルクロムアロイ

ニッケルクロム合金溶接は容易である。

5) チタン

コバルトクロムと同様に機械加工された溶接ワイヤーを使用する必要がある。レーザー上のアルゴンガスを溶接箇所に向けて正確に調節する。フェイザーを使用した場合、ハンドピースを通してアルゴンガスを直接溶接箇所に吹き付けるため、容易である。チタン溶接箇所が光沢のある銀色になっている場合、アルゴンガスは適切に調整されているとされる。もし溶接している際に、溶接箇所が青色に変色している場合、チタンは酸素に反応していることを示す。また、溶接箇所が黄色っぽくなる場合は、窒素と反応していることになる（図 12）。酸素も窒素も空気の一部であり、変色しているということは空気と反応していることを示し、結果的に、溶接部分がアルゴンガスによって適切に守られていないということになる。

6) ガルバノコーピング

同等の純度である 0.2～0.3mm のワイヤーを使う必要がある。

4. 溶接ワイヤーの寸法

一般的に広く使用されているワイヤーは、合金の種類にもよるが 0.2～1.2mm の間である。

溶接では、これらのワイヤーは主に空洞を埋めるために用いられることから、ワイヤーも合金も過度に熱することなく完全に溶解することが重要である。この用途において、

直径 0.2～0.5mm のワイヤーが最適とされる。

5. 異種合金の溶接に適したワイヤーとは

プレシャス合金とコバルトクロム合金を接合する場合は、機械加工されたカーボンフリーのコバルトクロムワイヤーを使用する。金ではなくコバルトクロムワイヤーをハイブリッド溶接に使用する理由を述べる。たとえば、コバルトクロムでできた板に、熱で溶けて液体状になった金を垂らす。すると、金は冷却され固体化し、1つの塊としてコバルトクロムの板から剥がすことができる。金の融点（1063℃）はコバルトクロムの融解範囲（1495℃）より、はるかに低いことから、液体状の金がコバルトクロムを溶かして混ざることにはない。逆に、板が金でできていて、液体状に解けたコバルトクロムをこの金の板に注いだとする。コバルトクロムが冷却され固体化したら、もう金の板から塊として剥がすことはできない。それは、コバルトクロムの融解範囲は金の融点よりはるかに高いためである。結果として、溶けたコバルトクロムは金を溶かすのに十分なエネルギーを持続し、金と、溶けたコバルトクロムは混ざり、そのまま冷却されることにより溶接される。以上から、ハイブリッド溶接には、つねに融解範囲の高い合金のワイヤーを使用する必要がある。

V. フェイザー溶接の臨床応用

上顎右側大臼歯部に 3 本、上顎左側大臼歯部に 4 本のインプラントを埋入した症例において、スクリーリテイニ

図 16 溶接する箇所である。歪みによる変形を防ぐため、対角線に溶接していく（溶接後にロウ着法を併用するのであれば、最低 4 ヲ所フェイザーで溶接しておく、固定源なしでロウ着をおこなっても、信頼性はある）。

図 17 赤の部分の幅が 1 mm であるので、フェイザーにより中央まで浸透させるのは困難である。

図 18 ボーンアンカードブリッジのカルレンチレバー部が破折した症例。ロウ着部ではないにもかかわらず、装着 5 年後に破折した。

図 19, 20 フレームの不適合が補正され、良好な適合がえられた。

図 21 口腔内装着された上部構造（ミラー面観）。

図 22 X線からも良好な適合が確認される。

ング上部構造をワンピースキャスト法にてフレーム製作を試みた。しかし不適合が確認されたため、フレームの切断を余儀なくされた。フレーム不適合部の見当をつけるのは困難な場合もあるが、本症例においてはインプラント上部構造接合部に高低差のある UCLA アバットメントと、スタンダードアバットメントの連結部と推測し（図 13-15）、ウルトラシン ディスクにより切断した。フレームをディスクで切断しているため、少なからず間隙は生じる。フェイザー溶接では、フレーム同士が接していなければいけないため、接合部の調整が必要な場合がある。フェイザーで接合する部分は、歪みが生じにくい接合断面を 2 等分する。それぞれ頬舌側部位とし（図 16）、この部分が

接していなければ、フェイザーによりフレームと同種金属を盛り上げるか、間隙が大きい場合にはヴァージンメタルを挟むと良い。フェイザーの浸透度は約 1mm と言われているので、本症例の接合断面中央部は溶接されないことになる（図 17）。これは機械強度的に問題ないとされているが、インプラント上部構造では予期せぬ破折が起こる場合があり（図 18）、過信はできないと考えている。そこで、フェイザーにより数カ所、頬舌的に溶接した後、間隙にロウを流せば良い。フェイザー溶接はフレームと同種金属で溶接されるため、ロウを流す際に固定の必要がなく作業は容易となる。本症例ではワンピース法のリカバリーにフェイザー溶接ーロウ着併用法を用いたが、最初から本法

図23 コンタクトコネクター（ネイ社、デンツプライ）

図24 以前は、ロウ着によって精度と強度を両立するためにコンタクトコネクターを使用していたが、key&keyway部をフェイザー溶接してしまえば、もっと容易にフェイザー溶接とロウ着併用法を活用できると思われる。

を視野に入れた場合、接合断面にフェイザー溶接のために接する部分と、ロウ着による間隙を得る部分を設定すると良い。

フレームの不適合が補正され、良好な適合が得られた（図19, 20）。口腔内装着された上部構造（図21）。X線からも良好な適合が確認される（図22）。

考察・まとめ

スクリューリテイニング上部構造のロウ着は、高精度の適合を得る上で留意する点が多く、技術的難易度が高い。また、ワンピースフレームやレーザー・フェイザー溶接に比較し、強度も弱い。フェイザー溶接は、模型上で行える点や、母合金と同種メタルで溶接可能なため強度が得られる利点もあるが、方法によっては歪みを生じたり、浸透度の浅さが問題となる。フェイザー溶接による接合断面を2

等分する頬舌的な位置の数カ所の溶接は、歪みが生じにくく、迅速・簡便に行え、母合金と同種メタルにより溶接されたフレームは、固定の必要もなく、接合部間隙にロウを流すことが可能である。フェイザー溶接ーロウ着併用法は、それぞれの方法の欠点を補い、利点を生かす方法であり、比較的、術者の熟練度を問わずに高精度のフレームを製作できる方法と考える。

最後に提案であるが、筆者らはスクリューリテイニングインプラント上部構造のロウ着において、精度と強度を得るために、key&keywayを用いたパターンによりロウ着をしてきたが（図23, 24）、このパターン製作法に今回のフェイザー溶接ーロウ着併用法を用いれば、溶接による歪みに神経質になることなく固定でき、より強度も得られると考えている。

参考文献

- 1) 重村 宏：歯科技工学臨床研修講座 第3巻．内冠・外冠によるインプラント上部構造作製の要点．医歯薬出版（東京），1998．
- 2) 渡邊一史，野中茂光，松本直人：①エクスターナル型インプラントの利点，顎咬合誌，26（1・2），164-171，2006．
- 3) 都賀谷紀宏：レーザーが拓く21世紀型歯科技工：レーザー溶接入門 第2章 レーザー溶接とは，歯科技工，35（3），2007．
- 4) 片山聖二：レーザー溶接現象の基本と品質確保・レーザー国際フォーラム2000講演概要集，42-52，2000．
- 5) Joachim Mosch, Andreas Hoffmann, Michael Hopp, フェイザーmx1に関するレポート．