

常識と鉄則

ジルコニア修復の

伴 清治 編著

① 歯科用ジルコニアの動向

厚生労働省は薬事工業生産動態統計¹⁾を毎年公表しているが、筆者は1985年から現在に至るまで統計表からデータを抜粋し、歯科材料・機器の生産・輸入総額をグラフ化している。歯科用セラミックス材料の推移(図1)では、「陶歯」が減少の一途をたどっている。「金属焼付用陶材」は2002年以降、15億円前後であるが、内訳は激変している。2000年は生産・輸入総額の約81%は国内使用であったが、2020年の国内使用は約16%で輸出は約84%になっている。なお、両年の輸入額は0.37および0.22億円ときわめて少ない。国内での金属焼付陶材の利用が激減していることがわかる。

一方、2005年以降増加傾向にある「その他のセラミックス」は、ジルコニア等のCAD/CAM切削用セラミックスが中心であり、2005年にCerconが日本国内での薬事承認を取得して以来、急激に増加している。そして、2014年で「その他のセラミックス」の生産・輸入総額が「金属焼付用陶材」を越えている。2019年より「その他のセラミックス」は「切削加工用セラミックス」と「加圧成形用セラミックス」に統計上の品目名が変更された。「切削加工用セラミック

ス」の中心はCAD/CAM切削加工ジルコニアである。この変遷は、歯科技工用器具・装置の推移(図2)の中で、2009年以降にCAD/CAM装置の総額だけが急激に増加していることとも連動している。また、スキャナーの販売台数(図3)の着実な伸びをみても、CAD/CAMによる歯科修復物の製作が歯科技工の中心になっていくものと思われる。

一方、CAD/CAMハイブリッドレジン冠が2014年4月に保険適用されたことは、歯冠修復材料市場に与える影響がきわめて大きく、これまで順調に伸びてきたCAD/CAMオールセラミックス冠(ほとんどがジルコニアと考えられる)の出荷額が2014年には鈍化した(図4)。これに対して、保険適用のCAD/CAM用ハイブリッドレジンは当初、小白歯だけの適用であったが、2017年に大白歯、2020年には前歯にも保険適用となり、CAD/CAM用ハイブリッドレジンの出荷額は着実に伸びている。この数字からも、改めて、日本における保険行政の影響の大きさを感じる。しかし、CAD/CAM用ハイブリッドレジンの出荷額とほぼ同程度に切削加工用ジルコニアの出荷額も増加し、2021年度で約28.3億円に達している²⁾。

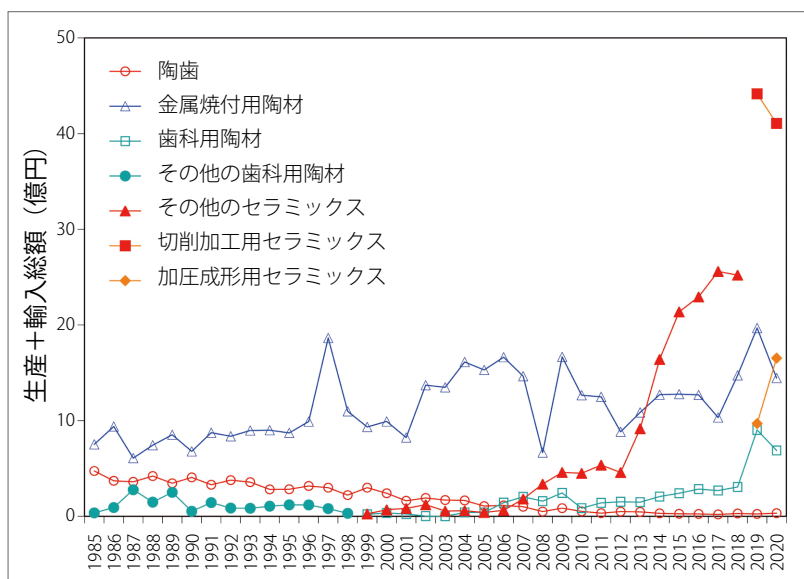


図1 歯科用セラミックスの生産・輸入総額の推移(文献¹⁾よりグラフ化)。

ジルコニア修復物は割れにくいが、絶対に割れないわけではない

セラミックスのなかではジルコニアは抜群に強いが、条件によっては割れる。割れないセラミックスはない。ただし、適正に使用すれば、ジルコニア修復物が割れることは稀である。

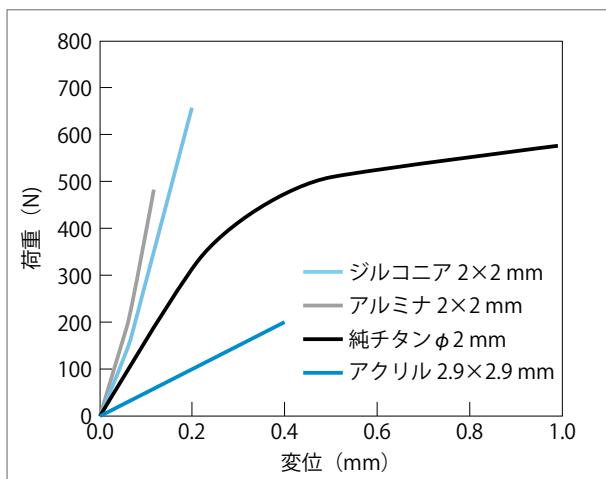
ジルコニアは「ホワイトメタル」と称して日本に紹介されたため、いまだにジルコニアは金属であると誤解している歯科関係者がいる。ジルコニアはジルコニウム (Zr) という金属元素と酸素 (O) の化合物であり、 ZrO_2 の化学式で表される酸化物である。したがって、金属とは異なる挙動の機械的性質を示す。

ジルコニアは歯質および他の修復材料よりも弾性係数が大きく、硬く、耐力も純チタンより大きい。しか

し、金属とは異なり、塑性変形をほとんどせず、耐力以上の荷重が負荷されれば破断する (①)¹⁾。金属の場合は、破断の前に曲がったり伸びたりという変形が生じる (②)。一方、他の歯科用セラミックスと比較すると、ジルコニアは抜群に優れた機械的性質と耐久性を有しており (③)^{2, 3)}、審美歯科修復物としての信頼性は高い。クラウン、ブリッジ、アバットメント、インプラントフィクスチャーなどの多くの審美歯科修

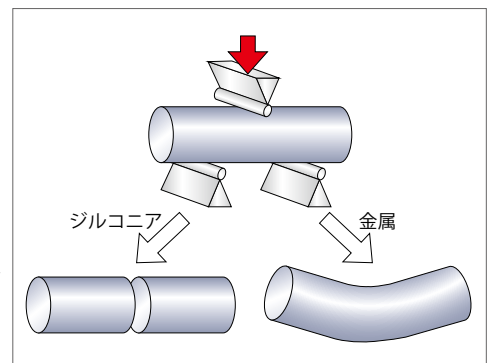
Table.1 最小厚さと連結部断面積 (3M社のLavaで公示されている数字)。

| 適用症例 | 前歯部修復 | | 白歯部修復 | |
|------------------|--------|--------------------|--------|------------------------|
| | 肉厚 | 断面積 | 肉厚 | 断面積 |
| 単冠 | 0.3 mm | - | 0.5 mm | - |
| 3本ブリッジ | 0.5 mm | 7 mm ² | 0.5 mm | 9 mm ² |
| 4本ブリッジ | 0.5 mm | 7 mm ² | 0.5 mm | 9/12/9 mm ² |
| 4つのポンティックの6本ブリッジ | 0.7 mm | 10 mm ² | - | - |



① 3点曲げ試験時の荷重-変位曲線 (文献¹⁾より引用・改変)。純チタンはジルコニアより小さい荷重で曲がってしまうが、折れない。ジルコニアは限界の荷重 (耐力) を超えると破折する。

② 曲げ試験時の挙動を材質により比較した模式図。金属は曲がるが、ジルコニアは限界の荷重 (耐力) を超えると破折する。



ジルコニアを鏡面研磨すると生じる 真珠光沢は“構造色”である

我々の身の回りに存在する“色”は「色素」と呼ばれる分子（有機および無機化合物）によって可視光線が吸収あるいは放出されることによるものと、「構造色」と呼ばれる光の波長程度あるいはそれ以下の微細な構造による光学現象に由来する発色の二つに大別される。

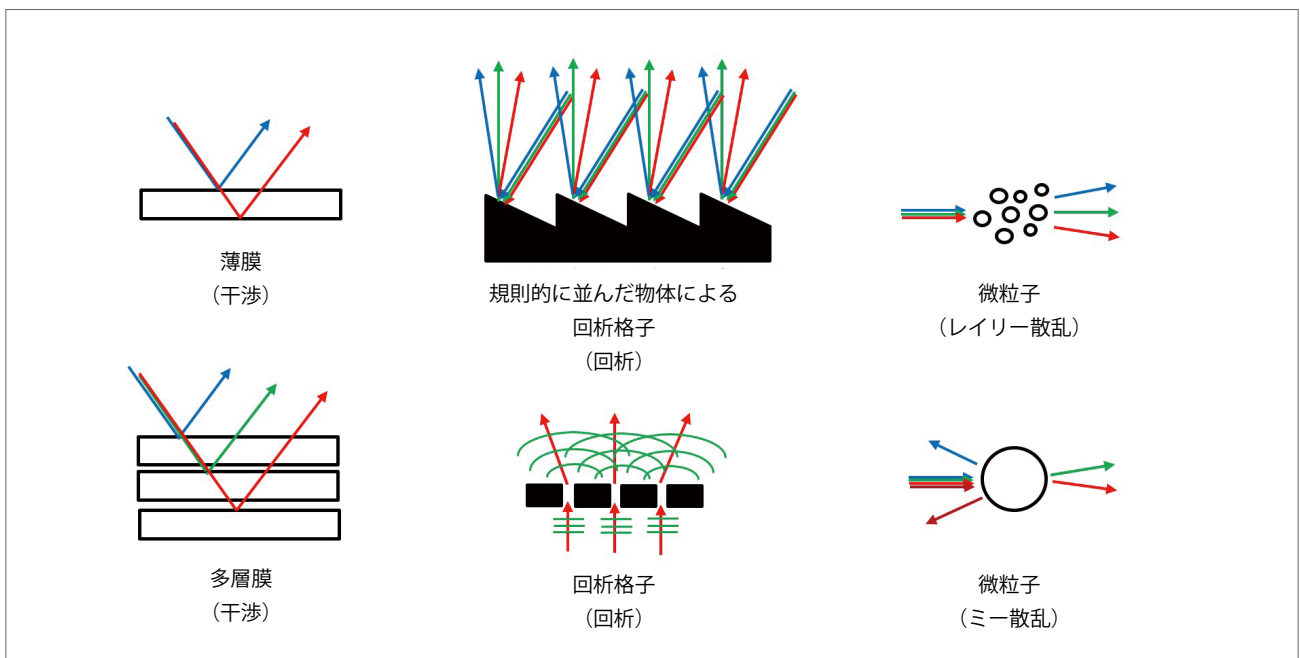
3Yジルコニアの場合も粒子の大きさ（200～600 nm）が可視光線波長（380～780 nm）に近似した多結晶体であり、比較的均質で、形態も球状に近く、フォトニック結晶として作用し構造色が生じるものと考えられる。修復物としてはこの真珠様光沢に違和感を覚える人も多いと聞く。鏡面研磨の程度を落とせば、この現象は押さえられる。しかし、咬合に関与しない部位であれば、この処置でもよいが、咬合部位は対合歯の摩耗に関係するため必ず鏡面研磨仕上げにしなければならない。

3Yのジルコニアを鏡面研磨すると表面は真珠のような光沢を呈するようになる¹⁾。これは微細組織を反映する“構造色”という現象である。この理解を深めるため、色の発現について説明する。

“色”とは「可視光線により視細胞が刺激を受けることによって感じられるもの」である。我々の身の回りに存在する“色”は「色素」と呼ばれる分子（有機および無機化合物）によって可視光線が吸収あるいは

放出されることによるものと、「構造色」と呼ばれる光の波長程度あるいはそれ以下の微細な構造による光学現象に由来する発色の二つに大別される²⁾。

基本的な光の振る舞いには「反射」「屈折」「干渉」「回折」「散乱」がある。これらの振る舞いを微細構造によりうまく利用することで構造色は発現する（①）。自然界で見られる構造色は、具体的には薄膜、多層膜、回折格子、フォトニック結晶、微粒子などの微細な構



① 構造色を誘起する種々の微細構造模式図。

ジルコニアの種類によって、最適な支台歯削除量や支台歯形態は異なる

ジルコニアの種類によって修復物の肉厚は変える必要があり、支台歯削除量およびCAD/CAM切削に適した支台歯形態にすべきである。

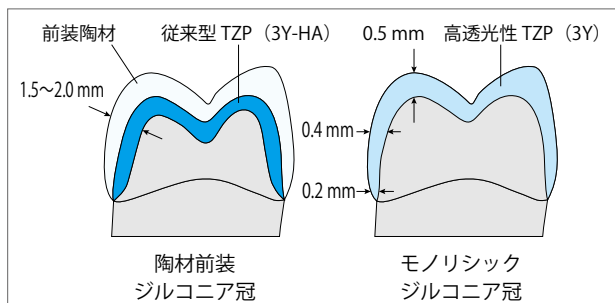
イットリア系ジルコニアは12種類が現在流通しており、日本では従来型TZP (3Y-HA)、高透光性TZP (3Y)、高強度PSZ (4Y)、高透光性PSZ (5Yおよび6Y) の5種とその積層型が主に流通している¹⁾。種類によって強度と透光性が異なるため、形成すべき支台歯形態は当然異なる。

従来型TZP (3Y-HA) では、透光性が低いため陶材を前装するのが一般的であり、高透光性TZP およびPSZ (3Y, 4Y, 5Yおよび6Y) では、陶材を前装しないモノリシックジルコニア冠（またはフルジルコニア冠）として用いられる(①)。したがって、陶材の厚みが不要となるため、歯質削除量は格段に少なくなる。しかし、ジルコニアは種類によって強度は異なり、透光性の高いジルコニアは強度が劣るため(②)、修復物の厚みは大きくする必要があり、支台歯削除量も増えることになる。各社は、それぞれに適応する最低厚みを呈示している（例えば③、④）。

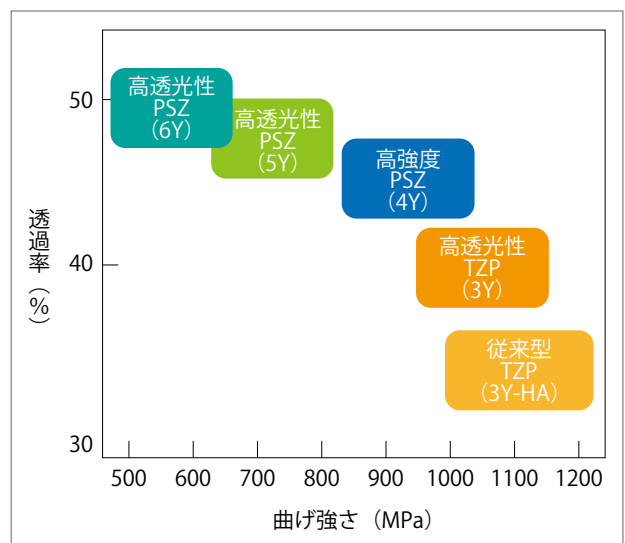
また、金属鑄造冠の場合とは異なり、切削で修復物

を成型していくため、それに対応した支台歯の形態にする必要がある(④、⑤)。特に、マージン部の形態は重要で、強調されたシャンファーまたは線角を丸めたラウンデッドショルダーが推奨されている(⑥)²⁾。歯科用CAD/CAMシステムでは、アンダーカットはブロックアウトされるようになっている。ショルダーは内面が角張った形状で、光が正確に反射されずスキヤニングのエラーが生じやすく、エラーの部分は削り残しや削りすぎになる³⁾。

さらに、先端が鋭利な支台歯もCAD/CAM切削の場合には大きな影響を及ぼす。修復物の内面の先端が鋭利で最小径のミリングバーが入らない場合は、自動補正により工具逃げが付与される。そのため、鋭利な箇所は余分に切削が行われる(⑦)³⁾。余分に切削を行う



① 陶材前装ジルコニア冠とモノリシックジルコニア冠の構成比較（文献¹⁾より引用・改変）。モノリシックジルコニア冠は陶材に相当する厚みが不要であるため、歯質削除量は少なくてすむ。



② 5種イットリア系ジルコニアの曲げ強さの比較（文献¹⁾より引用・改変）。イットリア含有量が増すと透光性は高くなるが強度は低下する。

鉄則

ジルコニアの研磨作業時間を短くするためには、形態修正・研磨に適切な器具・材料を順序正しく使用しなければならない

フルジルコニア修復物表面は口腔内に露出するため、咬合調整のための研削による形態修正後、ダイヤモンドペーストで鏡面に仕上げることが必須である。鏡面研磨することで化学的耐久性が向上し、摩擦摩耗性が改善され、結果として対合歯の摩耗と破損のリスクを軽減することに繋がる。

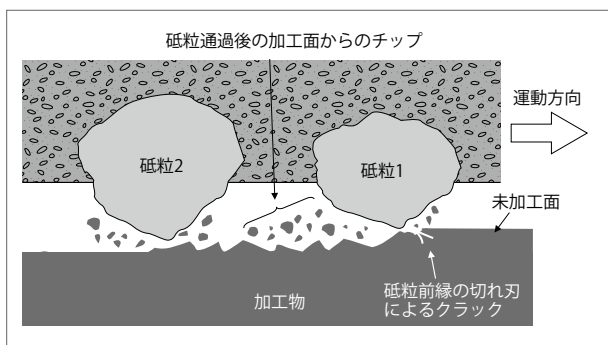
ジルコニアは硬く強いので「他の修復材料に比較して研磨に時間がかかる」と言われ続けている。しかし、ジルコニアの形態修正・研磨に適切な器具・材料を順序正しく使用すれば、研磨作業時間は短くすることができる。まず、形態修正のための研削と鏡面にするための研磨の基礎についてセラミックスに特化して説明する。

セラミックスの形態修正のための研削では、粉状チップが砥粒進行方向からだけでなく、通過後の加工面からも飛び出してくる(①)¹⁾。これは、砥粒との接触応力により加工面に亀裂(クラック)が生じ、砥粒の通過後に応力が急激に開放されるためクラックの肩部が押し上げられ破片が離脱する。ジルコニアのように結晶粒子間の結合が大きいセラミックスでは、粒内破壊が多く生じる。しかし、ジルコニアはクラック

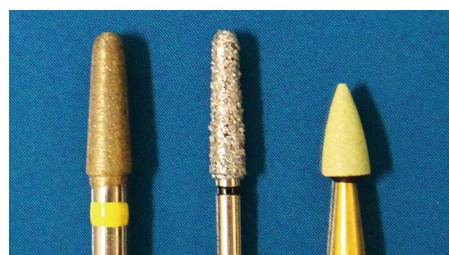
先端で応力誘起相転移が生じるため、深いクラックは生じにくいと考えられる。したがって、大きな砥粒を用いて、少しでも深いクラックを発生させるのが効率的である。歯科用ジルコニアの形態修正用ダイヤモンドポイントは比較的大きなダイヤモンド砥粒を金属またはガラスなどの剛性の強い材料でステンレス鋼シャフトに固定されたものである(②)²⁾。

鏡面研磨は物を磨くことで表面を鏡面のように滑らかに仕上げをいう。鏡面研磨の機構は主に以下の三つの説が提示されている³⁻⁵⁾。

① **微小切削説**: 研磨材のもつ物体を削り取る力によって表面を少しずつ切削することで凹凸が平坦化される。粗工程の研磨は主としてこの作用による。この場合、微細な砥粒はポリッシャーに弾性的に抱えこまれており(③)、加工物表面に浅く作用し、微少な切り



① セラミックス材料の粗研削の模式図(文献¹⁾より改変)。



② ジルコニア形態修正用ダイヤモンドポイント。左からシンターダイヤモンド、スーパーコース、ビトリファイドダイヤモンド(松風)。シンターダイヤモンドは金属を焼結、ビトリファイドダイヤモンドはガラスでダイヤモンド砥粒が固定されている。