

TMR-アクアボンド0-n 製品レポート

～臨床現場の声に応じて進化(5つの特徴にプラスワン)～



多用途



高い接着強さ



湿潤環境下でも
安定接着



使用可能30分
(採取後遮光下)



脱灰時間0秒
待ち時間なし



象牙質レジン
コーティング
&
知覚過敏処置



TMR **AQUA BOND 0-n**

はじめに	2
1 開発ストーリー	5
1.1 ボンディング材と水の関係	5
1.2 ボンディング材の相分離と想定される影響	6
1.3 リン酸モノマーの化学的性質や役割	9
1.4 リン酸モノマーM-TEG-P®の開発経緯と既存モノマーとの相違点	12
1.5 5つの特徴にプラスワン	14
2 歯質に対する接着	16
2.1 歯質に対する初期接着強さの評価	16
2.2 湿潤状態での接着強さの評価	17
2.3 脱灰時間ごとの接着強さ	18
2.4 エアードライの条件が接着に与える影響	19
2.5 接着界面	19
3 歯質以外への接着	20
3.1 シルコニアに対する接着強さ	20
3.2 シルコニア以外のプライマー不要な接着対象材料	21
3.3 プライマーを併用する接着対象	23
4 均一性の保持について	24
5 イオン透過性	25
6 アクアボンドnによる象牙質コーティング	26
6.1 レジンコーティング法の概要	26
6.2 保険収載された象牙質レジンコーティング法	27
6.3 「アクアボンドn」における象牙質レジンコーティング法	28
6.4 象牙質レジンコーティング法と使用材料について	28
6.5 象牙細管封鎖性	29
6.6 コーティング層の耐久性	30
6.7 コーティング層の接着性	31
7 知覚過敏抑制に対する使用について	32
8 使用手順	33
8.1 歯科充填用コンポジットレジンの充填修復	33
8.2 歯冠修復物の口腔内リペアー	34
8.3 歯冠修復物（CAD/CAM冠）の装着	34
8.4 知覚過敏処置	35
8.5 象牙質レジンコーティング	36
9 生物学的安全性	37
9.1 トリパンプブルー色素排除試験	37
9.2 WST-8細胞毒性試験	38
10 TMRシリーズによるイノベーション	40
おわりに	42

はじめに

〈ボンディング材の技術進化〉

歯科用接着材（以下、ボンディング材）はコンポジットレジン（CR）とともにコンポジット修復の発展に貢献している材料である。特に、感染した歯質に対して必要最小限の切削に留め、健全な歯としてできるだけ残すという2000年に提唱されたMI治療（Minimal intervention：最小限の侵襲）の方針により、CR修復はう蝕に対する有効な治療方法として急速に普及した¹⁾。

ただし、CR自体には歯質に対する接着性がほとんどないので、専用の接着材が必要である。このような接着材は、材料を支台歯に保持するだけでなく、2次う蝕の原因や歯髄の炎症の原因となりうる唾液の辺縁からの侵入を防ぐために十分な封鎖性が求められる。近年のボンディング材は、有機化学や高分子化学の技術を応用した接着性モノマーなどの機能性化合物の導入によって、2液性や1液性の材料に簡略化された。特に、このような技術は、1液性の接着材でも十分な接着力かつ接着耐久性を実現させることに貢献するだけでなく、治療時間の短縮にも関わっている。また、周辺分野の研究が進むことで、国内では効率的な脱灰能力や光重合による硬化性を有する製品が多く上市されている。

さらに、歯質やCRだけではなく貴金属、非貴金属やジルコニア材料などでも使用できる製品や、知覚過敏やシーラントなどにも使用可能な製品も提案されており、ボンディング材の高性能化は今後も進む状況である。

この状況は、歯科以外の分野から高い機能性を有する新規な材料やデジタル技術にかかわる材料が導入されていることが背景の一つにあり、そのような新規材料に対応できる接着技術が求められる側面がある。

ここで、近年のボンディング材の技術的な展開を要約すると下図のようになる。

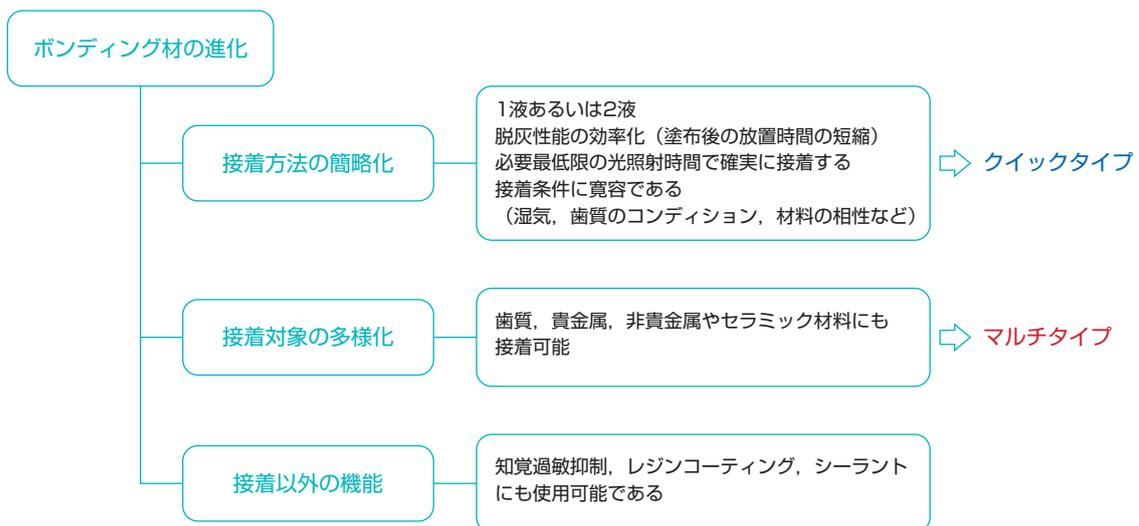


図1 ボンディング材の進化

〈ヤマキンのボンディング材におけるマイルストーン〉

このように近年のボンディング材の技術的な要求は、歯質、あるいは各材料に対する初期の接着力や接着耐久性のみならず、接着以外の機能にもわたるので幅広い課題を解決する必要がある。継続的に改良が検討されているが、決定的な解決までには未だ議論の余地が残っている。

ヤマキンの「アイゴスボンド」は、接着課題の一つの解決への提案として、最後発メーカーにおけるボンディング材開発の出発点として上市した。このボンディング材は新しい技術を用いて接着条件に左右されずに確実に接着できる目標を達成した。

その後も、簡便にかつ歯質以外にも使用できる接着材を目指して開発をおこない、基礎研究から始めた包括的に使用できる「マルチプライマー」^{2,3)}の技術と高い接着強さと口腔内の湿潤状態に左右されにくい接着性を合わせ持つ「アイゴスボンド」⁴⁾の技術を応用し、「TMR-アクアボンド0」(以下、当社従来品)⁵⁾の開発に成功し、2018年10月1日に発売するに至った。

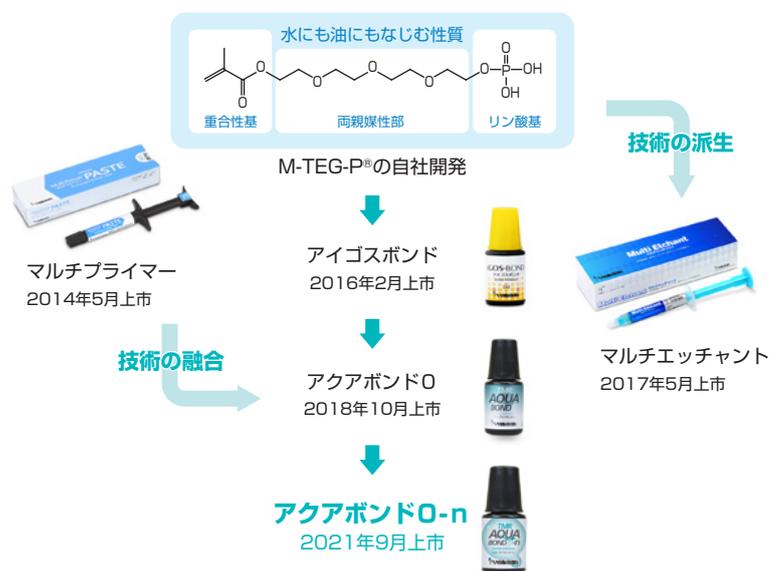


図2 ヤマキンの自社モノマー技術に基づく材料の系譜

このボンディング材は、今まで実現することが困難であった脱灰時間と光照射時間の短縮した条件でも各接着対象に等しく十分な接着力と接着耐久性を持つ材料として提案した。

このように「アイゴスボンド」の基本的なボンディング材のコンセプトから、多様な材料に簡便に接着できるような機能を追加したが、上市後もさらなる新たな課題の改善と機能の拡張を目指した。

臨床現場で頂いた当社従来品は、脱落せずに接着できるといった反響をいただく一方で、歯髄保護や歯髄への刺激にも配慮することの指摘を頂く機会もあった。そのような中、2019年12月に「象牙質レジンコーティング法」が保険収載された。

以上のような背景で、改良品では、ボンディング材の追加する機能に知覚過敏抑制材および歯科用シーリング・コーティング材としての機能を追加することを計画した。その後、組成検討、検証や評価を経て2021年9月に本製品である「TMR-アクアボンド0-n」(以下、アクアボンドn)の発売に至った。

本レポートでは、「アクアボンドn」の性能に関して、実際の検証結果とともに紹介する。「ア

クアボンドn」が、接着条件に寛容な接着が達成でき、煩雑さと治療時間の軽減により、治療現場の負担をできる再現性の良い接着材として、ご興味を持っていただくことができれば幸いです。

常務執行役員 兼 高知大学医学部次世代歯科医療開発講座 特任准教授
博士（薬学） 坂本 猛
開発部 有機材料開発課 リーダー 博士（工学） 水田 悠介
開発部 生体科学安全研究室 主任研究員 博士（医学） 林 未季

監修 ヤマキン博士会

ヤマキン博士会とは？

ヤマキンのさまざまな専門分野のエキスパート集団であり、各々の知識や経験、技術を融合することで、イノベーションを継続的に発生させる原動力となっている。

「アクアボンドn」は、ヤマキン独自の接着技術の蓄積と臨床現場の声に応じて、当社従来品を進化させたものである。その誕生の技術的な経緯を解説する。

1.1 ボンディング材と水の関係

接着に影響を与える水分は、ボンディング材自体に由来するもの、窩洞形成時に侵入するもの、象牙質の象牙細管から毛細管現象や浸透圧で接着界面に浸み出す組織液、呼気に含まれる湿気、ボンディング材を歯面に塗布した後、溶媒をエアブローで除去する時に呼び込む水分などがあり多岐にわたる⁶⁾。

接着における水分は、接着界面のぬれや接着材の浸透に必要といわれている一方で、ボンディング材組成の不均一化や希釈に関わり、接着失敗の原因に関わることもある。したがって、水分の侵入をコントロールしない場合は、阻害要因が接着に寄与する要因よりも大きく勝るので、臨床では防湿措置に注意を払って接着をおこなう。

なお、水分が接着にかかわる影響を図1-1-1にまとめた。

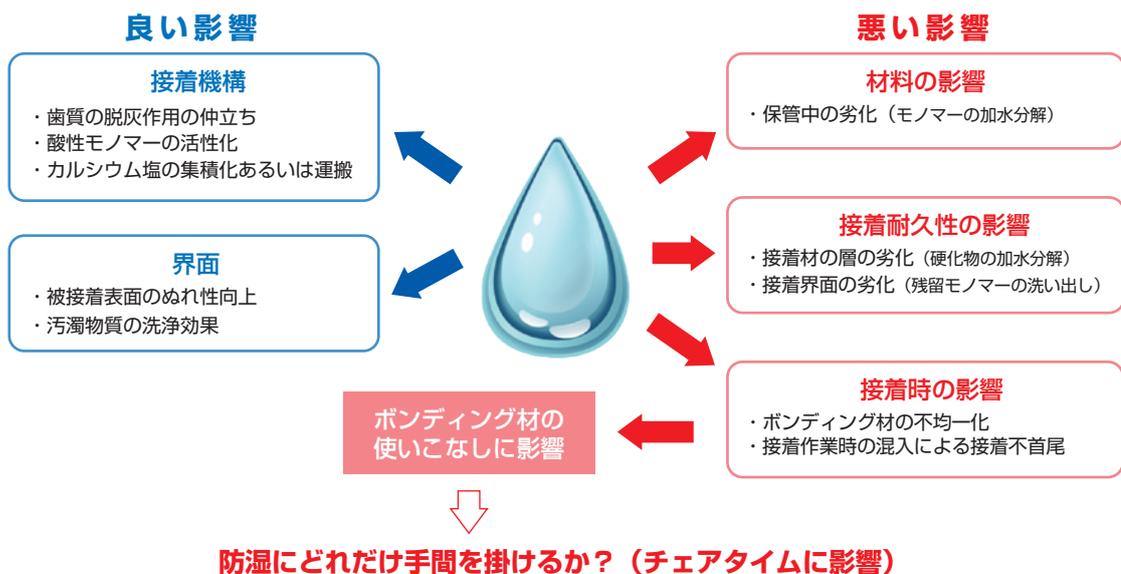


図1-1-1 接着にかかわる水分の影響

このような水分の影響を一言で要約してしまうと、接着するまでは媒体として水分が必要であるが、ボンディング材が硬化した後はまったく不要となる。

さらに、溶媒として製品に調製されている水分以外は本質的に不要で、光照射後の硬化したボンディング層にもその水分はできるだけ除去されていなければならない。

しかしながら、実際には多様な経路から侵入してくる水分を完全に防ぐことは難しい。たとえば、象牙質の接着において、処理した象牙質表面にボンディング材を塗布すると、浸透圧により象牙細管から界面へ組織液が浸み出すことが考えられる。ボンディング材への水分の侵入を防ぐことは非常に難しい。さらに、どの程度の水分が侵入し、それがどの程度の阻害要因になるのか不明な部分が多い⁷⁾。

1.2 ボンディング材の相分離と想定される影響

ボンディング材において、簡便でバランスよく接着するためには、材料の高度な均一性の維持が重要な1つの要因と考えられる。そこでは、良い方向にも悪い方向にも接着に大きく影響する水をどのように味方につけるかという技術課題を解決するために、優先される課題として、ボンディング材が接着前後で相分離することを防ぐにはどのような組成が良好かという課題を設定した。

ボンディング材の成分には、架橋性モノマー等として水に不溶の有機化合物が含まれるが、「効率的な歯質への脱灰をおこなうため」「良好なぬれ性を与えるため」の媒体として、ある程度の水が配合される。なお、ボンディング材の組成に使われる有機化合物に関して、典型的な例と親水性か疎水性かを表1-2-1にまとめた。

表1-2-1 ボンディング材に使用される有機化合物と溶解性

有機化合物	溶解性	ボンディング材組成での役割	構造的特徴
Bis-GMA	疎水性	架橋性モノマー	ジメタクリレート
UDMA	疎水性	架橋性モノマー	ジメタクリレート
TEGDMA	疎水性	架橋性モノマー 反応性希釈剤	ジメタクリレート
HEMA	両親媒性	反応性希釈剤	メタクリレート
MDP	疎水性	接着性モノマー	メタクリレート リン酸モノマー
6-MHPA	疎水性	接着性モノマー	メタクリレート リン酸モノマー
4-MET	疎水性	接着性モノマー	メタクリレート ジカルボン酸モノマー
4-META	疎水性	接着性モノマー	メタクリレート 酸無水物
M-TEG-P®	両親媒性	接着性モノマー	メタクリレート リン酸モノマー
カンファーキノン	疎水性	光増感剤	キノン化合物
芳香族アミン類	疎水性	光還元剤	アミン
重合性アミド化合物	水に可溶の誘導体がある	架橋性モノマー	アクリルアミド

この表の例は歯科で利用されている化合物の一部を示しているが、使用されるほとんどの有機化合物であるモノマーは水に不溶である。そこで、通常、有機化合物の組成へ水を配合させるには、アセトン、エタノールやイソプロピルアルコールのような水にも溶ける有機溶媒を用いて組成を均一化させる。

しかしながら、表のような疎水性有機化合物を多く含むボンディング材は、有機溶媒の含有量が減少すると、水と構成成分が分離したり、硬化後のポリマーマトリクスの親水性の領域が偏ったりする相分離が起こりうる。相分離の概要を表1-2-2にまとめた。

相分離は2つに分類することができる。すなわち、硬化前の状態で起こる相分離と、硬化後の生成するポリマーの相分離である。

表1-2-2 相分離の種類と原因

相分離の種類	
硬化前の相分離	硬化後に生成するポリマーの相分離
<p>【原因】 ボンディング材に含まれる有機溶媒の蒸発 外部からの水分の侵入 (唾液, 血液, 組織液 (象牙質由来など))</p> <p>【影響】 疎水性の架橋性モノマーの濃度が不均一になり, 接着強度が上がらず, 脱落に繋がる.</p>	<p>【原因】 ボンディング材組成 界面付近に水滴 (ミクロレベルも含む)</p> <p>【影響】 水分濃度が高い部分酸性モノマーが局在し, 硬化収縮が不均一になり, 窩洞壁にギャップが生 じやすくなり漏洩の原因になりうる.</p>

このような2つの相分離による接着への影響は区別して考察しにくい。相分離の概念図を [図1-2-1](#) に示して解説する。ボンディング材に組成が均一な状態を (A) に示している。各成分は均一に溶解、あるいは組成に無機フィラーが含まれるならば分散している状態である。

ここで、外的要因で水や溶媒の含有量が変化した場合に、ボンディング材の相分離が起こりうる。例えば、エアブローや自然乾燥によって、組成から水や溶媒が蒸発して失われた場合、今まで分散していたフィラーが沈殿する可能性 (B) や残留する水分と親水性モノマーを多く含む相と疎水性モノマーを多く含む相に分離してしまう可能性 (B') がある。

このような相分離した状態では、組成の偏りが生じるので歯質の接着に対して、いろいろな問題が生じる。(B) の場合では、無機フィラーの比重が重く沈殿する場合、歯質付近に留まるから脱灰の阻害となる。これがそのまま硬化してしまうと、その領域では、十分な接着と硬化性が達成されていないので、比較的早期に劣化すると考察できる。

また、(B') の場合、水分と溶媒の含有量が外的要因で変化すると、今まで組成中に溶解していた水が分離する。その時、水に溶解するモノマーなどは、分離する水とともに、部分的に混入するので、ボンディング材の組成に偏りが生じてしまう。

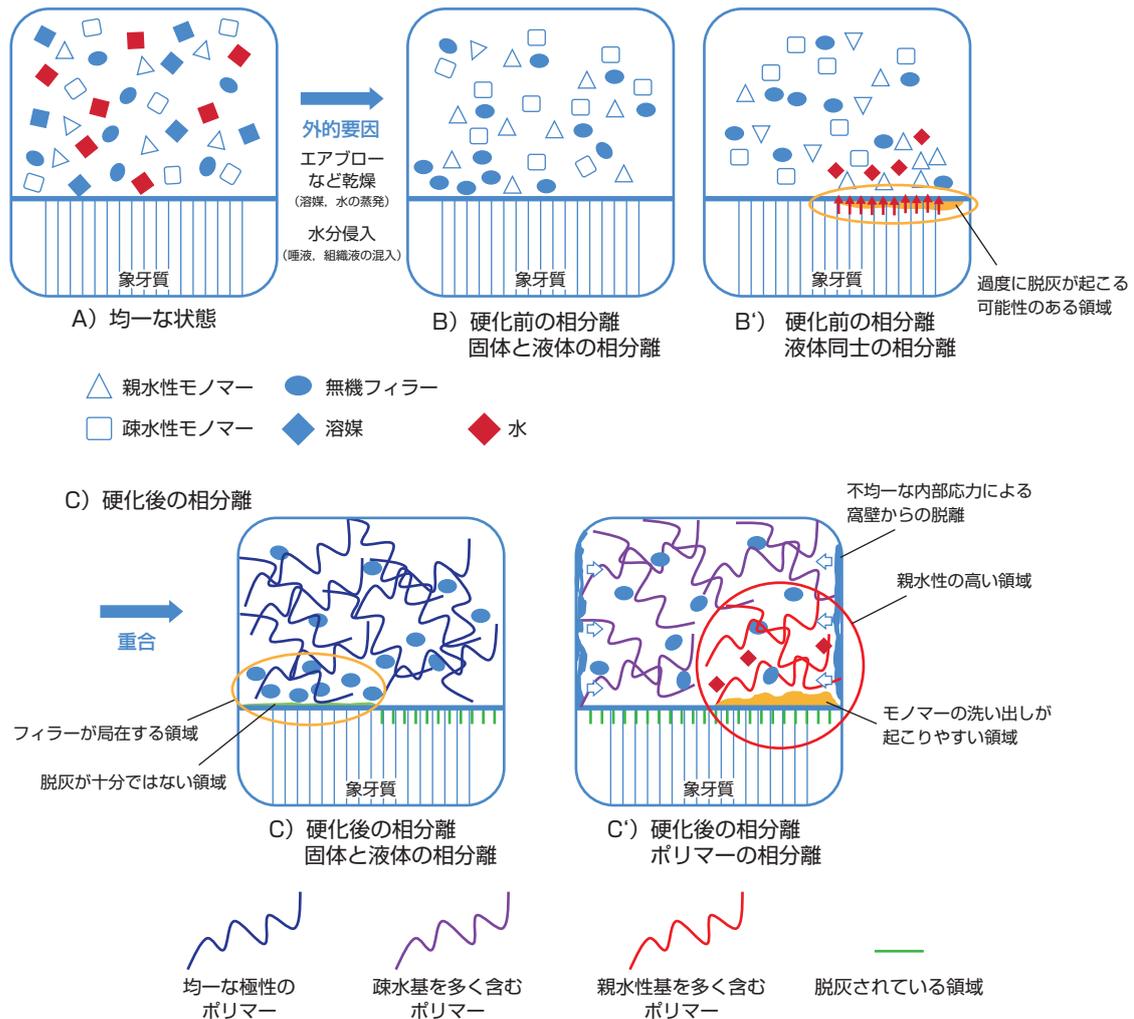


図1-2-1 相分離の概念図

このような状態では、界面付近に水分が集まり、接着に関して脆弱なボンディング層が形成される。さらに、界面付近の水滴は、接着材層からモノマーを洗い出す可能性があり、特に酸性モノマーの場合、硬化後も歯面を削り続けることになり、接着界面が脆弱化し脱離の原因になり得る⁷⁾。

ボンディング材の組成が偏った状態で硬化させると (C) や (C') のような状態となる。硬化後の相分離した状態では、十分に脱灰がされない部分 (C) が生じる可能性がある。また、(C') の状態のように被接着体に異なる水分の濃度の領域が存在すると、水分濃度が高い部分に酸性モノマーが局在しやすくなり、結果としてその付近では架橋性モノマーの濃度が低下し、硬化後、十分な接着強度が得られない可能性がある。さらに、硬化収縮が不均一にもなるので、窩洞壁にギャップが生じやすくなり漏洩の原因になりうる。

このような問題の解決手段として、相分離による劣化の可能性を防ぐために、界面活性剤などで組成の相分離を予防することが可能であるが、通常の界面活性剤は重合性がないので、本質的に光重合による硬化反応に関わらず、むしろ、多量に存在すると強度低下の原因になるので、配合には注意を必要と考察している。

1.3 リン酸モノマーの化学的性質や役割

ヤマキンの接着技術の出発点は、接着するまでは必要で接着後は悪影響を与える水を含有しつつ、高強度でバランス良く安定して接着するボンディング材を開発することであった。すなわち、「水を味方につける」という考え方とボンディング材の高度な均一性を製品コンセプトとした。ここでは、臨床上どうしても排除できない水分を上手く利用し、均一性を保つことによって、接着する環境で接着力が敏感に影響を受けないようなボンディング材設計を考える必要があった。

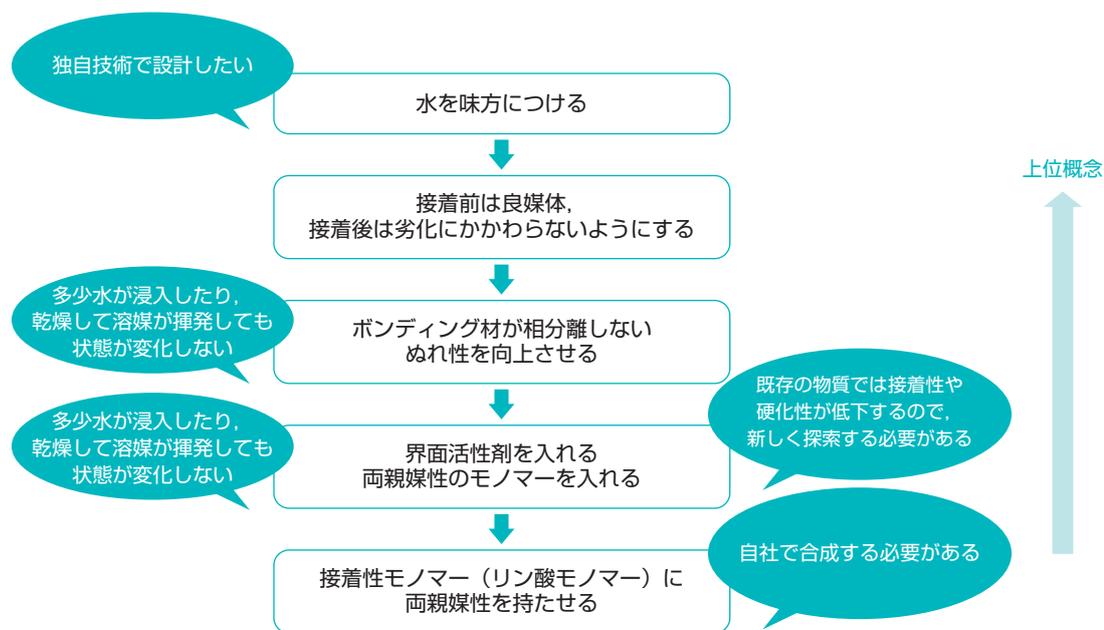


図1-3-1 ボンディング材設計のコンセプト

図1-3-1に示したような設計の考え方と後発メーカーとして独自技術を確立したいという経緯から、ボンディング材に含まれる接着性モノマーの開発と自社合成に至った。

接着性モノマーとしては、合成の検討上、リン酸基をもつ酸性モノマー（以下、リン酸モノマー）の開発を計画した。

市場のボンディング材のリン酸モノマーには、現在のところMDPがもっとも実績があり、ボンディング材の研究においても、MDPがリン酸基を有するモノマーの中で最も知見が多い。これらによれば、MDPが単に歯質へのエッチングとしての役割だけでなく、そのカルシウム塩が接着界面に規則的な層を形成し、接着を補助するような化学的な作用も報告されている⁸⁾。リン酸モノマーの知見は、ほとんどMDPを含む組成で検討されている。

まず、モノマーの構造的な特徴を整理すると図1-3-2のようになる。

具体的に解説すると、重合性基は、MDPの場合も4-METの場合もメタクリレート基に相当し、一般的に歯科で使用されているモノマーに例外はあるが共通する部分である。酸性基はMDPではリン酸基、4-METではジカルボン酸部位に相当する。リンカーは、連なる炭素鎖となる。この部分は一見、連結する以外の重要性はないように思えるが、モノマー分子同士の疎水性相互作用の形成⁸⁾や安定性の観点から重要である。

リン酸モノマーは、重合前はエッチャントとして歯質の脱灰に関与するのに対して、重合後はポリマーマトリクスに組み込まれるために酸として機能しにくくなる（リン酸基とリンカーを含むポリマー側鎖が加水分解して遊離しない限り）したがって、2液性ボンディング材のように支台歯を脱灰処理した後、再度水洗で除去する必要はない。このリン酸モノマーの役割によって、1液性のボンディング材の接着技術が成り立つ（図1-3-4）。

ただし、リン酸モノマーは、メタクリレート基を分子内にもつが、これは、酸性化合物によって加水分解を受ける。メタクリレートの加水分解性はボンディング材で使用されるモノマーに共通する点であるが、リン酸モノマーは、同じ分子内に加水分解性部分と強酸性部分が同居するので、とくに化学的安定性に注意する必要がある。

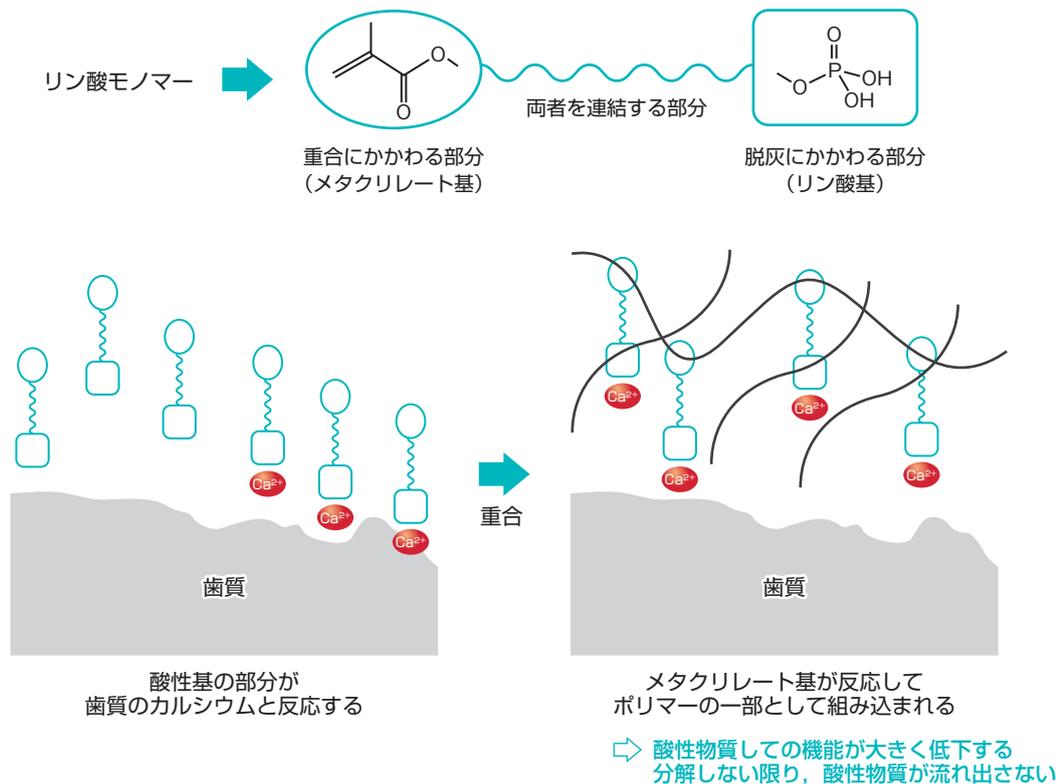


図1-3-4 リン酸モノマーと重合前後の特性の変化

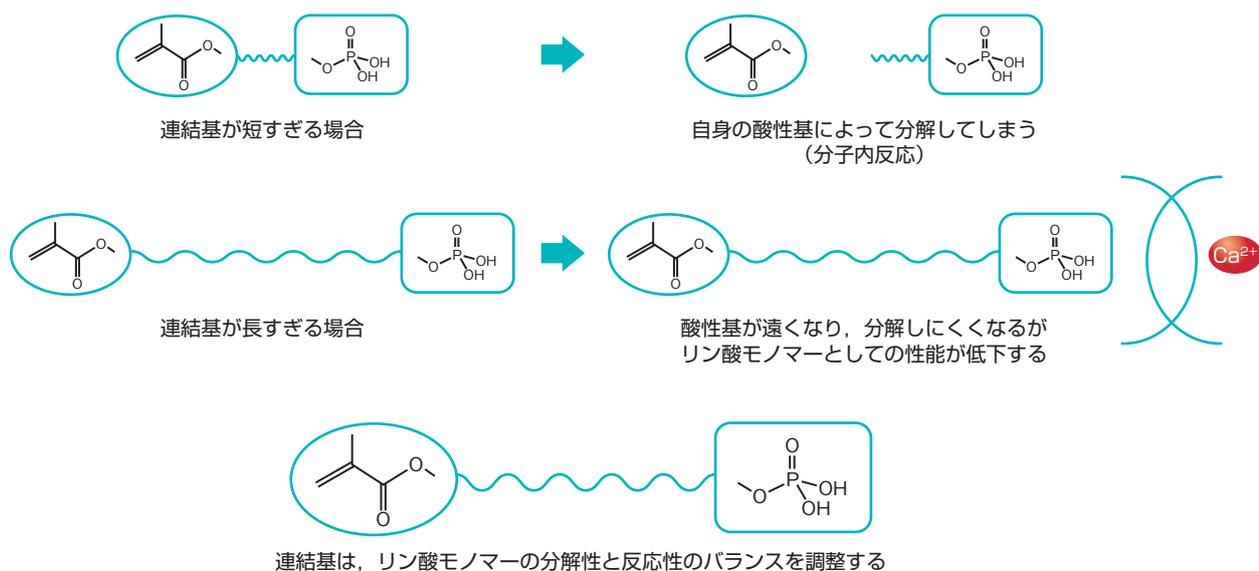


図1-3-5 リン酸モノマーの連結基の重要性

これは、反応速度論的に分子間で起こる反応より、分子内で起こる反応が圧倒的に早いためである。例えば、2-Methacryloyloxyethyl dihydrogen phosphate (MEP) の場合、メタクリレート基とリン酸基が2つ炭素原子の距離しか隔てられていないので、分子内で酸による分解を受けやすく、メタクリル酸とヒドロキシエチルリン酸に分解する。

なお、このように分解しやすい MEP の高純度のものは市販としてはほとんどなく、エチレングリコールジメタクリレートの混合物として、比較的安定に市販されている。

ボンディング材に MEP を配合した組成は、以上のような理由から保存安定性が問題となる。

分子内反応による分解性はリンカー部分の炭素鎖の長さがある程度長くすることによって、コントロールすることができる。例えば、MDP をはじめ効果的であると報告されているリン酸基を有する接着性モノマーは、ある程度の長さの炭素鎖を持っている。

ただし、あまりにもリンカー部分が長鎖になると、酸としての性質や分子が大きくなることから、ボンディング材に用いた時に、十分な脱灰能力を期待できない。そればかりではなく、酸性モノマーとして、既存のリン酸モノマーと同じモル数で調整すると、組成全体における架橋性モノマーの比率が低下してしまうので硬化後のポリマーマトリクスの強度が低下しやすい。

1.4 リン酸モノマー M-TEG-P[®] の開発経緯と既存モノマーとの相違点

歯科で採用されているリン酸モノマーはリン酸基という分子内に親水性部分を持つが、連結基として長鎖のアルキル基を持つので、疎水性の性質がまさり、水に対してほとんど不溶である。

MDP の場合、歯質のカルシウムイオンと相互作用しながら、上記のアルキル基による同士の分子間相互より、接着界面付近に規則的な配列が形成される⁸⁾。この規則的な配列はボンディング材の接着性に寄与すると報告されている。

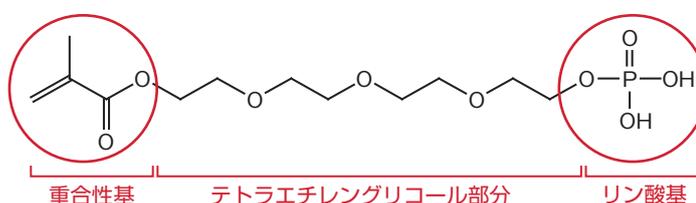
MDP の疎水性による効果は、少なくとも接着力を補助するものとして有効と考えられているが、リン酸モノマーの機能に必須かどうか議論の余地がある。MDP 以外のモノマーの知見が少なく、現段階で普遍的に議論できないからである。

ヤマキンでは、このように MDP のような実績のあるリン酸モノマーが世に良く知られている状況で、後発メーカーとして有効な新規リン酸モノマーの提案に着手した。それは、リン酸モノ

マーの化学的知見に未ださまざまなアプローチで高性能なモノマーを提案できる余地があると考えたからである。

我々のアプローチでは、リン酸モノマーの性質を劇的に変えることで、新しいリン酸モノマーの化学と歯科接着の課題を解決する提案を同時に出来るのではないかと考えた。すなわち、リン酸モノマーを水にも有機化合物にも溶解（両親媒性）できるようにすることで、ボンディング材の相分離やぬれ性を改善し、接着性を向上させることができると考えた。

実際には、リン酸モノマーのリンカーに着目して、通常では直鎖のアルキル基が採用されるのに対して、テトラエチレングリコールの構造を採用した。このテトラエチレングリコールと同様の構造を持つエチレングリコール系化合物は、中性洗剤、シャンプーや歯磨き粉などに広く使用されており、界面活性剤や増粘剤の機能を期待して配合される。我々は、この構造を含むリン酸モノマーを採用することによって、リン酸モノマーの高機能化を狙った（図1-4-1）。



特徴的な性質

- ・リン酸基による脱灰作用を有機基でコントロールできる
- ・リン酸よりも高い洗浄力
- ・ぬれ性の向上

図1-4-1 M-TEG-P®の化学構造とその性質

以上のような経緯でM-TEG-P®というリン酸モノマー開発に着手し、自社合成の確立に成功した。ヤマキンのM-TEG-P®を含むボンディング材は、接着材塗布後に起こり得る溶媒揮発時に、組成が相分離しないだけでなく、接着時に混入する水分量によって接着性が敏感に影響を受けない性能を獲得した。

また、M-TEG-P®自身の界面活性作用もあり、相分離を防ぐだけでなくボンディング材の被接着体へのぬれ性を高めていることも寛容な接着材条件で接着できる性能に繋がっていると考えられる。

つまり、ヤマキンでは、歯科接着技術として、「どのようにして水を味方につけるか」をコンセプトに置いた。着眼点として、組成を均一に保ち、被接着面へのぬれ性を向上させることを考慮し、解決手段として、接着性リン酸モノマーM-TEG-P®を開発したことにより、被接着体の湿潤環境、塗布後のエアブロー条件、あるいは、採取後の放置時間（遮光下）などの条件に対して寛容であり、再現良く接着できるボンディング材を実現することができた。さらに、M-TEG-P®はさまざまな歯科用接着性への応用の可能性があり、高分子技術の基礎の一つとなっている。

1.5 5つの特徴にプラスワン

「アクアボンドn」は当社従来品の以下5つのコンセプトを継承および進化させている。

- 1) 高い接着強さ
- 2) 湿潤環境下でも安定した接着力
- 3) 幅広い用途・接着対象に対応
- 4) 脱灰時間0秒で待ち時間なし
- 5) 採取後に相分離しないので、使用可能時間30分（遮光下）

「アクアボンドn」は図1-5-1に示したような接着対象に接着することができる。「マルチプライマー リキッド」を使用すれば、無機質フィラーを含むレジン材料と陶材に接着することができる。

「アクアボンドn」をレジン材料と陶材に対してプライマー併用するように設計した理由は、両材料に接着性を付与するシランカップリング剤を強酸性のモノマーと同じ1液に集約することは、製品の保存安定性や接着耐久性の維持にリスクがあると判断したためであり、品質の面からプライマーの補助を完全に排除していない。



図1-5-1 アクアボンドnの接着対象材料

また、「アクアボンドn」は歯質を含む各種材質の接着対象に塗布すれば、直ちに次のエアブローによる溶媒除去の工程に移行できる。光照射時間は、 1000 mW/cm^2 以上の光量のLEDランプであれば、とくにそれ以上の追加条件無く10秒以上の照射で再現良く硬化し接着することができる。さらに、 2400 mW/cm^2 以上の光量のLEDランプ（例えばペンギン アルファ ハイパワー）であれば、3秒以上の照射で確実に接着を達成することができる。

なお、図1-5-2に、各材質に対する初期接着強さを示す。

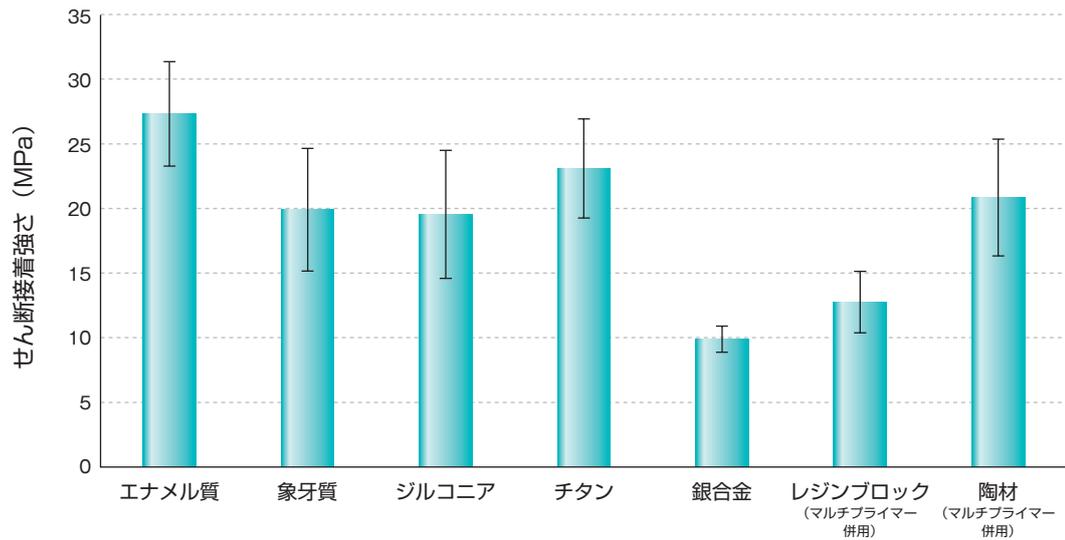


図1-5-2 各材質に対する接着強さ

近年、う蝕を伴わない一過性の冷水痛や咬合痛などを主とした知覚過敏症を罹患する患者が増加している。知覚過敏症の治療法のうち、薬物塗布は知覚過敏処置として保険適用技術であり、簡便性と即効性の点から第一選択となることが多い。「アクアボンドn」はM-TEG-P[®]によって水を味方につけ、象牙細管内の水分の影響を受けずに強固な保護コーティング層を形成することが可能と考えられたため、知覚過敏抑制材としての機能を付与した。さらには、間接修復で実施される支台歯の象牙細管を封鎖し、保護することによって、冷水痛や咬合痛、二次う蝕などを防ぐ目的で実施される「象牙質レジンコーティング」が2019年12月に保険適用となったため、歯科用シーリング・コーティング材としての機能も追加した。

このように「アクアボンドn」は当社従来品の特長を維持しながら、さらに機能追加によって進化させたものである。

「アクアボンドn」は、脱灰時間や湿潤状態など接着工程および口腔内のさまざまな条件による接着強さを評価することで信頼性を高めている。本章では、接着強さの評価方法および結果について説明する。

2.1 歯質に対する初期接着強さの評価

「アクアボンドn」の歯質に対する接着性は、牛歯を対象として引張試験（図2-1-1）およびせん断試験（図2-1-2）を評価している。概要は以下の通りであり、口腔内のコンジット修復をモデル化した実験である。

・引張試験

平面になるように研磨した牛歯エナメル質および牛歯象牙質の研磨面に直径3 mmの穴があいたマスキングテープを貼り、接着面を限定した。接着面をエアブローで乾燥後、「アクアボンドn」を塗布してから5秒後（脱灰時間）、塗布面をエアブローで乾燥し、光重合後、歯科充填用コンジットレジン（樹脂セメント）を充填硬化した。この硬化面にレジンセメントを用いてステンレス成型棒を固定して試験体を作製した。試験体は37℃の水中で1日間保管後、1 mm/minの速度でステンレス成型棒を接着面に対して垂直に引っ張る試験をおこない、破断時の応力より引張接着強さを求めた。

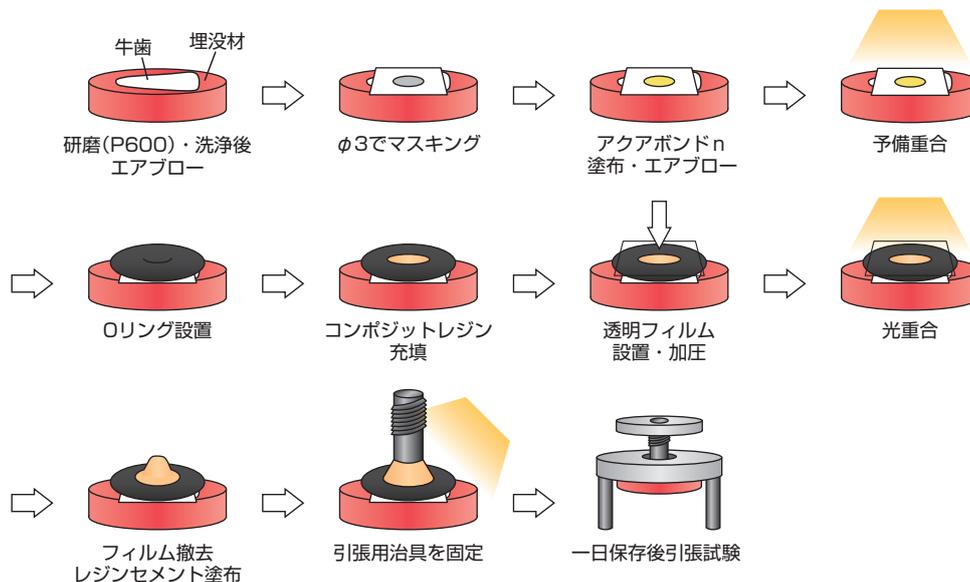


図2-1-1 歯質に対する接着方法

・せん断試験

平面になるように研磨した牛歯エナメル質もしくは牛歯象牙質の研磨面に直径2 mmの穴があいたマスキングテープを貼り、接着面を限定した。接着面をエアブローで乾燥後、「アクアボンドn」を塗布してから5秒後（脱灰時間）に、塗布面をエアブローで乾燥した。光照射後、直径4 mm×高さ4 mmのチューブを設置し、歯科充填用コンジットレジン（樹脂セメント）を充填硬化し、試験体とした。試験体は37℃の水中で1日間保管後、1 mm/minの速度でコンジットレジン（樹脂セメント）の支柱を接着面に対して水平方向にせん断する試験をおこない、破断時の応力よりせん断接着強さを求めた。

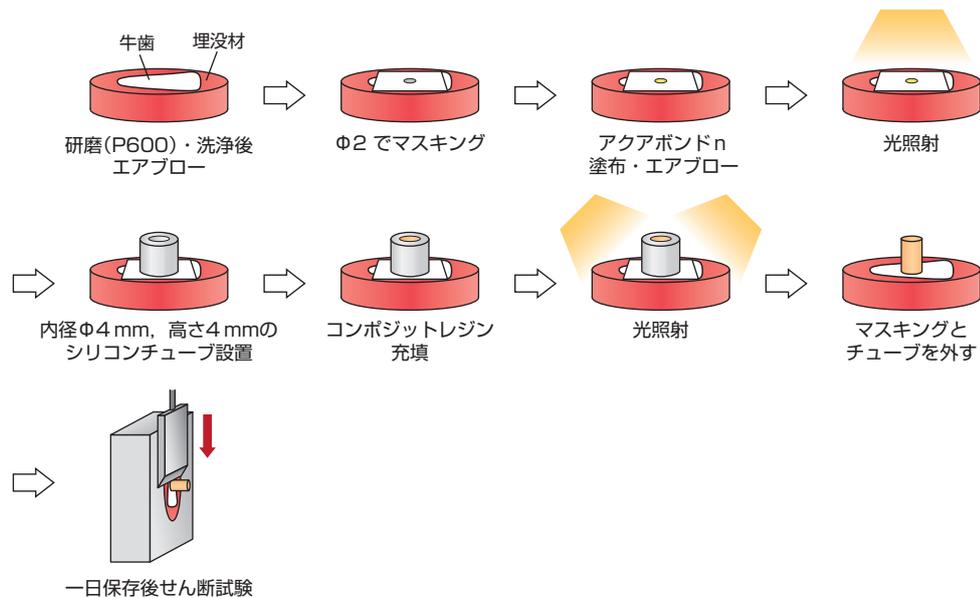


図2-1-2 せん断試験手順

2.2 湿潤状態での接着強さの評価

口腔内は湿度の高い環境であり、窩洞形成時に歯面を十分に乾燥できない状況や注意を払っても防ぎきれない水分も考えられるため、「アクアボンドn」の湿潤状態での接着強さを評価している。この評価方法では、接着面を乾燥後、歯面を均一に水の薄い膜で覆われるように湿らせてから、モデル評価として接着強さを検討した。乾燥状態と、湿潤状態の接着試験用サンプルを図2-2-1に示す。



図2-2-1 接着試験用サンプル (左：乾燥状態 右：湿潤状態)

湿潤状態では歯面に約100 μmの水の膜が張っているような状態から「アクアボンドn」を塗布し接着試験を実施している。その結果を図2-2-2に示す。

「アクアボンドn」は湿潤状態で接着した場合でも、エナメル質、象牙質ともに良好な接着強さを示した。これは、M-TEG-P®の効果により組成全体の歯面に対する濡れが乾燥状態でも湿潤状態でも良好であり、均一性を維持することによって、乾燥状態でも湿潤状態でも再現性の高い接着を実現したためと考えられる。

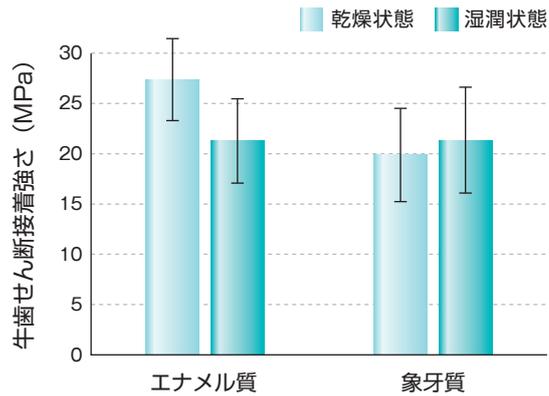


図2-2-2 歯質に対する接着強さ（乾燥状態、湿潤状態）

2.3 脱灰時間ごとの接着強さ

「アクアボンドn」は、患者の負担を軽減するため、塗布後の脱灰時間や光照射時間を短縮しても高い接着強さを維持できるように設計した。そのため、塗布後の各脱灰時間と接着強さを確認し、時間によって依存性があるか確認した。

異なる脱灰時間での歯質に対する接着性を図2-3-1に示す。

「アクアボンドn」は、各脱灰時間の条件でも、エナメル質、象牙質ともに脱離が起こらず、短い脱灰時間でも高い接着強さを示した。また、象牙質については、20秒間の比較的長い脱灰においても接着強さの顕著な低下はみられないことがわかる。これは、M-TEG-P®と歯質表面のハイドロキシアパタイトとの反応が適度にコントロールされていることを示唆している。

すなわち、エナメル質と象牙質ともに歯質表面のスミア層あるいはスミアプラグとしてのカルシウム分をM-TEG-P®が効率よく除去し、接着に好ましい表面を形成していると考えられる。したがって、「アクアボンドn」は塗布直後から接着を進めることができ、コントロールされた脱灰により、エナメル質、象牙質ともに過脱灰などによる接着力低下が起こらないと考えられる。

つまり、「アクアボンドn」は脱灰時間が不要というよりは、むしろ脱灰時間に寛容（なくてもあってもよい）と言え、余裕をもって接着工程を進めることができると考えられる。

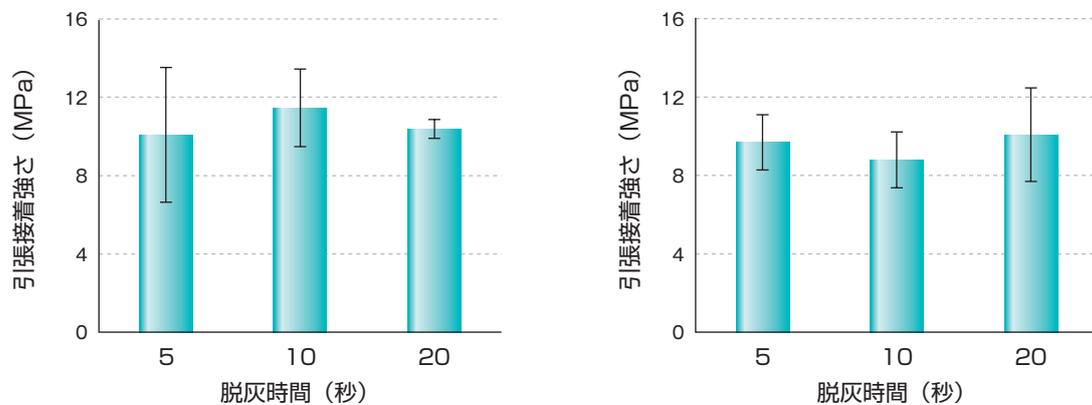


図2-3-1 脱灰時間ごとの接着性（左：エナメル質 右：象牙質）

2.4 エアードライの条件が接着に与える影響

「アクアボンドn」は、1ステップ1液型を達成するためにさまざまな成分が含まれている。その成分の中に水とアルコールがある。これらは、接着性モノマーと歯質とが効果的に反応するために必要不可欠な成分である一方で、重合硬化した接着材層に残存してしまうと、接着不良を引き起こしてしまう。図2-4-1には、エアードライの条件（「エアードライ時間」および「歯質とエアードライノズル間の距離」）を変えたときの接着強さを示している。

エアードライをしていないような条件（エアードライ時間：0秒）ではほとんど接着せず、エアードライ時間が長くなるほど、もしくは歯質とエアードライノズル間の距離が短くなるほど接着強さは高くなる。そのため、エアードライノズルは目的箇所にてできる限り近づけ、5秒以上のエアードライを推奨している。

しかし、臨床によってはエアードライをあてにくい場合も考えられる。その場合は「液面が動かなくなるまで」を目安とし、十分な乾燥をおこなうことが接着の成功率を高めるうえで重要である。

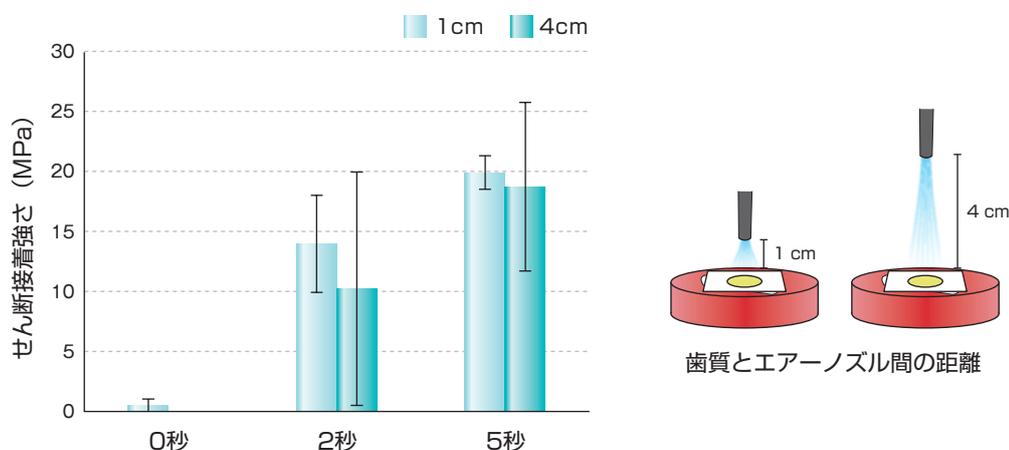


図2-4-1 エアードライ条件をかえたときの歯質（象牙質）に対する接着強さ

2.5 接着界面

一般的に窩洞内の歯質表面は切削によって微小な凹凸が存在する。このため、ボンディング材にはこの微小な凹凸を埋め、隙間なくコンポジットレジンに窩洞表面に密着できるように、平滑なボンディング材層表面を提供することが求められる。一方で、充填したコンポジットレジンの物理的強度を十分発揮させるためには、強度に劣るボンディング材層の厚みは可能な限り薄いことが望ましいと考えられる。

歯質-アクアボンドn-コンポジットレジンの接着界面を図2-5-1に示す。ボンディング材層-コンポジットレジン間の界面は歯質表面の凹凸に影響されず平滑であり、「アクアボンドn」は平滑なボンディング材層を形成できることを確認した。さらに、ボンディング材層の厚みは歯質表面の凹凸によって左右されるが、5~10 μmであり、均質な薄いボンディング材層を実現していることも確認した。

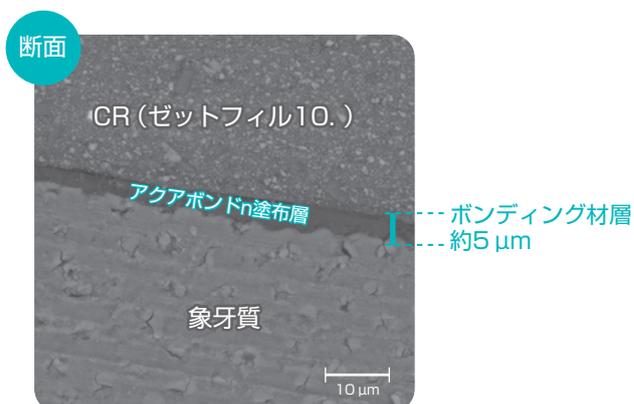


図2-5-1 接着界面

3

歯質以外への接着

「アクアボンドn」は、歯質以外でもさまざまな材質に対する接着に使用することができる。特に、ジルコニアに対して当社従来品に比べて接着強さが大幅に向上している。

本章では、歯質以外の接着について紹介する。なお、接着対象として使用した材料は表3-1に示した通りである。

表3-1 接着対象として使用した材料

材料	製品名
ジルコニア	KZR-CAD ジルコニア SHT
チタン	KZR-CAD チタン
金合金	ワイピーゴールド タイプ I-n
銀合金	ユニ 1-n
金銀パラジウム合金	パラセット 12-n
レジンブロック	KZR-CAD HR ブロック 3 ガンマシート
陶材	ゼオセライト

3.1 ジルコニアに対する接着強さ

ジルコニアに対する接着強さは、歯科切削加工用セラミックス「KZR-CAD ジルコニア SHT」を対象として評価している。試験方法の概要は以下の通りであり、口腔内リペアを想定してモデル化した実験である（図3-1-1）。

平面になるように研磨したジルコニアの研磨面に直径3 mmの穴があいたマスキングテープを貼り、接着面を限定した。接着面をエアブローで乾燥後、「アクアボンドn」を塗布してから5秒後（放置時間）に、塗布面をエアブローで乾燥した。光重合後、歯科充填用コンポジットレジンを充填硬化した。この硬化面にレジンセメントを用いてステンレス成型棒を固定して試験体を作製した。試験体は37℃の水中で1日間保管後、1 mm/minの速度でステンレス成型棒を接着面に対して垂直に引っ張る試験を実施し、破断時の応力を引張接着強さとした。

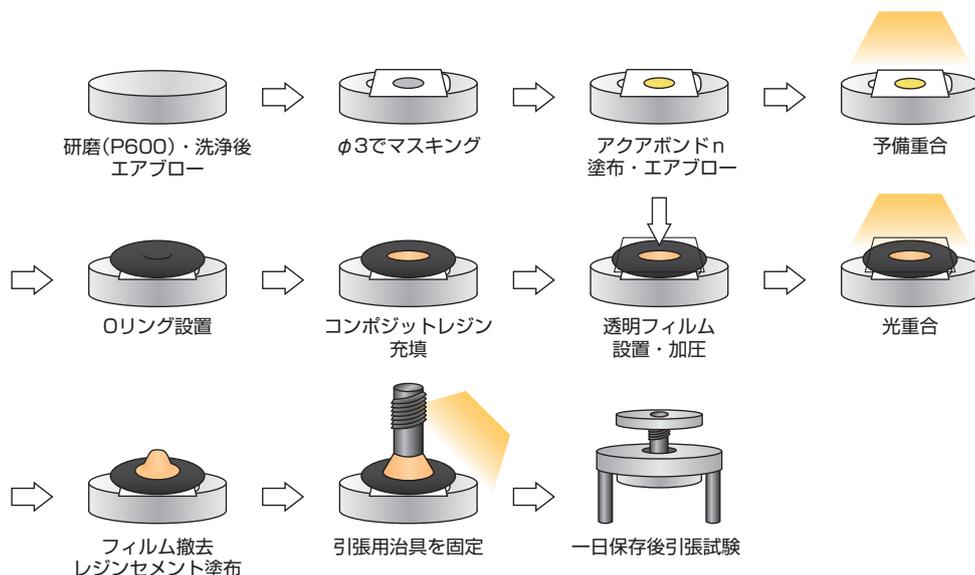


図3-1-1 ジルコニアに対する接着方法

「アクアボンドn」のジルコニアに対する接着強さを図3-1-2に示す。「アクアボンドn」は、当社従来品よりジルコニアに対して良好な結果を示した。リン酸モノマーは、ジルコニアとの反応性に優れていることが知られているが^{9,11)}、「アクアボンドn」に含まれるM-TEG-P[®]のリン酸基がジルコニアと結合に有効に働いていると考えられる。当社従来品にもM-TEG-P[®]を使用しているが、「アクアボンドn」では、M-TEG-P[®]の機能性をさらに効率良く発揮できるように組成を最適化しているため、歯質だけではなくジルコニアに対しても高い接着強さを得られている。

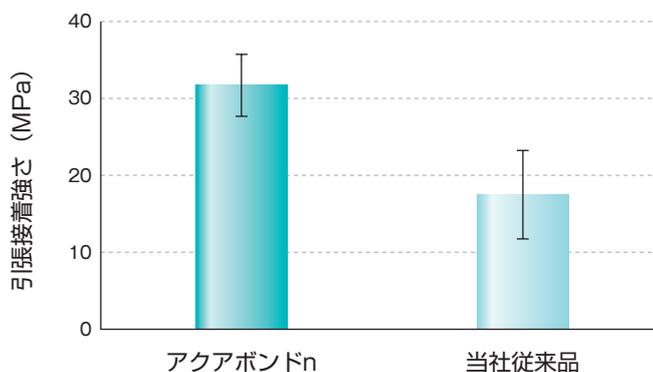


図3-1-2 ジルコニアに対する接着性

3.2 ジルコニア以外のプライマー不要な接着対象材料

ジルコニアの他にプライマー無しで接着できる接着対象は、チタンや貴金属合金等である。チタン、金合金、銀合金および金銀パラジウム合金を上記と同様の方法で接着強さを評価し、その結果を図3-2-1～図3-2-4に示した。

ジルコニアと同じ第4族であるチタンに対しては、前述と同様に、組成調整により、M-TEG-P[®]とチタン表面がより効率的に相互作用できると考えられる接着強さの向上が確認される。

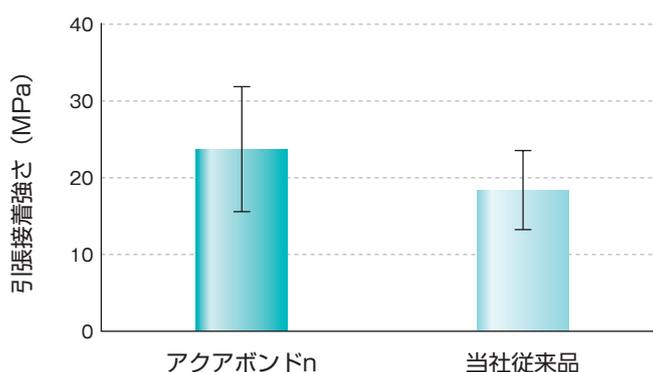


図3-2-1 チタンに対する接着強さ

貴金属への接着は、「アクアボンドn」単独でも十分な接着強さを発揮することを確認している。さらに、チオール化合物を配合したプライマー（「マルチプライマー リキッド」）を併用することで接着強さ向上が期待できる。被着面が小さいケースなど、必要に応じて使い分けることができる。

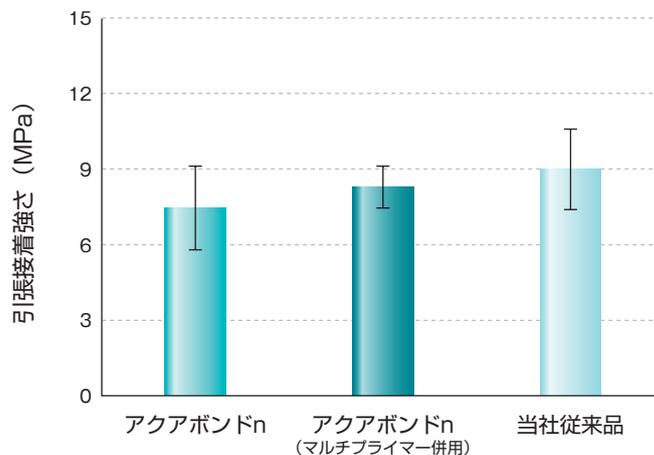


図3-2-2 金合金に対する接着強さ

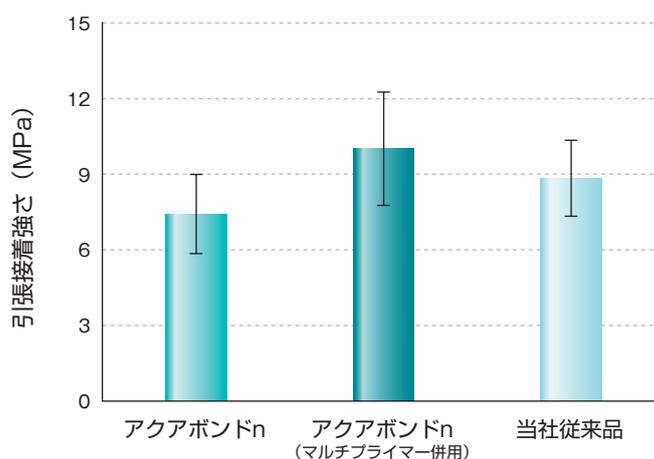


図3-2-3 銀合金に対する接着強さ

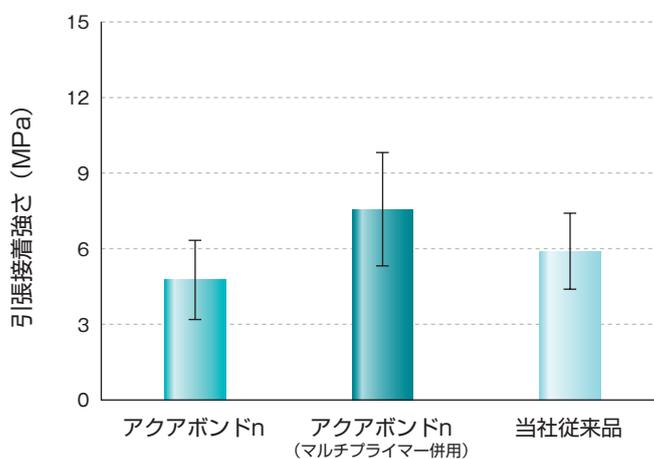


図3-2-4 金銀パラジウム合金に対する接着強さ

3.3 プライマーを併用する接着対象

「アクアボンドn」は、無機質フィラーを含むレジン材料と陶材に関して「マルチプライマー リキッド」などでプライマー処理後、接着する設計にした。理由は2つあり、プライマー成分と被接着対象の化学的相互作用の効率性とボンディング材自体の品質を高めるためである。

レジン材料と陶材のプライマー成分として、シランカップリング材が有効であるが、シランカップリング材が酸や水に対して化学的に非常に不安定であるため、シランカップリング材をボンディング材へ配合することは保存安定性の低下などの品質リスクがあると考えている。これらの事情から、安定した品質のボンディング材を提供する観点で、過度に接着システムの簡略化を勧めない方針で、「アクアボンドn」を設計した。

レジン材料（本レポートではハイブリッドレジンプロックを選択した）と陶材に対する接着性をそれぞれ図3-3-1と図3-3-2に示す。いずれの場合も「アクアボンドn」と「マルチプライマー」の接着システムは、高い接着強さを有していることがわかる。脱離など接着トラブルが少なくないレジンプロックをはじめとするレジン材料に対し、確実に接着できるシステムとして提案できる。

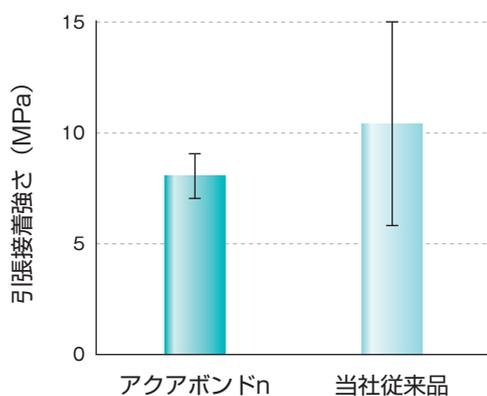


図3-3-1 レジンプロックに対する接着強さ

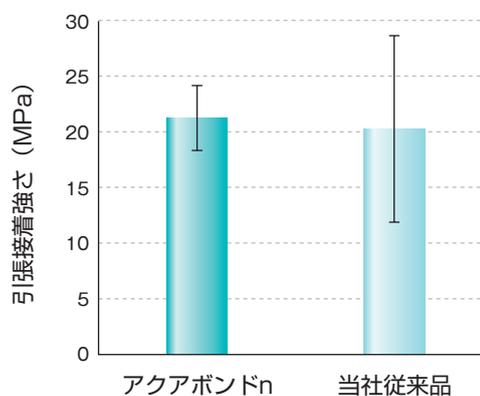


図3-3-2 陶材に対する接着強さ

4 均一性の保持について

M-TEG-P®は、水にも油にも安定な特性を持つことから、疎水性のモノマーと水を相分離することなく均一な状態を維持する効果も与えている。

このため、「アクアボンドn」は図4-1-1に示すように、遮光条件下であれば採取後、約30分後まで相分離することなく、使用可能であることが確認されている。採取直後の「アクアボンドn」と採取から30分後までの接着強さを比較すると、図4-2-1に示すように、エナメル質については、放置によって低下がみられるものの30分後でも十分な接着強さを維持している。また、象牙質については、接着強さにほとんど変化は認められない。これは、「アクアボンドn」に含まれる溶媒成分が揮発しても分離せず、均一性が保たれていることに起因しており、接着工程の高い再現性を示すものである。



図4-1-1 採取直後の状態と10分、30分後の状態

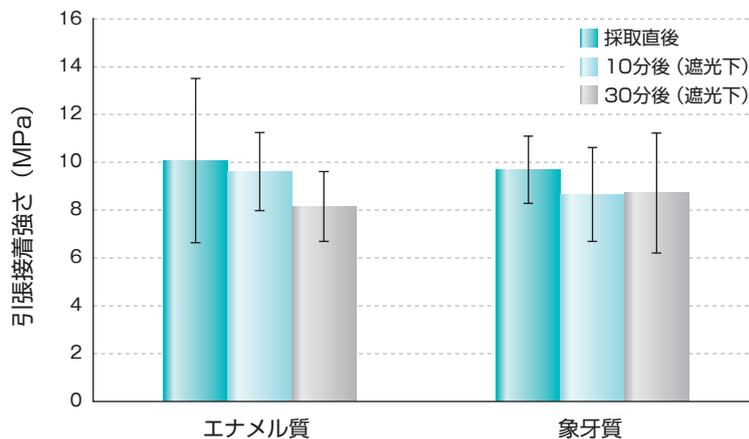


図4-1-2 採取直後と10分、30分後の接着強さ

5 イオン透過性

口腔内に取り込まれたフッ化物イオンは、エナメル質の脱灰抑制、再石灰化促進やう蝕予防効果を示すことが知られている¹²⁻¹⁶⁾。このような効果を期待し、フッ素徐放性コンポジットレジン（例えば「TMR-ゼットフィル10.」）による修復がおこなわれるが、窩洞表面との間にはボンディング材層が存在する。そのため、ボンディング材もフッ素徐放性を持つか、あるいはフッ化物イオンがボンディング材層を透過しないと窩洞表面にフッ化物イオンが到達することはできない。「アクアボンドn」自体はフッ素徐放性を持たないため、「アクアボンドn」のボンディング材層はフッ化物イオンの透過性が必要となる。

そこで、「アクアボンドn」の硬化膜でコーティングした「TMR-ゼットフィル10.」の硬化物を蒸留水に浸漬させ、その浸漬水のフッ化物イオン量を分析することで「アクアボンドn」のフッ化物イオンの透過性を確認した。詳細な試験手順は以下の通りである。

直径12 mm、厚さ1.0 mmの金型に「TMR-ゼットフィル10.」を充填し、光重合器で硬化させ、硬化後の試験片表面を耐水研磨紙（P2000）で整えた。試験片の全面に対して「アクアボンドn」を塗布し、十分にエアードライをおこなった後、光重合で硬化させた。作製した試験片を流水で十分に洗浄し、15 mL蒸留水に浸漬した。所定期間後に試験片を取り出し、浸漬水のフッ化物イオン濃度を、イオンメーター（F-55：堀場製作所）で測定し、単位面積あたりのフッ化物イオン徐放量を算出した。

その結果、「アクアボンドn」でコーティングしたサンプルは、コーティングなしのものに比べると低いものの、フッ化物イオンを徐放することを確認した（図5-1-1）。フッ化物イオンは、水分子や酸素分子よりも小さいため、ボンディング材層の高分子網目構造を通り抜けることができると考えられる。また、ボンディング材層が5~10 μmと非常に薄いことも、フッ化物イオンがボンディング材層を最終的に透過していく要因であろう。臨床的には、フッ素徐放性コンポジットレジンより徐放されるフッ化物イオンが、「アクアボンドn」のボンディング材層に隔てられても支台歯に到達可能であることが示唆された。

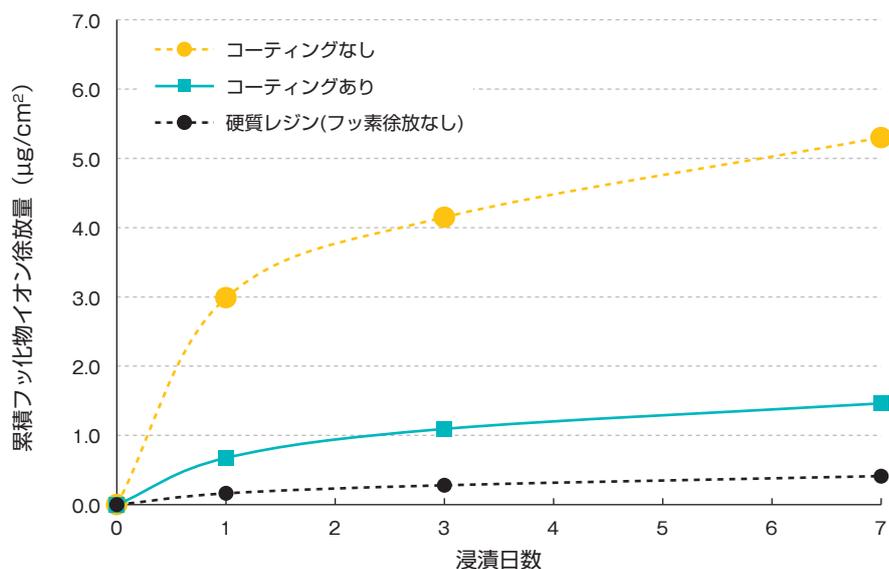


図5-1-1 「アクアボンドn」のフッ化物イオン透過性試験

本章では、「アクアボンドn」の象牙質コーティングに関する機能を解説する。なお、解説を進める上で、保存修復学で説明されているレジンコーティング法（以下、象牙質レジンコーティング法）と保険収載された象牙質レジンコーティング法（以下、保険適用される方法¹⁷⁾と区別して解説する。象牙質レジンコーティング法の一部が保険適用された。なお、象牙質レジンコーティング法における保険適用の対象の要約は、後節の表6-2-1に示した。

6.1 レジンコーティング法の概要

多くの保存修復学で述べられている象牙質レジンコーティング法とは、間接修復法で、窩洞形成後、印象採得前に、ボンディング材あるいはボンディング材とフロアブルレジンを用いて、露出した象牙質を保護する方法である¹⁸⁾。生活歯の窩洞や支台歯の形成だけではなく、根管処置後の支台築造にも応用可能である。

したがって、象牙質レジンコーティング法は、1) 露出した象牙質を被覆し歯髄を保護する、2) 補綴物をレジンセメントなどで接着するときの象牙質に対する接着性向上、3) 修復物の辺縁封鎖性と窩壁適合性を向上させる目的でおこなわれる。

間接修復法の過程において、窩洞形成後、修復物の装着までに仮封をおこなって暫間的に窩洞形成領域を保護する。ここで、仮封における課題として、仮封材の物性面で封鎖性が十分ではないために、仮封材が脱落する場合、あるいは漏洩によって窩洞形成領域の汚染や細菌感染する懸念がある。象牙質レジンコーティング法では、窩洞形成領域にコーティングを施すことにより、上記の懸念を軽減することができる。

概念的に術式を図6-1-1に示す。

・通常の方法



・象牙質コーティング

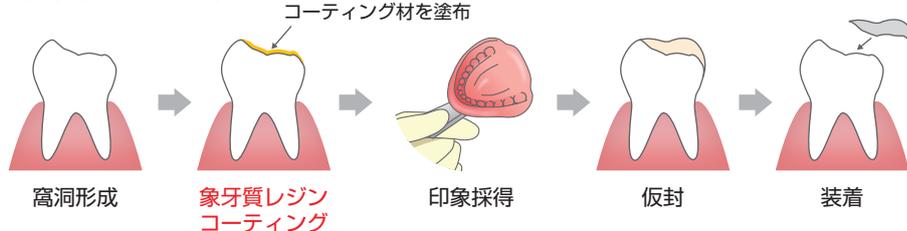


図6-1-1 象牙質レジンコーティング法

接着性の観点では、間接修復物の接着は接着性レジンセメントがその役割を担っており、現在技術で良好な接着性レジンセメントが国内で入手できる。しかしながら、本質的に溶媒を含んだ脱灰

や浸透により接着するボンディング材ほど、それらの作用が効率的ではない。いわゆる接着しにくい症例や確実に接着させたい症例には一抹の懸念が残る。また、CAD/CAM冠の装着では、修復物装着後の接着性不十分が原因とされる脱離の問題に関して、以前より改善はみられるものの未だ議論の余地が残っている。

したがって、「アクアボンドn」を使用した場合は比較的強固なコーティング層が歯質を覆っているから、その後に適用するレジンセメントの接着性が向上することで、修復物の脱離をしにくくすることが期待できる。いわば、ボンディング材で接着を担保する考え方といえる。

象牙質レジンコーティング法による封鎖性や接着性の改善は、窩洞と修復物とのギャップの発生防止も関与していると考えられ、辺縁漏洩の防止や窩壁適合性の向上にも有効である。治療後の咬合痛や違和感、2次う蝕や修復の破折などトラブルを軽減することができる。

また、露出した象牙質がレジンコーティング層により外因的な刺激を遮断することができ、患者の負担も軽減することができる。これは後述する知覚過敏抑制の観点である。

さらに、根管治療後の支台築造でも、装着までの間は仮封となることから、仮封期間中の漏洩を防ぐために象牙質レジンコーティング法の応用が提案されている。これは、間接修復法において、コロナルリーケージによる根管治療後の感染リスクの防止期待できるからである。

6.2 保険収載された象牙質レジンコーティング法

このような間接修復法において、象牙質をコーティングして封鎖性や接着性を向上させ、歯髄を保護する象牙質レジンコーティング法は、2019年12月に、生活歯の支台歯形成に対して保険収載¹⁷⁾が認められた。ただし、レジンコーティング法が全般的に保険算定されず、適用できる症例と使用する材料が指定されている。保険収載の概要を表6-2-1に示す。使用可能な材料は保険適用されている「歯科用シーリング・コーティング材」というカテゴリーの材料である。

表6-2-1 象牙質レジンコーティングにおける保険適用の対象

	区分	保険修復物	塗布対象	保険適用
象牙質レジンコーティング	間接修復	レジン前装金属冠	生活歯支台歯	保険適用
		ジャケットクラウン		
		CAD/CAM冠		
		全部金属冠		
		ブリッジ		
	インレー	窩洞内	算定不可	
	アンレー			
直接修復	仮封→CR	歯髄保護後の窩洞内		

「アクアボンドn」はこの「保険収載で認められた生活歯の支台歯形成（生PZ）に対する象牙質レジンコーティング法」に使用可能である。

生活歯1歯につき一回に限り、印象採得前に支台歯形成面に象牙質レジンコーティング法をおこなった場合に、技術料として46点が算定される。ただし、上述のように、包括的にレジンコーティング法が保険として認められているわけではない。

例えば、生活歯のインレーやアンレー窩洞に対するレジンコーティングは有効であるが保険適用外である。また、「歯科用シーリング・コーティング材」として保険適用が認められた材料以外は

保険適用外である。

さらに、補綴物の歯冠形成から装着までの治療期間中に保険で象牙質コーティングをおこなった場合、この期間で知覚過敏処置は算定できないという条件がある。

6.3 「アクアボンドn」における象牙質レジンコーティング法

「アクアボンドn」による象牙質レジンコーティングは、ボンディング材としての使用方法と大きく変わりがない。詳細なステップはP36の手順を参照されたい。

従来と同様の支台歯形成後、防湿しながら、レジンコーティングをおこなう。

「アクアボンドn」を採取し形成した領域に塗布する、その後、塗布面の流動性が無くなるまでエアで乾燥させて光照射をおこなう。この時、塗布後の放置時間は不要で、光照射時間は、ボンディングに使用時と同様で10秒以上でよい。

その後、未重合層は、一般的に紹介されているように、アルコール綿球などで拭きとって除去する。また、コーティングすべき面よりはみ出した材料は、探針やハンドスケーラーなどで除去できる。

コーティング面に未重合層が残存すると、次の工程の印象採得で印象材を汚染する。印象材の汚染は面あれを起こす可能性があり、さらにその後の石膏模型にも影響し、汚染された部分では石膏が良好に硬化しない可能性もある。結果として、模型の仕上がりが悪くなる恐れがある。

6.4 象牙質レジンコーティング法と使用材料について

レジンコーティング後に使用する印象材や仮封材の選択には注意を要する。臨床を含めた詳細事項は、体系的にまとめられた成書を参照されたい。ここでは、材料に焦点を当てて述べる。

まず、印象材ではアルジネート・寒天連合印象材やシリコンゴム印象材が選択できる。ただし、後者を使用する場合、コーティング材の未重合部分の有機化合物によって、印象材の重合硬化を妨げる可能性がある。また、コーティング面においては、印象材が付着することで、補綴物装着時の接着力の低下を招くという報告がある¹⁸⁾。この場合、印象採得後にコーティング面をアルコール綿球で拭うことで接着力の回復が見られるが、テクニカルエラーの観点から考えると、アルジネート・寒天連合印象材を使用する方がより好ましいといえる¹⁹⁾。

仮封材は水硬性仮封材とテンポラリーストッピングが推奨される。

ユージノール酸化亜鉛仮封材は、ユージノールがコーティング層に浸透して装着時の接着不良を起こす可能性がある。これは、ユージノールが重合禁止剤として働くためである。なお、歯科材料において、重合禁止剤あるいは酸化防止剤として使用されているBHTやMQの化学構造を示した(図6-4-1)。

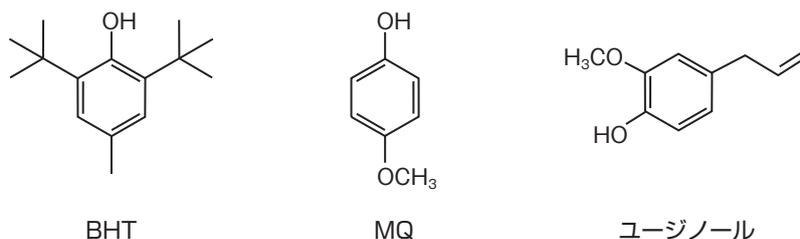


図6-4-1 重合禁止剤とユージノール化学構造

ユージノールもBHTなど同様のフェノール性水酸基を有していることからラジカル重合の重合禁止あるいは抑制をすることが分かる。

レジン系の仮封材は、光重合型と化学重合型いずれであっても、硬化する際にコーティング層と結合してしまい、その後の仮封材除去が困難になるので禁忌である。

類似した事例で、テンポラリークラウン製作時に常温重合レジンを使用するが、レジン系仮封材同様に接着してしまうので、あらかじめコーティング面に水溶性分離剤を塗布して対処する。

装着ではレジンセメントが推奨される。なお、レジンセメントの適切な使用方法は、各添付文書で使用方法を参照したい。

レジンコーティングをおこなった支台歯での良好な接着のためには、コーティング面が汚れていない状態が重要である。装着前に表面をリン酸エッチャントなどで清浄にすることができるが、リン酸エッチャントの処理では、直接象牙質にかからないようにすることと、綿球やスポンジブラシで強くこすり過ぎて、コーティング面を破壊しないようにすることが重要である。

6.5 象牙細管封鎖性

露出した象牙質では、象牙細管に細菌が侵入し二次う蝕を引き起こす可能性がある。そのため、コーティング材は象牙細管に侵入し、象牙細管を封鎖することが求められる。

図6-5-1に牛歯（象牙質）表面に「アクアボンドn」を塗布した面と未塗布面を示す。塗布によって象牙細管が封鎖され、均一なコーティング面を得られていることがわかる。

さらに、象牙質ではレジンタグが形成されていることが確認できる。このため、機械的嵌合を得ることができることから、象牙質に対する高い接着強さが発揮されている。

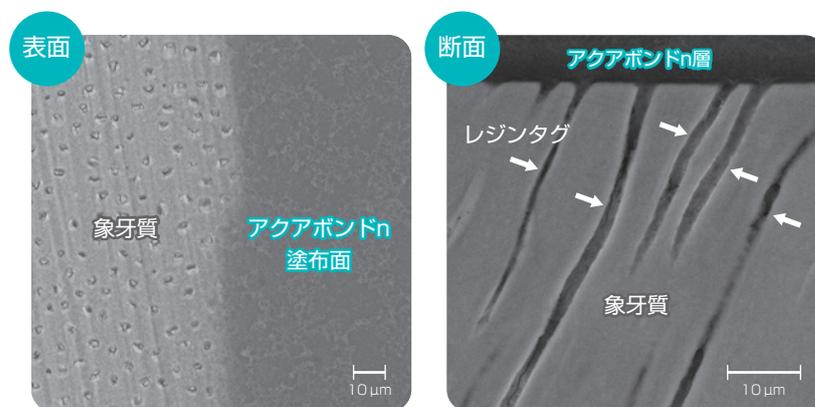


図6-5-1 象牙質表面および断面

ここで、図6-5-2にメチレンブルーによる染色画像を示す。露出した象牙質では歯髄付近までメチレンブルーで染色されたのに対し、「アクアボンドn」を塗布・硬化した面では象牙細管へのメチレンブルーの侵入を阻止することを確認した。メチレンブルーは細菌よりも小さい色素である。つまり、象牙質のコーティングによりメチレンブルーの侵入を阻止するため、細菌の侵入等も阻止できると考えられる。



図6-5-2 メチレンブルー染色試験

6.6 コーティング層の耐久性

優れた象牙細管封鎖性を示した「アクアボンドn」であるが、ブラッシングによる摩耗や剥離などで損なわれることが想定される。そこで、歯ブラシ摩耗試験を流用したコーティング耐久性試験を実施した。



図6-6-1 コーティング耐久性の評価手順

象牙質を露出させた牛歯（厚み2.0 mmに調整したもの）の片側のみに、「アクアボンドn」を塗布した。塗布面をエアブローし、光重合したものを試験片として用いた。試験片を簡易歯ブラシ摩耗試験機に設置し、装置内を歯磨粉懸濁液で満たした。その後、荷重2.0 N、滑走速度850 mm/sで歯ブラシを10,000回滑走した（ISO14569-1参照）。この摩耗回数は1日に朝晩2回歯磨きをおこなう人が1回の歯磨きで1歯を歯ブラシが5回往復すると仮定した場合、約1年4か月に相当する。ブラッシング後の試験片は流水で十分に洗浄し、6.5項と同様のメチレンブルー染色をおこなった。

図6-6-2に、歯ブラシ摩耗後の試験片表面と断面を示す。ブラッシング後においてもコーティング面は均一な状態であり、メチレンブルーの侵入を防いでいることから十分な封鎖性を維持していることを示唆している。従って「アクアボンドn」は優れたコーティング耐久性を有していると考えられる。

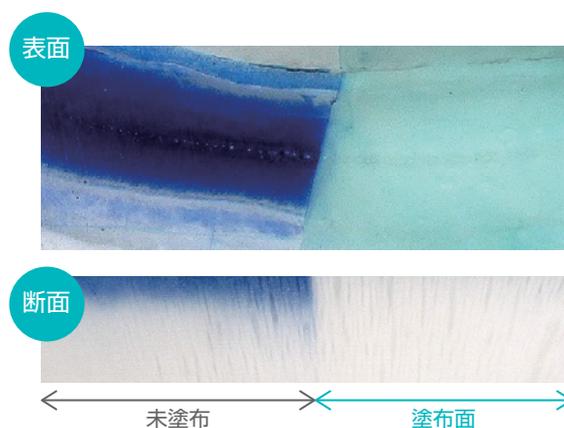


図6-6-2 象牙質表面および断面

6.7 コーティング層の接着性

保険適用された象牙質レジンコーティング法では、生活歯歯冠形成直後にコーティングすることが想定されている。このコーティング層は、のちに印象採得および仮封を経て、補綴物との接着がおこなわれる。そこで、この象牙質レジンコーティング法の手順を考慮した接着試験条件を検討した。

牛歯象牙質に対して「アクアボンドn」を塗布し、エアー乾燥後、光照射したのち、エタノールにて未重合層を除去することでコーティング面とした。コーティング面に対して、印象材を適用後、仮封材にて保護し、37℃にて蒸留水中に浸漬した。1週間後、保護していた仮封材を除去することで、補綴物と接着すべきコーティング面を作製した。このコーティング面への接着は、再度「アクアボンドn」を塗布する、いわゆる2回レジンコーティングを想定している。接着試験結果を図6-7-1に示す。

コーティング面に対して、ボンディング材は良く接着できることが確認できる。コーティング面に未重合モノマーは存在しないが、未反応の重合性基は存在するため、重合により十分に接着すると思われる。また、全く同じ成分で構成された材料同士なため、親和性が非常に高いことも良好な接着性を示す1つの要因となりえる。

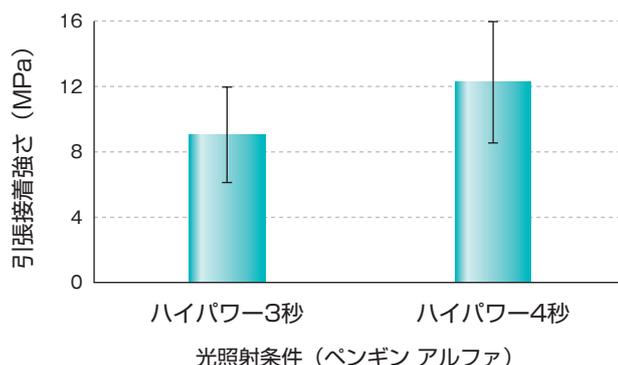


図6-7-1 コーティング面への接着性

ここで、コーティング面に「アクアボンドn」を塗布することは、単純にボンディング材層の厚みを2倍にしているとも捉えることができる。そのため、接着耐久性への懸念点が生じるかもしれない。そこで、本系へのサーマルサイクル試験（5,000回）を実施した。試験結果を図6-7-2に示す。この結果と6.6 コーティング層の耐久性の結果を踏まえると、「アクアボンドn」は保険適用のレジンコーティング法に対して、十分な性能を有していると言える。

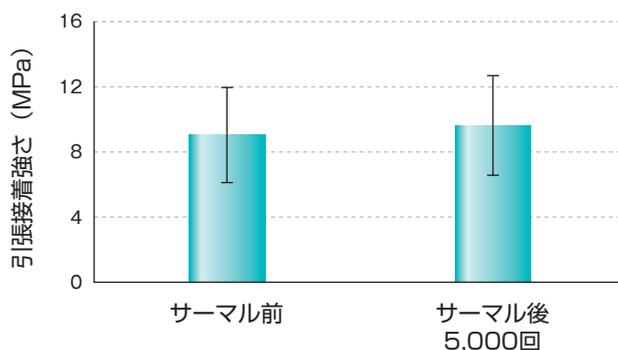


図6-7-2 コーティング面への接着耐久性

象牙質知覚過敏症は、生活歯が外的要因によってエナメル質やセメント質を失って象牙質が露出ことによって起こる。象牙質が露出すると象牙細管を通じて、外部の刺激が伝達されるため、冷温水などに対して痛みを伴う。

いくつかある処置の中で、象牙質を歯科材料で被覆することにより象牙細管を外界から遮断する方法がある。材料としては、ボンディング材、被覆用ガラスアイオノマーセメントやレジンコーティング材を使用する。

「アクアボンドn」も知覚過敏抑制材として使用できる。

8 使用手順

「アクアボンドn」は当社従来品よりも他機能であり、いろいろな症例で用いることができる。本章ではそれぞれの用途の標準的な使用手順を紹介する。

8.1 歯科充填用コンポジットレジンによる充填修復

「アクアボンドn」は、1ステップ1液型でシンプルな接着手順を採用している。歯質に対して、1) 塗布、2) エアー乾燥、そして3) 光重合の工程であり、その後、コンポジットレジンを順次充填すれば完了である (図8-1)。

1) 塗布

塗布した歯面上でボンディング材をアプリケーションブラシ等である程度の時間攪拌し、脱灰と浸透を促進させる製品があるが、「アクアボンドn」の場合は、歯面を軽く撫でるように塗布すれば十分である。

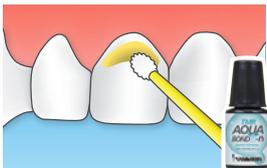
2) エアー乾燥

液面が動かなくなるまで(強圧で5秒間以上が目安)乾燥させれば、「アクアボンドn」の特性により、均一な薄膜が形成される。

3) 光重合

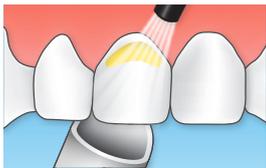
歯科重合用光照射器で均一に薄膜が形成していれば、 2400 mW/cm^2 の光量で3秒間以上の照射により硬化する。

1 塗布



水洗、乾燥させた窩洞全体にTMR-アクアボンド0-nを塗布します。塗布後は「待ち時間なし」でエアー乾燥に移ることができます。

2 エアー乾燥



バキュームで吸引しながら、液面が動かなくなるまでエアーで十分に乾燥させてください。(目安: 強圧で5秒以上)

3 光照射

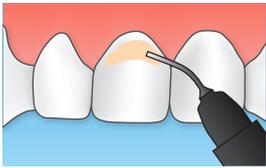


歯科重合用光照射器により光照射し、硬化させます。(照射時間は右表参照)

TMR-アクアボンド0-nの光照射条件

分類	光量 ^{※1}	照射時間
ペンギンアルファ (LED照射器)	2400mW/cm ²	3秒以上
	1200mW/cm ²	
ハロゲン照射器	300mW/cm ² 以上	10秒以上
LED照射器	300mW/cm ² 以上	

4 コンポジットレジン充填



※1 有効波長域400~515 nm (LEDの場合、発光スペクトルのピークトップが450~480 nm)

図8-1 歯科充填用コンポジットレジンによる充填修復の手順

8.2 歯冠修復物の口腔内リペアー

「アクアボンドn」は口腔内リペアーにも使用することが可能である。ただし、接着対象の歯冠修復物が陶材もしくはレジン系材料（無機質フィラーを含む）の場合、「マルチプライマー リキッド」をあらかじめ修復物へ塗布する必要がある（図8-2）。それ以降の手順は歯質への接着手順と同じである。

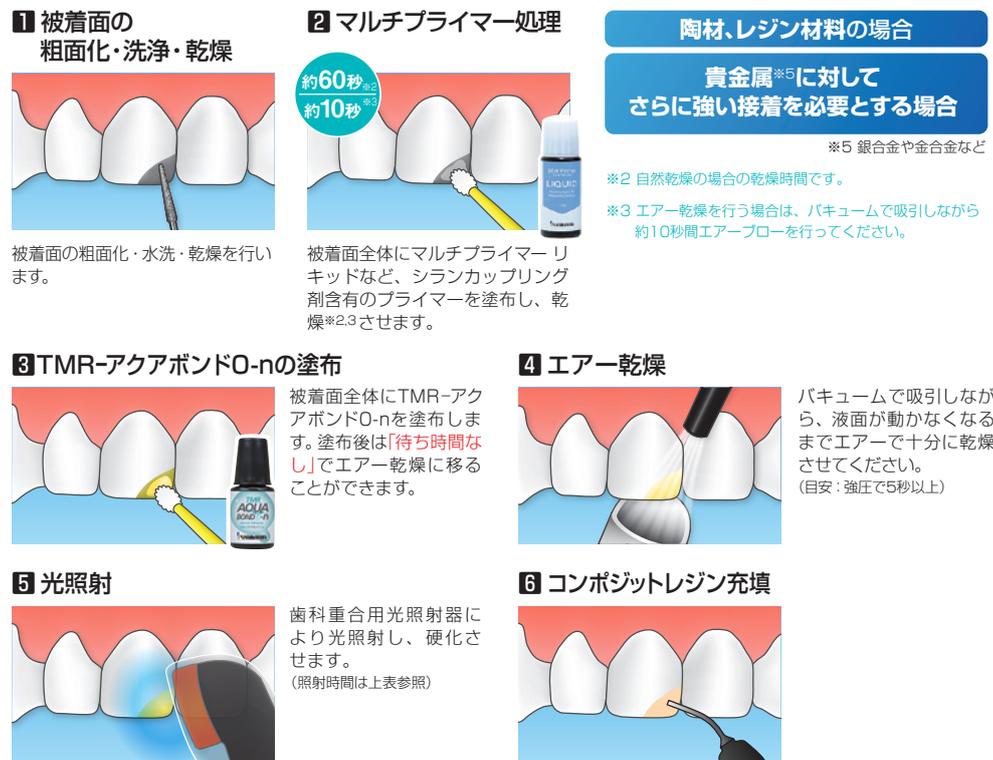


図8-2 歯冠修復物（ジルコニア、陶材、無機質フィラーを含むレジン系材料、金属）の口腔内リペアー手順

8.3 歯冠修復物（CAD/CAM冠）の装着

さらに「アクアボンドn」は、歯科接着用レジンセメント「KZR-CAD マリモセメントLC」（以下、マリモセメント）を併用することによって、CAD/CAM冠の支台歯への装着が可能である。支台歯が歯質・メタルコアの場合とレジンコアの場合とで接着手順に違いがあることに注意が必要である（図8-3）。

なお、「マリモセメント」は光重合型レジンセメントであるから、CAD/CAM冠専用の製品である。「マリモセメント」の特徴や性能、詳細な使用方法については別途製品レポートやパンフレットで紹介している。

1 支台歯の前処理

歯質※4・メタルコアの場合

※4 象牙質レジンコーティング法でTMR-アクアボンドO-nを使用してコーティングしたものを含みます。



仮着材等を除去した支台歯にマルチエッチャントなど、歯科用エッチング材を、電子添文に従い適用します。

支台歯全体にTMR-アクアボンドO-nを塗布します。塗布後は「待ち時間なし」でエアードライに移ることができます。

バキュームで吸引しながら、液面が動かなくなるまでエアードライで十分に乾燥させてください。(目安：強圧で5秒以上)

歯科重合用照射器により光照射し、硬化させます。(照射時間は下表参照)

レジンコアの場合



歯質部分の被着面にTMR-アクアボンドO-nを塗布します。塗布後は「待ち時間なし」でエアードライに移ることができます。上記と同じ手順でエアードライと光照射を行います。



レジン部分の被着面にマルチプライマー リキッドなど、シランカップリング剤含有のプライマーを塗布し、乾燥※2させます。

※2 自然乾燥の場合の乾燥時間です。

※3 エアードライを行う場合は、バキュームで吸引しながら約10秒間エアードライを行ってください。

2 歯冠修復物の前処理

歯科接着用レジンセメント(KZR-CAD マリモセメントLC)の電子添文に従い処理します。

3 レジンセメント適用

歯科接着用レジンセメント(KZR-CAD マリモセメントLC)の電子添文に従い適用します。



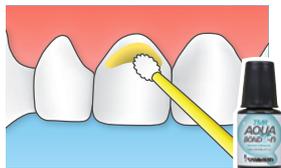
分類	光量※1	照射時間
ペンギン アルファ (LED照射器)	2400mW/cm ²	3秒以上
	1200mW/cm ²	
ハロゲン照射器	300mW/cm ² 以上	10秒以上
LED照射器	300mW/cm ² 以上	

※1 有効波長域400~515nm (LEDの場合、発光スペクトルのピークトップが450~480nm)

図8-3 歯冠修復物 (CAD/CAM冠) の装着手順

8.4 知覚過敏処置

1 塗布



水洗、乾燥させた歯面全体にTMR-アクアボンドO-nを塗布します。塗布後は「待ち時間なし」でエアードライに移ることができます。

2 エアードライ



バキュームで吸引しながら、液面が動かなくなるまでエアードライで十分に乾燥させてください。(目安：強圧で5秒以上)

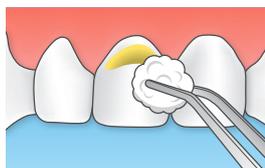
3 光照射



歯科重合用照射器により光照射し、硬化させます。(照射時間は上表参照)

本品のみで処置を完了する場合

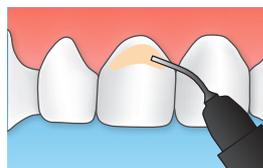
4 未重合層の除去



固くしぼったアルコール綿球等を用いて本品の未重合層を除去します。

コンポジットレジンを充填する場合

4 コンポジットレジン充填



咬耗や摩擦が生じると考えられる部位に対しては、必要に応じて低粘度の光重合型歯科充填用コンポジットレジンを用いて薄く充填し、歯科重合用照射器により硬化させます。

図8-4 知覚過敏抑制の手順

8.5 象牙質レジンコーティング

2019年12月より保険収載が認められた象牙質レジンコーティング法は、間接修復法において窩洞または支台歯形成後・印象採得前に、接着材料によって露出象牙質および歯髄を保護する方法である。診療指針¹⁶⁾によれば概要と手順は以下の通りである。

<概要>

対象：生活歯の支台歯形成（生PZ）に対するレジンコーティング法

目的：1) 切削によって露出した象牙質を被覆し、象牙質・歯髄を保護
 2) 修復物の辺縁封鎖性、窩壁適合性を向上
 3) レジンセメントの象牙質接着性を向上
 4) 冷水痛や咬合痛などの術後不快症状の発現を抑制
 5) 万一修復物が脱離しても支台歯を保護
 6) 二次う蝕の発生を防止

技術料：46点（1歯につき1回に限り）

適応症：生活歯の支台歯で、形成後の歯面を確実に防湿することが可能な症例

禁忌症：唾液、血液、歯肉溝内滲出液などによる被着歯面の汚染が避けられない症例
 レジン系材料に対する過敏症を有する患者における症例

慎重に対応すべき症例：窩縁が歯肉縁下深くに達している症例

1 生活歯歯冠形成



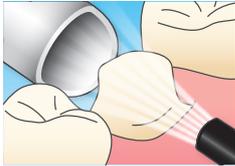
通法に従い、支台歯形成を行います。

2 塗布



支台歯全体にTMR-アクアボンドO-nを塗布します。塗布後は「待ち時間なし」でエアードライに移ることができます。

3 エアードライ



バキュームで吸引しながら、液面が動かなくなるまでエアードライで十分に乾燥させてください。（目安：強圧で5秒以上）

4 光照射



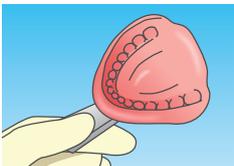
歯科重合用光照射器により光照射し、硬化させます。（照射時間は上表参照）

5 未重合層の除去



固くしぼったアルコール綿球等を用いて本品の未重合層を除去します。

6 印象採得



通法に従い、印象採得を行います。

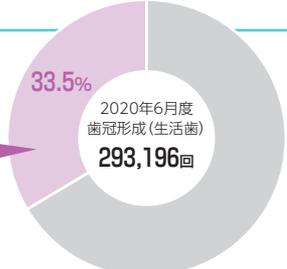
- ・テック製作の際、コーティング面に常温重合レジンが接着する可能性があるため、あらかじめ水溶性分離材を塗布すること。
- ・仮着にはレジン系仮封材やユージノール系仮封材等を使用することは禁忌。
- ・コーティング層は非常に薄いため、印象採得、仮着材除去、装着前処理などでコーティング層を壊さないよう十分に注意すること。
- ・生活歯のインレー・アンレー窩洞では算定不可。

図8-5 象牙質レジンコーティングの手順

マーケティング MEMO

2019年12月の保険適用から半年あまりにも関わらず、象牙質レジンコーティングの実施数が30%を超えています。今後、さらに実施数が増えしていくと予想されます。

出典) 社会医療診療行為別統計 (象牙質レジンコーティング、生活歯 歯冠形成 金属冠、生活歯 歯冠形成 非金属冠)



象牙質レジンコーティング実施

2020年6月度
歯冠形成(生活歯)
293,196回

33.5%

9 生物学的安全性

歯科材料は、口腔内で使用される医療機器にあたるため、患者の健康に対して影響を及ぼさないことが重要である。そのため、細胞毒性、刺激性、感作性、全身毒性、遺伝毒性、埋植などの生物学的安全性評価をおこなわなければならない。本章では、本製品の生物学的安全性を評価の一環として、ヒト単球性白血病細胞株 THP.1細胞（高知大学医学部歯科口腔外科学講座より分譲）を用いて細胞毒性試験を実施した。

試料は次のように調製した。本製品と併用して使用される「TMR-ゼットフィル10.」をメーカー規定の手順に従い硬化し直径15 mm、厚さ1 mmに成型した。「アクアボンドn」あるいは当社従来品を用いて、2枚の「TMR-ゼットフィル10.」を接着させたものを試料とした。対照試料として、「TMR-ゼットフィル10.」を2枚重ねただけのものを対照試料とした（[図9-1](#)）。

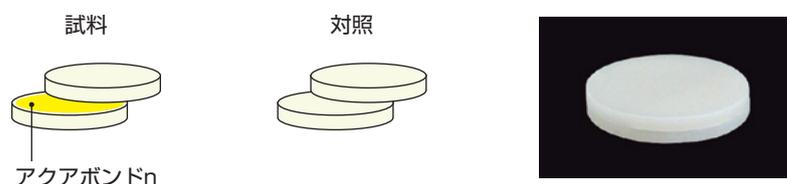
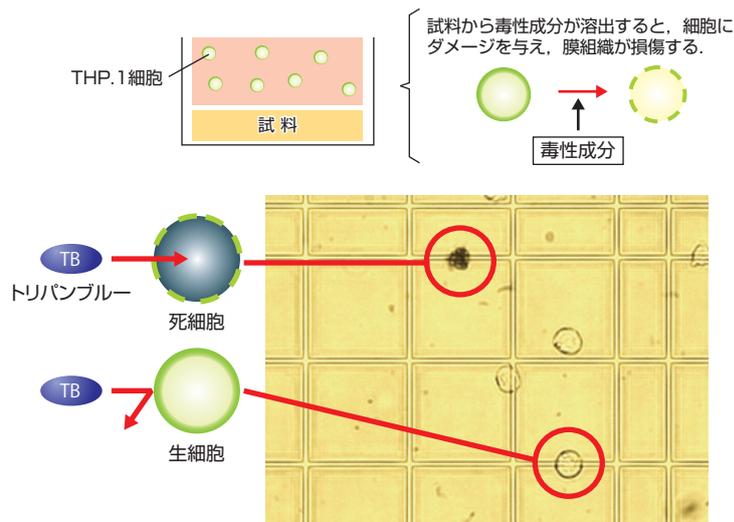


図9-1 細胞毒性試験に用いた試料

作製した試料を24穴プレートのウェルに設置し、10万個/mLに調整したTHP.1細胞を1 mL播種した。これを炭酸ガスインキュベーター（5%CO₂、37℃）内で3日間培養した。培養後の細胞を回収し、トリパンブルー色素排除試験およびWST-8細胞毒性試験をおこなった。

9.1 トリパンブルー色素排除試験²⁰⁾

[図9-1-1](#)に示すように、色素化合物であるトリパンブルーは健康状態の細胞（生細胞）には細胞膜によって取り込まれることがない。一方、毒性成分で細胞膜が破壊された細胞（死細胞）には侵入し細胞（死細胞）内のタンパク質を青く染色する。したがって、細胞の染色の有無を確認することにより、試料の毒性を評価できる。毒性の評価の指標として、顕微鏡観察によって細胞の染色の有無に基づいて生細胞と死細胞を個別に計数することで、細胞生存率を算出する。



染色色素トリパンブルーは膜組織の崩壊した死細胞の中に入り込み、細胞内のタンパク質を青く染める。

図9-1-1 トリパンブルー色素廃除試験試験原理

試料上で培養した細胞を回収後トリパンブルーと混合し、血球計算盤を用いて生細胞および死細胞を個別に計数した。総細胞数（生細胞と死細胞の合計）に占める生細胞の割合を、細胞生存率として算出した。

その結果、「TMR-ゼットフィル10.」を「アクアボンドn」および当社従来品で接着した試料の細胞生存率は同等であった。さらに対照試料である「TMR-ゼットフィル10.」のみの試料と同等の高い細胞生存率を示した（図9-1-2）。

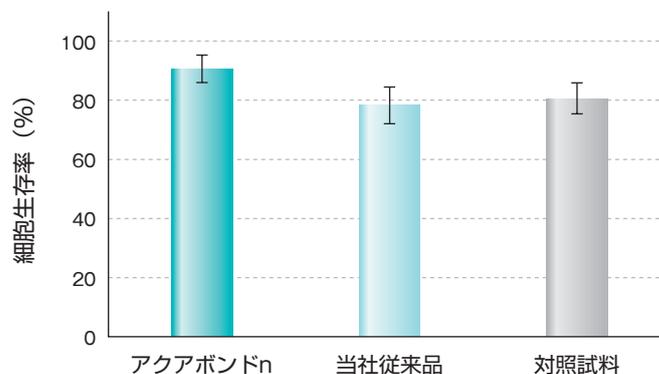


図9-1-2 THP.1細胞の生存率に対する各ボンディング材の影響

9.2 WST-8細胞毒性試験^{21, 22)}

本試験で用いる水溶性テトラゾリウムであるWST-8は脱水素酵素（NAD⁺、NAD(P)⁺+デヒドロゲナーゼ）によって橙色のWST-8ホルマザンへと還元される。ホルマザンの生成量は細胞数に比例するため、この橙色の濃淡を吸光度として測定することで、試料による細胞の代謝活性への影響を分析する。すなわち、橙色が濃い（吸光度が高い）場合、細胞毒性は低く、薄い（吸光度が低い）場合、細胞毒性が高いものと判定する（図9-2-1）。

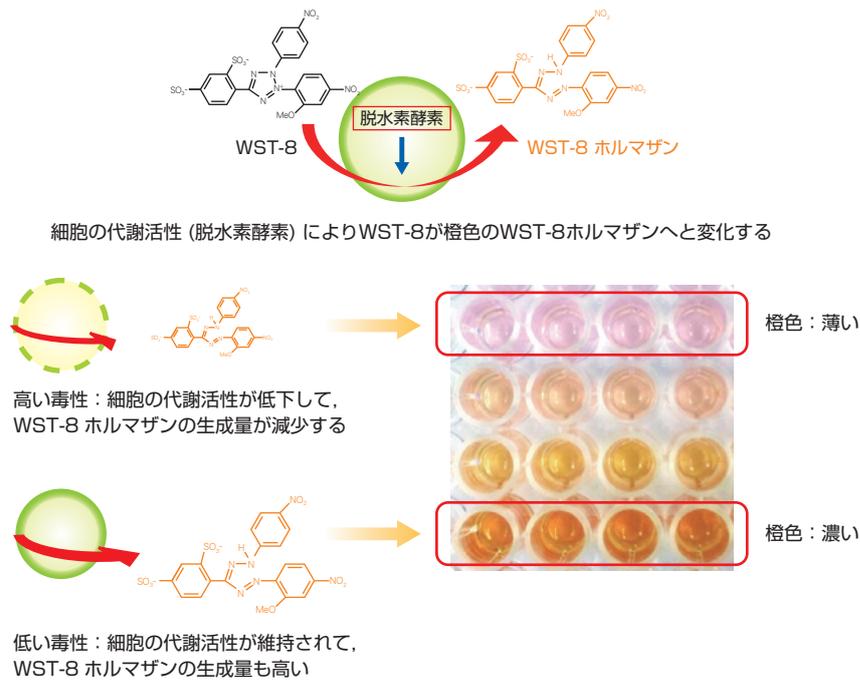


図9-2-1 WST-8細胞毒性試験 試験原理

試料上で培養した細胞を96穴培養プレートのウェルに移し、WST-8試薬を添加した。37℃で2時間静置した後、生成するホルマザン（橙色）の吸光度（450 nm）を測定した。その結果、対照試料の吸光度に対し、「アクアボンドn」および当社従来品はいずれも同等の吸光度を示し、THP.1細胞の代謝活性に対する影響は認められなかった（図9-2-2）。

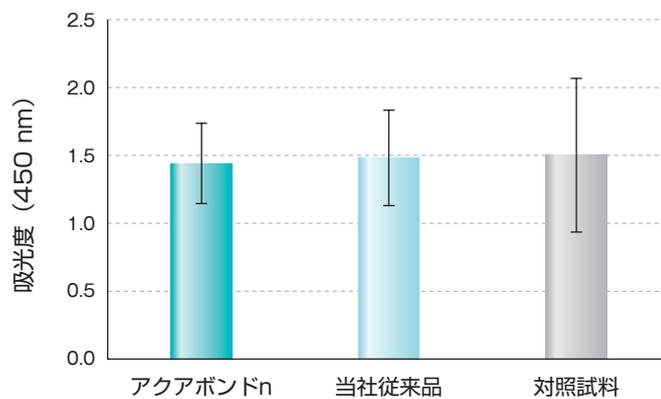


図9-2-2 THP.1細胞の代謝活性に対するボンディング材の影響

トリパンブルー色素排除試験およびWST-8細胞毒性試験の両方の試験において、「アクアボンドn」および当社従来品は、「TMR-ゼットフィル10」のみの対照試料と同等の結果を示した。これらの結果は、「アクアボンドn」が、当社従来品と同様に、生体に対し許容できないような細胞毒性持たない安全性の高い製品であることを示唆している。

10 TMRシリーズによるイノベーション

ヤマキンが展開しているTMRシリーズは、「アクアボンドn」の他に、歯科充填用コンポジットレジン「TMR-ゼットフィル10.」（以下、ゼットフィル）と歯科用覆髄材料「TMR-MTAセメント ミエール（以下、MTAセメント）」から成っており、MIの概念にもとづき、できるだけ抜かず、削らず、自分の歯を残すというミッションで使用される製品シリーズである。

たとえば、歯髄保護処置を例とする。歯髄保護処置は歯髄を守り、自分の歯を残すために重要な処置である。しかしながら、その成功率は低く、その後の感染リスクを回避するために抜髄を選択するケースが多いといわれている。そのようなプロセスギャップを少しでも解消するために、ヤマキンはTMRシリーズの機能性を組み合わせたイノベーションを提案している（図10-1）。

封鎖性が良く、硬化後の安定性に優れ、硬組織誘導能が実験などで認められている「MTAセメント」と、それに接着する機能を持ち、「MTAセメント」による歯髄保護処置後、即座にCR充填を可能とした「アクアボンドn」（接着コンセプトに関しては後述）、そして、フッ化物イオンを放出し、歯質強化や虫歯菌付着抑制が期待できる「ゼットフィル」、それぞれの機能により、歯髄保護の可能性を追求したいと考えている。



図10-1 TMRシリーズによるイノベーション

〈「MTAセメント」と「アクアボンドn」の接着コンセプト〉

水と混和してペースト化する「MTAセメント」は水分が含まれるので、疎水性のボンディング材となじみが良くない。しかしながら、接着性成分に両親媒性を示すM-TEG-P[®]を用いた「アクアボンドn」は親水性のため、水が含まれる状態の「MTAセメント」においてもなじみが良く、セメント表面の凹凸にも密着すると考えられる (図10-2)。

リン酸モノマーは、ジルコニアとの反応性に優れていることが知られているが¹⁵⁻¹⁷、「MTAセメント」にX線造影剤として含まれるジルコニアと「アクアボンドn」に含まれるM-TEG-P[®]のリン酸基が結合することで、接着に有効に働くと考えられる (図10-3)。



図10-2 界面のイメージ

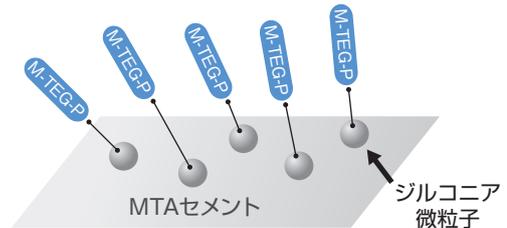


図10-3 M-TEG-Pとジルコニアの結合イメージ

「MTAセメント」に対して、「アクアボンドn」を用いて「ゼットフィル」を接着させるシステム (TMRシリーズ) の接着強さを評価する。「MTAセメント」を水と混和後に、シリコン型につめ、混和してから5分間後、エアー乾燥 (0~30秒) し、その上に「アクアボンドn」を塗布し、エアー乾燥・光照射し、「ゼットフィル (フロー)」を塗布・光照射し、ステンレス棒をレジンセメントで固定したものを試験片として、1日後に引張接着強さを測定した。図10-4に示すように、TMRシリーズを応用することで、一定の接着強さが確認されており、この組み合わせで見出される新しい価値といえる。

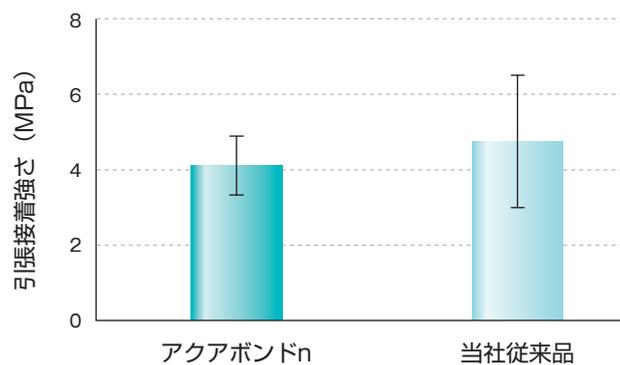


図10-4 TMRシリーズの接着性

おわりに

ヤマキンのボンディング材は、接着において必須でもあり、接着力低下の原因に大きく関わる水と接着材の関係に着目し、「水を味方につける」ことができるような接着の提案を進めている。ここでは、独自開発した両親媒性リン酸モノマーM-TEG-P[®]の存在が鍵となり、このモノマーを最大限に生かす組成を検討することで、M-TEG-P[®]の機能性の効率化を図ることに成功した。また、歯質に対しては、脱灰時間と重合時間を短縮しても当社従来品よりも高い強度の接着性を示す。一方で、ジルコニア、チタンおよび各種貴金属合金に対しては、プライマー無しでも接着させることができ、マルチプライマーと併用する接着システムでは、レジン材料ならびに陶材に対して、再現良く接着させることができる。

さらに、臨床現場の声に応え、においを低減した「アクアボンドn」は使いこなしやすく、汎用性の高い接着材として自信を持って提案できる材料である。さらに、知覚過敏抑制材や歯科用シーリング・コーティング材としての機能が追加されているので、さまざまな症例にご活用いただけると幸いである。

細胞毒性試験は、高知大学医学部歯科口腔外科学講座との共同研究により実施されたものである。

謝辞

細胞試験に関するご指導ならびに、生物学的安全性評価に関するアドバイスをいただいた、高知大学医学部歯科口腔外科学講座 山本 哲也 教授に感謝の意を表します。最後に、本レポートの編集にご協力いただいた関係者みなさまへ心から感謝の気持ちと御礼を申し上げたく、謝辞にかえさせていただきます。

文献

- 1) Van Meerbeek B, Van Landuyt K, De munck J, Hashimoto M, Peumans M, Lambrechts P, Yoshida Y, Inoue S, Suzuki K. Technical-sensitivity of contemporary adhesives. Dent Mater J, 24: 1, 2005.
- 2) ヤマキン博士会監修：マルチプライマーシリーズ製品レポート。YAMAKIN, 2017.
- 3) Kimura, H, Sakamoto T, Yamada B: Noble primer composed of a silane coupling agent and multi-thiol for adhesion of versatile dental materials. J. Appl. Polym. Sci, 135(46), 46763, 2018.
- 4) ヤマキン博士会監修：歯科用ボンディング材の基礎知識と製品レポート。YAMAKIN, 2016.
- 5) ヤマキン博士会監修：TMR-アクアボンド0製品レポート。YAMAKIN, 2018.
- 6) 鷺野崇, 福西一浩, 南昌宏, 石川知弘監修：接着の仕組みと使いこなし。QDT, 41: 54-63, 2016.
- 7) 坂本猛, 木村洋明, 大川内一成, 水田悠介, 林未季. 歯科用接着材の化学（総説）：日本接着学会誌, 52(5), 152-165, 2016.
- 8) Yoshida Y, Yoshihara K, Nagaoka N, Hayakawa S, Torii T, Ogawa T, Osaka A, Van Meerbeek B. J Dent. Res., 91: 376, 2012.
- 9) Shimoe S, Hirata I, Otaku M, Matsumura H, Kato K, Satoda T: Formation of chemical bonds on zirconia surfaces with acidic functional monomers. Journal of Oral Science, 60(2), 187-193, 2018.
- 10) SS Atsu, MA Kilicarslan, HC Kucukesmen, PS Aka: Effect of zirconium-oxide ceramic surfacetreatments on the bond strength to adhesive resin. Journal of Prosthetic Dentistry, 95 (6), 430-436, 2006.
- 11) A Piwowarczyk, H-C Lauer, JA Sorensen: The shear bond strength between luting cements and zirconia ceramics after two pre-treatments. Operative Dentistry, 30(3), 382-388, 2005.
- 12) Hicks J, Garcia G, Milano M, Flaitz C: Compomer materials and secondary caries formation. Am. J. Dent., 13(5), 231-234, 2000.
- 13) Han L, Edward C, Okamoto A, Iwaku M: A comparative study of fluoride-releasing adhesive resin materials. Dent. Mater. J., 21(1), 9-19, 2002.
- 14) 糸田俊之, 岩井陽一郎, 岡本美々子, 田代陽子, 仲保聡, 西村佳浩, 永峰道博, 鳥井康弘, 吉山昌弘：フッ素徐放性接着システムによる脱灰象牙質の再石灰化。日歯保存誌, 44, 175-181, 2001.
- 15) Okuyama K, Nakata T, Pereira PN, Kawamoto C, Komatsu H, Sano H: Prevention of artificial caries: effect of bonding agent, resin composite and topical fluoride application. Oper. Dent., 31 (1), 135-142, 2006.
- 16) 木地村太基, 小松久憲, 松田康裕, 奥山克史, 衣川道彦, 佐野英彦：フッ素徐放性レジンの齲蝕抑制効果のpH サイクルによる評価。日歯保存誌, 52, 39-50, 2006.
- 17) 一般社団法人 日本接着歯学会 学術委員会：保険収載された象牙質レジンコーティング法の診療指針。2020年4月15日。
- 18) 田上順次, 奈良陽一郎, 山本一世, 齊藤隆史監修, 第五版保存修復学21, 283-285, 2017, 永末書店。
- 19) 中野恵, 高田恒彦, 二階堂徹, 田上順次：印象材が象牙質レジンコーティング面とレジンセメントとの接着に及ぼす影響。接着歯学 17; 198-204, 1999.
- 20) Correa GT, Veranio GA, Silva LE, Hirata Junior R, Coil JM, Scelza MF. Cytotoxicity evaluation of two root canal sealers and a commercial calcium hydroxide paste on THP1 cell line by Trypan Blue assay. J. Appl. Oral Sci., 17: 457-461, 2009.
- 21) Ishiyama M, Miyazono Y, Sasamoto K, Ohkura Y, Ueno K, A Highly Water-Soluble Disulfonated Tetrazolium Salt as a Chromogenic Indicator for NADH as Well as Cell Viability. Talanta, 44: 1299-1305, 1997.
- 22) Tominaga H, Ishiyama M, Ohseto F, Sasamoto K, Hamamoto T, Suzuki K, Watanabe M, A water-soluble tetrazolium salt useful for colorimetric cell viability assay. Anal. Commun., 36: 47-50, 1999.

KZR - CAD ジルコニア

管理医療機器 歯科切削加工用セラミックス 認証番号：226AABZX00026000

KZR - CAD チタン

管理医療機器 歯科非铸造用チタン合金 認証番号：225ACBZX00052000

ワイビーゴールドタイプI-n

管理医療機器 歯科铸造用金合金 認証番号：221ACBZX00090000

ユニ1-n

管理医療機器 歯科铸造用銀合金 第2種 認証番号：221ACBZX00089000

バラゼット12-n

管理医療機器 歯科铸造用金銀パラジウム合金 認証番号：221ACBZX00087000

KZR - CAD ブロック3 ガンマシート

管理医療機器 歯科切削加工用レジン材料 認証番号：229AABZX00114000 CAD/CAM 冠用材料(Ⅲ) 大白歯用

ゼオセライト

管理医療機器 歯科メタルセラミック修復用陶材 認証番号：221AABZX00172000

アイゴスボンド

管理医療機器 歯科用象牙質接着材(歯科セラミックス用接着材料)(歯科金属用接着材料) 認証番号：226AABZX00133000

製品ラインアップ



TMR AQUABOND 0-n

～臨床現場の声に応じて進化(5つの特徴にプラスワン)～

TMR-アクアボンド0-n

管理医療機器 歯科用象牙質接着材(歯科セラミックス用接着材料、歯科金属用接着材料、
歯科用知覚過敏抑制材料、歯科用シーリング・コーティング材)
認証番号: 303AABZX00049000

関連商品

歯科充填用コンポジットレジン



ア・ウーノ ユニバーサル ベーシック



ア・ウーノ ユニバーサル St ベーシック



ア・ウーノ ローフロー ベーシック



ア・ウーノ ローフロー St ベーシック



ア・ウーノ フロー ベーシック



ア・ウーノ フロー St ベーシック

保険適用

A·U·NO

色に合う 好みに合う

ア・ウーノ

管理医療機器
歯科充填用コンポジットレジン
認証番号: 304AABZX00013000

シェード	ベーシック		
色調タイプ	ノーマル	St	
ベスト	ユニバーサル	●	●
性状	ローフロー	●	●
	フロー	●	●



保険適用

TMR Z Fill 10.

フッ素徐放性と強度の両立を実現

TMR-ゼットフィル10.

管理医療機器 歯科充填用コンポジットレジン
認証番号: 230AABZX00066000

歯科用覆髄材料



TMR MTA cement Mielle

操作性はそのままにX線造影性60%向上※ ※弊社従来品比

TMR-MTAセメント ミエール

管理医療機器 歯科用覆髄材料
認証番号: 231AABZX00017000

【適応】非感染歯髄で、窩洞形成や外傷によって偶発的に生じた2mm以内の露髄に用いる。

歯科接着用レジンセメント（光重合型）

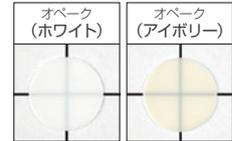


練和不要のCAD/CAM冠専用光重合型レジンセメント

KZR-CAD マリモセメントLC

管理医療機器 歯科接着用レジンセメント（光重合型）
認証番号：302AABZX00007000

色調：オベーク（ホワイト）
オベーク（アイボリー）



歯科用エッチング材（歯科セラミックス用接着材料）



Multi Etchant

マルチに使えるエッチャント&クリーナー

マルチエッチャント

管理医療機器 歯科用エッチング材（歯科セラミックス用接着材料）
認証番号：228AABZX00136000

歯科金属用接着材料（歯科セラミックス用接着材料、歯科レジン用接着材料）



Multi Primer LIQUID
マルチプライマー

アクアボンドO-nの陶材・レジン接着に

マルチプライマー

管理医療機器 歯科金属用接着材料（歯科セラミックス用接着材料、歯科レジン用接着材料）
認証番号：226AABZX00069000

歯科重合用光照射器



Penguin

スツと届く ぱっ!と固まる

ペンギン アルファ

一般医療機器 特定保守管理医療機器
届出番号：13B2X00316310018

販売元（ペンギン アルファ）
YAMAKIN株式会社
〒543-0015 大阪市天王寺区真田山町3番7号

製造販売元（ペンギン アルファ）
ビヤス株式会社
〒132-0035 東京都江戸川区平井 6-73-9

製造販売元 YAMAKIN株式会社 〒781-5451 高知県香南市香我美町上分字大谷 1090-3

M-TEG-PはYAMAKIN株式会社の登録商標です。
製品や模型、パッケージなどの色は、印刷インクや撮影条件などから、実際の色とは異なって見えることがあります。記載のデータは条件によって異なる場合があります。
製品の仕様、外観や容器などは予告なく変更する場合があります。製品を使用するときは必ず最新の電子添文をご確認ください。

(氏名掲載は50音順)

監修者

・ヤマキン博士会 会員

安楽 照男

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（工学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 技術顧問

糸魚川 博之

北海道大学大学院博士課程単位取得後退学 博士（理学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 品質管理課 学術技師

加藤 喬大

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（工学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 取締役 主席研究員

坂本 猛（ヤマキン博士会幹事長）

北海道大学大学院博士課程修了 博士（薬学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 常務執行役員 兼 技術・情報マーケティング本部 本部長
高知大学医学部 特任准教授

佐藤 雄司

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（学術）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 企画戦略室 室長

田中 秀和

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（工学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 開発部 主幹研究員
高知工科大学 客員研究員

・ヤマキン博士会 準会員

竹川 知宏

高知大学大学院修士課程修了 修士（学術）
博士後期課程在学中（高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻）
YAMAKIN株式会社 地金部 係長

林 未季

高知大学大学院博士課程修了 博士（医学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 生体科学安全研究室 主任研究員

松浦 理太郎

愛媛大学大学院連合博士課程修了 博士（農学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 開発部 上席主幹研究員
高知大学医学部 特任研究員

水田 悠介

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（工学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事
YAMAKIN株式会社 開発部 有機材料開発課 リーダー（上級主任研究員）

山添 正稔

松本歯科大学大学院博士課程修了 博士（歯学）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 常任理事
YAMAKIN株式会社 主席研究員
松本歯科大学 非常勤講師

山本 裕久（ヤマキン博士会会長）

高知工科大学大学院博士課程修了 博士（学術）
一般財団法人ヤマキン学術文化振興財団 理事長
YAMAKIN株式会社 会長

山田 文一郎（ヤマキン博士会相談役）

元 大阪市立大学工学部長 大阪市立大学名誉教授 工学博士
YAMAKIN株式会社 顧問

溝渕 真吾

愛媛大学大学院修士課程修了 修士（理学）
博士後期課程在学中（高知工科大学大学院工学研究科基盤工学専攻）
YAMAKIN株式会社 開発部 有機材料開発課 レジン開発チーム
上級主任研究員（プロジェクトリーダー）

執筆者

坂本 猛

前掲

林 未季

前掲

水田 悠介

前掲

TMR-アクアボンド0-n 製品レポート ～臨床現場の声に応じて進化（5つの特徴にプラスワン）～

2023年2月1日 第1版発行

発行責任者 山本 樹育

発行所 YAMAKIN株式会社

〒781-5451 高知県香南市香我美町上分1090番地3

URL <https://www.yamakin-gold.co.jp>

本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。

創業70周年に向けて

70

FOUNDATION III

変化は決して発展を伴わないが、
発展は変化なしにはありえない。

YAMAKIN株式会社

本社：〒781-5451 高知県香南市香我美町上分1090番地3
生体科学安全研究室：〒783-8505 高知県南国市岡豊町小蓮 高知大学医学部YAMAKIN次世代歯科医療開発講座
大阪・東京・名古屋・福岡・仙台・高知・生体科学安全研究室・YAMAKINデジタル研究開発室
<https://www.yamakin-gold.co.jp>

● 製品に関するお問い合わせはこちら

テクニカルサポート ☎ 0120-39-4929 (9:00~17:00)

サンキューボックス