

クリニカル・アドバンス①

# Clinical Advance

大阪大学歯学部附属病院 口腔補綴科  
大阪大学大学院歯学研究科 クラウンブリッジ補綴学分野

山中あずさ 峯 篤史  
Azusa YAMANAKA Atsushi MINE

## 次世代の2ステップボンディングシステム 「ジーシー G2- ボンド ユニバーサル」



### 象牙質接着システムの動向

近年、歯科用接着材の開発・発展により、健全歯質を削らずに接着を活用した修復治療が可能になっている。しかし、口腔内という過酷な環境で接着性を維持することは困難であり、再治療が必要となるケースは少なくない。したがって、接着技術の向上は、より長期に安定する修復治療に不可欠である。

このように長期耐久性のある接着材が求められるなかで、**コンポジットレジンへの接着安定性や吸水劣化を防ぐことを目的に開発されたのが、今回紹介する2ステップボンディングシステム「G2- ボンド ユニバーサル」(ジーシー)である(図1)。**

本製品の最大の特徴は、従来は象牙質接着システムに欠かせないとされてきた、リン酸エステル系モノマー (MDP) や2-ヒドロキシエチルメタクリレート (HEMA) といった親水性モノマーを2ステップ目のボンディングに使用しないことで、ボンディング層の疎水性と強度を向上させているところにある。



図1 G2- ボンド ユニバーサル (ジーシー)



### 接着システムの 世代における分類

接着システムの定義は、第7世代まで確立している(図2)。さらに現在、臨床においてはその次の第8世代まで存在している。

第1、2世代は、エナメル質のみのリン酸エッチングと象牙質のボンディングからなる2ステップシステムである。これらの世代は、接着強さが10MPa以下と低かった。第3世代にはプライマーが用いられ、第4世代ではリン酸を用いてエナメル質と象牙質を同時にエッチングする「トータルエッチング」となり、3つのステップのシステムとなった。第5世代では、接着のステップ数を減らす材料

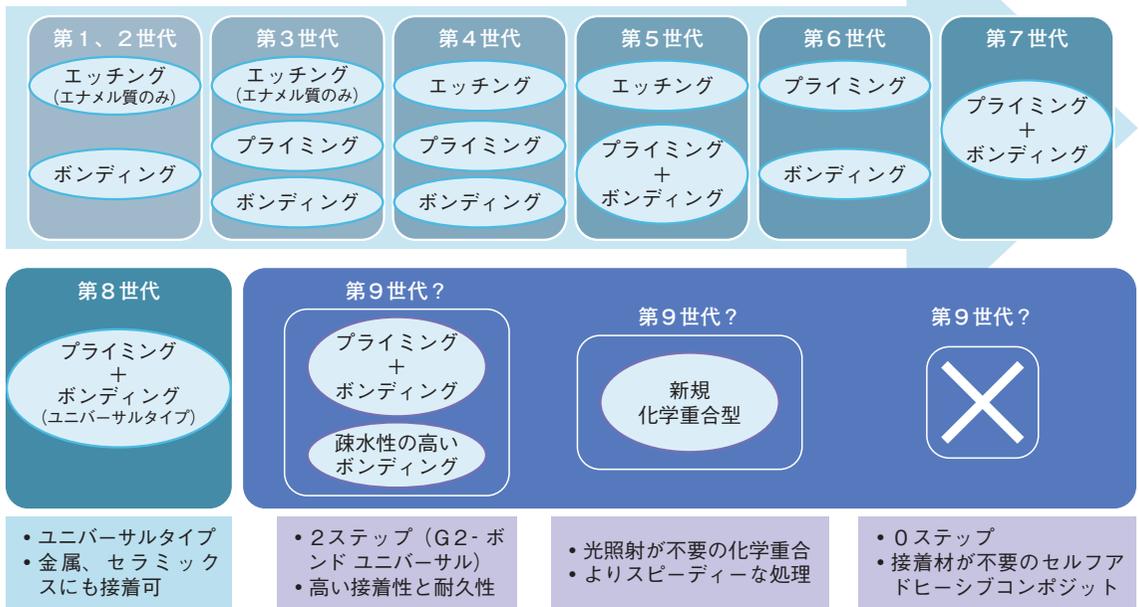


図2 各世代の接着システム (第9世代についてはコラムでさらに解説)

が開発され、プライミングとボンディングを1つのステップとしたウェットボンディングシステムが確立された。

一方、エッチングとプライミングが1つのステップとなり、エッチング後の水洗が不要となった第6世代がわが国を中心に開発され、そのテクノロジーは第7世代に続き、エッチング、プライミング、ボンディングがまとめられた1ステップボンディングシステムが開発された。

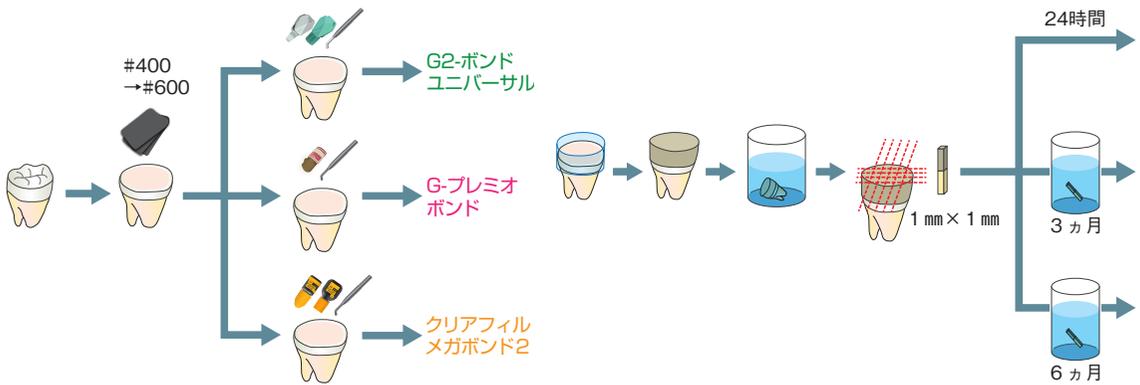
第8世代はユニバーサルタイプ、つまり歯質だけでなく、金属やセラミックスにも接着できる1ステップシステムが提唱されている<sup>1)</sup>。接着システムの動向を考えると、世代が進むにつれてステップ数は減少しており、第8世代では多目的に使用できる接着材が実用化されている。

## 次世代 (第9世代?) 2ステップボンディングシステム

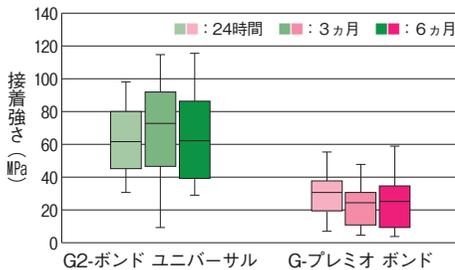
第7、8世代の1ステップシステムは、臨

床操作が簡便であるため広く使用されているが、接着性と耐久性の点で2ステップボンディングシステムには及ばないことが報告されている<sup>2,3)</sup>。

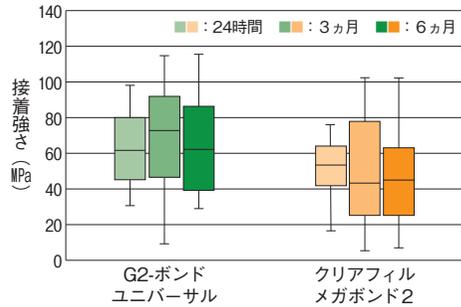
G2-ボンドユニバーサルは2ステップのシステムであるが、1ステップ目のプライマーにはG-プレミオボンド (1ステップシステム:ジーシー) のテクノロジーを応用しており、従来の世代分類には当てはまらない新世代の接着システムである。前述したように、接着システムの動向を考えるとステップ数は減少してきたが、第9世代として2ステップシステムに戻ると考えることができ (図2)、接着性(とくに耐久性)の観点からそのメリットは多大である。実際に、**G2-ボンドユニバーサルは2ステップとすることで、1ステップや従来の2ステップでは困難なレベルまで疎水性を高めることができ、長期耐久性に優れている。**



図③ 試料作製方法。歯冠象牙質に各接着材を使用し、コンポジットレジンを築盛後、1mm×1mmのビームを切り出し、引張試験を行う



図④ 引張試験結果。G2-ボンド ユニバーサルでは、G-プレミオ ボンドと比較して、接着強さが高いことがうかがえる



図⑤ 引張試験結果。G2-ボンド ユニバーサルでは、クリアフィル メガボンド2と比較して、接着強さが高いことがうかがえる



## われわれの報告

接着材の性能を確認するため、微小引張接着試験を用いて評価を行った<sup>4)</sup>。この試験法は、感度が高く、1歯から多くの試料を作製できるため、長期の接着性の評価が可能である。試料作製方法を図③に示す。なお、本実験における6ヵ月の水中保管は、1mm<sup>2</sup>の界面が水に直接晒されているため、臨床における6ヵ月よりも大きな負荷となる。各接着材の試験結果の比較を、図④、⑤に示す。

### ●G2-ボンド ユニバーサル vs G-プレミオ ボンド

図④の結果からあきらかなように、G2-ボンド ユニバーサルはG-プレミオ ボンドと比較して接着強さが有意に高かった。G-プ

レミオ ボンドは1ステップシステムとして優れた接着性を有するが、コンポジットレジンと接着材間での破壊が多く認められている。G2-ボンド ユニバーサルではこの部分における接着性が向上しており、そのことは破断面観察であきらかとなっている(後述)。

### ●G2-ボンド ユニバーサル vs クリアフィル メガボンド2(クラレノリタケデンタル)

G2-ボンド ユニバーサルは、最も接着性の信頼性が高い<sup>5)</sup> 第6世代の2ステップセルフエッチングシステムであるクリアフィルメガボンド2と比較して、接着強さが有意に高かった(図⑤)。2ステップ目のボンディングにはHEMAとMDPが配合されておらず、その疎水性の高いボンディング層で界面を封鎖することにより、象牙質とコンポジットレ

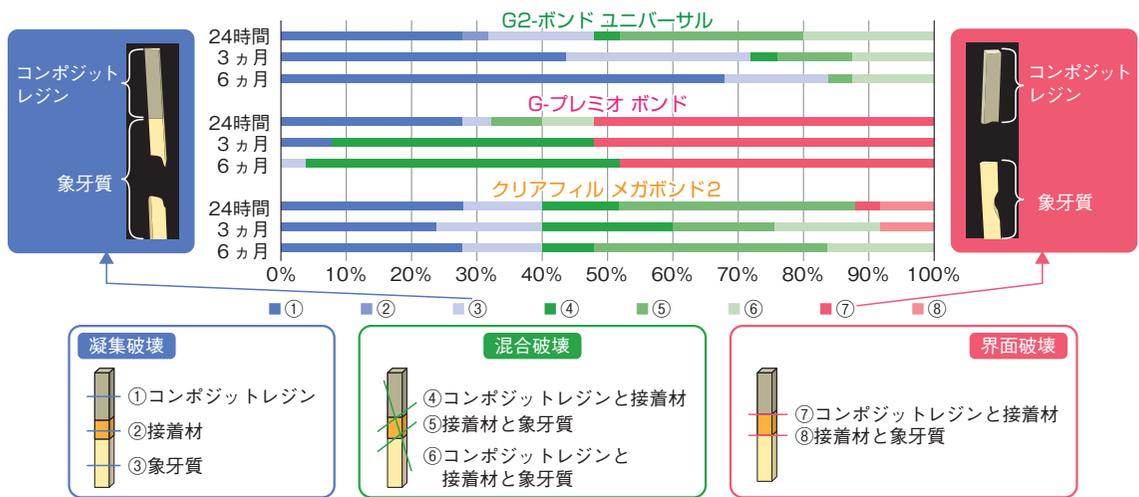


図6 引張試験による破断様相の結果。G2-ボンド ユニバーサルでは、界面破壊が観察されず、他製品と比較して接着強さが高いことがうかがえる

ジンとの結合安定性が高まったと考えられる。

引張試験における破断の様子を、図6に示す。接着試験後に破断面を観察することで、試料のどの部位で破壊が生じたかがわかり、接着材の性能にかかわる重要な情報を得ることができる。接着材の接着強さが低いと、図6の右（赤枠）に示すようなコンポジットレジンと接着材間または、接着材と象牙質間で壊れる界面破壊がみられるようになる。一方で、接着強さが高いと、図6の左（青枠）を代表とするコンポジットレジンや象牙質内で壊れる凝集破壊（図中①・②・③）や、界面破壊と凝集破壊の両方が混在した壊れ方である混合破壊（図中緑枠④・⑤・⑥）が多くみられるようになる。様相の結果において、G2-ボンド ユニバーサルでは界面破壊（図中赤枠⑦・⑧）が認められなかった。また、6ヵ月後のデータでは、G2-ボンド ユニバーサルの84%の試料で凝集破壊が認められた。

これらの結果から、G2-ボンド ユニバーサルは他製品より高い接着性があること、長期においても安定した接着強さを示すことが確認できた。



## 他の研究グループからの報告

G2-ボンド ユニバーサルは、ボンディング層の疎水性が向上していると説明した。実際に吸水試験において、G2-ボンド ユニバーサルは他製品と比較して有意に吸水量が小さいことがあきらかとなっている<sup>6)</sup>。また、曲げ試験では、他製品が水中浸漬後7日で大きく強度が低下しているのに対し、G2-ボンド ユニバーサルでは著しい低下はみられなかった<sup>6)</sup>。

これらの結果から、G2-ボンド ユニバーサルでは吸水しやすいHEMAが含まれていないことによって、長期における物性の低下が、HEMAを含有している他製品と比較して少なくなったのではないかと考えられる。



## 使用方法

図7～11に、G2-ボンド ユニバーサルの接着ステップを示す。窩洞に1-プライマーを塗布し、10秒間放置する（図7）。続いて、強圧エアで5秒間乾燥させ（図8）、2-ボンドを塗布する（図9）。次に、弱圧エア

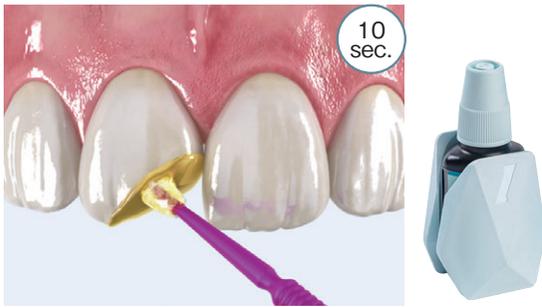


図7 1- プライマー塗布。10秒間放置



図8 強圧エアで5秒間乾燥



図9 2- ボンド塗布



図10 弱圧エアでボンドを均一に延ばす



図11 光照射

ーでボンドを均一に延ばす(図10)。最後に、光照射を行う(図11)。手順は従来の2ステップシステムと同様であるため、理解しやすい。

## まとめ

G2- ボンド ユニバーサルは、1ステップボンディングシステムの技術を応用した新規プライマーに、疎水性の高い新規ボンディングを組み合わせた「新たな2ステップボンディングシステム」であり、次世代の接着材といえる。今回の研究結果で、象牙質とコンポジットレジンとの接着性の向上があきらか

になっており、臨床においても長期の安定が得られると考えられる。

## 【参考文献】

- 1) Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M: From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. J Adhes Dent, 22: 7-34, 2020.
- 2) Tay FR, Pashley DH: Have dentin adhesives become too hydrophilic? J Can Dent Assoc, 69: 726-731, 2003.
- 3) Sarr M, Kane AW, Vreven J, Mine A, Van Landuyt KL, Peumans M, et al: Microtensile bond strength and interfacial characterization of 11 contemporary adhesives bonded to bur-cut dentin. Oper Dent, 35: 94-104, 2010.
- 4) Yamanaka A, Mine A, Matsumoto M, Hagino R, Yumitate M, Ban S, Ishida M, Miura J, Van Meerbeek B, Yatani H: Back to the multi-step adhesive system: a next-generation two-step system with hydrophobic bonding agent improves bonding effectiveness. Dent Mater J, 2020 in press.
- 5) Mine A, De Munck J, Cardoso MV, Van Landuyt KL, Poitevin A, Kuboki T, et al: Bonding effectiveness of two contemporary self-etch adhesives to enamel and dentin. J Dent, 37: 872-883, 2009.
- 6) 藤森健輔, 有田明史, 熊谷知弘: 新規2ステップボンディング材におけるボンドの機械的特性評価. 日本歯科理工学会誌, 39: 20, 2020.

## 正確にはプライミングではなく、 ファーストボンディング（プライミングあり）!?



▲ G2- ボンド ユニバーサルは第6世代ではない!

図2にて各世代の接着システムについて述べた。プライミングとボンディングが1ステップになった第7世代までの定義は、共通の見解となっている。また、歯質だけでなく、金属やセラミックスなどの複数の被着体に使用できる接着材を第8世代とする考えも広く賛同を得られるであろう。今後検討していくべき第9世代については、いくつかの候補がある（図2）。その筆頭に挙げられるのがG2- ボンド ユニバーサルである。

本接着材は2ステップなので、第6世代の接着材と考える臨床家も多いと想像する。実際に説明書でも、第1ステップを「プライミング」、第2ステップを「ボンディング」としている。しかしながら、歯面に対する処理を正確に捉えると、G2- ボンド ユニバーサルは第8世代の進化形であり、第6世代と異なる。つまり、第1ステップにおいてG- プレミオ ボンド（第8世代）のオールインワンの技術が発揮されており、ボンディング処理も行われている。したがって、正確に表現すると、第1ステップの処理は単なる「プライミング」ではなく、「**ファーストボンディング（プライミングあり）**」となる。そして、第2ステップで用いるボトルの中身にはボンディング層の疎水性と強度を向上させるために、プライミング効果のある成分が配合されていないので、「**セカンドボンディング（プライミングなし）**」となる。

ただ、このようなことを考えるのは接着マニアだけであろう。やはり第1ステップに使用するものはプライマーで、第2ステップに使用するものはボンディングのほうがわかりやすいのかもしれない。