

アナログとデジタルの共存 デジタル技術を援用した補綴臨床の現状と展望

新谷明一

Relationship between analog and digital technology
Current status and future prospectives of prosthetic fabrication using digital technology

Akikazu Shinya, DDS, PhD

抄 録

現在の補綴治療では、日常的にデジタルを意識した臨床がもともとめられている。CAD/CAM 冠の支台歯形成時には、それに適した形態にしないと誤差が生じ、臨床トラブルに直結する。また、前歯部でモノリシッククラウンを選択した場合、ある程度の色調再現は可能であるが、補綴専門医に求められているシェードマッチングを得ることは困難である。そのため、アナログとデジタルのどちらを選択すればよいのか、製作方法と材料選択には迷う点が多々ある。また、装置の製法ではデジタルとアナログの境界線も明確ではない。そのため現状では、デジタル技術を正しく理解し上手に使うのみならず、アナログ技術を併用することで、良好な結果が得られる。

キーワード

CAD/CAM 法, コンポジットレジンブロック, ジルコニア, モノリシック, デジタルデンティストリー

ABSTRACT

Now these days, fixed prosthodontic treatment requires digital awareness in daily clinical work. When preparing the abutment tooth for a CAD/CAM crown, clinical errors will occur if the abutment shape is not appropriate for CAD/CAM technique, it will directly affect to problems. Furthermore, when a monolithic crown is selected for the anterior tooth, it is not possible to achieve the shade matching required for prosthodontists. Therefore, there are many points of confusion regarding fabrication methods and material selection, such as whether to choose analog or digital. In addition, the boundary between digital and analog is not clear in the fabrication process. Finally, brilliant result can be obtained not only by digital technology, but also for using analog technology in combination.

Keyword:

CAD/CAM, Resin composite block, Zirconia, Monolithic, Digital dentistry



図1 アナログの代表：フレームと前装材料で構成される多層構造のレジン前装FRCジャケットクラウン



図3 デジタル・アナログ時代の歯冠補綴装置の比較



図2 デジタルの代表：デジタル印象，多色セラミックブロックによる単一構造のポーセレンジャケットクラウン

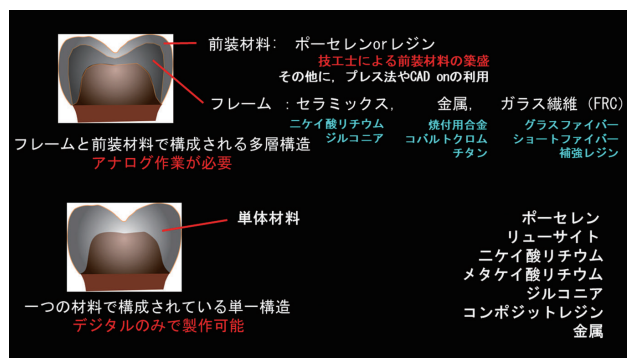


図4 デジタル・アナログ時代の補綴装置の設計

I. はじめに

歯科医療へのデジタル技術導入は目覚ましく、日常臨床の場においてもさまざまな工程がデジタル化されている。そして、現在の日本では最後白歯を除いたすべての歯に対して、コンポジットレジンブロックから切削加工にて製作されたCAD/CAM冠が保険診療にて使用可能となっており、日常的にデジタル技術を意識した臨床がもともとめられている¹⁾。CAD/CAM冠はCAD/CAM法にて製作される。そのため、支台歯はCAD/CAMに適した形態^{2,3)}でないと、スキャンングやミリング時に誤差が生じやすく、完成したクラウンに不都合な影響を与えることになる。適合の悪いクラウンは、昨今まで話題となっていた早期脱離や破折の原因となる⁴⁻⁶⁾。また、前歯部に用いられるブロックには、エナメル色と歯頸部色を含んだ2色以上のグラデーションが付与されているため、ある程度の歯の色調が再現されているが、前歯部に用いることがギリギリ可能な審美性と感じている。つまり現状ではフルデジタルで製作されたクラウン・ブリッジはすべての

症例に対して、容易に選択できるとはいわず、デジタル技術を正しく理解し上手に使うのみならず、アナログ技術も併用することが求められると考えられる。本稿では、2022年度の日本補綴歯科学会東関東支部学術大会で開催された生涯学習公開セミナーでの「アナログとデジタル共存時代の歯科生体材料を再考する アナログとデジタルの共存 デジタル技術を援用した補綴臨床の現状と展望」にて講演させていただいた内容を基に、臨床症例から考察したアナログとデジタルの共存について解説する。

1. クラウン・ブリッジ製作法の変遷

歯科精密鋳造法の発展に伴い、全部金属冠や陶材焼付冠のフレームが高い精度で製作可能となった。この背景には作業用模型製作に用いられる石膏と印象材の精度の向上がある。また、レジンジャケットクラウンやポーセレンジャケットクラウンも同様に、作業用模型もしくは耐火模型上に築盛することで製作されていた(図1)。CAD/CAMが歯科に導入されはじめた時代は、ポーセレンやチタンなどから削り出して製作される補綴装置が代表的であり、その設計は現在、注目されて

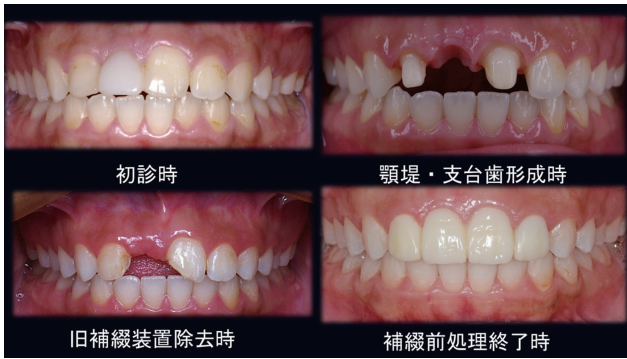


図5 デジタル・アナログ併用：ポーセレン前装ジルコニアブリッジ



図6 ポーセレン前装ジルコニアブリッジ装着後の口腔内，リップラインおよび顔貌

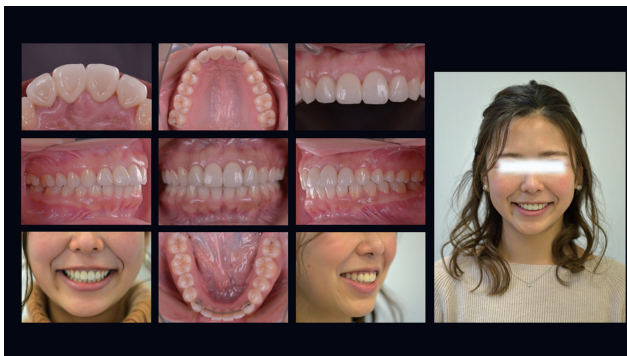


図7 ポーセレン前装ジルコニアブリッジ装着後9年経過時の口腔内，リップラインおよび顔貌



図8 フルデジタル：多色セラミックディスクを用いたモノリシックジルコニアクラウン

いるモノリシック構造であった（図2）。ジルコニアが導入されると、CAD/CAMはさらに注目され始め、多くの研究が進められた。私の所属講座でも倣い加工専用の国産CAD/CAM機器等を用いて、計測精度や加工精度、加工バーの劣化やチタンクラウンの適合精度と臨床治験などが行われていた。私の数少ない臨床経験では、その時点でも臨床的には十分な精度を有することが実感できたが、内壁性窩洞では装着する気にならないレベルであったことを記憶している。また、その時にはCAD/CAM法によるモノリシッククラウンで審美的な補綴装置が製作できるとは思ってもいなかった。私もいくつかの症例で挑戦してはみたものの、満足いく結果を得ることは難しかった（図3）。

補綴装置製作過程の多くがデジタル化されたことで、補綴装置の設計は単一材料によるモノリシック構造か、フレームと前装材料からなる多層構造の2種類に分けられ、補綴装置製作時には症例に合わせて選ぶ必要がある。また、この場合の単一材料とは一体化されたブロックやディスクなどを用いた場合で、ジャケットクラウンのように同じ材料を積層して製作されたものは含まないこととする。本稿ではフルデジタル

によって製作された装置をモノリシック構造、アナログによって製作される装置を多層構造と仮に定義したい（図4）。

2. フルデジタル（モノリシック構造）とアナログ（多層構造）

高い強さを有するフレーム材料は色調再現性に乏しいため、前装が必須であった。そのため、フレームと前装材料による多層構造となり、応力の集中する外表面は弱いポーセレンとなっていた。また、ジルコニアと前装用ポーセレンの熱膨張係数の違いや焼き付き機構が明らかでなかったことなどから、前装材料のチッピングなどが散見され、陶材焼付冠ほどの信頼性を獲得するには至らなかった。しかしながら、現在では専用陶材の開発やフレーム形態の最適化が行われたことから、高い信頼性と優れた審美性を有する補綴装置として認識されている（図5～7）。前装材料のチッピングやフレームを含んだ破折は、材料の基礎的物性のみならず、補綴装置の設計にも大きく影響される。光透過性を有するジルコニアが歯科に導入されてからは、これらの問題を解決するために、モノリシックジ

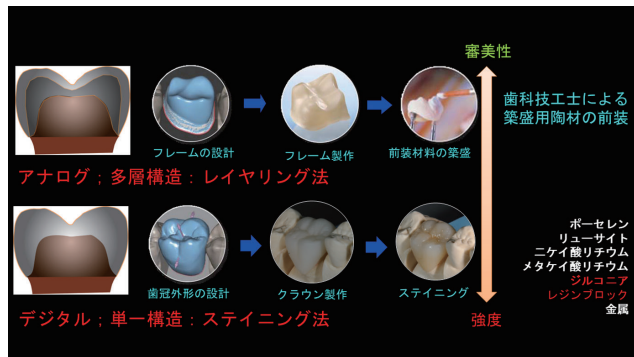


図 9 デジタル・アナログ時代の補綴装置の違い



図 10 CAD/CAM 冠で使用できるコンポジットレジンプロック



図 11 前歯部 CAD/CAM 冠の審美性



図 12 CAD/CAM で使用できるセラミックス

ルコニアに注目が集まってきた。モノリシック構造は単一構造であるため、前装材料が存在せず、また外表面に高い強さを有する材料が存在するため、破折等のトラブルを減少させることができる。しかしながら、色調再現はステイニングに頼らざるをえないため、その再現性には限界がある。さらに、ジルコニアの場合では、その独特な発色性のため、天然歯とのシェードマッチングを困難とさせている (図8)。つまり、単一構造体からなるモノリシック構造では、限られた既成の色調から構成されており、外部にステイニングすることで、歯の色を再現することから、高い審美性を得ることは困難であるが、高い強さを有する材料のみで構造体を構成できるため、破折抵抗性に優れることとなる (図9)。

3. デジタル技術に用いられる材料

2014年4月以降、コンポジットレジンプロックを切削加工にてクラウンとする CAD/CAM 冠が多くの臨床で使用されている。CAD/CAM 冠は、作業用模型をラボスキャナーにて計測し、そのデータを基に構築したデジタル模型上にてクラウンを設計する。完成

したデジタルクラウンデータはミリング機へ転送され、そのデータを基に CAD/CAM 用コンポジットレジンプロックを切削加工することで製作されるモノリシッククラウンである。歯冠補綴用レジンを積層したレジンジャケットクラウンと比較して、優れた機械的強さを有する。しかし、一塊の材料から削り出されるため、単一構造で構成され、審美的に優れているとは言えない。この問題に対応できるように、いくつかの色を積層させ、グラデーションを持たせたブロックが前歯部用 (Type IV) として存在する (図10)。しかしながら、この色調だけでは、十分な審美性を再現することは難しく、特にシングルクラウン症例でシェードマッチングを得ることは困難と言える。高い審美性を求める症例に対しては、外部ステイン材等を用いて口腔内に調和した色調を付与することで、ある程度良好な結果を得ることができる (図11)。

さまざまなセラミックスをブロック・ディスクに加工することで、ほぼすべてのセラミック系材料が使用できる。CAD/CAM に使用できるセラミックとしては、ポーセレン、リューサイト、ニケイ酸リチウム、メタケイ酸リチウム、ジルコニアがあり、この中で、



図 13 フルデジタル：モノリシックジルコニア接着ブリッジ症例の初診時



図 14 フルデジタル：モノリシックジルコニア接着ブリッジの術式



図 15 フルデジタル：モノリシックジルコニア接着ブリッジ症例の経過

ジルコニアだけがCAD/CAMのみで臨床応用可能である(図12)。初期のジルコニアは優れた機械的強さを有していたが、その色調は歯冠色とかけ離れており、クラウン・ブリッジに使用するためには、前装が必須であった。現在のジルコニアにおいては、その光透過性を変化させることで、天然歯の色調を模倣できるようになってきた。しかしながら、これらモノリシック構造体では、アナログ的手法である多色築盛法にて製作されたクラウン・ブリッジの色調再現性にはるかに及ばず、本当に審美性を有しているのか疑問がある。また、光透過性が向上するにつれ、ジルコニアの曲げ強さは減少し、超高透光性ジルコニアにおいては、ニケイ酸リチウムとそれほど変わらない。

現在でも多くの症例に対してレイヤリング法やステイニング法などの手作業に頼ることで、補綴専門医が満足する審美性が再現されている。もちろん、大白歯部なら、光透過性を有するモノリシックジルコニアでも臨床応用可能な審美性を有しており、ブリッジなどでは有用性が高い。特に、フレームの前装が難しい接着ブリッジのリテーナーとして、モノリシックジルコ

ニアは優れた材料といえる(図13～15)。適切な被着面処理を行うことで、ジルコニアはセメントと高い接着強さを有するため、良好な臨床成績を望むことができる。また、接着ブリッジの支台歯形成はエナメル質内で行うことが原則であるため、エッチングを行うことで歯質接着においても信頼性が高い。ジルコニア接着ブリッジを臨床で安全に使用するための最大のポイントは、カンチレバーブリッジとすることにある。弾性率が高いジルコニアは、継続的な歯根膜内での生理的動揺や支台歯間の動く方向の違いから両側性リテーナーとした場合、連結部に高い引張応力の集中が起こる⁷⁾。そのため、両隣在歯にリテーナーを設置すると、いかに高い物性を持つジルコニアであっても、連結部の破折やリテーナーの片側脱離を起こしやすい。一方で、アナログ手法を用いたメタルフリー接着ブリッジには、グラスファイバーをフレームとしたFRC接着ブリッジがある。使用材料は保険適用の高強度レジブリッジと同じ材料であるが、保険適用のブリッジとはなっていないため、ジルコニアと同様に自由診療で用いることができる。FRC接着ブリッジのリテーナーとして用いるFRCフレームが、透明～歯冠色となっており、歯冠補綴用レジンを多色築盛することで優れた色調再現性を有する(図16, 17)。また、FRCはある程度のひずみを許容し、歯と近い弾性率を有するため、ジルコニアと違って両側性リテーナーを選択しても、連結部に応力が集中しづらく^{8,9)}、破折が起こりにくい(図18)。FRCブリッジの欠点としては、時間と共にツヤが消失することが挙げられる。しかしながら、適切に重合と研磨が施された歯冠補綴用レジンは長期的なツヤ耐久性を示し、もしツヤが無くなってきたら、研磨やコート材を塗布することでツヤを回復することが可能である。



図 16 フルアナログ：多層構造 FRC 接着ブリッジ症例の術式

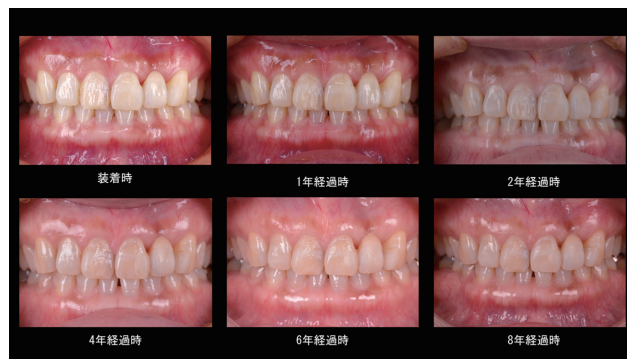


図 17 フルアナログ：多層構造 FRC 接着ブリッジ症例の経過



図 18 フルアナログ：多層構造 FRC 接着ブリッジ症例の装着 10 年経過時



図 19 フルデジタル vs アナログ併用補綴装置製作法の利点と欠点

II. おわりに

現在、多くの補綴装置製作方法がデジタル化されてきており、この流れは今後さらに進んでいくと考えられる。研究は新しい疑問を紐解くために進められていくため、トレンドを追う傾向があり、ここ数年はいかにもデジタル全盛期、歯冠修復の未来はデジタルにかかっていると思われがちである。IOS も精度や利便性が向上し、価格が下がってくれば、すぐにどの診療室でも導入されている一般的な機器となるだろう。なので、デジタル化の波は今後も変わらず推し進められていくであろうが、現状ではまだまだアナログ的手法が必要であることは、日常臨床を見ても明らかである。熟練した歯科技工士が丹精込めて築盛した補綴装置をデジタル技術のみで再現することは、まだまだ困難であり、しばらくの間はデジタルとアナログとを併用することが求められる。私のつたない臨床症例の経過観察から得られた答えは、補綴装置の製作方法や材料が直接的に臨床結果に影響するのではなく、その症例ごとに最良の方法を選択し、それらを適切に使用するこ

とにあると感じている。つまり、術前の検査診断と綿密な治療計画の立案が補綴専門医の真骨頂であり、材料学的知識を生かして利点・欠点 (図 19) を巧みに使い分け、適切な手法を選択できる能力にあると思う。材料を活かすも殺すも我々の技能にかかっており、臨床・研究のどちらにせよ、その将来は補綴専門医の矜持に委ねられている。

文 献

- 1) 新谷明一, 三浦賞子, 小泉寛恭, 疋田一洋, 峯 篤史. CAD/CAM 冠の現状と将来展望. 日補綴会誌 2017 ; 9 : 1-15.
- 2) 新谷明一. デジタルデンティストリーにおけるクラウンブリッジの適合について. 日補綴会誌 2018 ; 10 : 224-9.
- 3) 日本補綴歯科学会: 保険診療における CAD/CAM 冠の診療指針 2020. https://hotetsu.com/files/files_478.
- 4) Kabetani T, Ban S, Mine A, Ishihara T, Nakatani H, Yumitate M, Yamanaka A, Ishida M, Matsumoto M, Vam Meerbeek B, Shintani A, Yatani H. Four-year clinical evaluation of CAD/CAM indirect resin composite premolar crowns using 3D digital data: Discovering the causes of debonding. J Prostho-

- dont Res 2021; in press. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00287.
- 5) Miura S, Kasahara S, Yamauchi S, Katsuda Y, Harada A, Aida J, Egusa H. A possible risk of CAD/CAM-produced composite resin premolar crowns on a removable partial denture abutment tooth: a 3-year retrospective cohort study. *J Prosthodont Res* 2019; 63: 78-84. doi: 10.1016/j.jpor.2018.08.005.
 - 6) Inomata M, Harada A, Kasahara S, Kusama T, Ozaki A, Katsuda Y, Egusa H. Potential complications of CAD/CAM-produced resin composite crowns on molars: A retrospective cohort study over four years. *PLoS One* 2022;17:e0266358. doi: 10.1371/journal.pone.0266358.
 - 7) Keulemans F, Shinya A, Lassila LVJ, Vallittu PK, Kleverlaan CJ, Feilzer AJ, De Moor RJG. Three-dimensional finite element analysis of anterior two-unit cantilever resin-bonded fixed dental prostheses. *ScientificWorldJournal* 2015;864389. doi: 10.1155/2015/864389.
 - 8) Shinya A, Yokoyama D, Lassila LV, Shinya A, Vallittu PK. Three-dimensional finite element analysis of metal and FRC adhesive fixed dental prostheses. *J Adhes Dent* 2008; 10: 365-71.
 - 9) Yokoyama D, Shinya A, Lassila LV, Gomi H, Nakasone Y, Vallittu PK, Shinya A. Framework design of an anterior fiber-reinforced hybrid composite fixed partial denture: a 3D finite element study. *Int J Prosthodont* 2009; 22: 405-12.
-
- 著者連絡先：新谷 明一
〒102-8159 東京都千代田区富士見 1-9-20
Tel: 03-3261-8697
Fax: 03-5216-8318
E-mail: akishi@tky.ndu.ac.jp