

《特別企画》

デジタルデンティストリーの変遷と現状

(一社) 奈良県歯科医師会
歯学博士
ICDフェロー



末 瀬 一 彦

●抄 録●

医療DXの推進に伴って歯科医療にもデジタル化が急速に発展、普及してきた。デジタルデンティストリーの臨床応用において金属修復からの脱却、治療の安全性、効率性、標準化が実践されるようになり術者および患者にとっても多くの恩恵がある。歯科医療のデジタル化には、医療情報のデジタル化および医療機器のデジタル化があり、日進月歩安全で安心な歯科治療が行われている。歯科CAD/CAMテクノロジーの普及に伴って、ジルコニア、ハイブリッド型コンポジットレジンプロック、PEEKなどの新素材も臨床適用されるようになり、高品質、高精度な治療が行われている。また、医療保険にもCAD/CAM冠が導入され、着実に適用拡大が行われてきた。2024年の診療報酬改定に伴って、限定的ではあるが、口腔内スキャナーの導入も承認され、広く国民に先進的な歯科医療を提供できるようになってきた。

キーワード：歯科医療のデジタル化、CAD/CAM冠、口腔内スキャナー、医療保険、医療情報

I. はじめに

デジタル化とは、ITを介して多くの人や物、情報を繋げることによって、有意性、実効性のあるサービスを創出することを意味する。AIやディープラーニングをはじめとしたIT技術が年々急速に発展するなかで、歯科業界も早急にデジタル化することが求められてきた。一般工業界ではすでに実績があるコンピュータ支援による加工技術が導入され、生産性の向上、価格の低減化、合理的な作業システム化が進み、いわゆる労働集約からの脱却が図られている。歯科医療においても、検査機器、診断機器、治療用機器など多くの面でデジタル化が進み、患者に対して安心、安全、信頼できる治療が行われ、術者側においても、的確な検査・診断、ストレスの少ない治療、患者とのコミュニケーションツールとしても活用されている。特に、個々の患者に適応した補綴装置を製作する歯科技工分野においてはCAD/CAMテクノロジーの進展によっ

て、大きな変革が生じ、人の手による製作工程である「アナログ」から機械化による「デジタル」へシフトされてきた。

補綴治療は、患者の個々の症状に応じたオーダーメイド治療で、とりわけ補綴装置の製作においては歯科医師や歯科技工士の繊細な技能を駆使してハンドメイドで具現化することによって行われてきた。日本の歯科技工における製作技術は、その器用さから元来「匠の技」的な生産を生み、世界を凌ぐ高品質のものである。これは、日本人の有する器用さもさることながら、歯科技工士教育のレベルの高さや行政制度が世界に類を見ないほど充実し、世界でも数少ない国家資格制度に裏付けられている。しかし、日本のアナログ的な技能の優秀さは、歯科技工のデジタル化への導入の遅延をもたらしたが、2000年当初に歯科用CAD/CAMシステムが日本に紹介されて以降は急速に発展し、臨床応用が実現してきた¹⁾。

歯科用CAD/CAMテクノロジー

Computer Aided Design(CAD) Computer Aided Manufacture(CAM)

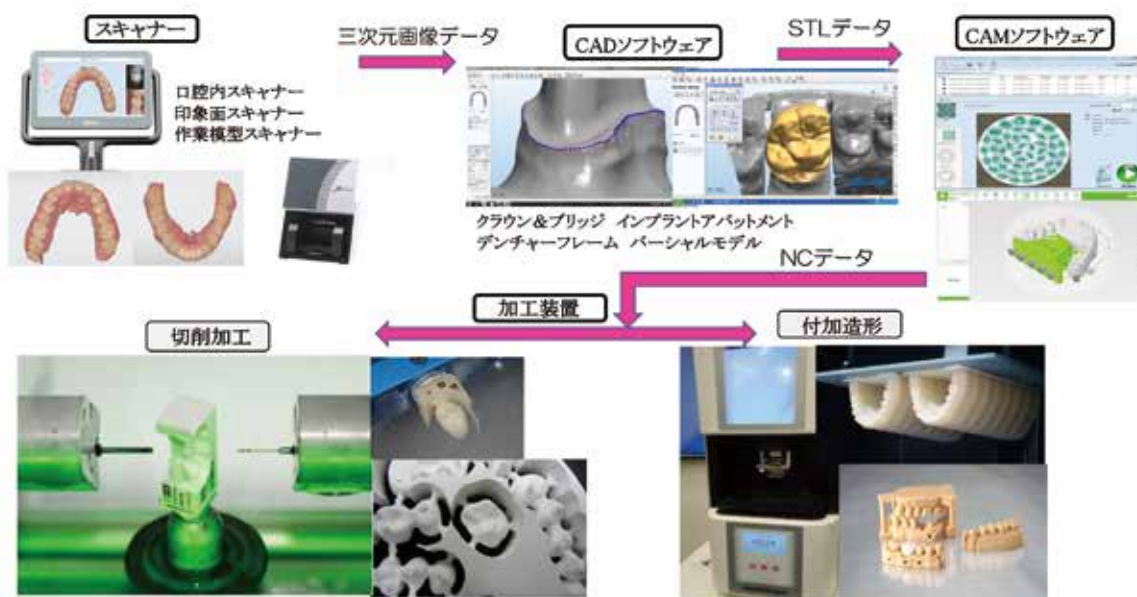


図1 歯科用CAD/CAMシステムの構成要素

Fig. 1 Components of dental CAD/CAM system

II. デジタルデンティストリーの歴史

1952年、マサチューセッツ工科大学においてNC工作機械が開発され、NCデータを用いて自動的に物を作り出すというCAMからスタートした。その後、コンピュータ技術の開発によってCADが研究され、3次元モデルの送受信によってCADとCAMが統合された。実用的に1960年代に自動車産業に導入されたCAD/CAMテクノロジーは、一般工業界に瞬く間に浸透した。工業界では製造現場にコンピュータが導入され、設計、製造の効率化が本格的に始動した。同時にマイクロエレクトロニクス技術が通信技術と結びついて、情報ネットワークの形成を促進し、工場の自動化、効率的な多品種少量生産体制の実現などによって幅広い領域分野で活用された。1980年代に入ると、納期の短縮、高品質の確保、低コストの実現に不可欠なCAD/CAMシステムが脚光を浴びた。工業界で利用されるCAD/CAMテクノロジーの多くは、コンピュータ上でのCAD（設計）から始まるが、歯科領域においては、口腔内情報の取得から始まることから、あえて「歯科用CAD/CAMシステム」という（図1）。

CAD/CAMシステムが歯科領域に導入されたのは1971年にフランスのDuretであったが、口腔内の3次元形状をとらえることが難しく、臨床的には実用化に至らなかった。1979年にはスイスのMormannが単純形状の内側性窩洞に限定した修復物製作のシステムを開発した²⁾。その後、1985年に現在広く臨床活用されているセレックシステムの原型をDuretが完成させた。1990年には計測されたデータからインターネットを介して加工センターに送り、工業界で用いられている大型汎用加工機を用いて歯冠修復装置のコーピングを製作するシステムがAndersonによって提唱された。

2000年当初、日本に歯科用CAD/CAMテクノロジーが薬機法に基づいて臨床応用に導入されたが、すでに1990年代から日本においても当時、成形が困難であったチタンクラウンの切削加工の研究が行われていた^{3,4)}。それ以降は、光学技術やコンピュータの急速な開発や歯科用CAD/CAMテクノロジーに利用される新しい材料の研究開発が進み、今や歯科臨床においては必須のアイテムとなっている。図2は日本における歯科用CAD/CAMテクノロジーの変遷を示した

歯科用CAD/CAMシステムの日本における変遷



図2 日本における歯科用CAD/CAMテクノロジーの変遷

Fig. 2 Transition in dental CAD/CAM system in Japan

ものである。2000年当初の黎明期から、成長期、普及機、発展期へと着実に成長し、今後もデジタル機器や材料の開発、改良、IoTやAIの技術革新によってさらに発展していくことが予想される。

Ⅲ. デジタルデンティストリーの利点

医療分野におけるデジタル化は、術者や患者に多くの恩恵をもたらしている。その一部を下記に示す。

1) 医療情報の可視化

患者の検査データに基づく診断のシミュレーション、データの可視化によるインフォームドコンセントへの応用、臨床実習などにおける教育的な客観的評価などに活用できる。

2) 医療情報の統合・保存・伝達

各種検査データや口腔内情報の統合化、医療スタッフとの情報共有、迅速な送受信、患者の口腔内情報などの履歴の保存が可能となる。

3) 医療技術の均質化・高速化（歯科領域では重要！）

材料の高密度、高機能性が確保され、機械的管理のもとに製造されるために、均質化、規格化され、安全性の高い修復物を提供できる。

4) 侵襲の少ない治療が可能

医療器材の開発によって低侵襲の治療が可能とな

り、患者の肉体的、心理的負担が軽減される。

5) 医療廃棄物の削減

アナログ的な手技で必要とされてきた印象材や模型材、手術器材が一部不要となり、感染源ともなる医療器材の廃棄物を削減することが可能となる。

また、歯科用CAD/CAMテクノロジーの導入によって下記の効用が生じている。

1) 金属修復治療からの脱却

金属修復物の弊害が指摘されている現状にあって、ジルコニア、CAD/CAM冠用レジンプロック、PEEKなどのメタルフリーの新素材が開発されてきた。

2) 歯科医療の安全性確保

医療機器の開発によって感染リスクの少ない低侵襲な治療を提供できる。

3) 歯科医療の効率化促進

データの送受信によって、情報の共有、伝達、迅速な治療が可能である。

4) 歯科医療の標準化適用

技能に影響を受けない標準化された治療が提供できる。

Ⅳ. デジタルデンティストリーの現状と展望

わが国におけるデジタルデンティストリーの発展には2つの方向性がある。

1) 医療情報のデジタル化

これまでアナログで行っていた事務的な業務にデジタル技術を導入することによって医療従事者の業務負担が軽減されて、効率化が図れ、患者にとっても有益な医療の提供を受けることができるようになる。例えば、マイナンバーカードによるオンライン資格認証システムの導入（令和5年4月から導入）、レセプトのオンライン請求、電子カルテ、検査データなどの医療情報の一元管理、WEB予約システムの導入などがあり、「医療DXの第一歩」である。最終的には、デジタル技術で医療現場の様々な業務を革新し、医療情報を共有することによって患者と医療従事者双方により良い環境を提供することである。

2) 医療機器のデジタル化

歯科用CAD/CAMシステム、3次元画像情報、医療機器やシミュレーションシステムなどが挙げられる。とりわけ「歯科用CAD/CAMテクノロジー」は代表的なデジタルツールで、補綴装置や矯正装置の製作法や材料、装置の形態などの概念を大きく変革させてきた。

歯科用CAD/CAMテクノロジーの普及に伴って、補綴装置の材料は、これまで使用されてきた材料に加えてジルコニア、CAD/CAM冠用ハイブリッド型コンポジットレジン、PEEKなど新たなオプションが加わった。2014年4月には医療保険の対象として初めてCAD/CAM冠が上下顎小白歯部に導入された。

CAD/CAM冠の保険適用においては、保険医療材料専門部会において企業から「C2区分」（新機能・新技術）として保険材料として承認された。新しい素材であったために導入当初は冠の脱離や破折が報告されたが^{5, 6)}、8年経過した現在では、特に大きなトラブルも生じていない。最近では金属冠を凌ぐ、装着回数である（図3）。2016年4月には金属アレルギー患者に対して大白歯への適用が可能に、2017年12月には両側第二大臼歯が残存し、左右の咬合支持がある患者に対して、過度な咬合力が加わらない場合において下顎第一大臼歯への適用拡大が承認された。2020年4月には同条件下で上顎第一大臼歯へも適用拡大された。さらに2020年9月には前歯部への適用拡大が行われた。CAD/CAM冠用レジンプロックは、Type I～IVに機能区分され、Type IおよびIIは小白歯用、Type IIIは大白歯用、そしてType IVは前歯用に適用される。なお、Type II, III, IVは日本歯科材料工業協同組合によって認証された材料で、Type IIとType IVの機械的性状はほぼ同程度で、Type IVは審美性を強調するために象牙質・エナメル質の色調がグラデーションになっている。2024年6月の診療報酬改定時には、対側に大白歯による咬合支持があり、同側に大白歯の咬合支持あるいは対合歯が欠損で近心隣在歯まで咬合支持がある場合において第二大臼歯部までType IIIのCAD/CAM冠用レジンプロックを用いたクラウンが適用でき、最後方臼歯にはエンドクラウンも承認され

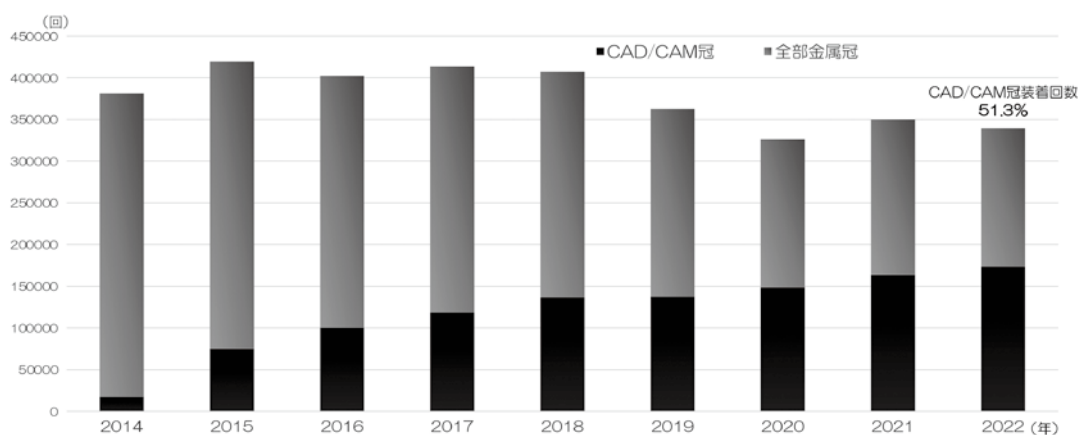


図3 保険診療における小白歯のCAD/CAM冠および金属冠の算定回数の推移

Fig. 3 Changes in the number of premolar CAD/CAM crowns and cast crowns calculated in insurance medical treatment

た。この適用においては、4年間にわたるコホート研究によって最後方臼歯群においてもCAD/CAM冠の適用に有意差がないという研究成果⁷⁾によるものである。また、2023年12月には期中導入としてPEEKが新たに大白歯用に加わった。同じCAD/CAM冠の範疇に入り、TypeVとして位置づけられているが、従来のCAD/CAM冠用レジンプロックとは全く性状の異なる高分子材料であるため、臨床応用上の取扱には十分に留意しなければならない⁸⁾。

一方、2022年4月の医療保険診療報酬改定において「CAD/CAMインレー」が保険導入され、小白歯および大白歯の隣接面を含む複雑窩洞に適用される。CAD/CAMインレーは歯科用CAD/CAMテクノロジーが開発された当時のオリジナル修復物で、口腔内スキャナーを用いた製作法が原型であった。CAD/CAMインレーは、医療保険に導入された当初は、印象採得、作業模型上での間接作業による製作法であったが、2024年6月の診療報酬改定時には、口腔内スキャナーによる直接法が承認された。これによって、印象材、模型材を介することなく、口腔内情報をデータとして歯科技工士に送信し、CAD→CAMを経て、切削加工される。診療室には「CAD/CAMインレー」のみが納品され、口腔内で試適、接着操作が行われる。口腔内スキャナーを用いたCAD/CAMインレーの適用にあたっては、窩洞形成が極めて重要であり、破折を防止する上でもメタルインレーとは異なった窩洞形態に形成しなければならない⁹⁾。

V. おわりに

歯科医療におけるデジタル化は急速に進展し、術者や患者に極めて有意義な医療情報によって、安全、効率的な治療を行うことができるようになってきた。日本の歯科技工技術はこれまでアナログ的な経験値で行われてきたために、デジタル化の導入が遅れたものの、近年は急速な普及によって従来のアナログ的な

験則とデジタル機器の安定的供給の融合によって、世界に冠たる歯科技工技術をアピールすることができている。口腔内スキャナーは、海外からの輸入製品が多く、150万円～700万円と幅が大きいですが、医療保険に収載されるようになり、これまでは海外製品に委ねていた高額な口腔内スキャナーも国産製品が待ち遠しい。口腔内スキャナーによって光学印象採得から修復物の加工まで「一気通貫」フルデジタルソリューションとなり、口腔内スキャナーが世界に誇る医療保険制度に導入されたことは画期的なことである。口腔内スキャナーは、補綴治療や矯正治療、インプラント治療での適用に留まらず、今後さらに口腔内情報法の取得によって患者個々の履歴データの保存や歯科健診への活用に応用されることは、国民の歯科医療に対する認識を大きく変えることになる。

参考文献

- 1) 末瀬一彦. CAD/CAM活用による歯冠修復治療 メタルフリーの歴史と展望. 歯菌薬出版株式会社. 2023 ; 89-98.
- 2) Mormann WH, Brandestini M, Lutz F. DAS Cerec-system : computergestutzte herstellung direkter kerami kinlays in einer sitzung. Quintessenz. 1987 ; 38 : 457-470.
- 3) 内山洋一. 歯科医療にとって必須のCAD/CAMシステム開発の経緯と現状および将来展望. 日補綴会誌. 2001;45(3): 381-396.
- 4) 宮崎隆. Digital Prosthodonticsの変遷と展望. 日補綴会誌. 2012 ; 4 : 123-131.
- 5) 末瀬一彦, 橋高又八郎, 辻 功, 澤村直明. 小白歯CAD/CAM冠導入後2年後の臨床経過に関する調査研究. 日補綴会誌. 2019 ; 11(1) : 45-55.
- 6) 壁谷知成, 峯篤史, 今井大, 萩野僚介, 田尻裕子, 松本真理子, 南野卓也, 中谷早希, 矢谷博文. 大阪大学歯学部附属病院口腔補綴科で装着されたCAD/CAMレジン冠の後ろ向きコホート研究. 接着歯学. 2015 ; 34(3) : 105.
- 7) Inomata M, Harada A, Kasahara S, Ozaki A, Katsuda Y, Egusa H. Potential complications of CAD/CAM-produced resin composite crowns on molar: A retrospective cohort study over four years. PLOS ONE. 2022 ; April : 1-14.
- 8) 末瀬一彦. PEEK材を用いたCAD/CAM冠の臨床応用への留意点. 日本歯科医師会雑誌. 2024 ; 76(11) : 52-57.
- 9) 末瀬一彦. CAD/CAMインレーの臨床. 令和5年度日歯生涯研修ライブラリー (Eシステム) 内容紹介. 日本歯科医師会雑誌 令和6年4月号 付録. 2024 ; 27-30.

Transition and Current Status of Digital Dentistry

Nara Dental Association

Kazuhiko SUESE, D.D.Sc., F.I.C.D.

With the promotion of medical DX, digitalization has rapidly developed and spread in dental treatment. The clinical application of digital dentistry is moving away from metal restorations, safer, more efficient, and standardizing treatment, which has many benefits for dentists and patients alike. The digitalization of dental treatment includes the digitization of medical information and the digitization of dental devices, and safe and secure dental treatment is being carried out day by day. With the spread of dental CAD/CAM technology, new materials such as zirconia, hybrid composite resin blocks, and PEEK have also been applied clinically, and high-quality, high-precision treatment is being performed. In addition, CAD/CAM crowns have been introduced for medical insurance, and the application has been steadily expanded. With the revision of medical fees in 2024, the introduction of intraoral scanners has been approved, albeit on a limited basis, and it has become possible to provide advanced dental treatment to a wide range of national people.

Key words : Digital Dentistry, CAD/CAM Crown, Intraoral Scanner,
Medical Insurance, Medical Information