

デジタルテクノロジーの補綴歯科における展開  
— デジタルデンティストリー CAD/CAM の可能性と限界 —

佐々木啓一

Evolution of prosthodontics by digital technology  
— Digital Dentistry – Potentiality and Limit of CAD/CAM Technology for Dentistry —

Keiichi Sasaki, DDS, PhD

抄 録

CAD/CAM クラウンの社会保険の取扱いや光学印象機器の医療機器承認取得などにより、歯科臨床へのデジタル技術の導入が急速に進んでいる。技術革新のスピードから、近い将来には臨床手技、技工を含めた補綴歯科が大きく変容することが予測される今、補綴歯科のデジタル化の更なる推進と、わが国のデジタルデンティストリーの発展における補綴歯科学会のリーダーシップの強化を図るうえでは、デジタル技術における測定、加工の原理、精度など、その本質を理解することが求められる。また歯科におけるデジタル技術のほとんどが海外製で私どもが 1 ユーザーに過ぎない現状を打破するうえでは、アカデミアとしての技術・機器開発に取り組むことが必要である。

キーワード

デジタルデンティストリー、CAD/CAM、形状測定、加工成形、精度

I. はじめに

急速なコンピュータサイエンスの進歩は、コンピュータグラフィックスや、形状の取り込みや製作等に関する各種周辺機器のコンピュータ制御を可能とした。現在では、医療領域を含めデジタルテクノロジーが広範に導入され、病態イメージングや画像診断等にも応用されている。特に整形外科や歯科においては対象物の三次元的な形状測定から、インプラント体や補綴装置の設計、製作まで広く展開されている。補綴歯科領域におけるデジタル化の特徴は、まさにデジタルデータによる設計、加工による補綴装置製作を含むところにあり、デジタルテクノロジーの先端技術の結集である<sup>1)</sup>。わが国でも CAD/CAM クラウンの社会保険の取扱いや光学印象の承認取得等により、その導入は加速し、臨床手技を含め補綴歯科が大きく変容する日

は遠くない。

歯科補綴学の発展ならびに補綴歯科治療の質の向上とその普及を目的とする日本補綴歯科学会および本会会員は、これらのデジタルデンティストリーの潮流への確に対応し、さらにはその先導を務めるべく、デジタルテクノロジーの現状を正しく理解し、そのうえでその可能性を追求することが求められている。

そこで本会では第 125 回学術大会において「デジタルデンティストリー CAD/CAM の可能性と限界」と題するシンポジウムを催した。本シンポジウムは、デジタル技術の補綴歯科への導入のわが国におけるパイオニアの一人であり、第 125 回大会の大会長を務められた前田芳信教授（大阪大学）の発案によるものであり<sup>2)</sup>、モデレーターに指名された私が上記の点を会員諸氏に再認識していただき、デジタルデンティストリーの適切かつ速やかな導入、さらには本会からの発信を図ることを目的として企画立案したものであ

## デジタルテクノロジーの進歩・発展, 応用範囲の拡大: 急速

### デジタルデンティストリー : 急速に拡大, 変容

Ex.: 口腔内スキャナの全面的導入

Milling から 3D Printing (Polymer / metal / ceramics)

**現状:** 大規模な海外ブランド(欧米)主導

臨床医は1ユーザー

デジタル情報 / フローのブラックボックス化

研究の進展: 精度・再現性検証等 ブランドの追随

アカデミア・国内メーカーの研究力・国際競争力のさらなる低下

**: 歯科のみならず他分野も同様 ・日本の産業力の低下**

\* アカデミア発の臨床研究の遂行

— ワークフロー, 臨床指針の提唱

\* 異分野(歯工)連携による新規技術開発

**社会実装**

\* 産学官連携による機器開発

国プロにて3D Printing開発支援 — 拠点: 東北大学・近畿大学

図1 デジタルテクノロジーの発展とデジタルデンティストリーの現状

る。シンポジウムでは、まず私から、デジタルデンティストリーを推進するうえで私どもが理解しておくべき事項、さらに今後の方向性について概説し、次いで現在、本領域の研究、臨床を第一線で牽引している馬場一美教授(昭和大学)、十河基文先生(大阪大学・(株)アイキャット)が、補綴歯科治療におけるデジタル化の現状と今後の展開について、技術的限界を含めて解説した。本特集はそれら講演に基づいた記事である。これらから、補綴歯科のデジタル化の更なる推進と、わが国のデジタルデンティストリーの発展における本学会のリーダーシップの強化を図れば幸いである。

## II. デジタルテクノロジーのわが国の現状

デジタルテクノロジーの進歩・発展は目覚ましく、コンピュータ関連製品やIT、製造加工等の産業以外にも、昨今ではゲームや映画などでのバーチャルリアリティ(VR)の利用や家庭用の3Dプリンタなど、生活のいたるところで活用されるに至っている。わが国の歯科医療においても、CT等のデジタル画像を用いた診断装置、印象用口腔内スキャナ、CAD/CAM、3Dプリンティング等、IT技術を応用した製品、技術の導入が急速に拡大し、歯科医療の大きな変容をもたらしている。これら歯科のデジタル技術の開発ならびに導入は欧米がかなり先行しており、わが国の現状と

しては、有名ブランドである欧米の大規模企業の製品の導入が主であり、大学所属の者も含め、臨床医はエンドユーザーとしてその川下にいる。これら製品のデジタル情報およびそのフローは公開されていないものがほとんどであり、また異なったメーカー間でのデータ移動も制限がかかっているものが多い。そのため私どもがなし得る研究も精度や再現性の検証などに限られている。このような現状は、デンティストリー分野におけるわが国の歯学アカデミア、ならびに歯科企業の国際競争力のさらなる低下を招くものと危惧される(図1)。

このような状況は、実は歯科界に限ったことではなく、デジタルテクノロジーの導入全般で同様であり、特に産業用3Dプリンタ、医療用ロボットなどの分野では顕著で、わが国の国際競争力の低下、さらに産業力の低下という負のスパイラルにつながっている。これらの要因は、歯科を含めたアカデミア・産業界に開発力がないというばかりではなく、わが国における開発研究成果を社会実装までもって行くインキュベーション機能の弱さ、また欧米のような大企業主体で研究開発力が集約される産業構造ではなく、一つの分野に数多くの企業が参入し、それぞれの企業の開発力、競争力が小さいという産業構造、また医療分野での医療機器承認をはじめとする認可制度の問題が大きい。政府でも、この課題の克服に向けた取り組みを開始し、

## デジタルデンティストリー: デジタルテクノロジーを応用した歯科医療 補綴歯科での展開 - 補綴装置の製作

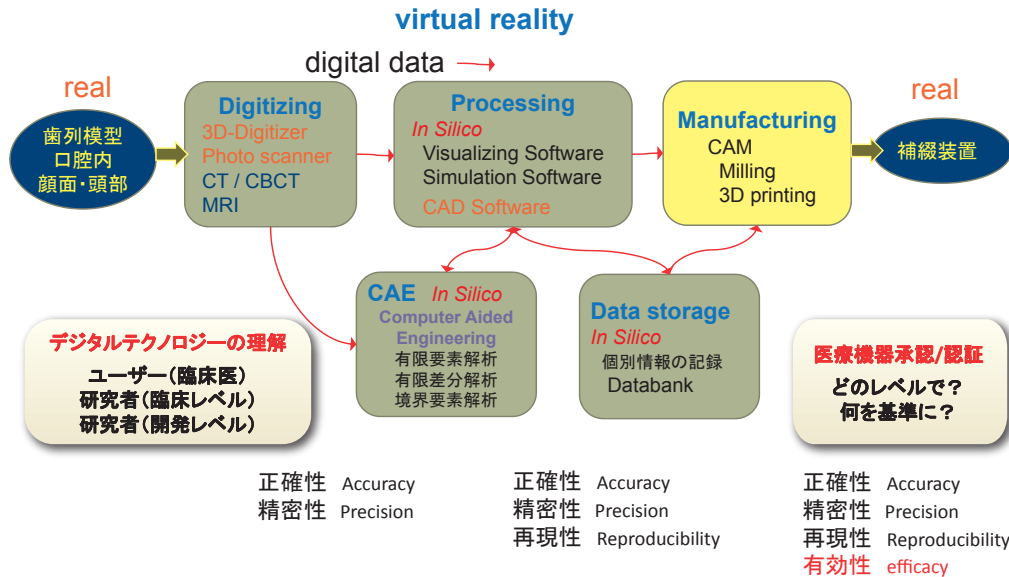


図2 補綴歯科におけるデジタルデンティストリーのフローと課題

経済産業省では例えば、3Dプリンタから生まれる今後のものづくりのあり方を考察する「新ものづくり研究会」を発足させ<sup>3)</sup>、また3Dプリンタ開発を経済産業政策の重点の一つとして位置付け、アカデミア、産業への開発研究支援策を打ち出している<sup>4)</sup>。

なかでも三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム(次世代型産業用3Dプリンタ等技術開発)研究開発プロジェクトは、平成26~30年度の5年間で167億円(当初予算)の規模で始まったもので、本プロジェクトの遂行のために組織された「次世代3D積層造形技術総合開発機構(TRAFAM)」を実施主体としている<sup>5)</sup>。具体のプロジェクトは3件で、三次元積層造形兼レーザービーム方式を京極秀樹教授(近畿大学工学部)、電子ビーム方式を千葉晶彦教授(東北大学金属材料研究所)、超精密を岡根利光博士(産業技術総合研究所)がプロジェクトリーダーを務め、研究開発を進めている。レーザービーム方式、電子ビーム方式とも各種材料の積層に取り組んでいるところがあり、その成果に期待したいところではあるが、世界の後追い感は否めない。

また「新ものづくり研究会」からの報告「3Dプリンタが生み出す付加価値と2つのものづくり~「データ統合力」と「ものづくりネットワーク」~(平成26年2月)には、歯科関連の歯冠補綴物・インプラント製作に関する海外、特に欧米からの発注による中

国での巨大ラボの事例が、「第2章 デジタル化がもたらす産業・社会の変容 1. 精密なものづくりとしての付加価値」の項に、唯一の具体事例として2ページにわたり紹介されている<sup>6)</sup>。歯科のデジタルデンティストリーは、経済産業省も大きな関心を示す先端領域である、というところであり、私どもにとっては嬉しいところではある。しかし、その内容の出所としては「台湾系歯科技工所ヒアリングより事務局作成」となっており、国内歯科業界からの発信ではないところが残念である。このようなものづくり施策へ、私どもアカデミアを含め歯科業界が入っていく必要性を痛感している。

### III. 補綴歯科におけるデジタルデンティストリーをいかに捉えるか

補綴歯科におけるデジタルテクノロジー応用の特徴は、CTやMRIデータのグラフィック化によるバーチャルリアリティでの各種シミュレーションに止まらず、実際の補綴装置製作という加工成形までを含むところにある。すなわち形状をデジタルデータとして記録、加工し、それをベースとして製作物を設計(CAD)、出力した設計データによる製造(CAM)により三次元形状を創り出す。

これは、従来の治療過程では術者の主観に委ねられ

てきたところの多い形状の具現化, 例えば歯冠形成や義歯床辺縁の印象採得, そして技工物の形態表現等がデジタルデータによって行われ, これにより形態データの記録, 評価, 再現が可能となったことを示す. 従来から職人技とされてきた技能の客観化であり, 補綴歯科臨床, 教育の大きな変革をもたらすものである<sup>7)</sup>.

しかし一方では, 補綴装置製作というアナログな世界とデジタル技術との乖離は, 常に念頭におくべき事項である. さらに精度と時間を含めたコストパフォーマンスも重要な観点である. デジタルデータは離散データであり, 形状測定の際の測定ピッチがデータ精度をまず決定している. 加工精度は, 加工機のメカニカルな特性, そしてプロセッシングして生成した入力データにより決まる. また必要とされる精度は, 加工生成物のサイズと用途によって異なる. データを細かくすれば精度は上がる, しかし, 大きな範囲で精度を高めようとすれば測定時間が長くなる. データ量が増え, プロセッシング, 加工にも時間がかかる(図2). これら精度, 時間の問題は今後, 科学の進歩により急速に改善されていくこととは思われる. しかしながら, 私どもがユーザーとして適切に使用していくうえで, また研究者としてわが国の優れたデジタル技術の補綴歯科への社会実装を推進していくうえで, これら原理の理解が必要である.

#### IV. デジタルデンティストリーの今後の展開

上述したような現状を踏まえて, 今後, いかに補綴歯科におけるデジタルデンティストリーを学術, 臨床に展開していくか, また研究シーズを産業化し社会実装していくか, これこそが本会の大きなミッションである.

図1の下段に記すように, 現状を鑑みれば, まずは臨床に則したアカデミア発の研究を, より積極的に遂行していくことが必要であろう. 具体的には未だ製品を用いた臨床術式, ワークフローをエビデンスに基づいて構築するためのデータ取得であり, 臨床指針を構築していく方向であろう. この点については, 既に平成28年度の日本歯科医学会プロジェクト研究費に本会からのテーマ「デジタルワークフローにおける印象術式の確立と指針の作成」が松村理事長を代表者として採択されており, 口腔内デジタル印象機器に関する臨床術式の確立と将来に向けた有効な運用方法についての指針作成を目的として, 臨床応用を想定した統一した条件下におけるデータの蓄積を開始している.

また 異分野(歯工)連携, 産学官連携による新規

機器・技術の開発研究は, 歯科産業界とともに進めなければならない. わが国の歯科企業を俯瞰しても, デジタルテクノロジーを得意とする企業はなく, 人材も乏しいため開発力は期待できないのが現状である. この点に関しては, 工学系との橋渡しとしてのアカデミアから強力なサポートをする必要がある. また人材養成も必要とする.

さらにデジタルデンティストリーの展開を考えるうえで忘れていけないことは, デジタルデータを用いていることである. 本来, CAD/CAMはデジタルデータで同じものを, 何時でも, いくつでも, 同じ精度で作成可能であるところが利点である. またCAE(Computer Aided Engineering)を用いてその構造計算なども可能である. さらにデジタルデータのデータベース化も容易である. これらをデジタルデンティストリーの世界にも導入することが, 本技術のより効果的な活用法となりうる. デュプリケートデンチャーへの応用は, その端緒であろうが, さらに多くの症例のデータベースを構築することにより, 個々に顔面形態, 歯列形態, 咬合面形態, 顎運動が異なる患者に, より適した形態を選択し変更することが可能となるであろう. また有限要素解析などを組み合わせ, 構造設計を行いながら形態付与を考えていくことも可能となる.

世界に目を転じれば, 既にこれらの検討は始まっており, この点でも後塵を拝してはいる. 先日, 台湾台南市の国立成功大学を訪問した際, 国家プロジェクトとしてのメディカルイノベーションセンターにはデジタルデンティストリーセンターが設置されていた. 成功大学には医学部・医工学部はあるが歯学部はない. しかし医工学部の大学院には, そこそこの数の歯学部出身者が進んでいる. そのセンターを工学部出身のセンター長に案内され, 欧米の企業, 東南アジア・インドの主要歯学部を包括したクラウド形成が既に始まっているのを目の当たりにして愕然とした.

欧米, そして中国, 台湾の研究開発, 産業化は, 各国の施策によって, 既にかなり前を走っている. しかし手をこまねいていても始まらない. 彼らのいいユーザーになるだけではなく, 本会の会員諸氏には, 是非, 先達となってわが国でのデジタルデンティストリー分野の発展を図っていただくとを期待したい.

#### 文 献

- 1) 佐々木啓一. 顎顔面領域への3Dの応用. 顎顔面補綴2015; 38: 1-2.
- 2) 前田芳信. 顎顔面口腔領域の再建への3Dの応用:

- その利点と問題点を探る. 顎顔面補綴 2015 ; 38 : 11-14.
- 3) 経済産業省. ニュースリリース. <<http://www.meti.go.jp/press/2013/02/20140221001/20140221001.html>>; 2013 [accessed 2016.11.30].
  - 4) 経済産業省. 平成 28 年度 経済産業政策の重点(2015 年 8 月). <[http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2016/pdf/01\\_3.pdf](http://www.meti.go.jp/main/yosangaisan/fy2016/pdf/01_3.pdf)>; 2015 [accessed 2016.11.30].
  - 5) 経済産業省製造局素形材産業室. 「三次元造形技術を核としたものづくり革命プログラム (次世代型産業用 3D プリンタ等技術開発)」研究開発プロジェクトの概要. <[http://www.meti.go.jp/policy/tech\\_evaluation/c00/C0000000H27/160329\\_3Dprinter1/3Dprinter1\\_05-0.pdf](http://www.meti.go.jp/policy/tech_evaluation/c00/C0000000H27/160329_3Dprinter1/3Dprinter1_05-0.pdf)>; 2016 [accessed 2016.11.30].
  - 6) 経済産業省. 新ものづくり研究会報告書「3D プリンタが生み出す付加価値と 2 つのものづくり～「データ統合力」と「ものづくりネットワーク」～」(2014 年 2 月 21 日) : 43-44. <[http://www.meti.go.jp/commit-tee/kenkyukai/seisan/new\\_mono/pdf/report01\\_02.pdf](http://www.meti.go.jp/commit-tee/kenkyukai/seisan/new_mono/pdf/report01_02.pdf)>; 2014 [accessed 2016.11.30].
  - 7) European Academy of Osseointegration. Digital technologies to support planning, treatment, and fabrication processes and outcome assessments in implant dentistry. Summary and consensus statements. The 4th EAO consensus conference 2015, Clin. Oral Impl Res 2015; 26: 97-101.
- 
- 著者連絡先：佐々木 啓一  
〒 980-8575 仙台市青葉区星陵町 4 番 1 号  
東北大学大学院歯学研究科口腔システム補綴学分野  
Tel: 022-717-8368  
Fax: 022-717-8371  
E-mail: keii@dent.tohoku.ac.jp