

一般社団法人
日本臨床歯科CAD/CAM学会
公認TEXTBOOK

すべてがわかる！

CAD/ CAM デンティストリー BASIC編

監修 北道 敏行 / 池田 祐一 / 江本 正 / 熊谷 俊也 / 林 敬人



はじめに

DX が社会的に多くの影響を与える時代となった昨今、歯科医院においても CAD/CAM を筆頭にさまざまなデジタルソリューションを活用していることとします。

現代の歯科医療は日々進化を続けています。特に、新素材やデジタル技術の進展による新技術の開発は、患者様の生活の質を向上させると同時に、われわれ歯科医療従事者にとっても新たな挑戦と成長の機会を提供しています。そこで本書では、最前線で活躍する研究者や臨床家による最新の知見の中から「CAD/CAM システムを用いた歯科治療の革新」に焦点を当て、編纂いたしました。

CAD/CAM システムの導入や 3D プリンティング技術の活用により、これまで以上に精密で効率的な治療が可能となってきました。BASIC 編ではおもに修復治療を成功に導くためのノウハウについて、システムや材料の概要、CAD/CAM による修復治療の具体的な流れとポイントを解説しています。また、後日発刊される ADVANCE 編では、インプラント治療や矯正治療、義歯治療、そして在宅診療といった CAD/CAM 臨床のさらなる可能性と、それらを支えるチームアプローチについて解説していきます。

一般社団法人 日本臨床歯科 CAD/CAM 学会では、これからも歯科技術の発展に貢献するため、常に最新の情報と知識を提供してまいります。今後とも、私たちの取り組みをご理解いただき、末永く皆様のご支援とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

本書が、皆様の CAD/CAM 臨床の一助となるだけでなく、歯科業界全体の発展に寄与することができれば幸いです。

一般社団法人 日本臨床歯科 CAD/CAM 学会
理事長 蕭 敬意

会長あいさつ

2024 年 6 月より、内側性窩洞に限定されるものの、光学印象が保険診療において認可された。この光学印象は、1973 年、フランスの Prof. François Duret による論文“Empreinte Optique”で提唱されたことに始まる。その後、CEREC によるチェアサイド CAD/CAM システムが市販された。遡ること約半世紀前のことである。

その後、しばらく低迷期が続くが、2000 年前後から撮影がイメージ方式からビデオ方式に移行し、光学印象において必須であったパウダーが必要なくなるなどの技術革新が起こったことで発展期に移行した。その後もさらに技術革新が進み、術者の経験値による精度の差が改善され、日本国内においても口腔内スキャナーや CAD/CAM システムの歯科医院への導入が進むこととなった。

近年のデジタルデンティストリーは、IOS を核としたシステムであることは周知の事実である。近年の傾向では、クローズド IOS システムよりもオープン IOS システムが好まれる傾向にあり、世界市場の 90%以上がオープン IOS システムである。最近では、患者の口腔内状態を 3D で表示できることから、診断ファーストとして IOS を使用する歯科医院も増加しており、歯科医療従事者の大多数が好んで使用している。オープン IOS システムの普及により歯科医師と歯科技工士の結び付きがより強固となり、かつ、より重要となった。

世界市場での IOS の年平均成長率は 7.6%で拡大しており、日本国内においても同様の成長率が見込めると考える。しかし、このような先進技術の普及の裏では、必ず先進技術を使いこなすための試行錯誤がつきものである。CAD/CAM はまったく新しい学問であることから、

- 光学印象がきれいに採得できない
- 修復物の適合が悪い
- 口腔内にセットした修復物が割れる
- 患者からの咬合痛や術後性知覚過敏などの不快症状に悩まされる

など、おそらくほとんどの歯科医師が悩み、また 1 人では解決できず壁にぶち当たったことがあるものと想像する。

1 人で悩むよりも、本書を手に取り学びを深めることで、多くの歯科医師が成功への近道を歩まれることを著者一同願ってならない。

一般社団法人 日本臨床歯科 CAD/CAM 学会
会長 北道敏行

はじめに (蕭 敬意) 2

会長あいさつ (北道敏行)..... 3

Chapter 1 CAD/CAM 診療の概論 7

1. 歯科用 CAD/CAM とは (解説: 伊藤 慎) 8

2. CAD/CAM 臨床の具体例 ―即日修復― (解説: 蕭 敬意・岸 輝樹・片山慶祐・藤井肇基) 10

3. CAD/CAM の歴史

①機器 (IOS を中心に) (解説: 毛呂文紀) 12

②マテリアル (解説: 毛呂文紀) 14

COLUMN

日本臨床歯科 CAD/CAM 学会に入りませんか? (解説: 中井巳智代) 16

Chapter 2 修復治療における CAD/CAM の活用 17

1. CAD/CAM 修復における診査・診断に基づく治療計画 (解説: 熊谷俊也) 18

2. マテリアルの選択

①概論 (解説: 林 敬人) 20

②分類 (解説: 林 敬人) 22

③長石系ブロック (解説: 江本 正) 26

④強化型ガラスセラミックス (解説: 林 敬人) 28

⑤歯科用ジルコニア (解説: 石田祥己) 30

⑥ポリマー浸潤型ガラスセラミックス (VITA ENAMIC®) (解説: 井上高暢) 33

⑦ CAD/CAM 冠用ブロック (解説: 木下英明) 34

⑧ PMMA (解説: 木下英明) 36

3. 防湿

①なぜ防湿が必要なのか (解説: 中井巳智代・蕭 敬意) 38

②ラバーダム防湿 (解説: 中井巳智代) 40

4. 前処置

①イミディエイトデンティンシーリング (IDS) 法 (解説: 寺村 俊) 46

②ディープマージンエレベーション (DME) (解説: 池田祐一) 49

③支台築造 (解説: 蕭 敬意) 52

5. 形成

①メタル修復との比較 (解説: 佐久間利喜) 54

②形成のポイント (解説: 關 利啓・田中宏幸) 57

6. 光学印象

①光学印象のメリットと仕組み (解説: 片山慶祐) 64

②印象採得のコツ (解説: 松永 圭) 68

③ IOS の限界 (解説: 吉野英司) 70

7. 設計 (解説: 關 利啓) 72

8. 修復物製作

①切削加工と 3D プリント (解説: 林 敬人・池田祐一) 76

②研磨・表面仕上げ (解説: 池田祐一) 78

③キャラクターライズ (解説: 林 敬人・江本 正) 82

9. 口腔内セット・接着

①合着と接着の違いと接着を阻害する因子 (解説: 末木芳佳) 84

②歯質の表面処理 (解説: 末木芳佳) 86

③各種マテリアルに対する前処理 (解説: 末木芳佳) 88

【まとめ】 IOS を使用したチェアサイド型臨床において知っておきたい事項
(解説: 北道敏行) 90

COLUMN

コンサルテーションテクニック CAD/CAM 冠 VS. セラミッククラウン (解説: 伊藤 慎) ... 25

CCC を受講しませんか? (解説: 小室 暁) 45

Chapter 3 CAD/CAM 機器 95

1. 概論: IOS の将来展望 (解説: 岸 輝樹) 96

2. IOS 選択のポイント (解説: 林 敬人) 98

• 私が【CEREC Primescan】を選択した理由 (解説: 藤井肇基) 99

• 私が【3Shape TRIOS 5】を選択した理由 (解説: 神谷光男) 99

• 私が【iTero】を選択した理由 (解説: 辻 展弘) 99

• 私が【Medit】を選択した理由 (解説: 高松雄一郎) 99

3. 切削加工機 (解説: 磯野博文) 100

4. 3D プリンタの臨床応用と今後の展望 (解説: 上田一彦・三輪武人) 102

5. 拡張子とデータ形式 (解説: 高山美那子) 106

COLUMN

CAD/CAM 機器を活用したこれからの運用の展望 (解説: 植田愛彦) 108

Chapter 4 ラボとの連携 109

1. 院内歯科技工所が考える CAD/CAM 技工における歯科医院との連携
(解説: 久保田 香令・尾崎 栞・前澤由莉子) 110

2. コマーシャルラボが考える CAD/CAM 技工における歯科医院との連携
(解説: 長谷川篤史・千葉雄友・佐藤由依・原 久美子) 112

COLUMN

インハウス? アウトソーシング? (解説: 千葉 崇) 116

監修者・執筆者一覧 6

参考文献一覧 117

監修者・執筆者一覧

【監修・執筆】

北道敏行（本部／きたみち歯科医院）
池田祐一（本部／池田歯科診療所）
江本 正（本部／江本歯科）
熊谷俊也（本部／ライフタウン歯科クリニック）
林 敬人（本部／林歯科医院）

【執筆】（50音順）

石田祥己（関東甲信越支部／日本歯科大学生命歯学部歯科理工学講座）
磯野博文（関東甲信越支部／DS デンタルスタジオ株式会社）
伊藤 慎（関東甲信越支部／いとう歯科クリニック）
井上高暢（関東甲信越支部／こばやし歯科クリニック）
上田一彦（関東甲信越支部／日本歯科大学新潟生命歯学部歯科補綴学第2講座）
植田愛彦（九州支部／愛デンタルクリニック）
尾崎 栞（関東甲信越支部／こばやし歯科クリニック・セラミックスタジオひゃん）
片山慶祐（関東甲信越支部／片山歯科医院）
神谷光男（関西支部／カミタニ歯科）
岸 輝樹（関東甲信越支部／岸歯科診療所）
木下英明（関東甲信越支部／池袋きのした歯科・矯正歯科）
久保田 香令（関東甲信越支部／こばやし歯科クリニック・セラミックスタジオひゃん）
小室 暁（本部／小室歯科・矯正歯科 近鉄あべのハルカス診療所）
佐久間利喜（関東甲信越支部／新栄町歯科医院）
佐藤由依（関東甲信越支部／オーガンデンタルラボ株式会社）
蕭 敬意（関東甲信越支部／太洋歯科クリニック）
末木芳佳（関東甲信越支部／毛呂歯科医院）
關 利啓（関西支部／新長歯科医院）
高松雄一郎（北海道支部／高松歯科医院）
高山美那子（九州支部／NCM Dental Lab）
田中宏幸（関西支部／ヒロデンタルクリニック）
千葉 崇（東北支部／Your Dental Clinic 仙台一番町）
千葉雄友（関東甲信越支部／オーガンデンタルラボ株式会社）
辻 展弘（九州支部／辻歯科クリニック）
寺村 俊（関西支部／草津駅前デンタルクリニック）
中井巳智代（関東甲信越支部／なかい歯科クリニック）
長谷川篤史（関東甲信越支部／オーガンデンタルラボ株式会社）
原 久美子（関東甲信越支部／オーガンデンタルラボ株式会社）
藤井肇基（東海支部／藤井歯科医院）
前澤由莉子（関東甲信越支部／こばやし歯科クリニック・セラミックスタジオひゃん）
松永 圭（東北支部／美田園歯科）
三輪 武人（協和デンタル・ラボラトリー）
毛呂文紀（関東甲信越支部／毛呂歯科医院）
吉野英司（東北支部／ヨシノデンタルクリニック）

1

歯科用 CAD/CAM とは

解説 伊藤 慎 (関東甲信越支部/いとう歯科クリニック)

CAD/CAM とは

CAD/CAM は Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing の略称で、歯科用 CAD/CAM はコンピュータ制御による計測装置・設計装置・加工装置を用いて、口腔内に装着される修復物や補綴装置の製作工手（設計および加工）を行う一連のシステムのことをいう。

そのメリットとして、

- ①従来の型取りが不要
 - ②治療期間の短縮
 - ③作業の効率化
 - ④品質のバラツキ抑制
 - ⑤使用可能材料の拡大
- などがあげられる。

CAD/CAM のメリット

1. 光学印象とデータ保存

従来の印象採得のように、口腔内で印象材が硬化するまで数分間じっとしておく、という状況が回避される。同時にデータで保存されることから、スタディモデルの保管場所もなくなり、治療前後の比較もしやすくなる。

2. コピー・ペーストによる形態の再現

データのコピー・ペーストも自由なので、たとえば治療前の天然歯の形態を修復物にコピーしたり、プロビジョナルレストレーションの形態を最終修復物に反映させることも可能である。

3. 精度の均質化

印象時の室内の温度や術者の手技、石膏や金属の膨張収縮、咬合器装着時などエラー要素がなくなるため、修復物の精度が均質化され、よりエラーの原因がわかりやすくなる。

4. さまざまな材料が応用可能

CAD/CAM では、樹脂系材料、金属系材料、セラミック系材料、ワックスなど種々の材料を加工できる。この点において、後述するようにさまざまな治療の場面で応用可能であり、これからさら

に利用場面が広がっていくと考えられる。

5. 即日修復

従来の模型製作、ワックスアップ、埋没、鋳造といった工程が数十分で行えるようになるため、即日修復が可能となった。これは患者側の時間的メリットのみならず、次の来院までの患歯の位置的保存や汚染防止などから解放される意味でも大きなメリットといえる。

6. インプラントへの応用

すでに CT やシミュレーションソフトウェアによるデジタルの導入が行われているが、CAD/CAM によりサージカルガイドの製作が簡便になることや、特殊なヒーリングキャップによりそのまま印象採得が行えるようになったり、その構造から上部構造の破損への対応も比較的簡単になるなど、多くのメリットが生まれている (図 1)。

7. 義歯への応用

義歯床においては、長年、重合ひずみの問題を解決すべく、さまざまな方法が工夫されてきた。しかし、CAD/CAM 技術によりこの問題は解決されようとしている。また、人工歯においてもさま



図 1a 二次手術後の状態。歯周組織の回復を待つ。



図 1b スキャンポスト IO-FLO (Dentsply Sirona) をインプラント体に固定し、スキャンを行った。



図 1c Dentsply Sirona 社製のカスタムメイドのアトランティスアバットメントを装着した状態。



図 1d コアファイルを参考に、インハウスで製作した上部構造 (e.max) を装着した。

図 1 インプラント治療への CAD/CAM の応用例。



図 2 CAD/CAM による義歯の設計例。患者固有の咬合状態に合わせてデザインすることが可能である。



図 3 光学印象により設計・デザインされたマウスピースによる矯正。写真は SureSmile (Dentsply Sirona)。

ざまな形態・サイズのものを用意しなくてはならなかったが、患者固有の咬合に合わせてデザインすることも可能になってきている (図 2)。

さらには部分義歯のクラスプや金属床のデザインにも CAD/CAM が応用されている。

8. 矯正治療への応用

従来、模型を一歯ずつ分割して作っていたセットアップ模型が、PC 上で簡単に製作可能となった。さらには、その過程での模型を 1 つ 1 つ作る

ことでライナー矯正という方法が考え出され、すでに多く実用されている (図 3)。

* * *

以上、示しただけでも多くのメリットがあることをご理解いただけたと思う。これからは修復治療のみならず、予防歯科などでも応用されるなど、CAD/CAM 技術の活用はさらに広がっていくものと考えられる。これらさまざまな応用技術の具体例については、将来刊行予定のアドバンス編で述べたい。

2-2 マテリアルの選択 ②分類

解説 林 敬人 (本部/林歯科医院)

歯科 CAD/CAM マテリアルは、大別すると、セラミック、レジン、金属に分類される。その中で、セラミックはガラスセラミックス、強化型ガラスセラミックス、ジルコニアに大別される。レジンではレジン単独のもの、レジンにセラミック粒子

を分散させて強化した材料、ファイバーでレジンを強化した複合材料などがある。金属ではコバルトクロム合金、チタン合金、純チタンが使用されている。それぞれの特徴を把握した上で、目的に応じて選択されたい (図 1)。

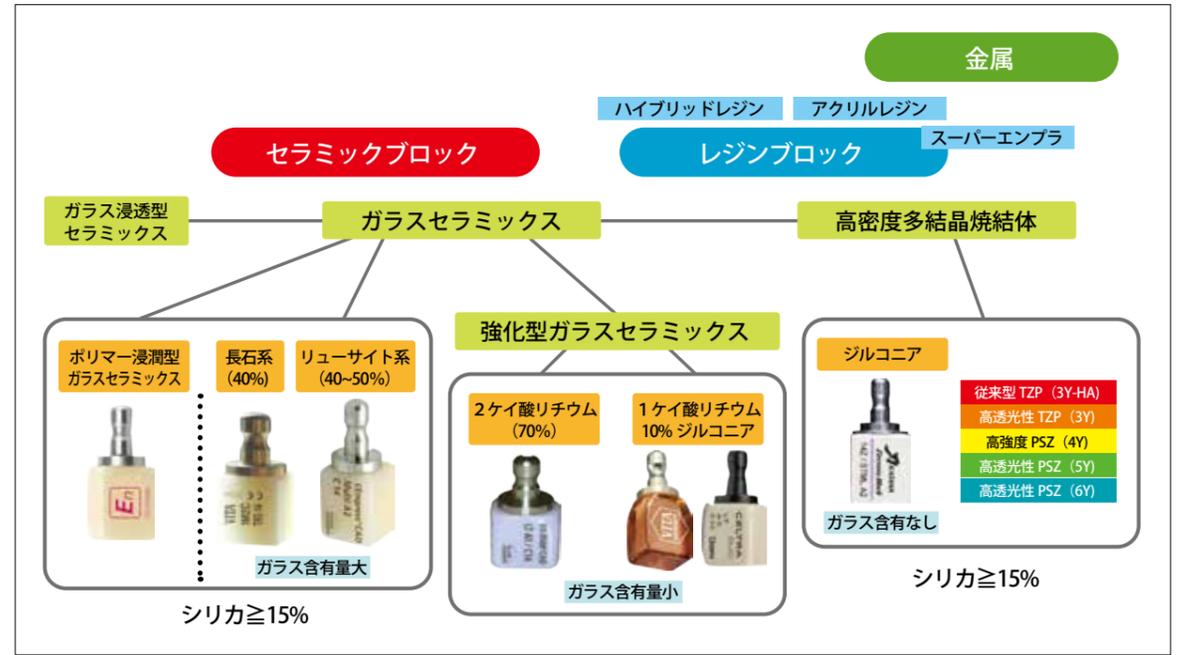


図 1 CAD/CAM マテリアル分類。

材料学的分類

まず材料学的な性質とその機械的強度による分類を示す。

1. ガラスセラミックス

CAD/CAM システムの初期を担ってきたのがガラスセラミックスで、マトリックス中のガラスの含有量が多いものをいう。長石系とリューサイト系に分けられ、どちらも透明性は高いが、機械的強度が限られているため、用途としてはインレー、アンレー、ベニア、単冠に限定される。

2. 強化型ガラスセラミックス

ガラス含有量が 30%前後のものが強化型ガラスセラミックスに分類される。そのうち分散結晶が 2 ケイ酸リチウムである 2 ケイ酸リチウム系と、メタケイ酸リチウムと 10% ジルコニアを分散させたジルコニア強化型ケイ酸リチウム系がある。その製品の多くが熱処理を必要としているが、ガラスセラミックスに比べて強度がかなり向上しており、小白歯をポンティックとした 3 ユニットのブリッジにも使用可能とされている。

3. ジルコニア

ジルコニアは、酸化ジルコニウム (ZrO₂) を主成分とするセラミック材料である。

もともと金属の代替材料として、コアになるフレームとして用いられてきた。しかし、その高強

度・高靱性、さらには耐摩耗性と耐腐食性から、透過性の高いジルコニアが要望され、機械的強度はやや落ちるが、透過性の優れたジルコニアが次々と開発され、現在では審美性が必要な前歯部のモノリシッククラウンにも用いられている。

また、ガラスセラミックスに比べると、かなり高強度・高靱性であり、ロングスパンのブリッジやインプラント補綴にも使用されている。

材料学的には、イットリアの含有量により透過性と機械的強度のバランスが変わる。その性質によって多くの種類のジルコニアが開発され、用途によって使い分けられている。

4. レジン系複合材料

アクリルレジンテンポラリークラウンや義歯床、スプリントに使用される。繊維強化型レジンはおもにフレームに使用される。レジンにセラミック粒子を分散させたハイブリッドレジンには保険に適用されたこともあり、さまざまな特性をもった製品が各社から出ている。曲げ強さはガラスセラミックスより強いものもあるが、硬さがエナメル質より軟らかいため、耐摩耗性に不安がある。

2024 年に保険適用となったポリエーテルエーテルケトン (PEEK) は耐摩耗性にも優れており、スーパーエンジニアリングプラスチックと呼ばれている。

表 1 ISO6872-2008 で規定された歯冠用セラミックスの用途と必要な強度 (参考文献 1 より引用改変)

クラス	推奨される臨床用途	曲げ強さ (MPa) 最小値	破壊靱性値 (MPa・m ^{1/2}) 最小値
1	a: セメントで接着される前歯部の単冠やベニア、インレー、アンレー用として使用される単一材料のセラミックス b: 金属やセラミックフレームの前装に使用されたセラミックス	50	0.7
2	a: セメントで合着される前歯・臼歯のクラウン: セメントで合着される前歯部または臼歯部の単冠に使用される単一材料のセラミックス b: セメントで合着される前歯・臼歯のクラウンのフレームワーク: セメントで合着された前歯部または臼歯部の全体または一部を被覆する前装に使用されたセラミックス	100	1.0
3	a: セメント合着される 3 歯以下のブリッジ: セメントで合着される前歯部または臼歯部の単冠や大白歯部を含まない 3 歯までのブリッジに使用される単一材料のセラミックス b: 3 歯以下のブリッジのフレームワーク: セメントでの合着によらない前歯部または臼歯部の単冠や、大白歯部を含まない 3 歯までのブリッジの全体または一部を被覆する前装に使用されるセラミックス	300	2.0
4	a: 大白歯を含む 3 歯ブリッジ: 大白歯を含む 3 歯ブリッジまで適用可能な単一材料のセラミックス b: 大白歯部を含む 3 歯ブリッジまでのフレームワーク: 大白歯部を含む 3 歯ブリッジまで適用可能な全体または一部を被覆する前装に使用されるセラミックス	500	3.5
5	4 歯以上のブリッジやブリッジフレームワーク: 単一材料で 4 歯以上のブリッジや全体または一部を被覆する 4 歯以上の前装に使用されるブリッジフレームワーク	800	5.0

臨床用途による分類

歯科 CAD/CAM マテリアルの種類が多くあるのは、すべてにおいて万能な材料がないからである。つまり、臨床において、使用する部位や求める機能・審美性によって、マテリアルを使い分ける必要がある。ここでは日々の臨床でのマテリアル選

択において、考慮すべき要素で分類してみたい。

1. 各部位において必要な強度・耐久性

セラミックスは基本的に曲げ強さと破壊靱性値で評価されており、ISO6872-2008 (表 1) で適

3-1

防湿 ①なぜ防湿が必要なのか

解説 中井巳智代 (関東甲信越支部/なかい歯科クリニック)
 蕭 敬意 (関東甲信越支部/太洋歯科クリニック)

CAD/CAM 臨床における防湿の必要性

近年は接着歯学の発展により、化学的接着を主体とした修復処置が主流となっている。エビデンスに基づいた接着の臨床プロトコルが確立し、研究者と歯科材料メーカーのたゆまぬ努力の成果によりさまざまな接着材が生み出された。しかし実際の臨床現場では一定の湿度や温度ではない場合が多く、そもそも口腔内は常に湿潤状態であることから、接着を行う上できわめて不利な環境である。このような環境下であっても、我々臨床家は常に接着の品質と耐久性を確保するために、接着に適した環境を整備しなければならない^{1), 2)}。

CAD/CAM 臨床における接着においても、コンポジットレジン修復処置と同様に、以下の点から防湿は重要なステップである。

1) 接着材の性能維持

接着材は湿気に敏感であり、湿度が高いと材

料が劣化し、接着強度が低下する。防湿することで最適な状態で硬化し、強固な接着となる。

2) 接着面の清浄化

接着面に唾液や血液が付着すると接着効果が減少する。防湿により接着面が清潔に保たれ、接着材と歯のぬれがよくなり、修復物にしっかりと接着する。

3) 適切な硬化

湿度が高いと、接着材の硬化反応が不完全になることがある。防湿により接着材が均一に硬化し、長期にわたる耐久性が確保される。

4) 歯質の保護

象牙細管の封鎖を目的とするイミディエイトデンティンシーリングを防湿下で行うことで歯質が保護され、最適な接着が可能となり、術後疼痛や術後性知覚過敏も防ぐことができる。

防湿法の選択

日本の年平均相対湿度は 71.06% で、平均すると秋冬は 50 ~ 60% だが、夏場になると最高で 75% に到達する日もある。あらゆる研究や実験、検証現場では、一定の温度・湿度を保った環境下 (22 ~ 23℃、50% 前後) で行われることが通常であることを考えると、簡易防湿では防湿をしていないに等しいといえる (図 1、2)。

現在のところ、ラバーダム防湿がもっとも有効な防湿法とされている。複数歯を露出する場合はやや湿度が高くなる傾向にあるため、やや厚めのシートを選択し、ラバーダムテンプレートをを用いて適切な位置へ穿孔することが望ましい (図 3)。

ただし、嘔吐反射、開口量といった患者側の生

理的・機能的な問題や、クラウン装着時のマージン位置によっては、ラバーダム防湿を適用できないこともある。そのような場合は、多機能バキュームチップ ZOO (図 4) を状況に応じて選択し、最適な防湿環境を構築することが大切である。

CAD/CAM 臨床では、診査・診断から装着するまでの誤差を最小限にすることが可能となったものの、口腔内への修復物装着の段階におけるテクニカルエラーにより、修復物の脱離、破折、装着後の疼痛などのトラブルが生じてしまうおそれがある。今一度、接着を支える防湿の重要性を見直し、トラブルの軽減につなげていただきたい。

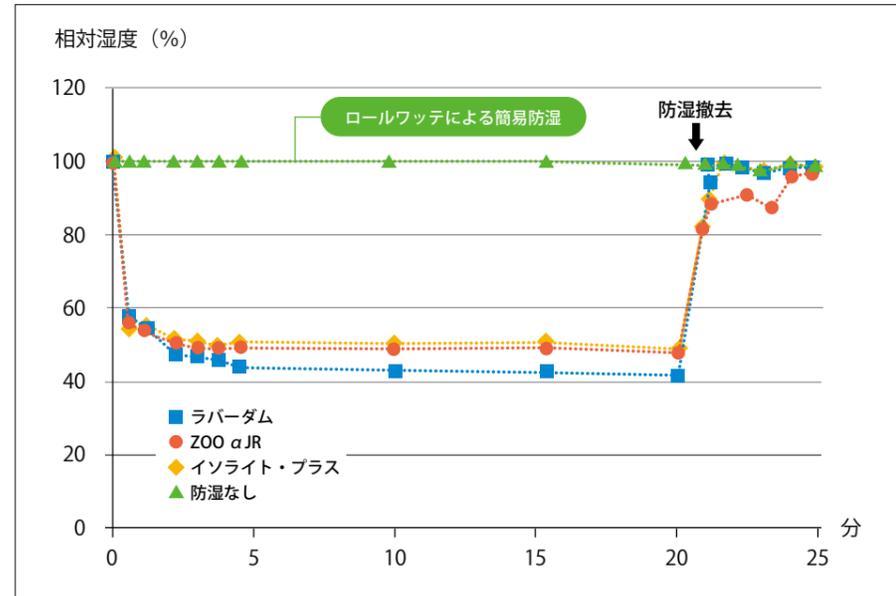


図 1 防湿法の比較。ラバーダム防湿法がもっとも優れていることがわかる。ロールワッテによる簡易防湿はほとんど防湿していないに等しい (参考文献 3 より引用改変)。



図 2 ロールワッテによる簡易防湿。接着臨床においては防湿には値しない方法である。



図 3 複数歯に対するラバーダム防湿の適用例。複数歯を露出する場合は、穿孔部と歯頸部の密着性をよくするために厚手のシートを使用し、適正な位置に穿孔する。



図 4 C-ZOO α (アプト)。ZOO と排唾管を駆使することでラバーダム防湿と同等の口腔内湿度下での治療が行えるため、CAD/CAM 治療の質が飛躍的に向上する。バキュームコネクターのコントローラーで吸引力を無段階に調節ことができ、治療部位への唾液の付着を防ぐことができる。また付属するバネ部のコイルスプリングの高さが 3 段階あり、開口し続ける患者の苦痛を軽減することができる。

5-1

形成
①メタル修復との比較

解説 佐久間利喜 (関東甲信越支部/新栄町歯科医院)

Black の窩洞形成

G.V. Black (1836-1915) が 1891 年に「予防拡大」の論文を発表し、予防拡大の原理と意義を説き、窩洞や窩洞形成に新しい理論導入・体系化とともに歯科保存学の礎を築いた。彼の提唱した窩洞の分類法 (Black の窩洞・5 原則) は現在でも広く臨床で使用されている。

それから 130 年以上経った現在でも臨床で使用されているこの理論に対して尊敬の念を抱いてはいるが、さまざまなマテリアル、テクノロジーが進化したにもかかわらずそのコンセプトを引きずっていることに対しては不安を感じてしまう。G.V. Black も予防拡大の論文発表後、当時の学生

に対して「諸君の時代には、治療することよりもおそらくは予防医学の時代が来るだろう。う蝕の病因学と病理学を十分研究した時には、系統的な薬物の効用によってう蝕症を退治することができるようになるであろう」と予言していたという²⁾。

アマルガム修復からメタルの鑄造修復へと進歩していった現代歯科学において、CAD/CAM 装置とセラミックブロックを使用した接着による間接修復処置が 1980 年代に開発・臨床応用されてから 40 年が経過する。我々日本の臨床家もマインドチェンジを行い、患者利益を真剣に考えるべき時期に入ったと思っている。

形成の考えかた

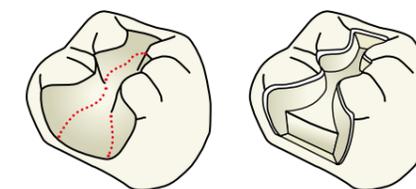
特に CAD/CAM 修復において、我々は前述した Black の窩洞、あるいは金属修復での形成形態の考えかたを CAD/CAM 修復でのデザインへ変更しなければならない。そもそも窩洞形成の 5 原則 (窩洞外形・保持形態・抵抗形態・便宜形態・窩縁形態) は金属と歯の機械的な合着が由来であり、前提として金属の性質 (展性・延性) に基づいたものだからである。

さらに、CAD/CAM 修復ではミリングバーの太さを考慮した形成にする必要がある。具体的には、

- 単純化した滑らかな曲線
- 一定の厚み (強度) が担保できる削除量
- ミリングバーがブロックの内側・外側をきちんと削合できる形態

にしなければならない (図 1~4)。

- 線角、点角はすべて丸める。
- 窩洞狭窄部は水平垂直に 1.5mm 以上確保する。
- マージンはノンベベルのバットジョイントとする。
- 隣接面のボックス部の近遠心的な厚みを 1.0~1.5mm 確保する。
- 隣接歯との間に十分なスペースを確保する。
- マージンを対合歯、隣接歯と非接触にする。
- 窩壁に凹凸を残さない。
- スライスカットしない。
- 頬側面溝の形成を十分に行う。
- ボックス形態は曲線化させる。



●左: コンポジットインレー、右: メタルインレー

図 1 インレー窩洞形成のポイント³⁾ (図は参考文献 1 より引用改変)。

<p>咬合面</p> <ul style="list-style-type: none"> • 約 1.5mm のガイドグループを付与する。 • 頬側、舌側内斜面ともに、咬頭傾斜に沿ってガイドグループが平らになるように削合し、滑らかな逆屋根状にする。 • クリアランスは 1.5 ~ 2.0mm 以上にする。 	<p>唇側面または頬側・舌側面</p> <ul style="list-style-type: none"> • 頬側面は咬頭側と歯頸側それぞれに咬合面と同様 1.0mm 弱のガイドグループを付与し 2 面形成する。 • 前歯部では切縁に内側傾斜をつけ削除量を十分にとり、審美性への配慮として唇側 3 面形成を推奨する。 • 軸面テーパは片面 6° ~ 10° の範囲に収める。 • 舌側も 1.0mm 弱のガイドグループを付与し、歯軸に沿った形成とする。
<p>隣接面</p> <ul style="list-style-type: none"> • 隣接歯を傷つけないことが重要であり、隣接面に歯質が一層残るように軽くバーを通すイメージで形成する。 • 両隣接面のテーパも片面 6° ~ 10° の範囲に収める。 • 隣在歯と支台歯マージンとの間は 150μm 以上離さないとスキャンできない。 	<p>軸面・辺縁部</p> <ul style="list-style-type: none"> • 概形成ができたら、続けて支台歯全周の辺縁形態をディープシャンファーに修正する。 • フィニッシュラインが鋸歯状とならないよう、特に滑らかに仕上げるのが大切である。 • 舌側面も頬側面と同様に修正する。 • クリアランスは、軸面で 1.5mm 以上、辺縁部で約 1.0mm 以上にする。
<p>隅角部</p> <ul style="list-style-type: none"> • 咬合面-軸面部、切縁・舌側-軸面部に鋭利な部分がないように丸みを帯びた形状にする。 	<p>削除量の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> • あらかじめ製作したシリコンインデックスなどで削除量を確認する。

図 2 クラウン形成のポイント⁴⁾。適切なクリアランス、滑沢かつ単純な形態、丸みを持たせた凸隅角部、円滑で明瞭な辺縁形態とフィニッシュラインが求められる。

7 設計

解説 關利啓 (関西支部/新長歯科医院)

上下顎歯列の重なりの確認

光学印象の撮影後、ソフトウェア上で歯列とバイトの情報が合わさり、咬合した状態が再現される。この状態できちんと撮影ができているか、次の2点を確認しておくことで後の調整が楽になる。

①撮影時に影になりやすい部分(特にマージン部)が鮮明に撮れているか

②上下顎歯列の重なりの方に問題がないか(図1) 正常な天然歯の被圧変位量は $25 \sim 100\mu\text{m}$ ¹⁾ であるため、それ以上重なっている場合は撮影のエラーを疑うべきである。

マージンを引く際のコツ

光学印象に問題がなければ、次に形成歯のマージンを引く段階となる。形成がきれいにできていればオートマージン機能で自動的にマージンラインが引かれるが、その場合でも最大倍率にして確

認したほうがよい。印象時に歯肉圧排などをしていても、歯肉とマージンの境がわかりにくい場合は、裏側から見るとマージンが判別しやすい場合がある(図2)。

面接触によるコンタクトの設計

マージンラインを引いたら、ソフトウェアが修復物・補綴物を提案してくれる。形態がおかしくないか確認した後は、隣在歯とのコンタクト部を確認する。

ソフトウェアが設計した場合、コンタクトが点接触になることが多いが、点接触の場合チッピングや食片圧入の原因となるため、面接触にしたほうが術後のトラブルが少なくなる。その際、わざ

と隣在歯に食い込むようにコンタクトを膨らませて、その後コンタクト調整で合わせると、簡単に面接触にすることができる(図3)。

次に咬合を確認する。ソフトウェアの初期提案では咬合が高く作られていることが多いため、全体が青色程度になるまで咬合を低くするほうが、セット後の調整が少なくなる(図4)。

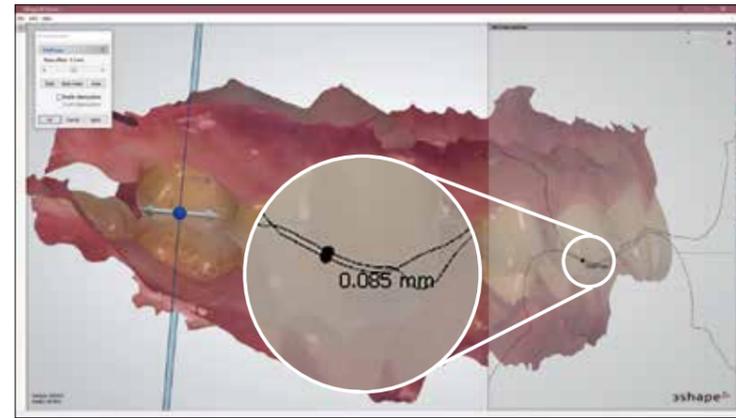


図1 上下顎歯列の重なり方のチェック。正常な天然歯の被圧変位量(歯軸方向の沈下量)は $25 \sim 100\mu\text{m}$ ¹⁾ であることを参考に、上下顎歯列の重なりを確認する。

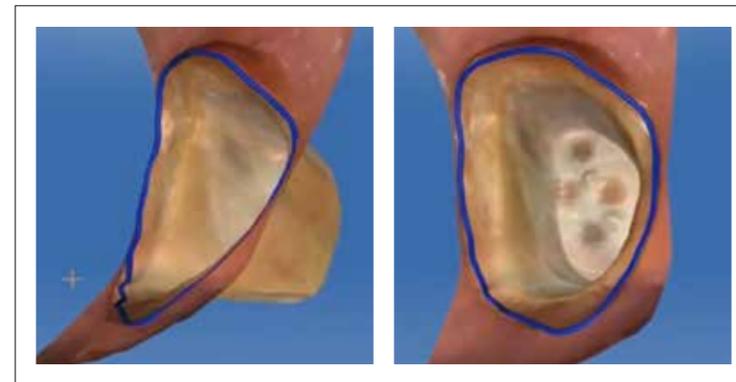


図2 歯肉とマージンの境目がわかりにくい場合は、裏返してみると判別しやすい場合がある。

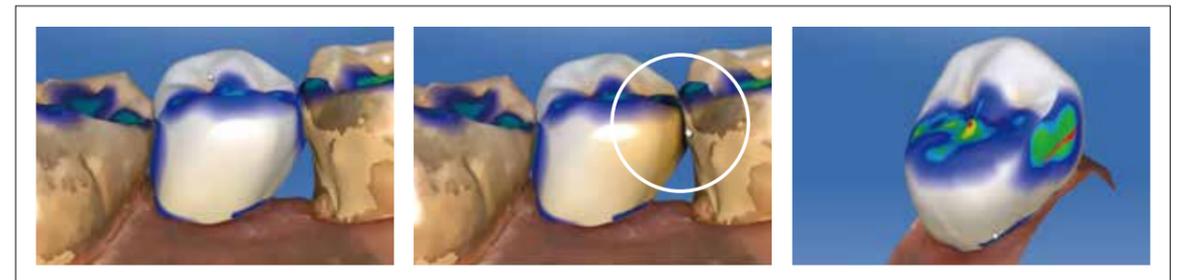


図3 面接触によるコンタクトの設計。左:調整前、中央:近心のコンタクトを強くした段階、右:調整後。点接触ではなく面で当たっている。

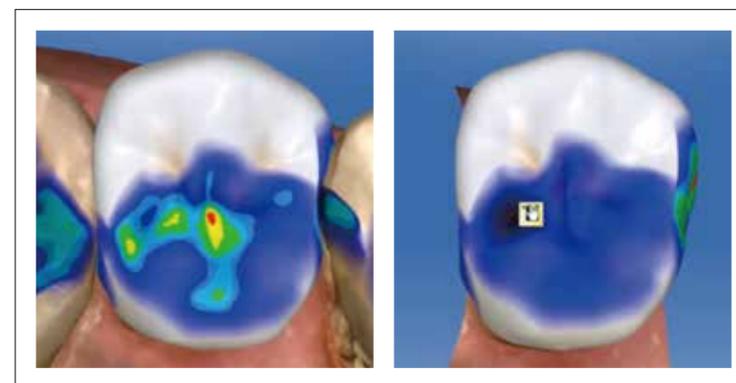


図4 咬合のチェック。左:初期提案の咬合、右:調整後の咬合。赤色や黄色といった強く当たっている接触点が無くなっている。

4

3Dプリンタの臨床応用と今後の展望

解説 上田一彦（関東甲信越支部／日本歯科大学新潟生命歯学部歯科補綴学第2講座）
三輪武人（協和デンタル・ラボラトリー）

3Dプリンタは、デジタルデータから物理的なオブジェクトを製作するために、工業界をはじめとするさまざまな分野で広く使用され、歯科界においても臨床応用されている¹⁾。

本稿では、歯科治療に用いる3Dプリンタ用造形材料と製作物、3Dプリンタの種類とそれらの特徴について解説する。

3Dプリンタで用いる造形材料

3Dプリンタで使用する材料は多岐にわたり、レジンをはじめとする樹脂材料、純チタンやコバルトクロム合金などが用いられる。近年、ニケイ酸リチウム含有ガラスセラミックス²⁾ やポーセ

レン、ジルコニア^{3、4)} についても研究開発が進んでおり、これらの臨床応用が可能になると、歯科における3Dプリンタの可能性がより拡大することが予想される。

3Dプリンタによる各種造形材料から製作する製作物

3Dプリンタの導入初期、歯科技工所では個人トレーを中心に臨床での活用方法を模索していた。その後、模型やサージカルガイド、プロビジョナルクラウン、鑄造用のレジンパターン、義歯などに適用範囲を広げ、現在では多くの歯科技工物製作時に使用可能な機器となっている⁵⁾。

1) 樹脂材料

① 模型

樹脂材料から製作する代表的なものとして模型があげられる⁶⁾ (図1)。

近年、IOSの普及に伴い、補綴装置製作時に必要な3Dプリンタによる樹脂製の作業用模型の需要が増加している。作業用模型は石膏模型と同様に種々のものが3Dプリンタで製作可能で、石膏模型では歯型分割時や修正時に喪失する歯型周囲の歯肉部、あるいはインプラント上部構造周囲の軟組織形態が再現可能である。また必要に応じて3Dプリンタによるガム模型の製作も可能になっている。

② サージカルガイド

インプラント治療で用いるサージカルガイドが樹脂材料にて製作されている。

サージカルガイドの製作には模型製作時に使用する樹脂材料と異なり、術野の視認性の向上を目的に無色透明のクリアタイプのものが用いられる。さらにドリリング時の骨の熱傷を回避するため、注水を妨げないさまざまな工夫が施されたものも製作されている。

③ ロストワックス法用レジンパターン

ロストワックス法用レジンパターンが、焼却可能な樹脂材料を用いて製作されている。レジンパターンは、固定性補綴装置では鑄造法にて製作する金属製部分、プレス成形法にて製作するオールセラミッククラウンやブリッジ、可撤性補綴装置では部分床義歯で用いるクラスプや大連結子、金属床部などをロストワックス法で製作する際に用いる。

④ 可撤性補綴装置

近年では可撤性補綴装置、特に全部床義歯の製



図1 インクジェット方式プリンタで造形した作業用模型。

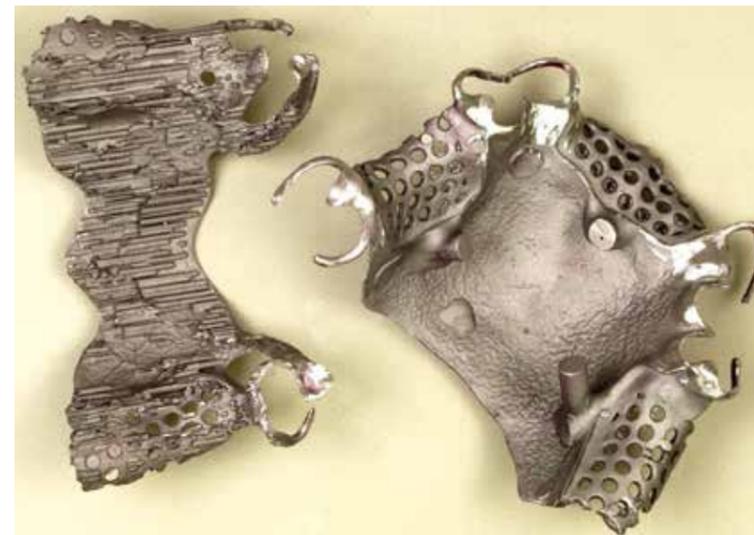


図2 粉末焼結積層法（左）と3Dプリンタで製作したレジンパターンを鑄造（右）して製作した義歯の金属部分の比較。

作に3Dプリンタが用いられている。以前は全部床義歯を構成する人工歯と義歯床の境界部を明確に再現することが困難であったが、現在では各部に適した色調の再現が可能になっている。しかし、加圧重合法や切削加工法により製作される全部床義歯と比較して、機械的強度が低い傾向にあることが報告されており、強度の改善が現在の課題になっている。

* * *

なお、作業用模型やサージカルガイド、補綴装置には高い寸法精度が求められるため、樹脂材料を用いる技工物は製作時に発生する収縮量を考慮する必要があり、精度に影響を及ぼす造形データの配置を工夫することで対応している。

2) 金属材料

固定性補綴装置、部分床義歯の金属部分が3Dプリンタにより製作される(図2)。

3Dプリンタによる金属製補綴装置の製作法は、前述したレジンパターンを鑄造する方法と、金属粉末を一層ずつ焼結して行う粉末焼結積層法がある。両者を比較すると、後者は作業工程の単純化により作業効率は向上するものの、製作物表面は粗造になるため、高い適合精度が求められる場合には前者が有利となる。そのため、現在は積層造型法と切削加工法を組み合わせることで適合性の優れた補綴装置の金属部分を製作する試みが進んでおり、2023年にケルンにて開催された国際デンタルショー(IDS2023)においても出展されていた⁷⁾。

2

コマーシャルラボが考える CAD/CAM 技工における歯科医院との連携

解説 長谷川篤史・千葉雄友・佐藤由依・原久美子
(関東甲信越支部/オーガンデンタルラボ株式会社)

デジタルにより大きく変化した歯科医院との連携

業務がデジタル化されている現代では、FAX が E-mail になり、E-mail が SMS になった。電話でのコミュニケーションは激減し、連携面において必要なコミュニケーションの手段も、従来の電話や E-mail に加えて、歯科医院側と歯科技工所側で複数のスタッフ間のグループチャットを使用し、伝わりづらい情報などもテキストや画像を用いて同時に記録が残るように情報共有するようになった(図1)。さらにオンラインミーティングなどを使用すれば、より迅速で効率のよい連携を取ることもできる。

歯科技工士の業務である技工作業もデジタル化によって大きく様変わりし、CAD/CAM での作業が多くなった。JPG 画像やフェイススキャンデータ、また DICOM データや STL データなど、さまざまなデジタルデータが普及し、これまでのアナログ作業においては入手困難であった情報も、オンラインストレージなどを介して、我々コマーシャルラボとチェアサイドでシームレスに共有することができるようになった。

なかでも顔貌の情報を CAD ソフトウェア上で前歯部のデザインなどの参考にできるスマイルデザインは、かつてのモニター越しの確認や歯科医院での立ち会いと異なり、まるで口腔内でワックスアップを行っているかのようにデザインすることができる。これは常にモニター内でトライインしている状況と同じである。これらの手法はフェイススキャナーなどの登場により今では珍しくない技術になりつつあるが、かつてのアナログ技工を思い返し比べてみても、歯科医院との連携面においてデジタルならではの革新的な技法ではないだろうか(図2)。

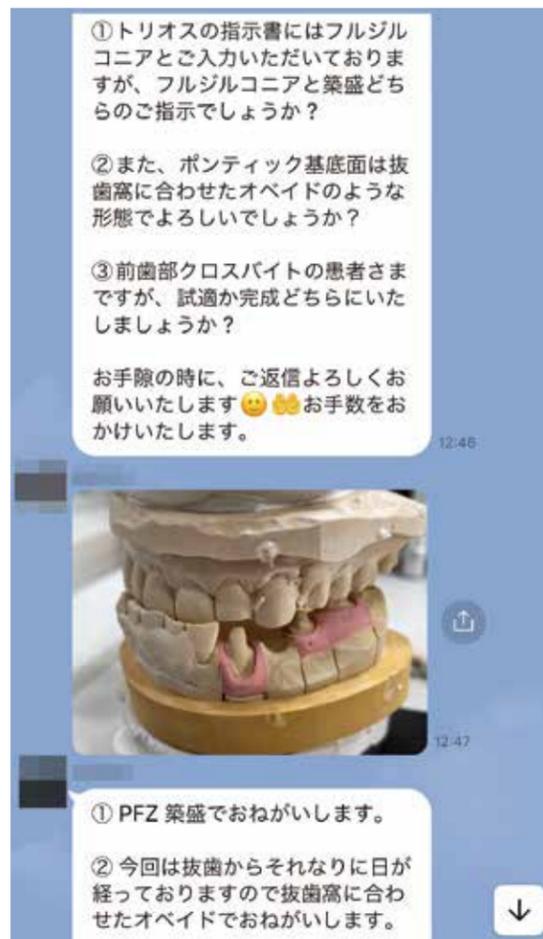


図1 グループチャットでのコミュニケーションの実際。テキストと JPG 画像で綿密に話し合うことができる。また歯科技工士のタイムスケジュールと異なり、歯科医師は常に患者を治療しているので、合間をみて返信することもメリットの1つである。

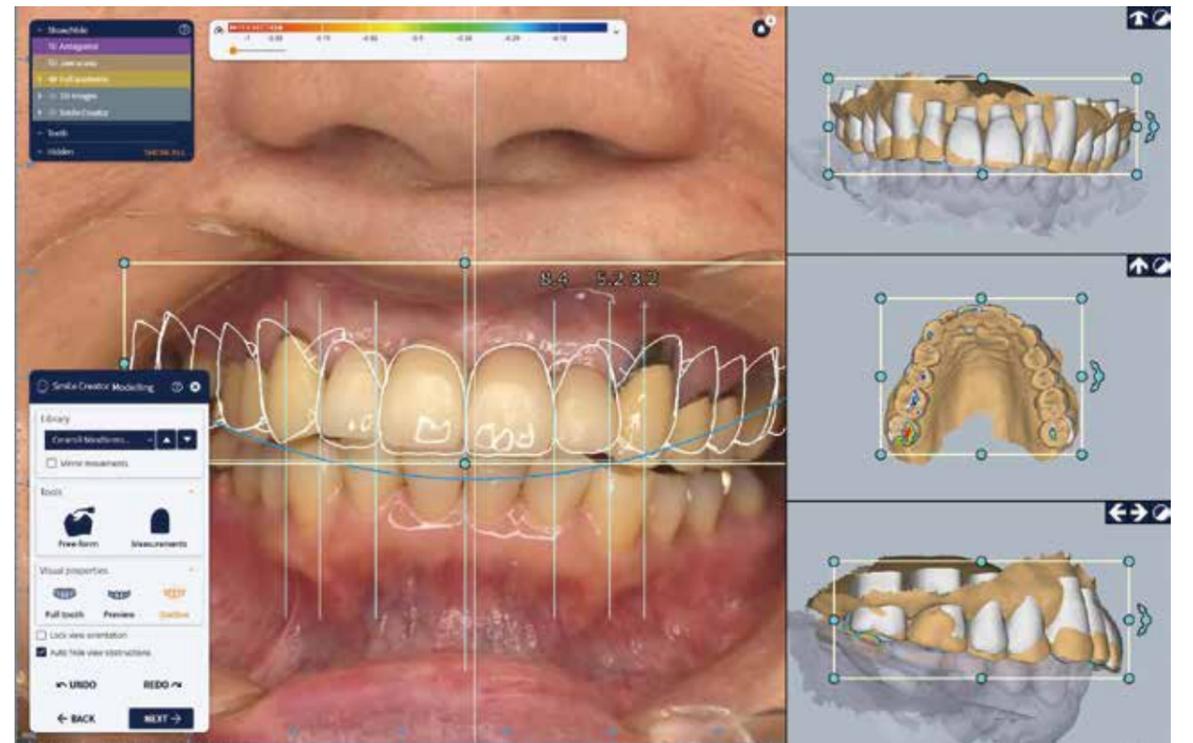


図2a exocad による 2D-JPG 画像を使用したデザイン。このシステムでは、デジタルカメラの画像を使用するため特別な機器が必要でなく、手軽に日常業務に組み込むことができると考える。しかし 3D ではないため、ジェットバイトなどのエッジポジションはプロビジュアルのデータを参考にデザインする必要がある。

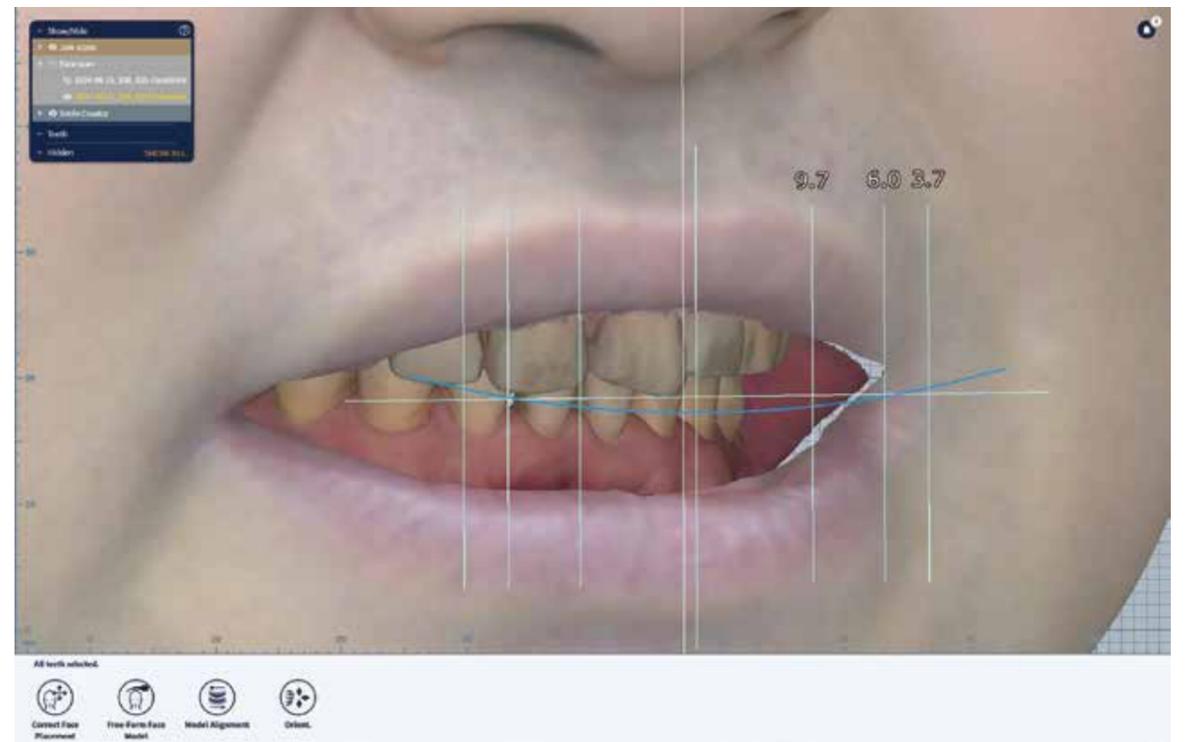


図2b フェイススキャンによるデザイン。専用スキャナーを使用しスキャンした顔貌情報を CAD ソフトウェアで展開しデザインすることができる。JPG 画像のように 2D ではなく 3D で表示されるため、ジェットバイトのような前歯部エッジポジションなどは参考にしやすい。しかし現状では、メーカーによって模型データである STL ファイルとフェイススキャンデータのマッチングが精度的に不透明である。