

矯正歯科治療におけるセットアップモデルと 口腔インプラント治療の統合デジタルシミュレーション

西山貴浩

Interdisciplinary digital simulation of orthodontic setup modeling
and dental implant treatment

Takahiro Nishiyama, DT

抄 録

歯科のさまざまな領域でデジタル化が進み、安心安全に処置を行いかつ治療の完成度を高めることが可能となってきた。特に、複数の診療科にわたり横断的に検討することで、新たな展開を進めるいわゆるインターディシプリナリーアプローチはデジタルと相性が良いと考えられる。われわれが開発した統合シミュレーションソフトウェアは、インプラント、矯正歯科、補綴歯科、口腔外科にわたるインターディシプリナリーアプローチを成功に導くためにシミュレーションデータ情報を、歯科医師、歯科衛生士、歯科技工士などの医療従事者間で共有することが可能である。今回は、ソフトウェアの機能について紹介する。われわれは、今後も歯科業界の一助になるツールを研究開発し、提供していきたいと考えている。

キーワード

シミュレーションソフトウェア、インターディシプリナリーアプローチ、デジタルシミュレーション、バーチャルセットアップ

ABSTRACT

Digital technology is getting popular in various fields of dentistry. It has become possible for doctors to perform treatments safely and securely, and to improve quality of treatment. In particular, the interdisciplinary approach, which promotes new workflow developments by conducting inter-sectional collaboration across multiple clinical departments, is considered to be well compatible with digital technology. We have developed an integrated simulation software. It is possible to share simulation data information among healthcare professionals such as dentists, dental hygienists, and dental technicians. Therefore, this software can lead to a successful interdisciplinary approach across oral implants, orthodontics, prosthetic dentistry and oral surgery. This manuscript introduces the functions of our software. We will continue to research and develop tools that will help dental industry and provide them to dental fields.

Key words:

Simulation software, Interdisciplinary approach, Digital simulation, Virtual setup

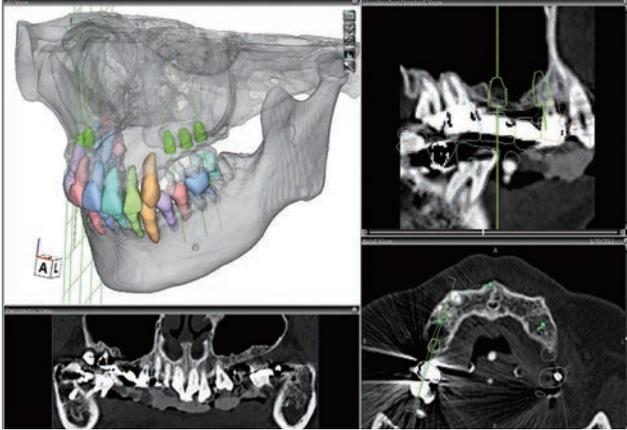


図1 シミュレーションソフト BioNa® の操作画面。

このソフトウェアは元大阪大学大学院歯学研究科歯科理工学教室 荘村泰治教授，和田精密歯研株式会社の元常務であった熊澤洋一氏が中心となり，大学発ベンチャー BioNIC 株式会社を立ち上げ，JST（科学技術振興機構）の支援を受けて，独自の観点から開発した。

I. はじめに

IT 技術の進捗により歯科治療のデジタル化が進んでいる。その先端的なハードウェアである石膏模型スキャナー，口腔内スキャナー，CT などのデジタル装置で計測されたデータを用いて，修復物の CAD/CAM 製作，臨床診断や，手術シミュレーションなどが広く普及し，補綴歯科，口腔インプラント科，保存歯科，口腔外科，矯正歯科などの広い分野で応用されている。

これらの臨床分野においては，最近，診断や治療を単一の臨床科だけで完結させずに，複数の科目にわたり横断的に検討することで，新たな展開を進める試みがみられている。特に歯科インプラント治療においては，現行のオッセオインテグレーションインプラントを使用する限り，埋入後にインプラントの位置を変更（矯正）することは難しく，矯正歯科治療を行った後の歯列や欠損の位置を予測したうえで，固定源にも使えるオッセオインテグレーションインプラントをその未来の欠損の位置に埋入する必要がある。すなわち，今後の歯科医療では，矯正歯科と補綴歯科，口腔外科にわたるインターディシプリナリーアプローチが必要かつ，不可欠なのである。このアプローチにおいては，横断的かつ専門的な深い知識と，それらの臨床データに対応できるシミュレータや，手術支援システムの機能的な連携が必要とされる。しかし，横断的な複数領域に対応したシミュレーションソフトウェアは世界的にも少ない¹⁾。



図2 ラボで作製するセットアップモデル。写真のように歯列石膏模型の歯冠を1本1本鋸で切断して作るため，この模型から口腔内に適合する補綴装置やサージカルガイドを作ることは困難である。

われわれは，現在歯科インプラントを埋入するために開発されたシミュレーションソフトウェア (BioNa®, 和田精密歯研，日本) を，矯正歯科治療や補綴歯科治療が必要とされる横断的な症例に対応できる統合ソフトウェアへバージョンアップを進めている。本ソフトウェアが目指すインターディシプリナリーアプローチの概念や実際をここで紹介したい²⁾。

図1は本ソフトウェアの操作画面である。三次元エックス線 CT モデル像と任意の断面画像を表示し，これらを参照しながら，インプラントのシミュレーションができるようになってきている。もともとわれわれはシミュレーションした場所に正確にインプラントを埋入するためのサージカルガイドを歯科医師に提供することを目的として BoneNavi® System を開発し，その後に本インプラント埋入シミュレーションソフトウェアのオリジナル開発を行った^{3,4)}。

本ソフトウェアにはインプラントメーカーの協力により実際のフィクスチャーやアバットメントの三次元形態をライブラリーに登録しており，各メーカーのシステムに合わせてインプラントシミュレーションができるようになってきている。

II. 矯正歯科治療+口腔インプラント治療+補綴歯科治療のインターディシプリナリーシミュレーションを行うために

補綴歯科治療を成功に導くために，口腔外科治療や矯正歯科治療を補綴前処置として行うことで，最善の治療法を実施することが可能となってきた。生物学的

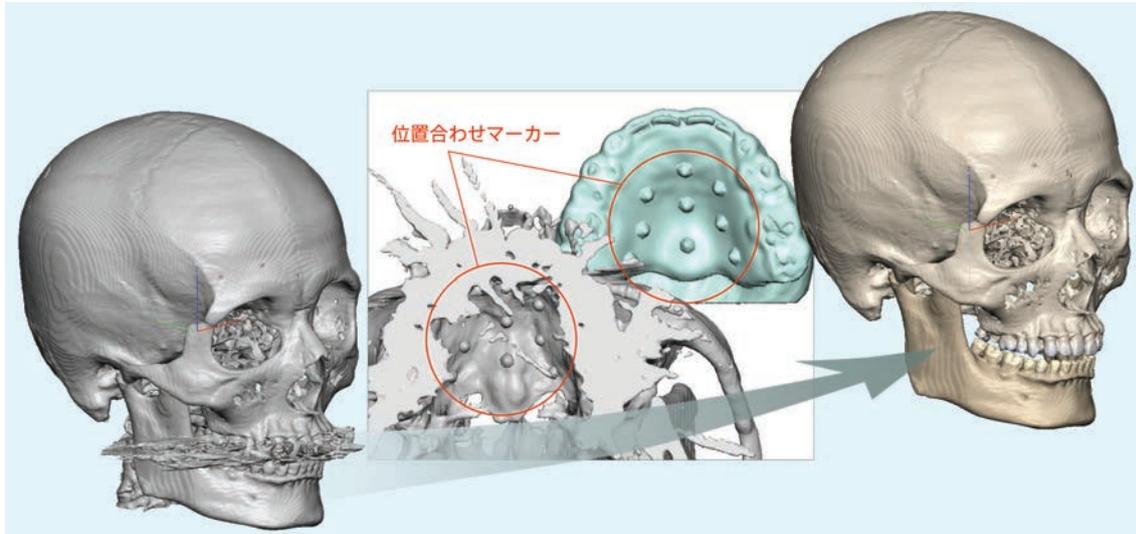


図3 金属歯冠修復物から発生するメタルアーチファクトは、位置合わせマーカーを基準にCT骨像と合成した石こう歯列模型の歯冠形態に置き換えることで除去することができた。この方法により正確な3D骨モデルを生成することが可能になった。本技術はわれわれの特許の一つである。

幅径の獲得を目的とした矯正歯科的挺出处置などは補綴前処置として広く行われるようになってきている^{5,6)}。特に、インプラント治療においては、天然歯喪失後に支持骨が失われた顎堤に対して、骨造成処置により顎堤形態を回復することができるため、臨床で広く応用されている⁷⁾。

矯正歯科治療+口腔インプラント治療+補綴歯科治療のインターディシプリナリー症例における術前シミュレーションを行う場合、模型によるセットアップや診断用ワックスアップは必要不可欠である。しかし、現在の矯正治療用のセットアップモデルには歯冠の情報しかない。その状況で歯冠移動に伴う歯根移動が周辺顎骨とどのように干渉するのかなどの重要な情報を考慮しシミュレーションすることは難しい。また、セットアップモデルを作製する際に、模型の歯冠をすべて分離するため、セットアップした模型から補綴装置やサージカルガイドを作製することは困難である(図2)。

一方、エックス線CTデータから骨の状態や歯根の形態情報を抽出することは可能であるが、正確なセットアップシミュレーションをするためにはエックス線CTデータだけでは不十分である。エックス線CT画像には口腔内金属修復物によるアーチファクトがしばしば発生するため、歯冠の形状は不正確になる。またエックス線CT画像の解像度は石膏模型用光学スキャナーのそれよりも劣るために、アーチファクトが発生していない場合でもシミュレートする歯冠形状の再現精度は劣る⁷⁾。

そのために、われわれのシステムでは、歯列石こう模型や口腔内スキャナーから取得した正確な歯冠形態情報と三次元エックス線CT画像から得た歯根データを統合合成した歯牙データを用いて、矯正歯科治療+口腔インプラント治療+補綴歯科治療を融合したインターディシプリナリーアプローチを求められる症例に提供している。今後、さらに幅広い症例に対応できるソフトウェア作りが求められると推測され、現在その開発を続けている。

矯正歯科治療におけるセファロ分析は、歯のサイズの計測や分析を行い、平均値に対して大きい、もしくは小さいなど、患者の特徴を診断するために必要不可欠な検査法である。頭部エックス線規格写真(セファロ)の二次元画像に比べてCTデータは三次元データであり、情報量が多いので、セファロ分析の三次元シミュレーションへの組み入れを現在検討中であり、口腔インプラント治療や補綴歯科治療のシミュレーションに反映させる開発を進めている。

III. BioNa[®]におけるバーチャルセットアップの機能について

われわれは、正確なエックス線CT画像から得た三次元顎骨像と歯列模型形状のデジタル統合技術により、精密な三次元顎モデルの生成を可能にしてきた(図3)。

まず、通法通り印象採得して得た歯列石こう模型に対して、口蓋の深いところや舌側のフレンジ部分などに位置合わせ用の石こうマーカーを取り付けたエック

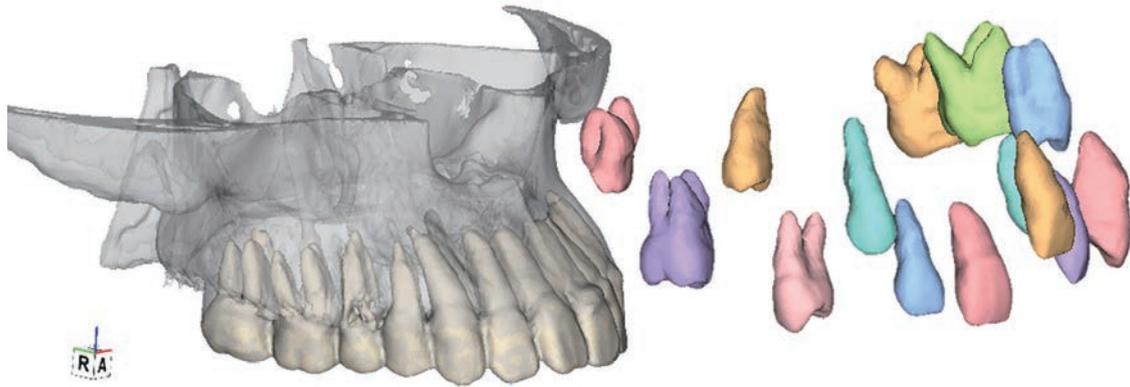


図4 各歯牙を別々のSTLファイルに分離することで、独立した3Dオブジェクトとしてシミュレーションソフトで動かすことが可能である。

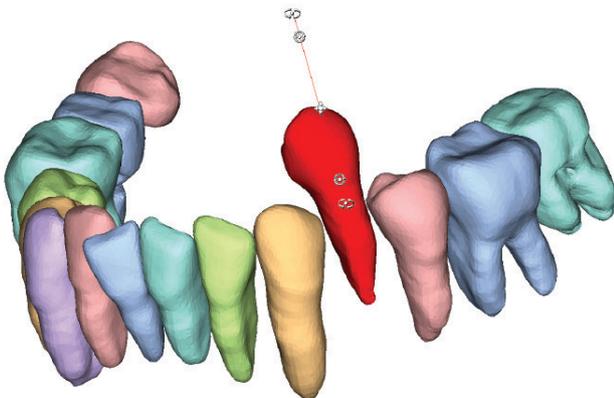


図5 動かしたい歯牙をクリックすると、軸が表示され、3軸6自由度の移動や回転により自由に動かすことが可能である。

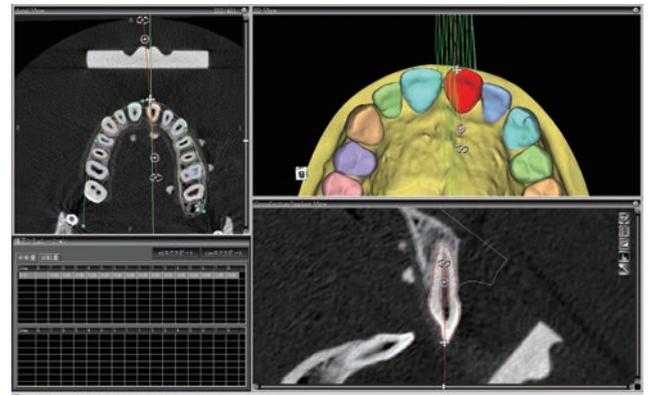


図6 セットアップシミュレーションの画面。

2次元のCT画像や3Dモデルを参考にしながら、バーチャル上でセットアップが可能である。

ス線CT撮影用テンプレートを作製し、患者に本テンプレートを装着させた状態でエックス線CT撮影を行う。一方、歯列石膏模型とエックス線CT撮影用テンプレートを装着した状態の歯列石膏模型を光計測し、位置合わせ用のマーカーを基準にCT画像と石膏模型の位置統合をする。メタルアーチファクトが発生しているエックス線CT歯列像を除去し、位置合わせした歯列石膏模型の歯列像に置き換えることで、この方法によって強いメタルアーチファクトが発生している症例でも正確に歯列像を再現することができるようになった。

この技術を応用し、現在は歯を1本1本抽出し、それらを動かせるアルゴリズムをシミュレーションソフトに実装している(図4, 5)。歯を分割し、各モデルに移動させるためのローカルの原点を術者が任意に設定することで、原点の移動距離を自動で算出し、個々

の歯の移動距離や角度を求めることができる。これにより、術者は歯牙の移動距離や角度を参考にしながら、歯牙を自由に動かすことが可能となった。また、抜歯が必要な矯正の場合には、歯のモデルを消去することができるようにし、さまざまな症例や治療計画に対応できるようにプログラムを構築している。

これにより、補綴歯科治療介入時に、矯正歯科治療のセットアップや口腔インプラント治療のシミュレーションも行うことで、より安心安全な治療計画を立案できるようになっている。

この方法の最大の特徴は、エックス線CT断面画像と歯のモデルを連動させて動かすことができるため、骨質や形態を参考にしながら、シミュレーションすることが可能なことである(図6)。

前歯部の矯正歯科治療は、日本人は唇側部の歯槽骨が薄い傾向にあるため、唇側に歯をフレーアウトさせ

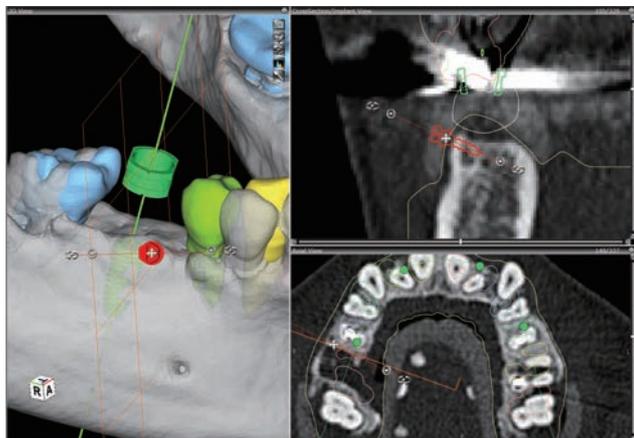


図7 矯正用アンカーピンの操作画面. アンカーピンの位置を隣接歯根やインプラント, 骨形態を参考にしながらシミュレーションすることが可能.

際には, 骨形態を見ながらシミュレーションすることができる. さらに, 対合歯とのオーバージェットやオーバーバイトなどを断面画像から計測し, 適切なアンテリアガイドを付与するシミュレーションを行うことができる.

また, 補綴歯科治療に用いるインプラント体を矯正の固定源に用いることで, より低侵襲かつ不可能と考えられてきた方向へ歯の移動が可能となってきた(図7). これにより, 補綴歯科治療のシミュレーションをしながら, 矯正歯科治療のシミュレーションを相互に行うことができ, インプラントの埋入や補綴装置の更新を行う前に術後や最終イメージをシミュレーションすることが可能になり, 患者や歯科医師の要望に合わせたシミュレーションを実現することが可能になった. 補綴歯科治療におけるインプラント体埋入と同じ操作で矯正用のアンカースクリュー埋入のシミュレーションもできるように術者の操作性も考慮している.

さらに, 個々の歯のモデルに対して座標を設定しているため, 歯の移動量も数値で表現される. この値を参考にし, ユーザーは自分がイメージする歯の移動を再現することができる. 現在は, シミュレーションソフト上で, 矯正装置を作るプログラムはまだ実装されていないが, 将来的には矯正装置なども作れるようなプログラムを研究開発できればと考えている.

このように本ソフトウェアは歯を自由に動かせる機能を有しているため, ユーザーがイメージするシミュレーションが可能になり, 現在さまざまな症例に応用されている(図8).

欠損部に対して補綴歯科治療の計画を立てる際に,

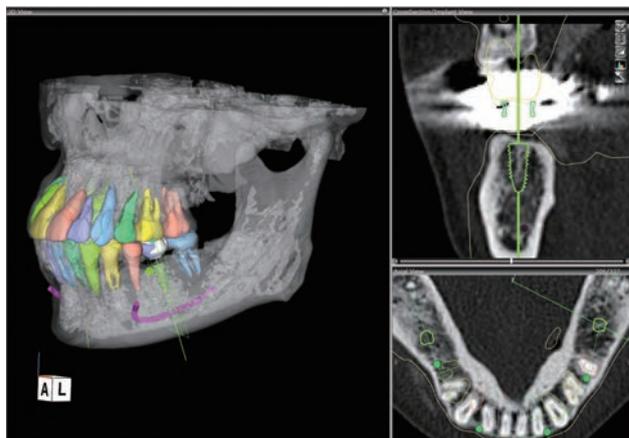


図8 インプラントのシミュレーションとセットアップをしながら包括的なシミュレーションをすることが可能. 上下の骨と歯列, 顎関節, 下顎管などを参考にしながら, シミュレーションしている様子である.

前歯部のアンテリアガイドが成立していない症例や臼歯部の喪失により顎位の設定が難しい症例の場合, 本ソフトウェアで顎関節や対合歯の情報を参考にインプラント治療や補綴歯科治療のシミュレーションを行うことができるが, その際に, 外科治療を行うときに重要な神経や血管, 隣接する歯根などを避けてシミュレーションすることも可能である.

IV. おわりに

歯科診断および治療におけるデジタル技術の進化は今後も続くであろう. しかし, 生体を対象としている以上, デジタルデータを過信しすぎることは避けるべきである. デジタル手法はあくまでツールの一つであると捉える必要があり, シミュレーションソフトもあくまで検査診断のためのツールであると考えている.

今回は, セットアップに特化して解説したが, 本ソフトウェアをより有効に利用されている歯科医師は多数おられるので, 機会があれば, ユーザーの活用事例なども紹介したい.

近年は, 歯科医師, 歯科衛生士, 歯科技工士などの医療従事者間で情報を共有して治療をプランニングすることで, 難症例とされるような症例でも治療が可能になり, 治療の完成度を高めることも可能となってきた. シミュレーションソフトの活用はインターディシプリナリーな治療を進めるためには, 非常に有用であると考えている. われわれは今後も歯科業界の一助になるツールを研究開発し, 提供していきたい.

編集委員会からの謝辞

通常、日本補綴歯科学会誌では、企業の開発者の方に論文を執筆いただくことはこれまで少なかったが、本依頼論文の内容が今後の歯科のあり方をよりよく示唆するものであることから、編集委員会で執筆依頼を決定した。医学系研究の利益相反 (COI) に関する共通指針 (平成 30 年 6 月 22 日) に則り、著者が、所属する企業 (和田精密歯研株式会社) の開発担当者であり、紹介されたソフトウェアの直接の開発者であることをここに開示する。また、本依頼論文掲載をもって、本学会がこのソフトウェアの使用を推奨する立場を示しているわけではなく、学会員にこのような開発のビジョンを紹介することを起点に、多くの研究者や臨床家がこのようなデジタルシミュレーション技術の臨床現場における有効性や信頼性を検討する端緒となることを期待するものである。

文 献

- 1) 水木信之. インプラント・ガイドドサージェリーの有用性. 末瀬一彦, 宮崎 隆 編. 最新 デジタルデンティストリー. 東京: 医歯薬出版; 2018, 50-165.
- 2) 横江千絵. Digital Dentistry BioNa® と BoneNavi® System について. 歯科産業学 2016; 30(2): 26-29.
- 3) 熊沢洋一, 莊村泰治, 細川隆司. コンピュータガイディングシステムによる MI 治療 BoneNavi システム. 補綴臨床別冊 2007; 85-93.
- 4) 莊村泰治. 歯科インプラント手術支援システム “BoneNavi” —より安全で正確なインプラント手術を目指した大学発ベンチャーとの取り組み—. DE 2008; 167: 28-30.
- 5) 細川隆司, 正木千尋, 向坊太郎, 近藤祐介, 柄 慎太郎. 補綴前処置としての骨造成と歯の移動 —補綴歯科専門医として何を考え何をすべきか—. 日補綴会誌 2017; 9: 116-121.
- 6) 鈴木真名. 審美治療のためのインターディシプリナリーアプローチ. 日補綴会誌 2017; 9: 122-125.
- 7) 藤澤政紀, 近藤尚知. インターディシプリナリーデンティストリー —補綴歯科専門医は他分野から何を求められているか—. 日補綴会誌 2017; 9: 101.

著者連絡先: 西山 貴浩

〒532-0002 大阪府大阪市淀川区東三国 1
丁目 12 番 15 号 辻本ビル 6F 和田精密歯研
株式会社 インプラント・矯正事業部
Tel: 06-4807-6700
Fax: 06-4807-6788
E-mail: t-nishiyama@labowada.co.jp