

Renfert

作業を快適に



デジタルモデル

**矯正歯科における
効率的な模型製作の未来**

目次

矯正歯科における効率的な模型製作の未来	3
デジタルモデルの製作 - CAIからCAD、CAMへ	4
デジタル模型の利点	6
投資戦略: デジタルワークフロー	7
模型を3Dプリントする際のプリント手順	9
樹脂プリントとフィラメントプリントの比較	10
歯科矯正用フィラメントプリンター	13
ワークフローの概要: SIMPLEXによるフィラメントプリント	14

Renfert GmbH

Untere Giesswiesen 2
78247 Hilzingen/Germany

Tel. +49 (0) 77 31 82 08-0
Fax +49 (0) 77 31 82 08-70

www.renfert.com

矯正歯科における効率的な模型製作の未来

デジタルプロセスフローは、歯科の世界を凌駕しています。矯正歯科においても、診断や計画、器具やスプリントの製造など、デジタルプロセスの利用が増えています。しかし、物理的な模型は依然として不可欠です。しかし、デジタルワークフローの中で、高品質の模型を効率的かつ環境に配慮した方法で製作するにはどうすればよいのでしょうか。ホワイトペーパーの専門家がその答えを教えてください。

デジタルプロセスを日常の矯正歯科診療に取り入れることは、多くの利点をもたらします。デジタルプロセスは、治療をより早く、より正確に、より快適にします。診断、計画、結果はコンピュータ上でシミュレートされ、最適化されます。作業プロセスはより効率的になり、時間が節約できることでコストも削減できます。しかし、これは歯科医院や歯科技工所にとってどのような意味があるのでしょうか？どうすればデジタル化への参入を容易にすることができるのでしょうか？

デジタル矯正を始めるためには、まず基本的な側面（データキャプチャー（CAI）、データ処理（CAD）、仕上げ（CAM））を検討する必要があります。これに基づいて、適度な投資判断を行うことができます。

デジタルモデルの製作 - CAIからCAD、CAMへ

矯正歯科におけるデジタルプロセスは新しいものではありません。対応するソフトウェアは長い間、バーチャルな診断と治療計画を可能にしてきました。変わったのは、最新の口腔内スキャナーの可能性です。口腔内スキャナーは、革新的な技術の大躍進を経験し、歯列矯正におけるゲームチェンジャーとなりつつあります。

口腔内スキャナーを所有していなくても、デジタル化の可能性を活用しているオフィスもありますが、例えば：

- ☑ 印象スキャナー（従来の印象をデジタル化）。
- ☑ デスクトップスキャナー（石膏模型のデジタル化）。
- ☑ アウトソース（石膏模型を外部の業者に送る）。

しかし、これらのオプションは、間接的なルート、つまり迂回路を経由してデジタルモデルにつながるだけです。口腔内スキャナーは、デジタルの世界への真のドアオープナーです。直接的なデジタルデータのキャプチャによってのみ、歯列矯正のワークフロー全体をデジタルでマッピングすることができます。時間とミスが発生しやすい迂回ルートを使わずに、患者の口腔内から精密な*デジタルモデルデータセットを作成することができます。

* 最近の研究では、最新の口腔内スキャナーを使用したフルアーチスキャンの領域精度と取得精度の両方が、少なくとも従来のアプローチと同等の精度であることが示されています。

デジタルモデル = CADソフト上の仮想模型（STLフォーマット）

フィジカルモデル = ワークステーション上の有形の顎模型

デジタルモデルファブリケーション = 模型のCAM製作
(3Dプリント、CAMミリング)

口腔内をスキャンした結果、デジタル印象 (Computer-aided Impressioning (CAI)) が得られ、これをソフトウェア (Computer-aided Design (CAD)) を用いてさらに加工します。多くの適応症では、物理的な模型が必要です。これらもデジタルワークフローの中で製作されます (コンピュータ支援製造 (CAM))。矯正歯科医院やラボでは、さまざまな方法で物理的な模型が必要です。減算法による仕上げ (CAMによる模型のミリング) は、時間とコストがかかるためほとんど行われませんが、3Dプリントは一般的な選択肢として定着しています。デジタルモデルを作成する一般的な方法は以下の通りです：

- ☑ 歯科医院やラボでのアディティブプロダクション (模型の3Dプリント)。
- ☑ アウトソース (外部のサービスプロバイダーに出すこと)

デジタルで仕上げられた矯正模型には、通常と同じ高い基準が適用されます。上顎と下顎の歯、歯槽骨稜、顎底、前庭褶曲、歯肉が正確に表現されています。

模型の3Dプリントは、フライス加工に比べて非常に経済的です。しかし、この技術が利用できるようになって初めて、アナログ模型製作に代わる真の選択肢ができたのです。通常、プリンターへの投資額は少なく済み、使用する材料も少なく済み、製作期間も短くて済みます。デメリットとしてよく挙げられるのは、一部のプリンター技術 (DLP, SLA) で必要となる後処理の追加費用です。そのため、異なる3Dプリント技術を比較し、歯科矯正目的に最適な方法を選択することが重要となります。

例えば、フィラメントプリント (FDM/FFF法) では、後処理の必要性がありません。

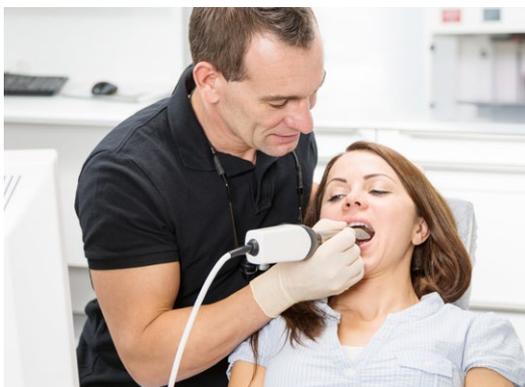
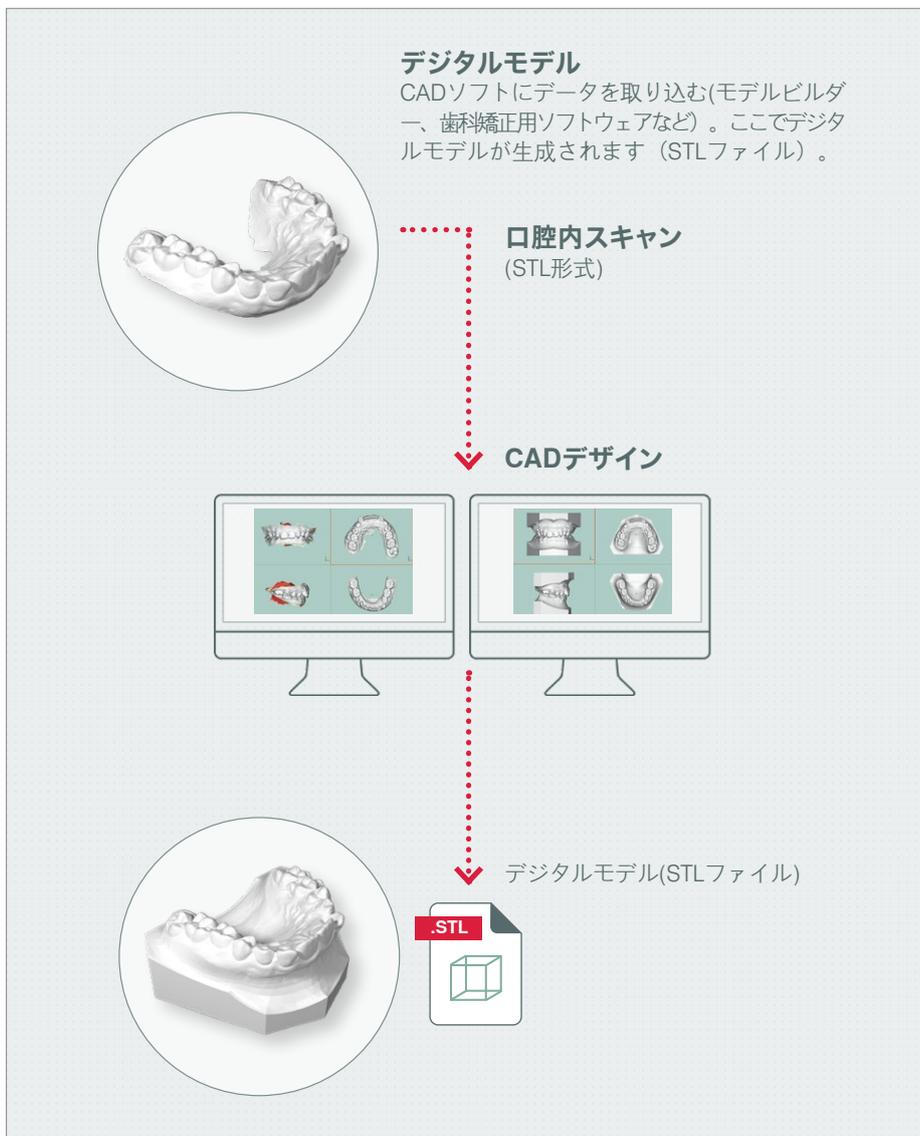


図1: 口腔内スキャナーによるデジタル化
図2: デジタルで製作された歯列矯正用模型

デジタル模型の利点

デジタル模型(STLデータセット)の利点は主に、時間、資源、コスト、スペースの節約、正確な計画能力、再現性です。模型は、ソフトウェア上で数回クリックするだけで作成できます。その後、実際の模型をあらゆるレベルで評価加工することができます。このソフトウェアは、患者の状態を分析し、矯正治療を計画します。歯の大きさや位置を測定したり、セットアップを作成したりする際には、デジタルツールが全面的にサポートします。治療シナリオは簡単な方法でシミュレートできます。さらに、デジタルモデルは省スペースで保存できるという利点もあります。データセットはデジタルで保存されます。患者データを呼び出せば、いつでもデータを取り出すことができます。必要に応じて、物理的な模型を製造します。



投資戦略: デジタルワークフロー

歯科矯正のデジタルワークフローを考える際には、様々な状況を想定する必要がありますが、それらが連携したインターフェースによってユニットを形成することが理想的です。

1. CAIのデータセット
2. CADモデル作成ソフト
3. CAMスライサーソフト
4. 出力機器 (3Dプリンター)

1. 口腔内スキャナー：表面データの取得

口腔内スキャナー*を使用して口腔内状況の表面をスキャンします。データは通常、STLフォーマット（多くのCADシステムの標準フォーマットであるStandard Triangulation/Tessellation Language）で保存されます。これらのデータは、インターフェースを介してCADソフト（矯正計画ソフトやモデルビルダーソフト）に取り込むことができます。

*口腔内スキャナーの価格帯は多岐にわたっています。それらと比較することには意味があります。しかし、価格だけではなく、多彩な可能性にも注目してください。口腔内スキャナーの多くは、単なる印象の代替品ではなくなっています。矯正の世界では、まったく新しい可能性が広がっています。

2. モデルビルダー：デジタルモデルの作成

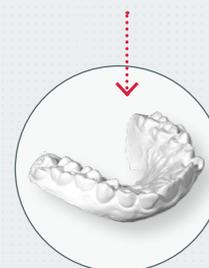
専用のソフトウェアアプリケーションを使用すれば、わずかなステップでデジタルモデルを形成することができます。モデルビルダーモジュール*では、模型製作の基本的なステップがほとんど自動的に行われます（ベースの形成、矯正、トリミング、咬合面の調整など）。

*モデルビルダー：このアプリケーションは、CADソフトウェアパッケージに統合されるか、オプションとして追加されます。また、独立したソフトウェアもあります。

1.



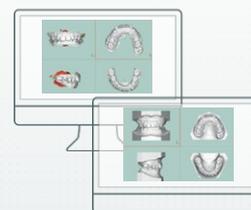
口腔内スキャナー



デジタルデータセット



2.



ソフトウェア
アプリケーション



デジタル模型



3. CAMスライサーソフト：模型プリントの準備

多くの場面では、デジタルモデルに加えて物理的な模型が必要になることもあります。

- ☑ アライナー製作用
- ☑ プランニング模型
- ☑ 診断用模型
- ☑ 作業用模型

デジタルデータから精密な模型を製作するには、3Dプリントが適しています。経済的、エコロジー（プリントプロセスによる）、精密、迅速、簡単、これらが模型プリントの利点です。デジタルモデルをプリントするには、記録したデータをスライサーソフトウェア*読み込ませる必要があります。この作業は、連携したインターフェースにより、ユーザーが意識することなくスムーズに行われます。スライサーソフトウェアは、デジタル模型をプリント用に準備します。スライスとは、ソフトウェアがデジタルモデルを個別のレイヤーに切り分ける作業を指します。保存されたデータ（Gコード）をプリンターに送ります。

*スライサーソフト。多くの場合、3Dプリントシステムに組み込まれているソフトウェアです。また、独立したソフトウェアもあります。操作が簡単であること、STLデータが間違いなく表示されること、データの計算が速いこと、素材別 プリンター別の調整ができることが重要です。

3Dプリンタ用のデータセットはスライサーソフトウェアで生成されます。スライサーソフトウェアが3Dプリンタシステムの一部である場合（Renfert社のSIMPLEX3Dフィラメントプリンタシステムなど）、作業が大幅に簡素化されます。スライサーソフトウェアの機能がプリント結果や操作性を大きく左右するため、ソフトウェア、フィラメント、プリンタの間で個別に調整を行うことで、最適な結果を得ることができます。

プリント工程そのものを自動でコントロールするソフトウェアは、初心者にも最適です。

4. 出力機器(3Dプリンター)

3Dプリント≠3Dプリント：3Dプリント技術の基本的な違いは、適切なプリンターを選択する際に非常に重要です。

3.



スライサーソフト



Gコード

Gコードは、3Dプリントに関する必要なものをすべて統合しています。

4.



3Dプリンター
(フィラメントプリンターなど)



完成した模型



模型を3Dプリントする際のプリント手順

アディティブマニュファクチャリング（3Dプリント）には、さまざまな手法があります。材料を何層にも塗り重ねたり、材料の粉末をレーザーで溶かしたりします。その結果、3次元の物体ができあがります。歯科用の3Dプリンターには、プリント方法が異なる様々なものがあります。例えば、一般的なアプリケーションは以下の通りです：

- ☑ ステレオリソグラフィ（SLA）
- ☑ デジタルライトプロセッシング（DLP）
- ☑ フィラメントプリント／エクストルージョンプロセス（FDM = Fused Deposition Modeling／FFF = Fused Filament Fabrication）
- ☑ レーザー焼結法（SLM）（金属プリント）

これらに共通しているのは、模型がレイヤーごとに構築されていることです。SLA¹やDLPプリンター²は、デンタルラボラトリーでの多くの用途に使用されており、現在人気のある製品です。まず始めに、一定の露光時間で固化する液体のフォトポリマーを使用します。SLA（Stereo Lithography）では、液体樹脂をレーザービームで選択的に硬化させます。一方、DLPプリンターは、プロジェクターのようにDLPプロジェクターを光源として使用します。

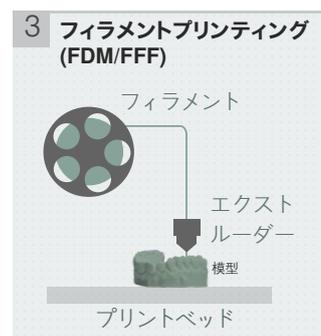
これらのプロセス（DLP、SLA）は、いずれもプリント対象物（樹脂）を洗浄し、紫外線で硬化させる必要があります（複雑な後処理）。

歯列矯正用模型などに便利なのは、FDM/FFF方式のプリンター、すなわちフィラメントプリンターです³。この方式では、ホットグルーガンのような押し出し機を使ってフィラメント（ロール状に巻かれたワイヤー状の熱可塑性プラスチック）を加熱し押し出します。

フィラメントでプリントされた模型は、後処理を必要としません。フィラメントを使ってプリントした模型は、後処理を必要とせず、プリント後すぐに完全に硬化してきれいな状態になります。



図3：フィラメントプリント（FDM/FFF方式）
図4：プリント後に完成した歯列矯正用模型



レジンプリンティング vs フィラメントプリンティング

フィラメントプリンター（FDM/FFF方式）と樹脂プリンター（SLA/DLP方式）を比較すると、どちらも用途に応じた長所と短所があることがわかります。歯科用模型プリント（矯正用模型など）を見ても、フィラメントプリンターの優位性が際立ちます。そのメリットとデメリットを理解するために、プリンターの技術、素材、そして実用面について見ていきましょう。

コスト

デンタルプリンター分野の価格帯は広大です。600ユーロから40,000ユーロ、それ以上の価格帯もあります。フィラメントプリンターは、比較的低予算で、優れた機能を持つものがあります（例：SIMPLEX）。材料費以外のランニングコストはかかりません。一方で、安価な樹脂プリンターもあります。しかし、ここでは洗浄装置や光重合器などの追加コストがかかります。

- ☑ フィラメントプリンター（FDM/FFF）：
購入費用が安く、ランニングコストが低い
- ☑ 樹脂製プリンター（SLA/DLP）：
購入時の価格が高く、ランニングコストが高い

精度

どちらのプリント方法も、プリンタとプリントパラメータに依存しますが、顎模型では非常に高い精度が得られます。フィラメントプリンターの精度は、特にノズルの出口に依存します（レベル分解能は最大50 μ m）。小径のノズルは、例えば歯列矯正模型に求められるような非常に高い解像度/精度を可能にします。

- ☑ フィラメントプリント：
模型やエイドの高精度化
- ☑ レジンプリント：
非常に高い精度が可能

プリント材料

FDM/FFF方式の場合、フィラメントをエクストルーダーで加熱溶解し、ノズルからプリントベッドにプリントします。フィラメントには様々な素材があり、再生可能な天然素材で生分解性のあるPLA（ポリ乳酸）が多く使われています。樹脂プリントでは、液状の感光性樹脂を加工しますが、多くの場合、材料トレイに入っています。液状の樹脂や硬化途中の樹脂は、流し台や家庭ゴミとして処理してはいけませんのでご注意ください。液状のプラスチック樹脂は危険物に分類されるため、慎重に処理する必要があります。

- ☑ フィラメント：
再生可能な原材料を使用しているため、環境にやさしい
- ☑ レジン：
光硬化性樹脂、環境への配慮

後処理について*

フィラメントプリンターの真価が発揮される場面です。樹脂プリントされたものは、イソプロパノール（IPA）による洗浄や光硬化などの後処理が必要です。一方で、IPAを含まない洗浄液もありますが、かなり高価です。フィラメントプリントでは、このような後処理が必要ありません。

- ☑ フィラメントプリント：
後処理なし
- ☑ レジンプリント：
洗浄、光硬化

*プリント時間は、レイヤーの厚さなどに依存します。層が厚いほど高速になりますが、解像度は低くなります。薄いとプリント時間は長くなりますが、解像度は高くなります。

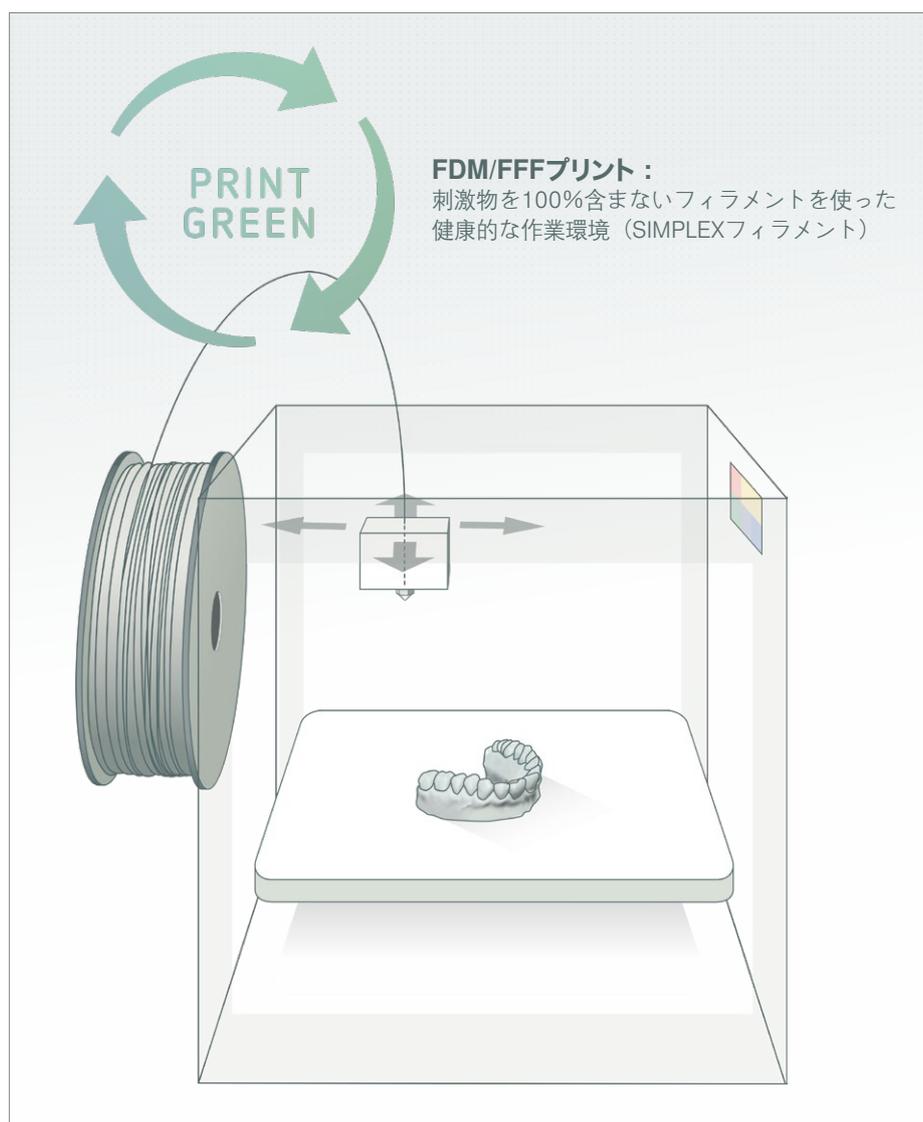


図5：SIMPLEXのフィラメント。
ドイツ製のエコロジカルな素材で、特に歯科矯正用のモデル製作に使用されます。

臭いや煙

PLAフィラメントを扱うFDM/FFFプリンターは、ほとんど煙が出ません。しかし、樹脂プリンターは別の話です。樹脂プリンターでプリントすると、臭いや体に悪いガスが溜まってしまいます。そのため、樹脂プリントの際には、呼吸器系の保護具や耐薬品性のあるニトリル製の手袋を着用することをお勧めします。プラスチック樹脂や溶剤は、皮膚への刺激やアレルギー反応を引き起こす可能性があります。また、レジンプリントしたものをイソプロパノールアルコールで洗浄しますが、その際にもガスが発生します。一方、フィラメントプリントでは（フィラメントにもよりますが）、健康を害するような物質は発生しません。

- ☑ フィラメントプリント：
刺激性物質を100%含まないフィラメント（SIMPLEXフィラメント）を使用した健康的な作業環境。
- ☑ レジンプリント：
プリント時や洗浄時に不快な化学臭がする（主にイソプロパノール）。健康に完全に無害ではない。



歯科矯正用フィラメントプリンター

Renfert社のSIMPLEXなど、歯科用に設計されたフィラメントプリンターには多くの利点があります。これが「ただの」3Dプリンターというと、控えめな表現になりますね。矯正用の3Dフィラメントプリンターシステムであり、調整されたスライサーソフトウェア、矯正モデル用の特別なフィラメント、そして精密なプリンターを備えています。すべてがそれぞれの指示（例：アライナー模型）に適合しています。ソフトウェアにプリセットされたパラメータにより、高い利便性と直感的な操作性を実現しています。

使いやすさ

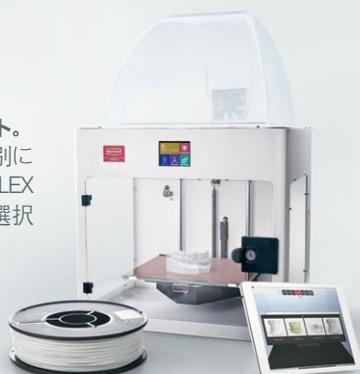
SIMPLEXを使えば、3Dプリント技術を簡単かつ便利に始めることができます。「プラグ&プリント」で、事前の知識がなくても、生物学的に有害な化学物質を使用しないので、非常にクリーンです。さらに、プリントされた模型には後処理が必要ありません。本機は簡単に操作でき、どこにでも設置でき、静かに動作し、高解像度を実現しています。高品質の特別なフィラメントは、歯科矯正における特別な要件を満たしています。パラメータに関する使用上のエラーは、自動プリセットによって回避されます。

- ☑ 刺激物を不使用
- ☑ 光硬化ユニットでの重合が不要
- ☑ 化学薬品による後処理が不要
- ☑ 環境や健康に配慮したプリント
- ☑ 色落ちしにくい、UV耐性

環境的に安全で持続可能

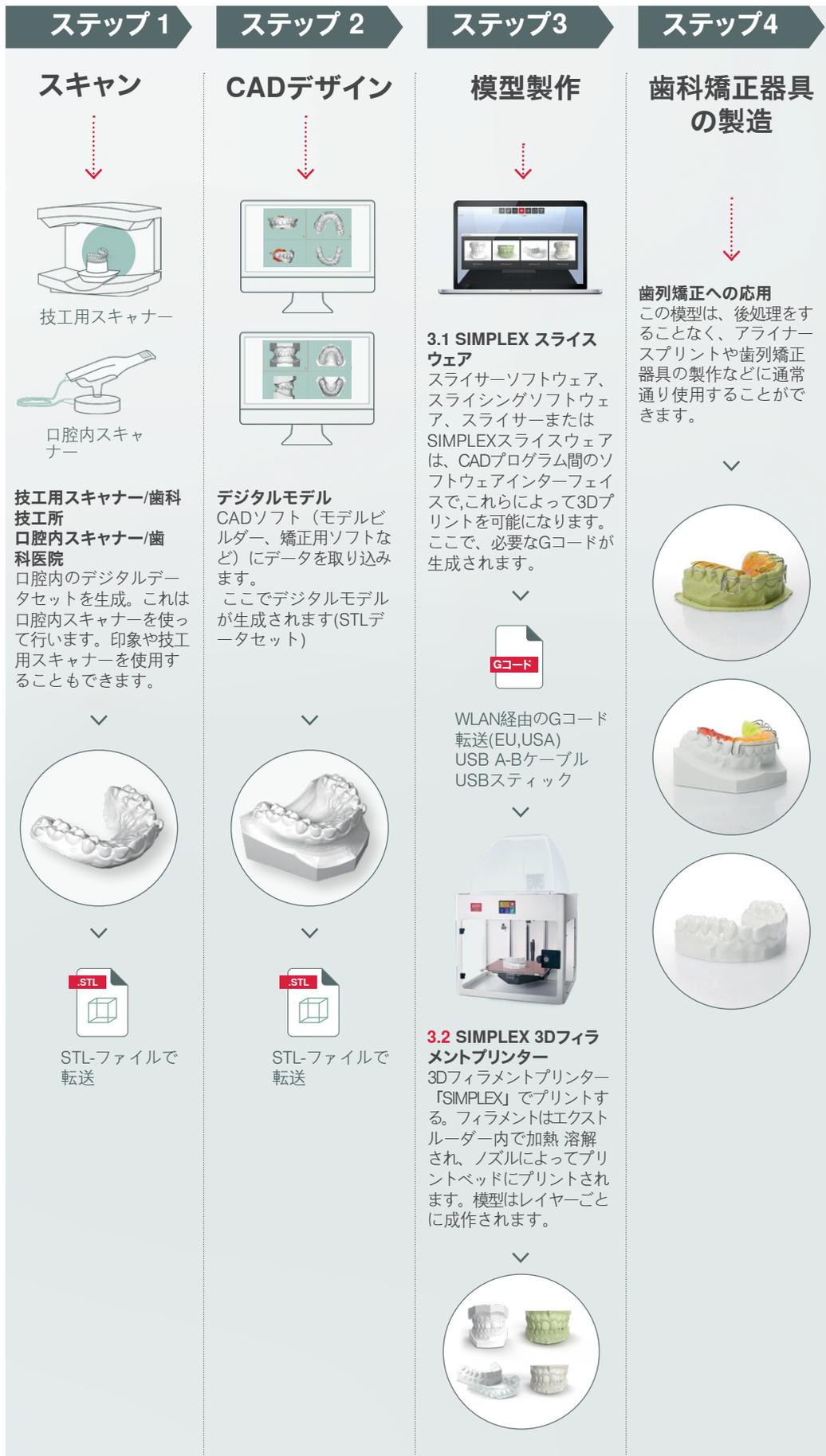
シンプレックスでプリントするフィラメントの多くは、再生可能な原材料（トウモロコシのデンプンなど）で構成されています。化学薬品は一切使用していません。後処理やイソプロパノールが不要。プリント時に歯科医院やラボで有害なガス（排気）が発生しないので、環境や健康にやさしいです。

プリンター、ソフトウェア、フィラメント。
3つのコンポーネントからなる特別に調整されたシステムにより、SIMPLEXは矯正歯科分野でのシンプルな選択肢となります。



SIMPLEXの詳細情報 -
矯正分野に特化した3D
フィラメントプリンター
システムです

ワークフローの概要: SIMPLEXによるフィラメントプリント



完成!

