

# 光学印象による デジタルコピーデンチャー製作の可能性

## —臨床での活用に向けた精度検証

川島 茂 Shigeru Kawashima  
株式会社シケン (徳島県小松島市)

### はじめに

近年、歯科界ではデジタル化が進み、従来のアナログ的な印象採得や歯科技工士のワークフローが変化することで、補綴装置の精度や作業の効率が向上することを我々は期待している。多数歯欠損症例における義歯製作は、ワークフローが多くデジタル化の遅れている領域だが、光学印象の精度向上やデジタルを活用した人工歯排列など、技術や歯科用材料の進化により、今後急速にデジタル化が進んでいくと考える。

日本では2013年に高齢化率が25%を超え、2025年には30%以上になると言われている。そのような状況の中、今後は訪問歯科診療の需要も増えていくと予想されるが、使い慣れた使用義歯のコピーデンチャーを新製義歯として置き換えることが可能になれば、治療の幅も広がり患者満足も得られるだろう。

そこで今回、デジタル技術を利用した新しいワークフローのコピーデンチャー製法を創出するため、デジタルコピーデンチャーの製作と検証を行った。

### デジタルコピーデンチャーの可能性

従来コピーデンチャーは、複製義歯製作用のフラスコとアルジネート印象材、複製義歯専用樹脂を使用して製作を行っていたが、精度、強度、審美性、耐久性には限界があると感じている(図1)。デジタルでの製作が可能になれば、以下の問題点が改善できると考える。

### 1. 衛生面の問題

口腔内で機能的に問題なく使用されていても、床用樹脂や人工歯の経年劣化、菌石の沈着等で衛生面を損ねている義歯が、誤嚥性肺炎の要因になる可能性もある。このような場合、使い慣れた義歯の形態をそのままに、機能的、審美的要素を変えずに新製義歯と同等の材料へ置換ができれば、衛生面での改善が期待できる。

### 2. 災害時の対応

災害時には、義歯を持たずに被災する可能性もあり、その後すぐに新製義歯を製作することは環境的に容易ではない。

しかし義歯のデータが保存されていれば、来院することなく今まで使用していた義歯と同じコピーデンチャーの製作が可能になる。

### 3. 訪問歯科診療での活用

訪問歯科診療では義歯を新製する場合、診療スペースと持ち込める機材に限られるうえ、時間的にも制約を受けるためその工程は容易ではない。現在使用している義歯をそのまま残し、コピーデンチャーを製作し治療用義歯からスタートする治療法もあるが、IOS(口腔内スキャナー)の利用が可能になれば大幅にワークフローが改善できる。

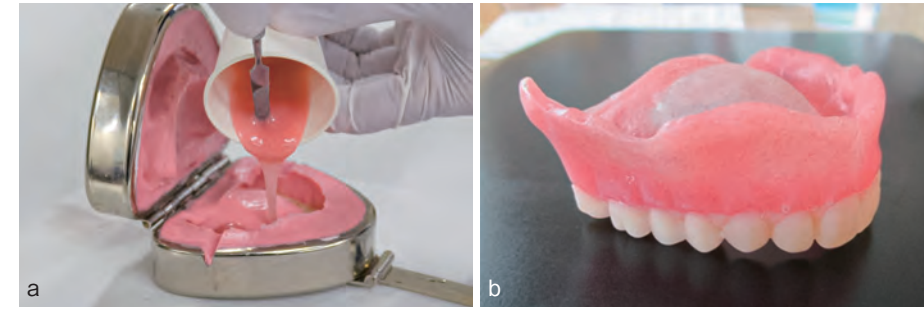


図1-a, b 従来法によるコピーデンチャーの製作



図2 「IScan D104i」 (Imetric)

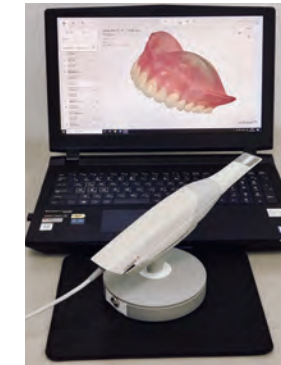


図3 「TRIOS 3」 (3Shape)

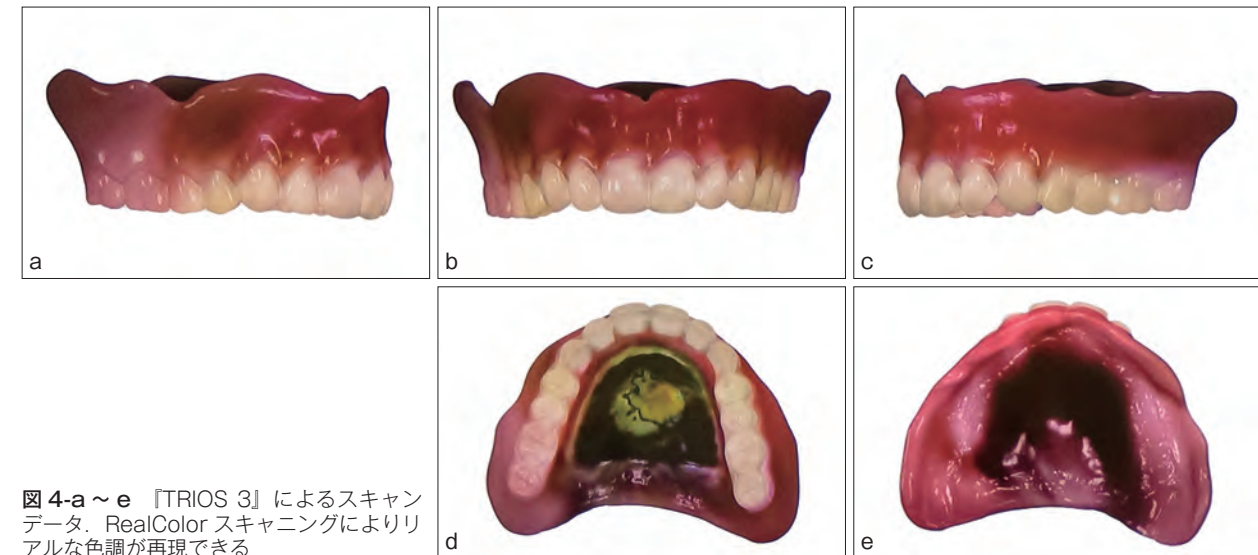


図4-a~e 「TRIOS 3」によるスキャンデータ。RealColor スキャニングによりリアルな色調が再現できる

### デジタルコピーデンチャーの 精度検証に使用した機器及び材料

#### 1. 使用義歯のスキャン

今回、デジタルコピーデンチャーの精度検証にあたり、現在の使用義歯(以下、マスターデンチャー)のスキャンを、技工用スキャナー「IScan D104i」(Imetric)と、IOS「TRIOS 3」(3Shape)の2機種を用いて行った

(図2~4)。義歯全周のスキャンにかかる時間は技工用スキャナーで約30分、IOSは約3分と、スピードでは圧倒的にIOSが有利と結果になった。

IOSのスキャニングについては、粘膜面から研磨面、咬合面にかけて連続で行うが、術者の慣れとコツが必要であることが課題である。IOSによるスキャニングの手順を図5~11に示す。スキャニングの方法はいくつかあり、これはあくまでも一例である。

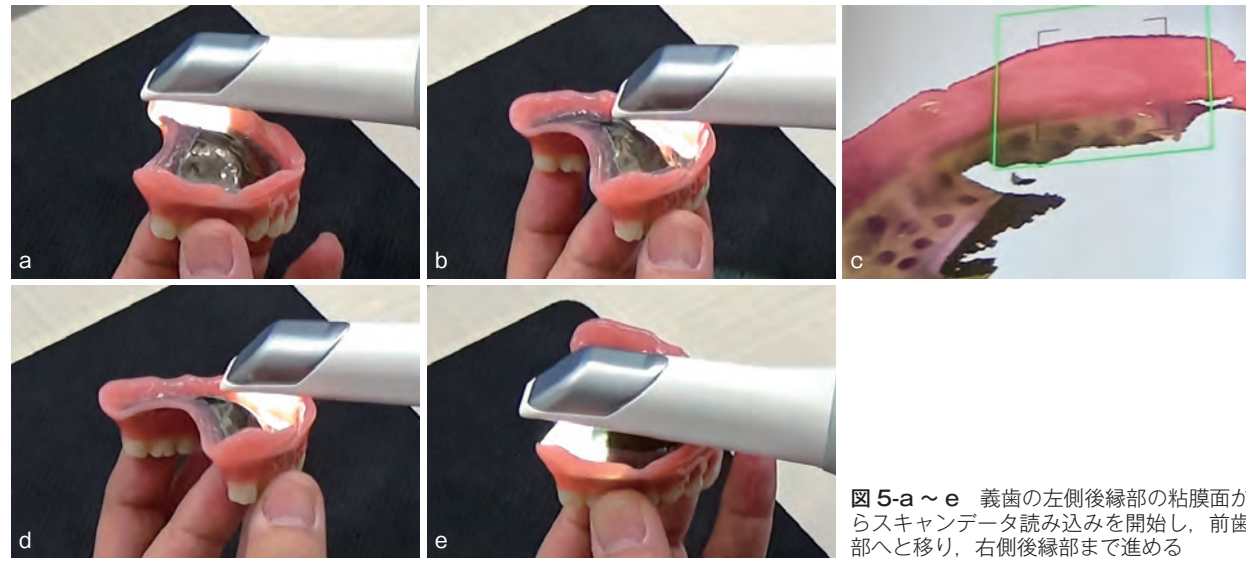


図 5-a ~ e 義歯の左側後縁部の粘膜面からスキャンデータ読み込みを開始し、前歯部へと移り、右側後縁部まで進める

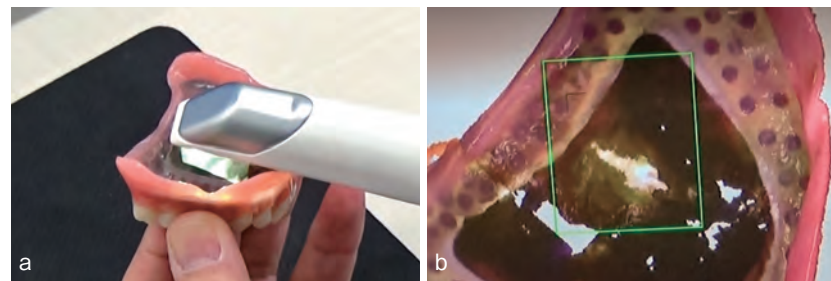


図 6-a, b 口蓋部全体のスキャンデータ読み込みを終了する

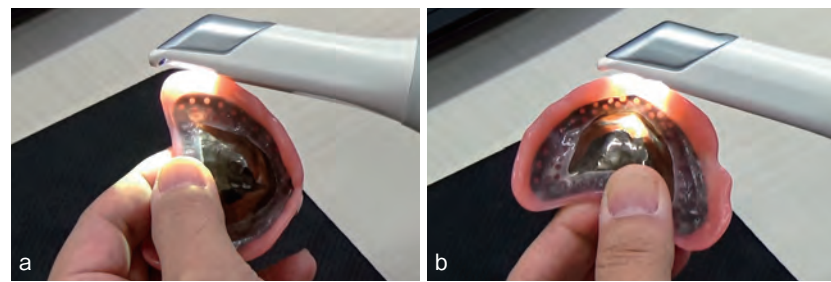


図 7-a, b 左側粘膜面から辺縁部を囲むように頬側研磨面と人工歯の頬側面までのスキャンを行い、同じような範囲で前歯部へ進む

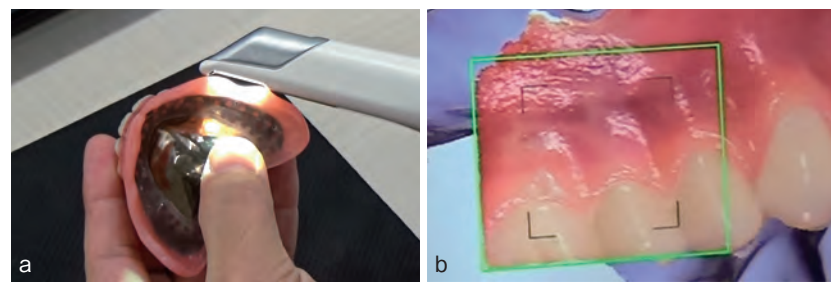


図 8-a, b 右側へと移る

図 9-a, b そのまま右側から前歯の順で咬合面のスキャンデータ読み込みを行う

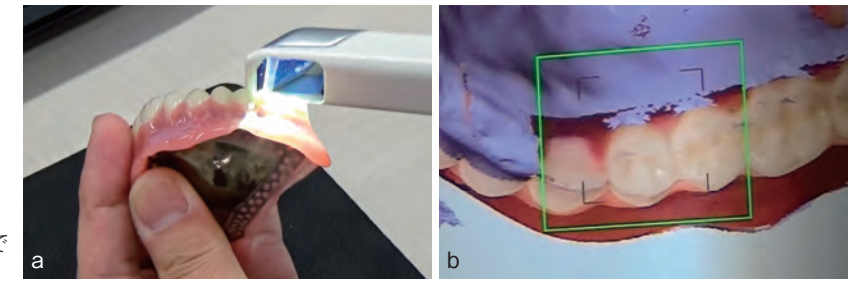


図 10-a, b 左側咬合面へと移り、左側人工歯の舌側面から前歯へ移動する

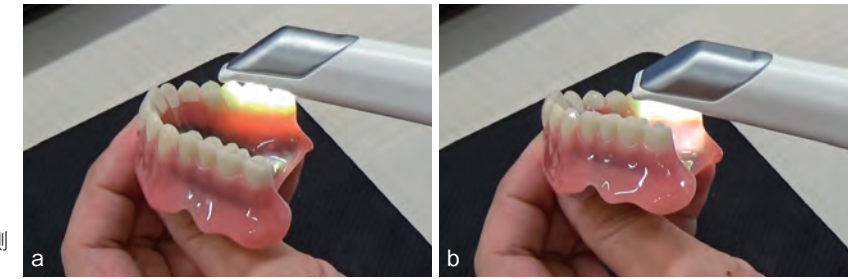


図 11-a, b 右側人工歯舌側面に移り、最終的に口蓋面のスキャンデータ読み込みで終了する

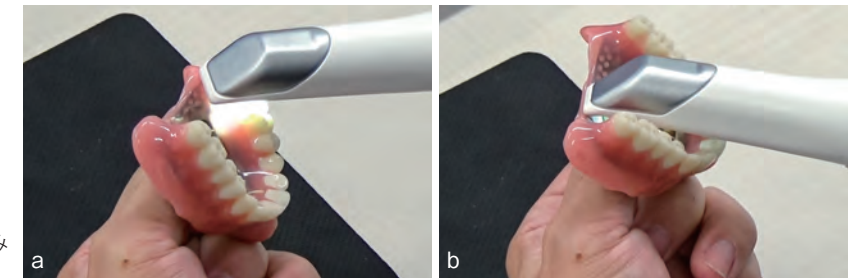


図 12-a ~ c CAD 上で義歯床部と人工歯部のデータを分離する

## 2. コピーデンチャー加工前の準備

義歯床部と人工歯部を分割して加工するため、マスターデンチャーのスキャンデータを、Autodesk 社製の CAD ソフト『PowerShape』を使用しデータを分離す

る作業を行った (図 12)。作業には 40 分を要したが、今後この工程は CAD ソフトの進化で自動化できることを期待している。

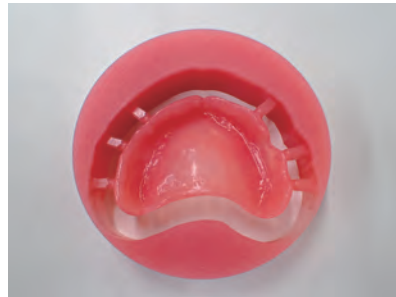


図13 義歯床用樹脂「アクロン」(ジーシー)



図14 「ピュアPMMA ディスク」(クエスト)



図15 「LF-160」(松浦機械製作所)



図16 「DWX-52DC」(DGSHAPE)



図17 「Denture Base LP Resin」(Formlabs)



図18 「Denture Teeth Resin」(Formlabs)



図19 「Form 2」(Formlabs社)

### 3. 加工法について

デジタルデータでコピーデンチャーを製作するため、ミリング加工法と積層3Dプリント加工法の2つの方法を用いた。ミリング加工法では、義歯床部は義歯床用樹脂(アクロン;ジーシー)を重ねたディスクを製作し、『LF-160』(松浦機械製作所)でミリング加工を行い、人工歯部は『ピュアPMMA ディスク』(クエスト)のA2を『DWX-52DC』(DGSHAPE)でミリング加工した(図13~16)。加工時間は義歯床部が約360分、人工歯部で約180分を要した。その後、レジセメント(レジセム;松風)で義歯床部と人工歯部を接着し、研磨して完成した。

積層3Dプリント加工法では、義歯床部に『Denture

Base LP Resin』(Formlabs)、人工歯部に『Denture Teeth Resin』(Formlabs)のA2を使用し、歯科用3Dプリンター『Form 2』(Formlabs)で3D積層プリント加工を行った(図17~19)。これらのレジン材料は、アメリカでFDAの認証は取得しているものの、日本国内では未承認材料であるため、研究目的としての使用については被験者の承諾を得ている。積層3Dプリント加工法の所要時間は義歯床部が約150分、人工歯部で約90分を要し、人工歯部の接着はミリング加工法と同様にレジセメントで接着、研磨して完成した。時間的にはミリング加工法より積層3Dプリント加工法のほうが300分ほどの時間短縮となった。



a



b



c

図20-a~c マスターデンチャーと、技工用スキャナー・IOSのスキナーデータをもとにミリング加工したコピーデンチャーの比較(正面観)。a:マスターデンチャー。b:技工用スキャナー。c:IOS



a



b



c

図21-a~c 同、前歯部のクリアランス。a:マスターデンチャー。b:技工用スキャナー。c:IOS。赤丸部の再現性に変化がみられる

### 装着時口腔内の観察

#### 1. ミリング加工法

マスターデンチャーと正面観で比較すると、技工用スキャナーとIOSのスキナーデータをもとに同一材料で切削加工されたコピーデンチャーであっても、技工用スキャナーを使用したもののほうが人工歯部の再現性は高く、歯冠形態が明確にコピーされているのが確認できる

(図20)。

前歯部のクリアランスについては、IOSでスキャンしたデジタルコピーデンチャーの右側中切歯舌側面(赤丸部)の再現性に変化が見られ、こちらも技工用スキャナーに優位性があることがわかった(図21)。

側方面観を確認すると、IOSを使用したデジタルコピーデンチャーの第一大臼歯に早期接触があり、口腔内でも干渉が強いことが確認された(図22)。



図 22-a ~ c 同, 側方面観. a: マスターデンチャー, b: 技工用スキャナー, c: IOS. 赤丸部で早期接触が認められた

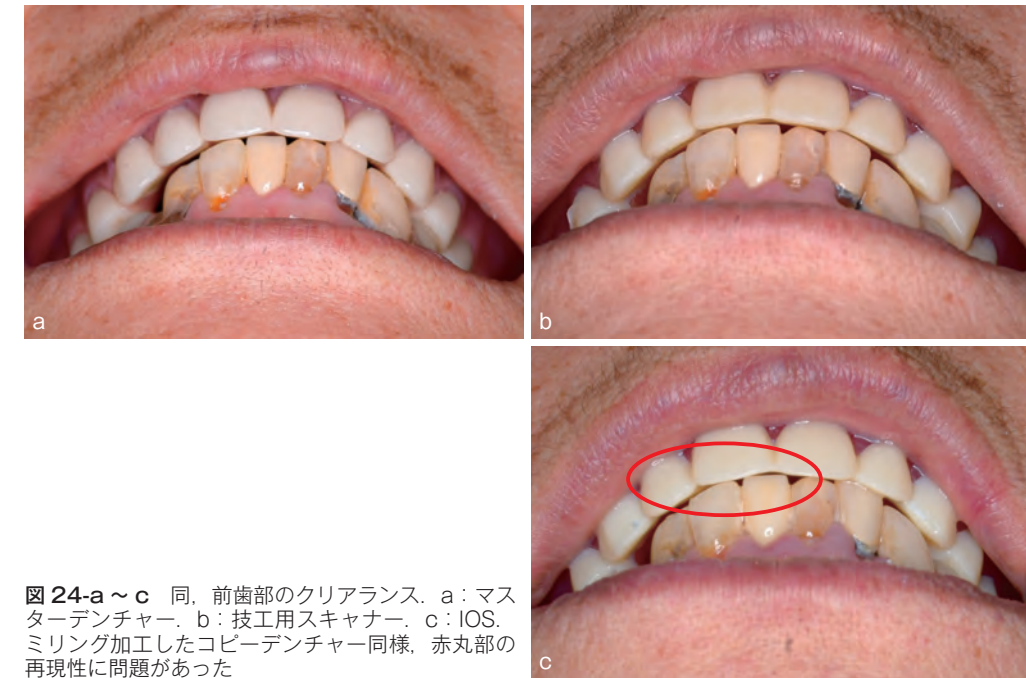


図 24-a ~ c 同, 前歯部のクリアランス. a: マスターデンチャー, b: 技工用スキャナー, c: IOS. ミリング加工したコピーデンチャー同様, 赤丸部の再現性に問題があった



図 23-a ~ c マスターデンチャーと, 技工用スキャナー・IOS のスキャンデータをもとに積層 3D プリント加工したコピーデンチャーの比較 (正面観). a: マスターデンチャー, b: 技工用スキャナー, c: IOS



図 25-a ~ c 同, 側方面観. a: マスターデンチャー, b: 技工用スキャナー, c: IOS. 3D プリント積層法によるコピーデンチャーでも, 第一大臼歯部に早期接触がみられた

## 2. 積層 3D プリント加工法

使用材料の違いはあるが, ミリング加工法と比較すると審美的には再現性は低く感じられる. スキャナーの比較ではミリング加工時と同様に, 技工用スキャナーを使用したコピーデンチャーのほうが, IOS のデータから加工したものよりもはっきりとメリハリがある審美的な

歯冠形態を再現できていることが確認される (図 23). 前歯部のクリアランス, 側方面から見た臼歯部については, ミリング加工法と同じような傾向が確認され, 技工用スキャナーのほうが再現性は高いと感じる (図 24, 25).

## フィットチェッカーによる粘膜面適合検査

フィットチェッカーを用いて, 粘膜面の適合状態を調べた. マスターデンチャーとそれぞれのコピーデンチャーの比較では, ミリング加工法のデジタルコピーデンチャー

と積層 3D プリント法のデジタルコピーデンチャーともに, 前方部と後縁部が封鎖されており同ような状態が確認できる. 適合性については IOS より技工用スキャナーに優位性が認められる (図 26).

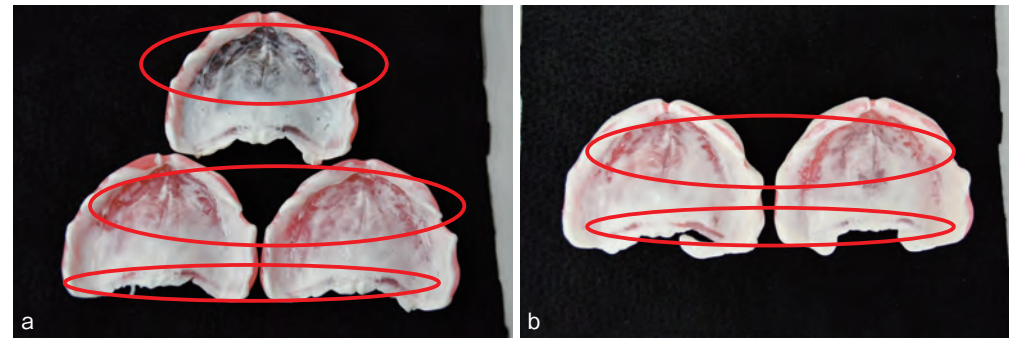


図 26-a, b フィットチェッカーによる粘膜面適合検査。a: 上段がマスターデンチャー, 下段が技工用スキャナーのデータをもとに、ミリング加工 (左), 積層 3D プリント加工 (右) したコピーデンチャー。b: IOS により取得したデータから、ミリング加工 (左), 積層 3D プリント加工 (右) により製作したコピーデンチャー

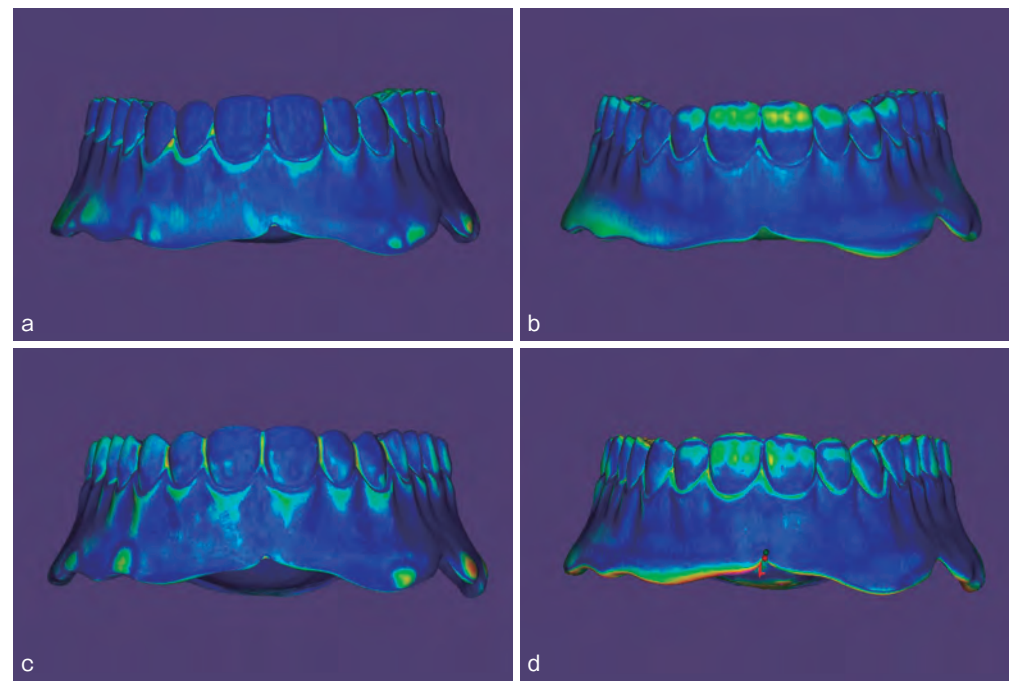


図 27-a ~ d マスターデンチャーと各コピーデンチャーの STL データのマッチングによる比較 (正面観)。a: 技工用スキャナーのデータからミリング加工で製作。b: 技工用スキャナーのデータから積層 3D プリント加工で製作。c: IOS のデータからミリング加工法で製作。d: IOS のデータから積層 3D プリント法で製作

### デジタルデータのマッチング比較

マスターデンチャーと各加工法により製作したデジタルコピーデンチャーの STL データの座標軸を合わせ、データを重ね合わせて誤差をカラーチャートで色分けし画像に示した。誤差が 0 ~ 100 μm 程度までであれば青で表示され、緑が約 250 μm, 黄色は約 300 μm, オレンジは約 380 μm, 赤が約 500 μm と、誤差が増えていくにつれて赤系の色味になっていく。

正面観は、技工用スキャナーを用いたミリング加工法

によるデジタルコピーデンチャーが、マスターデンチャーと比較しても特に誤差が少ない青色となっていることが確認され、体積差も少ない。同じように積層 3D プリント加工法のコピーデンチャーでも、IOS と比較し技工用スキャナーを使用したほうに優位性がみられる (図 27)。

次に咬合面の比較になるが、口蓋部についてはマスターデンチャーがメタルプレートで厚みが 0.5mm と薄くなっており、デジタルコピーデンチャーでの再現が不可能と判断しデータ修正を行ったため、500 μm 以上 (赤

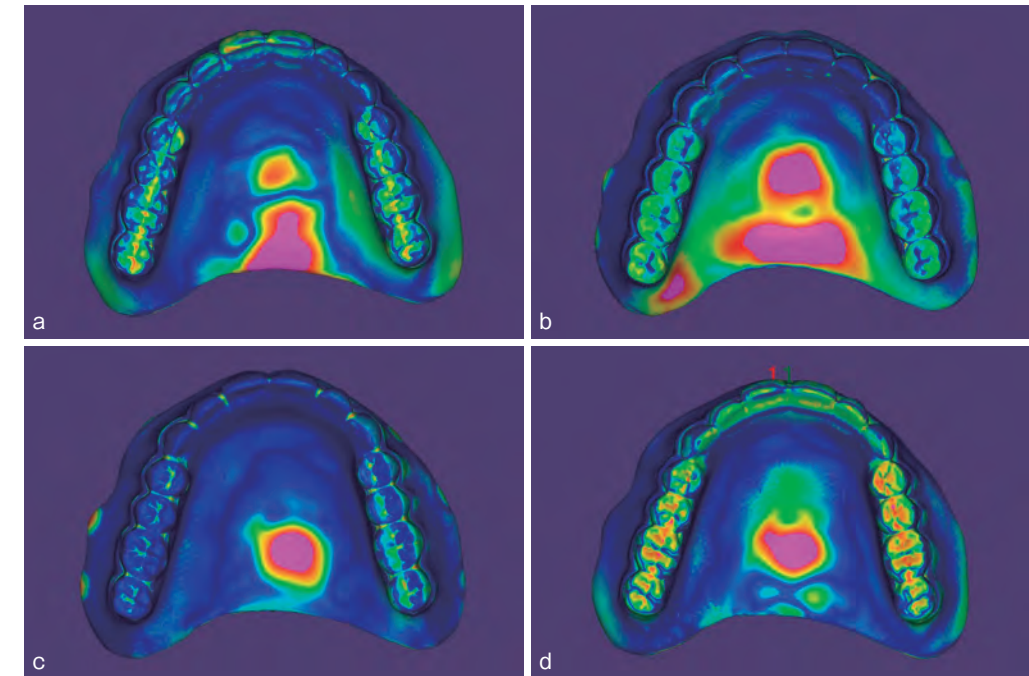


図 28-a ~ d 同, 咬合面観。a: 技工用スキャナーのデータからミリング加工で製作。b: 技工用スキャナーのデータから積層 3D プリント加工で製作。c: IOS のデータからミリング加工法で製作。d: IOS のデータから積層 3D プリント法で製作

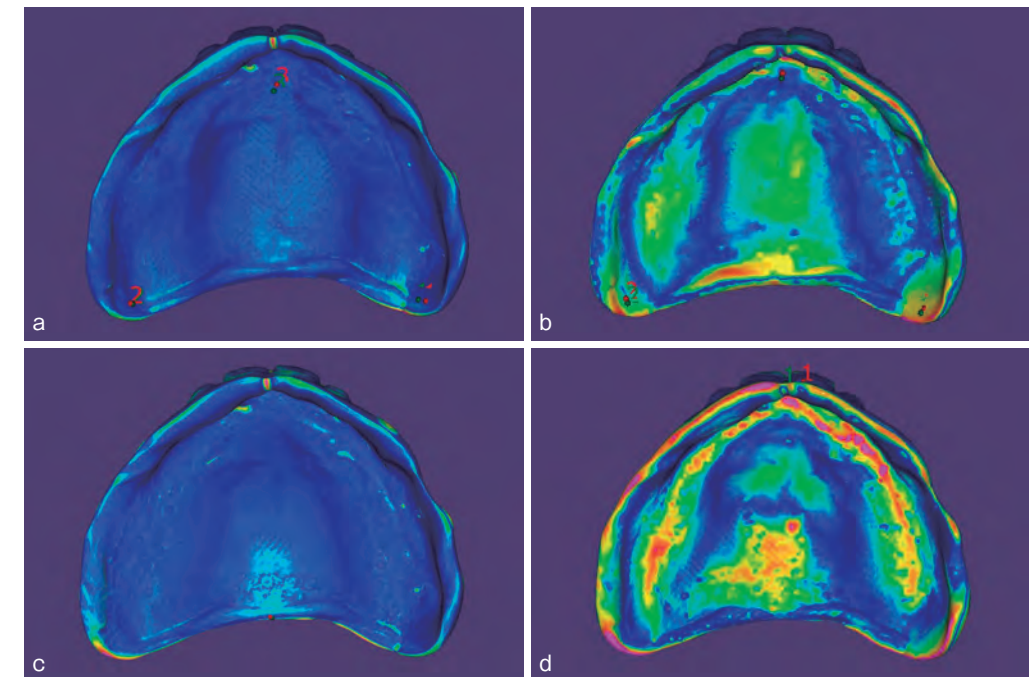


図 29-a ~ d 同, 粘膜面観。a: 技工用スキャナーのデータからミリング加工で製作。b: 技工用スキャナーのデータから積層 3D プリント加工で製作。c: IOS のデータからミリング加工法で製作。d: IOS のデータから積層 3D プリント法で製作

色) の変化となっている。それを踏まえ歯列だけに注目してみると、誤差は 100 ~ 200 μm 程度で咬合調整は必要だが、IOS のほうに優位性があることが確認される。特に IOS を使用したミリング加工法のコピーデンチャーに優位性がみられる (図 28)。

最も重要な粘膜面の比較では、圧倒的にミリング加工法のコピーデンチャーに優位性が確認される。技工用スキャナーのデータをもとにミリング加工されたコピーデンチャーは、被験者も違いをはっきりと確認することは難しいと感じていた (図 29)。

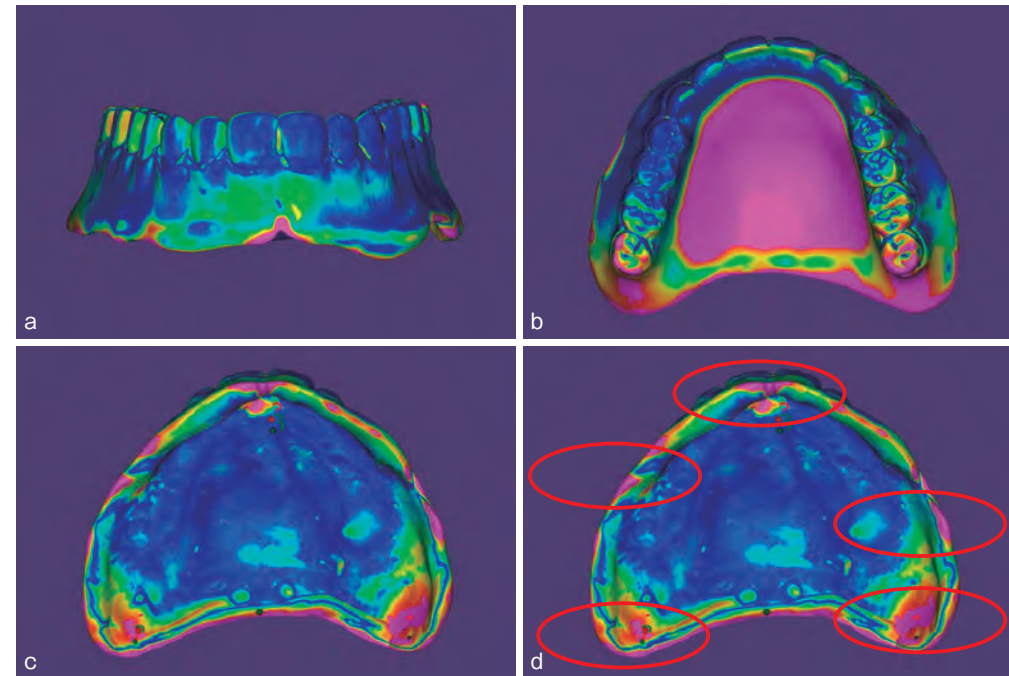


図 30-a ~ d 従来法で製作したコピーデンチャーとマスターデンチャーのデータマッチングによる比較。a: 正面観。b: 咬合面観。口蓋部は製作時、意図的に厚みを調整している。c, d: 粘膜面観。500  $\mu\text{m}$  以上の変化がみられる赤丸部 5 カ所については、装着時に調整が必要となる



図 31 従来法で製作したコピーデンチャー装着時の口腔内。矢印部のような歯頸部、歯間乳頭の再現性が明確でない

さらに比較のため、複製義歯専用樹脂を使用し従来法で製作したコピーデンチャーも計測を行った。収縮の少ない樹脂を使用しており変化は少ないと考えられたが、後方の上顎結節付近と一部の辺縁が明らかに大きく変化している。粘膜面で 500  $\mu\text{m}$  以上の変化が確認される赤丸部 5 カ所に調整が必要であることが理解できる (図

30)。なお、咬合面観の口蓋部に大きく変化が表れているのは、製作時に強度を考慮して意図的に厚みの調整を行っているためである。

実際に装着された従来法によるコピーデンチャーを見ると、特に審美面で矢印のような歯頸部、歯間乳頭の歯肉の再現が明確化できないのが確認される (図 31)。

表 1 プーリアン演算による、マスターデンチャーと技工用スキャナーのデータから製作したコピーデンチャーとの総体積 ( $\text{mm}^3$ ) の誤差

技工用スキャナー	メッシュの体積 (ミリング)	メッシュの体積 (3D プリンター)
original	16840.345045	
copy	16250.249354	16805.346274
① (original) - (copy)	322.784942	465.824454
② (copy) - (original)	82.888116	430.818236
(①) + (②)	405.673058	896.642690

表 2 同、IOS のデータから製作したコピーデンチャーとの総体積 ( $\text{mm}^3$ ) の誤差

口腔内スキャナー	メッシュの体積 (ミリング)	メッシュの体積 (3D プリンター)
original	15793.036071	
copy	15812.196999	16101.763657
① (original) - (copy)	233.586130	324.377986
② (copy) - (original)	252.754318	632.392892
(①) + (②)	486.340448	956.770878

表 3 同、従来法により製作したコピーデンチャーとの総体積 ( $\text{mm}^3$ ) の誤差

従来法	メッシュの体積 (レプリカ)
original	16840.345045
copy	14646.323482
① (original) - (copy)	2471.766529
② (copy) - (original)	277.921903
(①) + (②)	2749.688432

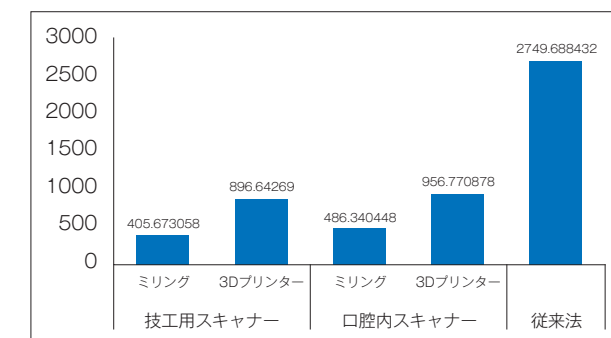


図 32 マスターデンチャーと各コピーデンチャーのプーリアン演算による総体積の誤差比較 ( $\text{mm}^3$ )

### 数値化による比較

『PowerShape』にてプーリアン演算を行い、マスターデンチャーと各コピーデンチャーの総体積の誤差を計算し、比較を行った (表 1 ~ 3, 図 32)。その結果、誤差が少ない順に、技工用スキャナーミリング加工コピーデンチャー、IOS ミリング加工コピーデンチャー、技工用スキャナー積層 3D プリントコピーデンチャー、

IOS 積層 3D プリントコピーデンチャー、従来法コピーデンチャーとなった。

スキャナーの比較では技工用スキャナーのほうが IOS より誤差が少なく、加工法の比較ではミリング加工法のほうが積層 3D プリント法より誤差が少ない結果となった。また、いずれのデジタルコピーデンチャーも、従来法で製作したコピーデンチャーより誤差が少なかった。

表4 今回検証したコピーデンチャーの使用材料、被験者の評価等。オレンジで示した部分が被験者の主観的評価

印象法	マスター	技工用スキャナー		IOS		従来法
製法		デジタル		デジタル		アナログ (従来法)
加工方法	マスター (金属床タイプ)	ミリング	3Dプリント	ミリング	3Dプリント	レプリカ
適合	○	○	○	○	×	○
咀嚼	○	○	○	○	○	○
違和感	○	○	○	○	×	×
食べられないもの	なし	なし	厚い肉	厚い肉	たくわん・肉	たくわん・肉
主観的点数	100	98	90	90	75	80
総体積の誤差	0	405.673058	896.64269	486.340448	956.770787	2749.688432
メーカー名	クエスト	クエスト	Formlabs	クエスト	Formlabs	亀水化学工業
材料名	人工歯部 ハードビュア	ビュア PMMA ディスク A2	Denture Teeth Resin A2	ビュア PMMA ディスク A2	Denture Teeth Resin A2	レプリカ歯冠色
医療機器分類	管理医療機器	管理医療機器	一般医療機器	管理医療機器	一般医療機器	管理医療機器
メーカー名	Heraeus Kulzer	ジーシー	Formlabs	ジーシー	Formlabs	亀水化学工業
材料名	義歯床部 PalaXpress	床用樹脂アク ロンを重合	Denture Base LP Resin	床用樹脂アク ロンを重合	Denture Base LP Resin	レプリカ床色
医療機器分類	管理医療機器	管理医療機器	輸入	管理医療機器	輸入	管理医療機器

### 検証のまとめ

今回の使用材料等を表4に示す。また、被験者が現在使用しているマスターデンチャーは2年以上使用しており、リライン、咬合調整などはなく、問題なく使用している状態である。被験者の主観的評価になるが、これを100点として、数週間ほど使用してもらった今回製作した5タイプのコピーデンチャーの評価も行った。

スキャン方法の比較では、IOSが1顎3分でスキャンを行うことができ、時間的に優位性があるが、精度の面では技工用スキャナーのほうが高いことを確認した。加工法による違いでは、加工時間は積層3Dプリント加工法が短い一方で、精度的にはミリング加工法に優位性を認める結果となった。ただ、どの製作方法も誤差300μm以内の精度が保たれていることから、臨床レベ

ルの許容できる適合性はすべてのスキャン方法と加工法で満たしていると示唆される。

### おわりに

長年使い慣れた義歯でも材質による経年劣化は避けられないが、デジタルを活用することにより、機能面を損なわず衛生面での改善や、精度、機能、審美、耐久性に優れたコピーデンチャーの製作が可能になる。

歯科技工士の減少、特にデンチャーワークを行う歯科技工士の減少が予想される中で、デンチャーワークのデジタル化はコスト面などを考えると3Dプリント積層法が主流になるのではないかと感じている。今後、さらなる使用材料の進化も期待されるので、引き続き臨床での研究を進めていきたい。