

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「3Dプリンターを活用した歯科補綴物の生産性向上に資する鋳造技術開発」

研究開発成果等報告書

平成 26年 3月

委託者 関東経済産業局
委託先 公益財団法人千葉県産業振興センター

目 次

第 1 章	研究開発の概要	
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2	研究体制	4
1-3	成果概要	6
1-4	当該研究開発の連絡窓口	9
第 2 章	本論	
2-1	歯科補綴物デザインソフトの開発	10
2-2	3Dプリンターを用いて製造した鋳造体の精度向上	13
2-3	歯科補綴物樹脂開発	18
2-4	機械化による時間短縮	21
第 3 章	全体総括	
3-1	研究開発の成果	22
3-2	今後の課題	22
3-3	事業化への展望及び目標	23
	専門用語の解説	24

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 背景

歯科医院の増加に伴い、[全国歯科医院数：昭和60年当時／全国約4万件、現在／全国約6万8千件。引用；医療施設調査] 歯科医院は患者への医療サービス向上による差別化のため、歯科技工所に対してできるだけ早く補綴物の納品を望むようになった。

医院数の増加は一医院あたりの売上減少に繋がり、補綴物製造委託加工費用は歯科医院の経営に影響大で、より安価な補綴物を求める歯科医院が更に増えてきた。

また、患者の立場で考えるなら、製造者によるバラツキの無い補綴物を求めることは当然である。

一方、歯科補綴物の製造者たる歯科技工所では、厳しい労働環境により若い歯科技工士の離職が進みつつある。歯科技工士の高齢化が顕著となり、国民の高齢化に伴い入れ歯の需要は増え続けているにも関わらず、若い歯科技工士の雇用が難しくなっている。これらにより、全て手作業で行なわれる歯科技工作業は、歯科技工士の高齢化により益々生産効率が低下、品質のバラツキが発生している。

このような環境下ゆえ歯科技工の主たる業務である精密鑄造の分野で、機械化を進めることが求められている。宝飾業界で指輪／ネックレス等の製造時に、鑄造体の原型を3Dプリンターで積層成型する技術が普及され始めている。しかし、この方法は未だ歯科精密鑄造に求められる精度／強度をクリアできるものではない。

(2) 目的

近年、ジルコニア製補綴物製造時の切削加工に CAD-CAM を応用する技術が確立されつつあり、本研究開発では、この技術を応用して歯科補綴物市場の大多数を占める健康保険適用歯科補綴物に於ける金属精密鑄造工程の効率化実現を目指す。

更に、鑄造体原型を積層成型することが可能な歯科補綴物用での CAD でデザインした鑄造体原型を積層成型することが可能なシステムを開発し、歯科技工作業の効率化を目指す。

これらを達成するために、本研究開発では、操作性及び臨床適応性に優れた歯科補綴物のデザインソフトを開発すること、歯科補綴物に対応できる高精度な3Dプリンターの開発に伴う鑄造体原型の精度向上を行うこと、歯科技工士が手作業で鑄造体原型に微細なデザインを付与するのと同等の加工を機械化することなどにより、短納期で安価な歯科補綴物の供給を行う。また、

歯科補綴物製造における鑄造分野において、歯科技工士個人の技量に委ねない一連のシステム化を行う。（図 1-1）。

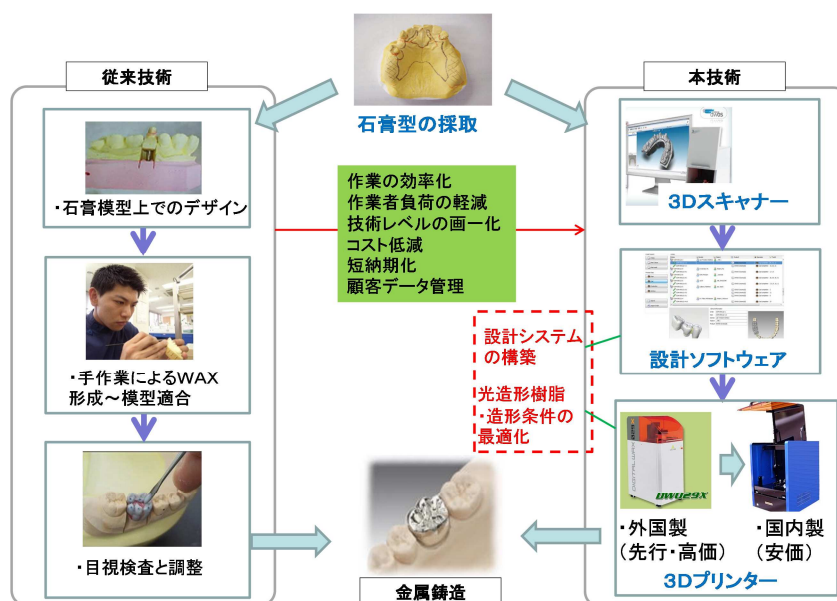


図1-1 本技術の概要（従来技術との差異）

（3）目標

本技術開発に際し、図1-2に示す4つのサブテーマを設定した。

	テーマ名	研究実施機関
サブテーマ①	歯科補綴物デザインソフトの開発	デンタルサポート㈱
サブテーマ②	3Dプリンターを用いて製造した鑄造体の精度向上	デンタルサポート㈱ 日本大学松戸歯学部
サブテーマ③	歯科補綴物用樹脂開発	㈱リアルビジョンシステムズ
サブテーマ④	機械化による時間短縮	デンタルサポート㈱

図1-2 本研究開発のサブテーマ構成

各サブテーマで設定された目標を次に示す。

① 歯科補綴物デザインソフトの開発

一連の歯科補綴物の設計作業が自動ウィザードメニューとして自動化されたデザインソフトを開発する。この際に、ライブラリ内から最も近似する形態のライブラリを三次元的に分析して自動選択する仕組みを構築する。

また、技工オーダー情報と補綴物設計システムの連結するインターフェイス機能を開発するとともに、デンタルハブシステムとしての完成に向けた基盤を確立する。

これらにより、作業の効率化・作業工程及び製品の識別・サービスの高度化による、歯科技工システムの実用化を図る。

②3Dプリンターを用いて製造した鋳造体の精度向上

国産3Dプリンター機器の改造、造型条件の最適化により、所定の適合精度を有する鋳造成果物を得る。

この際に、適正な適合性評価方法による定量的な目標値を設定し（クラウン用途での辺縁適合性目標値：100 μ m以下）、この達成に向け、開発した専用樹脂との品質バランスおよび鋳造条件を含めた条件の最適化を図る。

③歯科補綴物樹脂開発

開発する国産3Dプリンターで製作された造型体を鋳造することで目標とする精度での成果物鋳造体を得ることに資する専用樹脂を開発する。

④機械化による時間短縮

従来技術と新技術における作業時間差を検証し、従来手作業に比べて作業時間の25%短縮が可能な歯科補綴物生産システムを構築する。

【目標の修正】

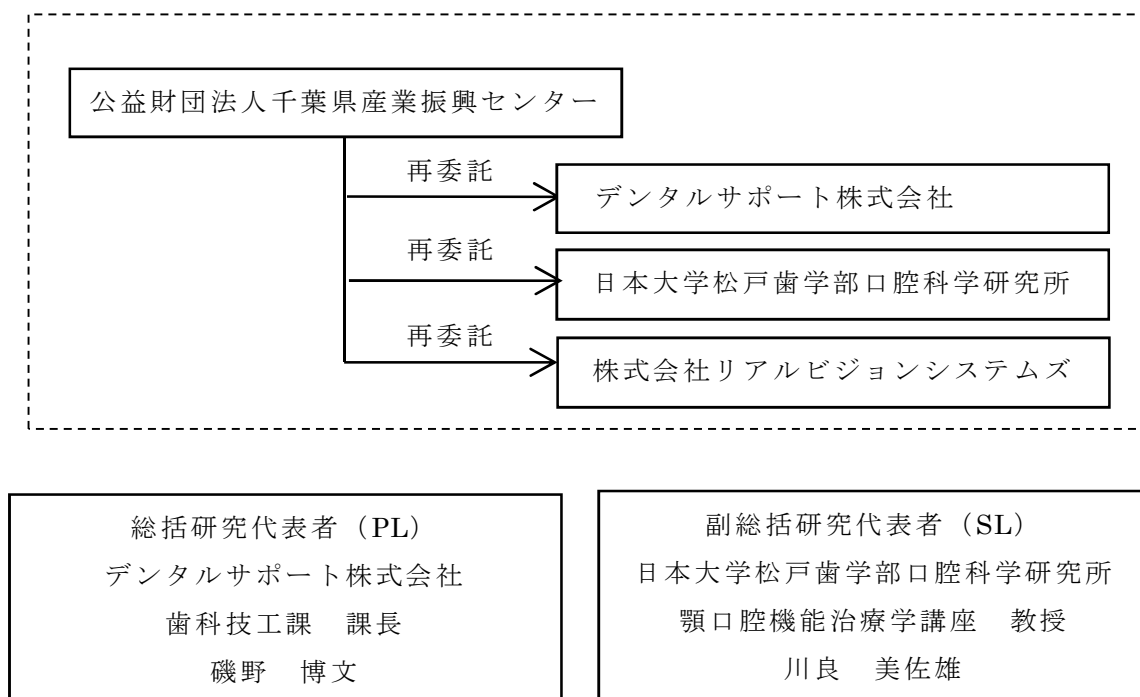
当初、成果物としての歯科補綴物の形態を、①クラウン・ブリッジ用途、②義歯（金属床）用途の2つに分類し、それぞれに適した製造条件の検討及び専用樹脂の開発を計画した。各形態の位置づけを図1-3に示す。造型性能と鋳造性能のバランスを取り、高精度の成果物を得ることは非常に難しい課題であった。また、前提とする市場の事業規模が圧倒的にクラウン・ブリッジ用途の方が大きいことと合わせて、最終年度の研究開発に際しては、クラウン・ブリッジ用途での確実な事業化に注力し、この開発（デザインソフト、専用樹脂）や条件の最適化に注力した。



図 1-3 開発優先度の設定

1-2 研究体制

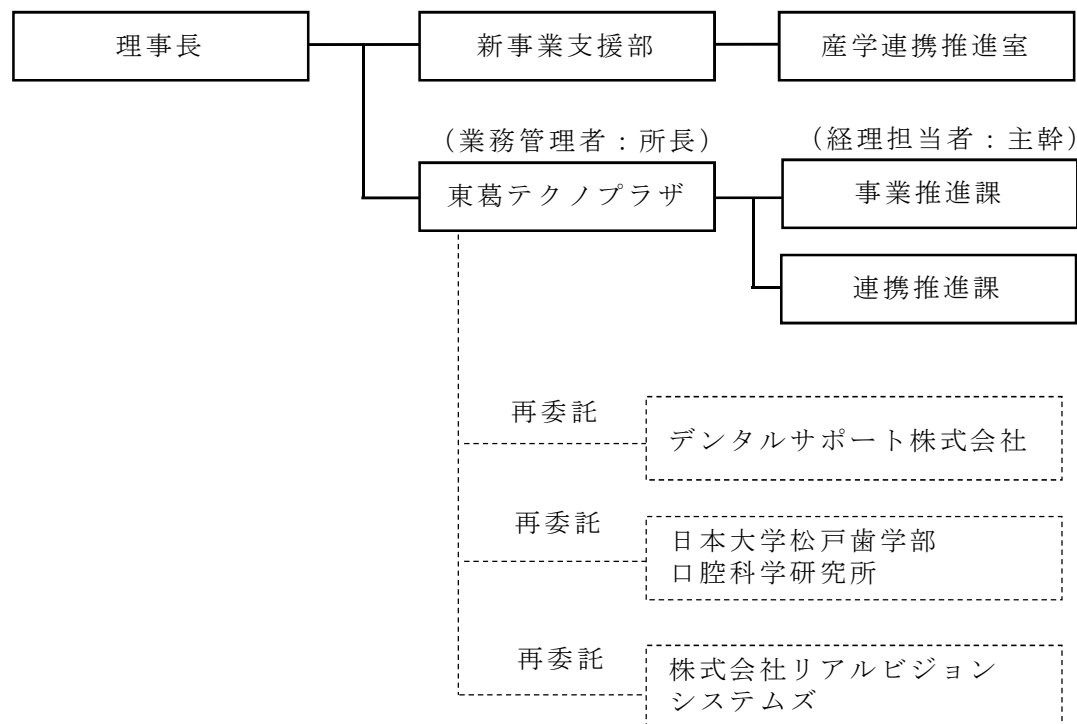
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

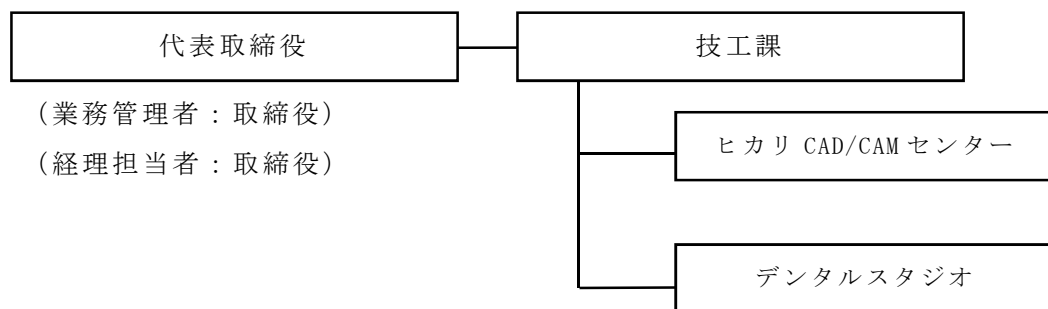
① 事業管理機関

[公益財団法人千葉県産業振興センター]

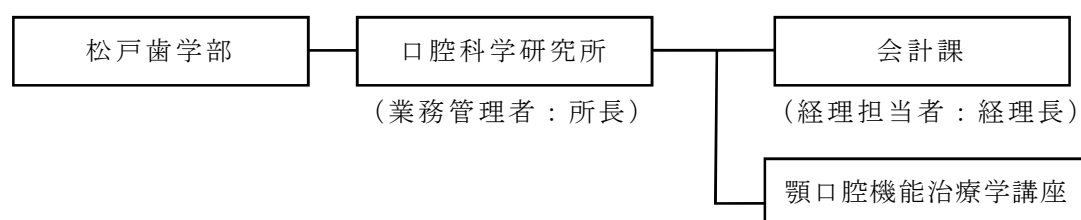


②再委託先

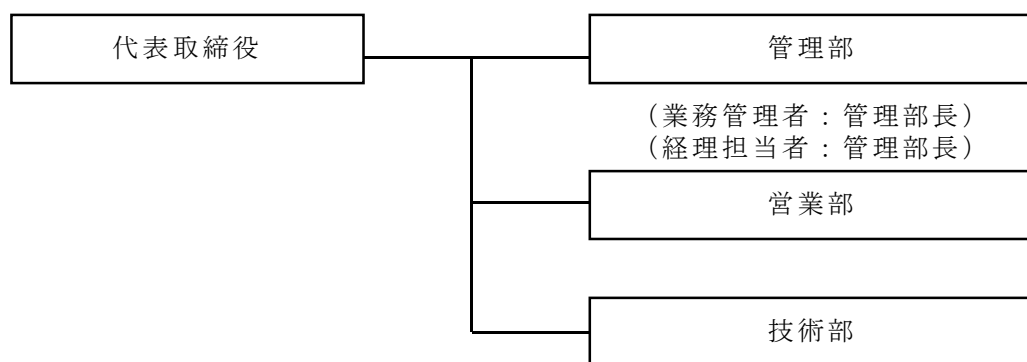
[デンタルサポート株式会社]



[日本大学松戸歯学部口腔科学研究所]



[株式会社リアルビジョンシステムズ]



1-3 成果概要

開発されたクラウン・ブリッジ専用樹脂を用い、3D プリンター光学系の機器管理、環境条件までに及んだ造型条件を最適化すると同時に、課題であった鑄造性に対して、鑄造条件（埋没剤種類、焼結条件）を含めた条件の最適化を図った。また、設計ソフト側でのパラメータ設定の最適化も並行して検討することで、目標としていた国民健康保険適用範囲での従来手作業レベルでの成果物精度を得る技術を、クラウン・ブリッジ用途に対して確立した。臨床に関しても、模型適合性の観点からの検証が完了し、目標精度へ到達しており、実用化への問題もないことを確認した。

クラウン・ブリッジ用途でのデザインソフトの開発も完了した。技工オーダー情報と補綴物設計システムの連結するインターフェイス機能を追加し、作業の効率化・作業工程及び製品の識別・サービスの高度化による、歯科技工システムを実用化した。これにより、クラウン・ブリッジ用途において高品質かつ短納期で歯科補綴物を供給することが可能となった。

本研究開発を通して高度化された国産 3D プリンターは高精度造形物の製作に関して、歯科補綴物以外の用途に対しても広く応用されることが期待される。また、得られた知見やノウハウは、システムパッケージとして市場に投入することで、広く歯科技工士の作業環境改善、短納期化やデータ蓄積等による患者メリットとして提供していく。

以下に各サブテーマの成果概要を示す。

① 歯科補綴物デザインソフトの開発

クラウン・ブリッジ用のデザインソフトを完成させた。開発したシステムの全体感を図 1-4 に示す。技工オーダー情報と補綴物設計システムの連結するインターフェイス機能により伝達されるデータに基づき歯科補綴物の自動設計がなされる。開発した自動設計ウィザードのメニュー構成を図 1-5 及びライブラリ自動抽出機能のシステムフローを図 1-6 に示す。これらにより、高品質の歯科技工物を安全かつ大幅に短納期で顧客に提供できるシステムを構築した。

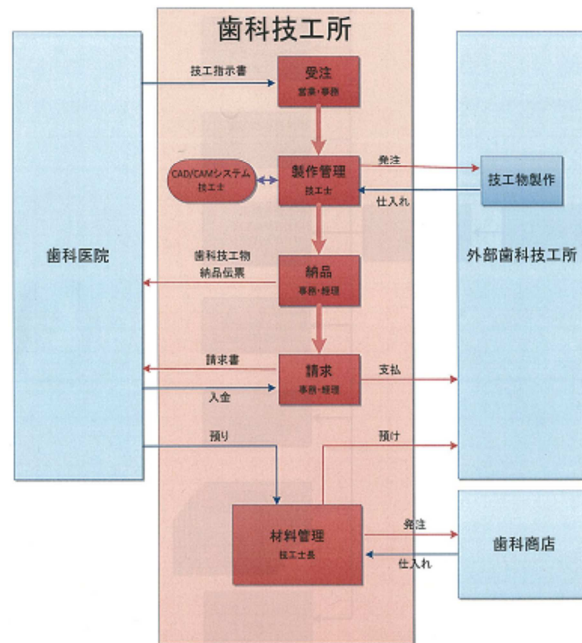


図 1-4 開発システムの全体感

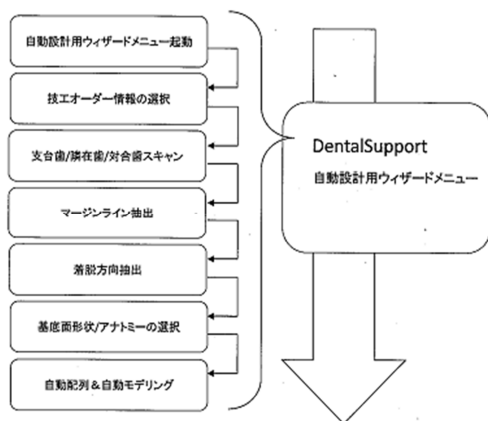


図 1-5 自動設計ウィザードの構成

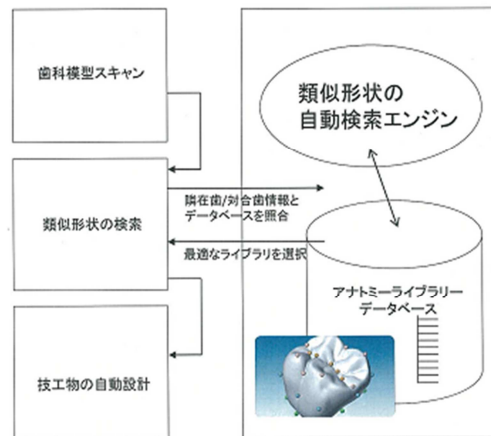


図 1-6 ライブラリ自動抽出機能

②3D プリンターを用いて製造した鑄造体の精度向上

造型時の環境条件、解像度と造型範囲のバランス、鑄造条件（加熱パターン、埋没材）といった点に着眼し、歯型模型／造型物／鑄造体原型間の適合性評価方法（図 1-7）を用いた検証評価とこのフィードバックにより、鑄造体（成果物）の精度向上を図った。

この結果、模型による臨床評価の上でも、目標とするクラウン・ブリッジ用途での $100\mu\text{m}$ 以下の辺縁適合精度を得た（図 1-8）。

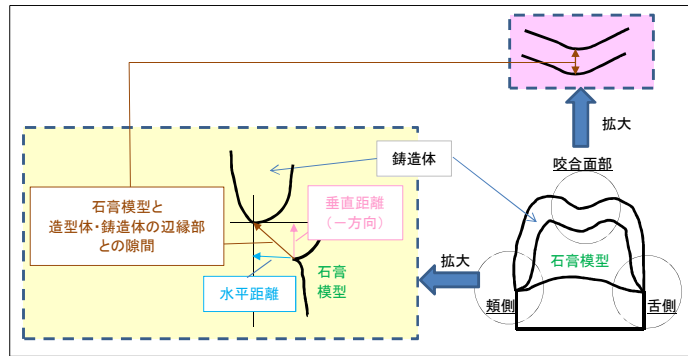


図 1-7 適合性評価の考え方

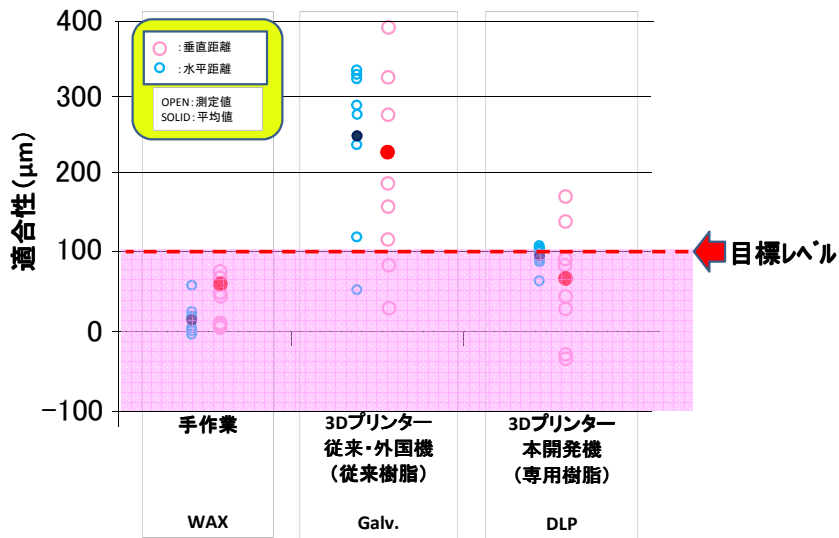


図 1-8 適合性評価結果例（鑄造体（頬側）辺縁部）

③ 歯科補綴物樹脂開発

造型条件や埋没材の最適化を含めた検討として、クラウン・ブリッジ用途での所定適合精度を得るための専用樹脂を開発した（図 1-9）。

義歯（金属床など）用途に関しては、適合精度には課題が残るも、問題なく鑄造することが可能な樹脂性能までを得た（図 1-10）。今後、の実用化を目的に優先順（部分床義歯（片顎）＞部分床義歯（両顎）＞総義歯）に応じた検討を継続する予定である。

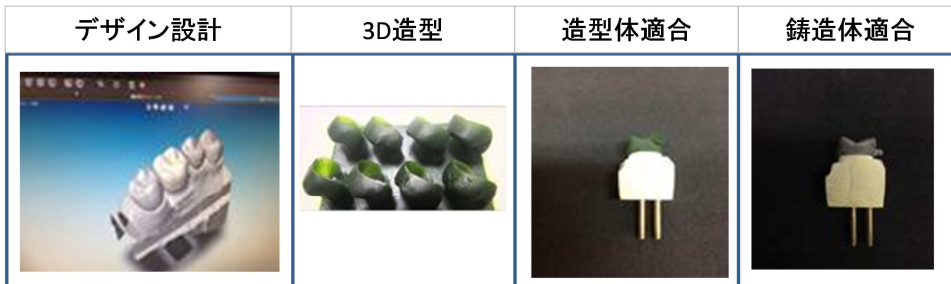


図 1-9 専用樹脂（クラウン・ブリッジ用途）での造型・鑄造

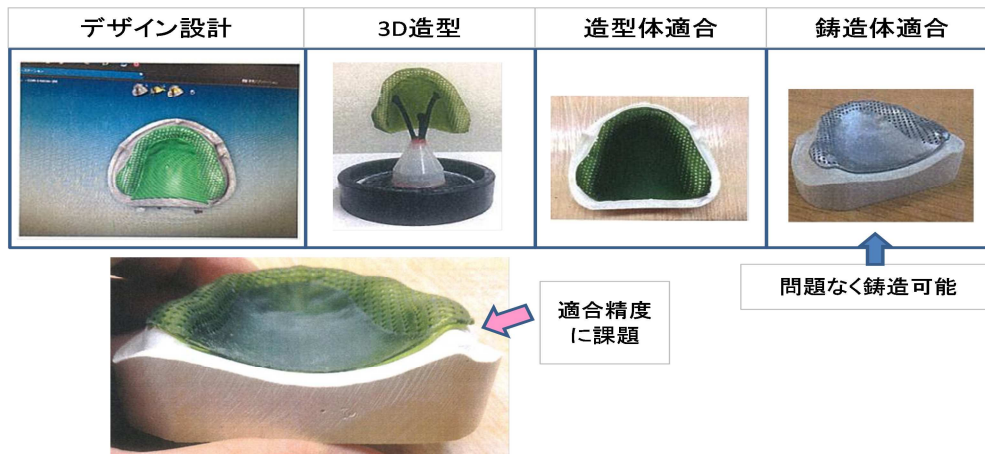


図 1-10 専用樹脂（義歯（金属床）用途）での造型・鑄造

④機械化による時間短縮

歯科補綴物製造時の鑄造原型製作工程において、スキャン～造型～鑄造の一連の工程をシステム化した。造型までの作業時間は従来手作業に比べて、当初計画の 25% 削減を達成した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

事業者名	公益財団法人千葉県産業振興センター
住所	〒273-0864 千葉県船橋市北本町 1-17-25 ベンチャープラザ船橋 1 階
役職・氏名	研究開発コーディネーター・横山直也
連絡先	Tel : 047-426-9200 Fax : 047-426-9044 E-mail : sangaku@ccjc-net.or.jp

第2章 本論

本プロジェクト「3Dプリンターを活用した歯科補綴物の生産性向上に資する
鑄造技術開発」のプロジェクトの概要と実施体制を図2-1に示す。H24年度に樹脂
開発の研究開発促進を目的に(株)リアルビジョンシステムズが研究実施機関に加
わって以降での実施体制の変更はなく、図に示す体制で鋭意研究開発を実施した。

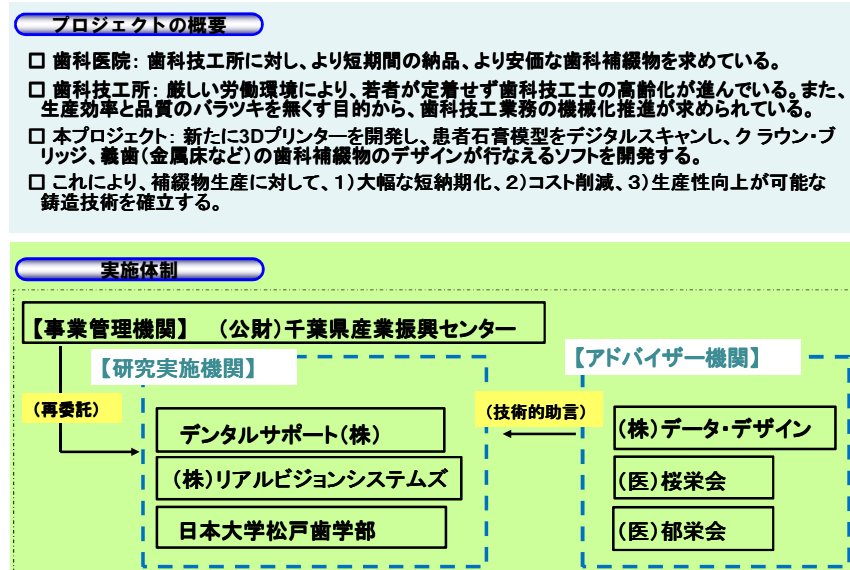


図2-1 プロジェクトの概要と実施体制

以下に各サブテーマでの研究内容及び成果について報告する。

2-1 歯科補綴物デザインソフトの開発

サブテーマ①-1 クラウン・ブリッジデザインソフトの機能及び精度向上

サブテーマ①-2 義歯(金属床など)デザインソフトの開発

サブテーマ①-3 デンタルハブシステムとしての完成

(1) デザインソフトの開発

3D スキャナーを用いて口腔石膏模型を計測したデータを基に、口腔内へ装着する歯科補綴物のデザインを可能な限り自動化するとともに、日本の健康保険が適用される鑄造原型デザインの基本要件をソフトに反映し、作業者が容易に操作できるシステムを構築した。

(2) 研究開発の詳細

a) 自動設計用ウィザードメニューの開発

従来のデザインソフトでは、技工オーダー情報の入力、歯科模型のスキャンニング（支台歯、隣在歯、対合歯）、マージンラインや脱着方向などの必要情報の抽出、自動モデリング、デザインの修正作業など煩雑なメニューから設計を行う必要があった。この作業負荷や作業者による技量差を低減することを目的とした自動設計用ウィザードメニューを開発した。図 2-2 に示すフローに従って一連のデザインプロセスの作業を連続的に行うことで、従来と比べデザイン作業を簡素化させ、より作業者の技量によらない平準化したデザインが行える機能とした。

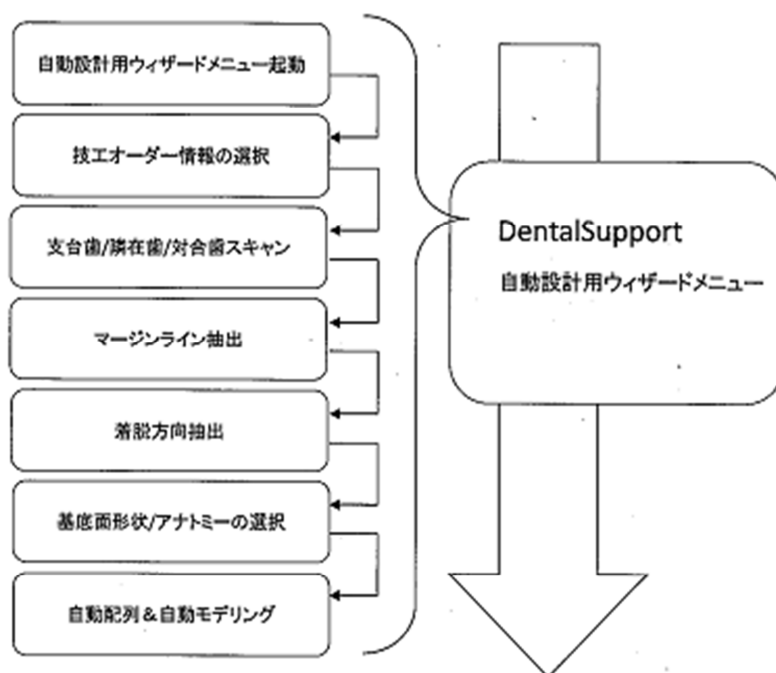


図 2-2 デザインプロセスフロー

b) ライブラリ抽出機能の搭載

歯科補綴物設計ソフトウェア内に、自動設計を実現するためのアナトミー（歯の解剖形態）ライブラリを複数種類保有させることが可能だが、実際の運用では作業者が手動で近似する形態のアナトミーライブラリを選択する方式であった。ライブラリ数が増加した場合、このような手動選択は作業負荷が大きいため、ライブラリ内から近似する形態のライブラリを三次元的に分析して自動選択する検索エンジンを評価し、大容量のデータベースから自動的に最適なライブラリを抽出可能な仕組みを構築した。歯の形態は丸型、角型、とがった様な形態、平らな形態と人それぞれで、多数の歯の解剖学的形態をソフト内にインストールし、隣り合う歯や反対側同名歯の形状から近似する歯の形状を自動選択できる仕組みとした。全体のフロー図を図 2-3 に示す。

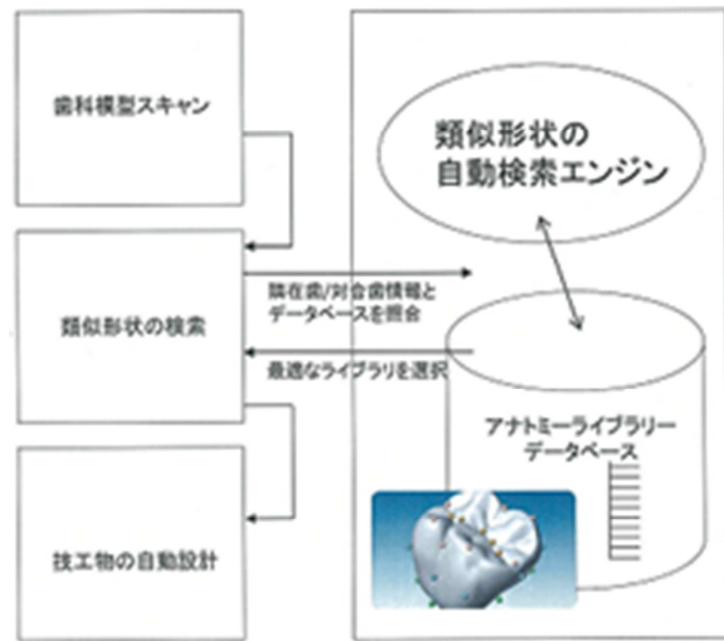


図 2-3 ライブラリ抽出機能の全体フロー

c) デンタルハブシステムとしての完成

歯科技工所内、取引先(技工所/歯科医院)と、インターネット経由で歯科用データ/顧客情報などデータの送受信ができ、セキュリティ対策を講じたシステムとしての開発を検討した。技工物オーダーと技工物受注管理システムを内包する形でクラウドサービスを行える仕組みを検討し、本ソフトウェアを持った歯科技工所がデンタルハブシステムを介してインターネットで繋がり、歯型データやデザインデータを簡便に送受信できる仕組みを構築することで、各歯科技工会社の業務効率化を図り、無駄を無くす(模型の配送など)ことが可能となる。図 2-4 に概要を示すデンタルハブシステムの H 26 年度内での構築を目指し、検討を継続していく。

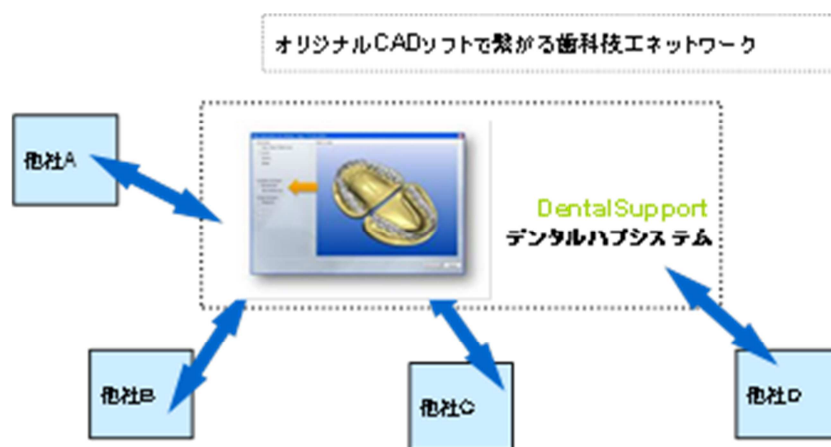


図 2-4 デンタルハブシステムの概要

(3) 3年間のまとめ

クラウン・ブリッジ用のデザインソフトの改造を計画通り完了し、ウィザードメニューでの自動設計が可能となった。歯科技工データ（受注管理情報）との連携システムも完成し、高品質の歯科技工物を安全かつ大幅に納期が短縮され状態で顧客に提供できるシステムを構築した。

(4) 今後の課題

- ・義歯（金属床）用のデザインソフトの開発
今回開発したクラウン・ブリッジ用のデザインソフトをベースに開発を継続する。
- ・デンタルハブシステムによる事業モデルの構築
今回検討した基本概念に基づき、ビジネスプランに沿ったハブシステムを構築する。
- ・ライブラリ抽出機能のデータベースの充実
デザインソフトでの設計データが自動的にデータベース登録されるための改造を行うことで、ライブラリ自動抽出機能の充実を図っていく。

2-2 3Dプリンターを用いて製造した鋳造体の精度向上

- サブテーマ②-1 歯科補綴物として臨床に耐えうる精度の確立
- サブテーマ②-2 設計パラメータの最適化
- サブテーマ②-3 成果物（鋳造体）の臨床的評価

(1) 3Dプリンターの改造

従来用途（ジュエリー原型・製造など）と比べ極めて微細な感触を必要とする歯科補綴物の適合においては、より厳密なピント合わせが必要となる。このため、調整治方法を見直し、図2-5に示す専用のピント調整治具を設計・開発した。



図 2-5 焦点調整用治具

(2) 造型条件の最適化

a) 環境条件

同一条件での造型を行った際の造型体形状の変動が大きく、これが鋳造体精度に影響を及ぼすことが課題であった。紫外線硬化樹脂の造型性は環境条件の影響を受けることから、造型時の環境条件が造型体精度に及ぼす影響を検証し、3Dプリンターの適正な造型環境条件を検討した結果、最適な温湿度条件が判明した（湿度40%、温度28℃前後）（図2-6）。エアコンでの温度管理についてはエアコン単体での管理に限界が有ることから、樹脂層にサーモスタッド付ヒータ装置（図2-7）を組み入れることで、3Dプリンター機器を改良した。これにより、季節等での環境変動に対して、安定した造型結果が得られるようになった（造形不良・硬化不足による歪み・縮み・変形の解消）。

樹脂温度	造型結果	環境湿度	造型結果
10	×	40% 以下	○
12	×	40% 前後	○
14	×	50% 前後	△
16	×	60% 以上	×
18	×		
20	×		
22	×		
24	△		
26	△		
28	○		
30	△		
32	△		
34	×		

図2-6 造型環境条件の最適化

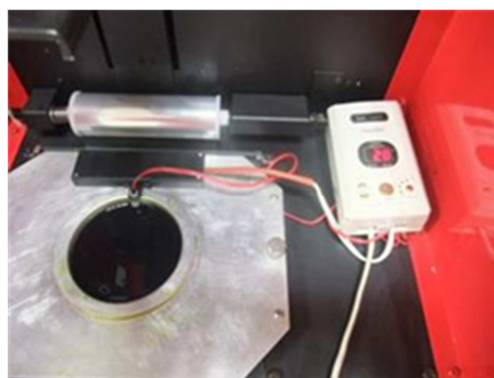


図2-7 造型温度調節装置の組込

b) 設計パラメータ

デザインソフトのパラメータ設定も適合に及ぼす影響が大きいと想定されることから、垂直距離(ギャップ)・水平距離(ギャップ)の設定値を確認した。この結果、図2-8に示す最適値を得た。(CADにおけるパラメータとは、歯科医がクラウンを支台歯に合着する際のセメントしろの部分を目指す。)

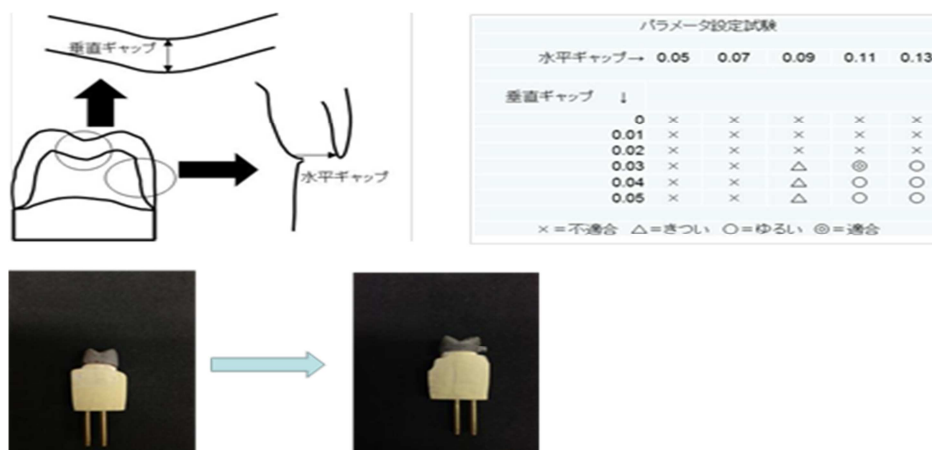


図2-8 設計パラメータの最適化

(3) 鑄造条件の最適化

WAXと比べ3Dプリント樹脂は樹脂の燃えカスによる鑄巢の発生、樹脂が燃える際の高温下での埋没材の肌荒れの発生が散見されたため、昇温カーブを変えた鑄造試験を行い、開発樹脂での鑄造条件の適正化を図った。この結果、図 2-9 に示す条件とすることで鑄造体の外観（肌荒れ）が大きく改善することを確認した。

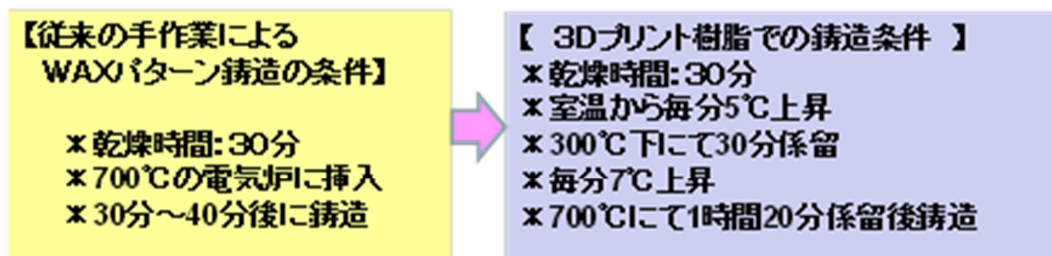


図 2-9 鑄造条件の最適化

(4) 鑄造体の適合性評価

クラウンと石膏支台歯との、密着度を検証する方法として、鑄造したクラウンを支台歯に収め、歯の頬側から舌側にかけて2分割し、その切断面の観察により、適合性を定量的に評価する方法を確立した（図 2-10）。

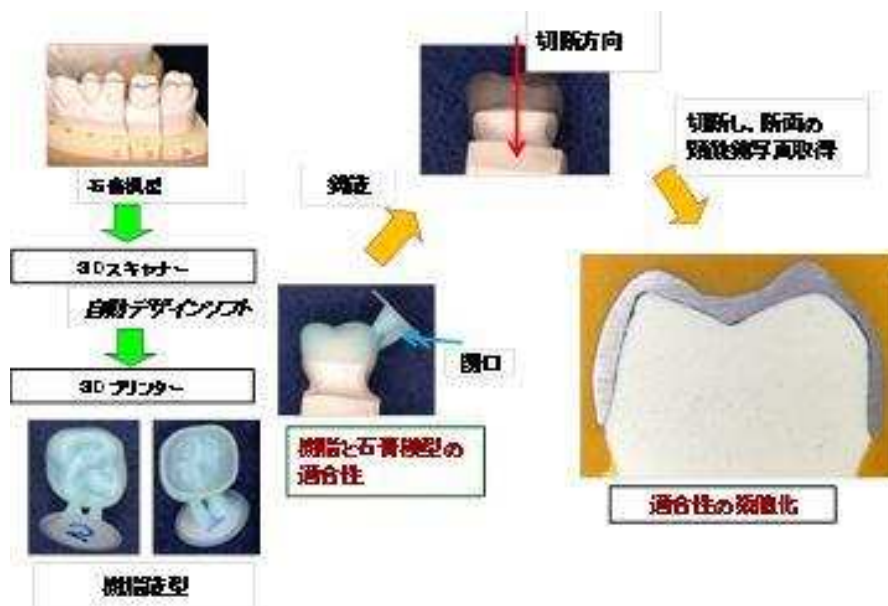


図 2-10 適合性（クラウンと石膏支台歯）の評価方法

造型時の環境条件、解像度と造型範囲のバランス、鑄造条件（加熱パターン、埋没材）に着眼し、歯型模型／造型物／鑄造体原型間の適合性評価とこのフィードバックにより、鑄造体（成果物）の精度向上を図った。

測定部位の断面状況を図 2-11 に示す。造型体及びその鑄造体に対してそれぞれ舌側、頬側、咬合面の部位で石膏模型と造型体あるいは鑄造体の各辺縁分

の隙間を測定 (n=8) した。頬側、舌側に対しては、垂直方向と水平方向の距離として評価した。

※水平方向：石膏模型に対して隙間の出来る方向をプラスで定義。

(今回の試料では、石膏に対して嵌らない(マイナス)の結果は認められなかった。)

※垂直方向：石膏模型辺縁位置を基準にプラス、マイナスで定義。

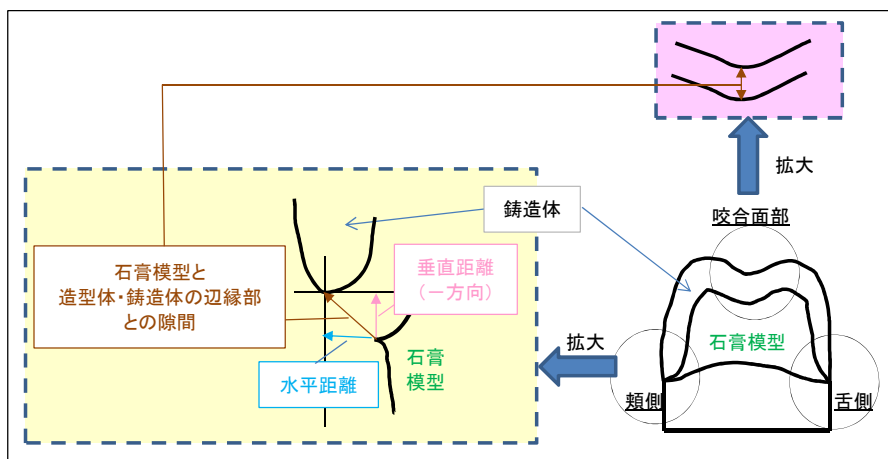


図 2-11 適合性の測定部位

開発した国産 3D プリンターとこの特性に合わせて開発した専用樹脂を用い、環境条件を含む造型や鑄造に関して本研究開発で得られた最適条件で製作した造型体とこれを用いて製作した鑄造体の適合性を評価した。また、従来の外国製 3D プリンターとこれに対応する樹脂を用いた場合、従来の手作業による WAX 造型を行った場合について、それぞれ同一の支台歯を用いて比較検証を行った。

製品である鑄造物に関して、従来技術に対する本技術の適合性の状態を頬側の測定結果に着目して整理した結果を図 2-12 に示す。水平距離については、従来外国機 (Galv.) に対して、適合性が良い結果であった。特に、従来外国機では造型物比べて鑄造物での適合性が悪化しているのに対して、開発国産機 (DLP) では鑄造物でも安定した適合性を示した。垂直距離については、従来外国機 (Galv.) に対して、開発国産機 (DLP) では良い適合性を得た。ただし、辺縁位置を中心としてプラス/マイナスでの偏差を示した。特に鑄造物頬側で、辺縁位置から垂れ下がる方向への偏差が認められた。今後、この点の改善を検討することで、更なる適合性の安定化を図ることが必要となる。垂直方向距離での偏差が残るものの、目標としていた $100\mu\text{m}$ 以下の辺縁部での適合性レベルに到達した。これは、従来の外国製 3D プリンターに対して有意に改善されており、クラウン・ブリッジ用での実用化が可能なレベルの適合性を確認した。

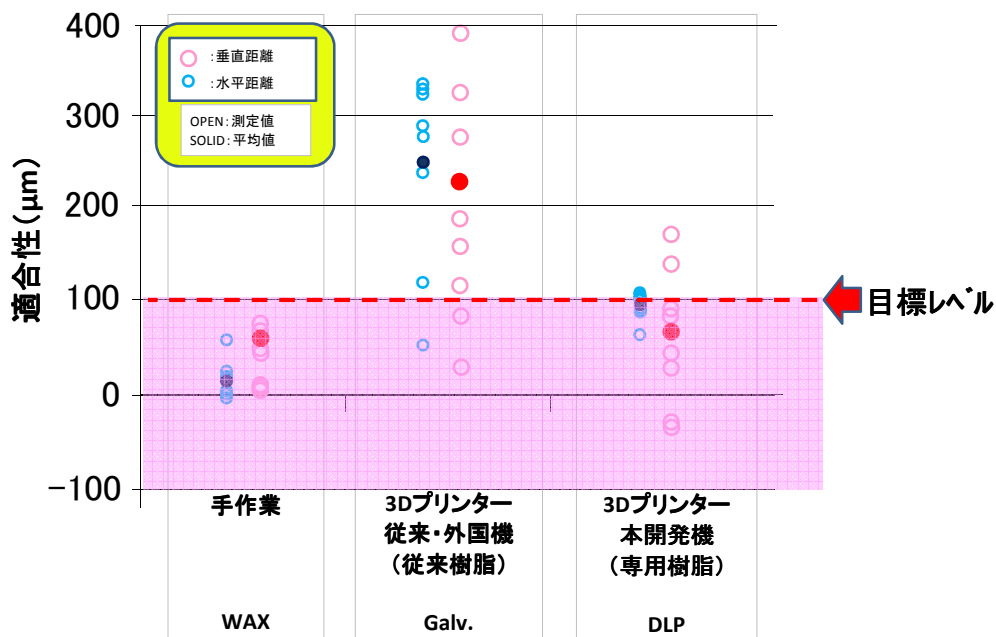


図 2-12 適合性評価結果例（铸造体（頬側）边缘部）

(5) 3年間のまとめ

プリンター機器管理、造型条件（環境、解像度）といった視点での検討を行い、安定した造型が得られる条件を得た。更に铸造時の温度や埋没材に着目した検討を実施し、造型条件とあわせた最適化を図ることで、高精度な铸造体を安定的に得ることが可能となった。

これらの結果を踏まえ、開発国産 3D プリンターおよび専用樹脂で制作した造型・铸造体に対して適合精度を検証し、以下の結果を得た。

- a) 先行海外製品（外国製 3D プリンターとその専用樹脂）に比べて、開発品（国産 3D プリンターとその専用樹脂）の適合性は有意に上昇した。
- b) 従来の手作業 WAX 造型での適合精度に相当する冠边缘の間隙水平・垂直距離を得た。

従来報告では、歯冠補綴物の経過観察から、臨床的に歯肉縁に異常を認めないのは水平距離 100 μm 以内と言われている。本研究開発で得られた適合性の結果は十分に臨床応用が可能な水準であった。

(6) 今後の課題

目標としていたクラウン・ブリッジ用途での臨床に耐えうる適合精度に到達した。今後、边缘部分での歯肉に対する垂直方向適合精度の更なる向上等、事業化した中で更なる高度化を図っていく。

2-3 歯科補綴物樹脂素材開発

サブテーマ③-1 より精度の高いクラウン・ブリッジ造形を可能とする樹脂の開発

サブテーマ③-2 義歯（金属床など）の casting が可能な樹脂の開発

(1) 研究開発の概要

クラウン・ブリッジ用での事業化を最優先することで目標を修正したことを受け、本サブテーマでもクラウン・ブリッジ用に特化した検討を行い、臨床に耐える適合精度を有する casting 体に供することが可能な専用樹脂を得た。また、得られた樹脂をベースとして義歯（金属床）への適用を検討し、精度には課題が残るものの問題なく casting することが可能なことを確認した。

(2) 研究開発の詳細

a) より精度の高いクラウン・ブリッジ造形を可能とする樹脂の開発

本研究開発で検討した主な樹脂を表 2-1 に示す。これらの樹脂は事業開始から 2 年間をかけスクリーニングを重ねた結果として得られた。本研究開発の最終年度では、これらの開発樹脂に対して、造型性の良い樹脂（組成 3）と casting 性の良い樹脂（組成 5）の 2 種類の樹脂を基本とし、造型や casting の条件も含め、両者の長所が最大限に得られる配合について検討した。

組成 5 の樹脂に、硬化速度が速く造形精度が非常に良いとされる組成 3 の樹脂を 3 通りの比率（組成 5：組成 3 で 1：3、1：1、3：1）で混合し、性能バランスの向上を図った。更に、剥離速度・露光時間の組み合わせを変え、その中から造形精度の高いものを抽出し、加えて、造型条件の最適化（サブテーマ②埋没材と昇温条件の見直し）を行うことによって（図 2-13）、実用に耐えるレベルの casting 結果を得た。

表 2-1 主な開発樹脂の一覧

樹脂種類	用途	造型性			casting 性	
		弾性率と造型性	ホスト UV 硬化性	表面粗さ	casting 時膨張性	casting 消失性
組成1 (緑色)	クラウン・ブリッジ用	△	○	○	△	×
	義歯(金属床)用	△	○	○	○	×
組成2 (深緑色)	クラウン・ブリッジ用	△	○	○	△	△
	義歯(金属床)用	△	○	○	○	×
組成3 (黄色)	クラウン・ブリッジ用	○	○	○	×	×
	義歯(金属床)用	○	○	○	×	×
組成4 (深黄色)	クラウン・ブリッジ用	○	○	○	○	△
	義歯(金属床)用	○	○	○	○	△
組成5 (深緑色)	クラウン・ブリッジ用	○	○	○	○	○
	義歯(金属床)用	-	-	-	-	-

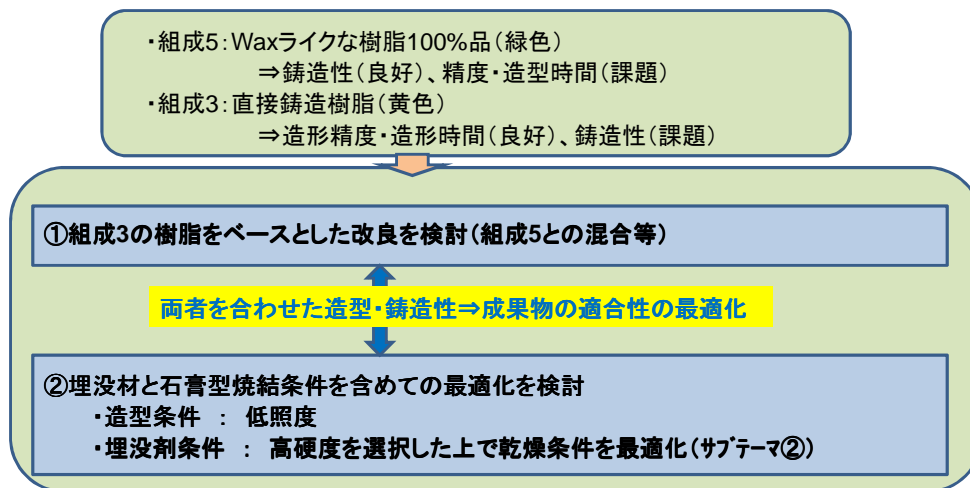


図 2-13 クラウン・ブリッジ専用樹脂改良の考え方

b) 義歯（金属床など）の鑄造が可能な樹脂の開発

当初の目的であった義歯（金属床）に関しても、組成 5 と組成 3 の 1 対 1 混合品の樹脂について、義歯（金属床）（総義歯（デンチャー）と部分床（パーシャル））への適用を図った。

適用に際しての適正な造型条件の探索は困難な課題であり、検証に時間を要したが、解像度と造型エリアの関係最適化、焦点調整用治具の改良等により最適な造形条件を得た。義歯（金属床）での造型体の例を図 2-14 に示す。



デンチャーの造型例



パーシャルの造型例

図 2-14 義歯（金属床）での造型体外観（例）

得られた造型体を通常金属床用の埋没材条件にて鑄造した。義歯（金属床）での鑄造体製作での大きな課題であった割れも発生することなく、問題なく鑄造されることを確認した（図 2-15）。ただし、適合性に関しては、辺縁封鎖性の不足が有り（辺縁部の隙間）、事業化に当たってはこの点の改善が必要となる（図 2-16）。



デザイン設計	3D造型	造型体適合	鑄造体適合
			
			

図 2-15 義歯（金属床）での設計～鑄造結果



図 2-16 義歯（金属床）での課題

(3) 3年間のまとめ

サブテーマ②での造型条件最適化や埋没材の選定もあわせ、クラウン・ブリッジ用に特化した研究開発を行った。その結果、クラウン・ブリッジ鑄造体の精度目標達成に資するベース樹脂を得た。

また、クラウン・ブリッジ用途で開発された樹脂を調合することで、義歯（金属床）が問題なく鑄造可能となることを確認した。

(4) 今後の課題

クラウン・ブリッジ用途では、目標精度の鑄造体を製造に供する樹脂を開発した。ただし、作業性や能率を更に向上可能な方向性も得られてきており、流動性を重視した形での更なる樹脂の高度化を図っていく。

義歯（金属床）に関しては、これまで不可であった鑄造が可能となり、これは大きな進歩と考える。今後、この結果に基づき、目標精度の鑄造体を得るための検討を継続する。この際、開発難易度に応じた開発の優先順を明確にすることが重要であり、

（易）←部分床義歯 片顎＞部分床義歯 両顎＞総義歯→（難）
 といった形での開発、実用化を図っていく。

なお、この際、樹脂自体の開発に加え、造型時の変形防止（サポートの設計、固定用治具 等）、造型から鑄造間の保管、鑄造作業時の変形防止（昇温過程での造型体変形防止）が必要となる。

2-4 機械化による時間短縮

従来の手作業に対して、25%の作業時間短縮を目的として検討を進めた。本検討での、作業時間の考え方と時間短縮の成果について図 2-17 に示す。

従来 of 歯科技工作業においては、WAXを熱したスパチュラで盛り上げ、それを彫刻刀等で形成する方法で鑄造補綴物の原型を製作している。このWAX形成作業は熟練した歯科技工士でも外形線記入から原型の完成まで30分以上を要する。この作業時間をベースに、歯科技工士がCADでデザインしたデザインデータを3Dプリンターへアウトプットするまでに要する時間を25%削減させることを目標に検討した。歯科技工士の作業時間を短縮させるには、CADソフトの機能を充実させることであるため、今回開発の自動設計用ウィザードメニューライブラリ抽出機能の搭載を図った結果、25%の作業時間の短縮を実現した。

	【 歯科技工士による手作業 】	【 3Dプリンター活用 】
造型	<ul style="list-style-type: none"> 石膏模型上でデザイン、鉛筆で外形線を記入 (10分) 手作業によるWAX形成 (20分) <p>時間: 30分</p>	<ul style="list-style-type: none"> 受注管理システムとの融合 (3分) 石膏模型をスキャン、設計デザイン (17分) 3Dプリンターへ デザインデータを送信する (2分) <p>時間: 22分 (25%削減)</p>
埋没	埋没	(複数のケースをまとめて造型し鑄造工程へ)
鑄造	鑄造	鑄造(複数)
研磨	研磨	

図 2-17 歯科技工士の手作業に比較した時間短縮の効果

第3章 全体総括

3-1 研究開発の成果

平成23年度に採択され、当初目的の達成へ向け研究開発を推進した。

プロジェクト運営については 事業管理者を交えて定期的の開発推進会議を開き、研究機関、アドバイザー機関相互に率直な意見を述べ合い意思が決定した。また、各研究機関の進捗状況把握については、上記開発推進会議や、その他必要に応じサブテーマごとに進捗状況を確認した。

このような活動を通し、この期間内で大きく、以下の計画修正を行った。

- ① 専用樹脂の研究開発を図るため、㈱リアルビジョンシステムズを研究組織内に取込んだ。(H24年度～)
- ② 義歯(金属床)用に対して、実用化に向けた研究開発の可能性が高いクラウン・ブリッジ用に注力するための計画変更を行った。(H25年度)

これらの見直しも含めた成果として、クラウン・ブリッジ用にて従来手作業に匹敵する適合精度の鋳造体成果物を得た。この開発を通して、従来外国製が主流であった3Dプリンターに関して、これを凌駕する性能を有する国産3Dプリンターが完成した。また、この国産3Dプリンターの性能を活かせる専用樹脂を開発した。

自動ウィザード機能を搭載したデザインソフトも完成し、目標としていた25%の作業時間の短縮が実現した。また、技工オーダーと連携したシステムとして構築したことで、高品質かつ短納期で歯科補綴物を供給することが可能となった。

3-2 今後の課題

- (1) 追加でのシステム構築(前述の「デンタル・ハブ・クラウドサービス」等)や各種ウィザードメニューの高度化(パラメータの見直し、機能の追加等)、データベースの維持管理等については、システム発注先との間で引き続き検討を進めていく。
- (2) 義歯(金属床)については、健全な鋳造体を得るまでの技術を開発した。ただし、実用化に向けては適合精度の向上が必要であるとともに、これにあわせたデザインソフトの作成が必要となる。この用途での事業化に当たっては、本研究開発で得られた協力関係の中で引き続き検討を進めていく。

3-3 事業化への展望及び目標

- (1) 歯科補綴物デザインソフトウェアの中規模歯科技工所及び歯科医院への販売

3D スキャナーからの計測データを基にパソコン上に口腔内を再現し、歯科補綴物製作のための事前処理や設計を行うことで、紙媒体によるやり取りをなくし、直接 3D プリンターへのデータ送信を可能とするシステムを構築する。

- (2) 歯科用 3D プリンターの大規模歯科技工所への販売

歯科補綴物鑄造体の原型を同時多量に積層造形が可能な開発装置をエリアにわけて販売する。

- (3) 歯科補綴物の受注加工を中小歯科技工所、歯科医院より請負

今回開発するデザインソフトウェアの購入先（歯科医院、歯科技工所）に対して、インターネットを介した「従来品に比べて品質バラツキが小さい歯科補綴物」の受注・販売を図る。

専門用語等の解説

番号	名称	説明
1	補綴物	入れ歯、さし歯、銀歯 等の総称
2	ジルコニア	人工関節、スペースシャトル等にも使われる高強度のセラミック系素材
3	クラウン	削った歯に被せる補綴物
4	(クラウン)ブリッジ	欠損した歯の形状/機能を回復させる為にクラウンを支台として複数歯連結させた補綴物
5	マージン	歯科医が切削した歯の切削部と非切削区の境界線

「この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱において非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成11年法律第42号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。」



この印刷物は、印刷用の紙へ
リサイクルできます。