

歯科補綴物製作支援システムの開発

学位論文内容の要旨

本論文では、CAD/CAM 技術を応用した義歯・歯冠補綴物の高精度化および製作作業の合理化・自動化を目標とした歯科補綴物製作支援システムの体系的開発方法を 10 章にわたって取りまとめたものである。

第一章では本研究の概要をのべ、その意義、社会的必要性について述べている。すなわち 21 世紀においてはわが国は高齢化社会を迎え、2015 年には 65 歳以上の高齢者が全体の 25 % を超えると予想され、総義歯、歯冠補綴物の需要が多くなると予想されている。一方、歯科医療における義歯の製作は技工士による手作業でおこなわれており、熟練技工士の増加が望めない状況から需給のアンバランスが生じることが懸念されている。このため義歯製作のための機械化・システム化の必要性を指摘している。

第二章は歯牙全体および部分形状を表現するための歯科医療において用いられている用語および特徴と形状要件についてまとめたものである。

第三章は歯科補綴物製作システムに関する研究・開発の海外および国内の状況と歯科医療における範囲とその位置付けを行い、研究・開発課題の整理を行ったものである。すなわち従来の歯科技工士による歯科補綴物製作工程において、ワックスアップ作業による模型製作とロストワックス鋳造法による補綴物製作工程において、歯科技工士の技能に大きく依存するため、補綴物の品質がばらつくばかりでなく、生産性がわるく、高価なものとなっている。これらの課題を解決するため、歯科製作工程を分析し、計測、設計、加工、組立ての観点から工法・工程の分析と検証を行い、既存の幾つかの歯科補綴物製作支援システムを歯科補綴作業工程の観点から評価・検証し、第四章で示す研究・開発課題を解決することが必要であることを明らかにしている。

第四章は既存システムの残された研究・開発課題を解決するために、1) 機能性の高い生体形状表現モデル技術、2) 操作性が良く自然な歯冠形状を設計できる CAD システムの機能実現、3) 精度の高い 3 次元形状計測技術、4) 要求される形状精度を保ちながら目標時間内に加工できる 5 軸加工システムに関する研究目的と方法の概要を述べている。

第五章はコンピュータによる機能性の高い歯科形状表現方法としての歯牙形状表現ソリッドモデルとして著者が独自に提案する「多層境界表現セル構造化モデル」の提案を行っている。すなわち提案モデル化手法は歯牙はエナメル質、象牙質、歯髄部からなる多層構造であり、物体内部に境界形状を持つだけでなく、歯形状特有な特徴的形状要素（辺縁隆線、交頭頂、中心溝など）を表現できる機能を実現している。この多層境界表現セル構造化モデルを用いて、補

綴物の接合面形状を設計するために、口腔内にある医師により形成された支台形状の模型から提案する形状計測により得られる測定データ群から、マージンラインを認識し、それにより必要な測定データを抽出し接合面形状を3次Bスプライン曲面で表現し、多層境界形状の一部を表現している。

第六章は、第五章で提案した多層境界表現セル構造化モデルを用いて、歯科補綴物の形状設計を行うCADシステムの機能設計とその実現システムについて述べている。すなわち提案歯科形状設計システムは、予め多層境界表現セル構造化モデルによる標準歯冠モデルを用意しておき、患者の歯列に合わせて移動・回転・縮小・拡大操作機能に加え、局所変形操作、局所切断操作を可能とする機能を開発した。標準歯牙モデルは大人の標準モデルとして上下左右7本ずつ合計28本を用意した。この標準モデルを用いて、患者の歯列、支台形状に合わせて変形操作を行う設計プロセスを定式化し、歯科医師なもっとも重要と判断するマージンラインの設計を可能とする機能をもたせているのが特徴である。

第七章は歯科形状計測機の研究・開発について述べたものである。測定対象である支台形状を固定するステージは支台形状の形状測定要求をみたすため、5軸制御方式を採用し、高精度レーザー測長器と組み合わせることにより測定精度 ± 15 マイクロメータを達成している。開発した本形状計測器は歯牙形状測定に適するように独自の計測制御ソフトウェアを開発し目的にあった歯牙形状計測を可能としている。

第八章は歯冠加工用CAMシステムの開発についてまとめたものである。開発したCAMシステムは歯牙形状設計CADシステムで生成された種々の形状を持った歯冠モデルの加工を可能とするために、加工データの自動生成を可能とするCAMソフトウェアと歯冠加工用5軸制御NC加工機から構成されている。5軸制御NC加工機械においては、素材を一度チャックすることで形状の全面に渡って加工することができるように標準化された固定面をもつ素材を準備し、一度のチャックで全加工工程を完了するため高精度な加工が可能となる。またマージンラインの高精度加工を中心に種々の歯冠形状の加工に対応できる標準加工手順を明らかにし、具体的データは個々の歯冠設計データから生成することでCAMシステムは自動的に加工データを生成する機能を持たせた。開発した5軸制御NC加工機械のワークエリアは50x50x80mmであって、15本の工具収納を可能とする自動工具交換装置と工具長補正機能を持たせている。また主軸回転数は最高6万回転を可能とする歯冠加工専用加工機械である。第九章は開発したCAD/CAMシステムによる製作した歯科補綴用歯冠の実用評価実験の結果について取りまとめたものである。現在まで24例におよぶ実用評価実験を行った。実用評価においては、歯冠のポリシングおよび調整加工のための取りしろ量の検証、試作歯冠の装着実験と適合性評価を行った。また実用化のためには現状の歯牙設計時間を1/3に短縮するほか、計測・加工時間を60分以内にすることが判った。

第十章は本論文で得られた結論をとりまとめたものである。

学位論文審査の要旨

主査	教授	岸浪建史
副査	教授	五十嵐 悟
副査	教授	島 公 脩
副査	教授	土谷武士
副査	教授	山本克之

学位論文題名

歯科補綴物製作支援システムの開発

21世紀においてはわが国は高齢化社会を迎え、2015年には65歳以上の高齢者が全体の25%を超え、総義歯、歯冠補綴物の需要が多くなると予想されている。一方、歯科医療における義歯の製作は技工士による手作業でおこなわれており、熟練技工士の増加が望めない状況から需給のアンバランスが生じることが懸念されている。このため義歯製作のための自動化・システム化が期待されている。本論文は、CAD/CAM技術を応用した義歯・歯冠補綴物の高精度化および製作作業のシステム化・自動化を目的とした歯科補綴物製作支援システムの体系的開発方法論と実際に歯科補綴物製作支援システム開発を行い、歯科補綴物製作適用実験を通して得られた新知見を10章にわたって取りまとめたものである。

第一章では本研究の概要をのべ、その意義、社会的必要性について述べている。

第二章は歯牙全体および部分形状を表現するための歯科医療において用いられている用語および特徴と形状要件についてまとめたものである。

第三章は歯科補綴物製作システムに関する研究・開発の海外および国内の状況と歯科医療における範囲とその位置付けを行い、研究・開発課題の整理を行ったものである。すなわち従来の歯科技工士による歯科補綴物製作工程において、ワックスアップ作業による模型製作とロストワックス鑄造法による補綴物製作工程において、歯科技工士の技能に大きく依存するため、補綴物の品質がばらつくばかりでなく、生産性がわるく、高価なものとなっている。これらの課題を解決するため、歯科製作工程を分析し、計測、設計、加工、組立ての観点から工法・工程の分析と検証を行い、既存の幾つかの歯科補綴物製作支援システムを歯科補綴作業工程の観点から評価・検証し、解決すべき研究・開発課題を明らかにしている。

第四章は、第三章で明らかにした研究・開発課題を解決するために、1) 機能性の高い生体形状表現モデル化技術、2) 操作性が良く自然な歯冠形状を設計できる CAD システム機能の実現、3) 精度の高い3次元形状計測技術、4) 要求される形状精度を保ちながら目標時間内に加工できる5軸加工システムに関する研究目的と方法の概要を述べている。

第五章はコンピュータによる機能性の高い歯科形状表現方法として独創的な「多層境界表現セル構造化モデル」の提案を行っている。すなわち提案モデル化手法は、歯牙がエナメル質、象牙質、歯髄部からなる多層構造であり、物体内部に境界形状を持つだけでなく、歯形状特有な特徴的形状要素（辺縁隆線、交頭頂、中心溝など）を表現できる機能を実現している。この多層境界表現セル構造化モデルを用いて、標準歯牙形状を予め設計しておき、補綴物の接合面形状を設計するために、口腔内にある医師により形成された支台形状の模型から提案する形状計測法により得られる測定データ群から、マージンラインを認識し、それにより必要な測定データを抽出し接合面形状を3次Bスプライン曲面で表現し、必要な設計操作により歯科補綴物の幾何形状を表現している。

第六章は、第五章で提案した多層境界表現セル構造化モデルを用いて、歯科補綴物の形状設計を行うCADシステムの機能設計とそのシステムの実現法について述べている。すなわち提案歯科形状設計システムは、予め多層境界表現セル構造化モデルによる標準歯冠モデルを用意しておき、患者の歯列に合わせて移動・回転・縮小・拡大操作機能に加え、局所変形操作、局所切断操作を可能とする形状設計機能を開発している。標準歯牙モデルは大人の標準モデルとして上下左右7本ずつ合計28本を用意した。この標準モデルを用いて、患者の歯列、支台形状に合わせて変形操作を行う設計プロセスを定式化し、歯科医師がもっとも重要と判断するマージンラインの設計を可能とする機能をもたせているのが特徴である。

第七章は歯科形状計測機の研究・開発について述べたものである。測定対象である支台形状を固定するステージは支台形状の形状測定要求をみたすため、5軸制御方式を採用し、高精度レーザ測長器と組み合わせることにより測定精度 ± 15 マイクロメータを達成している。開発した形状計測器は歯牙形状測定に適するように独自の計測制御ソフトウェアを開発し目的にあった歯牙形状計測を可能としている。

第八章は歯冠加工用CAMシステムの開発についてまとめたものである。開発したCAMシステムは歯牙形状設計CADシステムで生成された種々の形状を持った歯冠モデルの加工を可能とするために、加工データの自動生成を可能とするCAMソフトウェアと歯冠加工用5軸制御NC加工機から構成されている。5軸制御NC加工機械においては、素材を一度チャックすることで形状の全面に渡って加工することができるよう標準化された固定面をもつ素材を準備し、一度のチャックで全加工工程を完了するため高精度な加工が可能となる。またマージンラインの高精度加工を中心に種々の歯冠形状の加工に対応できる標準加工手順を明らかにし、具体的データは個々の歯冠設計データから生成することでCAMシステムは自動的に加工データを生成する機能を持たせている。

第九章は開発したCAD/CAMシステムによる製作した歯科補綴用歯冠の実用評価実験の結果について取りまとめたものである。現在まで24例におよぶ実用評価実験を行っている。実用評価においては、歯冠のポリシングおよび調整加工のための取りしろ量の検証、試作歯冠の装着実験と適合性評価を行い、実用化のための諸条件を明らかにしている。

第十章は本論文で得られた結論をとりまとめたものである。

これを要するに、著者は歯科補綴物製作において、CAD/CAM技術の適用範囲と、その実用化のための歯牙の表現方法、その幾何形状の設計方法と計測方法、さらに高精度な歯

牙の自動加工法について新知見を得たものであり、システム工学、歯科医療工学に対して貢献するところ大なるものがある、よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。