

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 3月31日現在

機関番号：11301  
 研究種目：挑戦的萌芽研究  
 研究期間：2011～2012  
 課題番号：23659962  
 研究課題名（和文） 超音波ハプティックセンサ技術を用いた齲蝕リスク評価装置の臨床応用  
 研究課題名（英文）  
 Clinical application of assessment devices for the risk of dental caries with ultrasonic haptic sensor technology  
 研究代表者  
 小関 健由 (KOSEKI TAKEYOSHI)  
 東北大学・大学院歯学研究科・教授  
 研究者番号：80291128

## 研究成果の概要（和文）：

初期齲蝕様病変の診断は歯科保健推進と齲蝕予防のために重要である。この初期齲蝕様病変を含むう蝕リスク診断を行う機器を開発するために、超音波ハプティックセンサ技術を使用した超音波石灰化度測定装置の応用を試みた。本装置は温度特性が厳しく温度安定化対策を施して広く臨床での活用が可能な状態に調整した。さらに、大規模歯科健診データ入力支援システムを構築し、齲蝕リスク評価を臨床応用できる基盤が確立された。

## 研究成果の概要（英文）：

Clinical diagnosis of initial regions of dental caries is important for oral health promotion and prevention of dental caries. To development of diagnostic devices of tooth surfaces condition, including the initial caries regions, we utilized the ultrasonic mineralization measurement system of hard tissues with ultrasonic technology of haptic sensor. In the clinical use of the ultrasonic mineralization measurement system, the thermal protective equipment was needed for the stabilization of readout, which was sensitively influent to the thermal shift of the sensing oscillator. Furthermore, for the data management of mass oral health check-up, the dental chart input method system was developed. Thus, the evaluation system of caries risk assessment was established.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：医歯薬学

科研費の分科・細目：歯学・矯正・小児系歯学

キーワード：リスク評価、う蝕、再石灰化、超音波、ハプティックセンサ、学校歯科健康診断

## 1. 研究開始当初の背景

現在、歯科疾患実態調査でも学校歯科健康診査でも、初期齲蝕様病変である白濁・白斑・着色歯、もしくは要観察歯(CO)の取扱は歯科保健推進と齲蝕予防のために重要視されている。これらの初期齲蝕様病変は、硬組織の一部が溶解し、エナメル質表層下と表層に構造的な変化が認められる、初期齲蝕の臨床診断のための国際的な統一的診断法としてICDASが提案されている。しかしな

がら、その客観性を担保するための数値指標が求められているは未だ十分な計測診断に応用可能な機器はない。現在、この目的でQuantitative Light-induced Fluorescence (QLF)法が開発されているが、そのメカニズム上、象牙質齲蝕の評価はできない状況である。

齲蝕の予防に関しては、Keyesの3要因に対して、それぞれのリスク回避法が示されている。齲蝕のリスク評価に関しても、口腔内

の評価項目は Keyes の 3 要因に分類して語られることが多い。しかしながら、北欧やアメリカ合衆国における小児齲蝕のリスクの評価においても、ミュータンス連鎖球菌数が高いことや過去の齲蝕経験歯数、唾液や食生活・養育環境、フッ化物の応用など多岐にわたる項目が羅列され、これは決定的なリスク因子が明示されていないことを意味している。また、細菌側や食生活の評価といったパラサイト側の攻撃的因子の評価は充実しているが、宿主側の評価項目は唾液とフッ化物の応用に関する指標のみで、硬組織に関する防御的因子の評価はなされていないのが現状であった。

超音波ハプティック（触覚）センサ技術は、生体組織の表面の様々なレベルの硬さ度合いを客観的に評価する画期的な技術である。我々の研究グループは、エナメル質と象牙質の初期齲蝕の診断をこの手法を用いて実施し、非常に高精度の硬組織表層の解析が可能になることを発見した。即ち、尖端が球型であり 20 グラムの一定圧をかけることが可能で、歯周プローブとほぼ同等の大きさの接触測定プローブを制作し、このプローブを硬組織表面に接触させ瞬時に非侵襲的に象牙質表層の超音波石灰化度測定値を評価するシステムを制作した。これを用いると、象牙質を酸性ゲルに浸漬する脱灰過程と再石灰化液に浸漬する再石灰化過程に於いて、数日間の表層変化を観察することができ、それはマイクロコンタクト・ラジオグラフィーでも微細な変化しか観察できない表層の石灰化度を評価することに成功している。本装置は非破壊的に瞬時に測定が可能であるので、非侵襲的で簡便に測定する事ができ、疫学等の臨床応用に極めて有効である。この超音波石灰化度測定装置を用いて将来の齲蝕発生のリスクまでも予測可能であるならば、齲蝕の進行状態から齲蝕リスク診断までを同じ器機で解析し、消耗品も極めて少ない、全く新しい臨床診断器機の創出となる。その指標を用いると齲蝕予防の方法の研究には必須の器機となるばかりか、齲蝕リスク判定が高い受診者への齲蝕予防プログラムの提示など、臨床と研究での貢献は極めて大きいものと考えている。

一方、齲蝕の疫学調査に関しては、学校歯科健康診断を例に挙げるように視診で実施され、そのデータの取り扱いに関しても記帳を中心とする極めて効率化がされていない状況である。よって、効率的に大規模な疫学調査を実施する上で、口腔内診査結果のデータベース化を推進する手法が無い限り、齲蝕実態調査は記帳の転記・データ入力等の副次的な業務が大量に発生する。今後の地域の口腔保健活動の基礎となり、個人の生涯口腔健康管理の基盤となる口腔内健康データベ

スシステムを構築し、長期的な疫学調査を可能にすることも重要な課題であった。

## 2. 研究の目的

本申請研究では、健全歯の段階での超音波石灰化度測定値を用いて将来の齲蝕発生のリスク評価への応用を臨床で検証する。さらに、歯科健診データ入力システムを構築し、集団歯科健診時に効率的に健診データを収録する方法を確立することを試みた。

即ち、これまで齲蝕リスクの宿主側の評価は唾液の流出量と緩衝能しか評価する手法が無く、一番重要であるエナメル質の耐酸性は、エナメル生検法などの報告はあるが、臨床に応用する手法は皆無であった。しかしながら、エナメル質は均一な結晶の塊ではなく、歯の高速切削時には患者によって歯の硬さに大きな違いがあることは、皆が知る歯科医師の臨床経験である。この硬さの違いを、これまでの我々の研究で、瞬時に非破壊的に、しかも痛みが無く測定が可能にしたのが超音波石灰化度測定装置である。この新規な測定装置を用いると、歯や骨を中心とした硬組織の健全状態からの生体組織の強度判定（物理的耐久性）が可能となることが考えられた。

さらに、口腔内健康データベースシステムを構築するための、効率的な歯科保健データ入力システムを構築し、それを元に歯科健診データの集積を進める基盤を確立することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1) 口腔内齲蝕リスク因子の検査法の確立

超音波石灰化度測定器の齲蝕リスク評価器機としての可能性を検索し、臨床での齲蝕リスク検査法を確立する。実際の超音波石灰化度測定器の測定では 20 グラムの低圧で歯の表面に超音波振動子を接触させる際には、感染防御のために薄膜フィルムを介して唾液で湿潤している歯に接触させる。薄膜フィルムの圧接法は、切歯部では問題が無いと考えられるが臼歯部ではその圧接法を確立する必要がある。現行の超音波石灰化度測定器では薄膜フィルムの固定機構が設けられていないが、超音波振動子の柄にフレームを固定して、そこに薄膜フィルムを設置することを試みる。本研究にて、超音波石灰化度測定器による測定法と実際の調査時の測定プロトコルを確定する。

歯垢の付着量は Oral Hygiene Index-simplified (OHI-S) の Debris Index (DI) にて評価後に、上下顎大白歯類側面をスワブで擦過し、歯垢を滅菌生食水に浮遊させた後に $-80^{\circ}\text{C}$ にて保存し、菌数の測定を実施する。生活習慣から食生活に関する質問紙調査は、フッ化物の応用、間食、生活リズム、仕上げみがきや離乳時期などの様々な現行知

られている齲蝕発生に関する因子について調査する。これらの結果を一覧表にして齲蝕発生要因を抽出し、超音波石灰化度測定器による測定値と比較検討を行う。

## (2) 効率的な歯科保健データ入力支援システムの構築

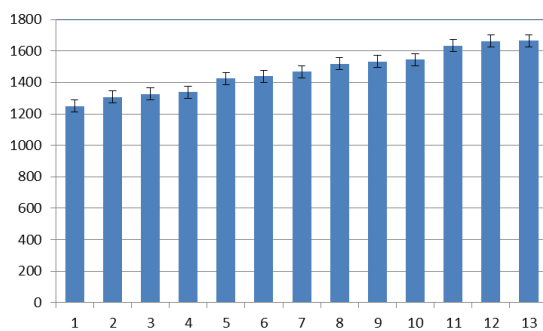
口腔内健康データベースシステムを構築するために、歯科健診時の健診データ入力を支援するシステムを構築する。本システムは、現時点で最も効率が高いと考えられる既存のマークシート入力システムを、より汎用性を高めて入力データを広い年代で活用できる様に改変する方法と共に、可搬型の情報端末かコンピュータを用いてデータベース直結型のデータ通信をベースにした新たな入力システム構築を目指す。構築した歯科保健データ入力支援システムを実際の歯科健診の場で使用して、実際に歯科保健データベースを構築し、実務上の問題点を抽出して歯科保健データベースを完成させる。

## 4. 研究成果

### (1) 口腔内齲蝕リスク因子の検査法の確立

超音波石灰化度測定器の測定を始めるにあたり、その臨床応用を考えるために、恒温槽の中に XYZ テーブルを設置し、超音波石灰化度測定器の測定子が、指定したスピードで試料の定点を再現性良く繰り返し計測して安定性等を確認するロボットを製作した。本ロボットシステムと超音波石灰化度測定器自身が持つ測定子定圧接触機構と相まって、安定した実験室実験環境を確保した。

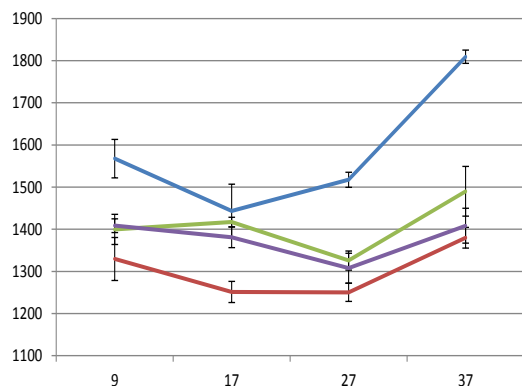
超音波石灰化度測定器の測定では 20 グラムの低圧でエナメル質表面に超音波振動子を接触させた場合、超音波石灰化度出力値が  $1306 \pm 147$  (最小値 1085、最大値 1568、27°C 計測値) であった。



抜去歯の健全エナメル質の超音波石灰化測定値の例

実験室の計測時には温度管理がされたいたために出力値が安定していたが、実際に臨床応用を試みると出力値が安定せず、口腔内測定時の温度管理の問題に突き当たった。超音波石灰化度出力値は、周囲温度のその基本出力値が変化し、その変化をセンサ温度とし

て記録されるシステムであり、周囲温度によって出力値が  $1307 \pm 147$  (9°C測定値) から  $1566 \pm 143$  (37°C測定値) まで変化する鋭敏な機器である。基本周波数と測定時の周波数変化から規格化を行って超音波石灰化度測定値を算出するが、室温から口腔内での測定での急峻な温度変化は基本周波数の安定化に影響が出るために、センサ自体の保温対策を考える必要があった。さらに、東日本大震災を経験した実験室の再設置・再整備調整が必要となり、超音波石灰化度測定器においては、センサ駆動部分の基本発振機構の安定性が失われ、メーカーにて調整を実施したが、その調整に多くの時間が費やされた。その結果、本実験期間中にて学校歯科健診(毎年6月末までに実施)の期間までには機器の準備が整わず、現時点では期間終了後に実施する準備が全て整っているために、自力での実施を計画している。



温度変化による超音波石灰化測定値の変動の例 (実際の計測値には校正して使用)

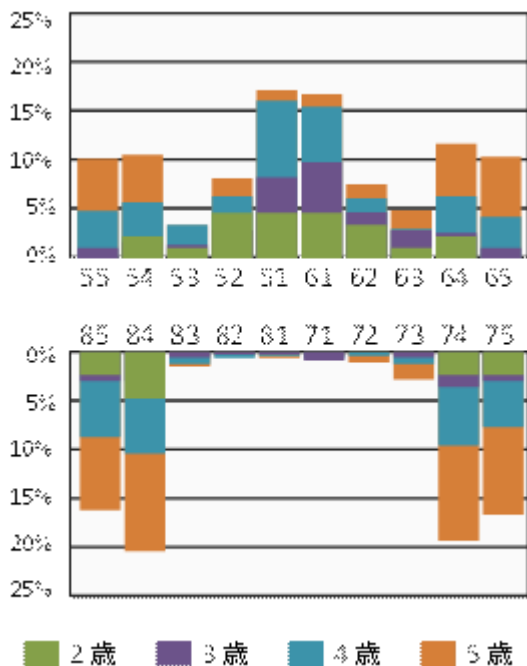
感染防御のための薄膜フィルムの設置に関しては、切歯部でも臼歯部でもミラーと歯列と歯型に合わせて整形した薄膜フィルムをピンセットにて設置すると測定は可能であることを確認できたが、超音波石灰化度測定器の接触子のメカニズムと大きさから小児の臼歯部では挿入方向が限られ、測定可能な歯面として咬合面の咬頭部が適切であることを確認した。

歯垢の付着量の評価は、細菌の共通 DNA 部分として 16SrRNA の保存された領域を増幅するプライマーを用い、定量 PCR を用いることで細菌数を算定することとした。即ち、歯垢懸濁液は 4°Cにてソニケーター5分間処理で懸濁し、一定量を PCR 反応液に加えて 95°C5分間で溶菌処理を行い、次いで PCR サイクルで 16SrRNA をコードする遺伝子断片を増幅した。この手法により、細菌付着量の定量手法が確立した。以上より、超音波石灰化度測定器による測定法と実際の調査時の測定プロトコルが確定された。

(2)効率的な歯科保健データ入力支援システムの構築

マークシート方式による学校歯科健診入力システムを改変し、フッ化ジアンミン銀塗布歯等の入力を可能にし、学童・生徒対象のシステムを乳幼児から生徒対象の小児全般対象の共通システムに改変した。同時にパーソナルコンピュータ上でデータ入力を行うシステムの導入を行った。これらの方式を統合して、歯科健診入力支援システムを確立した。平成 24 年度に実施した幼稚園・保育所歯科健診 12 施設 (1, 883 名)、高等専門学校 2 施設 (1,300 名) の歯科健診のデータ入力を、本システムの活用にて実施し、その運用状況から歯科健診入力支援システムを最適化した。さらに歯科健診データ入力フォーマットの共通書式設定を試みて歯科保健情報プラットフォームとし、小児の歯科保健情報を一元管理できる口腔内健康データベースを開発した。その出力ソケットとしての歯科健診結果通知制作システムを制作して運用した。本データベースの出力例として仙台市内幼児のう蝕発生時期を示す。これは平成 23 年度歯科疾患実態調査の結果とう蝕発生パターンの違いが観察され、仙台市のう蝕発生の特徴がよく観察される結果である。

仙台市の小児のう蝕発生時期



このデータベースには、生活習慣から食生活に関する質問紙の調査項目として、フッ化物の応用、間食、生活リズム、仕上げみがきや離乳時期などの様々な現行知られている齲蝕発生に関する因子について入力し、齲蝕

発生要因を抽出し、超音波石灰化度測定器による測定値と比較検討を行う基盤が確立した。

以上より、測定機器の整備調整に時間を要したが、超音波ハブティックセンサ技術を用いた齲蝕リスク評価装置の臨床応用を行うための臨床実験系を確立することができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

① Ryoichi Hosokawa, Katsuhiko Taura, Emi Ito, Takeyoshi Koseki.

Roles of dentists and dental hygienists in two major earthquakes

International dental journal

査読有り

62 巻 6 号、2012 年、315-319 ページ、doi: 10.1111/j.1875-595X.2012.00126.x.

[学会発表] (計 10 件)

① 伊藤恵美、玉原亨、細川亮一、吉田英子、丹田奈緒子、小島健、小関健由、情報入力を省力化した歯科健診情報管理システムの構築、第 2 回東北口腔衛生学会、2012 年 12 月 8 日、秋田市

② 鈴木淳、舟橋良子、小関健由、星川知佳子、斎藤純一、富田滋、石黒慶一、在宅歯科医療の現状、第 2 回東北口腔衛生学会、2012 年 12 月 8 日、秋田市

③ 吉田英子、玉原亨、細川亮一、丹田奈緒子、小島健、福井玲子、佐藤由美子、小野ゆかり、伊藤恵美、小関健由、東北大学病院における周術期口腔機能管理、第 2 回東北口腔衛生学会、2012 年 12 月 8 日、秋田市

④ 柿木保明、角館直樹、遠藤眞美、村松幸、柏崎晴彦、佐藤裕二、里村一人、伊藤加代子、小笠原正、岸本悦央、中村誠司、小関健由、内山公男、山下喜久、清原裕、西原 達次、高齢者におけるドライマウスの実態調査とリスク要因に関する研究、第 22 回日本歯科医学会総会、2012 年 11 月 10 日、大阪市

⑤ 伊藤恵美、人見早苗、市川久美子、南部佳恵、結城泉、舟橋良子、高橋由希子、小関健由、スクレーリング操作の手技パターンの比較観察、第 55 回春季日本歯周病学会、2012 年 5 月 17 日、札幌市

⑥ 佐藤遊洋、相田潤、竹内研時、若栗真太郎、服部佳功、小関健由、小坂健、佐々木啓一、辻一郎、震災による義歯喪失の実態とその影響について、第 62 回日本口腔衛生学会、2012 年 5 月 26 日、横須賀市

⑦ 末永 竜右、相田潤、竹内研時、若栗真太郎、服部佳功、小関健由、小坂健、佐々木啓一、辻一郎、東日本大震災による歯科医院へ

の通院の中断と再開とその関連要因、第 62 回日本口腔衛生学会、2012 年 5 月 26 日、横須賀市

⑧吉田英子、玉原亨、細川亮一、伊藤恵美、丹田奈緒子、斎藤恵一、田浦勝彦、小関健由、全身状態と口腔内因子の刺激唾液流出量との関連について、第 61 回日本口腔衛生学会、2012 年 5 月 25 日、横須賀市

⑨玉原亨、細川亮一、伊藤恵美、吉田英子、丹田奈緒子、小関健由、東北大学病院における病棟患者における口腔ケアの臨床的検討、第 61 回日本口腔衛生学会、2012 年 5 月 25 日、横須賀市

⑩鈴木 淳、日本人中学生における不正咬合の定点観測、第 62 回日本口腔衛生学会、2012 年 5 月 26 日、横須賀市

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等 なし

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

小関 健由 (KOSEKI TAKEYOSHI)

東北大学・大学院歯学研究科・教授

研究者番号：8 0 2 9 1 1 2 8

### (2)研究分担者

細川 亮一 (HOSOKAWA RYOUICHI)

東北大学・大学院歯学研究科・講師

研究者番号：4 0 5 4 7 2 5 4

伊藤 恵美 (ITO EMI)

東北大学・大学院歯学研究科・技術一般職員

研究者番号：8 0 5 9 6 8 1 7