

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25年 4月 18日現在

機関番号：30110

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22592295

研究課題名（和文） DLC 成膜による矯正装置の表面改質に関する研究

研究課題名（英文） Study on the surface modification of the orthodontic appliance by DLC coating

研究代表者

飯嶋 雅弘 (IIJIMA MASAHIRO)

北海道医療大学・歯学部・准教授

研究者番号：20305915

研究成果の概要（和文）：

本研究では、矯正用ワイヤーと矯正用ブラケットの表面にプラズマビームイオン注入法を用いて DLC (Diamond-Like-Carbon) を成膜し、DLC 膜がブラケット/アーチワイヤー間の摩擦特性に及ぼす影響を調べた。矯正用ワイヤー2種類 (Ni-Ti ワイヤー、ステンレス鋼ワイヤー) とステンレス鋼製ブラケットの表面に DLC をプラズマイオン注入法により成膜した。摩擦試験において、DLC を製膜したワイヤーとブラケットは、ともに非成膜試料と比較して有意に低い摩擦特性を示した。以上の結果から、矯正用装置の表面は、プラズマビームイオン注入法を用いた DLC 成膜により表面改質が可能で、DLC 成膜は矯正治療中の歯の移動に有益であることが考えられた。

研究成果の概要（英文）：

This study investigated the effects of a diamond-like carbon (DLC) coating on frictional properties of orthodontic wires and brackets. DLC films were deposited on nickel-titanium wires, stainless steel wires and stainless steel brackets using the plasma-based ion implantation/deposition (PBIID) method. For friction test, the DLC coated wires and brackets showed significantly less frictional force than the non-coated specimens. The results of this study showed that the surfaces of the orthodontic appliance can be successfully modified by the PBIID method to create a DLC layer, which is beneficial for orthodontic tooth movement.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：矯正装置、ワイヤー、ブラケット、DLC、表面改質、摩擦、機械的特性

1. 研究開始当初の背景

矯正治療において、ブラケットとアーチワイヤー間の摩擦抵抗は、治療期間の長さに影

響するため重要な因子である。また、金属製のブラケットやアーチワイヤーは、金属アレルギーの感作源となる Ni や Cr を含有するた

め、その生体親和性が問題となる。我々はこれらの問題を解決するための手段として、矯正用金属材料表面に対しプラズマを用いた窒素イオン注入法による表面改質に関する研究を遂行してきた^{*)}。その結果、比較的 pH の高い環境では、窒素イオン注入により高い耐食性を得ることができた。しかし、pH の低いフッ素溶液中の耐食性については改善が認められなかった。また、窒素イオン注入では摩擦特性を飛躍的に改善するには至っていない。

^{*)}Li U *et al.*, Dent Mater J 2007;26:467-473.

2. 研究の目的

主に炭素から構成されアモルファス構造を有する Diamond-Like-Carbon (DLC) (図 1) がさまざまな分野で注目されている。この DLC は、プラズマビームイオン注入法により三次元的に複雑な形状の立体構造物への応用も可能で、矯正装置への応用が可能なものと考えられる。本課題の研究目的は、矯正用ブラケットと矯正用ワイヤーの表面にプラズマビームイオン注入法により DLC を成膜し、DLC 膜を用いた表面改質の矯正装置へ応用を検討することである。

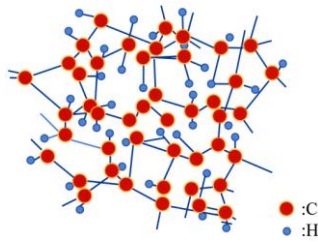


図 1 DLC の構造

3. 研究の方法

(1) 試料の作製

ステンレス製ブラケット (Mini Uni-Twin, 3M Unitek) とサイズ 0.016×0.022 inch の 2 種類の矯正用ワイヤー (Nitinol Super Elastic, 3M Unitek; stainless steel archwire, 3M Unitek) を試料に用いた。プラズマビームイオン注入法により各試料の表面に DLC を成膜した。各試料は、専用の治具で固定し、5kV または 10kV、到達真空度 1.33×10^{-3} Pa の条件でアセチレンガス雰囲気下において 300~400 分の処理時間で成膜を行った (PEKURIS-HI、栗田製作所)。本研究では、未成膜の試料をコントロールに用いた。

(2) DLC 層の観察

製膜した DLC 層は、走査電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscopy: SEM) を用いて観察した (ERA-8900, Elionix; SSX-550, Shimadzu)。断面観察用試料は、エポキシに包埋後、表面を研磨して観察に用いた。各試

料の表面は金蒸着し、加速電圧 15kV で観察を行った。

(3) 表面の形態分析

DLC 層表面形態を 3D-SEM を用いて観察し (ERA-8900, Elionix)、粗さ値 (Ra) を算出した。

(4) ナノインデンテーション試験

DLC 層の機械的特性は、マイクロインデンテーション法 (ENT1100a、エリオニクス) により調べた。硬さと弾性係数を ISO Standard (14577-1) に準じて荷重-押し込み曲線から求めた (図 2)。

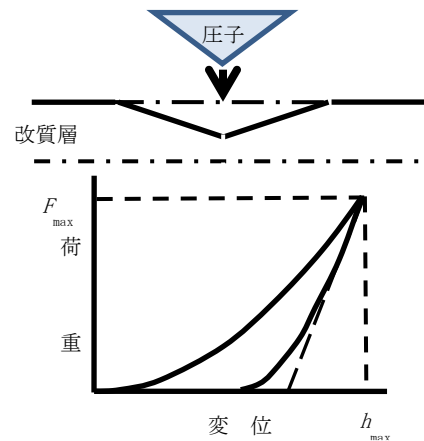


図 2 荷重-押し込み曲線

(5) 摩擦試験

DLC 成膜ワイヤーと 3 種類の未成膜ブラケット (スタンダードエッジワイズブラケット 1 種とセルフライゲーティングブラケット 2 種) および DLC 成膜ブラケットと 2 種類の未成膜ステンレス鋼ワイヤー (サイズ: 0.018 inch ラウンド, 0.017×0.025 inch レクトアングラー) の組合せについて自作摩擦試験器を用いて摩擦試験を行い、静摩擦力と動摩擦力を算出した (n=10) (図 3)。

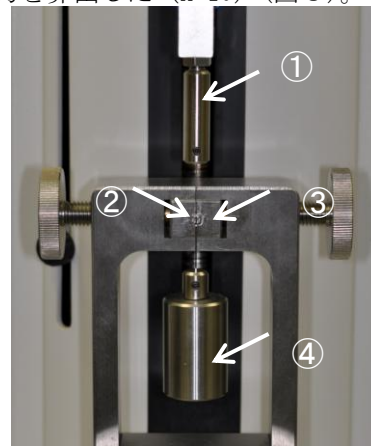


図 3 摩擦試験器; ①把持グリップ、②ブラケット/ワイヤー試料、③試料台、④重り

4. 研究成果

(1) SEM 観察

図4に Ni-Ti ワイヤーの表面に成膜した DLC の断面 SEM 像を示す。DLC 層とワイヤー間の密着は良好である。同様の SEM 像がステンレス鋼ワイヤーとステンレスブラケットの DLC 表面改質試料においても認められた。

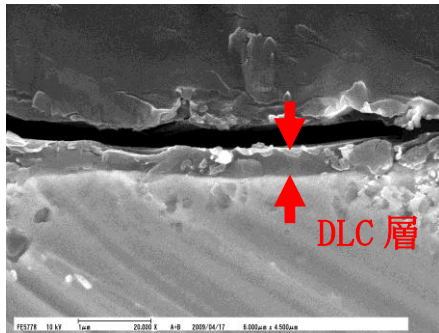


図4 Ni-Ti ワイヤー上に成膜した DLC 層の SEM 像

(2) 表面粗さ測定

図5に未成膜の Ni-Ti ワイヤーと DLC 成膜 Ni-Ti ワイヤー表面から得られた 3D-SEM 像を示す。未成膜の Ni-Ti ワイヤーと DLC 成膜 Ni-Ti ワイヤー間の表面形態には大きな差が見られなかった。未成膜のステンレス鋼ワイヤーと DLC 成膜ステンレス鋼ワイヤーについても同様の傾向が見られた。定量的に算出した粗さ値 (R_a) は、Ni-Ti ワイヤー (未成膜ワイヤー: 0.094, DLC 成膜ワイヤー: 0.088) とステンレス鋼ワイヤー (未成膜ワイヤー: 0.035, DLC 成膜ワイヤー: 0.032) とともに、未成膜と DLC 成膜ワイヤー間の有意な差は認められなかった。

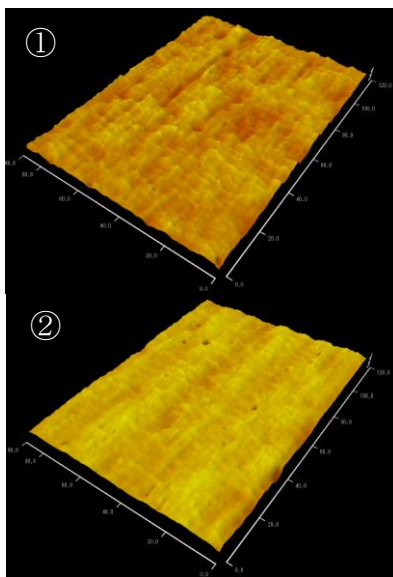


図5 ①Ni-Ti ワイヤーと②DLC 成膜 Ni-Ti ワイヤーの 3D-SEM 像

(3) ナノインデンテーション試験

図6に未成膜ステンレス鋼ワイヤーと DLC 成膜ステンレス鋼ワイヤーの表層約 150nm の領域から得られた硬さの値と弾性係数の平均値を示す。DLC を製膜したワイヤーは、未成膜ワイヤーと比較して有意に高い硬さ値と低い弾性係数を示した。同様の結果が Ni-Ti ワイヤーとステンレス鋼ブラケットにおいても認められた。

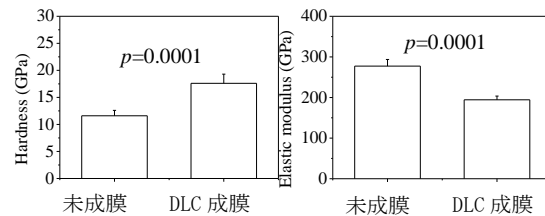


図6 未成膜ステンレス鋼ワイヤーと DLC 成膜ステンレス鋼ワイヤーの表層部分から得られた機械的特性 (硬さ、弾性係数)

(4) 摩擦試験

本研究では、DLC 成膜ワイヤーと未成膜の 3 種類のブラケット (スタンダードエッジワイズブラケット 1 種とセルフライゲティングブラケット 2 種) および DLC 成膜ブラケットと 2 種類のサイズの未成膜ステンレス鋼ワイヤー (サイズ: 0.018 inch ラウンド, 0.017 × 0.025 inch レクトアングュラー) の組合せについて摩擦試験を行った。その結果、ほとんどの組合せにおいて DLC 成膜試料は未成膜試料と比較して有意に低い摩擦抵抗を示した。摩擦試験結果の一例を表 1 に示す。

表1 DLC 成膜ブラケットとステンレス鋼ワイヤーの組合せより得られた摩擦試験の結果

ワイヤーサイズ	摩擦の種類	未成膜	DLC 成膜	P 値
0.018 inch	静摩擦	118	119.3	0.624
0.017 × 0.025 inch	動摩擦	158.6	113.1	0.0001
0.018 inch	静摩擦	152.4	119.1	0.0001
0.017 × 0.025 inch	動摩擦	160.6	107.1	0.0001

本研究では、プラズマビームイオン注入法により各種矯正用材料の DLC 成膜による表面改質を試みた。その結果、各種矯正用材料表面に形成された DLC 層は、形態的にはオリジナルの材料と同様な表面形状で同レベルの表面粗さ値を示した。DLC 層の機械的特性は、高い硬さ値と低い弾性係数を示した。硬さの向上は、ブラケット/ワイヤー間のバインディング効果を少なくし、摩擦係数を減少させることに寄与するものと考えられた。また、弾性係数が低い値を示したことから、矯正用

ワイヤー表面の DLC 層がある程度のたわみに対しても許容できる可能性が示唆された。プラズマビームイオン注入法による DLC 成膜は、矯正用ブラケットワイヤー間の摩擦特性を改善することに有効な手法であることが考えられた。今後は DLC 成膜の欠点である低審美性について、膜厚をコントロールすることにより改善する試みを行う。さらに生体親和性の評価や添加物を検討することにより抗菌性を付与することを試みる予定である。

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 2 件)

Muguruma T, Iijima M, Brantley WA, Mizoguchi I. Frictional and mechanical properties of a diamond-like carbon-coated orthodontic brackets. Eur J Orthod 査読有 35:216-222, 2013.

Muguruma T, Iijima M, Brantley WA, Mizoguchi I. Effects of a diamond-like carbon coating on the frictional properties of orthodontic wires. Angle Orthod 査読有 81:143-150, 2011.

[学会発表] (計 4 件)

Muguruma T, Iijima M, Brantley WA, Ahluwalia KS, Kohda N, Nakagaki S, Mizoguchi I. Effect of third-order torque on frictional properties of self-ligating brackets. 41th Annual Meeting of the AADR, 2013 年 3 月 21 日, Seattle, USA.

六車武史、飯嶋雅弘、中垣 晋、溝口到. 矯正用ブラケットに対する Diamond-like carbon コーティングの試み. 第 70 回日本矯正歯科学会大会, 2011 年 10 月 18 日, 名古屋国際会議場.

Iijima M, Muguruma T, Brantley, WA, Mizoguchi I. Frictional and mechanical properties of diamond-like carbon-coated orthodontic brackets. 40th Annual Meeting of the AADR, 2011 年 3 月 19 日, San Diego, USA.

六車武史、飯嶋雅弘、溝口 到. 矯正用ワイヤーの摩擦特性における DLC コーティングの影響. 第 69 回日本矯正歯科学会大会, 2010 年 9 月 29 日, パシフィコ横浜.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯嶋 雅弘 (IIJIMA MASAHIRO)
北海道医療大学・歯学部・准教授
研究者番号: 20305915

(2) 研究分担者

六車 武史 (MUGURUMA TAKESHI)
北海道医療大学・歯学部・助教
研究者番号: 62034343

(3) 連携研究者

なし