

令和 5 年 6 月 15 日現在

機関番号：30110

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2022

課題番号：18K09864

研究課題名(和文) 高密着性、高柔軟性を有する高水素含有DLC成膜へのプラズマを用いた抗菌機能の付与

研究課題名(英文) Antimicrobial functionality using plasma to highly hydrogen-containing DLC coating with high adhesion and high flexibility

研究代表者

六車 武史 (MUGURUMA, Takeshi)

北海道医療大学・歯学部・准教授

研究者番号：20343436

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ステンレススチール製矯正用アーチワイヤーに条件の異なる2種類のDLC成膜条件で成膜し、水素含有量の定量を行い、矯正用ブラケットとの摩擦特性および高密着性、高柔軟性を検討した。その結果、2種類のDLC成膜の水素含有量はそれぞれ平均で23%、27%であり、ともに成膜厚さは0.3 μ m程度であった。摩擦特性、高密着性および高柔軟性は1種類のDLC成膜ワイヤーで優れており、マルチブラケット装置による歯の移動を考慮した際、効率的な材料となることが考えられた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

DLC成膜はマルチブラケット装置による歯の移動を考慮した場合、矯正用ブラケットスロットをアーチワイヤーが滑走する際、アーチワイヤーのたわみによりDLC層の剥離や破壊を認めることがある。本研究で用いた成膜条件のうち、1種類のDLC成膜ワイヤーでアーチワイヤーへの高密着性、高柔軟性を示すDLC層の成膜を認めた。このことにより実際のマルチブラケット装置での歯の移動の際にも剥離や破壊を生じることなく摩擦の軽減が達成された。

研究成果の概要(英文)：In this study, stainless steel orthodontic archwires were coated under two different DLC coating conditions, and the hydrogen content was quantified, and frictional properties with orthodontic brackets, and high adhesion and high flexibility were investigated. The results showed that the hydrogen content of the two DLC coatings averaged 23% and 27%, respectively, and the coating thickness of both coatings was about 0.3 μ m. The frictional properties, high adhesion, and high flexibility were excellent for one type of DLC-coated wire, which was considered to be an efficient material when considering tooth movement with multi-bracket devices.

研究分野：歯科矯正学

キーワード：DLC成膜 矯正用アーチワイヤー

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マルチブラケット装置を構成するブラケットやアーチワイヤーには、Ni、Cr および Co などの金属アレルギーの原因となる元素が含まれ、口腔内環境で局所から高濃度の金属イオンが溶出した場合、金属アレルギーを引き起こすことがある。また、マルチブラケット装置を用いた矯正治療では、装置周辺のプラーク停滞により、エナメル質の脱灰をしばしば経験する。これらの問題点に対する対策は、臨床において極めて重要であり、高い生体親和性と抗菌性を口腔内で発揮する機能性材料の開発が望まれる。これまで矯正用材料に DLC 成膜を施し、その摩擦特性と細菌付着性について検討し、DLC 成膜による表面改質がそれらにとって有効であることを報告してきたが、摺動性が効果的に発揮できる膜厚の DLC を成膜した場合、材料のたわみにより DLC 層の剥離と破壊が認められた。臨床応用するにあたっては、DLC 成膜の密着性と柔軟性についてさらなる改良が必要である。

2. 研究の目的

臨床応用するにあたり、DLC 成膜の密着性と柔軟性を向上させることを目的として、DLC 成膜における水素量をコントロールし、高水素含有 DLC の創成を試みることである。

3. 研究の方法

(1) 試料

試料は .017" × .025" の矯正用ステンレス鋼アーチワイヤー(Stainless Steel Archwire、3M Unitek)に、プラズマイオン注入成膜装置(PEKURIS-HI、栗田製作所)を用いて、到達真空度 1.33×10^{-3} Pa にて 2 つの条件下(DLC 成膜ワイヤー1; ターゲット電圧 10kV、ガス雰囲気アセチレンとトルエンガスの混合ガス、堆積時間 3 分、DLC 成膜ワイヤー2; ターゲット電圧 7kV、ガス雰囲気トルエンガス、堆積時間 4 分)で DLC 成膜を施し、未処理のアーチワイヤーをコントロールとし、3 種類のアーチワイヤーを用いた。

(2) DLC 層の成膜厚さの観察

DLC 成膜したアーチワイヤーをエポキシ樹脂(Epofix、Struers)に包埋し、通法に従い鏡面研磨を施した。アーチワイヤー試料は金蒸着を施し、走査型電子顕微鏡(JSM-6610LA、JEOL)で DLC 層の断面観察を行った。

(3) アーチワイヤー表面の水素含有量の定量

DLC 成膜したアーチワイヤー試料は表層から深さ 60 nm までの炭素に対する水素含有量を弾性反跳粒子検出法(ERDA; HRBS1000、Kobelco)で測定した。

(4) 三点曲げ試験

DLC 成膜したアーチワイヤーと未処理のワイヤーは室温(25)での乾燥状態で小型万能試験器(EZ Test、Shimadzu)を用いて行った。支点間距離 12 mm、クロスヘッドスピード 2 mm/min で 1 mm と 1.5 mm の深さまで押し込んだ時の弾性係数を算出した。

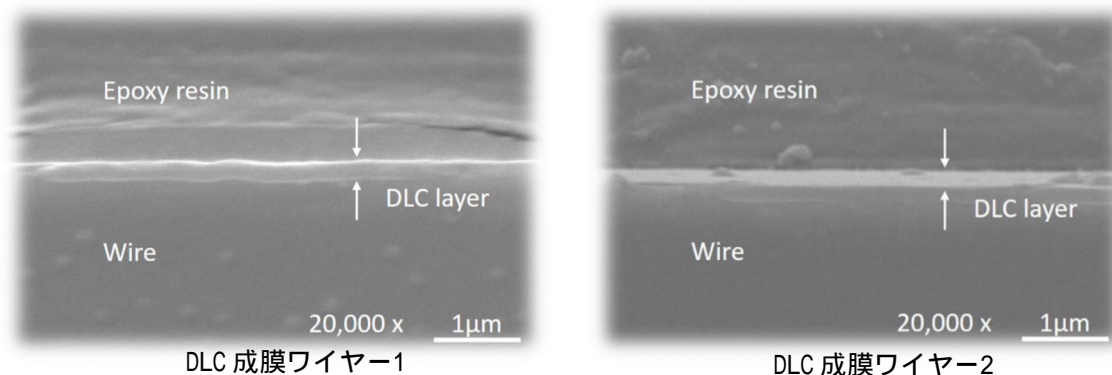
(5) 摩擦試験

摩擦試験は室温(25)での乾燥状態と人工唾液中での湿潤状態の 2 種類で行った。計測には、小型万能試験器に自作摩擦試験用ジグを取り付け行った。矯正用ブラケットは自作のマウンティングデバイスを用いてアンギュレーションを 10° に設定した。アーチワイヤーと矯正用ブラケットはエラストックモジュール(Alastik Easy-To-Tie Ligatures、3M Unitek)を用いて結紮し、クロスヘッドスピード 10 mm/min で 5 mm 牽引したときの荷重 - 変位曲線から算出した。

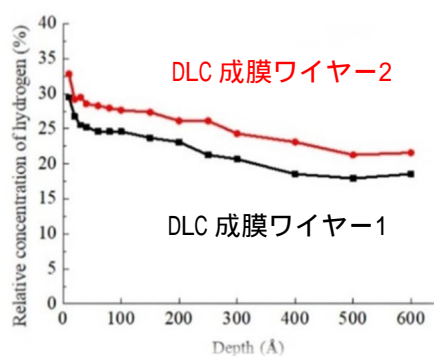
摩擦試験後のワイヤー試料は実体顕微鏡(SMZ1500、Nikon)を用いて DLC 層の剥離状態を観察した。

4. 研究成果

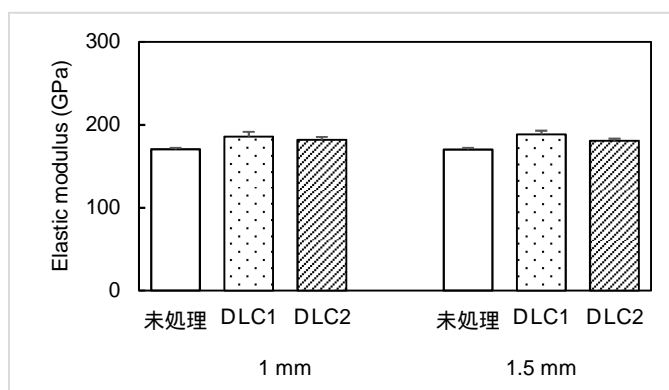
(1) DLC 層の成膜厚さの観察では、2 種類の DLC 成膜ワイヤーともに、DLC 層の厚さはおよそ 0.3 μ m であった。



(2) DLC 成膜の水素含有量は、表層から深さ 60 nm までの平均は DLC 成膜ワイヤー1 で 23%、DLC 成膜ワイヤー2 で 27%であった。最表層ではそれぞれ 29%、33%であった。



(3) 押し込み深さ 1mm までの 3 点曲げ試験での弾性係数は、未処理のアーチワイヤーと比較し、DLC 成膜ワイヤーで高かった。が、1.5mm までの押し込み深さでは、DLC 成膜ワイヤーの 2 種類で違いが認め、DLC 成膜ワイヤー1 で高かった。



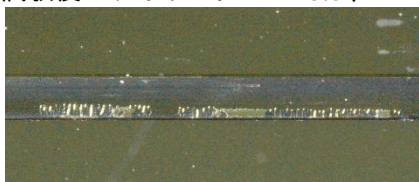
(4)

摩擦特性は乾燥状態での静摩擦力には未処理のワイヤーも含め有意差を認めなかったが、乾燥状態の静摩擦力と湿潤状態の静、動摩擦力では、DLC 成膜ワイヤー2 で低い摩擦力を示した。

摩擦試験	状態	未処理	DLC-1	DLC-2	p 値
静摩擦力	湿潤	2.39 ^a (0.30)	2.37 ^a (0.16)	2.09 ^b (0.22)	0.013
	乾燥	2.49 (0.33)	2.47 (0.18)	2.25 (0.24)	0.088
動摩擦力	湿潤	2.37 ^a (0.27)	2.32 ^a (0.17)	1.99 ^b (0.17)	0.001
	乾燥	2.55 ^a (0.21)	2.55 ^a (0.30)	2.21 ^b (0.18)	0.004

Values are presented as the mean \pm SD, N.
1 way ANOVA followed by the Games-Howell test.

摩擦試験後のワイヤーについては、DLC 成膜ワイヤー1 で DLC 層の剥離を認めた。



DLC 成膜ワイヤー1



DLC 成膜ワイヤー2

DLC 成膜ワイヤーは未処理のものに比べ優れた摩擦特性を示すことが一般的であるが、ワイヤーに過度なたわみが生じた場合、DLC 層の剥離が生じる。また剥離した DLC 材料によりブラケットとの摩擦係数上昇の原因となりうる可能性も考えられた。

本研究で用いた水素含有量の違いでは水素含有量が高いと硬さは低くなる傾向を示すが、柔軟性が向上し、たわみによる DLC 層の剥離も軽減され、ブラケットとの摩擦力の低減に関わる、コーティングの強い接着性を示した。これらの結果から、マルチブラケット装置による歯の移動を考慮した際、水素含有量の高い DLC 成膜ワイヤーは効率的な矯正用材料となることが考えられた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Zuniga-Heredia Enrique E, Muguruma Takeshi, Kawamura Naohiko	4. 巻 22
2. 論文標題 Frictional Forces of Three Types of Lingual Appliance with Self-ligating Mechanisms	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 The Journal of Contemporary Dental Practice	6. 最初と最後の頁 605 ~ 609
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5005/jp-journals-10024-3093	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Muguruma Takeshi, Iijima Masahiro, Kawaguchi Masahiro, Mizoguchi Itaru	4. 巻 8
2. 論文標題 Effects of sp2/sp3 Ratio and Hydrogen Content on In Vitro Bending and Frictional Performance of DLC-Coated Orthodontic Stainless Steels	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Coatings	6. 最初と最後の頁 199 ~ 199
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/coatings8060199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 内澤朋哉、 Zuniga Ezra、六車武史、川村尚彦、飯嶋雅弘
2. 発表標題 セルフリゲイティングリンガルブラケットの摩擦特性に関する研究
3. 学会等名 日本矯正歯科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Enrique Ezra Zuniga Heredia、内澤朋哉、六車武史、川村尚彦、飯嶋雅弘
2. 発表標題 3種類の市販舌側ブラケットの摩擦特性
3. 学会等名 北海道矯正歯科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 六車武史、飯嶋雅弘、河口馨太郎、溝口 到
2. 発表標題 DLCコーティングを施した矯正用ワイヤーの曲げ特性と摩擦特性における 水素含有量の影響
3. 学会等名 日本矯正歯科学会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	飯嶋 雅弘	北海道医療大学・歯学部・教授	
	(IIJIMA Masahiro)		
	(20305915)	(30110)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------