

Er:YAG レーザーによる非侵襲的低温プラズマ殺菌の可能性

白藤 立* (大阪市立大学), 高橋 憲司 (金沢大学), 後藤 哲男 (ホワイトネット)

On The Possibility of Non-invasive Plasma Sterilization Using Er:YAG Laser

Tatsuru Shirafuji (Osaka City University)

Kenji Takahashi (Kanazawa University)

Tetsuo Goto (White-Net)

Abstract

Er:YAG lasers have been used in dental clinic, in which the major effect is believed to be thermal effect. However, if enough photons are fed in a small area, we can expect laser induced breakdown, which can be a method to generate medical microplasma without high voltage electrodes. In this paper, we report its possibility.

キーワード：和文キーワード レーザ誘起放電, 歯科, Er:YAG, マイクロプラズマ, ソリューションプラズマ
(英文キーワード laser, induced breakdown, dental, Er:YAG, microplasma, solution plasma)

1. はじめに

近年, プラズマを用いた「滅菌」「殺菌」といった効果が注目されている [1]. しかし, こうした研究は実はかなり以前からある. Menashi 等は, 1960 年代の終わりの頃に, パルス RF 電源を用いて Ar (あるいは He) の大気圧コロナ放電によるプラズマを用いてガラスビンの内部を滅菌する技術を提案している [2]. 1987 年には, Jacobs と Lin が過酸化水素ガスの RF 放電を利用したプラズマによる滅菌方法を提案した [3]. これは, 1993 年に Johnson & Johnson 社から商品名 STERRAD として市場に現われた. 以降, 数多くのプラズマ源が滅菌用としてテストされるようになった.

近年こうした分野が注目されるに至った背景としては, 従来のプラズマ源が極めて大がかりな真空装置であったのに対し, 大気圧や液体中でもこうしたプラズマが得られるようになったことが挙げられる. 特に, ジェット形式のペンシル型プラズマ源 [4] はハンディであるために, その効果の是非はまだ未解明のところが多いが, 医療分野でも簡単に利用可能な装置構成となっている [5].

これに対し我々は, これまでの有電極型の放電を利用したプラズマよりも, 無電極の放電の方が医療の現場では有利ではないか, と考え, こうした滅菌等がレーザー誘起プラズマによって可能かどうかを検討した.

2. 実験装置

今回の実験に用いた装置は, Israel の Syneron 社による Er:YAG レーザーを用いた歯科治療装置 LITE TOUCH (日本代理店: WhiteNet 社) であり, 図 1 のような構成になっている [6]. Er:YAG を用いたレーザーであり, その波長は, $2.94 \mu\text{m}$ である.

従来から歯科用としてよく用いられている Nd:YAG レーザーは, その波長が, $1.3 \mu\text{m}$ と Er:YAG と比べると長い. この波長の違いは, 治療時に光りが伝搬する媒質, 即ち, 水の吸収係数との関係から, 伝搬長の違いとなって現れる. Nd:YAG は, 水に対する吸収が小さいために, 長い距離を

伝搬することが可能となるのに対し, Er:YAG は, 長距離の伝搬は望めない. その代わりに, 表面近傍だけにレーザー照射の効果を及ぼすことが可能となり, 深部の正常組織に影響を及ぼさない「低侵襲性」という利点を持つことになる.

この伝搬特性は, 同様の吸収帯を持つガラスファイバー中でも同様となる. ファイバーでガイドすることが通例であった歯科治療器具では, ファイバーでの光の損失が大きすぎる Er:YAG の実用化は, Nd:YAG と比べると出遅れたと言わざるを得ない. しかし, 今回実験装置として利用したものは, ファイバーを利用した光のガイドではなく, ミラーを巧みに利用したものとなっており, ファイバーを用いた場合の大きな光強度の大きな損失が無いものとなっているのが特徴である.

3. レーザ蒸散の様子とプラズマ生成の可能性

図 2 に水中の歯の表面に LITE TOUCH によるレーザー照射を行った際の, 高速度カメラ撮像の結果を示す. 同図より, 歯とレーザー照射用のチップ先端との間の媒質 (水) にて, 気泡が発生している. 従来の Nd:YAG の場合には, 水を伝搬したレーザー光が歯で吸収され, 加熱と蒸散を起こ

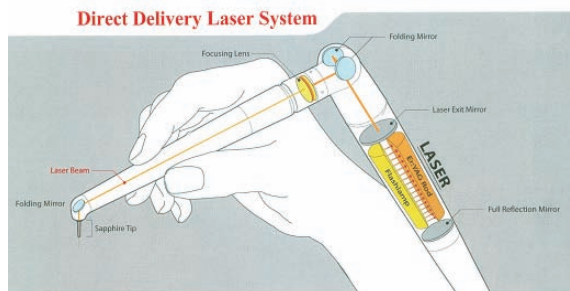


図 1 歯科治療用の Er:YAG 照射装置 Syneron 社 (Israel) 製 LITE TOUCH (日本代理店: White-Net 社) の概略図.
Fig.1 Schematic illustration of an Er:YAG laser "LITE TOUCH" for dental clinic provided by Syneron (White-Net in Japan).

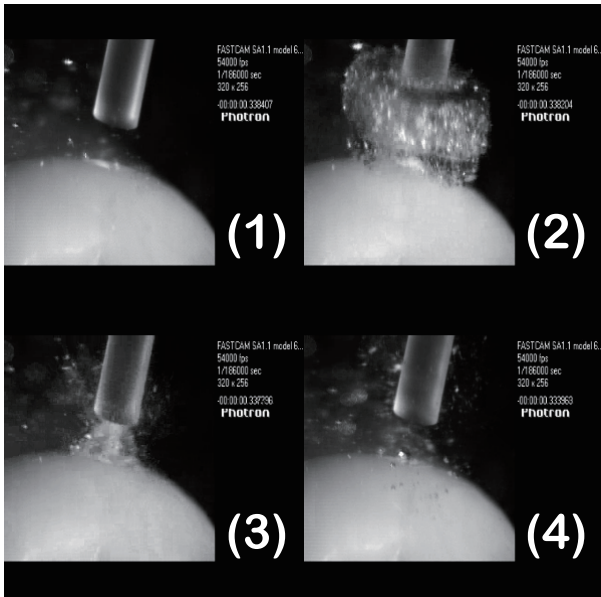


図2 水中の歯の表面に LITE TOUCH による Er:YAG レーザ照射をした場合のレーザー蒸散の様子。
Fig. 2 Laser abration of tooth surface in water by using Er:YAG laser (LITE TOUCH).

すと説明されている。しかし、Er:YAG の場合には、伝搬長が短いために、レーザーチップと歯の間の媒質にて加熱と水の気化が起こっている。この場合にも、歯を削る効力が確認されているため、従来の Nd:YAG の場合の、レーザー蒸散と比べると、異なるメカニズムで歯が削られていると考えられている。

このメカニズムについては、まだ解明されていないが、本装置を利用した臨床結果から、従来の方法と比較すると、治療後の虫歯の再発が極めて少ない、という事例が挙げられている。

その原因として、近年注目されているプラズマ滅菌の効果では無いか、という検討がなされるに至っている。その理由は、図2に示した、高速撮像結果に小さな輝点が観測されることによる。

撮像に当たっては、外部からの照明がなされているために、単なる泡による反射である可能性は否めない。しかし、そうであれば、多数の泡が形成されているため、輝点以外のところにも多数の輝点が観測されるはずである。

本研究では、これが本当にプラズマであるかどうか、また、滅菌を行っているのであれば、その担い手は何か、を明らかにすることを目的とし研究を進めている。

研究を進めるに当たり、歯の表面で起こっていることと、媒質中即ち水について起こっていることを区別して取り扱う必要がある。

歯については、歯科医の方々が専門に調査されているので、我々は、媒質の水について注目した。

4. Er:YAG レーザ誘起プラズマの可能性

図3は、水中にてレーザー照射を行った場合の、高速撮像

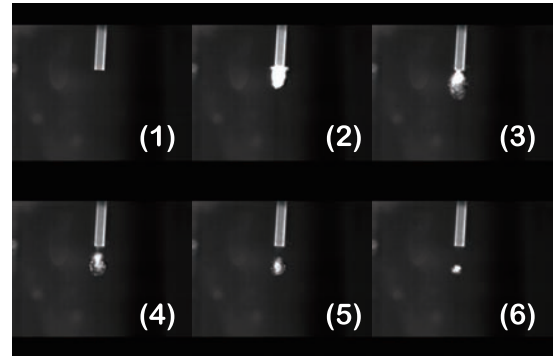


図3 水中に LITE TOUCH による Er:YAG レーザ照射をした場合の気泡発生の様子。
Fig.3 Bubble formation due to Er:YAG (LITE TOUCH) laser irradiation into water.

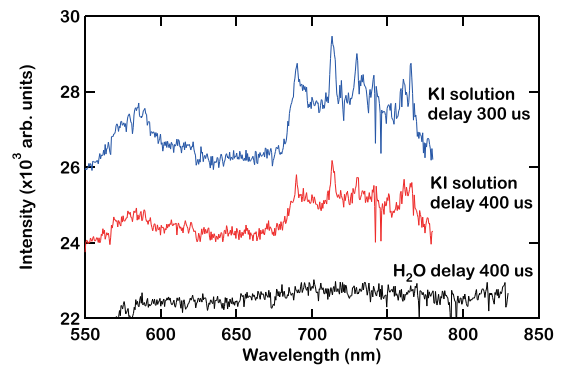


図4 KI 含有の水に LITE TOUCH による Er:YAG レーザ照射をした場合の発光分光の結果。
Optical emission spectra of DI-water and KI-solution taken after the Er:YAG laser irradiation.

の結果である。この図からわかるように、削る対象物である歯が無くても、水中での気泡発生が生じており、何らかの水の励起がなされている可能性があることがわかる。

この高速撮像時にフィルタ等を付けることができなかったために、どのような波長の光が観測されているのかは、現時点では不明である。今後、フィルタ等を備えた高速撮像の実験を行うことにより、これが単純な照明の反射なのか、発光なのかを明らかにしてゆきたい。

その第一段階として、今回は高速の分光計測を行った結果について報告する。図4は、脱イオン水にレーザー照射をした場合と、濃度 10 mM の KI 水溶液に照射した場合の発光分光の結果である。

同実験を行った際には、200-500 nm 付近も調査したが、明確な発光ピークを見いだすことはできなかった。当初、OH ラジカル (209 nm) や H ラジカル (656 nm) などの発光が観測されることを期待したが、これらのラジカルは発光スペクトルに現れるほど生成されていないことになる。

また、KI 水溶液を用いた理由は、ラジカル発生を間接的に検出できるかもしれない、という理由であったが、今回はその目的を明確に達成することはできなかった。しかし、得

られたデータから、次のようなことが言えると考えている。

レーザー照射後 400 μs 後の脱イオン水からの発光はほとんど何も無いことがわかる。しかし、KI 水溶液の場合には、同じ 400 μs 後であっても、550-600 nm ならびに 650-800 nm に発光が観測されている。また、その強度は、レーザー照射 300 μs 後に取得したものの方が高くなっており、レーザー照射後に徐々に減衰していることがうかがえる。現時点では、十分なピークアサインが完了していないが、K, I に関連するピークと考えている。

これらの結果から、プラズマ生成について吟味した。純粋な水の場合には、 H_2O が $\text{H}+\text{OH}$ に解離するような反応過程は、今回の実験結果を見る限り、ほとんど起こっていないと考えられる。そした意味では、今回の結果は、水中のプラズマの証拠とはなり得ない。しかし、KI 含有水溶液にて、発光が観測されていることから、水に含まれている物質を励起・イオン化している可能性があることが確かめられた。

臨床的に確かめられている虫歯治療の再発率が低いという事実を、今回の実験結果をもとにして考えると、唾液中に含まれる物質がこうしたレーザー照射によってイオン化等されることで、滅菌等の効果が現れたのではないかと推測される。詳細については、今後、更に、系統的な実験を行っていく必要がある。

5. まとめ

従来の Nd:YAG レーザにない特徴を有する Er:YAG レーザを用いた歯科治療において、臨床的には虫歯の再発が少ないことがわかっている。レーザーによる歯の加工のその場高速カメラ観測結果において、気泡の形成と発光が観測されることから、プラズマ生成の可能性が示唆された。現時点では、明確なプラズマ生成の根拠となる証拠は、見いだせなかったが、液体中の H_2O 以外の物質が励起されていることが発光分光計測によって確認された。今後は、より系統的に調査を行い、発光の起源、他の物質が含有されている場合の発光、また、それらの滅菌への効用について調査を行っていく予定である。

謝 辞

本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金新学術領域研究「プラズマとナノ界面の相互作用に関する学術基盤の創成」(21110003)、日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究(10235757)、東海広域知的クラスター創成事業、JST/CREST「ソリューションプラズマ反応場の自律制御化とナノ合成・加工への応用」を受けて行われた。

参考文献

- (1) A. Sakudo and H. Shintani Eds.: “Sterilization and Disinfection by Plasma”, NOVA Science Publishers (2011).
- (2) W. P. Menashi: “Treatment of surfaces”, US Patent 3,383,163 (1964).
- (3) P. T. Jacobs and S. M. Lin: “Hydrogen peroxide plasma sterilization system”, US Patent 4,643,876 (1987).
- (4) M. Teschke, J. Kedzierski, E. G. Finantu-Dinu, D. Korzec

and J. Engemann: “High-speed photographs of a dielectric barrier atmospheric pressure plasma jet”, IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 33, pp. 310–311 (2005).

- (5) 北野勝久, 浜口智志: 「低周波大気圧マイクロプラズマジェット」, 応用物理学会誌, Vol. 77, pp. 383–389 (2008).
- (6) <http://www.synerondental.com/> あるいは <http://www.white-net.com/>.

電気学会研究会資料

The Papers of Technical Meeting on
Plasma Science and Technology , IEE Japan

プラズマ研究会

PST-11-036～045

2011年8月7日

社団法人 電気学会
The Institute of Electrical Engineers of Japan
東京都千代田区五番町 6-2

電気学会研究会資料目次

プラズマ研究会

テーマ「プラズマ一般」

- PST-11-036 スリット型アークジェットにおけるプラズマ特性のノズル広がり角依存性 1
梢 和樹, 難波慎一, 遠藤琢磨, 多幾山憲 (広島大学)
佐藤国憲, 田村直樹 (核融合科学研究所)
- PST-11-037 パルス変調誘導熱プラズマを用いた高速窒化処理における窒素イオン寄与効果の検討 5
春多洋佑, 藤本健太, 田中康規, 上杉喜彦 (金沢大学)
- PST-11-038 球状 RFP プラズマにおける画像計測 11
三瓶明希夫, 政宗貞男, 大木健輔, 深堀大祐,
出口和明, 中木聖也, 比村治彦 (京都工芸繊維大学)
- PST-11-039 発光分光計測を用いたマイクロ波放電窒素プラズマの N_2^+ の振動、回転温度評価 15
川野泰和, 根津 篤, 松浦治明, 赤塚 洋 (東京工業大学)
- PST-11-040 白金触媒プローブによる酸素ラジカル密度測定 19
小野 茂, 千葉隼人, 蛭川能成 (東京都市大学)
- PST-11-041 Er:YAGレーザーによる非侵襲的低温プラズマ殺菌の可能性 25
白藤 立 (大阪市立大学)
高橋憲司 (金沢大学)
後藤哲男 (ホワイトネット)
- PST-11-042 大気圧プラズマを用いたフッ素樹脂の表面処理 29
杉尾淳一郎, 吉田恵一郎 (大阪工業大学)

PST-11-043	微細ガス流を用いた大気圧パルス・マイクロ放電生成における直流予備放電	33
	菊地 淳,鈴木雄太,武藤貴昭,井深真治,石井彰三,安岡康一(東京工業大学)		
PST-11-044	シヤンティンググローの発生	39
	行村 建,小木曾久人,中野 禪(産業技術総合研究所)		
	高木浩一(岩手大学)		
PST-11-045	高密度・高電離度金属プラズマの発生に関する研究	45
	池畑 隆(茨城大学)		

共 催 大阪工業大学 人工衛星プロジェクト
IEEE 日本カウンスル Chapter NPS-05(Nuclear and Plasma Science Society)