平成19年度日本レーザー医学会総会賞受賞論文

AWARDED ARTICLE

歯の硬組織に対する自由電子レーザー照射のレーザー波長依存性と
プラズマ・アブレーション

寒河江 登志朗¹, 佐藤 由紀江², 岡田 裕之², 山本 浩嗣², 谷本 安浩³,
早川 徹³, 早川 恭史⁴, 早川 建⁴, 田中 俊成⁵, 佐藤 勇⁶

¹ 日本大学 松戸歯学部 組織・発生・解剖学

² 日本大学 松戸歯学部 口腔病理学

³ 日本大学 松戸歯学部 歯科生体材料学

⁴ 日本大学 量子科学研究所 理工学部

⁵ 日本大学 量子科学研究所 電子線利用研究施設

⁶ 日本大学大学院 総合科学研究科

(平成20年1月22日受理, 平成20年2月6日掲載決定)

Wavelength Dependency and Plasma Ablation of Free Electron Laser Irradiation
to Dental Hard Tissues

Toshiro Sakae¹, Yukie Sato², Hiroyuki Okada², Hirotugu Yamamoto², Yasuhiro Tanimoto³, Tohru Hayakawa³,
Yasushi Hayakawa⁴, Ken Hayakawa⁴, Toshinari Tanaka⁵, Isamu Sato⁶

¹ Department of Histology, Embryology and Anatomy, Nihon University School of Dentistry at Matsudo

² Department of Oral Pathology, Nihon University School of Dentistry at Matsudo

³ Department of Dental Materials, Nihon University School of Dentistry at Matsudo

⁴ College of Science and Technology, Nihon University

⁵ LEBRA, Quantum Science Institute, Nihon University

⁶ Advanced Research Institute for the Sciences and Humanities, Nihon University

(Received January 22, 2008, Accepted February 6, 2008)

要 旨

歯の硬組織のレーザー・アブレーションの効果と機構を解明する一助として波長可変な自由電子レーザー(FEL)を用いた実験を行った。日本大学LEBRA-FELで波長2.0から6.0 μ mの範囲で歯の断面に照射した結果、波長依存性が明確にとられることが出来、また、組織によって至適波長に若干の差異が認められた。LEBRA-FELのピット形成の様子の観察から、粒子が飛び出るプラズマ・アブレーションを起こしている可能性が示唆された。

キーワード：自由電子レーザー, 波長依存性, 歯, 硬組織

¹〒271-8587 松戸市栄町西2-870-1 TEL. 047-360-9323, FAX. 047-360-9323

(2-870-1 Sakaemachinishi, Matsudo, Chiba, 271-8587, Japan)

²〒271-8587 松戸市栄町西2-870-1

(2-870-1 Sakaemachinishi, Matsudo, Chiba, 271-8587, Japan)

³〒271-8587 松戸市栄町西2-870-1

(2-870-1 Sakaemachinishi, Matsudo, Chiba, 271-8587, Japan)

⁴〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1

(7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501, Japan)

⁵〒274-8501 船橋市習志野台7-24-1

(7-24-1 Narashinodai, Funabashi, Chiba, 274-8501, Japan)

⁶〒102-0073 千代田区九段北4-2-1

(4-2-1 Kudan Kita, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-0073, Japan)

Corresponding author : sakae.toshiro@nihon-u.ac.jp

Abstract

Wavelength tunable free electron laser, FEL, was applied to analyze efficacy and mechanism of laser ablation for dental hard tissues. Irradiation of LEBRA-FEL, Nihon University, on the tooth sections at the wavelength range from 2.0 to 6.0 μm , the wavelength-dependency and also tissue-specificity were clearly observed. Observation during the pit formation by the irradiation, it was suggested the ablation being a type of plasma ablation.

Key Words: Free Electron Laser, Wavelength Dependency, Dental, Hard Tissues

1. 目的

歯科臨床へのレーザーの応用は近年急速に拡大している¹⁻⁷⁾。歯科レーザーに限らず医用レーザーの治療効果が優れていることは周知であるが、レーザーが組織・細胞に及ぼすレーザー・アブレーションの原理・機構はすべてが明らかになっているわけではない。レーザー・アブレーションは、「レーザー光の照射強度がある大きさ(しきい値)以上になると、固体表面で、電子、熱的、光化学的および力学(機械)的エネルギーに変換され、その結果、中性原子、分子、正負のイオン、ラジカル、クラスター、電子、光(光子)が爆発的に放出され、固体の表面がエッチングされるプロセス」と定義されているが、「しかし、レーザーアブレーションのメカニズムは、(中略)、物質(吸収係数、表面状態、組成など)とレーザー光の性質(波長、ピークパワー、パルス幅など)により複雑で、個々の材料に対する厳密な解明はまだ進展中の場合もある」状況にあるといえる⁸⁾。

レーザー・アブレーションを研究する上で波長可変なレーザー光源の利用は大変に有効であり、そのような光源の一つとして自由電子レーザー(Free Electron Laser, FEL)がすでに用いられている⁹⁻¹²⁾。今回、歯科治療に用いられているEr:YAGレーザーに近い3.0 μm 近辺の波長を自由電子レーザー装置で発生させ、レーザー波長と歯の硬組織に対するレーザー・アブレーション効果の関係を探索した結果、プラズマ・アブレーションと考えられる結果を得たので報告する。

2. 対象と方法

レーザー照射の対象は歯の硬組織(エナメル質、象牙質、エナメル象牙境)とし、10%中性ホルマリン液に保管されていたヒト抜去歯(これらは日本大学松戸歯学部倫理委員会が設置される以前に歯科臨床の理由により抜去されたもの)からLow Speed Diamond Saw(Buhler, USA)を用いて縦断薄片を作成した。

自由電子レーザー(Free Electron Laser, FEL)は、日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設(Laboratory for Electron Beam Research and Application, LEBRA)で80MeVのLINACで加速された電子線をアンジュレータ発振させて波長2.0 μm から6.0 μm まで連続的に波長を変化させた(以

下LEBRA-FEL)。加速器条件は、加速電圧:80MeV、電流:70mA、マクロパルス:20 μs 、2Hz、ミクロパルス:約3ps、350psインターバルであった。LEBRA-FELについては文献^{13,14)}を、FEL照射実験条件および装置は文献^{11,12)}に詳しく記述されている。

LEBRA-FELの効果を通常のレーザーの場合と比較検討するために、Er:YAGレーザー照射実験装置(HOYA PHOTONICS, Tokyo)、波長:2.94 μm 、サイクル数:3Hz、出力:350mJで実験を行った。この照射実験条件については文献¹¹⁾に詳しく記述されている。

照射して形成されたピットの観察は実体顕微鏡(NIKON, Tokyo)で行い、深さ計測は三次元形状計測装置(LT-8010, KEYENCE, Osaka)で行った。

照射部位の結晶学的な変化を確かめるために微小部X線回折装置(PSPC-micro X-ray diffraction, RIGAKU, Tokyo)を利用した。

3. 結果

今回のLEBRA-FEL照射実験において低出力で十分なピット形成がエナメル質、象牙質およびエナメル象牙境に認められた(Fig.1)。形成されたピットおよび周辺部には熱による結晶の変性の痕跡は微小部X線回折法では認められなかった。LEBRA-FEL照射時に粒子が飛び散る様子が見えたため、その様子をビデオで撮影したところ照射によって高速に飛散する粒子を記録できた(Fig.2)。

Fig.3に波長3.0 μm のLEBRA-FELを照射した歯のエナメル質と象牙質のピットの深さ計測結果を示した。同一波長で同一条件下で照射したものであるが、ピット深さは明らかにエナメル質のほうが深く(約80 μm)、象牙質で浅い(約30 μm)。ピットの直径はほぼ同じで約150 μm であった。

Fig.4に波長2.94 μm のEr:YAGレーザーを照射した歯のエナメル質と象牙質のピット深さ計測結果を示した。ここでも、同一波長で同一条件下で行ったものであるが、ピット深さは明らかにエナメル質(約120 μm)の方が象牙質(約80 μm)より深くなっていた。ピットの直径はほぼ同じで約600 μm であった。Er:YAGレーザー照射ではエナメル質と象牙質ともにピット周囲に特徴的な盛り上がり(約10 μm)が認められた。

Fig.1 Pit formation on the tooth surface after the irradiation of LEBRA-FEL, wavelength $3.0\ \mu\text{m}$.

Fig.2 Particles flying out from the tooth surface by irradiation of LEBRA-FEL.

Fig.3 Morphology of the pit formed by the irradiation of LEBRA-FEL, wavelength $3.0\ \mu\text{m}$. Left: Enamel surface. Right: Dentin surface.

Fig.4 Morphology of the pit formed by the irradiation of Er:YAG laser, wavelength $2.94\ \mu\text{m}$. Left: Enamel surface. Right: dentin surface.

Fig.5は、波長 $3.0\ \mu\text{m}$ のLEBRA-FELをエナメル質から象牙質へかけて一定間隔で照射したときに形成されたピットの深さをグラフ化したものである。図右端はエナメル質表面で、図中で5番で示されている場所はエナメル象牙境である。LEBRA-FEL照射で形成されたピットの深さはエナメル象牙境で一番深くなっている。形成されたピットは、エナメル質(約 $20\text{--}22\ \mu\text{m}$)のほうが象牙質(約 $15\text{--}22\ \mu\text{m}$)より深いピットが形成されている。深さが一定しない理由のひとつはLEBRA-FELの出力パワーに揺らぎがあるためである。

Fig.6は波長 $3.6\ \mu\text{m}$ のLEBRA-FELを照射したときの、エナメル質と象牙質でのピットの深さを比べたものである。ここでピットの深さは、エナメル象牙境(約 $30\ \mu\text{m}$)をはさんで明らかに図の左側にある象牙質側の5箇所(33, 31, 39, 28, $34\ \mu\text{m}$)で図の右側のエナメル質の3箇所(22, 13, $20\ \mu\text{m}$)よりピットが深くなっている。

4. 考察

レーザー照射による歯や骨などの硬組織のアブレーションについては、最近研究が進んできている¹⁵⁾。レーザーの応用の初期のころに見られたレーザー照射による歯の硬組織への熱的・機械的なダメージは、レーザー照射時間・パルスモードの制御によって劇的に減少することが可能となってきた¹⁶⁻¹⁸⁾。

レーザーの硬組織に対するアブレーションでは使用する波長の影響が大きいことが予想され、さまざまな波長で実験されてきている。多様な波長を用いた実験としてはFELの利用が適しており、FEL照射による歯の硬組織や骨のアブレーションは、VanderbiltのFEL^{9,19,20)}、大阪大学のiFEL^{10,21-25)}、Beijing FEL^{26,27)}、東京理科大学のIR-FEL²⁸⁾、日本大学のLEBRA-FEL^{11,12)}などが行われている。硬組織のアブレーションは一般的に波長 $3.0\ \mu\text{m}$ が効果的とされていたが²⁹⁾、Youn³⁰⁾は緻密骨組織に波長 2.79 , 2.9 , 6.1 , $6.45\ \mu\text{m}$ のFELを用いた照射実験で、照射によるクレーター形成は波長 $6.1\ \mu\text{m}$ で最大であり、熱的ダメージも少なかったと報告した。骨組織と象牙質組織では基本的に有機質の主体がコラーゲンであり無機質は生体アパタイトから構成されている点でほぼ同じである。なぜ骨組織の場合に特異的に至適波長が異なったのであるかについては、今後の研究課題となるであろう。

今回のLEBRA-FEL照射実験で、歯のエナメル質、象牙質およびエナメル象牙境にピットが形成され、ピットおよびその周辺部に熱的な変性の痕跡は認められなかった。また、LEBRA-FEL照射時に微細な粒子が飛散する様子をビデオで記録できた。これらのことは、LEBRA-FELの歯に対するレーザー・アブレーション効果がいわゆるプラズマ・アブレーションに近いものと推定できる。

形成されたピットの深さには対象となる硬組織によると考えられる差異が認められた。すなわち、エナメル質と象牙質では形成されたピットの深さが異なっていた。これまで一般的に歯や骨などに対するレーザーアブレーション効果は、波長 $2.94\ \mu\text{m}$ のEr:YAGレーザーを用いた

Fig.5 Morphometry of the pits formed on the tooth surface by the irradiation of LEBRA-FEL, wavelength 3.0 μm . Three pits from the right side were on the enamel surface, the fourth pit was on the enamel-dentin junction, and the four pits on the left side were on the dentin surface.

Fig.6 Morphometry of the pits formed on the tooth surface by the irradiation of LEBRA-FEL, wavelength 3.6 μm . Three pits from the right side were on the enamel surface, the fourth pit was on the enamel-dentin junction, and the four pits on the left side were on the dentin surface.

場合、含有されている水分の微小爆発によると考えられてきている²⁹⁾。この考えによれば、水分含有量のエナメル質(約2wt%)と象牙質(約10wt%)との差から象牙質のほうがピット形成は大きくなるはずである。また、物質の密度の差の面からしてもエナメル質より象牙質のほうがピット形成は大きくなると推測される。しかし、今回の波長3.0 μm のLEBRA-FEL照射実験では逆にエナメル質のほうが象牙質より深いピットが形成された。すなわち、

歯のエナメル質と象牙質に対するLEBRA-FEL照射のレーザー・アブレーションは単純な水分の微小爆発では説明できないことになる。

LEBRA-FEL照射時に微粒子が飛散する様子を捉えることが出来、しかも形成されたピットおよびその周辺には熱的な変性の痕跡が認められなかったことから、LEBRA-FELの歯に対するレーザー・アブレーションはプラズマ・アブレーションに近いものと考えられる。この点については今後さらに研究を重ねて確認を得る予定である。

また、波長を3.6 μm のLEBRA-FELを照射した場合では、波長3.0 μm の照射とは逆に、象牙質のほうがエナメル質よりも深いピット形成がなされた。このことは、歯のエナメル質と象牙質のレーザー・アブレーション効果には波長依存性があることを示したものである。

5. 結論

波長可変な自由電子レーザーLEBRA-FELを用いて波長2.0から6.0 μm の範囲で歯の断面に照射した結果、波長依存性が明確にとられることが出来、エナメル質と象牙質では波長3.0 μm 近傍で最もよくピット形成が行われた。また、組織によって至適波長に若干の差異が認められ、エナメル質より象牙質のほうがやや長波長の3.6 μm でのピット形成が最大であった。ピット形成時の観察から、粒子が飛び出るプラズマ・アブレーションを起こしている可能性が示唆された。

謝辞

本研究の自由電子レーザー(FEL)実験は日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設(LEBRA)において行った。FEL実験に協力していただいた桑田隆生博士、境 武志博士、中尾圭佐博士、野上杏子博士、北村英二博士、諏訪武利博士ならびに関係各位に深く感謝いたします。この研究経費の一部は、文部科学省平成12年度および平成18年度日本大学量子科学研究所電子線利用研究施設学術フロンティア推進事業(代表：小島勝衛)、日本学術振興会科学研究費補助金(基盤研究(C)課題番号17591927、代表：寒河江登志朗)によって行われた。

参考文献

- 1) The 1st Meeting of the European Division of the World Federation for Laser Dentistry, Nice University, France, 26-27, April, 2007., Lasers Med Sci, 22: 285-315, 2007.
- 2) Parker S: Lasers in Dentistry. 3. Low-level laser use in dentistry Br Dent J, 202: 131-138, 2007.
- 3) Parker S: Lasers in Dentistry. 4. Lasers and soft tissue: 'loose' soft tissue surgery, Br Dent J, 202: 185-191, 2007.
- 4) Parker S: Lasers in Dentistry. 5. Lasers and soft tissue: 'fixed'

- soft tissue surgery, Br Dent J, 202: 247-253, 2007.
- 5) Parker S: Lasers in Dentistry. 6. Lasers and soft tissue: periodontal therapy, Br Dent J, 202: 309-315, 2007.
 - 6) Parker S: Lasers in Dentistry. 7. Surgical laser use in implantology and endodontics, Br Dent J, 202: 377-386, 2007.
 - 7) Parker S: Lasers in Dentistry. 8. Surgical lasers and hard dental tissue, Br Dent J, 202: 445-454, 2007.
 - 8) 電気学会. レーザーアブレーションとその産業応用調査専門委員会編「レーザーアブレーションとその応用」, コロナ社, 2002.
 - 9) Ostertag M, McKinley JT, reinisch L, Harris DM, and Tolk NH: Laser ablation as a function of the primary absorber in dentin. Lasers in Surgery and Medicine, 21:384-394, 1997.
 - 10) Heya M, Sano S, Takagi N, Fukami Y, Awazu K.: Wavelength and average power density dependency of the surface modification of root dentin using an MIR-FEL. Lasers Surg Med, 32(5): 349-58, 2003.
 - 11) Sakae T, Sato Y, et al.: Pit formation in human enamel and dentin irradiated using the 2.94 mm LEBRA-Free electron laser. Int J Oral-Med Sci, 4: 8-13, 2005
 - 12) Sakae T, Sato Y, et al.: Thermal ablation of FEL irradiation using gypsum as an indicator. Lasers Med, Sci, 22: 15-20, 2007.
 - 13) Hayakawa Y, Sato I, Hayakawa K, Tanaka T, Nakazawa H, Yokoyama K, Kanno K, Sakai T, Ishiwata K, Enomoto A, Fukuda S, Ohsawa S, Tsuchiya K, Kato: First lasing of LEBRA FEL at Nihon University at a wavelength of 1.5 μm ., Nucl Instrum Methods Phys Res A, 483: 29-33, 2002.
 - 14) Tanaka T, Hayakawa K, Hayakawa Y, Mori A, Nogami K, Sato I, Yokoyama K, Ishiwata K, Kanno K, Nakao K, Sakai T: Tunability and power characteristics of the LEBRA infrared FEL. Proceedings of the 2004 FEL Conference, p247-250, 2004.
 - 15) Niemz MH: Medical Applications of Lasers, in Laser-Tissue Interactions, Springer, 151-247, 2007.
 - 16) Niemz MH: Investigation and spectral analysis of the plasma-induced ablation mechanism of dental hydroxyapatite. Appl Phys, B58: 273-281, 1994.
 - 17) Fried D, Ragadio J, Champion A: residual heat deposition in dental enamel during IR laser ablation at 2.79, 2.94, 9.6, and 10.6 μm . Lasers Surg Med, 29: 221-229, 2001.
 - 18) Dayem RN: Evaluation of the ablation efficacy and morphology of some hard tissues irradiated with different types and modes of laser. Lasers Med Sci, (Epub ahead of print) 2007.
 - 19) Harris DM, Reinisch L, Edwards G, Yessik M, Ashrafi S, Santos-Sacchi J: Mid-infrared ablation of dentin with the Vanderbilt FEL. Proceedings of SPIE, Lasers in Dentistry II, 165-175, 1996.
 - 20) Swift EJ, Edwards GS, Perdigo J, Thompson JY, Nunes MF, Ruddell DE, Negishi A: Free-electron laser etching of dental enamel. J dentistry, 29: 347-353, 2001.
 - 21) Ogino S: The FEL surface modification of tooth dentin. Zairyo, 45: 1254-1255, 1996 (in Japanese).
 - 22) Ogino S, Awazu K, Tomimasa T: Free electron laser (FEL) induced desorption of ions from tooth dentin. Proceedings of SPIE, Lasers in Dentistry III, 29-38, 1997.
 - 23) Ogino S, Awazu K: The surface modification of tooth dentin with a Free Electron Laser (FEL). Nuclear Instr Methods Phys Res, Sec B, 144: 236-239, 1998.
 - 24) Ogino S, Awazu K: Surface treatment of dentin by FEL ablation. Molecular Electronics and Bioelectronics, 9: 51-55, 1998.
 - 25) Heya M, Horiike H, Sano S, Kumasaki H, Hashishin Y, Sunada K, Yoshikawa K, Inoue M: Comparison of the acid resistance of root dentin after treatment with a MIR-FEL emitting at $\lambda=9.0$ μm and $\lambda=9.7$ μm . Proceedings of SPIE, Lasers in Dentistry, 50-58, 2005.
 - 26) Junbiao Z, Yonggui L, Nianqing L, Gouqing Z, Minkai W, Gan W, Xuepin Y, Yuying H, Wei H, Yanmei D, Xuejun G: Primary experimental studies on mid-infrared FEL irradiation on dental substances at BFEL. Nuclear Instr Methods Phys Res, A475: 630-634, 2001.
 - 27) Liu NQ, Li YG, Zhu JB, Zhang LW, Wang MK, Wu G, Yang XP, Li GC, Huang YY, Dong YM, Gao XJ: Compositional change in human enamel irradiated with MIR free electron laser. Chinese Sci Bull, 46: 2016-2018, 2001.
 - 28) Iida H, Kimura M, Yamamoto N, Hirayama S, Ikemi T, Irokawa K, Kuroda H: A study of tooth structure irradiated with IR-FEL. Japanese Journal of Applied Physics, part 1, 41: 148-151, 2002.
 - 29) 栗津邦男: レーザーの基礎を学ぼう, 加藤純二・篠木毅・栗津邦男・守矢佳世子編, 一からわかるレーザー歯科治療, 149-172, 2003, 医歯薬出版.
 - 30) Youn J-I, Sweet P, Peavy GM: A comparison of mass removal, thermal injury, and crater morphology of cortical bone ablation using wavelengths 2.79, 2.9, 6.1, and 6.45 μm . Lasers Surg Med, 39: 332-340, 2007.

著者紹介

寒河江 登志朗(Toshiro Sakae)

1972年 東京教育大学理学部卒業, 1977年東京教育大学大学院理学研究科終了(鉱物学専攻)理学博士, 1977年 日本大学松戸歯学部第2解剖学講座助手, 1994年 日本大学松戸歯学部第2解剖学講座助教授。おもに硬組織(歯と骨, 病理的石灰化物)の生体鉱物形成機構と結晶化機構を研究。

硬組織再生生物学会理事, 歯科基礎医学会評議員, 日本顕微鏡学会会員など。

佐藤 由紀江(Yukie Sato)

1994年 日本大学松戸歯学部卒業。1998年 日本大学大学院松戸歯学研究科博士課程修了(口腔病理学専攻)。1998年より日本大学松戸歯学部兼任講師、現在に至る。骨病変と口腔組織の関連などを研究, 日本レーザー医学会認定歯科

医1種

岡田 裕之(Hiroyuki Okada)

1987年 日本大学松戸歯学部卒業, 1991年 日本大学大学院松戸歯学研究科修了(口腔外科学専攻)歯学博士, 1993年 同大学助手(病理学), 1999年~同大学専任講師。現在, 口腔病変における石灰化物の分析, 口腔腫瘍の細胞増殖能などの研究に従事している。口腔病理専門医, 細胞診専門歯科医, 日本病理学会評議員など。

山本 浩嗣 (Hirotsugu Yamamoto)

1972年 日本大学歯学部卒業, 1976年 日本大学大学院歯学研究科修了(病理学専攻)歯学博士, 1992年 日本大学松戸歯学部病理学講座教授, 病理診断業務の他, 生体内の異所的石灰化, 唾液腺腫瘍, 口腔内細胞診等の研究に従事している. 日本臨床口腔病理学会理事長, 日本病理学会評議員, 歯科基礎医学会評議員など.

谷本 安浩 (Yasuhiro Tanimoto)

1995年 日本大学生産工学部卒業, 1997年 日本大学大学院修士課程修了, 2006年より日本大学松戸歯学部講師, 博士(工学), 博士(歯学). 現在主に, 歯科生体材料の開発研究を行なっている. 日本歯科理工学会員, 日本バイオマテリアル学会員など.

早川 徹 (Tohru Hayakawa)

1979年 東京大学工学部卒業, 1984年 東京大学大学院工学系博士課程修了, 2007年より 日本大学松戸歯学部准教授 現在レーザーを利用した生体材料と生体組織との界面の研究に取り組んでいる. 日本バイオマテリアル学会 評議員, 日本再生歯科医学会 評議員, 日本歯科理工学会 評議員など.

早川 恭史 (Yasushi Hayakawa)

1992年 京都大学理学部卒業, 1998年 京都大学理学研究科博士後期課程物理学第二専攻修了, 京都大学博士(理学)取得, 1998年 日本大学原子力研究所助手, 現在は日本大学量子科学研究所准教授. 専門分野は相対論的荷電粒子による放射現象. 現在のメインワークはパラメトリックX線放射によるコヒーレントX線源の開発と応用. 日本物理学会会員, 日本加速器学会会員など.

早川 建 (Ken Hayakawa)

1972年 信州大学理学部卒業, 1978年 東北大学理学研究科博士課程原子核物理学修了(理学博士), 現在は日本大学理工学部物理学科教授, 専門分野は加速器科学, 現在の研究課題は自由電子レーザー用加速器の研究. 日本物理学会, 応用物理学会, 原子力学会会員など.

田中 俊成 (Toshinari Tanaka)

1976年東北大学理学部卒業, 1981年東北大学大学院理学研究科博士後期課程修了(原子核理学専攻), 1982年日本大学助手, 2004年より同大学教授. 専門は加速器科学, 電子線形加速器とそれを用いた放射光源の開発研究を行っている. 日本物理学会会員, 日本加速器学会会員など.

佐藤 勇 (Isamu Sato)

東北大学理学研究科修了(理学博士), 東京大学原子核研究所助手, 高エネルギー物理学研究所加速器研究部教授, 高エネルギー物理学研究所放射光実験施設教授, 総合大学院大学数物科学研究科加速器理学教授, 日本大学原子力研究所教授を経て現在は日本大学総合科学大学院教授, 高エネルギー物理学研究所名誉教授. 専門は加速器物理学, 放射線物理学, 加速原理, ビーム不安定性, 高エネルギー物理学, 自由電子レーザー, X線発生, 電子線応用. (財)高エネルギー加速器科学研究奨励会委員, リニアック技術研究会, 放射光学会, 日本物理学会会員など.