

平成 30 年 12 月 26 日現在

機関番号：34408

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K11139

研究課題名(和文) レーザー光を用いた齲蝕識別システムの構築

研究課題名(英文) Construction of the carious detector system using the laser

研究代表者

吉川 一志 (YOSHIKAWA, Kazushi)

大阪歯科大学・歯学部・准教授

研究者番号：30309182

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：齲蝕識別装置の試作にあたり、可視光が透過し、口腔内へ挿入可能なことが可能であることから、歯科治療用Er:YAGレーザーの照射用チップ(P400T、モリタ製作所)をプローブとして利用した。He-Neレーザーから出力された光をプローブに入射し、先端から出射される光の強さをパワーメータ(PM20、ソーラボ)で測定した。プローブ先端に黒色の塗料を塗布した場合の光出力を測定した後、プローブ先端を模擬試料に接触させてプローブ先端の塗料を一部剥離させた。再度光の強さを測定した結果、試料との接触前と比べて光出力が有意に向上し、光出力を測定することで試料の硬さを測定し、齲蝕を識別できることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：The choice of the probe is important about the trial manufacture of the carious identification device. It is demanded visible light penetrating the probe of the carious identification device and that we can insert it in oral cavity. We used a tip (P400T, J.Morita) for radiation of the Er:YAG laser for dental treatment as a probe this time. It was incident on a probe by light output by He-Ne laser and measured strength of appearance shone light by a power meter (PM20, so laboratory) from the tip. After measured optical power when we applied black paint to the probe tip, we made the probe tip touch simulated preparation, and the paint of the probe tip made it exfoliate partly. As a result of measured strength of the light again, optical power significantly improved as compared with before contact with the preparation. We measured hardness of the preparation by measuring optical power, and this results suggested that they could distinguish carious.

研究分野：歯学

キーワード：齲蝕 選択的除去 レーザー

1. 研究開始当初の背景

患者の治療時、できる限り少ない侵襲でとどめるという minimal intervention(MI)のコンセプトが歯科医師の間で浸透している。齲蝕治療に関しても MI により歯の削除量を減らすために齲蝕を染め出す齲蝕検知液の改良や齲蝕を選択的に削除する器機の開発が行われてきた。しかし、それらの研究においても、齲蝕治療において重要となるのは最終的には術者の感覚、すなわち齲蝕を染め出した場合にはどこまで染まっているかを判断する視覚、齲蝕を削除する場合には手指の感覚に頼っている部分が多く、齲蝕治療の良否が術者の経験に左右される可能性が高い。我々は平成 18 年度から 2 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザーの色吸収特性を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 20 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザー高吸収体配合齲蝕検知液を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 23 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「臨床における Er:YAG レーザーによる選択的齲蝕除去法の確立」の研究を経て、Er:YAG レーザー専用の齲蝕検知液により染色し、染色された部分のみを Er:YAG レーザーで削除する選択的齲蝕除去法を確立した。

しかし、この方法は Er:YAG レーザーを保有していないと使用できないことと、また一般歯科診療施設 65000 のうち、何らかのレーザーを保有する施設は 3 割で、そのうち Er:YAG レーザーの割合は 3 割と言われており、現在、齲蝕除去に主に使用される器具はエアータービンもしくは電気エンジンなどの回転切削器具であることから、より多くの症例で齲蝕除去を確実にするためには、回転切削器具での齲蝕除去後の成否の確認を簡便に行うことができる方法を確立することであると考える。一方、齲蝕象牙質硬さ測定システム カリオテスター(一般医療機器 歯科用深針 承認番号 14B2X00021100008)が発売され、齲蝕除去後の確認に臨床応用されているが、測定時に先端チップを取り外し、測定用の PC で測定しなければならないなどの臨床で煩雑な操作が必要となる。そこで今回、我々は象牙質の硬さにより簡便に齲蝕の識別が可能なレーザー光を用いた齲蝕識別装置を開発し、齲蝕除去器具の種類にかかわらず、簡易に齲蝕除去の成否を確認するシステムを構築しようと考えた。

今回の研究は、平成 18 年度から 2 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザーの色吸収特性を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 20 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザー高吸収体配合齲蝕検知液を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 23 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「臨床における Er:YAG レーザーによる選択的齲蝕除去法の確立」の研究期間中に共同研究し

たそれぞれの機関と継続して産・学連携の研究組織を構築することができた。また国立大学と私立大学、異なる学部間(歯学と工学)の連携も継続して可能であり、研究備品もこれまで採択された文部科学省科学研究補助金で購入済みで、備品もこのまま継続使用可能なので、研究の継続は容易であると考えた。

2. 研究の目的

平成 18 年度から 2 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザーの色吸収特性を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 20 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「レーザー高吸収体配合齲蝕検知液を用いた齲蝕の選択的除去」、平成 23 年度から 3 年間の文部科学省科学研究補助金(基盤研究(C))「臨床における Er:YAG レーザーによる選択的齲蝕除去法の確立」から得たエビデンスを元に、レーザー治療だけでなく、すべての切削器具での齲蝕治療において、術者の経験に左右されず齲蝕除去を確認できる方法を確立するための研究を行う。

これまで齲蝕治療に使われてきた齲蝕検知液は、齲蝕の残存を染色により確認するために、一旦齲蝕削除を休止して、染色、水洗し、確認後また齲蝕削除を開始するという煩雑な手技を行わなければならなかった。また現在市販されているカリオテスターは、測定には先端チップを取り外し、測定用の PC で測定しなければならないなどの臨床で煩雑な操作が必要となる。

今回の齲蝕識別装置を併用した齲蝕除去により、術者の経験に左右されることなく、齲蝕治療の経験の浅い若い歯科医師でも、齲蝕部のみを的確に除去できる術式が確立されると考えられる。またこの齲蝕識別装置を用いることにより、暫間的間接覆髄法の経過観察において簡便に軟化象牙質の再石灰化の確認が硬さを指標として可能となることから不必要な歯髄除去を防ぐことができることが考えられることから、今後さらに加速度を増す高齢社会における患者の QOL の実現のために、また医療費削減のために、できる限り侵襲のすくない歯科治療にとどめることは重要で、本研究の臨床的意義は高いものと思われる。

3. 研究の方法

レーザー光を用いた齲蝕識別装置の作製

従来のカリオテスターで測定時に必要であったチップの取り外しや、顕微鏡と専用 PC での測定などの臨床で煩雑な操作をなくすため、レーザー光源および光検出器を内蔵したレーザー光硬さ測定装置を提案する。本装置では、レーザー光を光ファイバーに通してチップに入射させる。従来のカリオテスターと同じく、チップ先端に塗料を塗布し、歯の表面にチップ先端を押し付ける。歯の硬さに

応じて塗料の消失量が異なるため、チップ先端で反射して戻ってくる光の強さを光検出器で測定することで歯の硬さを求めることができた。チップの取り外しや、顕微鏡と専用 PC での測定が不要な装置を従来のカリオテスターと同程度の大きさで実現可能であると考えられる。

ウシ歯人工齲蝕の硬さ測定

牛歯の歯根を切断した後、歯冠部象牙質をモデルトリマーで露出させ、低速度打ちぬき装置で象牙質円柱を取り出す。取り出した象牙質円柱をエポキシ樹脂で包埋し、小西の方法により作成した人工齲蝕溶液に浸漬し、人工齲蝕象牙質を作製し、人工齲蝕試料を作製する。人工齲蝕試料を象牙質円柱の中心を通るように縦断し、それぞれ、試料とする。試料断面を試作レーザー光齲蝕識別装置とカリオテスターとで硬さを測定し、比較、検討した。

4. 研究成果

光齲蝕診断計は、光源と、歯に当接する圧子と、受光素子とを備えている。圧子は、光透過性を有する材料からなり、圧子の先端部は、先細り形状を有している。光源から出射した光が圧子に入射すると、該入射光は圧子の先端部で反射される。このとき、圧子の先端部が何にも当接せず空気中にあると、該入射光は、屈折率の大きい媒質（圧子を構成する材料）から屈折率の小さい媒質（空気）に進むことで圧子の先端部において反射し、入射角によっては全反射が起きる。これを受光素子が検出する。逆に、圧子の先端部が歯に当接しているときは、全反射は起こりにくく、受光素子が検出する反射光は弱くなる。この反射光強度の減少を観測することで、当接した歯の情報を得る。

すなわち、圧子の先端部が歯に当接している部分の反射光強度は弱く、当接していない部分の反射光強度は強くなるため、受光素子が受光する反射強度は圧子の先端部が歯に当接している部分の面積が大きければ減少する。ここで、歯が柔らかいほど圧子の先端部が歯に侵入する深さが増大するから、圧子の先端部が歯に当接する面積は、歯が柔らかいほど大きく、歯が固いほど小さくなる。従って、歯が柔らかいほど圧子の先端部の当接面積は大きくなり反射光強度は弱くなり、歯が固いほど圧子の先端部の当接面積は小さくなり反射強度は強くなる。こうして、受光素子が検出する反射高強度を得ることで、歯の硬さを定量的に測定することができる。

本発明の光齲蝕診断計は、上述のように、歯に当接した圧子の先端部からの反射光を測定することで、歯の硬さを定量的に求め、齲蝕の診断を行う。これによれば、従来技術のように、充填剤や塗料、顕微鏡等を用いる煩雑な手順を経ずに、歯の硬さを定量的に測定できる。また、携帯に適した構成とすること

も可能であるため、どのような場所でも歯の硬さを測定し、齲蝕の診断ができる。

図 1 に光齲蝕診断計の概略図、および測定例を示す。本技術では歯の硬さを従来法と比べて極めて簡便に測定することができ、齲蝕の有無だけでなく、その進行程度を知ることができる。単に測定を行うだけでなく、パソコン、タブレット、スマートフォンのアプリケーションを通じてインターネット上のサーバーで測定結果を管理する。多くの患者から得られたビッグデータを活用した人工知能により、歯科医師が治療方針を決める際のサポートを行うことを目指す。齲蝕の切削の過不足が無い低侵襲な歯科治療を可能とするだけでなく、齲蝕の予防にも役立つ。齲蝕の予防は認知症、糖尿病、高血圧など他の疾患の抑制にもつながり、医療費の大幅な削減を期待できる。

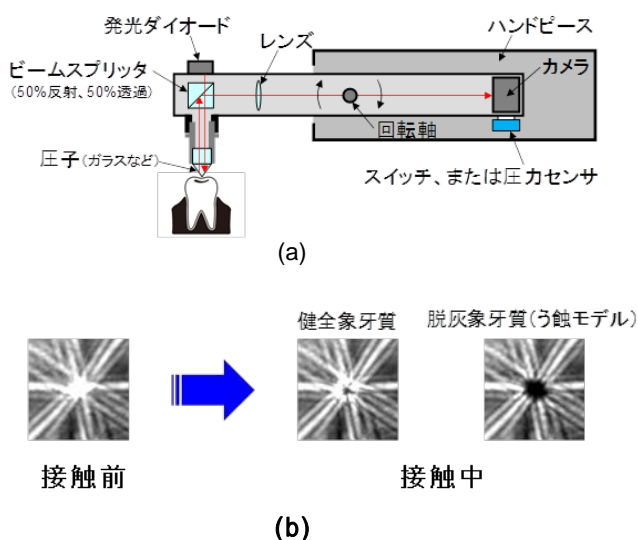


図 1 (a) 光齲蝕診断計の概略図、および (b) 測定画像の例。発光ダイオードから発した光を円錐形の圧子に入射し、圧子先端で反射した光をレンズで拡大してカメラに結像させる。圧子先端を歯に押し付ける力が特定の値（150 gf）に達すると、スイッチまたは圧力センサからの信号でカメラが撮像する。圧子先端で歯に接している部分では反射光が弱くなるが、この部分の面積は歯の硬さによって異なる。この面積を測定することで歯の硬さを測定することができる。

本装置を用いてウシ象牙質人工齲蝕試料にフォースゲージの値が150 gf（1.5 N、ヌーブ硬さ試験の標準的な荷重）となった時点の圧子先端部からの反射光の強度を撮像した。同一試料に対して、ランダムに5点ずつ測定した。同時に、同一試料のヌーブ硬さを測定した。結果を図2に示す。

ヌーブ硬さの低下に伴って、測定面積が大きくなり、模擬装置1によって試料の硬さが測定できることが確認された。また、ヌーブ硬さHKが64以上の健全象牙質の試料に対し、脱灰象牙質（齲蝕モデル）の試料では

面積が大きくなっているだけでなく、脱灰象牙質の試料の中でもヌーブ硬さと測定面積との間に相関関係がみられ、ヌーブ硬さの低下に伴って測定面積が大きくなった。反比例関係がみられた（反比例とまでは断定できませんので、ヌーブ硬さの低下に伴って、測定面積が大きくなったという程度に留めていただけたでしょうか。）。これにより、切削すべき歯と予防処置を行うべき歯との識別も可能であることがわかった。

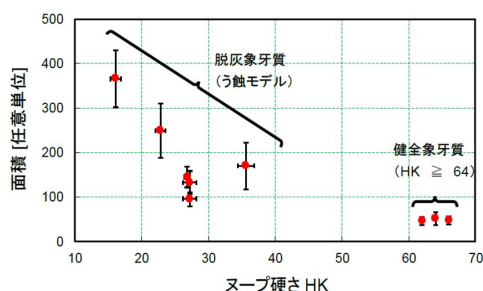


図 2

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 19 件)

- Iwasa K, Komasa R, Yoshikawa K, Yamamoto K. Effects of NOD1 in Human Dental Pulp Fibroblast Like Cells : Jpn J Conserv Dent, 2017 , 60(6):313-19. (査読有)
- Furusawa K, Yasuo K, Yoshikawa K, Yamamoto K. Sealing Ability of Enamel Crack Using Various Dentin Desensitizers : Jpn J Conserv Dent, 2017 , 60(1):1-13. (査読有)
- 保尾謙三, 高波, 岩田有弘, 吉川一志, 王人可, 黄定明, 山本一世. Er:YAG レーザー照射象牙質への前処理がコンポジットレジン接着強さに与える影響について:日本歯科保存学雑誌, 2016 , 59(6):489-496. (査読有)
- 間久直, 清水公太, 石井克典, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世, 粟津邦男. 齲蝕の選択的除去に向けた波長 2.94 および 5.80 μm のナノ秒パルスレーザーによるウシ脱灰象牙質切削特性の比較 日本レーザー歯学会誌, 2016, 27: 51 - 55. (査読有)
- 吉川一志, 保尾謙三, 森川裕仁, 井村和希, 古澤一範, 三浦樹, 平井千香子, 小正玲子, 谷本啓彰, 岩田有弘, 粟津邦男, 山本一世. レーザー高吸収体配合齲蝕検知液を併用した Er:YAG レーザーによる齲蝕の選択的除去:日本歯科保存学雑誌, 2016 , 59(3):259-265. (査読有)
- Hirota Y, Yokota K, Iwata N, Yoshikawa K, Yamamoto K. Study on Dental Hard Tissue Ablation by Er: YAG Laser: valuation on Tip Wear : Jpn J Conserv Dent, 2016 , 59(1):47-57. (査読有)
- Onda K, Hatsuoka Y, Yasuo K, Miura I, Tsutani K, Imura K, Morikawa Y, Iwasa K, Yoshikawa K, Yamamoto K. Adhesive Reconstruction of Vertical Dental Root Fractures : Jpn J Conserv Dent, 2016 , 59(1):1-8. (査読有)
- Nobuhiro Kato , Yuki Ido, Ei Yamamoto, Kenzo Yasuo, Kazushi Yoshikawa, Shigeki Hontsu. Overlaid Ultrathin Amorphous Calcium Phosphate Sheet Improves Dentinal Permeability Inhibition Rate, Key Engineering Materials, Vol. 696, pp. 99-102, 2016(査読有)
- Nobuhiro Kato, Arata Isai, Ei Yamamoto, Hiroaki Nishikawa, Masanobu Kusunoki, Kazushi Yoshikawa, Kenzo Yasuo, Kazuyo Yamamoto, Shigeki Hontsu Evaluation of Dentin Tubule Sealing Rate Improved by Attaching Ultrathin Amorphous Calcium Phosphate Sheet, Key Engineering Materials, Vol. 631, pp. 258-261, 2015(査読有)
- Yamamoto E, Kato N, Isai A, Nishikawa H, Hashimoto Y, Yoshikawa K, Hontsu S. A novel treatment for dentine cavities with intraoral laser ablation method using an Er:YAG laser Key Eng Mater 2015;631:262-266. (査読有)
- Nozu S, Matsuda T, Iwata N, Yoshikawa K, Yamamoto K. Influence of Light Curing Energy on Dentin Bond Strength Jpn J Conserv Dent, 2015 , 58(6):446-455. (査読有)
- 本津茂樹, 加藤暢宏, 山本衛, 吉川一志, 橋本典也, 西川博昭, 楠正暢. Er:YAG レーザーを用いたハイドロキシアパタイト膜の形成 : Journal of Bio-Integration, 2015, 4(1) 65-69. (査読有)
- 岩田有弘, 横田啓太, 廣田陽平, 保尾謙三, 吉川一志, 山本一世. 1 ボトル 1 ステップシステムの Er:YAG レーザー照射歯質に対する接着 : 日本レーザー歯

学会誌, 2015, 26(1)17-27. (査読有)

14. 本津茂樹, 山本 衛, 加藤暢宏, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世. Er:YAG レーザーアブレーション法を用いた歯質上へのアパタイト膜の直接形成 : 日本レーザー歯学会誌, 2015, 26(1)10-16.
15. Hattori Y, Iwata N, Yasuo K, Yoshikawa K, Yamamoto K. Study on Adhesion of Composite Resin using an in vitro Model of hypersensitive Dentin : Jpn J Conserv Dent, 2015, 58(1):26-34. (査読有)
16. Ishii K, Kita T, Yoshikawa K, Yasuo K, Yamamoto K, Awazu K. Selective removal of carious human dentin using a nanosecond pulsed laser operating at a wavelength of 5.85 μm . J Biomed Opt. 2015 May;20(5):051023. (査読有)
17. Kita T, Ishii K, Yoshikawa K, Yasuo K, Yamamoto K, Awazu K. In vitro study on selective removal of bovine demineralized dentin using nanosecond pulsed laser at wavelengths around 5.8 μm for realizing less invasive treatment of dental caries. Lasers Med Sci. 2015 Apr;30(3):961-7. Jan 7. PubMed PMID: 24395343. (査読有)

[学会発表](計 16 件)

1. Ouchi S, Onda K, Hatsuoka Y, Yoshikawa K, Yamamoto K. Influences of a bleaching agent with a titanium oxide photocatalyst on tooth adhesiveness. IFED 2017 Toyama 2017/09 富山県
2. 松尾優希, 間 久直, 石井克典, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世, 粟津邦男. 象牙質の低侵襲かつ高効率な切削に向けた波長 5.8 μm 帯量子カスケードレーザーのパルス構造の検討. 第 29 回日本レーザー歯学会 総会・学術大会 2017/09 新潟市
3. 保尾謙三, 横田啓太, 廣田陽平, 岩田有弘, 平井千香子, 吉川一志, 山本一世. 知覚過敏症罹患モデル象牙質を用いた CO₂ レーザーによる象牙細管封鎖性に関する研究. 第 29 回日本レーザー歯学会総会学術大会 2017/09 新潟市
4. Yasuo K, Hirota Y, Yokota K, Iwata N, Hirai C, Yoshikawa K, Yamamoto K. Study on Sealability of Dentinal Tubules With CO₂ Laser Using a Model of Hypersensitive Dentin. The15th Congress of the World Federation for

Laser Dentistry. 2016/07 Nagoya

5. Yoshikawa K, Yasuo K, Hirai C, Yokota K, Hirota Y, Iwata N, Kato N, Yamamoto E, Hontsu S, Yamamoto K. Direct Deposition of Apatite Film on Dentin Using Er:YAG Laser-ablation Method. The15th Congress of the World Federation for Laser Dentistry. 2016/07 Nagoya, Japan
6. Shimizu K, Ishii K, Hashimura K, Yoshikawa K, Yasuo K, Yamamoto K, Awazu K. Ablation property of demineralized dentin by nanosecond pulsed laser irradiation at wavelengths around 3 μm . The 5th Advanced Lasers and Photon Sources Conference(ALPS '16)2016/05 Yokohama
7. 保尾謙三, 黄地智子, 恩田康平, 宮地秀彦, 岩田有弘, 吉川一志, 山本一世. Er:YAG レーザー照射歯質に対するレジン添加型 GIC 修復の辺縁封鎖性について. 第 35 回日本接着歯学会学術大会. 2016/12 札幌市
8. 吉川一志, 澤井健司郎, 古澤一範, 保尾謙三, 谷本啓彰, 岩田有弘, 山本一世. 新規口腔内カメラについての研究. 第 23 回日本歯科医学会総会 2016/10 福岡市
9. 本津茂樹, 山本 衛, 加藤暢宏, 保尾謙三, 山本一世, 吉川一志. Er:YAG レーザーデポジション法を用いたアパタイト膜形成におけるミストアシストの効果. 第 28 回日本レーザー歯学会総会学術大会 2016/07 名古屋市
10. 清水公太, 間 久直, 石井克典, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世, 粟津邦男. 低侵襲齲蝕治療に向けた波長 3 および 6 μm 帯におけるウシ脱灰象牙質の切削特性の比較. 第 29 回日本レーザー医学会関西地方会 2016/07 奈良市
11. 松尾優希, 石井克典, 橋村圭亮, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世, 粟津邦男. 波長 5.8 μm 帯量子カスケードレーザーを用いた象牙質の切削特性におけるパルス構造の影響. レーザー学会学術講演会第 36 回年次大会 2016/01 名古屋市
12. 清水公太, 石井克典, 吉川一志, 保尾謙三, 山本一世, 粟津邦男. ナノ秒パルスレーザーを用いた脱灰象牙質の切削における波長 3 μm 帯の評価. 第 36 回日本レーザー医学会総会 2015/10 栃木

13. 野津繁生, 松田有之, 岩田有弘, 吉川一志, 山本一世. 照射エネルギーが接着強さに与える影響. 第142回日本歯科保存学会春季学術大会 2015/06 北九州市
14. 廣田陽平, 岩田有弘, 横田啓太, 吉川一志, 山本一世. Er:YAG レーザー照射法に関する研究 チップ損耗性についての検討. 第142回日本歯科保存学会春季学術大会 2015/06 北九州市
15. 保尾謙三, 廣田陽平, 横田啓太, 岩田有弘, 吉川一志, 山本一世. Er:YAG レーザー照射歯質に対するサンドイッチテクニックの検討. 第27回レーザー歯学会学術大会 2015/06 札幌市
16. 本津茂樹, 山本 衛, 加藤暢宏, 保尾謙三, 吉川一志, 山本一世. Er:YAG レーザーアブレーション法で象牙質上に形成したアパタイト膜の固着特性. 第27回レーザー歯学会学術大会 2015/06 札幌市

〔産業財産権〕

出願状況(計1件)

発明の名称:光う蝕診断計及び光う蝕診断方法、並びにう蝕診断システム

発明者:間 久直、粟津 邦男、吉川 一志

出願人:国立大学法人大阪大学、学校法人大阪歯科大学

出願番号:特願 2018-196773

出願日:2018年10月18日

6. 研究組織

(1)研究代表者

吉川 一志 (YOSHIKAWA, Kazushi)

大阪歯科大学・歯学部・准教授

研究者番号:30309182

(2)研究分担者

粟津 邦男 (AWAZU, Kunio)

大阪大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号:30324817

間 久直 (HAZAMA, Hisanao)

大阪大学・工学研究科・准教授

研究者番号:70437375