

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 13 日現在

機関番号：17501

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630072

研究課題名(和文)非平衡プラズマによる高含水バイオエタノール用点火装置の開発

研究課題名(英文)Development of ignition system for high water content bioethanol using non-thermal plasma

研究代表者

田上 公俊(TANOUE, KIMITOSHI)

大分大学・工学部・教授

研究者番号：60284783

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：発展途上地域で容易かつ安価に製造できる高含水バイオエタノールを発電に利用できれば、農産物から燃料製造、エネルギー利用まで完結した、いわゆる地産地消で利用できるシステムが提案可能となるが、高含水バイオエタノールの燃焼利用に際しては、特に点火が問題となっている。本研究では、高含水バイオエタノールを高効率・低公害に利用するため、「非平衡プラズマ」を利用した高含水バイオエタノール用点火装置の開発を目的として研究を行った。その結果、非平衡プラズマの点火装置および点火プラグの設計指針を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：If high water-containing bioethanol that can be easily and inexpensively manufactured in developing countries can be used for power generation, it will be possible to propose a system that can be used in so-called local production for local consumption, which is completed from agricultural products to fuel production and energy use. However, when burning and using high water content bioethanol, ignition is a problem especially. In this research, in order to utilize high water content bioethanol for high efficiency and low pollution, we have studied for the purpose of developing ignition system for high water content bioethanol utilizing "non-equilibrium plasma". As a result, we have obtained design guidelines for non-equilibrium plasma ignition system and spark plugs.

研究分野：熱工学

キーワード：プラズマ 点火 燃焼

1. 研究開始当初の背景

現在、地球温暖化問題や資源枯渇問題が深刻化する中、自然エネルギーへの関心が高まっている。中でもバイオマスはカーボンニュートラルな特徴を有する環境調和型のエネルギー資源としてその役割が強調されているが、急激に高まる発展途上国、特にアジア諸国のエネルギー需要に対してバイオマス利用をいかに普及・拡大するかが大きな課題の一つとなっている。現状、バイオ燃料の利用は水分をほとんど含まない高純度なバイオエタノールを単体、もしくはガソリンに混ぜて燃料として使用する方法が一般的である。しかしながら、エタノールを高純度化するためには、高価な製造設備が必要であり、さらに蒸留に多くのエネルギーを供給する必要があるため、発展途上国でのバイオマス利用の普及の妨げとなっている。高含水バイオエタノールの燃焼利用に際しては、特に点火が問題となっている。

2. 研究の目的

上記のように発展途上地域で容易かつ安価に製造できる高含水バイオエタノールを発電に利用できれば、農産物から燃料製造、エネルギー利用まで完結した、いわゆる地産地消で利用できるシステムが提案可能となるが、高含水バイオエタノールの燃焼利用に際しては、特に点火が問題となっている。本研究では、高含水バイオエタノールを高効率・低公害に利用するため、「非平衡プラズマ」を利用した高含水バイオエタノール用点火装置の開発を目的としている。

3. 研究の方法

図1に示すような定容燃焼器を用いて低温プラズマの点火特性を調査した。本燃焼装置は約13Lの内容積をもち、燃焼器の水平4方向には直径150mmの石英観測窓が備えられている。燃焼器内下部に混合気を均一に攪拌するために、サーボモータにより駆動するファンが取り付けられている。本研究では分圧により所定の組成で混合気を充てんし、ファンにより十分攪拌した後、予混合気が静止するまで十分な時間をおいて、IES式パルス電源により点火プラグにより点火し、燃焼実験を行った。

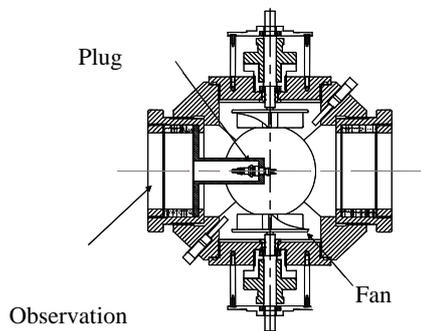


Fig.1 Cross-section view of combustion chamber

点火プラグには図2に示すような(b)電極間距離1.0mm(以降NTP10)、(c)電極間隔0.3mm(以降NTP03)及び、(d)電極面積を拡大したもの(以降NTP03W)を用いた。また、本研究では高速度カメラを用いたシュリーレン撮影法により火炎の可視化を行った。実験はプロパン・空気予混合気、当量比=1.0の条件で行った。

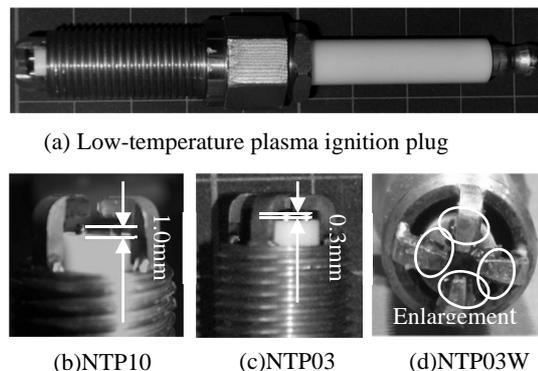


Fig.2 Low-temperature plasma ignition plug

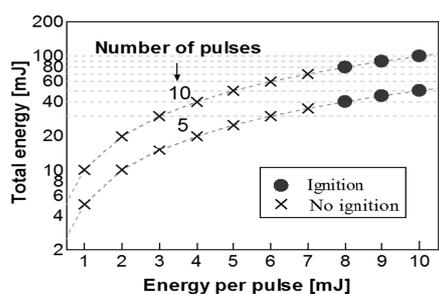
4. 研究成果

本研究では、低温プラズマ点火プラグ(NTP10、NTP03、NTP03W)の点火特性を比較した。

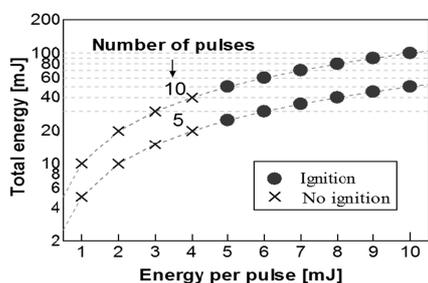
図3に初期温度300K、初期圧力0.5MP、繰り返し周波数は50kHzにおいて、パルスエネルギーとパルス数を変化させた場合の点火特性をNTP10とNTP03、NTP03Wそれぞれに対して示す。ここで図中の○は点火に至った条件、×は点火に至らなかった条件を表している。またパルスエネルギーとは1パルス当たりのエネルギーであり、Total Energyとはパルスエネルギーとパルス数の積である。図3において、パルスエネルギーが小さい領域で単純にパルス数を増やして合計エネルギーを大きくしても点火に至らない条件がある一方、パルスエネルギーが大きい領域でパルス数が少ない場合、すなわち合計エネルギーが小さい場合でも点火に至る条件がある。例えば図3(a)において、パルスエネルギー7mJの場合、パルス数10(合計エネルギー70mJ)では点火に至っていない。それに対してパルスエネルギー8mJの場合、パルス数5(合計エネルギー40mJ)で点火に至っている。この低温プラズマの点火特性は、基本的に合計エネルギーを増加させることで点火特性を向上できる熱プラズマとは異なっている。

図3で(a)NTP10と(b)NTP03を比較すると、電極間距離を1.0mmから0.3mmに変更することで、点火に必要なパルスエネルギーが8mJから5mJに下がっていることがわかる。これより電極間距離の短縮により最小点火エネルギーを少なくすることがわかる。また(b)NTP03と(c)NTP03Wを比較すると、同一電極間距離で外側電極を大きくし放電路

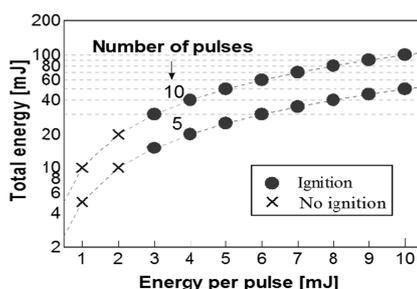
を拡大した NTP03W は点火に必要なパルスエネルギーが 5mJ から 3mJ に下がっている。これにより電極の面積を拡大することで最小点火エネルギーを小さくできることがわかる。これは複数の放電路を形成する低温プラズマの性質により、外側電極を拡大したことで体積的な点火が促進され、失火の影響を抑えながら点火に至る確率が向上したためと考えられる。以上のことから本研究の成果として最適な点火回路および点火プラグの設計指針が得られた。



(a)NTP10



(b)NTP03



(c)NTP03W

Fig.3 Effect of pulse energy on inflammability for low-temperature plasma ignition at 0.5MPa

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 10 件)

1. Kimitoshi Tanoue, Takanori Kimura, Taishu Jimoto, Jun Hashimoto, Yasuo Moriyoshi, Study of prechamber combustion characteristics in a rapid compression and expansion machine, Applied Thermal Engineering, Vol.115 pp.64-71, 2017.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.12.079>

2. Jun Hashimoto, Jun Hosono, Keisuke Shimizu, Ryota Urawaka, Kimitoshi Tanoue, Extinction Limits and Flame Structures of ETBE, DIPE and TAME non-Premixed Flames, Proceedings of the Combustion Institute, Vol.36, pp.1439-1446, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2016.05.010>.
3. Kimitoshi Tanoue, Taishu Jimoto, Takanori Kimura, Misato Yamamoto, Jun Hashimoto, Effect of initial temperature and fuel properties on knock characteristics in a rapid compression and expansion machine, Proceedings of the Combustion Institute, Vol.36, pp.3523-3531, 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2016.08.036>.
4. 田上公俊, 地本大秀, 木村貴憲, 橋本淳, 嶋田不美生, 急速膨張装置でのノッキング特性に及ぼす燃料性状の影響, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.2, pp.339-344, 2016. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020802040/>
5. Kimitoshi Tanoue, Yuichi Chado, Taiju Jimoto, Takashi Nomura, Fumio Shimada, Jun Hashimoto, Effect of Autoignition Characteristics of Fuels on Knocking Properties, International Journal of Engine Research, Vol. 17(6) 666-676, 2016. <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1468087415601785>.
6. 田上公俊, 森吉泰生, 堀田栄喜, 非平衡プラズマと点火, 日本燃焼学会誌 第 57 巻 180 号, 120-126, 2015. <http://www.combustionsociety.jp/journal/backnumber/mg180.html>.
7. 田上公俊, 藤本祐一郎, 細野淳, 高橋大樹, 清水慶祐, 橋本淳, 高圧下での炭化水素燃料の消炎特性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol.46, No.6, pp.1039-1044, 2015. <http://ci.nii.ac.jp/naid/40020675615>.
8. 田上公俊, 代替燃料の高度利用のための基礎燃焼特性の計測, 機械の研究, 養賢堂, Vol.68, No.11, pp.924-931, 2015. http://www.yokendo.com/julbook/kikai/k_67_11.htm.
9. Jun Hashimoto, Kimitoshi Tanoue, Norihiro Taide, Yoshito Nouno, Extinction Limits and Flame Structures of 1-butanol and Diethyl

Ether non-Premixed Flames, Proceedings of the Combustion Institute, Vol.35, pp.973-980, 2015
<http://dx.doi.org/10.1016/j.proci.2014.05.013>.

10. 橋本淳, 南野由登, 高橋大樹, 田上公俊, 森吉泰生, 直噴ガソリンエンジン内の燃料付着に起因するすす生成の数値解析, 自動車技術会論文集, Vol.45, No.5, pp.787-792, 2014.
<http://ci.nii.ac.jp/naid/40020223797>.

〔学会発表〕(計 40 件)

1. 今富 優貴, 田上 公俊, 橋本 淳, 嶋田 不美生, 高圧下での炭化水素燃料の火炎伝播特性に及ぼす水素添加の影響, 日本機械学会九州支部第 70 期総会・講演会講演論文集, 2017.3.14, 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
2. 畑 伸一郎, 稲富 孝彰, 田上 公俊, 森吉 泰生, 窪山 達也, 低温プラズマ点火の点火特性に関する研究, 日本機械学会九州支部第 70 期総会・講演会講演論文集, 2017.3.14, 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
3. 山元 太聖, 木村 貴憲, 橋本 淳, 田上 公俊, 急速圧縮膨張装置の自着火伝播火炎とノック特性に及ぼす温度成層化の影響, 日本機械学会九州支部第 70 期総会・講演会講演論文集, 2017.3.14, 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
4. 足立 久也, 伊東 朋晃, 高橋 美沙紀, 橋本 淳, 田上公俊, 対向流拡散火炎における芳香族炭化水素の生成特性に関する研究, 日本機械学会九州支部第 70 期総会・講演会講演論文集, 2017.3.14, 佐賀大学(佐賀県・佐賀市)
5. 田上 公俊, 木村 貴憲, 山元 太聖, 橋本 淳, 嶋田 不美生, 森吉 泰生, 急速圧縮膨張装置の火炎伝ばとノック特性に及ぼす温度勾配の影響, 第 27 回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2016.12.5, 東京工業大学(東京都)
6. 橋本 淳, 植田 拓巳, 鶴留 直之, 足立 久也, 田上 公俊, 拡散火炎における芳香族炭化水素の生成特性に関する研究, 第 27 回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2016.12.5, 東京工業大学(東京都)
7. 木村 貴憲, 山元 太聖, 橋本 淳, 嶋田 不美生, 田上 公俊, 森吉 泰生, 急速圧縮膨張装置の自着火伝播火炎とノック特性に及ぼす温度成層化の影響, 第 54 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2016.11.23, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)
8. 稲富 孝彰, 畑 伸一郎, 田上 公俊, 森吉 泰生, 窪山 達也, 低温プラズマの点火特性と点火プラグの耐久性に関する研究, 第 54 回燃焼シンポジウム講演

論文集, 2016.11.23, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)

9. 清水 慶祐, 松葉 貴洋, 橋本 淳, 嶋田 不美生, 田上 公俊, 高圧対向流火炎の消炎特性に及ぼす火炎形態の影響, 第 54 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2016.11.23, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)
10. 植田 拓巳, 鶴留 直之, 足立 久也, 橋本 淳, 田上 公俊, プール燃焼場における酸化剤温度が PAHs に及ぼす影響, 第 54 回燃焼シンポジウム講演論文集, 2016.11.23, 仙台国際センター(宮城県・仙台市)
11. Yasuo Moriyoshi, Qian Xiong, Yasushi Takahashi, Tatsuya Kuboyama, Koji Morikawa, Toshio Yamada, Masatoshi Suzuki, Kimitoshi Tanoue, Jun Hashimoto, Combustion Analysis in a Natural Gas Engine With Pre-Chamber to Improve Thermal Efficiency, CIMAC CONGRESS, 2016.6.8 Helsinki (Finland)
12. 橋本 淳, 井上 達朗, 中村 健, 鶴留 直之, 植田 拓巳, 田上公俊, プール燃焼場における多環芳香族炭化水素の生成特性に関する研究, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper, 2016.5, (6pages), パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
13. 田上公俊, 地本大秀, 木村貴憲, 橋本 淳, 急速圧縮膨張装置の自着火伝ば火炎とノック特性に関する研究, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper, 2016.5.25, (6pages) パシフィコ横浜(神奈川県・横浜市)
14. 清水 慶祐, 藤本 祐一郎, 嶋田 不美生, 橋本 淳, 田上 公俊, 高圧下における炭化水素火炎の消炎特性に及ぼす火炎形態の影響, 日本機械学会九州支部第 69 期総会・講演会講演論文集, 2016.3.15, 熊本大学(熊本県・熊本市)
15. 植田 拓巳, 鶴留 直之, 橋本 淳, 田上 公俊, プール燃焼場に生成されるすす前駆体の計測, 日本機械学会九州支部第 69 期総会・講演会講演論文集, 2016.3.15, 熊本大学(熊本県・熊本市)
16. 木村貴憲, 地本大秀, 橋本淳, 田上公俊, 森吉泰生, RCEM による副室式点火の燃焼特性に関する研究, 第 26 回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2015.12.8, 京都テルサ(京都府・京都市)
17. 橋本 淳, 植田 拓巳, 鶴留 直之, 高橋 大樹, 田上 公俊, 窪山 達也, 森吉 泰生, 壁面付着燃料の蒸発と燃焼により生じる粒子状物質に関する研究, 第 26 回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2015.12.10, (京都市・京都府)
18. 野村貴志, 稲富孝彰, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 堀田栄喜, 低温プラズマの点火特性に関する研究, 第 53 回燃焼

- シンポジウム講演論文集, 2015.11.16, つくば国際会議場(つくば市・茨城県)
19. 地本大秀, 木村貴憲, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, 燃料性状がRCEMのノッキング特性に及ぼす影響, 第53回燃焼シンポジウム講演論文集, 2015.11.17, つくば国際会議場(つくば市・茨城県)
 20. 鶴留直之, 高橋大樹, 植田拓巳, 橋本淳, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 壁面付着燃料の蒸発と燃焼により生じるPMに関する数値解析, 第53回燃焼シンポジウム講演論文集, 2015.11.17, つくば国際会議場(つくば市・茨城県)
 21. 細野淳, 浦川涼太, 田上公俊, 橋本淳, ETBEおよびDIPE拡散火炎の着火・消炎特性に関する研究, 第53回燃焼シンポジウム講演論文集, 2015.11.17, つくば国際会議場(つくば市・茨城県)
 22. 田中光太郎, 吉田翔一, 地本大秀, 木村貴憲, 橋本淳, 田上公俊, 小島健, 低温度域における1-ペンテン及び2-ペンテンの自着火, 第53回燃焼シンポジウム講演論文集, 2015.11.18, つくば国際会議場(つくば市・茨城県)
 23. Kimitoshi TANQUE, Yuichi Chado, Takashi Nomura, Kengo Yoshida, Jun Hashimoto, Flame propagation characteristics of premixed hydrocarbon fuels at elevated pressures, 2015 Powertrains, Fuels & Lubricants Meeting, Kyoto 2015, SAE 2015-01-1951 国際会議発表, (京都市・京都府)
 24. 藤本祐一郎, 田上公俊, 橋本淳, 清水慶祐, 嶋田不美生, 各種条件下における炭化水素火炎の消炎特性に関する研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス, 2015.10.24, 大阪大学(大阪市・大阪府)
 25. 地本大秀, 木村貴憲, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, RCEMでのノッキング特性に及ぼす燃料性状の影響, 自動車技術会秋季大会, 2015.10.15, 北九州国際会議場(北九州市・福岡県)
 26. 橋本淳, 南野由登, 高橋大樹, 田上公俊, 森吉泰生, 直噴ガソリンエンジン内の燃料付着に起因するすす生成の数値解析, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper, 2015.5, (6pages), パシフィコ横浜(横浜市・神奈川県)
 27. 田上公俊, 藤本祐一郎, 細野淳, 高橋大樹, 清水慶祐, 橋本淳, 高圧下での炭化水素燃料の消炎特性に関する研究, 自動車技術会春季大会講演論文集, Paper, 2015.5, (6pages), パシフィコ横浜(横浜市・神奈川県)
 28. 地本大秀, 茶堂勇一, 加藤義隆, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, 混合燃料の性状がRCEMでのノック特性に及ぼす影響, 日本機械学会九州支部第68期総会・講演会講演論文集, 2015.3.13, 福岡大学(福岡市・福岡県)
 29. 藤本祐一郎, 細野淳, 田上公俊, 橋本淳, 高圧雰囲気下における炭化水素燃料の消炎特性に関する研究, 日本機械学会九州支部第68期総会・講演会講演論文集, 2015.3.13, 福岡大学(福岡市・福岡県)
 30. 高橋大樹, 南野由登, 茶堂勇一, 橋本淳, 加藤義隆, 田上公俊, 非一様温度場を用いたノック強度低減手法に関する数値解析, 日本機械学会九州支部第68期総会・講演会講演論文集, 2015.3.13, 福岡大学(福岡市・福岡県)
 31. 茶堂勇一, 高橋大樹, 地本大秀, 野村貴志, 加藤義隆, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, 燃料の自着火特性がRCEMでの圧力波およびノッキング特性に及ぼす影響, 第52回燃焼シンポジウム講演論文集, 2014.12, 岡山コンベンションセンター(岡山市・岡山県)
 32. 吉田健悟, 南野由登, 茶堂勇一, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, 田中光太郎, 小島健, 高圧下におけるトルエンおよびPRFの層流燃焼特性に関する研究, 第52回燃焼シンポジウム講演論文集, 2014.12, 岡山コンベンションセンター(岡山市・岡山県)
 33. 南野由登, 高橋大樹, 橋本淳, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 壁面付着燃料の燃焼に伴うすすの排出に関する研究, 第52回燃焼シンポジウム講演論文集, 2014.12, 岡山コンベンションセンター(岡山市・岡山県)
 34. 橋本淳, 南野由登, 高橋大樹, 田上公俊, 窪山達也, 森吉泰生, 壁面付着燃料の燃焼から生じるすすの計測と数値解析, 第25回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2014.11.26, (6pages), 産総研つくば(つくば市・茨城県)
 35. 加藤義隆, 茶堂勇一, 高橋大樹, 地本大秀, 野村貴志, 嶋田不美生, 橋本淳, 田上公俊, 着火遅れの異なる燃料がノッキング特性に与える影響, 第25回内燃機関シンポジウム講演論文集, 2014.11.26, (6pages), 産総研つくば(つくば市・茨城県)
 36. 茶堂勇一, 野村貴志, 吉田健悟, 橋本淳, 嶋田不美生, 田上公俊, 高圧下における予混合炭化水素燃料の火炎伝ば特性に関する研究, 日本機械学会熱工学コンファレンス2014, 2014.11.24, ららぽーと豊洲(東京都)
 37. 橋本淳, 南野由登, 高橋大樹, 田上公俊, 森吉泰生, ガソリンの壁面付着に伴うすす生成の数値解析, 日本機械学会熱工学コンファレンス2014, ららぽーと豊洲(東京都)
 38. 高橋大樹, 南野由登, 茶堂勇一, 橋

- 本 淳, 加藤 義隆, 田上 公俊, 前炎反
応とノック特性に関する数値解析, 日
本機械学会九州支部大分講演会,
2014.9.20, ホルトホール大分(大分市・
大分県)
39. 茶堂 勇一, 地本 大秀, 野村 貴志, 加
藤 義隆, 嶋田 不美生, 橋本 淳, 田上 公
俊, 急速圧縮膨張装置を用いたノッキ
ングの特性の解明に関する研究, 日本
機械学会九州支部大分講演会,
2014.9.20, ホルトホール大分(大分市・
大分県)
40. 橋本淳, 南野由登, 高橋大樹, 田上公俊,
森吉泰生, 直噴ガソリンエンジン内の
燃料付着に起因するすす生成の数値解
析, 自動車技術会春季大会講演論文集,
Paper, 2014.5, (6pages), パシフィコ
横浜(横浜市・神奈川県)

〔図書〕(計1件)

1. 田上公俊
非平衡プラズマによる点火
革新的燃焼技術による高効率内燃機関
開発最前線, NTS, 45-48, 2015.

〔産業財産権〕

- 出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田上 公俊(TANOUE KIMITOSHI)
大分大学・工学部・教授
研究者番号: 60284783

(3) 連携研究者

堀田 栄喜(HOTTA EIKI)
東京工業大学・大学院総合理工学研究科・
教授
研究者番号: 70114890

森吉 泰生(MORIYOSHI YASUO)
千葉大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号: 40230172

橋本 淳(HASHIMOTO JUN)
大分大学・工学部・准教授
研究者番号: 00342551