

平成21年 4月21日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18360074
 研究課題名（和文） 射出成型型 RB セラミックスのノンオイルトライボシステムへの応用
 研究課題名（英文） Application of RB ceramics prepared by use of injection molding to non-oil tribo-system
 研究代表者
 堀切川 一男 (HOKKIRIGAWA KAZUO)
 東北大学・大学院工学研究科・教授
 研究者番号：60173605

研究成果の概要：本研究では、射出成型を用いた新しいRBセラミックス（射出成型型RBセラミックス）を製造し、同材料の大気中無潤滑下、水潤滑下、真空環境下での摩擦・摩耗特性を明らかにした。その結果、射出成型型RBセラミックスは、大気中無潤滑下、水潤滑下において、幅広いすべり速度、荷重条件下で0.2以下の低い摩擦係数、 $10^{-8}\text{mm}^2/\text{N}$ 以下の低い比摩耗量を示した。また、大気圧環境（ $1 \times 10^5\text{Pa}$ ）から $6 \times 10^{-3}\text{Pa}$ までの雰囲気圧力環境において、アルミナを相手材料とすることで0.03程度の極めて低い摩擦係数を示すことが判った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	5,900,000	1,770,000	7,670,000
2007年度	4,000,000	1,200,000	5,200,000
2008年度	4,900,000	1,470,000	6,370,000
年度			
年度			
総計	14,800,000	4,440,000	1,9240,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：RBセラミックス、射出成型、摩擦、摩耗、摺動材料

1. 研究開始当初の背景

圧縮成型型RBセラミックスの製造法は、焼成時の寸法収縮率がおおよそ25%と大きく、複雑形状品の製造が困難であること、量産品の製造に向かないこと、焼成後の後加工が必要であることなどの欠点を有しているため、優れた摩擦・摩耗特性を有しながらも圧縮成型型RBセラミックスの適用範囲は限られたものになっていた。そこで、炭化焼成時の寸法収縮率が小さく、従来の製造方法によるRBセラミックスに比べ、高強度、優れたトライボロジー特性を示すRBセラミックスの製造方法の開発が望まれている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、射出成型を用いた新しいRBセラミックスの製造方法を確立し、射出成型型RBセラミックスのノンオイルトライボシステムへの応用を図るべく、様々な環境下での摩擦・摩耗特性を明らかにすることである。

3. 研究の方法

(1) 射出成型を用いた新しいRBセラミックスの開発

脱脂ぬかにフェノール樹脂を25wt%含浸させ、大気中180℃で乾燥後、同混合粉末を

雰囲気炉にて窒素ガス 900℃のもとで炭化焼成し、RB セラミックス粉体を製造する。次に、RB セラミックス粉体 (75wt%) とフェノール樹脂 (25wt%) を混練しペレットを作製する。このペレットを用いて、射出成形により所定の形状に成形する。そして、この成形体を再度 900℃の窒素雰囲気中で炭化焼成させることにより、射出成型型 RB セラミックスを製造する。これら一連の製造方法の概略図を図 1 に示す。

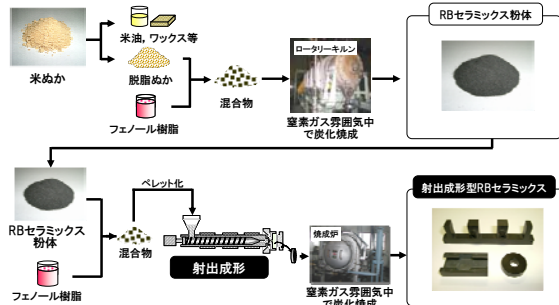


図 1 射出成型型 RB セラミックスの製造方法の概略図

(2) 機械的性質の評価

万能試験機、ビッカース硬度計、水銀圧入式ポロシメータを用いて、弾性率、圧縮強度、ビッカース硬度および細孔径分布を明らかにする。

(3) トライボロジー特性評価試験

ボールオンディスク型摩擦摩耗試験装置を用いて、射出成型型 RB セラミックスの大気中無潤滑下、水潤滑下における摩擦・摩耗特性を明らかにする。また、真空対応型ボールオンディスク摩擦摩耗試験システムを用いて、射出成型型 RB セラミックスの摩擦・摩耗に及ぼす雰囲気圧力の影響を明らかにする。また、荷重、すべり速度ともに幅広い条件下で実験を行う。相手ボール試験片の材料としては、アルミナ、ステンレス鋼 (SUS304)、高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2) を用いた。

4. 研究成果

(1) 射出成形を用いた新しい RB セラミックスの開発

射出成型型 RB セラミックスは、15GPa という低い弾性率を示す一方で、最大 300MPa の圧縮強度を示し、従来の圧縮成型型 RB セラミックスのおよそ 4.5 倍の高強度を有することが判った。また、射出成型型 RB セラミックスは、平均 4GPa のビッカース硬度を示し、圧縮成型型 RB セラミックスとほぼ同等の値を示すことが判った。また、図 2 の SEM 観察像に示されるように、射出成型型 RB セラミックス表面には多数の気孔が存在し、多孔質構造を有していることが判る。さらに、水銀圧入法による細孔径分布測定の結果、図

3 に示されるように、射出成型型 RB セラミックスは、直径 800nm と直径 5nm に細孔径のピークを有することが判った。

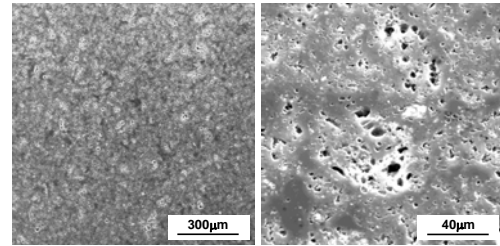


図 2 射出成型型 RB セラミックスの SEM 観察像

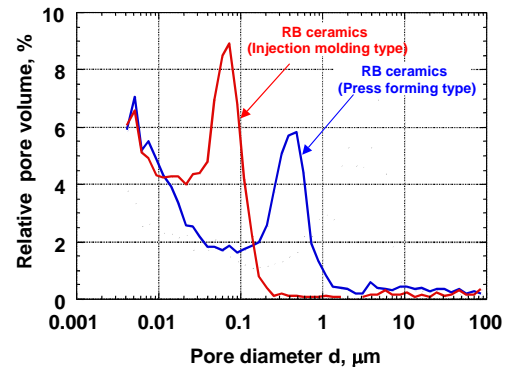


図 3 射出成型型 RB セラミックスの細孔径分布

(2) 射出成型型 RB セラミックスの大気中無潤滑下における摩擦・摩耗特性

大気中無潤滑下における摩擦試験の結果、図 4 に示されるように、大気中無潤滑下における射出成型型 RB セラミックスの摩擦係数は、相手材料によらず、幅広いすべり速度、接触圧力条件下において、およそ 0.2 あるいはそれ以下の低い値を示すことが判った。また、射出成型型 RB セラミックスは、大気中無潤滑下において、すべり速度の増加に対して、ほぼ一定の摩擦係数を示すことから、スティック・スリップの抑制効果を有するといえる。さらに、図 4 より、射出成型型 RB セラミックスは、相手材料によらず、 10^{-9} mm²/N 付近あるいはそれ以下の比摩耗量を示し、優れた耐摩耗性を有することが判った。

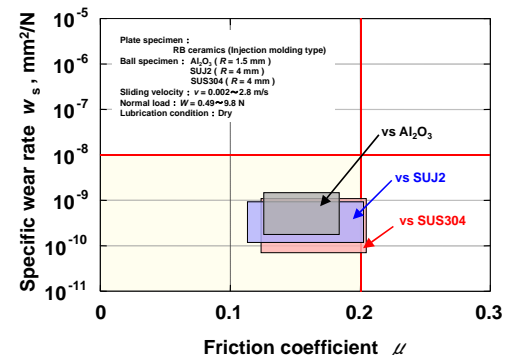


図 4 大気中無潤滑下における射出成型型 RB セラミックスの摩擦・摩耗特性

(3)射出成型型 RB セラミックスの水潤滑下における摩擦・摩耗特性

水潤滑下における射出成型型 RB セラミックスのステンレス鋼(SUS304)に対する摩擦係数は、0.02m/s～1.0m/sのすべり速度条件下において、0.2 あるいはそれ以下の値を示すことが判った。また、同条件において、射出成型型 RB セラミックスの比摩耗量は、 $10^{-8}\text{mm}^2/\text{N}$ 以下の非常に低い値を示し、耐摩耗性に優れることが判った。

(4)射出成型型 RB セラミックスの真空環境下における摩擦・摩耗特性

図 5, 図 6 にそれぞれ、垂直荷重 0.49N, すべり速度 0.3m/s における射出成型型 RB セラミックスの摩擦係数, 比摩耗量に及ぼす雰囲気圧力の影響を示す。図 5 より, 射出成型型 RB セラミックスの摩擦係数は、0.6Pa 以下の雰囲気圧力において、相手材料によって大きく異なり, アルミナを相手材料に用いることにより, 雰囲気圧力 10^{-3}Pa , 10^{-6}Pa の低真空環境下において, 0.05 あるいはそれ以下の極めて低い摩擦係数を示すことが判る。また, 図 6 から判るように, 射出成型型 RB セラミックスの比摩耗量は, 相手材料にアルミナを用いることにより, 大気圧環境～雰囲気圧力 10^{-6}Pa の低真空環境の範囲で $10^{-8}\text{mm}^2/\text{N}$ 以下の低い値を示すことが判る。一方, SUJ2, SUS304 を相手材料に用いた場合には, 摩擦係数, 射出成型型 RB セラミックスの比摩耗量ともに, 低真空環境下 (雰囲気圧力 $6\times 10^{-3}\text{Pa}$)において高い値を示す。

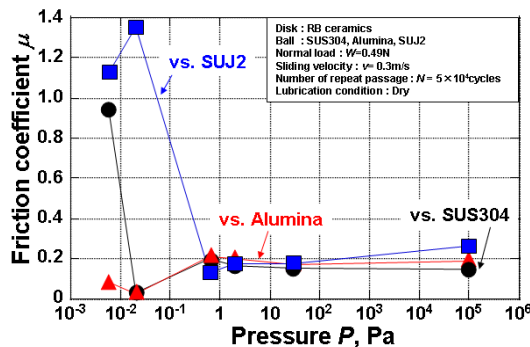


図 5 雰囲気圧力と摩擦係数の関係

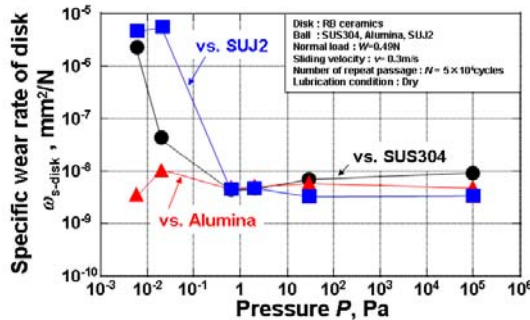
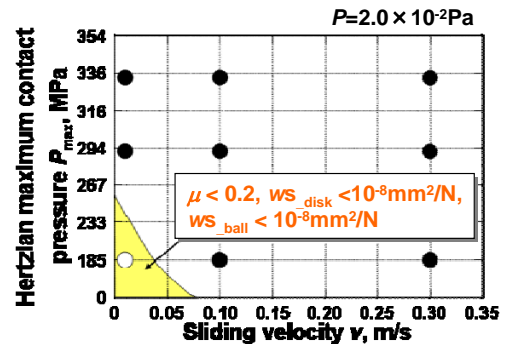
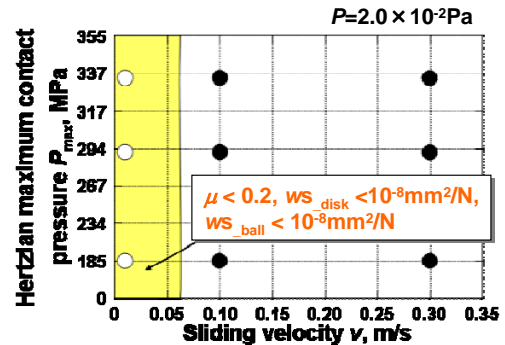


図 6 雰囲気圧力と射出成型型 RB セラミックスの比摩耗量の関係

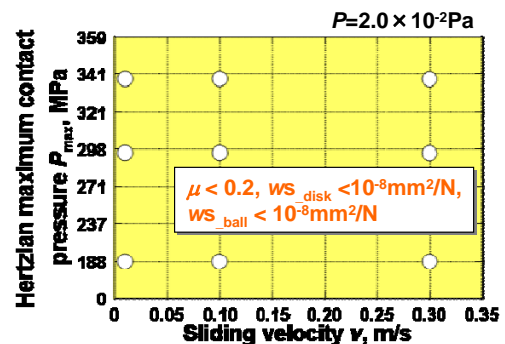
図 7 に, 低真空環境下 (雰囲気圧力 $2\times 10^{-2}\text{Pa}$) における射出成型型 RB セラミックスの摺動材料としての好適使用条件 (すべり速度, 接触圧力) を示す。ここで, 好適使用条件とは, 摩擦係数が 0.2 未満, 射出成型型 RB セラミックスの比摩耗量, 相手ボール試験片の比摩耗量が実用上の目安といわれる $10^{-8}\text{mm}^2/\text{N}$ 未満の値を示す, すべり速度, 接触圧力の条件である。これらの図から判るように, アルミナを相手材料に用いた場合, 本研究のすべり速度 (0.01～0.3m/s), 接触圧力 (ヘルツ最大接触圧力にして 184MPa～339MPa) 条件下において, 良好な摩擦・摩耗特性を示すことが判る。以上のことから, 雰囲気圧力 $6\times 10^{-3}\text{Pa}$ までの低真空環境下においても, アルミナを相手材料とすることで, 射出成型型 RB セラミックスは摺動材料として使用可能であることが判った。



(a) 相手材料: 高炭素クロム軸受鋼 (SUJ2)



(b) 相手材料: ステンレス鋼 (SUS304)



(c) 相手材料: アルミナ

図 7 雰囲気圧力 $2\times 10^{-2}\text{Pa}$ における射出成型型 RB セラミックスの摺動材料としての好適使用条件

以上のことから、射出成型型RBセラミックスは、大気中無潤滑下、水潤滑下において、幅広いすべり速度、荷重条件下で0.2以下の低い摩擦係数、 10^{-8} mm²/N以下の低い比摩耗量を示すことが判った。さらに、 6×10^{-3} Paまでの雰囲気気圧力環境において、アルミナを相手材料とすることで0.03程度の極めて低い摩擦係数を示すことが判った。このことから、射出成型型RBセラミックスは、様々な環境における摺動材料として応用が期待される。

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9件)

1. Kei Shibata, Takeshi Yamaguchi, Junichiro Mishima and Kazuo Hokkirigawa, Friction and wear properties of copper/carbon/RB ceramics composite materials under dry condition, Tribology online, (査読有) 3 (4) (2008) 222-227.
2. Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokkirigawa, Development and applications of hard porous carbon materials "RB ceramics" made from Rice Bran, Proceedings of Malaysia-Japan International Symposium on Advanced Technology (MJISAT) 2007, (査読有) (2007) (CD-ROM).
3. Kazuo Hokkirigawa and Takeshi Yamaguchi, Development of high grip shoe soles by using rubber/RB ceramics composites, Proceedings of the International Conference on Slips, Trips, and Falls 2007: From Research to Practice, (査読有) (2007) 163-167.
4. T. Yamaguchi and K. Hokkirigawa, Development of hard porous carbon materials RB ceramics and their tribological applications, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 387-388.
5. T. Yamaguchi, F. Sato, N. Muroi and K. Hokkirigawa, The effect of temperature and relative humidity on friction and wear properties of RB ceramics, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 385-386.
6. M. Akiyama, K. Matsumoto, T. Yamaguchi, and K. Hokkirigawa, Tribological properties of PA66/RB ceramics composites under dry and oil lubricated conditions, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 383-384.
7. T. Yamaguchi, T. Sekiguchi, H. Toyoshima, E. Kohira, S. Shikano and K. Hokkirigawa,

Friction and wear properties of new hard porous carbon materials made from rice chaff, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 379-380.

8. T. Yamaguchi, Y. Zhou, K. Hirao, Y. Kino, H. Matsuura and K. Hokkirigawa, Friction and wear properties of SiC/RB ceramics composites, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 377-378.
9. K. Hokkirigawa, T. Yamaguchi, Y. Suzuki, K. Abe and R. Aiuchi, Development of high friction shoe soles using rubber/RB ceramics composites, Proceedings of the Third Asia International Conference on Tribology, (査読有) (2006) 67-68.

[学会発表] (計28件)

1. Takeshi Yamaguchi, Development and applications of hard porous carbon materials RB ceramics through industry-academia-government collaboration in Japan, nanotec2009.it, March 31– April 3, 2009, Roma, Italy. **[Invited]**
2. Tuvshin Dugarjav, Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokkirigawa, Friction and wear properties of new hard porous carbon materials "Rice Husk Ceramics", 2nd International Conference on Advanced Tribology 2008 (iCAT 2008), December 3-5, 2008, Singapore.
3. Kei Shibata, Yuta Yao, Takeshi Yamaguchi, Junichiro Mishima and Kazuo Hokkirigawa, Development of high wear resistant composites for pantograph sliders of railway current collector, 2nd International Conference on Advanced Tribology 2008 (iCAT 2008), December 3-5, 2008, Singapore.
4. Tuvshin Dugarjav, Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokkirigawa, Friction and wear properties of Rice Husk ceramics under dry condition, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2008 秋名古屋, 2008年9月16-19日, 名古屋.
5. 山口健, 畠中慎太郎, 山内浩彰, 小野寺宏, 堀切川一男, 歩行中のすべりに起因する転倒の防止に関する研究, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2008 秋名古屋, 2008年9月16-19日, 名古屋.
6. 山口健, 清水優子, 堀切川一男, ポリベンゾイミダゾール樹脂の大気中無潤滑下における摩擦・摩耗特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2008 秋名古屋, 2008年9月16-19日, 名古屋.

7. 柴田圭, 山口健, 八尾勇太, 三島潤一郎, 堀切川一男, Cu/C/RBC複合材料の通電条件下における摩擦・摩耗特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2008秋名古屋, 2008年9月16-19日, 名古屋.
8. 柴田圭, 山口健, 八尾勇太, 堀切川一男, Cu/C/RBC複合材料の水潤滑下における摩擦・摩耗特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議 2008 秋名古屋, 2008年9月16-19日, 名古屋.
9. 渡辺勇一, 草野譲一, 堀切川一男, 山口健, 白田良晴, RB (米糠) セラミックを用いたリニアアモーションガイドの耐放射線性, 第5回加速器学会・第33回リニアック技術研究会, 2008年8月6-8日, 広島.
10. 柴田圭, 山口健, 八尾勇太, 三島潤一郎, 堀切川一男, 大気中無潤滑下におけるCu/C/RBC複合材料のトライボロジー特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2008春東京, 2008年5月12-14日, 東京.
11. Tuvshin Dugarjav, Takeshi Yamaguchi, Shohei Katakura and Kazuo Hokkirigawa, Tribological properties of hard porous carbon materials made from rice husk under dry condition, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2008春東京, 2008年5月12-14日, 東京.
12. 山口健, 室井直樹, 石崎達也, 堀切川一男, 真空環境におけるRBセラミックのトライボロジー特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2008春東京, 2008年5月12-14日, 東京.
13. 柴田圭, 山口健, 三島潤一郎, 堀切川一男, RBセラミックを配合した耐摩耗集電材料の開発, 日本機械学会東北支部第43期総会・講演会, 2008年3月15日, 仙台.
14. Kazuo Hokkirigawa and Takeshi Yamaguchi, Development of hard porous carbon materials RB ceramics and their practical applications, The 5th International Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology, March 6-7, 2008, Sendai, Japan,.
15. Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokkirigawa, Development and applications of hard porous carbon materials RB ceramics made from Rice bran, Malaysia-Japan International Symposium on Advanced Technology 2007 (MJISAT 2007), November 12-15, 2007, Kuala Lumpur, Malaysia. 【Invited】
16. 室井直樹, 山口健, 堀切川一男, RBセラミックの真空中における摩擦・摩耗特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2007秋佐賀, 2007年9月26日, 佐賀.
17. 柴田圭, 山口健, 三島潤一郎, 堀切川一男, 銅/RBセラミックス複合材料の大気中無潤滑下における摩擦・摩耗特性の解明, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2007秋佐賀, 2007年9月26日, 佐賀.
18. Takeshi Yamaguchi and Kazuo Hokkirigawa, Development of high grip shoe soles by using rubber/RB ceramics composites, International Conference on slips, trips and falls 2007 : From Research to Practice, August 23-24, 2007, Hopkinton, MA, USA.
19. 安藤淳二, 大森俊英, 村瀬篤, 高橋直子, 舟橋直紀, 山口健, 堀切川一男, ATF潤滑下におけるSi含有DLC膜のトライボロジー特性, 日本トライボロジー学会トライボロジー会議2007春東京, 2007年5月28-30日, 東京.
20. T. Yamaguchi, H. Matsuura and K. Hokkirigawa, Development of phenol resin/RB ceramics composites for sliding bearing in water, The 4th International Symposium on Mechanical Science Based on Nanotechnology, Feb. 22-23, 2007, Sendai, Japan,.
21. 村井ユリ子, 藤盛啓成, 横塚紀美子, 赤坂純逸, 庄子由美, 仲富千端, 糸山泰人, 里見進, 中村祐次, 山口健, 堀切川一男, 入院患者用安全サンダル“安全足進”の開発, 医療の質・安全学会第1回学術集会, 2006年11月23日~24日, 東京.
22. K. Hokkirigawa, T. Yamaguchi, Y. Suzuki, K. Abe and R. Aiuchi, Development of high friction shoe soles using rubber/RB ceramics composites, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
23. T. Yamaguchi, K. Abe, Y. Suzuki, R. Aiuchi, T. Nomura, S. Nomura, Y. Ota, N. Miyata and K. Hokkirigawa, Evaluation of slip resistance between shoe soles and floor materials by using portable static friction tester, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
24. T. Yamaguchi, Y. Zhou, K. Hirao, Y. Kino, H. Matsuura and K. Hokkirigawa, Friction and wear properties of SiC/RB ceramics composites, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
25. T. Yamaguchi, T. Sekiguchi, H. Toyoshima,

東北大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：50332515
(3) 連携研究者

- E. Kohira, S. Shikano and K. Hokkirigawa, Friction and wear properties of new hard porous carbon materials made from rice chaff, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
26. M. Akiyama, K. Matsumoto, T. Yamaguchi, and K. Hokkirigawa, Tribological properties of PA66/RB ceramics composites under dry and oil lubricated conditions, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
27. T. Yamaguchi, F. Sato, N. Muroi and K. Hokkirigawa, The effect of temperature and relative humidity on friction and wear properties of RB ceramics, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.
28. T. Yamaguchi and K. Hokkirigawa, Development of hard porous carbon materials RB ceramics and their tribological applications, The 3rd Asia International Conference on Tribology (ASIATRIB 2006 KANAZAWA, JAPAN), Oct. 16-19, 2006, Kanazawa Japan.

〔図書〕(計2件)

1. 堀切川一男, 山口健, 米ぬかを原料とする硬質多孔性炭素材料「RBセラミックス」, セラミックデータブック(2007年度版), 35, (2007) 75-79.
2. 堀切川一男, 山口健, 硬質多孔性炭素材料「RBセラミックス」, エコマテリアルハンドブック, (2006) 495-497.

〔産業財産権〕

○出願状況(計1件)

名称：複合材料及び集電部材

発明者：三島潤一郎, 吉田豊, 大戸伸一,

堀切川一男, 山口健, 柴田圭

権利者：東日本旅客鉄道株式会社, 国立大学法人東北大学

種類：特許権

番号：特開 2009-62562

出願年月日：2007年9月5日

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堀切川一男 (HOKKIRIGAWA KAZUO)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：60173605

(2) 研究分担者

山口健 (YAMAGUCHI TAKESHI)