

論文内容要旨（和文）

氏名 吉田圭吾

論文題目 農業系副産物を利用した多孔質炭素材料の開発と
その応用に関する研究

炭素材料は古くから利用されてきた材料である。身近なものでは鉛筆の芯、脱臭剤、乾電池やタイヤの充填剤などがあり、工業的にはアルミニウムや鉄鋼用溶解炉の黒鉛電極、発熱体や耐熱材、機械用軸受けなど多方面に利用されている。また、技術開発の進展に伴い、原子炉用の高密度黒鉛や高性能炭素繊維、生体用バイオカーボンなどの新しい炭素材料を始めとして、航空・宇宙、原子力、電子、電機、生物などの幅広い分野に利用されている。このように炭素材料が幅広く利用される理由として、軽量、高強度、導電性・耐熱性に優れる、自己潤滑性に優れる、低熱膨張率などの特性を有することが挙げられる。

一方、我が国における米の生産量は年間約850万トンであり、その生産過程で非食部である籾殻、米ぬかといった農業系副産物が多量に生じている。この多量に生じる農業系副産物の利用法として、家畜の飼料や肥料といった農業への利用や、米ぬかを精製して米油などを得るなどの食生活に関わる分野での利用がある。これらの利用の他に、天然素材に含まれるミネラル成分や多孔質構造を積極的に活用しようとする試みがなされ、新たな利用法が幅広い視点から模索されてきた。そこで開発されたのが、籾殻焼成多孔質炭素材料（RHSC：Rice Hull Silica Carbon）と、米ぬか焼成多孔質炭素材料（RBC：Rice Bran Carbon）である。

これらの多孔質炭素材料は、籾殻や米油精製後の脱脂ぬかに熱硬化性のフェノール樹脂を含浸させ、窒素雰囲気下で高温炭化焼成することによって得られる。RHSCを形成する無機化合物の95%以上はシリカであり、水溶性化合物を含まないことから、高湿条件下や水環境下でも使用できる摺動部材や複合材料の充填材（フィラー）等、工業分野における積極的な利用が検討されている。RBCには米ぬか由来のリンが多く含まれており、低電気抵抗率、耐摩耗性を有するなどの特徴があり、RHSC同様に工業分野における積極的な利用が検討されている。

そこで本研究では、籾殻、米ぬかを利用した多孔質炭素材料の用途拡大を目指し、RHSC、RBCの力学特性や耐水性、摺動性など特性の把握を始め、摺動特性を向上させるための製造条件の検討、導電性や補強性、摺動性などの特性を付与するフィラーとしての可能性を検討した。これらの素材は多量に消費される米の副産物であることから、供給は安定しており、さらに植物由来であることから低環境負荷といった付加価値も備えている。

第1章は、本研究の緒論であり、本研究の位置付けを述べる。

第2章、第3章においては、RHSC単体（成形体）としての工業材料の可能性を検討した。

第2章では、圧縮強度・曲げ強度・破壊靱性値などの力学特性、及び耐水性の評価を行い、RHSCの工業材料としての特性を把握した。また、フェノール樹脂の含浸率、成形圧力、成形温度（焼成温度）を変化させ、最適な製造条件の検討を行った。その結果、力学特性においては工業材料として十分な特性を有しているが、供試材毎のバラツキが大きくなるという課題がみえた。耐水性においては良好であり、水中浸漬後の強度低下や膨潤性がない材料であることが分かった。また、製造条件の検討結果から、フェノール樹脂の含浸率は30 wt.%付近、焼成温度は900～1300℃が最適条件であると考えられる。

氏 名 吉田圭吾

第3章では、RHSCの摺動特性について検討した。RHSCでは、炭素材料が本来持つ良好な摺動性に加え、粉殻由来の多孔質構造に起因した効果を検討するために、RHSC中の空隙率の増加を行って摺動特性の向上を目指した。空隙率を増加させるための発泡材は生の粉殻粉体を用いた。その結果、RHSCの空隙率を増加させることで動摩擦係数が向上（数値低下）することが確認された。ただし、空隙率の増加に伴って多孔質としての力学強度は低下することから、摺動部材として利用する際には適切な空隙率が存在すると考えられる。

第4章においては、RHSC・RBC フィラー（粉体）としての工業材料の可能性を検討した。安価で、高い電磁波吸収特性を有するゴム材料の開発を目指し、RHSCを自動車用ゴム製品、工業用ゴム製品に多用されているEPDMに配合し、その特性を評価した。一般的な炭素材料をゴムやプラスチックに配合し、複合材料とした場合、一定の配合量に達すると急激に体積固有抵抗率が下がる現象（パーコレーション現象）が起きる。これに対し、RHSCを配合した複合材料はこの現象が起きず、配合量に対して体積固有抵抗率はなだらかに変化する。RHSCは導電性を付与するだけでなく、導電性制御に適した炭素材料としても期待ができる。また、一般的な炭素材料同様に、高強度特性を付与するための補強性炭素材料としても期待ができる。

最後に、本研究の結論として本研究総括を述べる。

学位論文の審査及び学力確認の結果の要旨

平成 28 年 2 月 16 日

理工学研究科長 殿

論文博士論文審査委員会

主査 飯塚 博

副査 高橋 辰宏

副査 木俣 光正

副査 奥山 正明



学位論文の審査及び学力確認の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	氏名 吉田 圭吾		
論文題目	農業系副産物を利用した多孔質炭素材料の開発とその応用に関する研究		
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	平成 28 年 1 月 26 日～ 平成 28 年 2 月 4 日
論文公聴会	平成 28 年 2 月 4 日	場 所	工学部 4-113 教室
学力確認結果	合格	学力確認年月日	平成 28 年 2 月 12 日
学位論文の審査結果の要旨 (1,000 字程度)			
<p>【内容要旨】 プレーキやクラッチ等の摺動部材には、力学的な強度、0.3 程度以上の摩擦係数、低摩耗率、鳴き防止等、多くの特性が複合して要求されている。これらの特性を単一の素材で実現することは困難であり、現在は黒鉛、無機充填材、金属材料、有機繊維等の多くの素材からなる複合材料が開発されている。これらの素材とその配合割合および成形加工条件等の製造方法については、各メーカーとも経験知として蓄積していることが多い。この摺動部材の用途に合わせた設計が、より論理的な手法で展開でき、しかも低価格で軽量となる部材の開発に繋がるのがこの業界から求められている。</p> <p>一方、近年、バイオマスの有効活用が社会的に注目され始めている。例えば、米糠を抽出した後の脱脂糠は国内で毎年約 80 万トン生産され、その多くが家畜の飼料に活用されている。本研究ではこの脱脂糠の有効利用の一つとして脱脂糠を炭化焼成・粉砕することによって得られる炭素粉体（以降 RBC 粉体と記す）に着目した。RBC 粉体は天然素材の多孔質構造と脱脂糠が含有するリンを含む多孔質炭素材料であり、動摩擦係数が低いという特徴がある。RBC 粉体を加圧成形したプレートやゴム等への添加物として用いることで、摺動部材の特性向上が期待されている。</p> <p>これらの社会的背景および研究背景のもと、独創性のあるテーマとして、本論文では農業系副産物の米糠と粃殻を取り上げ、これらを加圧成形したり、ゴムに添加材して複合材料を作製したりして、それらの有効利用を目指している。論文の中では、それらの複合材料の力学的特性や膨潤性等について、開発した複合材料の優位性を論理的に記述している。その結果、本研究で対象としたいいずれの条件下においても、RBC 粉体の摺動特性改善の効果が表れ、高機能化の達成という明確な結論が得られている。</p> <p>【判定方法】 本論文の内容は、農業廃棄物である米糠・粃殻の有効利用を目的とし、炭化焼成粉体の加圧成形体と複合材料を作製して優れた摩擦摺動性が得られること明らかにしており、工学的に利用価値の高い知見を得ていることを審査委員会で確認した。また、査読付きの学術論文と国際会議講演論文として専門家による評価を受けて掲載が認められており、審査基準も満たしている。よって、学位論文として適切な内容であり、合格と判定した。</p> <p>【印刷公表】 筆頭執筆者として 3 編の学術論文、3 編の国際会議講演論文、6 編の国内講演論文として研究成果を広く公開している。</p>			
学力確認の結果の要旨			
<p>学力確認は、学位論文を中心とし、素材物性、機械要素・設計および材料強度にまたがる分野について、記述による質問・解答、および公聴会当日の口頭による質疑討論の形式で実施し、最終判定した。その結果、博士(工学)として十分な基礎知識と当該分野における専門知識があることを確認した。また、外国語の能力については国際会議 3 件発表の内容を参考に能力を確認した。</p> <p>以上の学力確認の結果、合格と判定した。</p>			