

(論文内容の要旨)

環境問題を考慮した天然材料からの工業材料開発に大きな注目が集まっているが、その中でも木質炭素化物は、多孔性や微細構造の制御により吸脱着や物質の選択的透過、電気的性質の特性の改変が可能であり、吸着剤、熱電材料用複合素材、耐熱性ろ過剤など、さまざまな用途に向けた機能開発が行われてきた。これらの機能性発現においては、木質炭素化物の多孔性や微細構造をナノレベルで制御するとともに異なる特性をもつ複合化技術が重要となっている。

最近、化石燃料に頼らない、環境問題に配慮したクリーンな発電技術として、宇宙太陽光発電が世界的に関心を集めているが、地球温暖化や石油の枯渇などのエネルギー問題を解決し、人類の持続的発展のために大変有望な技術である。宇宙での太陽光発電は、大気及び気象条件の変動や日変化によらず供給が安定的に行われるという利点がある。一方、発電部は太陽光によりさらされることで加熱され高温になる。このような過度の加熱は発電効率を低下させる要因の一つであるため、軽量かつ高耐熱で高強度な放熱材料の開発が望まれている。本論文では木質炭素層、黒鉛層、炭化ケイ素層の構造制御をそれらの複合化を最適化することにより多孔性木質炭素積層複合材料に熱的異方性を付与し、宇宙太陽光発電での太陽光による加熱部の熱の移動を材料内部で行う熱伝導自己制御材料の開発を目指した。

第1章では、オイルパームシェルを300℃の一段加熱、または300℃と600℃の二段加熱で処理した後、700℃で焼結した炭素材料の細孔分布と微細構造を小角X線散乱法、窒素ガス吸着法、ラマンスペクトル法を用いて調べた。加熱速度10℃/min、反応温度700℃で焼結を行ったところ、広い分布を示すマイクロポアと配向性の良い炭素構造を得ることができた。300℃の一段加熱後700℃で焼結した試料の方が、300℃と600℃の二段加熱後700℃で焼結した試料よりも炭素の配向性は優れていた。一方、加熱速度1000℃/minあるいは2000℃/min、反応温度700℃で高速加熱処理を行ったところ、0.1nmから0.28nmの狭い分布を示すマイクロポアを含む乱層構造炭素が得られ、加熱速度が大きいほど炭素の配向性は低下した。以上の結果、廃棄物系バイオマスであるオイルパームシェルにおいて、加熱速度と反応温度の制御により、得られる炭素化物の構造や空孔径分布を変化させることが可能であることが明らかとなった。

第2章では、乱層構造炭素を二つのグラファイト層によってサンドイッチした熱伝導異

方性をもつ三層積層炭素複合材料を作製し、サンプル中の木質炭素化物/黒鉛の配合比、炭素粒子の大きさ、粒子径、測定時の温度が加圧方向の熱伝導率と加圧直交方向の熱伝導率およびその比(H/V比)に及ぼす影響を調べた。25-32 μm の粒度の木質炭素粒子を10wt %用いた三層積層炭素複合材料について加圧方向と加圧直交方向の熱伝導率を比較すると、加圧直交方向の熱伝導率の方が加圧方向よりも約10倍(H/V比: 10.17)熱伝導率が大きいことが明らかとなった。その結果、黒鉛と木質炭素からなる積層複合材料が、宇宙太陽光発電の熱管理用材料に発展する可能性が示された。

第3章では、焼結中の材料の反応により熱伝導率の異方性をもつ多孔性SiC/C複合材料の開発を行った。液相と固相、二種類の反応方法でSiO₂を木質炭素化物中で分散処理した後、1200℃から1800℃で焼結を行った。構造をX線回折法、顕微ラマン分光法、走査型電子顕微鏡で解析し、電気伝導度と熱伝導率についても測定した。二種類の反応方法によって、0.9 W/mKから101 W/mKの熱伝導率、 $6 \times 10^3 \sim 2 \times 10^4 \Omega^{-1} \text{m}^{-1}$ の電気伝導度の幅を有する多孔性SiC/C複合材料を作製することができた。SiC/Cからなる高熱伝導層と低熱伝導層を組み合わせれば、優れた熱管理用材料が作製できることが示唆された。例えば、0.9 W/mKのSiC/C層を101 W/mKのSiC/C層によってはさみ込んだ積層複合材料を作製した場合、SiC/Cのみから第2章の炭素材料複合材料よりも大きな熱伝導異方性を有する積層複合材料の開発につながると考えられた。

第4章では、木質系炭素材料を宇宙太陽光発電での用途につなげるために、多孔性SiC/C複合材料の真空中における熱伝導異方性を検討した。25℃から120℃までの温度域で熱拡散係数および比熱容量からの計算により熱伝導率を得たところ、測定時の温度上昇より多孔性SiC/C複合材料の熱伝導率は低下した。表層と芯層の厚さ比が1:1の場合について計算すると、多孔性SiC/Cからなる三層積層炭素複合材料の加圧方向と加圧直交方向の熱伝導率の比は、15.9まで向上することが予測できた。これらの結果、多孔質SiC複合材料は高温度域・真空中で利用可能な、宇宙太陽光発電の発熱問題を解決する熱管理用材料として応用が可能であると考えられた。

(論文審査の結果の要旨)

化石燃料に頼らない、環境問題に配慮したクリーンな発電技術として、現在、宇宙太陽光発電が世界的に関心を集めている。宇宙での太陽光発電は、大気及び気象条件の変動や日変化によらずエネルギーが安定的に供給できるという利点がある。一方、発電部は太陽光にさらされることで加熱され高温になる。このような過度の加熱は発電効率を低下させる要因の一つであるため、軽量かつ高強度で耐熱性に優れる放冷材料の開発が望まれてきた。本論文では木質炭素層、黒鉛層、炭化ケイ素層からなる多孔性木質炭素積層複合材料に熱的異方性を付与し、太陽光による加熱部の熱の移動を材料内部で行う熱伝導自己制御材料の開発を目指したもので、評価される主な点は以下のとおりである。

- 1) オイルパームシェルの高温加熱処理において、加熱速度や加熱温度を制御して焼結させることにより、乱層構造炭素化物の構造や空孔径分布の制御が可能であることを示した。
- 2) 熱伝導異方性をもつ積層炭素材料の開発を目的として、乱層構造炭素を二つの黒鉛層によってはさんだ木質系積層炭素材料を作成し、炭素材料のみでも加圧直交方向の熱伝導率の方が加圧方向よりも約10倍大きい熱伝導異方性材料を作成した。
- 3) 多孔性SiC/C複合材料の作製を1200から1800℃の温度域で試み、電気伝導度と熱伝導率を測定した結果、固相と液相二種類の反応方法で、0.9 W/mKから101 W/mKの熱伝導率の幅をもつ多孔性SiC/C複合材料を作製することができた。
- 4) 宇宙太陽光発電での利用を目指して、窒素雰囲気下、120℃以下の温度域における熱伝導異方性を計算により評価したところ、加圧直交方向の熱伝導率が加圧方向の熱伝導率より約15.9倍大きい熱伝導異方性材料が作製できる可能性が明らかとなり、宇宙太陽光発電システムの熱管理用複合材料開発の糸口をつけることができた。

以上のように本論文は、木質炭素と炭化ケイ素からなる多孔性材料に熱的異方性を付与し、熱伝導自己制御材料の開発を目指したものであり、宇宙太陽光発電での高温加熱問題を解決する新たな熱管理用木質系材料としての可能性を示したもので、生物材料機能学、炭素材料学、および宇宙材料工学に寄与するところが多い。

よって、本論文は博士（農学）の学位論文として価値あるものと認める。

なお、平成21年7月21日、論文並びにそれに関連した分野にわたり試問した結果、博士（農学）の学位を授与される学力が十分あるものと認めた。