Osaka University Knowledge Archive

Title	Studies on organic aerogel synthesis and its application for laser fusion target
Author(s)	楊, 菡
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/49544
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

Osaka University

【89】

氏　　名	楊（ヤン）　菡（ハン）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２９８０　号
学位授与年月日	平成21年３月24日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科環境・エネルギー工学専攻
学　位　論　文　名	Studies on organic aerogel synthesis and its application for laser fusion target （有機エアロゲル合成の研究とレーザー核融合ターゲットへの応用）
論　文　審　査　委　員	（主査） 教　授　乗松　孝好 （副査） 教　授　猿倉　信彦　　准教授　中井　光男

論　文　内　容　の　要　旨

本論文では、高速点火方式によるレーザー核融合実験に用いるターゲット用低密度フォーム材料とそのカプセル化技術の開発についてまとめた。大阪大学の高速点火基礎実験（FIREX）計画では直径が500μmで厚さが20μmの均一な重水素／三重水素固体燃料層が求められており、燃料層はフォームシェルへの液体重水素、三重水素の含浸により形成される。核融合燃焼の効率を考慮して、フォームで密度は加熱基礎実験では100mg/cc程度が、点火燃焼実験では10mg/ccのフォームが必要である。固体重水素層の均一性はフォームの均一性によって支配されるので、厚み一様性が99％の低密度フォームシェルの製造が必要となる。本論文は以下の六章から構成されている。

第一章では、本研究の背景と目的を述べた。レーザー核融合研究はエネルギー供給とエネルギー不足、環境汚染などの問題解決法として注目されている。レーザー核融合点火実験用のターゲットはレーザーと並んで極めて重要な要素技術である。燃料担持と核融合燃焼の効率を考慮して、このターゲットは中空フォームカプセル構造と低密度のシェルが必要である。そこで本研究では低密度多孔質材料に関して可能な材料の化学構造、物理特性、化学特性と多孔質構造の形成の機構を明らかとすると共にカプセル化に関しても検討した。

第二章ではフェノール樹脂ゲルを前駆体とする多孔質フォームについて述べた。フロログリシノールカルボン酸とホルマリンを塩基性で重合させ、ゲル化させた。様々なアルカリ性と酸性触媒の採用によって、PFゲルのゲル化下限濃度を大幅に減らすと共に多孔質構造の制御が可能となった。収縮の機構論を考察するために架橋構造を研究した。収縮の抑制と多孔質構造の制御のため、高分子ユニットの極性に対して有機溶媒の極性を変えることが抑制に効果的であることが明らかとなった。

第三章ではフェノール樹脂ゲルの特性と応用について述べた。フロログリシノールカルボン酸・ホルマリン（PF）ゲルの小さく多孔質構造（30nm）に金ナノ粒子触媒を担持し、優れたニトロフェノールの還元能力を有した。PFエアロゲルからカーボンエアロゲルを得た。得られたカーボンエアロゲルは染料吸着に応用した。

第四章ではフェノール樹脂ゲルカプセル技術の開発について述べた。密度整合エマルジョン法と液滴製造装置により単分散ミリメートルサイズカプセルを製造することができる。エマルジョンの安定化と高い壁厚の一様性のために，油相と水相の密度を一致させ，重力の影響を補償する方法で得られた（密度整合エマルジョン法）。密度整合エマルジョンを形成させるために、加熱を必要としない相間移動触媒プロセスを用いることでフロログリシノールカルボン酸・ホルマリンのフォームカプセルの製造ができた。

第五章ではアクリル系低密度多孔質フォームについて述べた。ポリイソプロピルアクリルアミド(PNIPAAm)の密度整合エマルジョンを液滴製造装置により製造した。PNIPAAmは熱敏感ポリマーであり、温度によりマイクロレンズの透過率を制御することができた。高分子濃度が20mg/ccのゲル薄膜を形成させ、凍結脱気法により低密度多孔質フォームを得た。

第六章では結言として本研究で得られた成果を総括した。高速点火ターゲット用低密度材料とそのカプセル化技術などこれまでの研究で得られた知見をまとめた。

論　文　審　査　の　結　果　の　要　旨

本論文は有機エアロゲル合成の研究とレーザー核融合ターゲットへの応用に関する知見をまとめたものである。有機エアロゲルは多孔質の半透明の物質で、触媒の担体やレーザープラズマ実験用ターゲットへの応用としてみた場合、密度が10mg/ccクラスのエアロゲルから500mg/ccクラスのフォームへと広範囲に調整できること、エアロゲル／フォームの構造が光の波長よりも小さいこと、希望する構造に加工できること等が必要な要件である。内部構造を光の波長より小さくすることにより、均質な物質と見なすことができ、レーザープラズマ相互作用の実験を安定に行うことができる。申請者の論文は新しい材料によるエアロゲルの合成、構造や密度の制御についての基礎研究、触媒担体への応用、レーザー核融合実験用中空フォームシェルへの応用などの研究で得られた成果をまとめたものである。

従来この分野ではレシノル、フォルムアルデヒド（RF）が使われてきたが、溶液としての粘度に限界があり、反応時間の制御も難しいことから、キャスティングや、エマルション法による加工性が乏しかった。申請者は新しい材料であるフロログリシノールカルボン酸とホルマリン(PF)を塩基性の条件で重合させ、ゲル化し、液体炭酸ガスを使った超臨界抽出法でエアロゲルの製作を行った。この過程で様々なアルカリ性と酸性触媒のテストを行い構造の変化を調べると共に、PFゲルのゲル化下限濃度を大幅に下げ、低密度化に道を開いた。

低密度化の障害となる収縮の機構論を考察するために超臨界抽出時に使用する有機溶媒の収縮に対する影響を精査している。種々の極性を持った有機溶媒を使って置換を試みた結果、PF高分子ユニットの極性に近い値を持った有機溶媒を用いることが収縮の抑制に効果的であることを発見した。

触媒としての金ナノ粒子をPFエアロゲルに分散させたものを製作し、その触媒としての性能を評価したところ、同質量の金ナノ粒子の３倍以上の触媒効果が確認され、金ナノ粒子の表面が有効に利用されていることを確認した。

また、上記PF材料の中空化に成功し、レーザーエネルギー学研究センターで進められているFIREX-1プロジェクトに要求されるターゲットの燃料保持材として使用可能であることを示した。相転移触媒によるエマルション法で従来のRFフォームでは作ることのできなかった直径500μm、真球性99%、壁厚20μm、壁厚の均一性95%の中空フォームシェルを製作することに成功した。フォームシェルは従来のRFフォームよりも透明度が高く、液体燃料を含浸させたときの可視光を使った干渉計測を可能にするものである。この成果は日本におけるレーザー核融合研究の進展に貢献できる成果である。

新材料ポリイソプロピルアクリルアミド(PNIPAAm)でも低密度フォームの製作に成功している。高分子濃度が20mg/ccのゲル薄膜を製作し、凍結脱気法により低密度多孔質フォームを得ている。この材料を用いることによりさらなる低密度フォーム中空球が製作可能であることを示した。同ポリマーは温度により光り透過性が変わることを利用して温度により透過率の変わるマイクロレンズを製作することがきた。

以上のように、本論文は透明な極低密度材料の合成、構造の制御、その触媒担体やレーザー核融合用ターゲットへの応用に関する成果を記したもので、今後の同分野の発展に貢献できる内容を持っている。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。