

《解説》

無機物質の分子サイズの空間を鋳型として 用いた炭素材料の新しい合成法

京谷 隆，富田 彰

東北大学反応化学研究所

分子レベルで炭素材料を設計，合成する方法として，制御された分子オーダの空間を高分子の炭素化の場として用いる鋳型炭素化法がある。具体的には，層状粘土鉱物の超マイクロ2次元空間やゼオライトの制御された3次元空間に有機モノマーを挿入し，一旦それを重合によって安定化したのち，熱分解することによって炭素を得る方法である。この方法により今までにない特異な構造をもつ2次元状炭素や多孔質炭素を合成することができた。ここでは，このような分子サイズの鋳型を利用した炭素化法を紹介し，生成した炭素の性質とその応用について述べる。

1. はじめに

炭素は，単一の元素からできているとは思えないほどの多様な性質をもつ魅力的な物質である。たとえば，ダイヤモンドと黒鉛はまったく異なる性格をもつ物質であるが同じ炭素の仲間である。さらに最近では，フラーレンやカーボンナノチューブといった新物質が登場し，話題は尽きない。また，炭素は工業材料としてのその重要性は非常に高く，コークス，カーボンブラック，活性炭，電極，炭素繊維などの汎用材料をはじめ，種々の特殊材料としても実に幅広い分野で活躍している。このような炭素の性質は， sp^2 結合と sp^3 結合の組み合わせによる多様性， sp^2 結合の異方性に由来する多様性，高次構造の多様性，組織レベルでの組み合わせの多様性，さらには種々の複合化による多様性等に由来するものである。さて，従来までの炭素材料の調製法は，石油や石炭，それらから調製したピッチ，あるいは汎用高分子類など既存の材料をたくみに炭素化して目的の構造や特性に近づけるというものであった。しかし，付加価値が高く，新しい機能をもった炭素材料を調製するためには，分子レベルで炭素材料を設計，合成することが不可欠となってきている。このような観点から，われわれは層状粘土鉱物の層間に有機モノマーを挿入し，一旦それを重合によって安定化したのち，熱分解することによって，今までにない2次元状炭素を合成することを試みた^{1~6)}。この方法では粘土の超マイクロ2次元空間を鋳型として高分子を炭素化しているので鋳型炭素化(Template car-

bonization)といえよう。さらにこの方法を他の無機マイクロポーラス物質に应用することで今までにない特異な構造をもつ炭素の合成を試みている⁷⁾。ここでは，このような分子サイズの鋳型を利用した高分子の新しい炭素化法を紹介し，生成した炭素の性質とその応用について述べる。

2. 層状粘土鉱物を用いた鋳型炭素化

2.1 炭素前駆体の調製法

図1に，層状構造をもつ粘土鉱物を鋳型とした場合の実験スキームを示す。層間にモノマーを挿入し，これを重合させることで粘土-高分子複合体を調製する。次に，層間の高分子を炭素化するためにこの複合体を700°Cまで加熱し，その後，酸処理により粘土を溶解除去して層間の炭素前駆体を取り出す。なお，鋳型の中に挿入されている炭素を本稿ではIPC(Inserted Polymer Carbon)と呼ぶことにする。また，対照試料とするため鋳型を使わない通常の方法で重合した高分子からも炭素を調製した。これをIPCに対してFPC(Free Polymer Carbon)と呼ぶことにする。この段階でのIPCは炭素になりきっておらず，炭素前駆体と考えた方がよい。粘土から取り出したこの前駆体をさらに熱処理して高温での黒鉛化性を調べることも行った。

層状粘土鉱物の鋳型として，典型的な粘土鉱物であるモンモリロナイト(Montmorillonite; MONT)と，それより結晶性のよいテニオライト(Taeniolite; TAEN)を選んだ。これらの粘土の構造図を

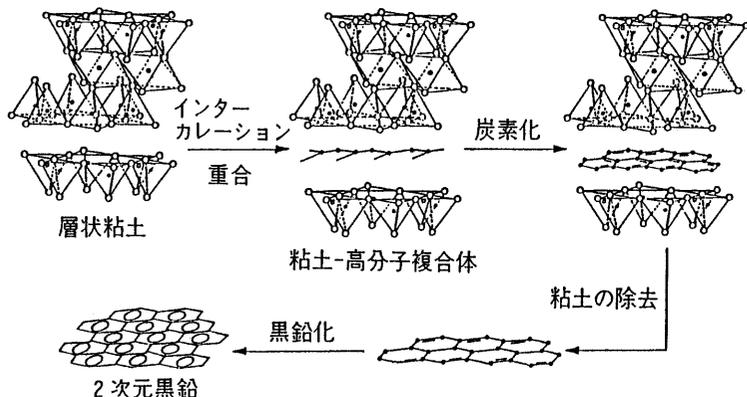


図1 鋳型炭素化の実験スキーム

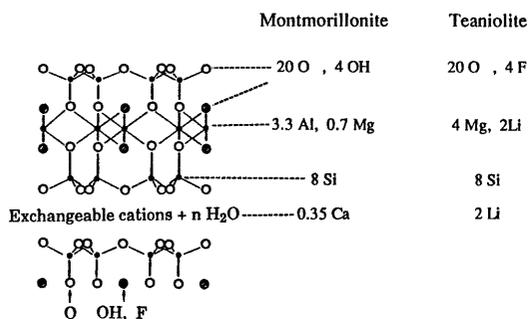


図2 層状粘土の構造

図2に示す。この2つの粘土は2枚の4面体層の間に8面体層がサンドイッチされた2:1型の層状構造を成しており、層間に交換性陽イオンをもっている。

炭素の原料となるモノマーとしてアクリロニトリル、フルフリルアルコール、酢酸ビニルを用いた。これらの化合物は極性分子であり、粘土層間の交換性陽イオンと相互作用するので容易に層間に挿入され保持される。その後、 γ 線照射あるいは加熱により層間内のモノマーを重合させることでポリアクリロニトリル (PAN)、ポリフルフリルアルコール (PFA)、ポリ酢酸ビニル(PVAC)の粘土-高分子複合体を合成した。

2.2 粘土層間での高分子の炭素化

アクリロニトリルを挿入したモンモリロナイト (MONT)のX線回折を行うと、その層面間隔は1.32 nmであった。アクリロニトリル重合後も層面間隔は大きく変化せず1.38 nmであった。乾燥時のMONTの面間隔が0.96 nmであることを考慮すると、アクリロニトリル、PAN約1分子層分が挿入されていることになる。3種のモノマーをMONTに挿入したときの層面間隔を表1にあげる。どの場合も

1~2層のモノマーあるいは高分子がMONT層間に存在していることが分かる。

粘土-高分子複合体を700°Cで熱処理し、粘土層間の高分子を炭素化させた。層間での高分子の炭素化の様子を知るために、MONTとその高分子複合体について昇温X線回折を行った。図3に層面間隔の熱処理による変化を示す。MONTは加熱により層間の吸着水を急激に放出し、200°Cで層面間隔は0.98

nmまで減少した。一方、高分子との複合体ではどの場合でも加熱とともにいくぶん減少していくが、MONTのみの時のような急激な減少はみられず、1.1~1.2 nmの面間隔を保っている。つまり、熱処理によっても粘土層間の高分子は消失せず、何らかの形で残存していることが分かる。図4に2種類の粘土から調製したPFA複合体とその熱処理物のX線回折パターンを示す。MONT-PFA複合体では層面間隔は1.44 nmであり、700°C処理により1.20 nmまで減少し、その回折線もいくぶんブロードとなる。一方、TAEN-PFA複合体では3本の回折線が現

表1 モノマー挿入時および重合時のモンモリロナイト層面間隔の変化

モノマー	モノマー挿入時の層面間隔 (nm)	重合時の層面間隔 (nm)
アクリロニトリル	1.32	1.38
フルフリルアルコール	1.51	1.44
酢酸ビニル	1.36	1.36

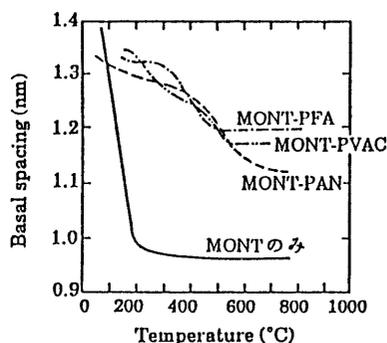


図3 モンモリロナイト-高分子複合体の層面間隔の熱処理にともなう変化

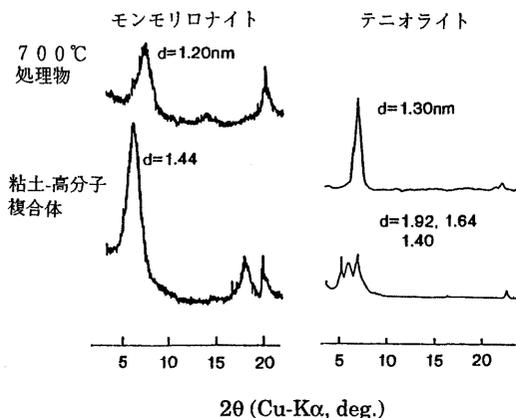


図4 粘土-高分子複合体とその熱処理物のX線回折パターン

れ、これを熱処理すると1本となる。この複合体の001回折線は熱処理後も非常に鋭く、結晶性、熱安定性が優れていることを示している。

以上のように、粘土層間に挿入されたモノマーは2次的に拘束された場合に単分子層に近い状態で存在し、重合後も高分子は2次元状の構造となっている。さらにこの高分子を層間で炭素化しても粘土層面による立体規制のため2次元状構造を保持したまま進行すると考えられる。

2.3 粘土層間より取り出した炭素前駆体の性状

粘土-高分子複合体を700℃で熱処理後、フッ酸と塩酸の2段階の処理により粘土を完全に溶解させ、粘土層間にあった炭素を取り出した。この炭素(IPC)は粉末状で、その炭素含有量はPANからのもので66%、他の高分子からのものでは82~88%であり、かなりの酸素、水素、窒素が残存していた。MONT層間で調製した各種高分子からの炭素(MONT-IPC)と粘土を使わず通常の方法で調製した炭素(FPC)を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察すると、前者は高分子の種類にかかわらず薄いシート状であり、後者は塊状になっていた。また、TAEN層間で調製したPFAからの炭素も同様に薄いシート状であった。

さて、一般に炭素の構造は芳香族網目平面分子が層状に積み重なった構造をしており、700℃程度の低温で熱処理したものもある程度積層構造をもつ。したがって、X線回折ではその積層構造を反映して002面の反射が観察される。図5に各粘土の層間で調製したPFAからのIPCとそのFPCの002回折線を示す。回折線の鋭さは、TAEN-IPC、MONT-

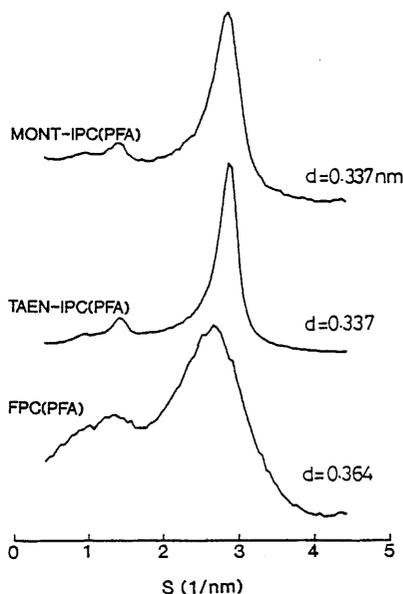


図5 各種粘土層間で調製したポリフルフリルアルコール炭のX線回折パターン

IPC、FPCの順であり、粘土からの炭素の場合、002回折線の位置から計算した層間隔 d_{002} が純粋な黒鉛のそれ(0.3354 nm)に近い。もちろん、黒鉛と比べれば回折線は非常にブロードであり、理想的な黒鉛構造からはほど遠いが、700℃程度の低温処理でその d_{002} がここまで小さくなった例はほとんど見当たらない。

2.4 炭素前駆体の高温処理

上で述べたように、炭素は程度の差こそあれ芳香族網目平面分子が積層した構造をしており、熱処理にともないその積み重なりの間隔は縮まり、規則的に積層している部分の大きさ、つまり結晶子径が大きくなり、最終的には黒鉛構造に近づいていく。そこで、粘土層間から調製したIPCおよびFPCを2800℃までの各温度で熱処理し、炭素化、黒鉛化を行った。その際のIPC(PFA)とFPC(PFA)の層間隔 d_{002} と結晶子径 L_c の変化を図6に示す。粘土層間で調製したIPCの d_{002} は1000℃の時からすでに小さく、2800℃で熱処理するとそれぞれ0.337、0.336 nmに達し、純粋の黒鉛結晶の値に近づいた。FPCの d_{002} は2800℃でも0.344 nmにとどまった。結晶子径についてもIPCとFPCの違いは明らかであった。つまり、前者では熱処理温度とともに L_c は急激に増加し、2400~2600℃でほぼ一定の値を示すのに対し、FPCではほとんど増加が見

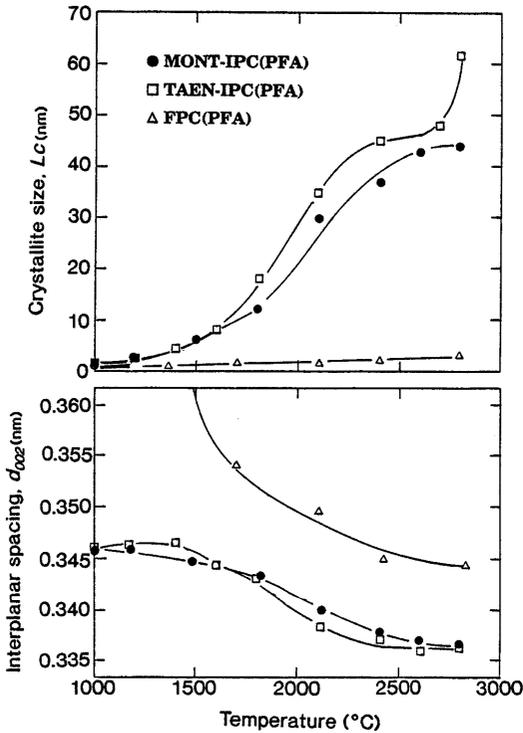


図6 高温処理にともなうX線パラメータの変化

られなかった。このように粘土層間から調製したIPCは高温処理により容易に黒鉛になる、つまり易黒鉛化性であるが、FPC (PFA)はなかなか黒鉛にならない、つまり難黒鉛化性であることが分かる。

炭素の黒鉛化性はラマン散乱からも評価できる。黒鉛は 1580 cm⁻¹ に一本のラマンバンドを示すが、未組織炭素からなる活性炭やガラス状炭素では 1360 cm⁻¹ にもう一つのピークが現れる。図7に各種高分子から調製したMONT-IPCとFPCのラマンスペクトルを示す。PAN および PFA から調製したFPCでは熱処理温度が 2800°Cでも未組織炭素に起因する 1360 cm⁻¹ のピークと黒鉛結晶に起因する 1580 cm⁻¹ のピークが同程度存在しているのに対し、IPC (PAN) では熱処理温度が高くなるにしたがい 1360 cm⁻¹ の散乱ピークは弱まり、2800°Cではほとんど消失している。このことより、IPC (PAN) の黒鉛化性がきわめて高いことが分かる。一方、PFA, PVACからのIPCでは 2800°Cでも若干の未組織炭素が残留している。

炭素の積層構造を調べるため透過型電子顕微鏡(TEM)観察を行った。図8に PAN からのMONT-IPCとFPCを各温度で熱処理したもののTEM写真を示す。この写真中の1つ1つの筋が芳香族網面1枚に対応する。このようにIPCでは芳香族網面が積層しており、それが温度とともに配向していく。MONT, TAENを用いた場合、全ての高分子からこのような高配向性の積層構造が観察された。IPCの場合と対照的にFPCではそのような配向構造はみられず、わずかに積層した芳香族網面がばらばらな方向に向いている。上の写真よりもっと低倍率でMONT-IPC (PAN)のTEM写真を撮ったのが図9である。

(a)ではSEMの場合と同様に薄いシート状のものが観察される。このシートの断面の部分撮ったものが先ほどのTEM写真である。(b)は(a)の視野で折れ曲がりの少ない部分の高倍率の像であり、モアレ模様を観察することができる。(c)は

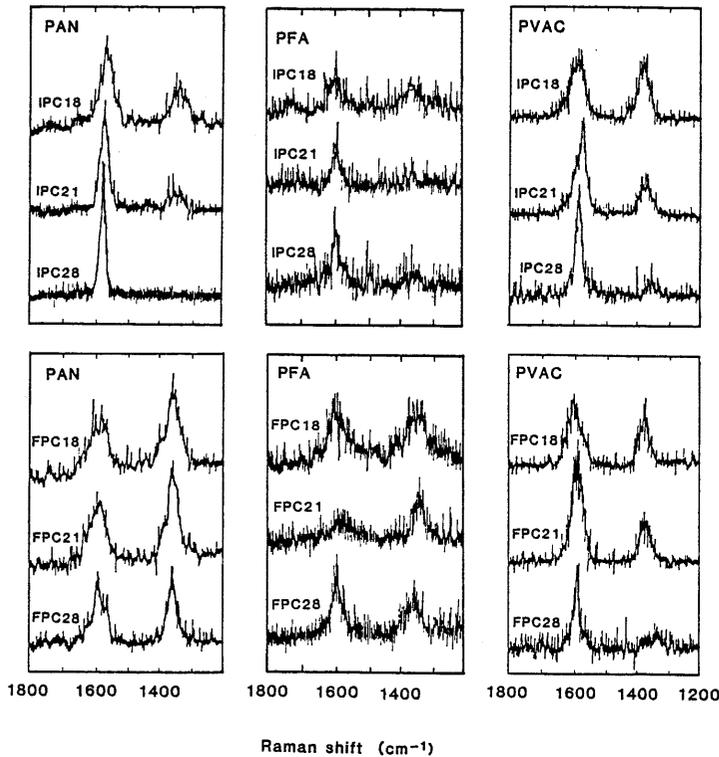


図7 モンモリロナイトから調製したIPCとFPCのラマンスペクトル

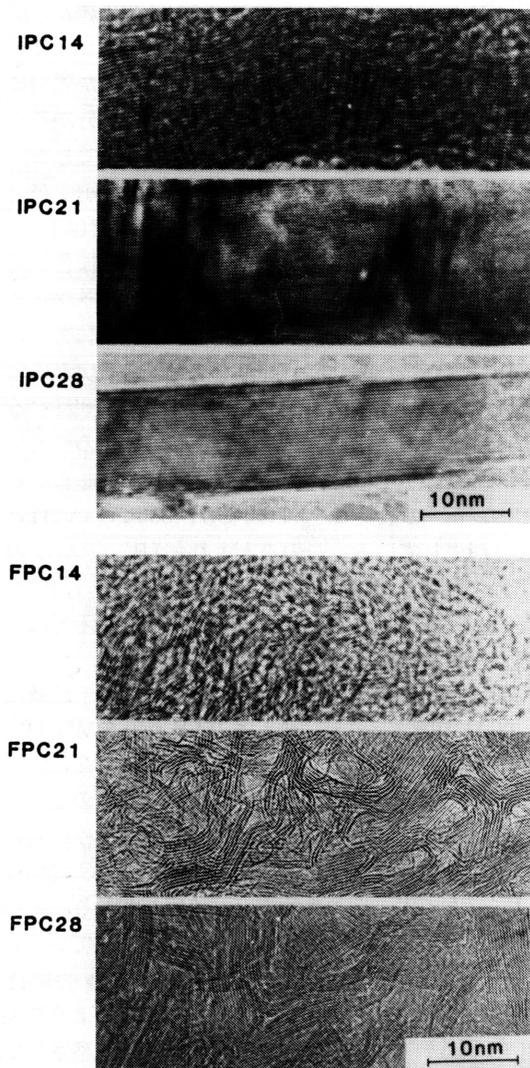


図8 ポリアクリロニトリルからのMONT-IPCとFPCの格子像 (IPC, FPCのあとの数字は熱処理温度の1/100を表す)

(b)の部分の電子線回折パターンであるが、00 l 面からの回折はなく、 $hk0$ 面からの回折だけが観測される。つまり、(b)の部分ではシートの表面に平行に芳香族網面が配向していることを示している。また、(b)で見られたモアレの大きさから、その結晶子の広がりが1~2 μm 以上にも及ぶことが分かった。このようにTEM観察の結果から、この炭素はわずか数十nm程度の薄さで、広がりが数 μm にもおよぶ2次元結晶よりなっていることが明らかとなった。

このような2次元状炭素と呼べるような超薄膜が生成した理由を図10のように説明できる。まず粘

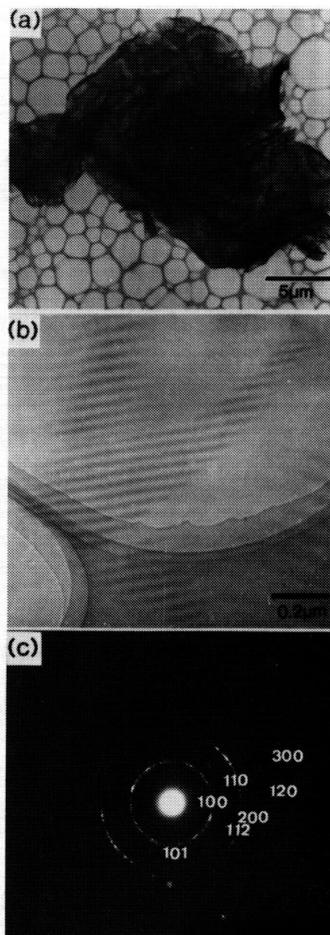


図9 ポリアクリロニトリルからのMONT-IPC 2800 $^{\circ}\text{C}$ 処理物の透過型電子顕微鏡写真；(a)低倍率の明視野像、(b)高倍率の明視野像、(c)(b)の電子線回折像

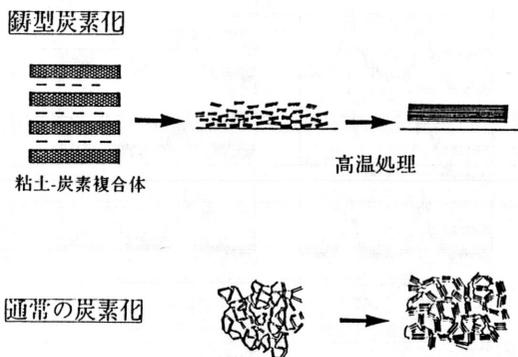


図10 2次元状炭素の生成過程

土層間での予備炭素化の段階で平面性をもつ縮合多環芳香族化合物ができ、粘土から取り出したときこれらの多数が会合してシート状薄膜の原型が生成する。これがその後の高温処理にともなって、主として横方向に広がり、2次元状の黒鉛に成長していく。一方、PANやPFAからのFPCの場合では粘土層間という立体的規制がないので、3次的に絡まりあったまま炭素化し、その後の高温処理でも黒鉛化しないものと思われる。

2.5 鋳型炭素化法による黒鉛フィルムの合成⁸⁾

上で述べてきたように、鋳型としてMONT, TAENのような層状粘土を使えば、どの高分子からでも配向性のよい2次元状黒鉛結晶が生成する。しかし、得られた炭素は微視的には2次元状であっても、肉眼上では微粉末である。これでは材料として利用する際、その用途も限られてくる。そこで、本鋳型炭素化法を利用して形のある炭素を作成することを試みた。MONT, TAENなどの粘土は水中で微分散し、簡単にキャストフィルムを作ることができる。そこでこのフィルムを鋳型として黒鉛フィルムの合成を試みた。炭素の合成方法は以下の通りである。まず、粘土フィルムにAN蒸気を吸着させ、 γ 線重合のあと700°Cで熱処理を行った。そのうちこの粘土-炭素複合体フィルムをフッ酸処理した。ここまでは粉末粘土からの合成方法と全く同じであるが、フッ酸処理後に塩酸処理を行わず、そのまま3000°Cの高温処理を行いフッ化物を蒸発させることで炭素フィルムを得た。この方法の方が塩酸処理によってフッ化物を取り除く方法より良好な結果を与えるからである。フィルムの厚さは20~30 μm と薄く、また黒鉛化度も非常に高い。とくにTAENより調製した炭素フィルムの層間隔は0.3356 nmと純粹の黒鉛結晶にほぼ匹敵する。図11にTAEN

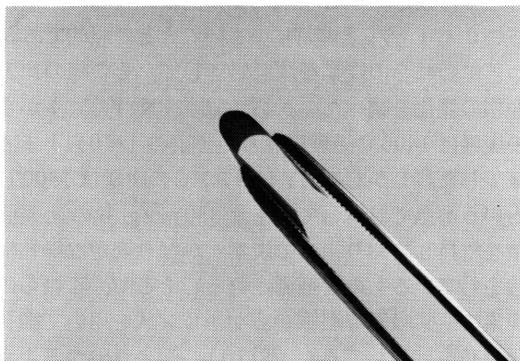


図11 テニオライトより調製した黒鉛フィルム

フィルムより調製した炭素フィルムをピンセットで挟んだ写真を示す。このフィルムを写真のようにかなりの曲率で折り曲げても割れることはなく、力を除くとすぐ元の形に戻る。さらにフィルムを完全に折り曲げても割れない。ポリイミドフィルムを一定の条件で高温処理すると高配向性の黒鉛フィルムが生成するが、かたくてもろく今回得られた炭素フィルムのような可とう性はない。以上のように、粘土フィルムを鋳型とすることで、高配向性・高結晶性でありながら、可とう性にも富む黒鉛フィルムを合成することができた。

3. ゼオライトを用いた鋳型炭素化

3.1 ゼオライト細孔中での高分子の炭素化

上記の粘土の場合とほぼ同じ方法で炭素を調製した。まず、ゼオライトとして3種類のY型ゼオライト(NaY(5.5), Na form ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5.5$); NaY(5.6), Na form ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5.6$); HY(5.5), H form ($\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3=5.8$))を、モノマーとしてアクリロニトリルとフルフリルアルコールを用いた。Y型ゼオライトは0.72 nmの開口径をもち、図12に示すように十分フルフリルアルコールでも空洞内に吸着できる。モノマーのゼオライト中への導入、重合、炭素化はつぎのような方法で行った。まず、アクリロニトリルの場合は上の粘土鉱物の場合とほぼ同じで、気相からアクリロニトリルを乾燥ゼオライト上に吸着させる。つぎに γ 線で重合させ、生成したゼオライト-PAN複合体を700°Cで熱処理することで細孔内のPANを炭化した。フルフリルアルコールの場合には、乾燥したゼオライトに減圧下で液相からフルフリルアルコールを含浸させ、その後常圧に戻して攪拌した。つぎに遠心分離でゼオライトを分離し、それをメシチレンで洗浄して表面に付

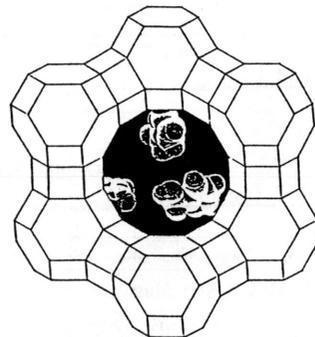


図12 Y型ゼオライトの細孔中に導入されたフルフリルアルコール

着しているフルフリルアルコールをできるだけ除去した。このようにして得られたゼオライト-フルフリルアルコール複合体を窒素気流下で150℃で熱処理し細孔中のフルフリルアルコールを重合させ、その後700℃でさらに熱処理し、炭化させた。つぎにこれらのゼオライト-炭化物複合体にフッ酸と塩酸の2段階処理を施してゼオライトを完全に溶解させ、細孔中の炭化物を取り出した。この一連の過程における試料(NaY(5.6))のX線回折パターンをフルフリルアルコールの場合を例にとって図13に示す。700℃で熱処理したゼオライト-PFA複合体とゼオライトそのもののパターンは相対強度に若干の差があるもののほぼ同じであり、熱処理により結晶構造が壊れていないことが分かる。つぎにフッ酸処理を行うとゼオライトの構造は完全に破壊され、フッ化物が生成した。この段階でブロードな炭素のピークがフッ化物のピークとともに現れている。つぎの塩酸処理によりフッ化物のピークは完全に消失し、炭素のブロードなピークのみが残り、炭素から無機物を除去できたことが分かる。

3.2 生成した炭素のキャラクタリゼーション

図14に3種類のゼオライト、炭素との複合体とそれより取り出した炭素の走査型電子顕微鏡(SEM)

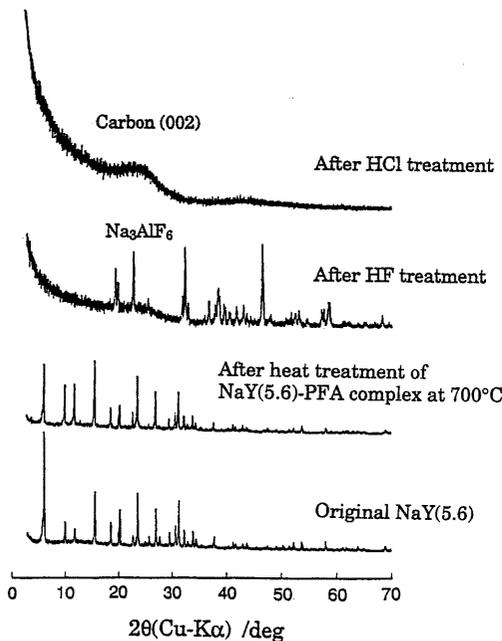


図13 ゼオライトを用いた鑄型炭素化および酸処理過程におけるX線回折パターンの変化

写真を示す。NaY(5.5)はほぼ0.5 μm の粒子からなっており、その表面にゼオライトの結晶面が観察できる。これらの粒子のいくつかはほぼ単結晶であると思われる、NaY(5.5)の結晶性が非常に高いことが分かる。NaY(5.6)では約1 μm の粒子の中いくつかの結晶が集まっているのが観察される。一方、HY(5.8)は複雑な構造をしており、明確な結晶面を観察することができない。これらのゼオライト中でポリマーを炭化させても(図14中央)、粒子の形状は全く変わらず、高倍で観察してもゼオライト表面を炭素が覆っている様子もない。このことから炭素はゼオライト細孔中に存在していると思われる。つぎにゼオライトから取り出した炭素を観察すると(図14右)、それぞれ鑄型となったゼオライトの粒径よりやや小さいが、炭素の形状はどの場合も対応するゼオライトと酷似していることが分かる。これはまさに鑄型炭素化が行われたことを示している。図15に最も結晶性の高いNaY(5.5)とそれより調製した炭素の透過電子顕微鏡写真(明視野像)を示す。SEM写真同様、NaY(5.5)(写真左)には結晶面が観察され、この粒をさらに拡大するときれいな格子像を見ることができる。このゼオライトから調製した炭素の明視野像(写真右)はそれほど濃淡もなくほぼ一様であることから、この粒子には大きな空洞などもなく炭素が粒子内部まで一様に存在していることが分かる。このことは、ゼオライト-炭素複合体の段階で炭素がゼオライト内部の細孔まで均一に存在していたことを示唆している。つぎにこれらの炭素の窒素吸着量を測定し、BET式により比表面積を計算した。NaY(5.5)を鑄型として作られたPAN炭素、NaY(5.6)、HY(5.8)からの2つのPFA炭素はそれぞれ650、620、1240 m^2/g と活性炭なみの大きさであった。このことは、鑄型を用いず通常の方法で作成したPAN炭とPFA炭の比表面積がそれぞれ0と3 m^2/g と非常に小さいことと対照的である。つぎにこれらの炭素を高温処理して、その際の比表面積の変化を調べた。NaY(5.5)、NaY(5.6)からの炭素は1400℃処理により処理前の1/10以下まで減少した。しかし、HY(5.8)からの炭素は1800℃という高温で処理してもまだ330 m^2/g もの比表面積を維持しており、この炭素がかなり安定な細孔構造をしているものと推測される。そこで、これらの炭素の窒素吸着等温線からケルビン式を用いて細孔径分布を計算してみた(図16)。図より分かるようにHY(5.8)からの炭素では約4nmあたりにピーク

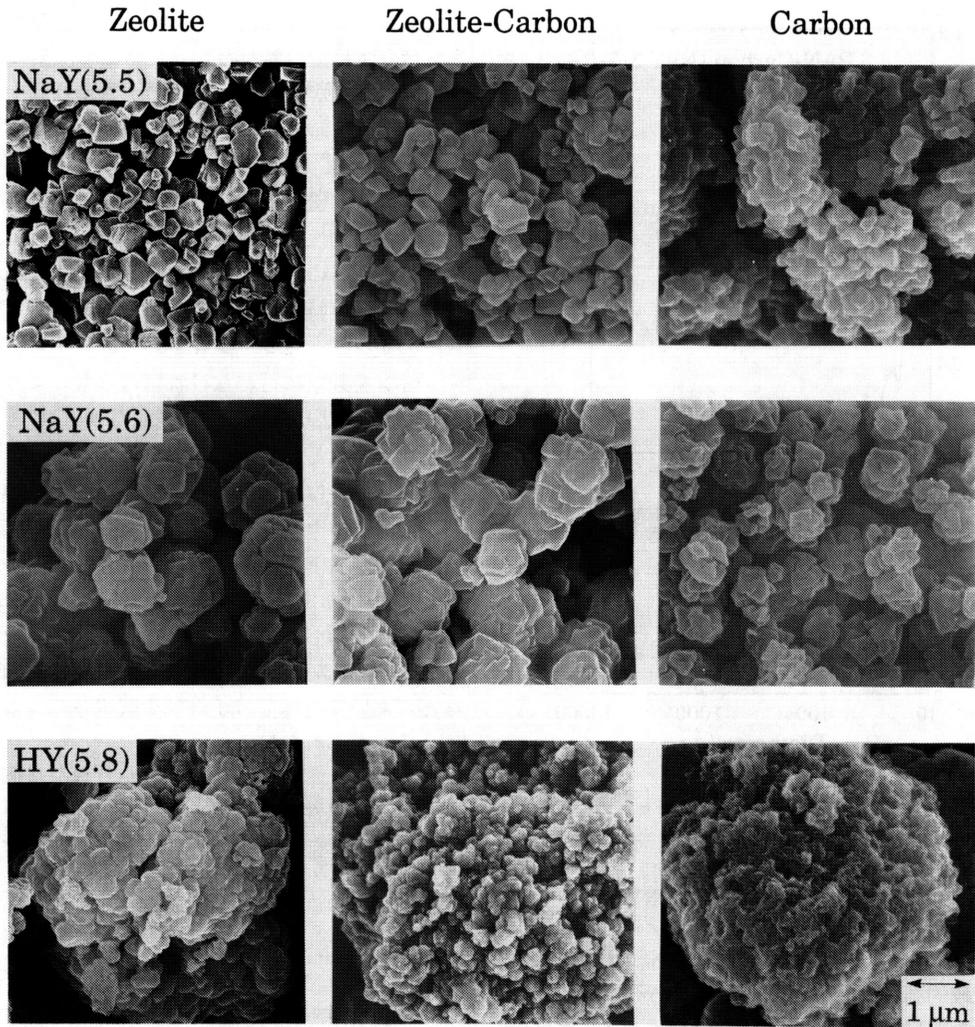
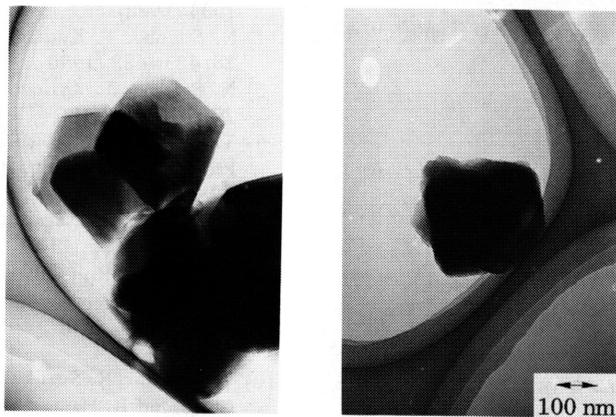


図14 ゼオライト，ゼオライト-炭素複合体とそれより取り出した炭素のSEM写真



Zeolite NaY(5.5)

Carbon from NaY(5.5)

図15 NaY(5.5)ゼオライトとそれより調製した炭素のTEM写真

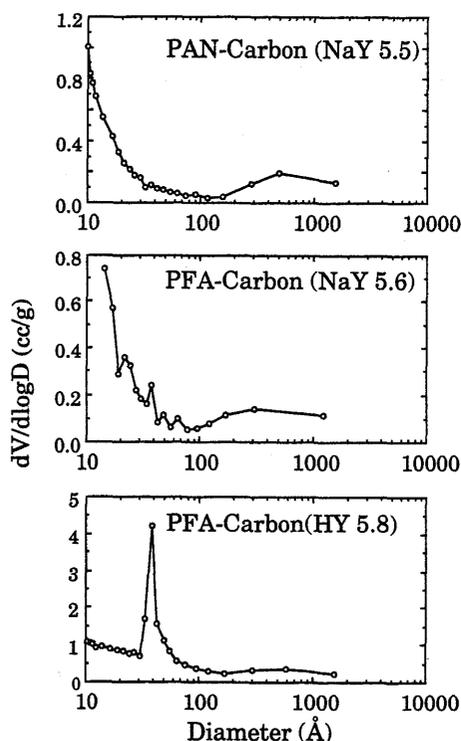


図16 ゼオライトより調製した炭素の細孔径分布

がみられる。このことからこの炭素は単分散に近いかたちで比較的小さなメソ孔が存在していると言える。そのため、高温処理を施しても細孔が閉塞せず、比較的高い表面積を保ったのであろう。一方、NaY (5.5), NaY (5.6)からの炭素はメソ孔よりむしろマイクロ孔が多く、そのため高温処理で比表面積が急激に減少したのであろう。現在、分子プローブ法などにより、これらの炭素のマイクロ孔領域での吸着特異性などを調べている。

4. おわりに

本研究では、粘土の層間あるいはゼオライト細孔という超マイクロ空間を利用することで高分子の炭素化過程を分子レベルで制御する試みを行った。その結果、特異構造をもつ2次元状炭素、多孔質炭素などを合成することができた。最初に述べたように、新規な構造をもつ炭素をつくるためにはこのような分子レベルからのアプローチが是非とも必要であろう。

本研究で合成された高い配向性をもつ2次元状炭

素は新規構造の物質として興味ある特性を示す。たとえば、本稿では触れなかったがこの炭素の磁気抵抗は黒鉛化度が同程度の通常の炭素より低く、その原因の1つとして炭素が非常に薄いため寸法効果が考えられる⁹⁾。このこと自体はすぐ応用には結び付かないが、磁気抵抗以外にも寸法効果により思いもよらない物性を示すかもしれない。さらに、この炭素は層間への原子や分子などの挿入、脱離が容易であるという特徴をもっている¹⁰⁾。したがって、ゲストのインターカレーションおよびデインターカレーションを頻繁に行わなければならないような応用用途(たとえばリチウム2次電池電極材)に適していると考えられる。また、粘土フィルムから調製した黒鉛フィルムは電磁シールド材、電池の電極剤、燃料電池などのセパレータなど様々な用途が考えられる。ゼオライトからの3次元多孔質炭素は特殊吸着材としての利用が考えられる。今後、この炭素の吸着性などを調べる予定であるが、4 nmという比較的大きな細孔があるHY 5.8からの炭素は、医療分野などにおいて特殊な分子篩性を要求されるところで使えるかもしれない。

終わりに、本研究を行うにあたり有益な御討論を頂き、高結晶性Y型ゼオライトを提供して下さった東北大学理学部寺崎治博士に謝意を表します。

参考文献

- 1) T. Kyotani, N. Sonobe and A. Tomita, *Nature*, **331**, 331-333 (1988).
- 2) N. Sonobe, T. Kyotani and A. Tomita, *Carbon*, **26**, 573-578 (1988).
- 3) N. Sonobe, T. Kyotani, Y. Hishiyama, M. Shirashi and A. Tomita, *J. Phys. Chem.*, **92**, 7029-7034 (1988).
- 4) N. Sonobe, T. Kyotani and A. Tomita, *Carbon*, **28**, 483-488 (1990).
- 5) N. Sonobe, T. Kyotani and A. Tomita, *Carbon*, **29**, 61-67 (1991).
- 6) T. Kyotani, H. Yamada, N. Sonobe and A. Tomita, *Proc. Intern. Symp. Carbon Tsukuba*, (1990) 1-78.
- 7) T. Kyotani, T. Nagai and A. Tomita, *Carbon '92 Essen* (1992), p. 437.
- 8) 森, 京谷, 富田, 第19回炭素材料学会年会要旨集 (1992), 1A10.
- 9) 園部, 京谷, 富田, 菱山, *炭素*, **141**, 38-44 (1990).
- 10) T. Kyotani, K. Suzuki, N. Sonobe, A. Tomita, Y. Chida and R. Hara, *Carbon*, **31**, 149-153 (1993).

A Novel Carbonization Method by Using Inorganic Template
with Molecular-Size Opening

Takashi KYOTANI and Akira TOMITA
Institute for Chemical Reaction Science, Tohoku University

Control of carbonization process and design of carbon material at molecular level are essential for the preparation of newly advanced carbon material. From this point of view, a template carbonization method was recently proposed. Organic monomers were inserted into two dimensional space between lamellae of layered clay or into pores of zeolite, followed by the polymerization and the subsequent carbonization in the space with molecular size. Finally, carbon was taken out of these templates by acid washing. Using this method, several types of new carbons were prepared, e.g., a two-dimensional carbon and a porous carbon with unique structure. This review introduces the template carbonization and describes the properties and future application of the new carbons prepared by this method.

Key words: Template Carbonization, Molecular-Size Opening, Layered Clay, Zeolite.