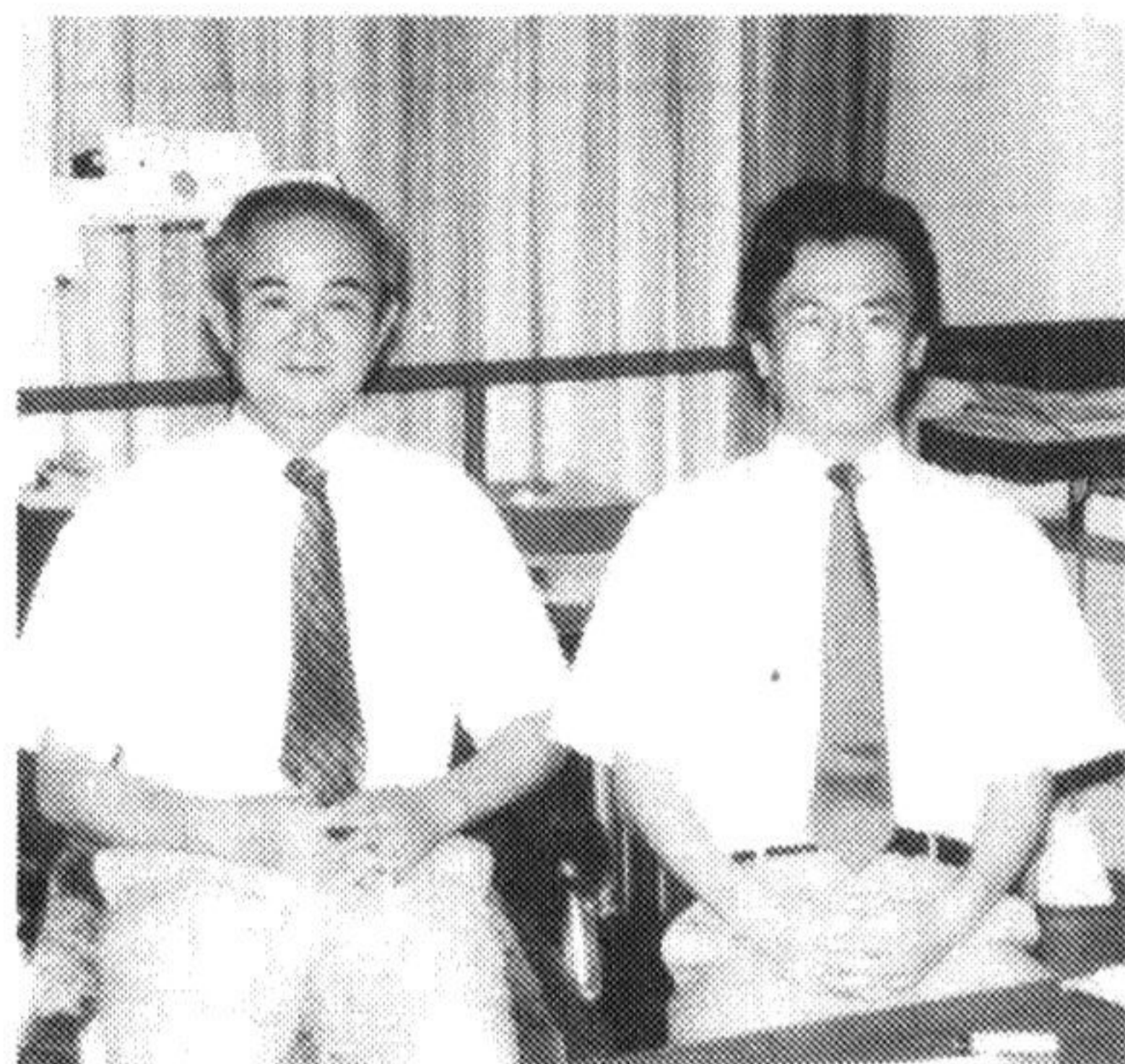


# 21世紀の材料を創造する

—— 高久・橋本研究室～有機材料工学科 ——



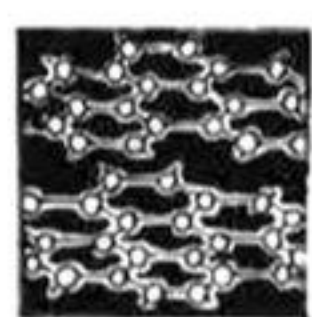
(左) 高久 明 教授  
(右) 橋本 寿正 助教授

人間の生活は、科学の進歩によって、より豊かなものへと変化を遂げて来た。例えば、エジソンの白熱電球の発明は、ロウソクやランプに代わる明るくて火災の心配の少ない安全な光をもたらした。しかし、もしもそのとき、高熱に耐えるフィラメントという材料が無かったら、この一大発明品は存在しなかったかもしれないのである。

さて、21世紀には、超伝導や核融

合などより高度な技術が実用化されると予想される。そうすると、材料も今まで以上に高性能なものや、新たな機能を併せ持つものが要求される。

今回我々は、そのような新素材に関する研究が行われている高久・橋本研究室を訪れ、炭素繊維や複合材料、および新たな素材製造プロセスなどについて、高久教授にお話をうかがった。



## 丈夫な素材を考える——繊維と複合材料

“丈夫”という言葉からまず連想できるものと言えば、金属やコンクリートがあげられるであろう。しかし、高久先生は繊維に興味をもっておられる。実際、繊維の中には、図1のようにアラミド繊維（全芳香族ポリアミドのことで、ナイロンのような脂肪族ポリアミドと異なり、芳

香環がアミド結合—CONH—により結合されているもの）の一種であるケブラーや炭素繊維など、引張強度や弾性率において金属に匹敵し、さらにそれをしのぐものもある。これらの繊維を“複合材料”として用いると、丈夫な材料を得ることができる。

複合材料とは、一つの素材を他の素材と一体的に組み合わせた材料とすることによって、それぞれの素材のみでは出せない性質を得ようとするものである。こうすることで弱点もカバーされてより高性能な素材を生むことが可能となる。

繊維は、一本一本をとってみれば確かに弱い。例えば、衣服などに使用されている木綿の場合、繊維一本の長さは約25mmで、引っ張ればすぐに切れてしまう。しかし、こういった繊維をより合わせて糸にすると、そのうちの一本が切れても、まわり

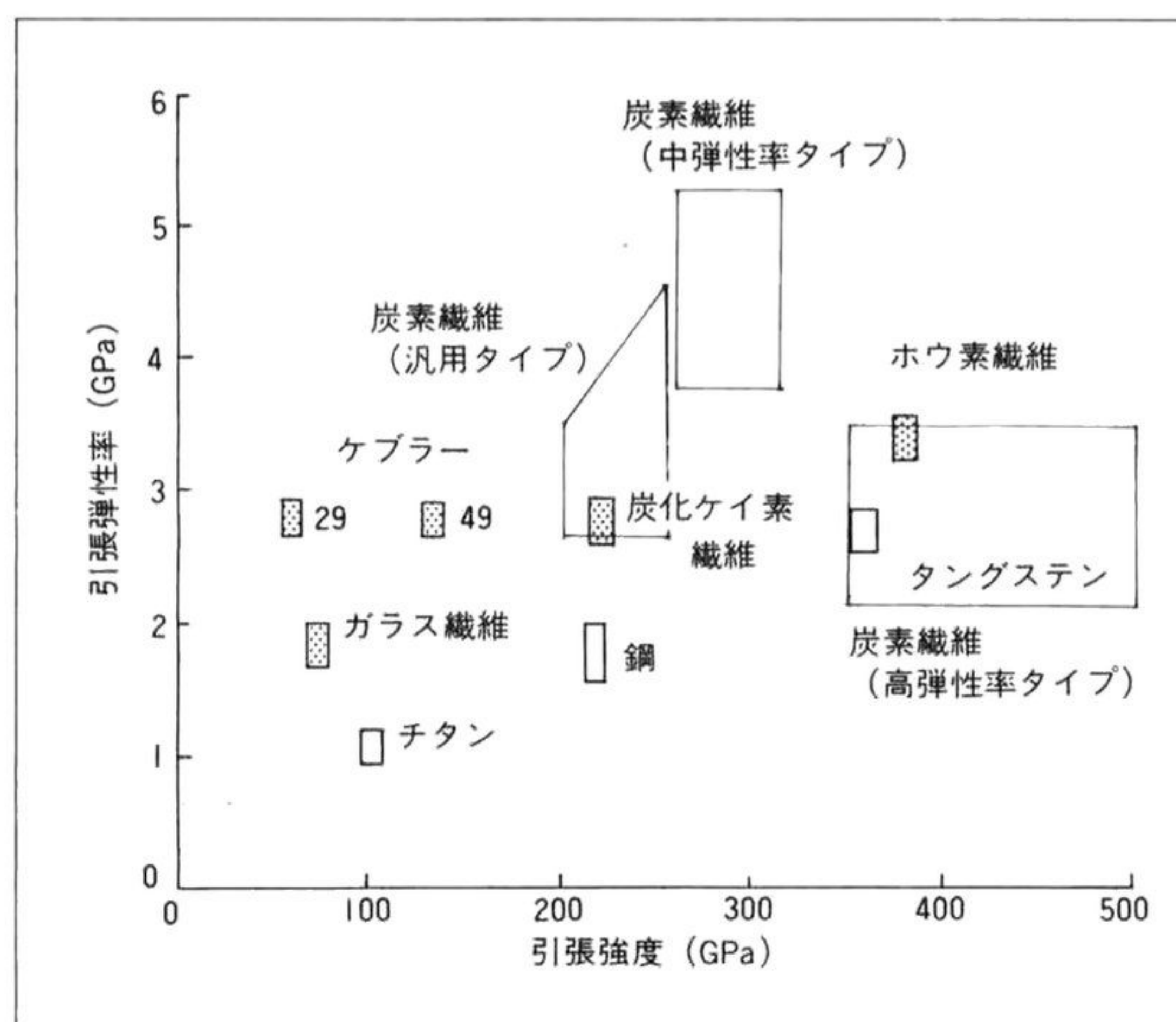


図1 種々の素材の引張強度と引張弾性率



への影響が少なく、系全体が直ちに切れてしまうようなことはない。一方、例えばガラスのように均質な材料は、一か所に傷をつけるとその傷がひび割れとなって全体に走って行き、最終的には壊れてしまう。

このようなことから推定できるように、多数の高弾性率・高強度繊維を樹脂で結合すると、傷への抵抗力が強く、しかも繊維の高弾性率・高強度を利用した材料を作ることができるのである。



## 新素材の一つとして—炭素繊維

種々の繊維のうちで、先生が主に研究しておられるのが炭素繊維である。我々の身近な所では、複合材料としてテニスのラケットやスキー板などにも使用されている。

炭素繊維とは、有機物を加熱して炭素化する過程で、炭素網面（炭素の6員環が平面状に多数連なったもの）が特定の方向を向くようにコントロールし、繊維の形態を取るようにしたものである。さらに加熱して全体を黒鉛化したものを黒鉛繊維と呼ぶ。冒頭で取り上げたエジソンの電球のフィラメントも、最初は竹を蒸し焼きにして作った炭素繊維が使われた。

現在、市場に出ている炭素繊維の原料としては、PAN（ポリアクリロニトリル：合成繊維の一種）や、石油の精製後に残ったピッチなどが使用されている。図2はPAN系の炭素繊維の炭素化過程である。

炭素繊維の製造の過程で一番重要

なのは、炭素網面がどの方向を向くか、ということである。実際に製造されているPAN系の炭素繊維は、図3のように外側は網面が層状に揃うが、内側では網面が断面内でランダムに配置される、といった構造を取りやすい。繊維の表面の構造は、繊維を複合材料とするときの接着性に大きく影響するので重要である。また、繊維の外層と内層とで構造に著しい差があると、繊維内部に弾性率の分布ができてしまい、高い強度を出しにくくなる。炭素繊維がどのような構造となるかは、繊維の原料や製造プロセスにおいての温度、時間、延伸（分子の方向をそろえる操作）などの要因によって様々に変化する。原料として、先生の研究室では、新たにPOD（ポリオキサジアゾール：合成高分子の一種）という物質にも着目している。この物質はPANと同様に高分子であるが、PANより優れた黒鉛化性（結晶が黒

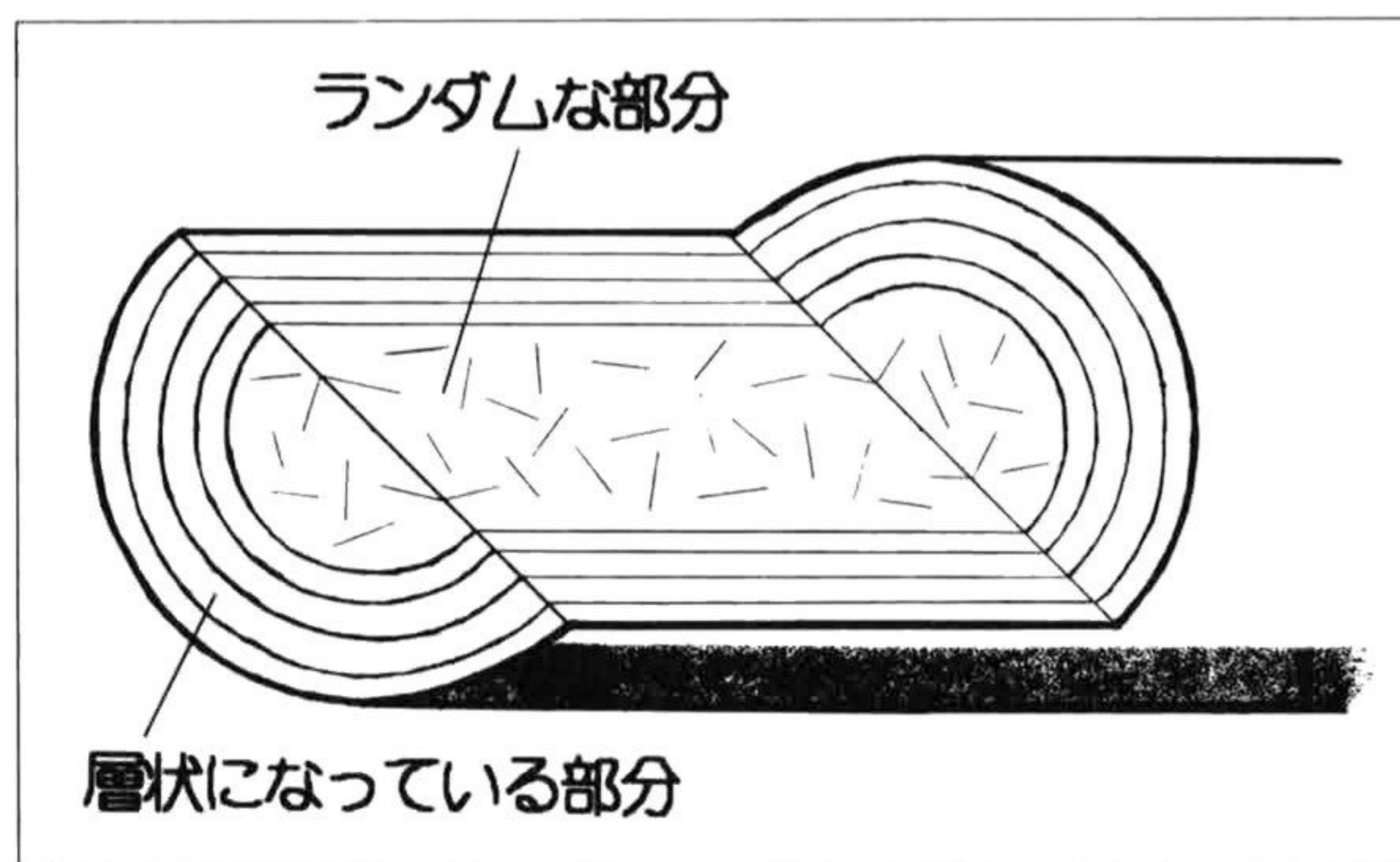


図3 PAN系炭素繊維の断面の模式図

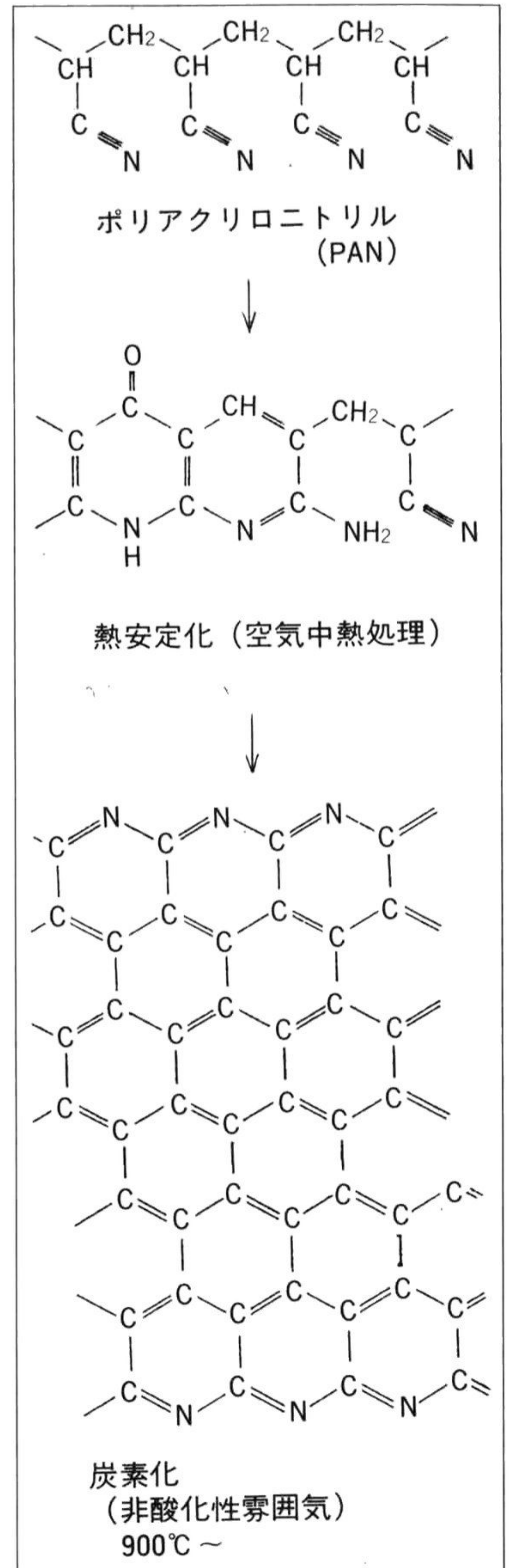


図2 ポリアクリロニトリルの炭素化過程



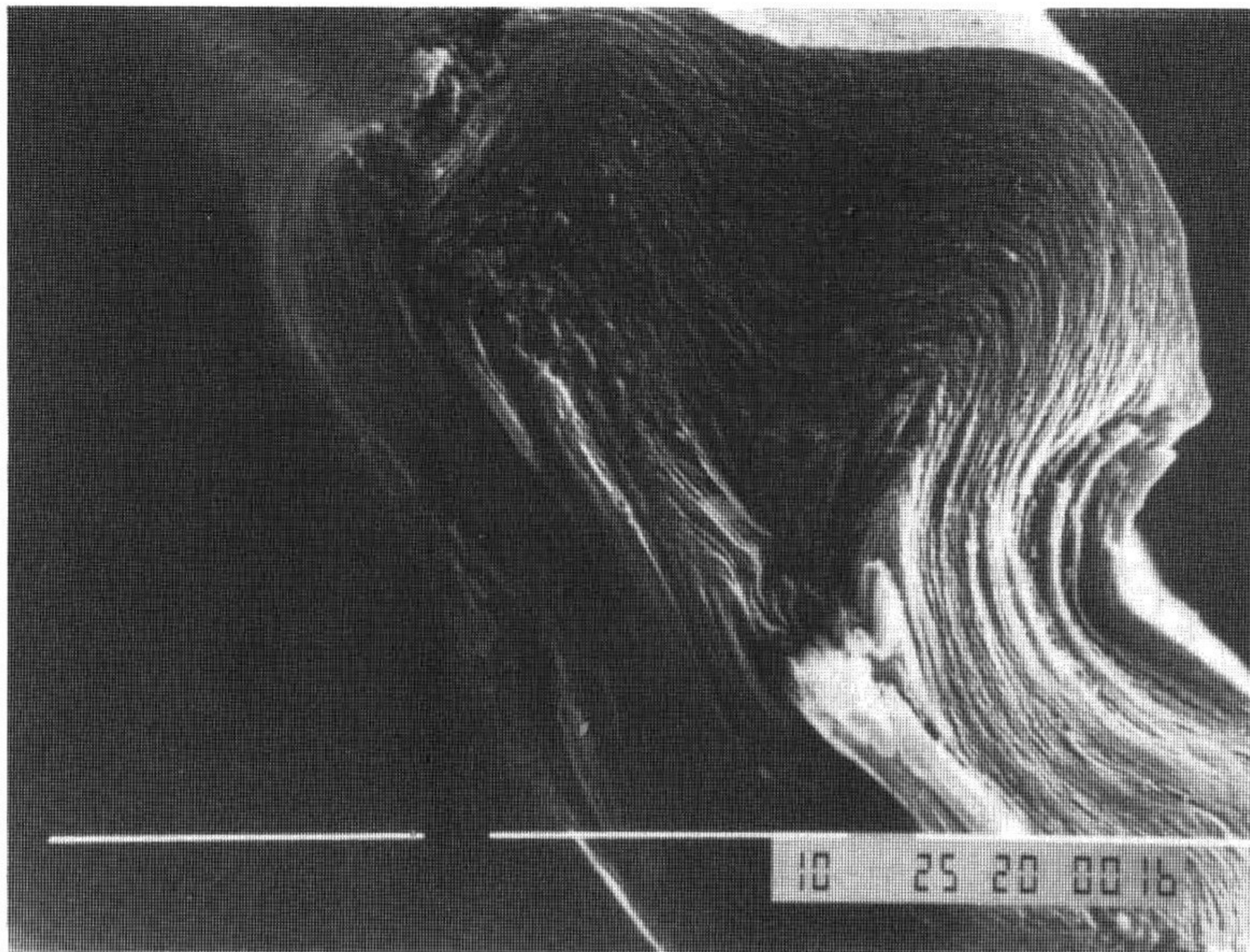
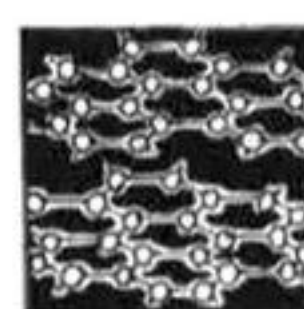


写真1 同研究室でPODから合成された黒鉛繊維の断面

鉛のような3次元的構造を取ろうとする性質)を示す。写真1よりわかるように、この物質を使用した炭素繊維は同心層状構造を取っており、より高い弾性率を示すのではないかと期待されている。

どのような条件にすればより高性能なものができるのかは非常に興味深いところである。「わずか数ミクロンの中にもドラマがある」と高久先生は言っておられた。



## 適材適所で弱点をカバーする

炭素繊維の物理的性質としては、以下のことが挙げられる。まず前述のように、金属並の引張強度と弾性率を持っている。また、炭素原子が共役二重結合で結合しているため、導電性がある。これは、今すぐ電子デバイスとして使用可能なレベルにまでは達していないが、黒鉛の網面間に種々の分子、原子やイオンを入れて層間化合物にするといった工夫をすることにより、実用レベルに近づけることができるそうである。さらに、炭素繊維は通常の使用条件下においては、酸やアルカリなどの薬品にも十分耐え得る。また、鉄などと違って塩分に強いので、海からの風を受けるところでの建築材料として実際に使用され始めている。そのうえ、炭素繊維は、製造の過程で高温で処理されているために熱にも強い。このように、炭素繊維は多くの利点を持っているが、その中でも最も重要であり、炭素繊維を特徴づけているのは軽量性である。骨格が炭

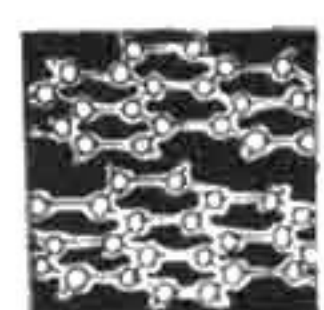
素のため、同強度の金属と比較すると、格段に軽いものができる。

しかし、炭素繊維には問題点がない訳ではない。第一にコストの問題がある。第二に剪断（物体のある断面に平行に互いに反対向きの力を加え、物体をはさみ切ること）に対して弱いことがある。しかし、ものには必ず弱点があるわけで、それをカバーして強い面を生かして使用することが重要なのである。

例えば、軽量性を生かして航空機に用いて燃料の消費を抑える、というように、高い利用価値が生じるように使用すれば、少々のコストの高さは問題にならなくなる。剪断に関しても、繊維方向にのみ力が加わるように部材の構造を設計することで解決される。

つまり、炭素繊維に限ったことではないのだが、材料というものは適材適所に使用されてこそ、真の力を発揮すると言えよう。





## さらに新たな材料のために——解析法と新プロセス

先生の研究室では、素材の解析手段として一般的なX線の回折と電子顕微鏡のほかに、複屈折を利用して、材料の方向による屈折率の違いを用いるものである。材料を二枚の偏光板の間に挟んで観察すると、この違いのために光が干渉し合って、その結果としてさまざまな波長の光が観察される。この干渉の起き方は、分子の向きや微妙な変形により異なるので、特殊な顕微鏡を用いて複屈折を調べることにより分子の向きや力のかかり方がわかるのである。

現在、先生の研究室では、より高性能な複合材料をつくるため、この方法を用いて、一本の炭素繊維と合成樹脂を複合させて力を加えた場合

の相互作用などが研究されている。

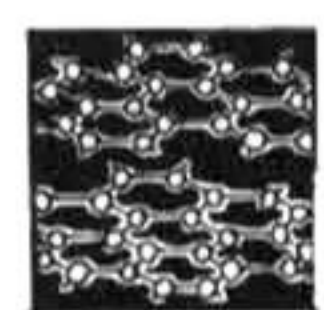
また、新たな素材製造プロセスの研究も行われている。

一つは、炭素繊維を加熱する際、繊維の両端に電圧をかけて電流を流し、そのジュール熱を利用して直接加熱するという方法で、直接通電加熱法と呼ばれている。炭素繊維を熱処理する場合、加熱炉を用いて繊維を外側から加熱するのが一般の方法であるが、加熱炉は大きな電力を消費する。これに対して、直接通電加熱法がうまく実現すれば、電力消費量は通常の方法の1/100以下ですむようになると予想される。

また、この方法は温度をコントロールしやすいため、いろいろな実験にも非常に都合がよく、熱処理時間

の短いところでできる構造の研究の手段としても期待されている。

もう一つは高速紡糸法と呼ばれる方法である。紡糸とは、合成繊維の製造工程において、溶融した高分子をノズルから押し出して繊維にする過程のことである。通常、繊維を巻取る速さは、1分間に300～1,000mである。この場合は、繊維にした後で延伸する必要がある。これに対し高速紡糸法では、高温で分子の熱運動が盛んなときに毎分10,000m近い速さで溶融高分子を延伸することにより、紡糸のときに分子の方向を揃えることが可能となる。そのため、紡糸と延伸という二つのプロセスを一つにまとめることができるのである。



## 今後の展望——夢は無限大

今後の展望として、高久先生は海洋開発を取り上げられた。海の環境は、海水の影響などを考慮すると、ある意味で宇宙よりも厳しいと言えよう。近未来の想像図においては、宇宙開発と並んで海洋開発が取り上げられているが、実現するにはさま

ざまな条件に耐え得る材料が必要なのである。そのようなことも含めて先生は次のように語って下さった。

「21世紀の材料をつくらなくてはいけない。そのためにも、もっといろいろな研究をする必要がある。だから、夢は無限大だ。それぞれの研

究者がどれだけ夢をもてるか、どれだけ好奇心を抱けるかで将来は違ってくる。夢が無ければ展望は無い。君達一人一人がどれだけ夢をもてるか、なのです。いろいろなことを勉強した方が良いというのはそういうことです。」

最後に、先生のお話しをもう一つだけ紹介したい。

「私達が簡単に捨てるようなものにでも、エンジニアの血と汗がにじんでいる。だから、ものを大切にしてもらいたい。そういう気持ちが無いと良いものはつくれない。そういう気持ちをエンジニアは見失ってはいけない。」

この言葉は、21世紀を支えるべき我々が忘れてはならないことであろ

う。

お忙しい中、快く取材に応じて下さった高久先生、協力して下さいました研究室の方々、本当にありがとうございました。

(清水頭)