一方向性炭素繊維／炭素複合材の機械的特性に及ぼす諸因子の影響

小島 昭*・大谷 杉郎**・高木 新一*

(昭和 58 年 11 月 18 日受理)

Effects of Several Factors on the Mechanical Properties of Unidirectional Carbon Fiber Reinforced Carbon

Akira Kojima*, Sugio Otani**, and Shinichi Takagi*

* Gunma Technical College; Toriba-cho, Maebashi-shi 371 Japan

** Faculty of Technology, Gunma University; Tenjin-cho, Kiryu-shi 376 Japan

It was tried to improve compressive strength of carbon fiber reinforced carbon (CFRC) as a core material of FRS (fine Rahmen surface) carbon for dental implant. The unidirectional (UD)-carbon fiber reinforced plastics (CFRP) were prepared by using high performance carbon fiber (CF) and phenol resin containing some amount of graphite powder, and then carbonized into CFRC at about 1000°C under nitrogen atmosphere.

The influences of the following factors on the mechanical properties of CFRC's were investigated; (1) types of CF (high strength CF and high modulus CF), (2) existence of coated sizing agent on the surface of CF, (3) pre-heat treatment of CF at 2500°C, and (4) re-heat treatment of CFRC at 2500°C. Removing the sizing agent from CF resulted into increase of flexural strength. The CFRC using CF pre-heated at 2500°C and CFRC re-heated at 2500°C exhibited larger flexural strength and smaller compressive strength and interlaminar shear strength than the others. Fiber pull-out could be observed at the fractured surface of the CFRC having the large flexural strength. From X-ray diffraction analysis and microscopic observation, relationships between the mechanical properties and the treatments are explained on the basis of the variation of the adhesive strength between CF and matrix carbon.

1. 緒 言

著者らはこれまでに微細なラーメン構造を表面層にもつ炭素人工歯根材 (FRS インプラント)¹⁾用の、高い機械的強度と靱性をもつ炭素芯材の製法についての研究を行ってきた^{2,3,4)}。現段階でこれらの特性をもつ炭素材料としてもっとも可能性のあるものはCFRC (炭素繊維／炭素複合材)である。これまでに靱性をもつCFRCについては木村、安田ら⁵⁾や、H.Bruckmannら⁶⁾の研究もあり、著者らもあらかじめ2500°Cで熱処理した高強度炭素繊維を用い、フェノール樹脂をバインダーとしてUD-

CFRP (一方向性-炭素繊維／樹脂複合材)を作り、これを1000°Cで炭素化することによって靱性をもつUD-CFRCをつくりうることを報告した³⁾。この棒状試料の曲げ強度は1030 MPaで、歯根材料として望まれる150 MPa以上の充分な値を示したが、圧縮強度は熱分解炭素被覆をしないと60 MPa程度で、必要とされる100 MPa以上の強度には不足していた。そこで、この圧縮強度の改善を主目的として靱性を示すUD-CFRC棒の製法の検討を試みた。その際、既報³⁾のように高強度炭素繊維をあらかじめ2500°Cで熱処理してから用いるのではなく、すでに同様の温度域で熱処理されたと見られる市販高弾性率炭素繊維を用いることにした。

靱性をはじめとする圧縮強度その他の諸物性は、CFRC中のCFとマトリックスとの界面における接着強度に大きく関係するものと考えられる。この界面接着強度に影

* 群馬工業高等専門学校工業化学科：〒371 前橋市鳥羽町 580

** 群馬大学工学部合成化学科：〒376 桐生市天神町 1
- 5

響を与える要因として、次の四項目について検討した。

- (1) CFの種類、即ち高強度繊維と高弾性率繊維との違い。
- (2) CFのサイジング剤の有無。
- (3) CFの予備熱処理の影響。
- (4) CFRCの2500℃熱処理の影響。

2. 実 験

2.1 素 材

使用したCFは次の4種であった。

- (1) 高弾性率炭素繊維(HMCF): 東レ(株)製, トレカM-40, 6000フィラメント。
- (2) 高強度炭素繊維(HTCF): 旭日本カーボン(株)製, カーボンZ-3, 3000フィラメント。
- (3) サイジング剤除去CF: HM, HT両CFをメチルケトンを用いソックスレー抽出器中で5時間抽出し, サイジング剤を除去した。抽出量はHMCFで1%, HTCFで7%であった。
- (4) 熱処理CF: サイジング剤を除いたHTCFを超高温炉(進成電炉製作所製, SDS-46-1)中でArを流しながら20℃/minの速度で2500℃まで昇温し, 同温度に20分間保持した。

CFRPをつくるためのバインダー樹脂としては, フェノール樹脂(レゾール型, 群栄化学(株)製, PL-2211)のアルコール溶液を用い, これに黒鉛微粉末(日立化成(株)製, HITASOL GP-60)を添加し, ボールミルを用いて十分に分散させた。溶液組成としてはフェノール樹脂21 w/o, 黒鉛粉9 w/o, アルコール70 w/oであった。

2.2 CFRC 棒の製法

UD-CFRC棒の製造方法の概略および試料の略号をFig. 1に示した。具体的な製法は既報³⁾と同じであるから要点だけを述べた。フェノール樹脂メタノール溶液を塗布したプリプレグCFを, HMCFの場合は7本, HTCFの場合は12本, 金型中に順々に積み重ねて並べ棒状のプリホームをつくり, これを150℃に加熱してある金型中にいれ直し30 MPaの加圧下で硬化した。その際, 繊維軸方向に張力をかけるため両端にそれぞれ1kgの鉄ブロックをつり下げた。加圧下の硬化を終えたCFRP棒はさらに180℃の乾燥器で3日間アフターベーキングを行ない焼成用のCFRPとした。えられたCFRP棒の外形は直径2mm, 長さ250mm(繊維方向)であった。炭素化は窒素ガスを流しながら600℃までは10℃/hr, それから1000℃までは30℃/hrの昇温速度で加熱して行なった。ついで, フェノール樹脂を含浸し, 1000℃で炭素化する緻密化処理を2回繰り返してCFRC棒をえた。CF

Fig. 1 Preparation of various CFRC bars.

表面にサイジング剤が塗布されたままのHMCFから作られたCFRCをCFRC(SM), HTCFの場合をCFRC(ST)とし, 抽出処理によりサイジング剤が除去されたHMCFおよびHTCFから作られたCFRCの場合をそれぞれCFRC(M)およびCFRC(T), あらかじめ2500℃で熱処理されたHTCFから作られた場合をCFRC(TH)とした。さらに, CFRC(M)およびCFRC(TH)を超高温炉中にいれ, 20℃/minの速度で2500℃まで加熱して黒鉛化を行なったものをCFRC(M-25)およびCFRC(TH-25)とした。

2.3 測定および観察

かさ比重: ノギスによって求めたCFRC棒の実測体積とその重量から算出した。

真比重: JIS R-7212に準じ, 1-ブタノール浸液法により求めた⁷⁾。

気孔率(空隙率): CFRCのかさ比重および真比重から算出した⁸⁾。

曲げ強度: 万能試験機(東洋測器(株)製, MODEL UTM-4L)を用い, 三点曲げ試験法で測定した。ナイフエッジの規格はJIS 6911に定められたもので, 支点エッジ先端の曲率半径は2mm, 加圧くさび先端の曲率半径は5mmである。支点間距離とCFRC棒の直径との比(S/d)は20, 荷重速度は4mm/min, 測定試料数はその他の測定も含めいずれも3個である。

曲げ弾性率: 上記曲げ強度測定時の荷重-歪曲線の初期直線部の傾きより算出した。

圧縮強度: 測定には万能試験機(島津製作所製, RH-10)を用い, 2.5mm/minの荷重速度で行なった。測定試料の形状は, 直径2mm, 高さ5mmである。試験機の測定台の上に試料片が直立するようにコンパウンドを用いて固定し, 繊維軸方向に平行に圧縮荷重を加えた。

層間せん断強度：ショートビーム試験法 ($S/d=5$)により測定した⁹⁾。

破断面の観察：走査電子顕微鏡(日本電子(株)製, JSM T-200)により観察した。

X線回折：粉末にしたCFRCを試料とし, X線回折装置により測定した。

3. 結 果

3.1 CFRC 棒の機械的強度

Fig. 1 に従ってえられたUD(一方向性)-CFRC棒は, CFの種類および処理条件が異なっても外観的な差はなかった。いずれの場合も, CFRPからCFRCへの炭素化収率は87%, 直径方向における収縮率は6%で, CFの繊維軸方向での収縮は認められなかった。CFRCをさらに2500℃まで加熱したCFRC(M-25)およびCFRC(TH-25)の場合, 1000℃以上の重量変化はなかったが, 直径方向での収縮率はCFRPを基準にした場合は10%,

CFRC(M)およびCFRC(T)に対しては4%であった。

種々の条件で作られたUD-CFRC棒の比重および機械的強度をTable 1 およびTable 2 に示す。

サイジング剤の影響：表面にサイジング剤の塗布されている2種類のCFから作られたCFRC(SM)およびCFRC(ST)の間には, 曲げ強度, 曲げ弾性率, 圧縮強度および層間せん断強度等の機械的特性に大きな差は認められなかった。一方, サイジング剤をあらかじめ除去したCFを使用したCFRC(M)およびCFRC(T)の場合は, CFRC(SM)およびCFRC(ST)にくらべて曲げ強度はあまり変わらないが, 圧縮強度および層間せん断強度は共に高くなった。そして, 曲げ弾性率だけはCFRC(M)では増加し, CFRC(T)では逆に減少した。従って, 曲げ弾性率に関してだけは使用したCFの物性の差が, CFRCの物性に反映されているように思われる。

HTCFの熱処理の影響：サイジング剤を除いたHTCFと, それをあらかじめ2500℃で熱処理したCFとから作

Table 1 Mechanical properties of various CFRC bars prepared from HMCf.

Type of CFRC	SM	M	M-25
HTT of CFRC(℃)	1000	1000	2500
Bulk density	1.51 (1.47-1.54)	1.50 (1.46-1.58)	1.55 (1.48-1.58)
Density	1.74	1.76	1.85
Porosity (%)	13	15	16
Flexural strength (MPa)	430 (340-480)	460 (420-490)	660 (580-710)
Flexural modulus (GPa)	40 (32-56)	58 (48-66)	36 (30-45)
Compressive strength (MPa)	140 (90-180)	230 (150-280)	170 (100-180)
Interlaminar shear strength (MPa)	22 (16-26)	38 (31-42)	14 (12-17)

Table 2 Mechanical properties of various CFRC bars prepared from HTCF.

Type of CFRC	ST	T	TH	TH-25
HTT of CFRC(℃)	1000	1000	1000	2500
Bulk density	1.41 (1.38-1.43)	1.50 (1.48-1.55)	1.58 (1.48-1.66)	1.61 (1.54-1.68)
Density	1.66	1.68	1.75	2.02
Porosity (%)	15	11	10	20
Flexural strength (MPa)	410 (310-550)	420 (370-480)	1030 (500-1210)	550 (450-680)
Flexural modulus (GPa)	40 (27-55)	28 (13-43)	12 (7-12)	21 (10-30)
Compressive strength (MPa)	160 (120-230)	290 (240-320)	60 (50-80)	170 (130-220)
Interlaminar shear strength (MPa)	21 (12-25)	32 (29-33)	16 (14-19)	21 (20-23)

られた2種類のCFRCについて比較した場合には、後者でつくられたCFRC (TH)の曲げ強度が著しく増加すると同時に、曲げ弾性率、圧縮強度および層間せん断強度は逆に大きく減少した。すでに製造段階で2500℃程度の温度で熱処理されたとみられるHMCfから作られたCFRC (M)と、CFRC (TH)を比較した場合にも同じような明確な差があった。即ち前者の方が曲げ強度は高いが、曲げ弾性率、圧縮強度および層間せん断強度は低くなっていた。

CFRCの2500℃処理の影響：1000℃で炭素化したCFRCを2500℃処理した時の影響はHMCfを用いた場合と、HTCFを用いた場合とで全く逆の傾向を示した。即ち、HMCfを用いたCFRC (M)とCFRC (M-25)の間には、熱処理により曲げ強度は増加し、その他の物性は減少した。これに対しHTCFを用いたCFRC (TH)とCFRC (TH-25)では全く逆に曲げ強度が減少して、その他の物性が増加した。

3.2 CFRCの破壊挙動

曲げ強度を測定した場合の各CFRCの応力-歪曲線をFig. 2に示す。CFRCの最終熱処理温度が1000℃である5種類のうち、CFRC (SM), CFRC (M), CFRC (ST)およびCFRC (T)の場合にはいずれも一般炭素材と同じように降伏点を示すことなく、割れて二つになった (Fig. 2-1, 2, 4, 5)。しかし、あらかじめ2500℃処理したHTCFを用いたCFRC (TH)のみは、最終熱処理

温度が1000℃であるにもかかわらず靱性を示した。また、CFRCを2500℃で再度熱処理した二つの試料 [CFRC (M-25) および CFRC (TH-25)] はいずれも靱性を示した (Fig. 2-3, 6, 7)。

次に、CFRCの破断面を走査電子顕微鏡で観察し、その様子を Fig. 3, 4, 5 に示す。HMCfから作られた3種類 (Fig. 3), HTCFから作られた4種類 (Fig. 4)のいずれも破断面の一部 (写真の下側) に欠損している部分がみ

Fig. 2 Load-deflection curves of various CFRC bars.

1. CFRC (SM),	2. CFRC (M),
3. CFRC (M-25),	4. CFRC (ST),
5. CFRC (T),	6. CFRC (TH),
7. CFRC (TH-25)	

Fig. 3 Fractured surface of various CFRC bars prepared from HMCf after bending test.

1. CFRC (SM), 2. CFRC (M), 3. CFRC (M-25)

Fig. 4 Fractured surface of various CFRC bars prepared from HTCF after bending test.

1. CFRC (ST), 2. CFRC (T), 3. CFRC (TH), 4. CFRC (TH-25).

Fig. 5 Surface conditions of drawn-off CF in the fractured surface of CFRC.

1. CFRC (M-25), 2. CFRC (TH),
3. CFRC (TH-25).

られた。この部分は、曲げ強度測定時に「加圧くさび」により圧縮荷重が加えられた場所で、破壊時にバラバラに破断し消失した。

応力-歪曲線で靱性の認められなかった試料では、Fig.3-1, 2およびFig.4-1, 2にみられるようにCFのひきぬかれている様子はほとんど認められなかった。反対に、靱性の認められた試料ではFig.3-3と、Fig.4-3, 4にみられたようにいずれもCFのひきぬかれているのが見られ、その長さはCFRC (TH)の場合のように最大 1000 μm に達するものもあった (Fig.4-3)。

ひきぬかれたCFの表面状況を高倍率にして走査電子顕微鏡で観察し、その様子を Fig.5 に示す。1000℃処理のCFRC (TH)の場合、ひきぬかれたCFは1本1本完全にバラバラで、その表面上に付着物はほとんど見られなかった (Fig.5-2)。一方、これを2500℃で処理したCFRC (TH-25)では、マトリックス樹脂炭の付着がみられた (Fig.5-3)。このようなマトリックス炭の付着は、CFRC (M-25)において更に顕著で数本のCFが束になってひきぬかれていることが多く、その長さは最長 200 μm 程度であった (Fig.5-1)。ここで注意すべきことは、CFRC (TH)と同じ1000℃で処理されたCFRC (M)ではCFとマトリックスとの接着力がマトリックスの強度よりも大きく、ほとんどひきぬけないことであった。つまり、CFRC (M)では2500℃処理でCFがひきぬけ

やすくなり、CFRC (TH) では 2500℃ 処理で逆に CF がわずかながらひきぬけにくくなった。

3.3 CFRC の X 線回折測定

HMCF (d_{002} : 3.44 Å, $L_{c(002)}$: 30 Å) およびそれを用いて作った CFRC の (002) 回折線の X 線回折図形を Fig. 6 に示す。1000℃ で加熱処理した CFRC (SM) および (M) の場合、ほぼ同じ回折図形を示し $2\theta = 26.5^\circ$ に黒鉛微粉末による鋭いピークと、 26.0° 付近に HMCF によるとみられる幅広い回折図形とがかさなりあっていた (Fig. 6-2, 3)。そして、2500℃ で CFRC を加熱処理した CFRC (M-25) の場合には 26.5° のピークがさらに高くなり、低角度側へ裾をもった明らかなショルダーをもたない非対称ピークとなった (Fig. 6-4)。CFRC 中に添加してある黒鉛微粉末量は CFRC の熱処理温度が 1000℃ でも 2500℃ でも同じであるから、この結果は HMCF およびマトリックスの黒鉛化が進行したことを示している。

次に、HTCF およびそれを用いて作った CFRC の X 線回折図形を Fig. 7 に示す。HTCF 単体の場合この回折条件では明確な (002) 回折線は認められなかったが、2500℃ で熱処理すると層構造は若干発達し、 d_{002} が 3.46 Å, $L_{c(002)}$ が 20 Å の幅広い回折図形となった (Fig. 7-2)。これを Fig. 6-1 の HMCF と比較すると、2500℃ 処理 CF であるにもかかわらず黒鉛化度はまだ HMCF に劣っていることがわかる。あらかじめ熱処理されていない

Fig. 6 X-ray diffraction profiles of HMCF and various CFRC's prepared from HMCF.

1. HMCF, 2. CFRC (SM),
3. CFRC (M), 4. CFRC (M-25).

Fig. 7 X-ray diffraction profiles of HTCF and various CFRC's prepared from HTCF.

1. HTCF,
2. HTCF pre-heated at 2500°C,
3. CFRC (ST), 4. CFRC (T),
5. CFRC (TH), 6. CFRC (TH-25).

HTCF から作られた 2 種類の CFRC の X 線回折図形は、Fig. 7-3, 4 のように $2\theta = 26.5^\circ$ に黒鉛微粉末による回折線しか認められなかった。しかし、2500℃ であらかじめ熱処理した HTCF から作られた CFRC (TH) の場合は、黒鉛のピークの他に 26° 付近に熱処理された HTCF によるとみられる幅広い回折図形と重なった複合図形となった (Fig. 7-5)。CFRC (TH) をさらに 2500℃ に加熱処理すると 26.5° の回折線も高く、ピーク幅もせまくなり、Fig. 6-4 に示した CFRC (M-25) よりもさらに結晶性が発達したことを示している (Fig. 7-6)。

4. 考 察

FRS 炭素人工歯根材用の CFRC を作製することを試みた。CFRC の機械的特性を示した Table 1 からみて、CF 表面に塗布されているサイジング剤の存在は CF の特性の差をかくし、同時に CFRC の圧縮強度を低下させていた。サイジング剤の組成については Hercules 社の製品の一部に PVA の使用が明示されている他はほとんど公表されていない¹⁰⁾。また、量的には HMCF 試料に

みられるように1%程度のことが多いが、そのCFの主たる使用目的によっては本研究のHTCF試料のように7%に達するものもある。

サイジング剤のCFRCの機械的強度に対する影響についての報告は今までになされていない。しかし、安田らはマトリックス樹脂が炭素化過程において大きな収縮をおこし、それによってCFとマトリックスとは良く密着しているのでサイジング剤の影響は一応無視できるとしている¹¹⁾。しかし、サイジング剤は一般にその製品が主たる使用目的とするCFRP用樹脂とのなじみを考慮して化学組成と量が選定されている。したがって、CFRPを経由してCFRCをつくる場合に、CFRCの前駆体としてのCFRPの段階で、どのような樹脂を使うかによって、CFとマトリックス間の接着状況が違ふことは考えられる。本実験の場合、サイジング剤の存在は最終的に得られるCFRCの曲げ強度に対してはあまり影響しないが、圧縮強度は1/2程度になっていることからみて、フェノール樹脂がマトリックスの場合にはCFとマトリックスとの接着性を低下させているのかもしれない。

FRSインプラント用のCFRCとしては圧縮強度だけからみると、サイジング剤を除いたHMCFまたはHTCFがよく、その中でもHTCFを使うことが特によい。靱性を重視するとすればFig.3, 4に見られるようにCFのひきぬけ現象のみられるCFRC(M-25), CFRC(TH)またはCFRC(TH-25)になる。

CFRC(T)およびCFRC(TH)の比較では、破断面でのCFのひきぬけが顕著になった。このことはHTCFを2500℃で熱処理することでCFとマトリックス炭との間の接着力が低下したことを示している。同時に、曲げ強度が著しく増加し、曲げ弾性率、圧縮強度および層間せん断強度が大きく減少した。CFRC(M)とCFRC(M-25)の比較でもCFのひきぬけが顕著になると曲げ強度は増加し、その他の物性が低下した。

CFRC(TH)とCFRC(TH-25)を比較すると、後者の場合CFのひきぬけはあっても、マトリックス炭の付着がみられ接着力が増したと考えられ、この時には曲げ強度が減少してその他の機械的特性が増した。これらの例からみると、曲げ強度と靱性はCFのひきぬけによって大きくなり、圧縮強度および層間せん断強度はCFとマトリックスとの接着力の強い方が大きな値を示すことになる。このような推論に基づくとCFRC(M)およびCFRC(T)にみられる、サイジング剤を除いたことによる圧縮強度の増大は、CFとマトリックス炭との接着強度の増加に原因するものであろう。

CFRC(M), CFRC(T)およびCFRC(TM)三者間の比較は興味がある。CFRC(M)およびCFRC(T)は曲

げ弾性率を除き他の物性では大差ない。しかし、CFRC(T)とCFRC(TH)では前述したように機械的強度は大きな差となって現われた。この差は、X線的な黒鉛化度の差のようにも思われる。しかし、CFRC(M)とCFRC(TH)とを比較すると、CFRC(M)の黒鉛化度がCFRC(TH)のそれより大きいにもかかわらず、CFRC(T)に似た物性を示す。HMCFおよびHTCFともサイジング剤の他に酸化などの表面処理が施されていると考えられることからすれば、HTCFは2500℃処理によってこの表面処理の効果がなくなったことによる、CFとマトリックス樹脂との接着が弱くなったことに主要な原因があると推測する方が妥当なようである。

CFRC(M)を2500℃に加熱したCFRC(M-25)の場合と、CFRC(TH)を同温度に加熱処理したCFRC(TH-25)の場合の、機械的強度に対する影響のあらわれ方が逆になっていた。即ち、CFRC(M)の場合には、Table 1のように熱処理によって曲げ強度は増加し、圧縮強度が低下した。この曲げ強度の増加は、Fig.3-2, 3にみられるように、熱処理によってCFのひきぬけ現象がみられるようになったことに直接的な原因があると思われる。このひきぬけのみられるようになった原因は、Fig. 6のX線回折の結果からみてマトリックス炭素の黒鉛化が進行していることと、Fig.5の写真にみられるように破断がCFとマトリックスの界面でおこるよりも、マトリックス内で行なわれていることなどからみて、マトリックスの黒鉛化による強度低下が主要な原因と思われる。

一方、熱処理によって逆に曲げ強度が低下し、圧縮強度が増加したCFRC(TH)は、Fig.4-3やFig.5-2にみられるように、CFとマトリックスとの界面の破断による大きなひきぬけ現象を示していたのに、2500℃処理によってFig.4-4にみられるようにややひきぬけにくくなった。Fig.7のX線回折の結果にみられるように、熱処理によってマトリックスもCFもともに著しく黒鉛化が進行し、偏光顕微鏡観察では両者の境界が見分けにくくなる場所もあらわれた。これらのことから、熱処理によってひきぬけにくくなった原因の一つは、CFとマトリックスとの接着が強化されたことであると推測される。一方、Fig.5-3の写真では、Fig.5-1のCFRC(M-25)の場合ほど著しくはないが、ひきぬけたCFにマトリックス炭素がしっかりと結合しているのがみられ、破断がマトリックス内と界面の双方で行なわれているように観察される。この状態はFig.5-1, 2に示したCFRC(M-25)およびCFRC(TH)の中間に位置している。しかし、曲げ強度に関しては両者よりも低い。このことは多分、CFRC(TH-25)のマトリックスがCFRC(M-25)のそれよりも更に黒鉛化されているため、前者のマトリッ

クス強度がより小さいことに基因するものであろう。結論的にはCFRC (TH-25) の曲げ強度の低下は、CF-マトリックス界面の接着性の増加と、マトリックスの強度減少との二つの原因によるものと考えられる。

本研究は昭和 58 年度文部省科学研究費(試験研究)の援助を受けて行なったものである。

文 献

- 1) A. Kojima, S. Otani, S. Yanagisawa, K. Niijima, T. Iwata, and E. Sairenji, *Carbon* in press.
- 2) 大谷杉郎, 小島 昭, 飯塚重雄, 星野新吾, 神津正史, 炭素 **1983** [No.113] 53.
- 3) 小島 昭, 大谷杉郎, 飯塚重雄, 長谷川 徹, 炭素 **1984** [No.116] 19.
- 4) 小島 昭, 大谷杉郎, 炭素 **1984** [No.116] 28.
- 5) 安田栄一, 田中英彦, 木村脩七, 炭素 **1980** [No. 100] 3.
- 6) H. Brückmann and K. J. Hüttinger, *Bio-materials* 1980, Vol. 1, 67.
- 7) 炭素材料学会編, 炭素材料実験技術 1, 133(1978), 科学技術社.
- 8) 炭素材料学会編, 炭素材料実験技術 1, 134(1978), 科学技術社.
- 9) 大谷杉郎, 木村 真, 「炭素繊維」339(1972), 近代編集社.
- 10) 大谷杉郎, 奥田謙介, 松田 滋, 「炭素繊維」233(1983), 近代編集社.
- 11) 安田栄一, 木村脩七, 炭素 **1983** [No.115] 196.

「炭素繊維の新しい展開」セミナーテキスト

昭和 58 年 2 月 28 日, 3 月 1 日の両日に開催された標記セミナーのテキストを希望者にお分け致します。

内 容

1. PAN系高伸度高強度炭素繊維 東レ㈱ 森 田 健 一
2. メソフェースピッチ系炭素繊維 九州工業技術試験所 山 田 泰 弘
3. 気相成長炭素繊維 信州大学工学部 遠 藤 守 信
4. 繊維状活性炭について 東邦ベスロン㈱三島工場 平 井 実
5. CFRP の航空機への応用 川崎重工業㈱ 政枝英雄, 小塩国次
6. CF / 炭素複合材料 繊維高分子材料研究所 福 多 健 二
7. 炭素繊維補強セメント複合材 (CFRC) の
開発・実用化現況について 鹿島建設㈱技術研究所 秋 浜 繁 幸
8. (パネルディスカッション)
炭素繊維工業の現状と今後の展望 アンケート集計結果

1 部 4,000 円 (送料込み) 代金を添えてお申込み下さい。

申込先 〒113 東京都文京区湯島 1-5-31 第一金森ビル
炭素材料学会事務局 電話 03-815-3988