

# J303 等温・等圧 CVI による炭素／炭素複合材料の高密度化過程に及ぼす気相組成の影響 (九大先導研)○(学)島山 朋・(正)則永 行庸\*・(正)林 潤一郎

【緒言】炭素／炭素複合材料は炭素繊維間の空隙に樹脂含浸法や化学気相浸透(CVI)法により炭素を析出させたもので、軽量で比強度・比剛性が高く、航空機のブレーキディスク等に使用されている。CVI 法は低級炭化水素などからの熱分解炭素析出によりプリフォームを高密度化する方法であり、単一の工程からなる、樹脂含浸法に比べて短時間で材料の製造が可能である等の利点があるが、原料ガスのプリフォームへの浸透は主に拡散に支配されるため、材料深部での高密度化が不十分になる等の欠点がある。そこで、本研究では各実験条件において製造した複合材の密度分布を測定することで、高密度化過程に及ぼす操作条件の影響を検討し、詳細化学反応速度モデルによって気相組成の経時変化をシミュレートすることで、実験結果と比較した。その結果、均一な密度分布を持つ複合材の製造には、多環芳香族炭化水素(PAHs)の気相における濃度を一定値以下に抑える必要があることが判明したので報告する。

【実験】ピッチ系炭素繊維フェルトからなるプリフォーム(直方体, 58×36×16 mm<sup>3</sup>)を黒鉛ホルダーに固定し、反応器に設置した。プリフォームの初期かさ密度および体積充填率はそれぞれ約 0.12 g/cm<sup>3</sup> および約 7 %であった。原料ガス(メタン)は反応器下部から導入した。CVI は、温度(T)1070-1090 °C、圧力(P)20-35 kPa、滞留時間(RT)0.2-0.5 s および反応時間(DT)12-120 h の条件下で実施した。炭素繊維の左右両横方向から原料ガスが拡散する条件(図 1 左)に加え、ホルダーの片側をグラファイトシートで閉じ、拡散距離を伸ばした条件(図 1 真ん中)で実験を行った。作製した複合材は、図 1 の右側に示されるように分割し、個々の部位におけるかさ密度を測定した。

【シミュレーション】1 次元(プラグ流)モデルを用いた。入力情報は、反応器入口におけるガス組成、線流速、圧力、反応器壁の温度プロファイル、反応機構等である。ソルバーとして化学反応速度解析ソフト DETCHEM<sup>1</sup> を用いた。詳細は別報に譲る<sup>2</sup>。結果は実験で得た出口ガスのメタン、および水素の体積分率と比較することでその妥当性を検証した。

【結果と考察】表 1 に実験条件を示す。条件 A から C は炭素繊維の左右両横方向からメタンが拡散する状態で、条件 D はホルダーの片側をグラファイトシートで閉じた状態で CVI を行った。複合体全体のかさ密度は、条件 C において最大(1.78 g/cm<sup>3</sup>)となった。図 1 の(a)から(c)の部位のかさ密度は、ガス流れ方向に沿って図 2 の(a)から(c)のように変化した。(a)の位置における条件 A および C や、(c)の位置における条件 D のかさ密度は極大値を経て変化した。密度の増加は炭素前駆体である不飽和炭化水素や PAHs の濃度増加に、いっぽう、密度の低下は原料ガスの熱分解によって発生した水素の濃度増加による炭素析出の阻害によると考えられる。条件 A および C のシミュレーション結果を図 3 に示す。実線がシミュレーション結果を、プロットが実験結果を表す。出口ガスのメタンおよび水素の体積分率は実験結果と良く一致した。条件 C の図 1 における(2)および(3)の部位において複合体深部の密度が表面部よりも低いことがわかる。ここで PAHs の濃度に着目してみると、その気相濃度が 0.7 %を超えたととき複合体深部の密度低下が発生していることから、均一な密度分布を持つ複合材を製造するためには、PAHs の気相における濃度を 0.7 %以下

に抑える必要があると考えられる。

【文献】1. DETCHEM(www.detchem.com)  
2. Norinaga et al., Int. J. Chem. Kinet. 40:199(2008).  
Email: norinaga@cm.kyushu-u.ac.jp

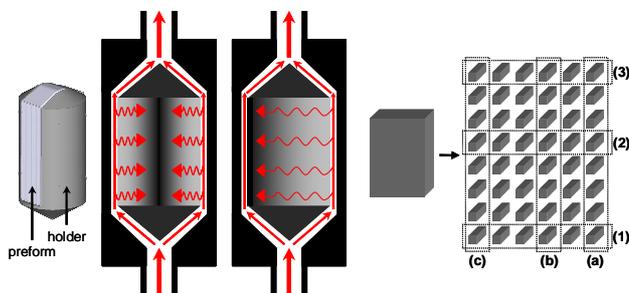


図 1. 原料ガスの拡散と複合体の密度測定部位

表 1. 実験条件

Condition	T, °C	P, kPa	RT, s	DT, h
A	1070	30	0.4	120
B	1070	35	0.4	120
C	1090	35	0.4	120
D	1090	35	0.5	120

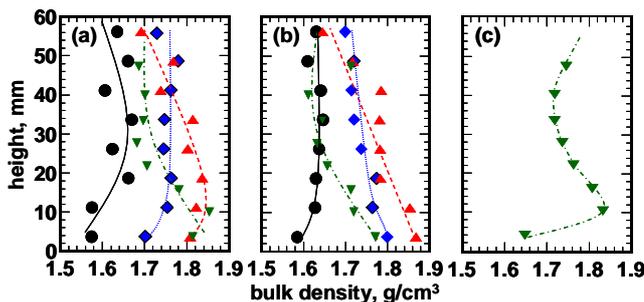


図 2. ガス流れ方向の密度分布

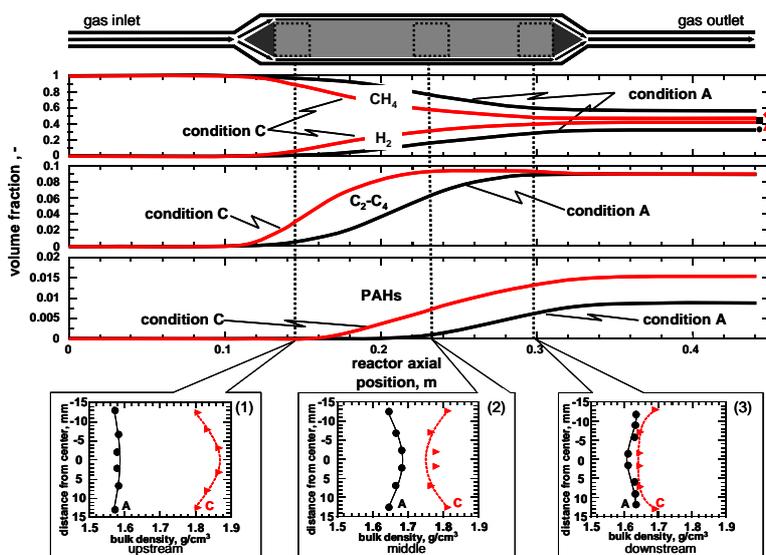


図 3. 理想化した反応器の各部位におけるガス組成とガス流れ垂直方向の密度分布

■ : 条件 A のメタン ●条件 A の水素  
◆ : 条件 C のメタン ▲条件 C の水素