表 1 セラミックス繊維の特性

繊維	組成	成形法	繊維径 (μm)	密度 ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	引張強度 (GPa)	弾性率 (GPa)	最高使用温度 ($^{\circ}\text{C}$)
シリカ(熔融)	SiO_2 (99) etc.	熔融	1~15	2.2	6.0	74	1,100
シリカ-アルミナ	SiO_2 (49) Al_2O_3 (50) etc.	〃	2~3	2.6	1.3		1,260
アルミナ (Du Pont)	Al_2O_3 (99.5) MgO (0.05)	焼結	20	3.9	1.4	380	1,100
(Sumitomo)	Al_2O_3 (85) SiO_2 (15)	〃	9	3.2	2.6	250	1,300
ボロン	B on W-core	気相	100	2.5	3.5	400	
炭化ケイ素	SiC	焼結	10	2.6	2.8	170	1,100
	Si (35) C (44) Ti (5) O (16)	〃	8	2.3	2.8	210	1,300
窒化ホウ素	BN	〃	20~30	2.1	1	80	2,000
窒化ケイ素	Si_3N_4	〃	10	2.5	2.5	300	1,300
ガラス (S)	SiO_2 (65) MgO (10) Al_2O_3 (25)		8~12	2.5	3.6	87	500
炭素	C (PAN 系 HT)		5~12	1.8	3.2	230	(2,000)
金属	Steel		13	7.7	4.1	200	500
有機系	Kevlar K-49		12	1.4	3.6	131	400
	PBT		7	1.5	2.0	250	400

セラミックスは高強度で超耐熱性を示す反面、脆くて加工性が悪いという欠点を有している。このセラミックスの繊維化技術は、繊維強化金属 (FRM) や繊維強化セラミックス (FRC) といった先進複合材料に対する開発意欲の高まりとともに進んできた。

セラミックス繊維の成形法としては、(1) 熔融法、(2) 気相法、(3) 焼結法が知られている。熔融法は高温でセラミックスを熔融し、押出しや吹飛ばしにより紡糸する方法であり、シリカ系の繊維がこの方法で成形される。気相法は CVD (Chemical Vapor Deposition) などの手段によりタングステンや炭素の芯線にセラミックスを化学蒸着したり、直接単結晶として生じるウィスカーを製造する方法である。焼結法は繊維状前駆体を紡糸後焼成してセラミックス化する方法であり、最も広く用いられている。この方法では、繊維状前駆体の性質によって焼成繊維の物性が支配されるため、いかにして紡糸性が高く、焼結性の良いセラミック前駆体を開発するかが重要となる。セラミック前駆体としては無機高分子を用いるのが一般的であり、ポリカルボシラン、ポリシロキサン、ポリシラザン、ポリアロキサン、ポリボラジンがそれぞれ SiC 、 SiO_2 、 Si_3N_4 、 Al_2O_3 、BN の前駆体として用いられている。過去 10 年間にこのようにして開発された代表的なセラミックス長繊維の物性と特徴を表 1 に示す。

セラミックスは成形中に相転移に伴う粗大粒子化を生じて強度低下を起こしやすいため、結晶阻害剤や焼

結助剤を添加してそれを防ぐ工夫がなされている。それゆえ、同種の繊維でも組成や物性に多少の違いが見られる。焼結法で得られる繊維の強度は 1~3 GPa、弾性率は約 200 GPa となり汎用の炭素繊維や金属繊維、さらには有機の高性能繊維とほぼ等しい。したがってセラミックス繊維の最大の長所は 500 $^{\circ}\text{C}$ 以上の酸化ふん囲気でも高強度が保持され、最高使用温度が 1,000 $^{\circ}\text{C}$ 以上になることである。ところが、これらのセラミック繊維はすべて 1,400 $^{\circ}\text{C}$ 近傍で粒子化に基づく著しい劣化が避けられず、使用に耐えなくなる。わが国のスペースプレーン計画では、シャトルのエンジンの燃焼温度が 1,500 $^{\circ}\text{C}$ 以上に設定され、これに耐える材料として FRC が採用されるが、まずこの領域で使用可能な強化用セラミックス繊維の開発が行われなければならない。現在、1,500 $^{\circ}\text{C}$ 以上の高温にさらされても強度が保たれる繊維としては、著者らが開発した BN 繊維と特殊な不融化処理を経て得られる SiC 繊維があるが、今後の研究課題となることはいうまでもない。

一方、超伝導セラミックスの繊維化も YBC 系を中心に試みられているが、強度を保ちながら臨界温度の上昇を達成するには、上記の結晶相転移に伴う粒子化の制御が不可欠となろう。

木村 良晴 Yoshiharu Kimura (京都工芸繊維大学 繊維学部・助教授、工博、専門=高分子合成、材料化学)