

レーザ加熱延伸による石英ガラス繊維製造速度が繊維強度に及ぼす影響

(信州大学・繊維) ○齋藤吉成, 遠藤海空, 伊香賀敏文, 富澤錬, 金慶孝, 大越豊
(信越化学) 野村龍之介, 田口雄亮

【緒言】

石英ガラス繊維は石英ガラスの棒を加熱溶融し引き延ばすことで製造される．本研究で使用したレーザ加熱延伸は，繊維のみを急速に加熱できるため，熱効率の改善と均一で清浄な環境下での延伸が期待できる．一方で，レーザ加熱延伸の実生産への適応を考えると，生産性だけではなく，得られた繊維の強度も大きいほうが望ましい．本研究では炭酸ガスレーザ加熱を利用して石英ガラス繊維を延伸し，石英ガラス繊維製造速度が石英ガラス繊維の強度に及ぼす影響を調査した．

【実験】

繊維直径 230 μm の石英ガラス繊維に，繊維軸方向に沿ったビーム幅 1.52 mm の炭酸ガスレーザを照射して加熱し，304 倍に引き伸ばしながら連続的に巻き取った．製造速度は 24，49，97 m/min の 3 条件とし，延伸時のレーザ出力 (LP) は，延伸点での糸揺れが少なく，1 分間以上安定して巻き取れるように調節した．LP は光学系通過後に測定した．延伸後の繊維を再度送り出しながら連続的に 1 分間繊維直径を測定し，平均値と標準偏差を求めた．また，延伸後の繊維について引張試験を行った．この際のロードセル定格は 5 N，クロスヘッドスピードは 1 mm/min，試料長は 30 mm とし，各繊維について 100 本分のデータを得た．この際，応力は直径測定果から得られた平均繊維直径を用いて算出した．

【結果・考察】

Table 1 に各条件における LP，平均繊維直径と直径 CV 値，ワイブル形状パラメータ m と尺度パラメータ σ_0 を示す．延伸速度を 2.0 倍毎に増加させた場合，LP は 49 m/min で 1.2 倍，97 m/min でさらに 1.7 倍になった．延伸速度が速いほど繊維から放射される熱の割合が減るため，LP は速度ほど増加せず，高速生産ほどエネルギー効率が向上する．ただし 97 m/min の LP 増加率は 49 m/min の増加率よりも大きく，延伸がより高温で安定したとみられる．実際，延伸点付近を動画観察すると，97 m/min では明瞭に強く発光しており，繊維温度が高かったようだ．引張試験結果をワイブルプロットした結果を Fig.1 に示す．

形状パラメータ m は強度のばらつきが小さいほど，尺度パラメータ σ_0 は強度が大きいほど大きい．得られた m と σ_0 は製造速度が速いほど大きく，特に 97 m/min では，低，中強度を示す繊維の頻度が明瞭に減少しているように見える．また，直径 CV 値も 97 m/min は明瞭に小さい．製造速度の増加に対して，わずかながら強度が増加する傾向が見えた原因として，直径ムラが減少したことが考えられる．延伸温度が高かったことが，直径ムラや延伸応力の変動を低減させ，結果として大きな欠陥が形成される確率を下げたのかもしれない．一方で，高速生産や高温での延伸は冷却速度を増加させ，欠陥がより多く形成される可能性も有る．当日は数値シミュレーションによって推定した冷却速度，及び繊維温度・応力プロファイルの結果も合わせて，レーザ加熱延伸による石英ガラス繊維製造速度が繊維強度におよぼす影響について考察する．

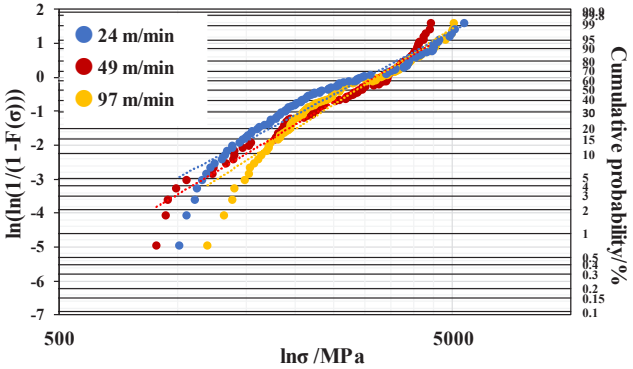


Fig.1 Weibull plots obtained from tensile test results for each condition

Table 1 Conditions and results of tensile tests; LP, average deviation of fiber diameter used in the tests, and results of Weibull analysis of the resulting fiber strength.

Take up speed / m/min	LP / W	Average diameter / μm	Diameter CV %	m	σ_0 / GPa
24	13.4	12.39	4.1	2.7	3.0
49	16.6	12.48	4.4	3.0	3.2
97	27.9	12.13	3.6	3.2	3.2