

ガラス繊維とSDGs

How Glass Fiber Products Relate to SDGs
Key-words : Glass fiber, FRP, SDGs

大谷 昌功

Masanori OTANI (Nippon Electric Glass Co. Ltd.)

1. はじめに

ガラス繊維は人類が初めて工業生産した無機繊維と言われており、細く、長く、屈曲性に富み、引張に強いという繊維の特徴と、ガラスの強度、剛性、耐熱性、化学的耐久性とを併せもつ材料である。

一般的に、ガラス繊維は製造方法や形態の違いにより「ガラス短繊維」と「ガラス長繊維」の二つに大別され、それぞれの特徴に応じその機能を活かすように幅広い分野で使用されている。

2. ガラス短繊維とSDGs

ガラス短繊維はグラスウールとも呼ばれ、ガラス繊維でできた綿状の素材である。一般に、融けたガラスを綿菓子と同様に遠心力で吹き飛ばすことによってできた平均径4~8 μm の細い繊維を集めて製造される。

2.1 断熱、保温、吸音材

綿状であるガラス短繊維の特長は優れた断熱性や吸音性にある。グラスウールは単体で用いられることは少なく、一般的には繊維化されたガラス表面にフェノール樹脂を主成分とする接着剤を少量吹き付けフェルト状に集綿した後、熱をかけ接着剤を固化させることにより所定の形状に成形される。各種施工方法に合わせて板状や円筒状に加工されたグラスウールは、建築用・設備用の断熱材、保温材として今や欠かすことのできない素材となっている。また、各種の機能を備えたフィルムやクラフト紙、ガラスクロス等のフェーシング材を貼り合わせた製品もある¹⁾。主用途である住宅用断熱材の他にも、各種配管・ダクト・タンク・冷凍倉庫の保温保冷材、船舶・航空機・車両の断熱材、コンサートホール・放送スタジオの吸音材、鉄道線路・高速道路の防音壁等の断熱吸音材として幅広い用途に使用されている。

これらガラス短繊維製品が有する優れた断熱性能は冷暖房効果を高め、消費エネルギーを減少させることにより、地球環境に優しい居住空間を実現させること

ができ、SDGsの目標「11. 住み続けられるまちづくりを」および「13. 気候変動に具体的な対策を」の実現に寄与している。

また、ガラス短繊維の主原料の80%以上にリサイクルガラスを使用していることから²⁾、SDGsの目標「12. つくる責任つかう責任」の実現にも貢献している。

2.2 フィルタ

高性能フィルタの代名詞とも言えるHEPAフィルタのHEPAとはHigh Efficiency Particulate Airの略で、清浄な空気が求められる分野で使用される超高性能フィルタのことである。一般に、直径0.1~3 μm の極細ガラス繊維と、強度や剛性の付与を目的とした繊維をブレンドして水中で分散させ、紙を漉くのと同一湿式抄紙法でつくられた濾材を、丈夫な外枠の内側に数mmの間隔を取りながら蛇腹状にして取り付ける。JIS規格(JIS Z 8122)では『定格流量で粒径が0.3 μm の粒子に対して99.97%以上の粒子捕集率をもち、かつ初期圧力損失が245 Pa {25 mmH₂O}以下の性能をもつエアフィルタ』と規定されている。

半導体や医薬品、食品など高いクリーン度を要求される分野のクリーンルームやクリーンブース、あるいは精密空調機器・装置組込み用のファンユニットに専ら使用されていたものであるが、その性能から空気清浄機やエアコン、掃除機などの家電の排気フィルタにも搭載されて久しく、以前と比べかなり身近なものとなった。空気中の塵埃やウイルスの付着した飛沫等を捕捉、除去することができるHEPAフィルタは、SDGsの目標「3. すべての人に健康と福祉を」の実現に寄与している。

3. ガラス長繊維とSDGs

ガラス長繊維は、熔融したガラスの素地をノズルから高速で引き出し、連続的に巻き取ることによって一定の径となるように成形されたガラスの糸であり、要求特性に応じて数 μm から30数 μm の径が選択される。この連続巻き取り方法で造られるガラス繊維は、短く切断加工されて使用されるものも含め、ガラス長繊維と呼ばれている。

綿状物の形態のまま使用され、外観を目視できるガラス短繊維と異なり、ガラス長繊維は他の材料と混ぜられて強化材として用いられるものがほとんどであるため、日常生活の中でガラス長繊維そのものを実際に目の当たりにし、それがSDGsの目標実現に貢献していると認識する機会に恵まれることは少ないのではないかとと思われる。そこで本稿では幾つかの代表的な使用例を取上げ、ガラス長繊維がSDGsにどのように関

わり、その実現に向けどのように貢献しているのかを概説する。

3.1 プラスチック強化用ガラス繊維

ガラス長繊維の代表的な用途は、プラスチックの弾性率や耐熱性等の向上を目的とした強化材料、すなわちガラス繊維強化プラスチック（GFRP: glass fiber reinforced plastic）用の強化繊維である。GFRPに利用されるガラス材料は、電気絶縁性に優れ化学耐久性の高い汎用ガラスである低アルカリのEガラスが一般的である。

近年、プラスチック強化用の繊維としては、ガラス繊維と比較してより高弾性で低密度である炭素繊維が注目を集めているが、ガラス繊維の場合、シランカップリング剤を用いることによって容易に表面に有機官能基を導入でき、さらに適切な結束剤を選ぶことで樹脂とガラス繊維を強固に結合させることが可能となる。このため、短い繊維長であっても補強効果が得られやすく、良好な成形性と高い複合材強度の両立が達成できる。また、炭素繊維と比較し、破断までの伸び量が大きいことから衝撃負荷下での引張強度が大幅に向上する³⁾。このような理由から、ガラス繊維製品の工業生産が始まって80年あまりが経過した現在もなお、ガラス長繊維はFRPの基幹素材となっている。

3.1.1 自動車軽量化部材

GFRPの代表的な使用例の一つに、自動車分野における軽量化を目的とした金属代替部材がある。車へのプラスチックの使用量は、軽量化への要求が高まるに従って増加し、2015年には自動車構成材料の11 wt%程度を占めるまでになった⁴⁾。その多くはGFRP材料であると考えられ、その強化材として利用されるガラス繊維には、自動車の安全性・信頼性の保証という重責の一端を担うことが求められる。

エアークマニホールドはエンジンの燃焼用の空気を各シリンダーに送り込む多岐管で、一個で数kgもある大型部品である。従来アルミ鋳物製であったが、1992年にゼネラルモーターズ社により初めてガラス繊維強化PA（Polyamide）素材が採用され、およそ30%の軽量化が図られた。これがGFRPの商業利用の端緒となり、その後の世界規模での自動車部品における金属からGFRPへの置換への道筋を作ることとなった。強化繊維としては、平均径約10 μ mのガラス繊維の束を長さ3~4.5 mmに切断したチョップドストランドが一般に用いられる。

フロントエンドモジュールは、ラジエーターやファン、ヘッドランプなどの機能部品を一つのユニットに取りまとめた集合構造体であり、その骨組みの構造物であ

る“キャリア”には極めて高い剛性や耐衝撃性が必要とされる。平均径10~20数 μ mの連続繊維の束を円筒状に巻き上げたロービングから繊維束をほどき出し、溶融した熱可塑性樹脂を含浸させ、冷却固化後に5~20 mmに切断していく方法で作製された長繊維ペレットを用いて射出成形する技術が確立され、成形品中の繊維を長く残すことが可能となった。この技術と低比重であるPP（polypropylene）とを組み合わせることによって、樹脂化が難しいとされていたフロントエンドモジュールのキャリアの材料にガラス長繊維強化PPが採用されるに至った。軽量化と同時に小型化、設計の自由度向上、一体成形による省力化・コストダウンにも貢献し、樹脂の優れた造形性を活かした高いデザイン性の実現も可能となった。

天井材は車内の天井に設置される部材で、剛性や耐熱性、優れた寸法安定性が必要とされる。平均径10数 μ mのガラス繊維束を約50 mmに切断したチョップドストランドを、およそ100 g/m²の目付となるように均一な厚みで散布し、バインダーを用い繊維同士を固定したガラスマット（不織布）を発泡ウレタン材の両面に貼り合わせた複合材である。

以上のように、自動車産業における車体の軽量化を主目的としたGFRPの採用は、燃費性能の向上をもたらす、環境保全への寄与を示す典型的な例である。SDGsの目標「13. 気候変動に具体的な対策を」の実現に向けて大きく貢献している。

3.1.2 風力発電風車ブレード（翼）

現代は、かつてない環境危機の時代と言われ、とりわけ気候変動問題はその深刻度を増している。温室効果ガスの排出を減少に転じさせ、将来ゼロを目指すのであれば、エネルギーの大量消費に依存し今後もエネルギーの消費拡大を前提として発展してきた現代の社会や経済、インフラ整備の在り方を抜本的に変える必要があり、それも出来るだけ早く取組み始めなければならない。このような背景の下、再生可能エネルギーによる発電が脚光を浴びている。

再生可能エネルギーの一つである風力発電は、40%を超える高いエネルギー変換効率であることを背景に、代表的な電力供給源として世界各国で普及が進んでいる。2017年の世界における電力供給量に占める風力発電の割合は4.4%であり⁵⁾、2030年までに電力供給の20%を風力発電により供給し得るという報告例もある⁶⁾。

現在、この風力発電用風車のブレードには、主にEガラス繊維を使用したFRPが用いられている。炭素繊維は導電性による落雷のリスクがあり、また、弾性

率が高いがゆえに僅かな繊維配向の不均一やヨレ、リンクル（しわ）から応力集中が発生し、破壊基点となって疲労寿命の予測が困難となるため⁷⁾、現時点で適用は限定的である。ガラス繊維の場合、適度な弾性変形が応力を各繊維に分散し、応力集中を回避することができる。

一般に平均径 10 数~20 数 μm のガラス繊維を 800~4000 本程度の束とし、それを円筒状に巻き上げたロービングが用いられる。このロービングは各種織物に加工され、所望の厚みとなるように種々積層された後、成形加工に供される。ロービングには、良好な製織性と樹脂含浸性、高い剛性や強度、優れた長期信頼性（耐疲労性等）が求められる。

陸上設置から普及が進んだ風力発電は、沿岸部の適地の減少等に伴い、年間を通して安定的に風が吹いている洋上へと設置の場を移しており、それと同時に大型化が進められている。2019 年にプロトタイプとして稼働を開始したゼネラルエレクトリック社の「Haliade-X 12MW」は 12 MW の発電容量を誇り、直径 220 m のローターを構成する長さ 107 m のブレードを有するものである⁸⁾。ブレードの大型化に伴い、たわみ変形が小さいことがより重要となり、強化繊維にはより高い剛性が求められる。そこで既に複数の製造業者から、E ガラスよりも引張弾性率が高いガラス材料を用いたガラス繊維が商業生産・上市されており、ブレードへの適用が始まっている。この高弾性ガラス繊維は、今後本格的な需要拡大が見込まれており、このような風力発電風車ブレードに代表される再生可能エネルギーの分野にもガラス繊維の活躍の場がある。

これらは SDGs の目標「7. エネルギーをみんなにそしてクリーンに」や「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」の実現に向け貢献している。

3.2 セメント強化用ガラス繊維

セメント硬化体であるモルタルやコンクリート構造物は、圧縮力には強いものの、引張や曲げの力には弱い。柱、梁、壁などの構造体に使用する場合には鉄筋を埋設する、いわゆる鉄筋コンクリートとする必要がある。また、韌性に乏しいため、使用部位によっては欠けや脱落の問題が生じることがあり、さらには硬化収縮時、応力が集中する箇所ではひび割れが起りやすい。このようなセメント硬化体のもつ弱点を改善する目的で、ガラス繊維で強化したセメント、すなわちガラス繊維強化セメント（GRC: glass fiber reinforced cement）が利用されており、特に複雑な形状を有する建築用構造材料に対し、自由度の高い設計と優れた耐久性の両立を可能としている。

表1 GRCとプレキャストコンクリートの環境影響評価⁹⁾

カーテンウォール 1 m ² 当たり		GRC	PC
重量	kg	90	294
環境負荷排出量			
CO ₂	kg	52.1	110.6
SO _x	g	46.1	168.9
NO _x	g	81.8	160.6
ばいじん	g	65.1	1005.8

セメントは水和過程でアルカリ成分を溶出するため、混合使用する材料には耐アルカリ性が必要となる。ARG (alkali resistant glass) はガラス成分に高濃度のジルコニアを含ませることによりアルカリ性のみならず酸性にも優れた耐久性を有し、セメント強化用の材料として開発されたガラスである。6~25 mm の長さに切断した ARG 繊維をセメント中で均一に分散させることにより、セメントの収縮による引張応力を分散させて耐衝撃性が向上する。このため、鉄筋を埋設しなくても欠けやひび割れを生じず、デザイン性に富んだ造形が可能となる。

ARG 繊維で強化された GRC は同じ目的で使用されるプレキャストコンクリート (PC: precast concrete) と比べて重量を約 1/3 にでき、セメントや骨材等の使用量が少なくなるため省資源材料であると言える。また、GRC の環境負荷への影響を LCA (life cycle assessment) 手法により試算した結果、GRC における CO₂、NO_x、SO_x、ばいじんの各排出量はプレキャストコンクリートのそれよりもいずれも大幅に下回ることが確かめられ (表 1)、ライフサイクルの観点からも環境に優しい材料であることが示された⁹⁾。

環境問題への関心が高まる中、リサイクル材料を用いた GRC の基本物性や耐久性の調査が行われ^{10), 11)}、スラグ粉砕物やフライアッシュ等の利用に際しての技術情報が整い、実際にリサイクル材として商業利用されるに至った例も多い。環境負荷の少ない持続可能な社会の構築に向け、土木・建築分野における ARG 繊維への期待は大きい。

ARG 繊維は SDGs の目標「9. 産業と技術革新の基盤をつくろう」および「12. つくる責任つかう責任」の実現に向け貢献している。

4. おわりに

本稿では SDGs の目標実現に向け、ガラス繊維がどのように貢献しているのかを述べてきた。特に GFRP を構成する基幹素材であるガラス長繊維は、地味ではありながらも「縁の下の力持ち」としての役割を担い、

日々の暮らしを支える素材として現代社会の発展に寄与してきているが、直接目にする機会に乏しいため多くのスペースを割いての概説となった。

優れた断熱性、吸音性を有するガラス短繊維（グラスウール）は、今後も建築や設備の断熱材・保温材・吸音材に好適な材料として使用され続けていくであろうし、高性能フィルタも健康志向の高まりやウイルス感染症蔓延防止等のニーズにも後押しされ、一般家庭や医療分野での益々の普及が進むのではないかと想定される。また、ガラス長繊維を使用したGFRPは、軽量で且つ成形の自由度もたらす意匠性の良さというメリットから、広範な分野で一層の普及、用途拡大が期待される。

ただし、今後は、これまでのように要求特性やターゲットコストを満足させることだけを目標とする材料設計にとどまらず、SDGsの目標達成や低炭素・脱炭素社会の実現に寄与、貢献することを意識した素材選定やプロセス設計を避けては通れなくなるのであろう。また、持続可能な社会の構築に向け、業界や企業に対してそのような点にも配慮した総合的なモノづくりが求められ、対応力が問われるような日が、そう遠くない将来に訪れるのではないかと考えられる。

そういった時代の潮流を意識して定めた目標の達成

や課題の解決が急務であることを、本稿執筆にあたり改めて実感した次第である。

文 献

- 1) 蓬萊啓之, 繊維学会誌 (繊維と工業), **64**, 17-19 (2008).
- 2) 硝子繊維協会パンフレット, What's "グラスウール"?, https://www.glass-fiber.net/pdf/download_2012_1.pdf
- 3) 谷口憲彦ほか, 日本複合材料学会誌, **38**, 137-143 (2012).
- 4) 岩野昌夫, プラスチックエージ, **63**, 34-43, 表3 (2017).
- 5) IEA: Data and statistics, Explore energy data by category, indicator, country or region から算出, <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tables?country=WORLD&energy=Electricity&year=2017>
- 6) Global Wind Energy Outlook 2016, <https://gwec.net/global-wind-energy-outlook-2016/>
- 7) 前田太佳夫ほか, 日本風力エネルギー学会誌, **38**, 264-267 (2014).
- 8) GE REPORT JAPAN : 洋上風力発電の更なる拡大へー世界最大出力の風力タービンが稼働開始, 2019/11/15, <https://www.gereports.jp/power-up-the-worlds-most-powerful-wind-turbine-generates-first-electrons/>
- 9) 日本GRC工業会, GRCレビュー26号, 1-3 (2001), http://www.grc.gr.jp/product/pdf/no26_01.pdf
- 10) 日本GRC工業会, GRCレビュー29号, 1-5 (2004), http://www.grc.gr.jp/product/pdf/no29_02.pdf
- 11) 日本GRC工業会, GRCレビュー30号, 1-5 (2005), http://www.grc.gr.jp/product/pdf/no30_02.pdf

筆 者 紹 介

大谷 昌功 (おおたに まさのり)
[連絡先] 〒521-1295 滋賀県東近江市今町906番地
日本電気硝子株式会社 (ガラス繊維事業部 開発部)