

高強度繊維と異種材料の接合材料 及び複合化方法

岩手大学 理工学部 理工学科
准教授 桑 静

2026年3月3日

背景



SDGs
脱炭素、省エネ



EV化、電動化
軽量化、高剛性、耐振動



軽量・高強度・高剛性
燃費・環境性能
設計の自由度と快適性

解決法：複合化

単一材料
限界



2種類以上の
複合化



社会のニーズ

使用材料の開発傾向

- 高強度化
- 軽量化
- 高機能化
- 多様化

材料性能限界を突破するために、異なる素材を組み合わせる「複合化技術」が不可欠

背景

超高強度繊維(スーパー繊維)

カーボンファイバー

ガラス繊維

有機繊維

イザナス(UHMW-PE)、

アラミド、

PBOなど

特性:高比強度、高比剛性耐熱性、難燃性、熱伝導性など

- 有機繊維として最高レベルの強度・弾性率
- 同重量比でピアノ線の約8倍の強度(UHMW-PE)

極限環境(宇宙、災害現場)や構造部材として比類なき性能を持つ

複合化の課題

「最強の繊維」 → 「難接着」



表面エネルギーが低い、樹脂がぬれない、反応しない

課題

- ◆ 高度に結晶化した惰性的な表面構造を持ち、化学結合形成が困難である。
- ◆ 凹凸が極めて小さく物理アンカー効果が期待できないため、機械的密着もできない。
- ◆ 吸着分子の配向が乱れやすく、均一な分子層形成が極めて困難である。

異種材料(樹脂・金属・ゴム等)との界面接合が不安定

- 表面が化学的に不活性、異種材料との複合化が困難
- むれにくい 接着しにくい
- 界面ではく離、劣化が起きやすい
- 異種材料のミスマッチ(熱膨張差、弾性差による応力集中)

量産での品質保証

- 前処理のばらつき
- 前処理により繊維の劣化

用途:ロープ、ネット、消防服、航空宇宙

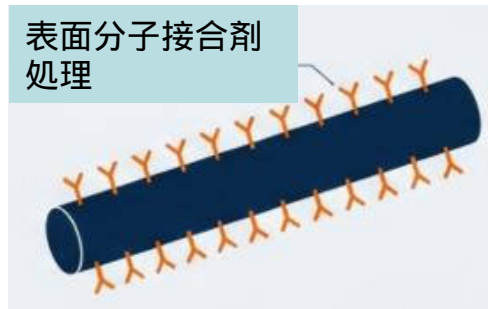
課題

UHMWPE や PBO に代表される高強度繊維

- ✓ 極低表面エネルギーであり、ぬれ性に乏しく、汎用接着剤が繊維内部へ含浸しない。
- ✓ 官能基が極めて少なく、表面反応がほとんど進行しない。

繊維100 μm程度、化学エッチング、または乾式活性化処理
繊維の強度が低下、寿命低下

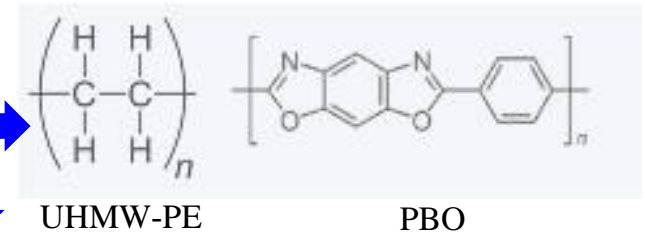
本技術



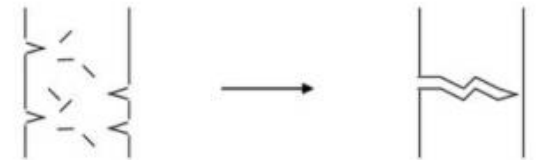
分子レベルで繊維表面化学処理
エッチングレス
前処理なし
樹脂、ゴムとの接合、金属めっきにより複合化

異種材料

樹脂
ゴム
金属



複合化できない



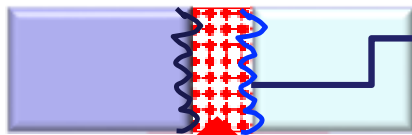
分子接合を用いて高強度繊維への改質により、接着、複合化、複合材料への展開に期待される。

本技術

従来

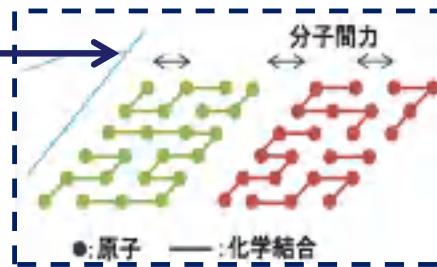
接着剤接合技術

接着剤接合法は
2つの材料を分子間力・アンカー硬化によって接合する技術



接合部厚さ:接着剤数10 ~ 100 μm

分子間力 1 ~ 40kJ/mol



プロセス多数 高環境負荷
界面粗さ大
寸法精度(接着剤厚さに依存)

本技術

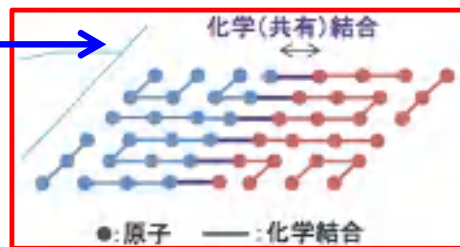
分子接合技術

分子接合技術:従来の接合の概念とは全く違う、
分子レベルで強固に接合する技術



接合部厚さ:分子数nm

化学(共有)結合 200 ~ 800kJ/mol



高密着力 高信頼性
省プロセス 低環境負荷
低界面粗さ
オールマイティ
精密寸法精度(部材に依存)

分子接合法は2つの材料を化学結合によって高強度に接合する技術

繊維と樹脂の接合評価

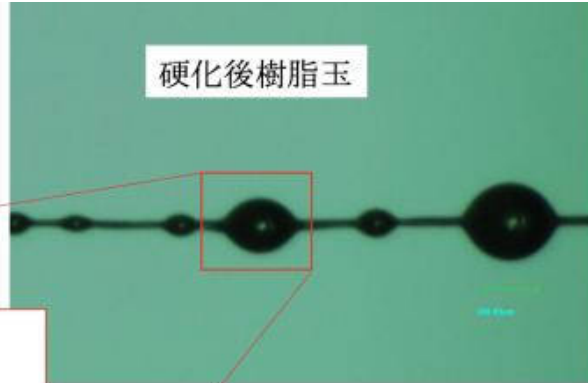
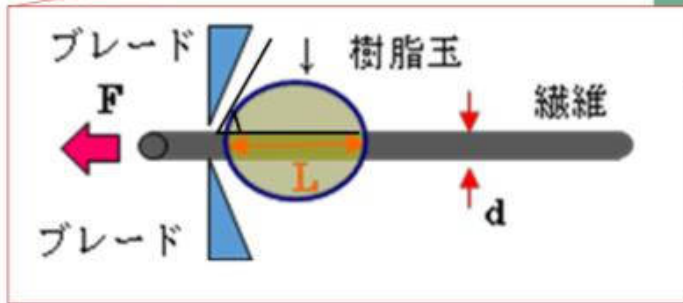
繊維のマイクロドロップの測定

【試験条件】

使用装置 : 東栄産業株式会社製 複合材界面特性評価装置 (MODEL HM410)

試験速度 : 0.12 mm/min

測定回数 : n=5



$$\text{界面せん断強度}(\tau) = F / (\pi d L) \dots\dots(\text{式1})$$

F: 最大引き抜き荷重

L: 樹脂埋め込み長さ

d: 繊維径

C.A.: 接触角

マイクロドロップ試験の測定原理

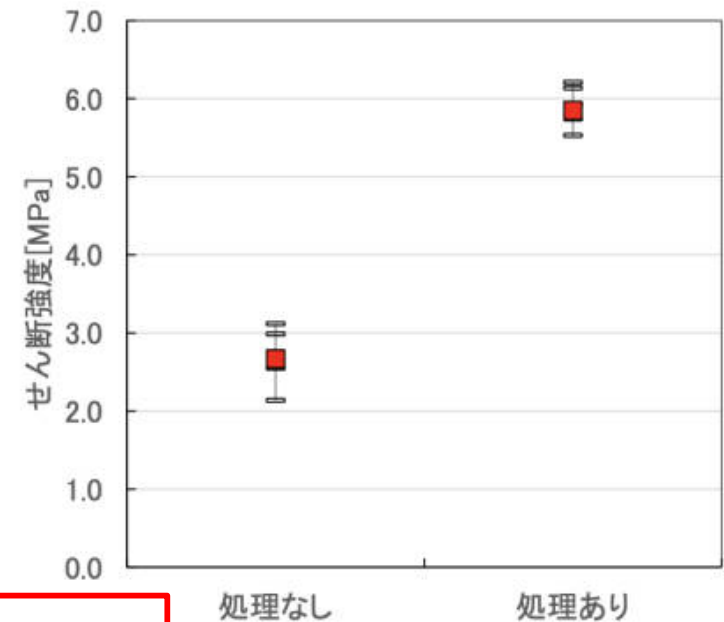
使用繊維材料UHMWPE

イザナスSK71-440T

処理なし: 洗浄のみ

処理あり: 洗浄

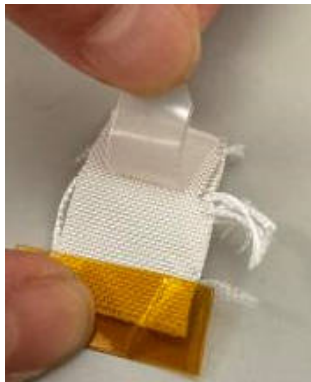
分子接合処理溶液浸漬
乾燥



せん断強度の比較

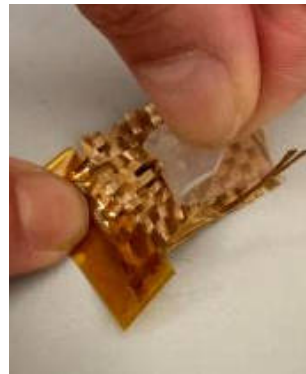
繊維とゴムの接合評価

シリコンゴムとの接着



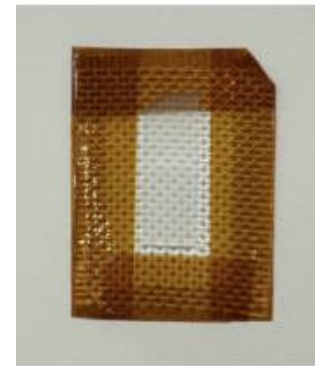
イザナス(UHWMPE)

接合強度 2.0 N/cm



ザイロン(PBO)

7.1 N/cm



ガラス繊維

6.6 N/cm



炭素繊維

7.4N/cm

未処理全て接合できず



耐水試験72時間でも強度が維持

繊維とゴムの接合評価

天然ゴムとの接着



イザナス(UHWMPE)

接合強度 3.0 N/cm



ザイロン(PBO)

1.8 N/cm

未処理全て接合できず

繊維の表面への金属めっき、およびパターンめっき

イザナス(UHWMPE)



Cu無電解めっき



Ni無電解めっき

ガラス繊維



Cu無電解めっき



Ni無電解めっき

ザイロン(PBO)



Cu無電解めっき

通電性

0.1 Ω (4点平均)
4端子測定法

全面光沢あり
テープ試験剥離なし

従来技術とその問題点

- 高強度繊維と樹脂・ゴムを接合する従来技術では、**接着剤**の使用が一般的であり、その多くで**化学エッチングやプラズマ処理などの前処理が必要**とされてきた。しかし、UHMWPE や PBO に代表される超高強度繊維では、前処理そのものが大きな課題となる。
- 化学エッチングは前処理として用いられるが、これらの**繊維には化学的に不活性で反応しにくく、反応した場合には繊維強度や寿命を著しく低下させる**。また、プラズマ処理などの乾式前処理では、繊維や織布形状に対して**均一処理が困難**であり、大面積・量産への適用が難しい。**処理条件が強くなると、脆化やはく離**といった問題も生じる。
- このため、無極性・超高強度繊維では、**前処理に依存しない安定した接合技術**が確立されておらず、樹脂、ゴム、金属との複合材料としての利用は限定的にとどまっていた。

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術では表面改質できない、樹脂、ゴム、金属との複合が不可能であった高強度繊維を、複合可能にした。

技術的な差異・性能比較

従来技術

1. 化学エッチングやプラズマ処理などの前処理を行っても
→ 表面改質できない繊維が存在
2. 無極性・高結晶性繊維 (UHMWPE、PBO 等)
→ 樹脂・ゴムと複合できない
3. 繊維強度・寿命の低下、処理ムラが発生

新技術

1. 前処理なしで繊維表面を分子レベルで改質可能
2. 従来は複合不可能であった繊維を
→ 樹脂・ゴムとの複合材料として利用可能
3. 繊維形状・織布形状でも均一処理が可能
4. 材料本来の強度・耐久性を維持

新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術では表面改質できない、樹脂、ゴム、金属との複合が不可能であった高強度繊維を、複合可能にした。

平原訂正

技術的な差異・性能比較

従来技術	新技術
<ol style="list-style-type: none">1. 化学エッチングやプラズマ処理などの前処理を行っても → 表面改質できない繊維が存在2. 無極性・高結晶性繊維 (UHMWPE、PBO 等) → 樹脂・ゴム・金属と複合できない3. 繊維強度・寿命の低下、処理ムラが発生	<ol style="list-style-type: none">1. 前処理なしで繊維表面を分子レベルで改質可能2. 従来は複合不可能であった繊維を → 樹脂・ゴム・金属との複合材料として利用可能3. 繊維形状・織布形状でも均一処理が可能4. 材料本来の強度・耐久性を維持

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、「**軽量高強度部材(構造部材)**」製造に適用することで「**軽量化・高剛性化・耐疲労性向上**」のメリットが大きいと考えられる。
- 想定用途(例)
 - 自動車: 補強フレーム、ブラケット、クロスメンバ、バッテリー周辺補強
(繊維×金属/樹脂のハイブリッド)
 - 航空・ドローン: 軽量梁、リブ、外装パネル、機体フレーム
 - 産業機械: アーム、搬送部材、保護カバー(剛性が必要で軽量化したい箇所)
- **金属との複合化**により、**ウェアラブルデバイス分野**や用途に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、各種繊維と樹脂、ゴム、金属について接合が可能なところまで開発済み。しかし、具体的な用途までの特性評価の点が未解決である。
- 今後、単繊維と樹脂、繊維の織布と異種材料の接合について実験データを取得し、繊維と樹脂の複合化FRPに適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けて、本技術を用いて、繊維の表面処理ライン設計と樹脂の複合化、FRPの成形する技術の確立、繊維を金属化する場合デバイスまでの作製および評価することが必要である(共同研究)。

企業への期待

- 繊維と異種材料の界面接着(剥離・耐久性)」については、「表面処理による界面設計技術」本技術により克服できると考えている。
- 無極性繊維材料の複合化、金属化で課題を有する企業との共同研究。
- 軽量高強度化・部材一体化を開発中の企業、自動車・航空・産業機械・ウェアラブル等への展開を考える企業には、本技術の導入が有効と思われる。

企業への貢献、PRポイント

- 本技術は、従来複合化が困難であった高強度繊維に対して有効な表面処理を可能とし、樹脂・ゴム・金属など異種材料との**高強度かつ高信頼な接合を実現する**。これにより、**部材の軽量化・高強度化・一体成形が可能**となり、製品性能の向上および他社との差別化に貢献する。
- 企業ニーズに応じた追加実験・評価を実施することで、**接合メカニズムや耐久性**に関する科学的根拠を明確化でき、**実用化・量産化**に向けた技術的信頼性の確保が可能である。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 複合材料の製造方法、および複合材料とその応用
- 出願番号 : 特願2025-028792 (PCT出願手続き中)
- 出願人 : 岩手大学
- 発明者 : 桑静、村岡宏樹、會澤純雄、平原英俊

産学連携の経歴

以下のプロジェクトを経て生産技術にて研究開発実施

- 2014年-2019年
NEDO「戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)」評価A
- 2019年-2024年
文部科学省「地域イノベーション・エコシステム形成支援事業」評価A
- 2021年-2023年
NEDO「官民による若手研究者発掘支援事業」評価A
- 2023年-2026年
公益財団法人いわて産業進行センター中小企業政策推進事業

お問い合わせ先

岩手大学

研究支援・産学連携センター

TEL 019 - 621 - 6494

FAX 019 - 621 - 6892

e-mail iptt@iwate-u.ac.jp