

戦略的省エネルギー技術革新プログラム
フェーズ名：実用化開発

革新的省エネルギー技術により製造した 再生炭素繊維使用機能性自動車部材の 開発と自動車の軽量化

プロジェクト実施者：カーボンファイバーリサイクル工業株式会社
日本ガスケット株式会社
プロジェクト実施期間：2017年 6月～2020年 2月



CFRP* (炭素繊維強化プラスチック): 炭素繊維と樹脂との複合材料

*CFRP: Carbon Fiber Reinforced Plastic

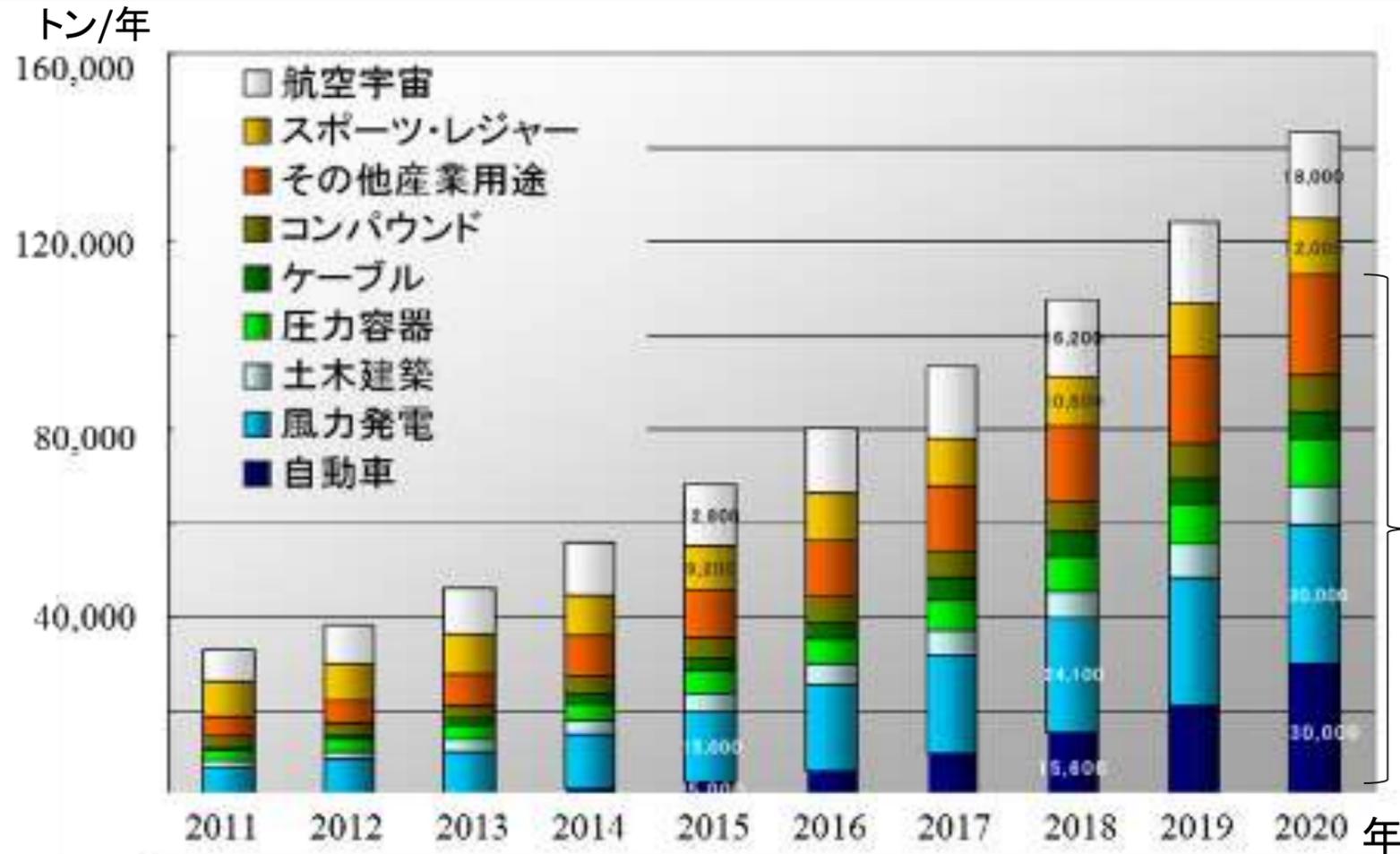


Fig. 1 炭素繊維用途別生産量(世界)¹⁾

炭素繊維



- ・比重は鉄の1/4
- ・軽量, 高強度, 高剛性
- ・価格が鉄より高い

産業用途

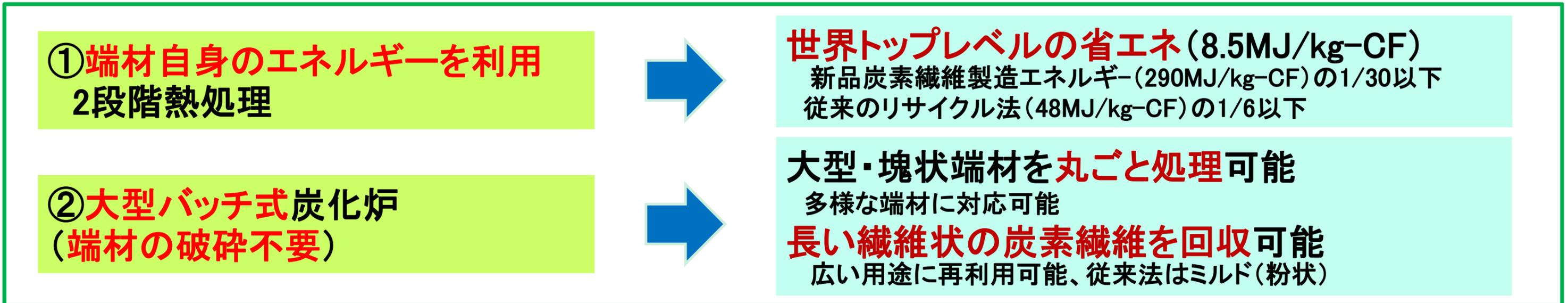
- ・2020年には、2012年比3.5倍の成長見込み
- ・用途別では、産業用途(風力発電、自動車関連等)が伸びる見込み

- ・炭素繊維製造時大量のエネルギー消費
- ・需要拡大に伴う廃棄物量の増大
- ・CFRPのリサイクル技術が未確立(現在 埋立)
- ・日本の炭素繊維生産量: 世界の60%

CFRPリサイクル技術の確立が必要

¹⁾平成24年度 中小企業支援調査 -炭素繊維複合材料の加工技術に関する実態調査- 報告書(2013), 株式会社三菱化学テクノリサー

炭素繊維再生技術



樹脂熱分解ガスの燃料利用



CFRPリサイクル技術(2段階熱処理法)
[H26~H28年度NEDO助成開発]



自動車解体
(丸ごと処理)



高圧水素ポンプ

処理可能なCFRP端材



航空機補強材端材



世界最大級の熱分解装置(3,000トン/年)

【課題】抄造成形に適した炭素繊維仕様(繊維長分布、解繊度)の把握と製造技術開発が必要

抄造成形技術（繊維強化樹脂成形技術）

抄造とは？

水中で、繊維や樹脂材料等を配合し、金網によるろ過と絞りを加えることでシート状の複合素材を作成するプロセス

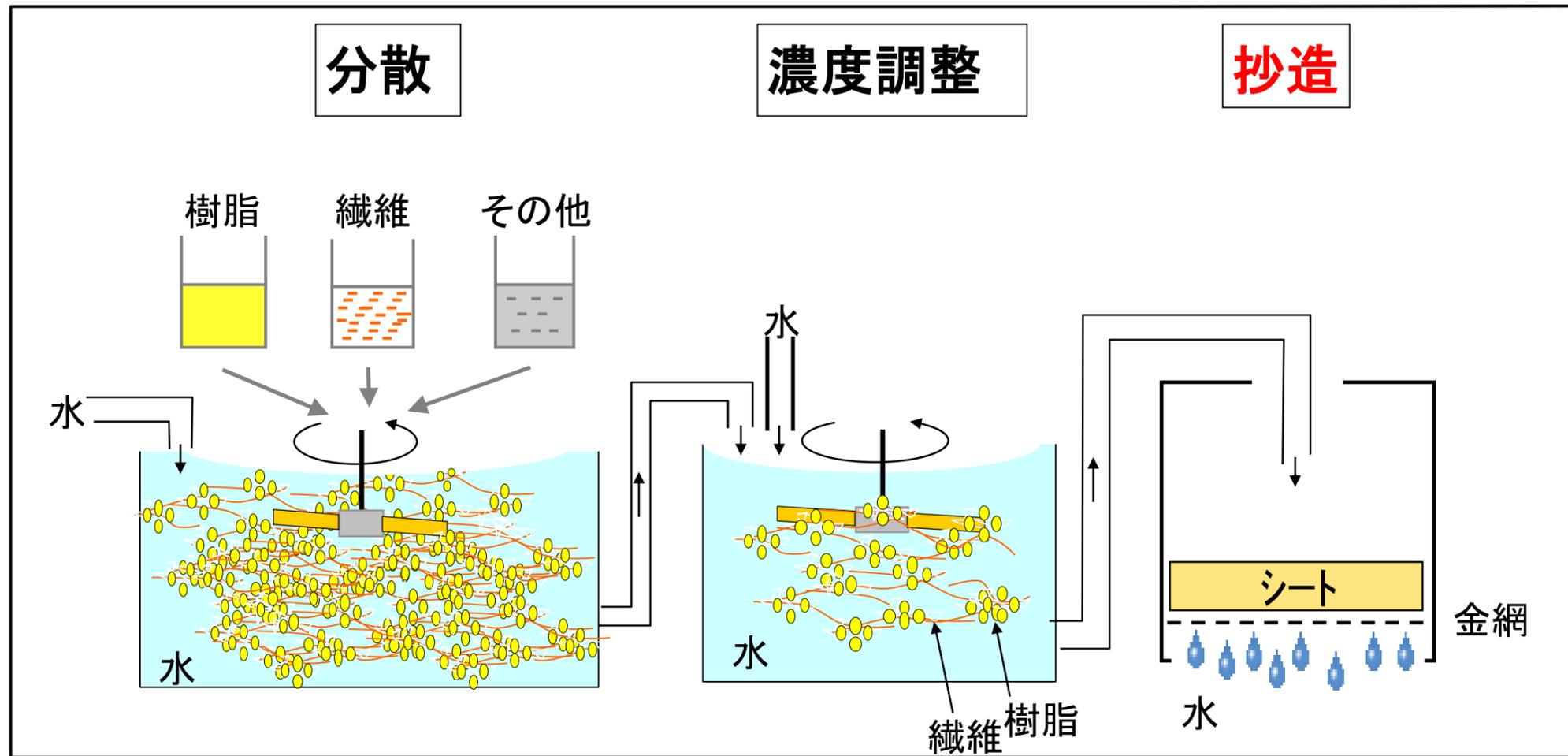


Fig. 2 抄造工程概略図

≡



紙抄きの要領で
素材を造る工法

抄造成形技術（樹脂ギヤ工程）

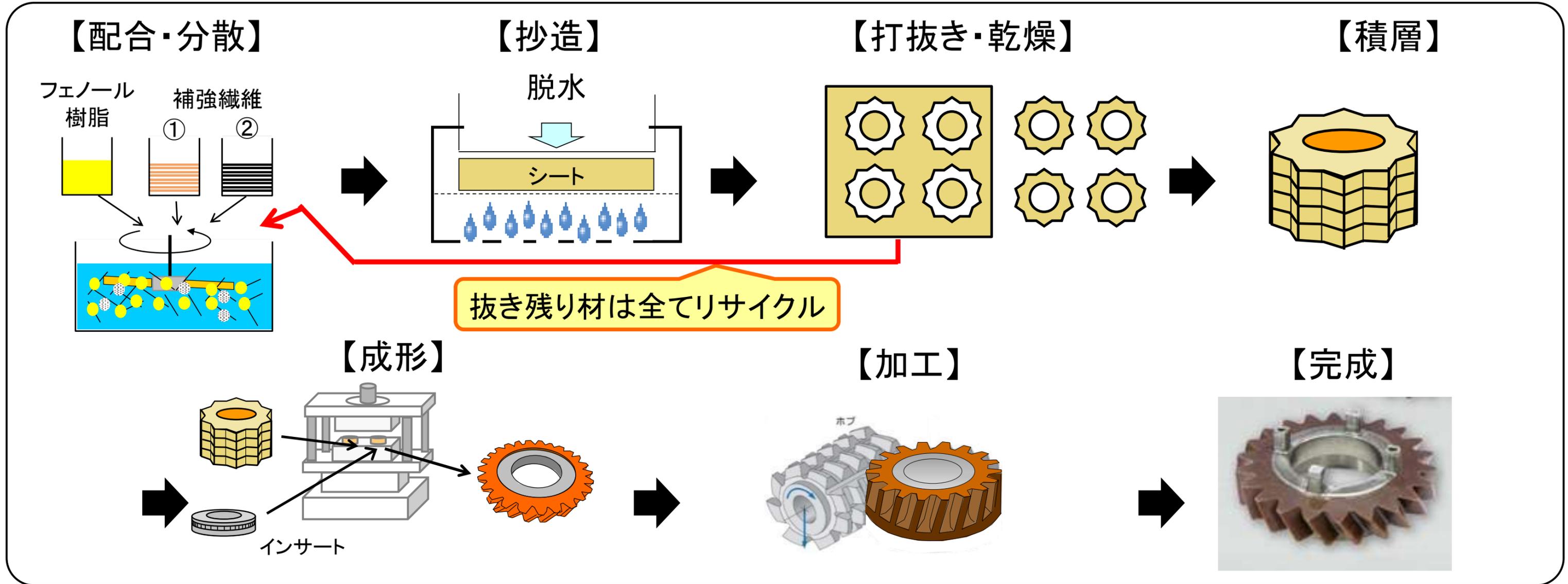


Fig. 3 抄造樹脂ギヤ製造工程略図

【特徴】・配合の自由度が高いため、様々な機能付与が可能
 ・水中にて樹脂と繊維を均一分散でき、繊維配向の片寄りが無いため高強度

【課題】工程が多く、コスト高 ⇒ 工程短縮によるコスト低減が必要

カーボンファイバーリサイクル工業(株)
 ・省エネ再生炭素繊維(機能性、経済性)

日本ガスケット(株)
 ・抄造成形技術
 ・自動車メーカー次サプライヤーの営業力

**“世界初”再生炭素繊維を使用した
 CFRP自動車エンジン部品開発
 (軽量化による燃費改善)**

<開発内容>

カーボンファイバーリサイクル工業

課題
 新技術に適した再生炭素繊維開発
 繊維配向の可視化と強度評価

日本ガスケット

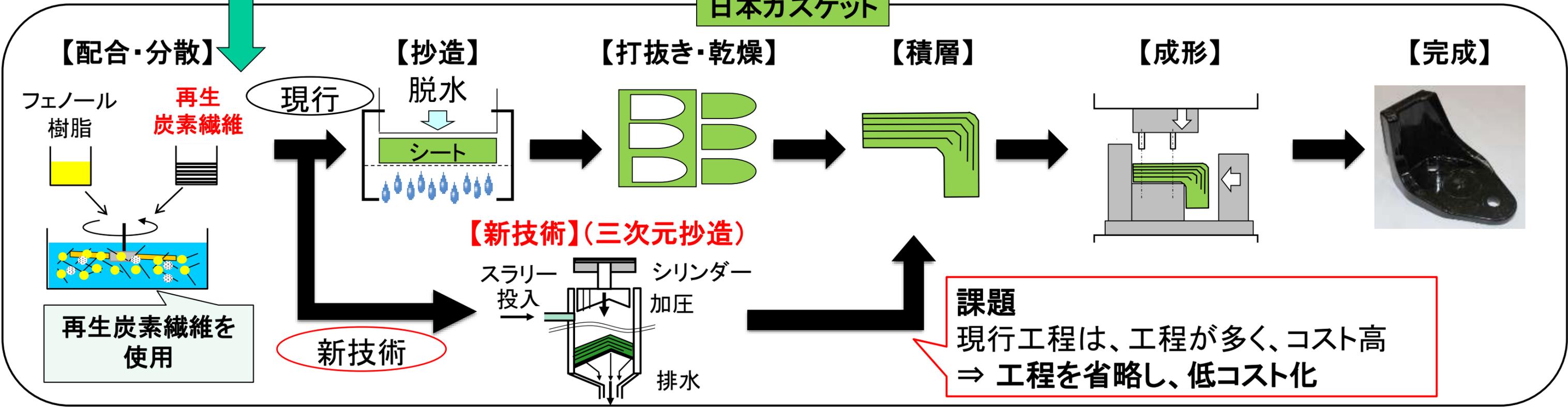


Fig. 4 工程案

技術開発責任者

カーボンファイバーリサイクル工業株式会社
 代表取締役 板津 秀人
 日本ガasket株式会社
 新製品開発部 部長 橋本 卓美 (2017.6.23～2019.6.30)
 新製品開発部 部長 茂呂田 健二郎 (2019.7.1～2020.2.29)

カーボンファイバーリサイクル工業(株)

2017年度:167.7百万円
 2018年度:136.8百万円
 2019年度: 97.0百万円

分担テーマ名

- ・定長裁断装置開発
- ・湿式解織技術開発
- ・量産化技術開発(排熱利用乾燥)
- ・品質保証技術開発(自動車部材用再生炭素繊維)

日本ガasket(株)

2017年度:132.3百万円
 2018年度:161.1百万円
 2019年度:175.7百万円

分担テーマ名

- ・CFRP材料開発
- ・三次元形状への対応
- ・量産化技術開発
- ・品質保証技術開発(自動車部材)

共同研究

国立大学法人 東海国立大学機構 岐阜大学

2017年度: 4.5百万円
 2018年度: 5.0百万円
 2019年度: 4.0百万円

研究項目

- ・自動車部材用再生炭素繊維製造技術開発支援
 - ・配向可視化、定量化に関する検討
- ・再生炭素繊維使用自動車部材品質管理体制確立支援

<工程概略図>

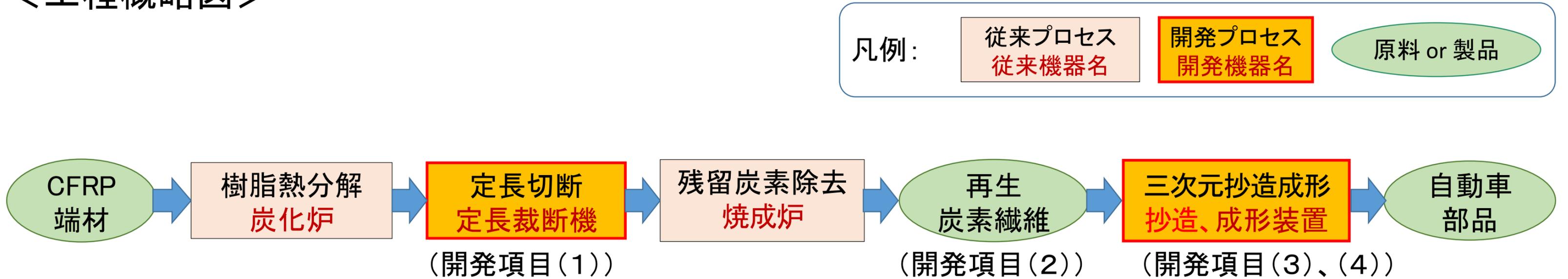


Fig. 5 工程概略図

<開発項目>

Table 1 開発項目

開発項目	設定理由
(1) 定長裁断機開発	抄造工程に適した繊維長分布の確保
(2) 湿式解織技術開発	抄造工程に適した解織性(繊維のほぐれやすさ)確保
(3) CFRP材料開発	金属代替材料として使用可能な物性値の確保
(4) 三次元形状の対応	鋳造品相当の成形性確保

全体目標(主目標)	達成目標(値)		開発当時の技術レベル
再生炭素繊維を使用した自動車エンジン部品の開発 (軽量化による燃費向上)	開発項目(1)～(4)の達成		エンジン部品用CFRPは実現していない
開発項目(研究課題)	中間目標	最終目標(値)	開発当時の技術レベル
(1)定長裁断機開発	標準カット長:9mm カット長調整範囲: 4～40mm 処理速度:100kg/hr以上 (テストピース)	標準カット長:9mm カット長調整範囲: 4～40mm 処理速度:100kg/hr以上 (パイロットライン)	繊維が絡まり合った再生炭素繊維集合体の高速切断装置は未開発
(2)湿式解繊技術開発	解繊度:90%以上 処理速度:100kg/hr以上(テストピース)	解繊度:90%以上、 処理速度:100kg/hr以上 (パイロットライン)	乾式解繊(湿式抄造装置には直結できない)

開発項目(研究課題)		中間目標	最終目標(値)	開発当時の技術レベル
(3) CFRP 材料 開発	3)-1 再生炭素繊維の強度確保	リサイクル後の繊維強度 低下率20%以内	成形品クライテリアをバラツキ含め満足	エンジン部品用CFRPは 実現していない
	3)-2 再生炭素繊維の品質確保	テストピース曲げ強度、 剛性:450MPa、30GPa以上		
	3)-3 CFRP材料組成の最適化	①材料組成比の最適化 ②三次元抄造の条件決め		
	3)-4 CFRPの機能確保	①成形品クライテリア満足 ②熱膨張率: $23 \times 10^{-6}/K$ 以下		
	3)-5 材料劣化	劣化後もクライテリア満足	製造下限品劣化後も製品クライテリア満足	
(4) 三次 元形 状の 対応	4)-1 繊維配向が強度に 与える影響調査	→	①三次元形状成形品の繊維配向可視化 ②繊維配向を定量化し、強度予測	抄造シートを積層後、 成形、加工
	4)-2 候補エンジン部品調査	→	候補部品の要求値明確化、優先順位付け	
	4)-3 三次元形状の作製	抄造不良、成形不良の無い 製造条件確立	成形品クライテリアをバラツキ含め満足	
	4)-4 コスト、軽量化効果検証	→	① 重量軽減率: $\Delta 60\%$ 以上 ② コスト:新品炭素繊維使用時に対して1/3以下	

(1) 定長裁断機開発

【開発目標値】

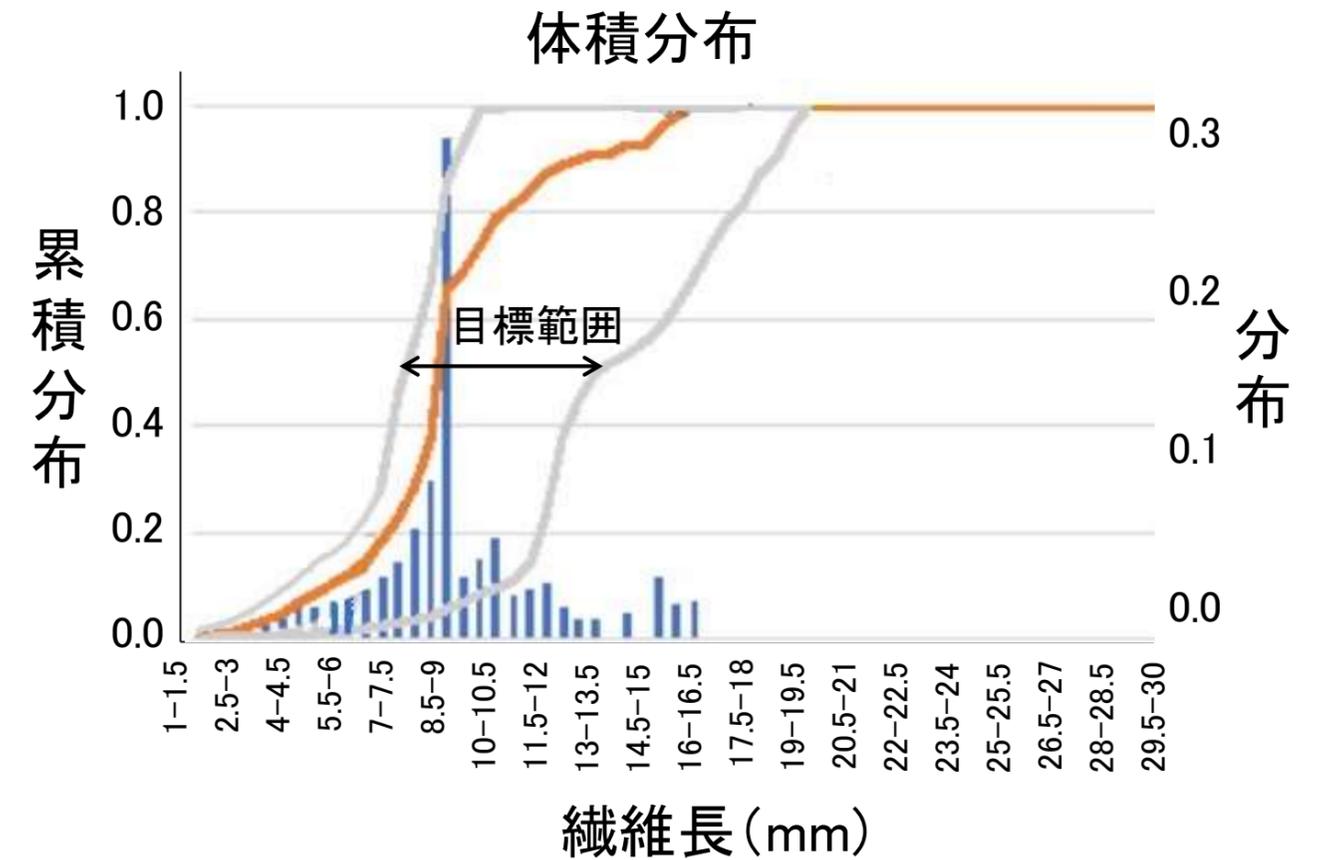
標準カット長9mm

カット長調整範囲4mm～40mm

複数の切断機を組合せた多様な端材に対応可能な連続式裁断機を開発

Table 2 切断機の種類と結果

	機 種	機 構	試験結果	試験状況
縦切り	超音波振動ナイフカッター	超音波共振カッターナイフ切断	厚物に適する	
	シェアカッター	回転刃によるスライス	薄物に適する	
横切り	ロータリーカッター	ローラー回転刃による連続切断	薄物に適する	
	高速ギロチンカッター	押切刃	厚物に適する	



繊維長分布測定法:
スキャナー撮像/
コンピュータ自動計測

累積20%の繊維長7.5mm
累積50%の繊維長8.75mm
累積90%の繊維長12.75mm
平均繊維長7.68mm(体積分布)

Fig. 6 切断機の種類と結果

長さ1100mmのストリンガー端材炭化品
9mm切断の繊維長分布測定結果

【結果】開発目標を達成
標準カット長9mm
カット長調整範囲4mm～40mm

(2) 湿式解繊技術開発

【開発目標値】解繊度：90%以上

解繊時に繊維折損を抑える形状の刃を用いたパルパー式の湿式解繊機を開発



内部構造と機作



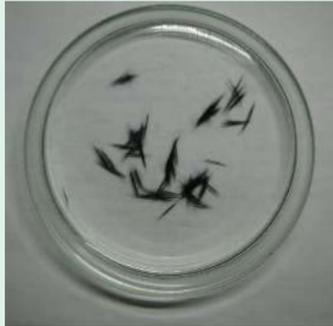
本体外観



刃形状

炭化ストリンガー9mm定長カット⇒焼成品の特性

Table 3 湿式解繊処理前後の解繊度

開発目標値	従来の解繊処理	湿式解繊処理
90%以上	82% 	>99% 

【結果】解繊度：90%以上達成

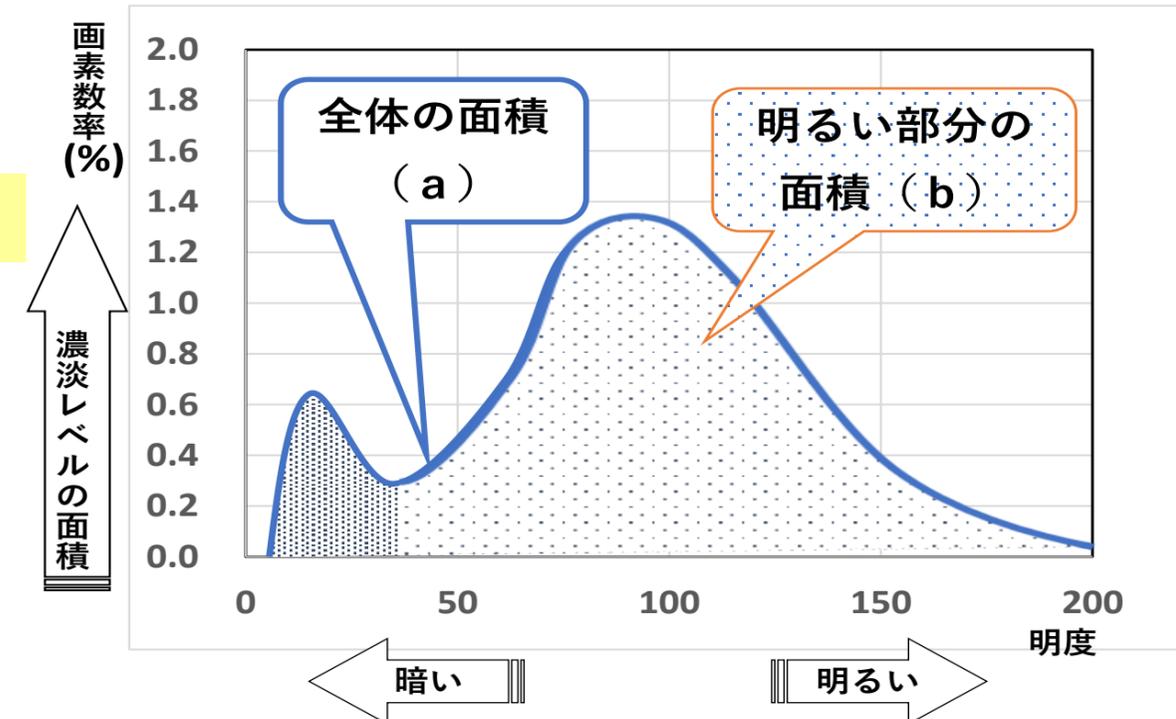


Fig. 7 解繊度の評価法<特開2019-45380号公報>

Table 4 湿式解繊処理前後の繊維長体積分布

	開発目標値 (定長切断)	湿式解繊 処理前	湿式解繊 処理後
累積20%の 繊維長 (mm)	6~12	8.25	7.25
累積50%の 繊維長 (mm)	7~14	9.25	8.75
累積90%の 繊維長 (mm)	9~20	13.25	12.25
平均繊維長 (mm)	—	8.76	8.36

(3)-1 再生炭素繊維の強度確保

【開発目標値】リサイクル後の繊維強度低下率20%以内

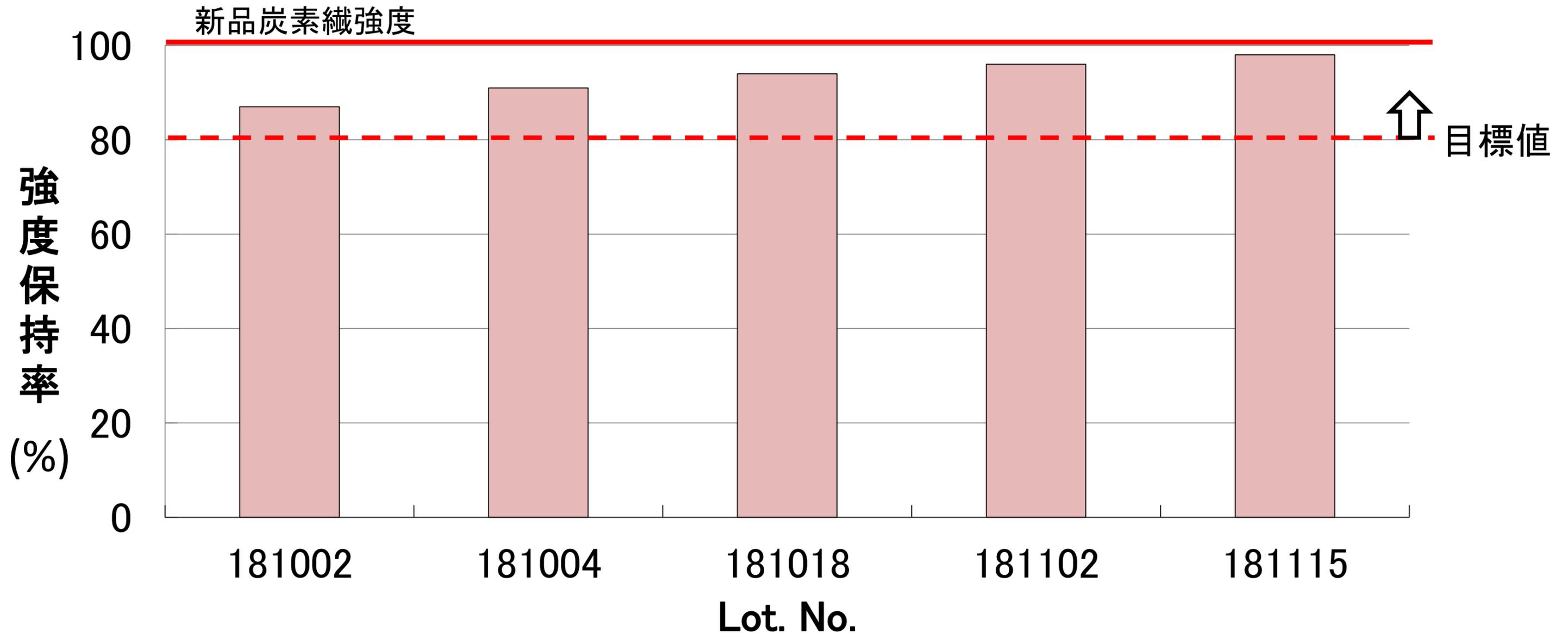


Fig. 7 再生炭素繊維の強度保持率

【結果】新品炭素繊維に対して、繊維強度低下率 2~13%で目標値を達成

(3)-2 再生炭素繊維の品質確保

【開発目標値】 曲げ強度450MPa以上、曲げ剛性30GPa以上

〈再生炭素繊維の繊維長分布と強度の関係〉

カット長別の再生炭素繊維を使用してTP強度を測定

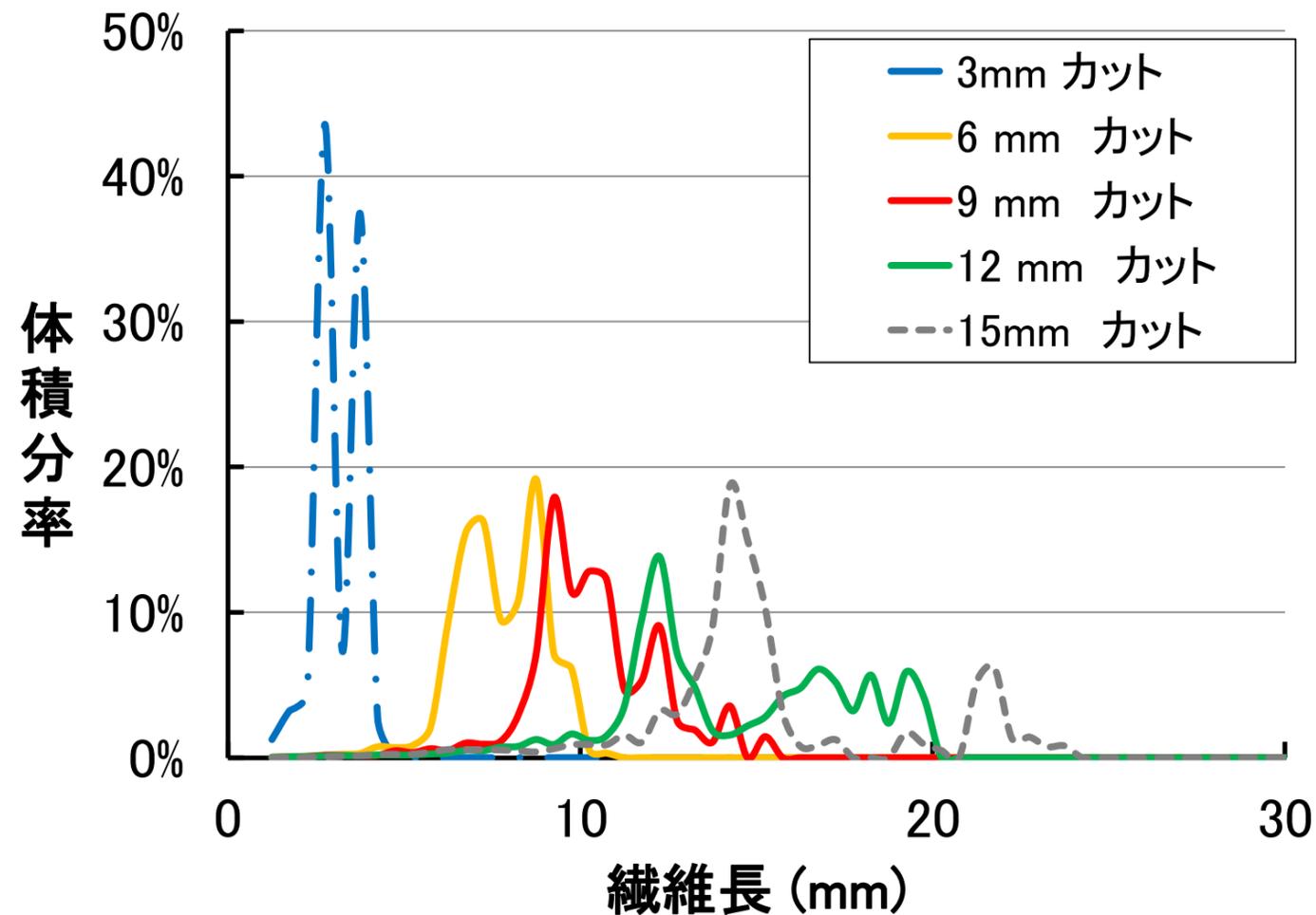


Fig. 8 カット長別の繊維長分布

強度を確保するためには、
9~12mmの繊維カット長が必要

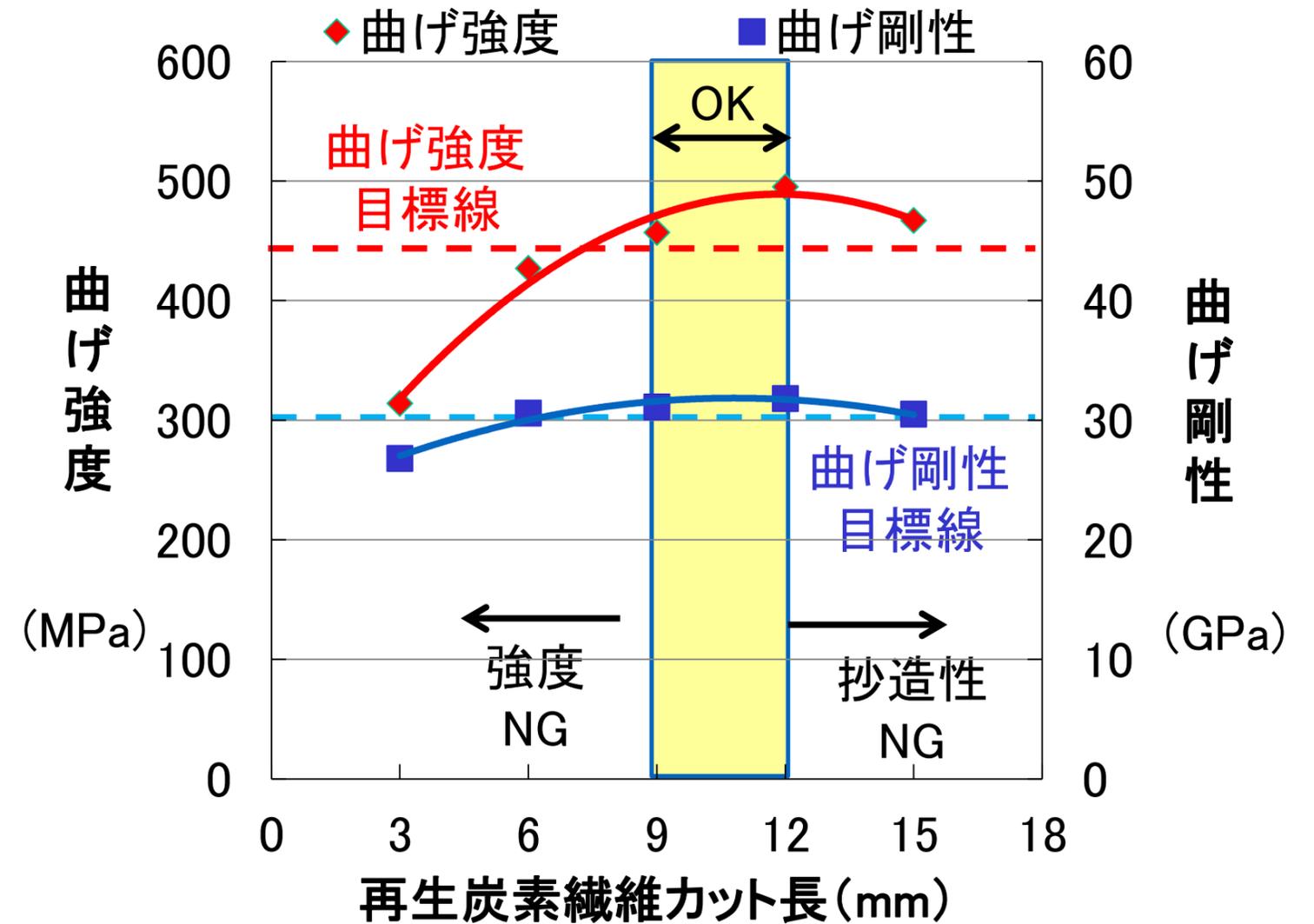


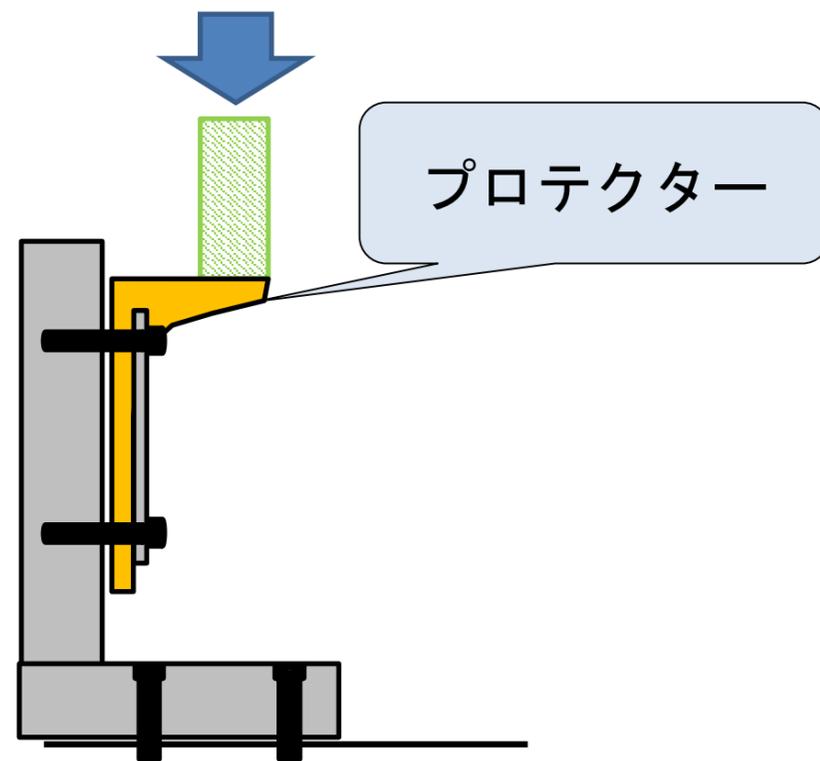
Fig. 9 カット長別の曲げ強度および曲げ剛性

【結果】 カット長9~12mmの場合、曲げ強度 450MPa, 曲げ剛性 30GPa以上を達成

(3)-4 CFRPの機能確保

【開発目標値】 ・パイロットラインで製作した成形品の強度クライテリアをバラツキ含め満足
 ・工程能力満足

量産想定条件で30個の試作品を作製し、強度評価を実施



試験方法

上図のように治具に組付け
破壊時の荷重を測定

Fig. 12 成形品強度評価方法

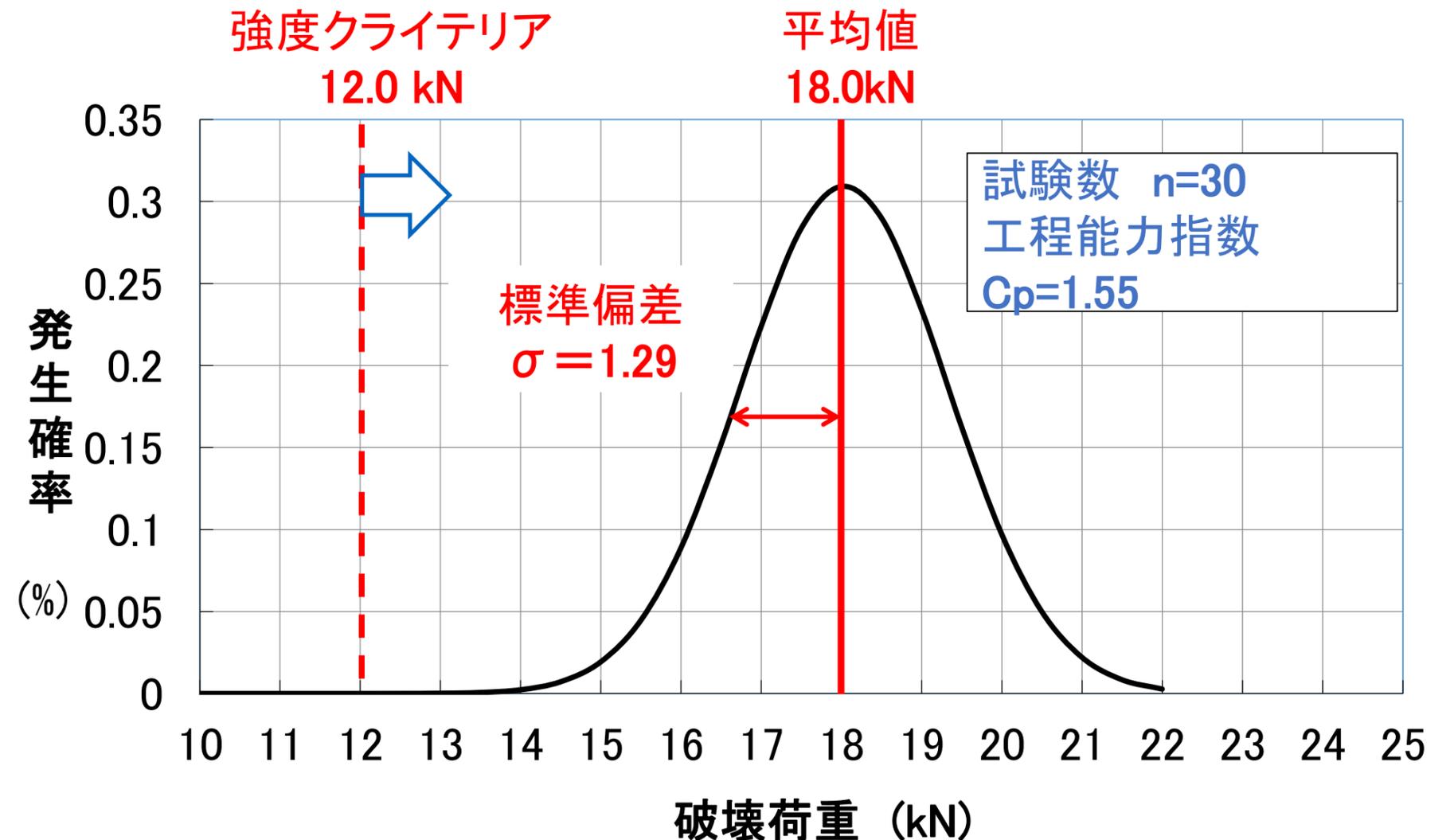


Fig. 13 成形品強度評価結果

【結果】 設定した量産想定条件で強度クライテリアおよび工程能力満足

(3)-5 材料劣化

【開発目標値】劣化後も成形品クライテリアを満足

Table 5 材料劣化条件と強度変化

項目	条件	劣化後強度
高温雰囲気	130°C雰囲気下に静置し、2000h後の強度を測定	○
油中浸漬	130°C油中下に静置し、2000h後の強度を測定	○
ガソリン浸漬	25°Cガソリン中に浸漬し、1000h後の強度を測定	○
耐酸性	『39%硫酸を噴霧後、90°C雰囲気下、72h静置』を1サイクルとして、14サイクル後の強度を測定	○
耐アルカリ性	『4%水酸化ナトリウム水溶液を噴霧後、90°C雰囲気下、72h静置』を1サイクルとして、14サイクル後の強度を測定	○
水中浸漬	80°C水中に浸漬し、2000h後の強度を測定	○

【結果】各劣化評価でも強度低下無

(4)-1 繊維配向が強度に与える影響と品質評価法の確立

【開発目標値】 繊維配向定量化と強度予測

①高周波照射法(非破壊評価方法)

原理:

成形体に高周波照射

⇒炭素繊維が電磁誘導により発熱

⇒成形体表面温度(温度分布)を観測

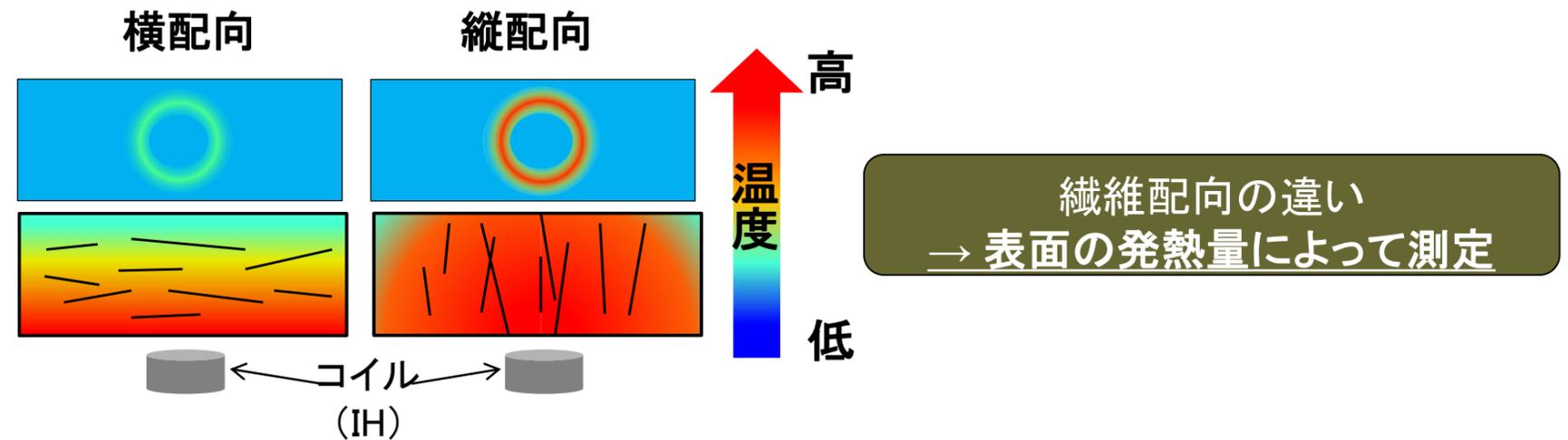


Fig. 14 高周波照射法の原理

Table 6 高周波照射40秒後の温度分布比較

	テストピース(強度 高)			テストピース(強度 低)		
	左 15mm	中央	右 15mm	左 15mm	中央	右 15mm
外観						
温度分布						

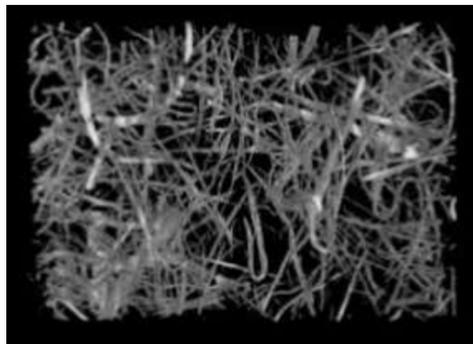
【結果】 高周波照射法は、成形体のマクロ的な非破壊検査法として使用できる可能性を確認

(4)-1 繊維配向が強度に与える影響と品質評価法の確立

② X線CT法(微視的評価法)

テストピースを使用して、X線CTによる配向確認と強度評価を実施

< X線CT測定 >



シート抄造テストピースX線CT画像

< 強度比較 >

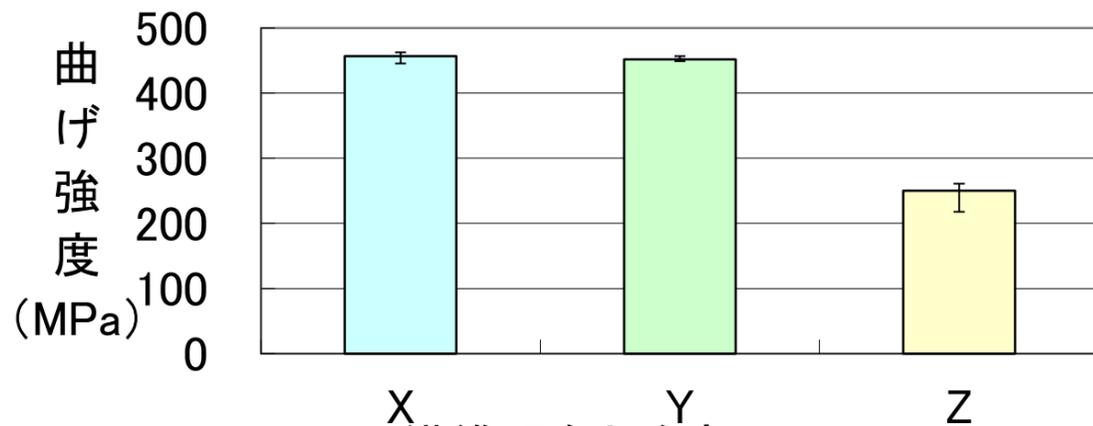


Fig. 15 繊維配向と強度

< 配向テンソル >



測定方向

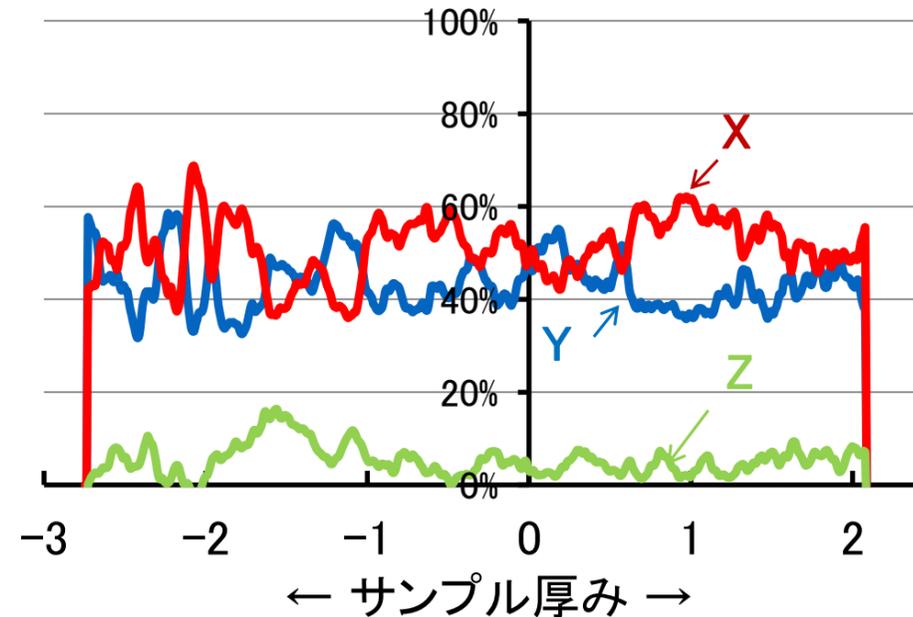


Fig. 16 配向テンソル



成形品品質評価体系

【結果】X、Y方向には約50%の繊維が配向しており、高強度
 Z方向には10%程度しか繊維が配向しておらず、低強度
 ⇒ 繊維配向を可視化・定量化し、強度との関係性も確認

(4)-2 候補エンジン部品調査

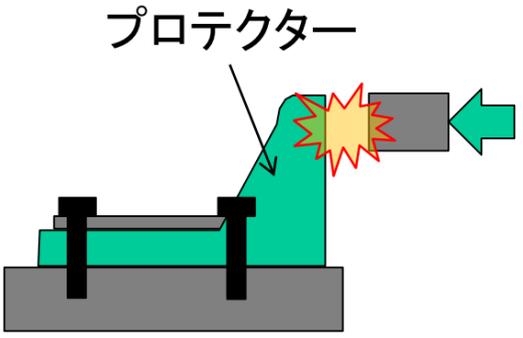
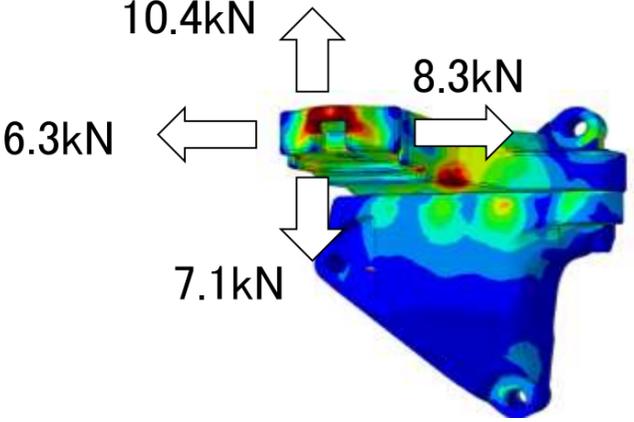
【開発目標値】候補部品の要求値明確化、優先順位付け

		2010年	2015年	▼ 2020年	2025年	2030年	
エンジン部品 製品シナリオ			◆ バランスシャフト 抄造樹脂ギヤ		◇ <u>プロテクター</u>	◇ デリバリー パイプガード ◇ マウントブラケット ◇ カムキャリア ◇ チェーンケース ◇ タイミング ベルトプーリー ◇ オイルパンNo.1	
軽量化 貢献度					-0.4kg	-3.0kg	計13.8kg ↓ -10.4kg
要素技術 シナリオ			樹脂ギヤ実績 ・強度280MPa ・剛性10GPa	材料 STEP 1 ・強度 450MPa ・剛性 30GPa		材料 STEP 2 ・強度 600MPa ・剛性 40GPa	
材料				◇ 三次元抄造技術	◇ 配向性改良技術	◇ 繊維+樹脂界面接合改良技術	
工法					◇ 多数個成形技術	◇ 大型部品 抄造技術	
測定・検査 解析技術				◇ 配向性可視化技術 ◇ 配向性指標化+強度推定 ◇ 非破壊強度検査法		◇ 配向性予想+強度予想	

(4)-2 候補エンジン部品調査

【開発目標値】候補部品の要求値明確化、優先順位付け

Table 7 候補部品の機能、要求値と軽量化効果

No.	外観・名称	必要機能	要求値	軽量化効果
1	 プロテクター	<ul style="list-style-type: none"> ・ポンプの保持 ・衝突時のポンプ保護 ・オイルシール 	 静的強度: 12kN以上	現行(鉄) 610g CFRP化(計算値) 200g (リブ等の補強込) 軽量化効果 67%
2	 エンジン マウントブラケット	<ul style="list-style-type: none"> ・エンジンの防振装置保持 	 上記必要荷重以上	現行(鉄) 1500g CFRP化(計算値) 500g (リブ等の補強込) 軽量化効果 67%

【結果】 候補部品の要求値を明確にし、形状が容易で荷重方向も1方向のプロテクターを優先して開発を進める

(4)-3 三次元形状の作製

【開発目標値】成形品クライテリアをバラツキ含め満足

＜三次元抄造トライ＞

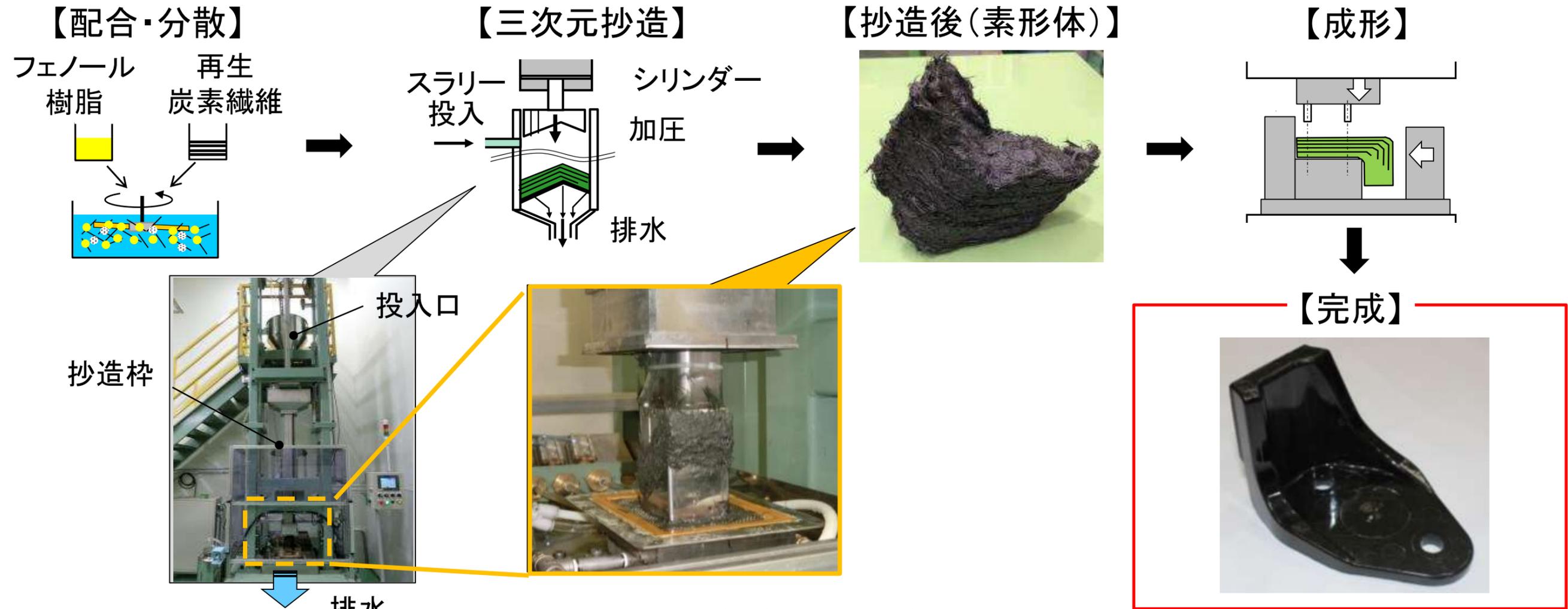


Fig. 17 三次元抄造トライ概略図

【結果】

- ・抄造条件を調整、欠肉改善に成功
- ・製品強度 18kN(クライテリア12kN以上を達成)

(4)-3 三次元形状の作製

開発中に発覚した新たな課題

＜表面亀裂の発生＞



表面亀裂有り

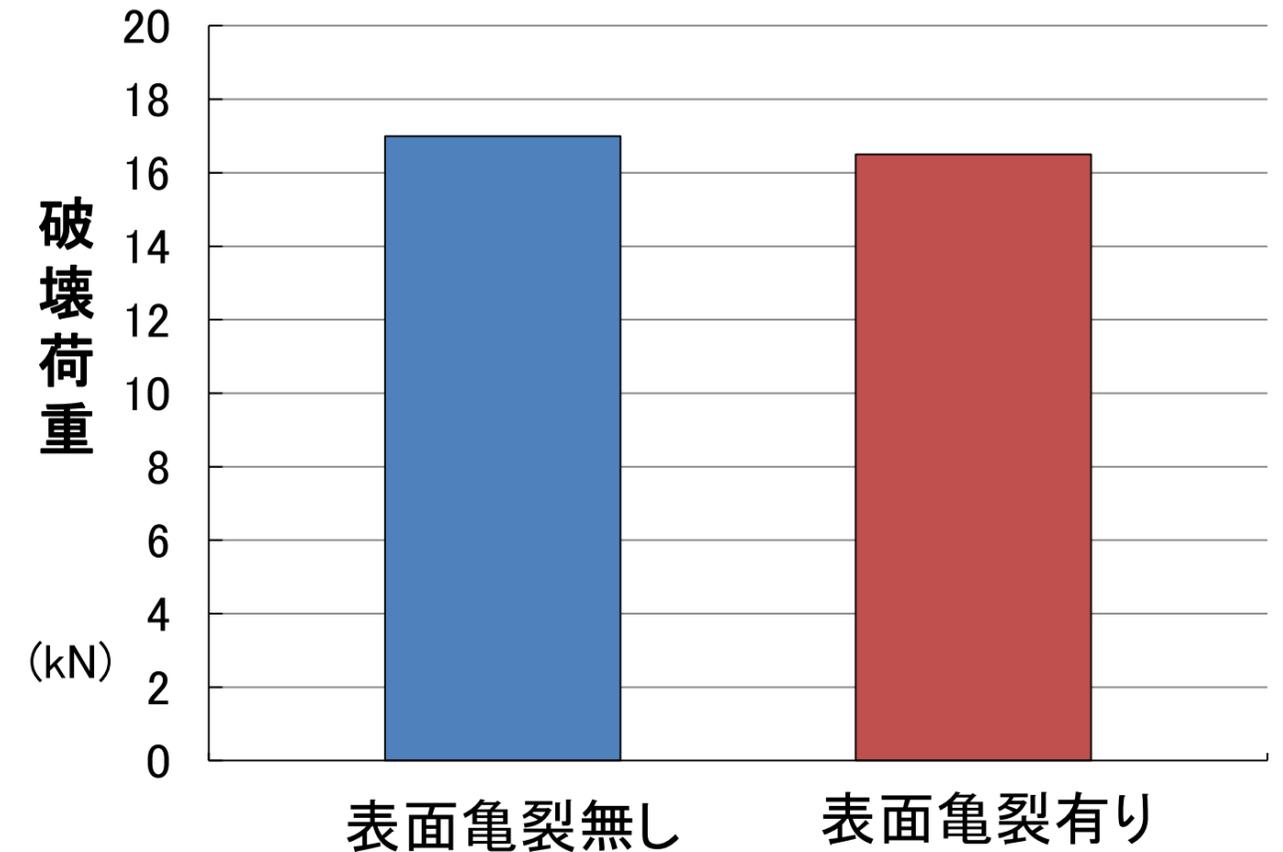
Fig. 18 成形品の表面亀裂

亀裂発生のメカニズムが不明



【今後の課題】

亀裂発生原因とそのメカニズムを解明し、対策を行う



表面亀裂による強度低下は見られない

Fig. 19 表面亀裂の有無による強度への影響

【対策案】

樹脂の伸び性向上を狙い、エポキシ樹脂等の別材料の混合、置換を行う

(4)-4 コスト、軽量化効果検証

【開発目標値】 重量軽減率：従来の金属鑄造品に対し、△60%以上
 成形品コスト：従来の新品炭素繊維を使用したCFRPに対して、1/3以下

Table 8 軽量化効果

名称	鉄 (鑄造品)	CFRP (再生炭素繊維使用)
形状		
重量 (g)	665g	184g
軽量化効果 (%)	-	72%

【結果】 重量軽減率 72%であり、目標達成

(4)-4 コスト、軽量化効果検証

【開発目標値】 重量軽減率：従来の金属鋳造品に対し、△60%以上
 成形品コスト：従来の新品炭素繊維を使用したCFRPに対して、1/3以下

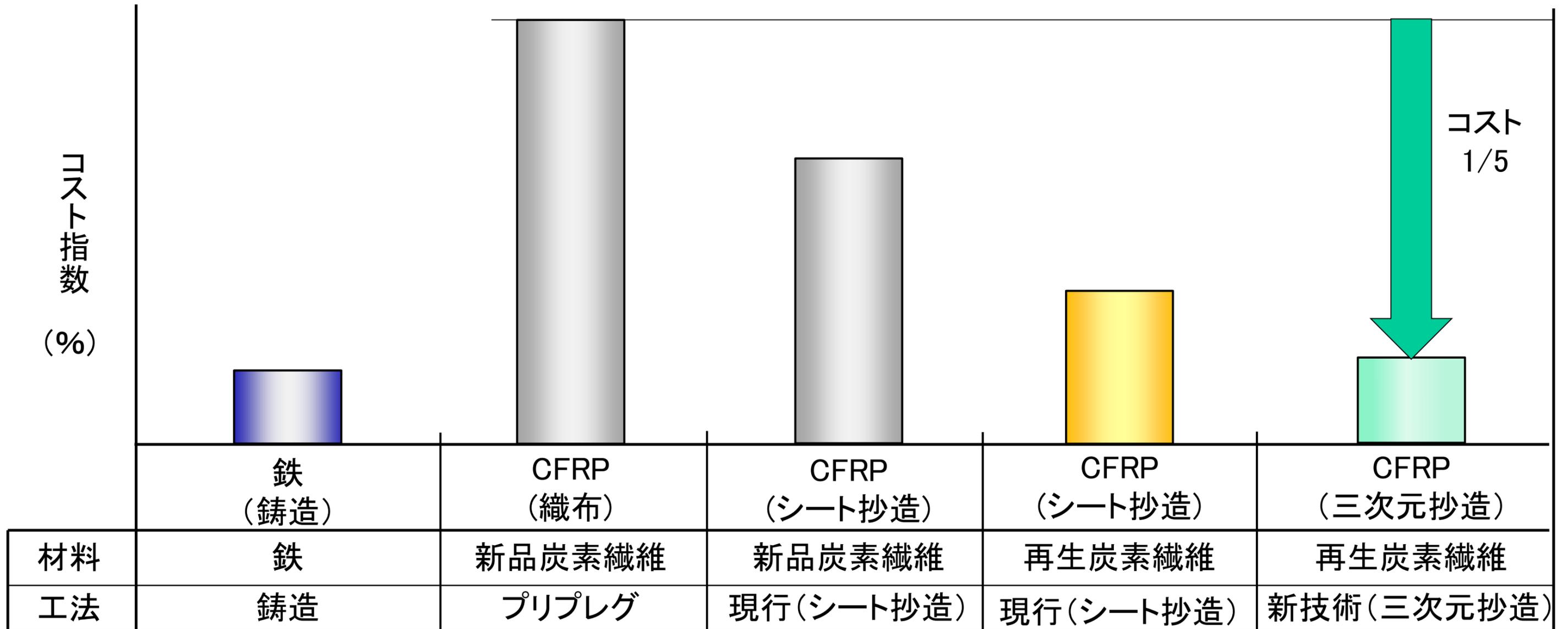


Fig. 20 コスト試算結果

【結果】 従来の新品炭素繊維使用CFRPに対して、1/5のコストとなり、目標を達成

まとめ

- ・有効な処分方法が無かったCFRP廃材の機能性材料へのリサイクル技術を開発
- ・再生炭素繊維を用いて高強度で軽量な機能性CFRPを開発し、自動車の軽量化に貢献
- ・今後、新たな課題である表面亀裂発生メカニズム解明とその対策を行う

今後の展望

今回得られた高強度化技術や三次元形状製作技術に基づき、種々の自動車部品開発を進めるとともに、材料種類や特性のバリエーションも増やし、産業用途など他分野にも展開できるよう開発に力を入れます。

ご清聴、ありがとうございました。

カーボンファイバーリサイクル工業
Carbon Fiber Recycle Industry co.ltd.



URL:<https://cfri.co.jp/>



URL:<http://www.npgkt.co.jp/>