

プログラム名：超高機能構造タンパク質による素材産業革命

PM名：鈴木 隆領

プロジェクト名：超高機能タンパク質素材の成型加工基本技術の開発

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成28年度

研究開発課題名：

構造タンパク質の自動車衝撃吸収用途工業用素材化開発

研究開発機関名：

トヨタ紡織株式会社

研究開発責任者：

鬼頭 修

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

次世代の自動車において、外装から内装に構造タンパク質素材を活用することによって、「安全」と「環境」の性能をより一層向上させることを目指す。本研究開発課題は、構造タンパク質素材の工業用材料化技術開発と位置付け、自動車のドアをモデルとして取り上げた。従来ドアと同等以上の剛性や衝撃吸収性能を構造タンパク質素材のタフネスを活かして成立させる素材化開発を行う。

トヨタ紡織は、構造タンパク質素材を用いたドア全体の企画・設計とドアトリムにおける基材開発を担当しており、平成 28 年度の目標と計画は以下の通り。

【ドア全体】

- ①実車を用いた側面衝突試験の結果をもとに、ドア単体試験（落錘試験）にて実車試験の代用試験とする条件を見出す。
- ②ドア単体試験結果を CAE シミュレーションにて再現し、ドア構造設計ツールとする。

【基材】

- ①タンパク質素材のドアトリム基材への適用性を検討するため、繊維の基本特性及び樹脂との複合材の物性を調査し、課題を確認する。尚、タンパク質素材には開発途中のクモ糸の代替としてシルク繊維を材料に用いた。
- ②将来開発が期待されるクモ糸を使用した場合の基材物性の予測スキームを構築する。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

【ドア全体】

- ①-1 小型乗用車を用いて側突試験を実施し、ポールの進入量を計測した。
- ①-2 ドア単体試験にて、側突試験のポール進入量と同等の変形量を与える試験条件を検討した。
- ②-1 ドア単体試験結果を CAE シミュレーションにて再現できるよう、モデルを作成し条件を調整した。
- ②-2 ドアアームレスト間隔が 100mm 程度拡大する次世代ドア構造を設計し、従来構造と同等のエネルギー吸収性能を確保するための、材料物性を明確にした。

【基材】

- ①-1 タンパク質素材特性評価として、シルク繊維の単繊維引張評価および TG/DTA（熱分析）により現行ドアトリム基材に使われる植物繊維（ケナフ繊維）との比較を実施した。
- ①-2 マイクロドロップレット評価により繊維-樹脂界面せん断強度を確認し、複合材に用いる樹脂を選定した。
- ①-3 シルク繊維と樹脂との複合材（シルク基材）を作成し、引張評価及びパンクチャー衝撃試験を実施し、高速荷重時の複合材特性を評価した。現行ドアトリム基材に使われる植物繊維基材（ケナフ基材）との比較を実施した。
- ①-4 ドアトリムに求められる環境条件下での基材の曲げ試験を実施し、課題を確認した。

- ②-1 X線CT及びシミュレーションソフトを用いて複合材の物性予測に必要な3Dモデルを作成した。
- ②-2 天然繊維複合材での物性予測を検討した。
- ②-3 ガラス繊維基材3Dモデルから繊維置換した仮想モデルを作成し弾性率を予測した。

2-2 成果

【ドア全体】

①-1 想定される車両クラスにて、側突試験を実施。車両に取り付けた加速度センサーによる動的変形量測定から、ABピラー基準動的ポール進入量を定量化した。

①-2 側突試験の衝突デバイスと衝突面が同一形状の落錘を用いて、ドア単体試験(落錘試験)を実施。落錘の落下高さ検討し、最大ストロークが得られる条件を決定した。

②-1 ドア単体試験(落錘試験)における所定落錘高さの試験データを用いて、CAEモデルを作成しシミュレーションを実施。最大ストロークで誤差5%、最大エネルギーで誤差1%を達成。

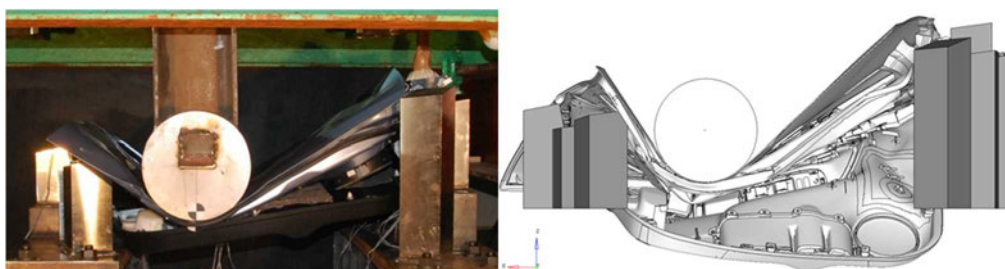


図1. 落錘試験とシミュレーションの比較 (左：落錘試験、右：シミュレーション)

②-2 ドアの構造を内外二層パネル構造とすることでドア全体の厚さが薄くなり、ドアアームレスト間隔を97mm拡大。暫定でCFRP相当の物性(真応力-真ひずみ)を与えて、シミュレーションを実施し、内外二層パネル構造が従来構造に比べて薄くなった場合でも、同等のエネルギー吸収性能を得ることを確認。

【基材】

①-1 シルク繊維及びケナフ繊維のTG/DTA(熱分析)を実施。シルク繊維はケナフ繊維同等の耐熱性(～230℃)を有し、現行熱プレスによる加工が可能であることが分かった。

また、シルク繊維及びケナフ繊維の単繊維引張試験を実施。シルク繊維は弾性率が低い一方で破断伸び度が約10倍であり、タフネスは大幅に向上した。

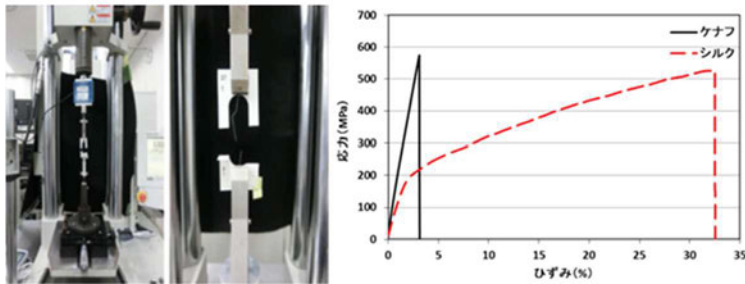


図2. 単繊維引張試験画像及び応力-ひずみ曲線

①-2 マイクロドロップレット試験によりレギュラーPP及びマレイン酸変性ポリプロピレン（酸変性PP）とシルク繊維及びケナフ繊維との界面せん断強度を測定。酸変性PPとの界面せん断強度が高く、複合材としての物性向上が期待できるため、酸変性PPを使用することにした。

①-3 シルク基材及びケナフ基材の静的及び高速引張試験を実施。

シルク基材は弾性率が低下する一方、破断伸度が大きく、タフネスは向上した。静的時及び高速時に関わらずシルク繊維の高伸張性を反映した結果となった。

パンクチャー衝撃試験ではシルク基材は最大衝撃力及び変位が大きくなり、ケナフ基材に対し吸収エネルギーが約6.5倍向上した。

表1. 基材のパンクチャー衝撃試験結果

	シルク基材	ケナフ基材
最大衝撃力(kN)	0.4	2.1
最大衝撃力点変位(mm)	3.7	7.1
最大衝撃力点吸収E(J)	0.9	6.0

①-4 ドアトリムに求められる環境条件下での基材曲げ評価を実施。

シルク基材は高湿条件下での物性低下がケナフ基材より大きく、今後対策が必要な課題であることが分かった。

表2. 基材の曲げ試験結果

		シルク基材	ケナフ基材	
曲げ物性低下率 (常態時を基準)	熱間 (110℃)	最大曲げ荷重(N)	-44%	-40%
		曲げ弾性勾配(N/cm)	-24%	-29%
	湿潤 (50℃95%× 48h)	最大曲げ荷重(N)	-47%	-27%
		曲げ弾性勾配(N/cm)	-31%	-24%
	熱老化後 (80℃×400h)	最大曲げ荷重(N)	-2%	-4%
		曲げ弾性勾配(N/cm)	6%	-2%
	湿老化後 (50℃95%× 400h)	最大曲げ荷重(N)	-40%	-22%
		曲げ弾性勾配(N/cm)	-20%	-26%

②-1 X線CT（島津 inspeXio-SMX100CT）によるシルク基材及びケナフ基材の解析。

得られたスライス画像をシミュレーションソフト GeoDict（Math2Market 社）にて 3D モデルを作成した。

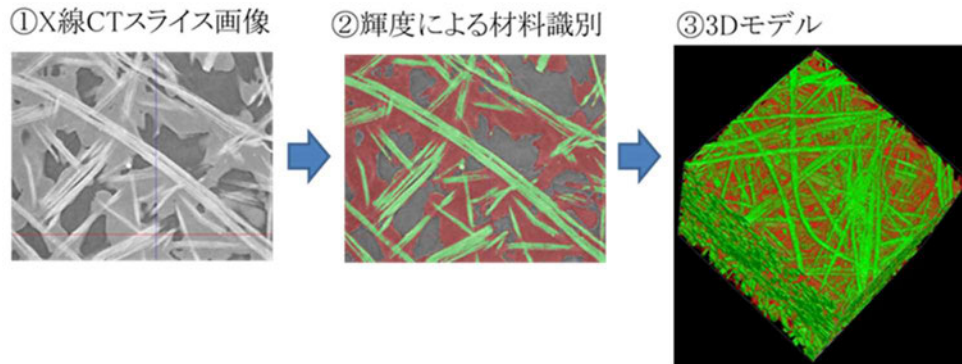


図 7. X線CT解析から3Dモデル作成までの流れ

②-2 ケナフ基材 3D モデルでの物性予測。

ケナフ繊維は形状のバラつきが大きく、かつ樹脂との密度差が小さく界面が明瞭な 3D モデルを構築できなかった。そのため樹脂との密度差が大きく繊維径が均一なガラス繊維を天然繊維の代替として使用することにした。

②-3 ガラス繊維基材 3D モデルから繊維置換した仮想モデルの作成および弾性率の予測。

天然繊維の代替としてガラス繊維と樹脂との複合材(GF 基材)を作成し、ガラス繊維基材の 3D モデルを構築した後に、シミュレーションソフト上でガラス繊維をケナフ繊維およびシルク繊維に置換した仮想モデルをそれぞれ作成、繊維物性も置換した上で物性予測した。その結果、基材弾性率の実測値と予測値の誤差がガラス基材+5%に対しケナフ基材は約-5%、シルク基材では-12%と、モデルの確からしさが確認された。

表 3. 各基材の弾性率予測結果

水準	予測値 (MPa)	実測値 (MPa)	誤差
ガラス基材	2264	2145	+5%
ケナフ基材	3957	4175	-5%
シルク基材	2238	2525	-12%

2-3 新たな課題など

【ドア全体】

シミュレーション結果から、内外二層パネル構造の部品締結部への入力荷重が最大で約 2500N 向上することが明らかとなった。締結部への入力荷重を分散させるために、構造タンパク質素材の特徴を活かした材料物性の最適化が必要。併せて、締結部における耐荷重を向上させる構造検討が必要。

【基材】

破壊挙動のシミュレーション技術（モノづくりへのフィードバックに活用）
モチーフには天然繊維、ガラス繊維での検討を継続する。

3. アウトリーチ活動報告

- ・無し