

熱可塑性 GFRP を適用したリヤバンパビームの開発

Development of Rear Bumper Beam Using Thermoplastic Glass Fiber-reinforced Plastic

彌 武 朋 也*

Tomoya YABU

安 原 重 人*

Shigeto YASUHARA

要 旨

リヤバンパビームの軽量化に向けて、高い衝撃強度を有する熱可塑性ガラス繊維強化樹脂を用いた部品設計技術を構築した。耐衝撃性に有利な連続繊維と複雑形状の成形に有利な不連続繊維の両方を適用することで、リヤバンパビームに最適な対衝撃設計をおこなった。また部品の軽量化とコスト低減のため、繊維形態の異なる3種の材料を同一型内で一度に成形可能なショートプロセス成形技術を開発した。この成形工程においてリブ形状が製品の性能に及ぼす影響を明らかにし、その影響を低減する設計技術も同時に構築した。

この技術を量産車の骨格部品であるリヤバンパビームに適用することで従来モデルに対して46%の軽量化と締結部品を除いて1/9となる部品点数削減が可能となった。

ABSTRACT

Parts design technology that uses thermoplastic glass fiber-reinforced plastic with high-impact strength was developed to reduce the rear bumper beam weight. Both continuous fiber that provides good impact resistance and chopped fiber that is advantageous for molding complex shapes were applied to create the ideal impact-resistant design for the rear bumper beam. Short process molding technology was also developed that can simultaneously mold three types of materials with different fiber formats in the same mold in order to reduce parts weight and cost. In addition, the influence of the rib shape on product performance in this molding process was clarified, and design technology that reduces that influence was concurrently developed.

The developed technology was applied to the rear bumper beam that is part of the frame of a mass-production vehicle, and enabled a reduction of the weight by 46% and the number of parts, except for fastening parts, to 1/9 that of the previous model.

1. まえがき

地球温暖化対策のための車両走行時におけるCO₂排出量の規制が世界的に厳しくなっており、パワートレインの燃費改善だけではなく、車両の走行エネルギー全体の低減が急務である。その手法の一つとして挙げられるのは車体軽量化である。

特に車両の前後に搭載されるバンパビームは曲げやねじり変形によって衝撃吸収をおこなうビームと、軸圧潰によって衝撃吸収をおこなうクラッシュボックスで構成される重量の大きい部品である。また車両前後に配置されるため、燃費性能のみならず操安性能への影響も大きい。軽量化と低コストの両立のために自動車メーカ各社共に研究開発がおこなわれているが⁽¹⁾、鋼板(SP)やアルミニウム(AL)などの金属材料の使用を前提とした軽量化には限界がある。

軽量化材料として繊維強化樹脂(FRP)が適用される例

*四輪 R&D センター

もあるが生産性とコストの観点で適用される車種が限定されてきた。近年、熱可塑性樹脂を基材とする熱可塑性FRPは従来の熱硬化性に比べて生産性とリサイクル性に優れており、近年研究が盛んにおこなわれている⁽²⁾。

熱可塑性FRPは材料費に関してSPやALなどの金属材料や繊維強化の射出成形用ペレットよりも高い。また圧縮成形においては連続繊維強化材ではSPのプレス材と同程度の単純な形状しか成形できず、複数の部品で組み上げる必要がある。さらに熱可塑性FRPを成形する成形システムの投資が高くなるほか、SPと同じ部品構成では成形に必要な金型数が多くなる。それがコスト増加の要因となる。

そこで我々はバンパビームの要求性能に対してコストの観点から基材および強化繊維の組み合わせを検討することで材料費を低減し、かつ部品点数が削減可能な大型一体構造とそれを可能とする成形技術を構築した。それら技術を適用して開発した熱可塑性FRPバンパビームを燃料電池自動車CLARITY FUEL CELLに適用した。

Table 1 Performances and costs of various materials

Material	Molding method	Specific stiffness	Specific tensile strength	Specific energy absorption	Cost
		GPa/ ρ	MPa/ ρ	J/g	
SP (JSC270C)	Press	26	35	6	1
AL (A6063 T7)	Extrusion	26	89	17	3
GF/PA6 continuous FRP	Press	12	224	45	5
CF/PA6 continuous FRP	Press	38	560	61	30

ρ : specific gravity PA: polyamide

2. 材料選定

Table 1 に各種材料での軸圧潰試験の結果を示す。この Table から SP や AL よりも FRP が比強度と衝撃エネルギー特性で優れていることがわかる。特に炭素繊維強化樹脂 (CFRP) は性能が高いが高コストである。それに比べてガラス繊維強化樹脂 (GFRP) はコスト対効果の観点で優れている。そのため、本開発では熱可塑性 GFRP を選定した。

3. 構造と製法

3. 1. 構造コンセプト

熱可塑性樹脂を基材とした FRP も強化繊維の形態によって材料性能が異なる。FRP の繊維形態として、高強度かつ高剛性を有する連続繊維材と、繊維を切断することで成形自由度が大きく複雑形状に適した不連続繊維材が挙げられる。Fig. 1 に熱可塑性 FRP の繊維長と各種性能 (弾性率, 静的強度, 衝撃強度) の関係を示す⁽³⁾。繊維長は静的強度と衝撃強度の関係性が強い。しかし繊維長が長いほど成形自由度が低くなるため、用途に応じて材料を選択する必要がある。

バンパビームの要求特性を考慮して、強度と剛性が求め

られる主部材に連続繊維強化材を適用した。また強度よりも剛性が求められるリブなどの複雑な形状を有する補強形状部位に、繊維長が 30 mm 以上で圧縮成形が可能な不連続繊維強化材を適用する。この構造コンセプトにより、部材の要求特性をみたすことのできるものと考えた。部材の曲げ変形に対して断面が開くことで剛性および強度が低下するため、通常閉断面化して 2 部品構成にするところを 1 部品に集約できると考えた。そのイメージを Fig. 2 に示す

3. 2. 成形コンセプト

構造コンセプトを具現化する成形プロセスとして、本開発では連続繊維強化材と繊維長 30 mm から 50 mm の不連続繊維強化材を同時に圧縮成形することでリブを含む部品一体成形を実現した (Fig. 3)。その後、部品端部に対して射出成形をおこなうことで連続繊維強化材では成形できな

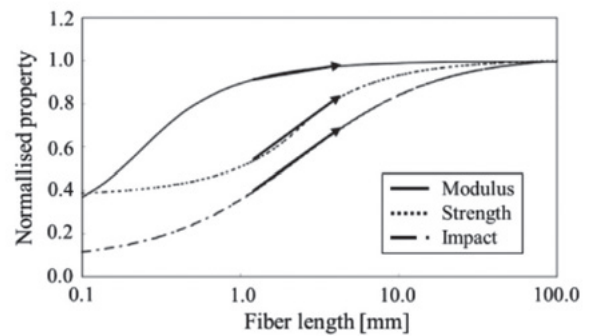


Fig. 1 Influence of fiber length on mechanical properties

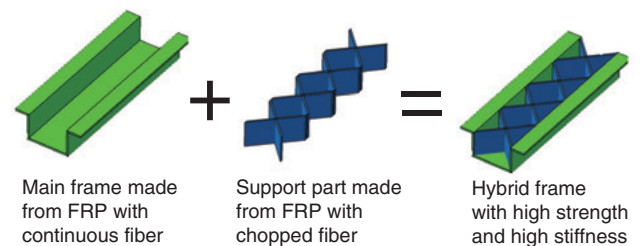


Fig. 2 Material composition concept

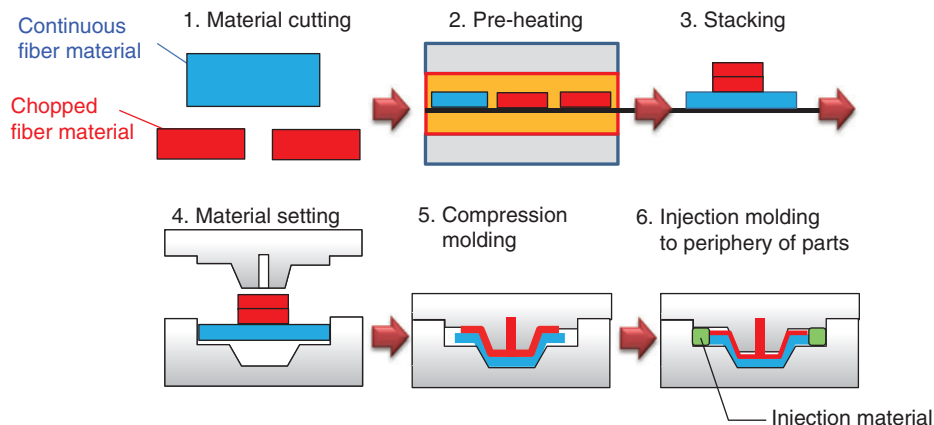


Fig. 3 Molding process

い材料の伸びを許容する形状を補完すると共に部品端部のバリ取りなどの後工程を廃止できる。

また従来の工法では3次元構造を成形する際はあらかじめプリフォームされた強化樹脂材を型内のリブ部に投入し再成形する必要があるが、この工法により、必要材料の投入後ワンショットでの成形、および一連の成形プロセス短縮や付随するプリフォーム用金型の削減によりコスト低減も実現できる。

3. 3. 要求性能と一体成形の課題

3. 3. 1. 不連続繊維材の圧縮成形後の物性変化

前述の成形コンセプトを達成するにあたっては不連続長繊維強化材の圧縮成形による流動について把握し、設計に反映する必要がある。そこで圧縮成形による不連続長繊維強化材の成形実験を実施した。Fig. 4 で示すようにリブの成形実験用の試験体を赤枠のように高さ違いで切り出して引張試験をおこなった。リブの先端と根元で比較すると引張試験片の密度はあまり差異が無いのにも関わらず、引張強度はリブ先端の方が小さい。試験体を加熱して樹脂を焼成し、残った繊維の様子を Fig. 5 に示す。リブ根元では長い繊維が残っているが、リブ先端では短くなった繊維が多くみられる。先ほどのリブの成形体を高さ違いで繊維長分布を調べた結果を Fig. 6 に示す。リブ根元から先端にかけて繊維長が 10 mm 以下の繊維が増加している。この試験結果から基材の性能を確保できるリブ高さを見出すことで形状の適正化を図ることができた。

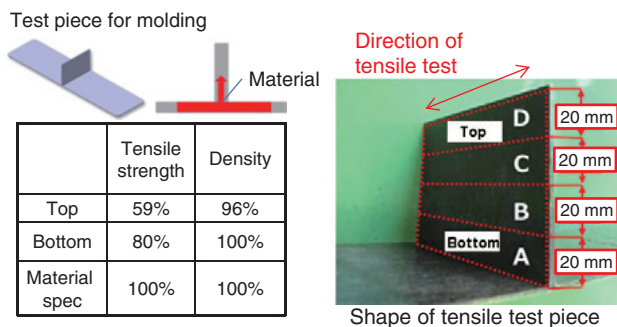


Fig. 4 Test of rib shape molded by compression molding

Table 2 Relationship between fillet R at bottom of rib and tensile strength

	No rib	Case 1	Case 2
t : thickness [mm]	-	2.5	2.5
θ : draft angle [°]	-	0.5	1.5
R : fillet R [mm]	-	0.5	2
Strength index	1.0	0.41	1.06

3. 3. 2. 連続繊維材と不連続繊維材の同時成形時の強度低下

本製法では連続繊維強化材と不連続繊維強化材を同時に圧縮成形するが、不連続繊維の樹脂を圧縮流動させる際に、樹脂の流れによって連続繊維が蛇行することがある。この現象は、連続繊維材の直線性が失われ、部品の強度と剛性の低下を引き起こす原因でもある。我々は不連続繊維強化材が圧縮成形によって流動する際に発生するせん断抵抗に着目して成形実験をおこなった。Fig. 7 に圧縮成形試験体と引張試験用試験片の切り出し方を示す。また Table

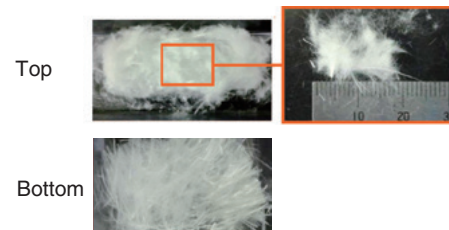


Fig. 5 Fiber distribution in rib after baking base resin

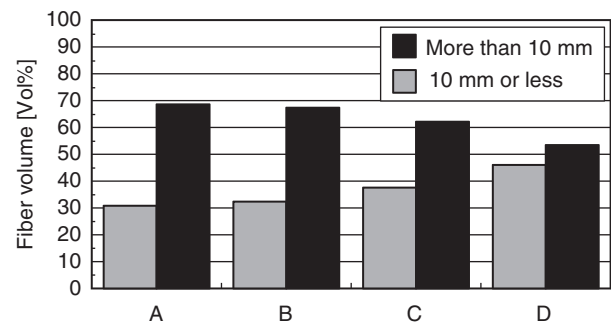


Fig. 6 Distribution of fiber contents in rib shape by compression molding

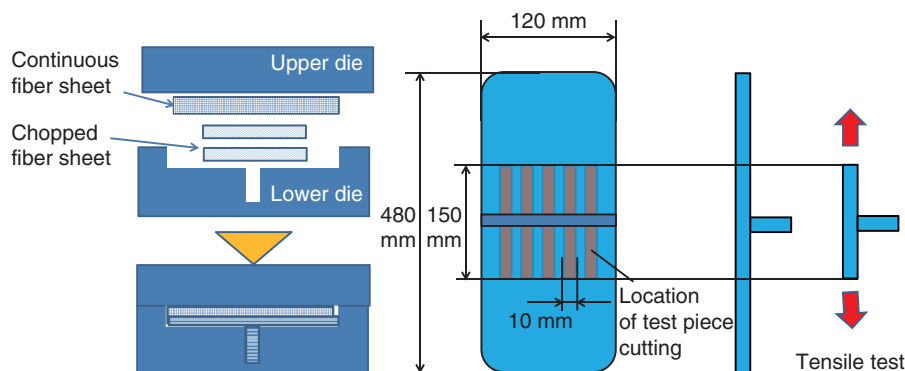


Fig. 7 Test piece molding method

2に2種類のリブ形状と引張強度の関係を示す。Fig. 8には2種類のリブ形状と破断の発生点を示す。Case 2のように抜き勾配とフィレットRを大きくすることで樹脂が流れやすくなり、連続繊維の蛇行を少なくすることができて、強度向上にも有効との結果を得た。このように製品形状の決定に際しては、流動と機械的特性双方から検討をおこない、バンパビームの形状設計に反映した。

4. リヤバンパビームへの適用

開発した技術を用いて構造設計をおこなった CRARITY FUEL CELL の熱可塑性 GFRP リヤバンパビームとその搭載位置を Fig. 9 に示し、構造と材料構成を Fig. 10 に示す。

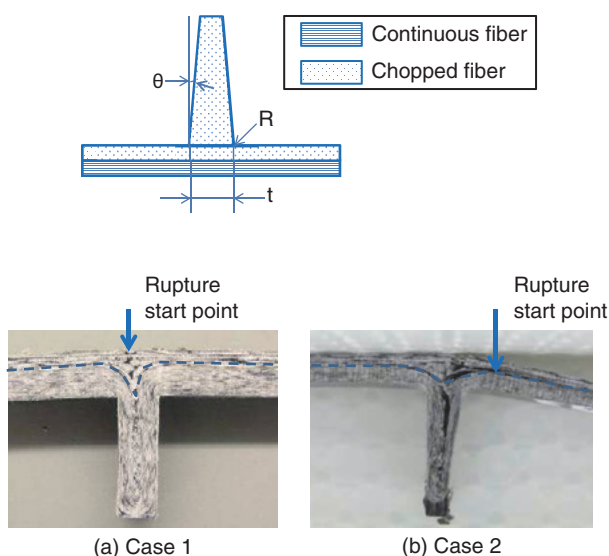


Fig. 8 Shape of rib test piece and location of rupture start in tensile test



Fig. 9 Thermoplastic GFRP rear bumper beam and location in CLARITY FUEL CELL

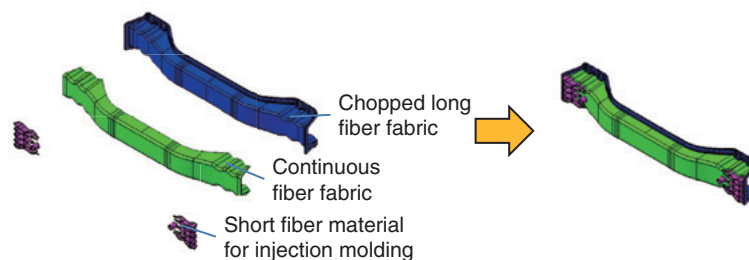


Fig. 10 Material composition of rear bumper beam

Fig. 11 に北米の軽衝突法規 FMVSS の Part 581 試験におけるバンパビームと試験治具の位置関係を示す。構造としては曲げモーメントが発生する部位に高強度の連続繊維強化樹脂と繊維長の長い不連続繊維強化樹脂のハイブリッド構造を配置した。車両外側より荷重を付加される試験モードについてはモーメントではなく部材の圧縮性能で対応できる。そこで、低強度のガラス繊維フィラー含有の射出成形材によって形状を補えば、連続繊維材の歩留りを改善できることからコスト低減に貢献できる。

部品一体化をおこなったことでバンパビームの基本断面は開断面のハット形状となった。開断面の梁で曲げモーメントを受けた場合、入力荷重によって断面が開くことにより、剛性および強度の低下が発生する。Fig. 10 に示すようにビーム背面側に不連続繊維材を配置し、リブを設定することでそれに対応している。Fig. 12 に静的荷重試験の試験状態、Fig. 13 に最大荷重発生時の破断部位を示す。3.3. 節でのリブの検討結果から形状を最適化したことで、リブ根元の強度低下が要因となる最終破断が起きていないことが確認できた。

Fig. 14 に実車における Part 581 試験を示す。Fig. 15 および Fig. 16 に CAE 結果と試験結果を示す。グラフが示す通り、目標の変形量以下に必要な衝突エネルギー吸収量を

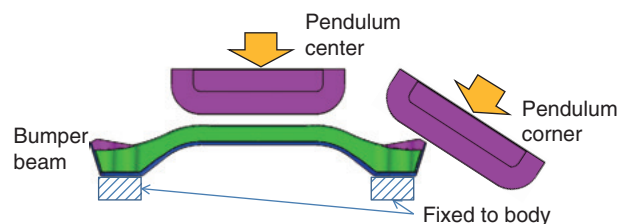


Fig. 11 Position of bumper beam and Part 581 pendulum test

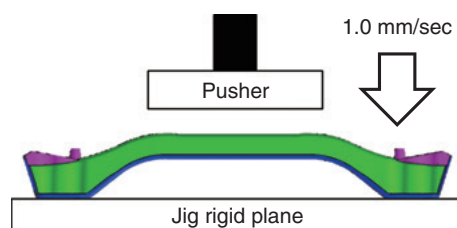


Fig. 12 Test condition of static load test

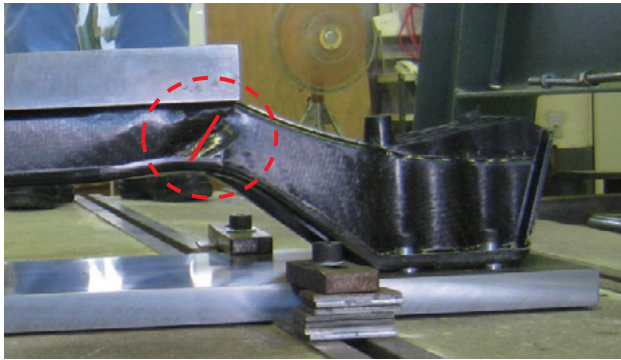
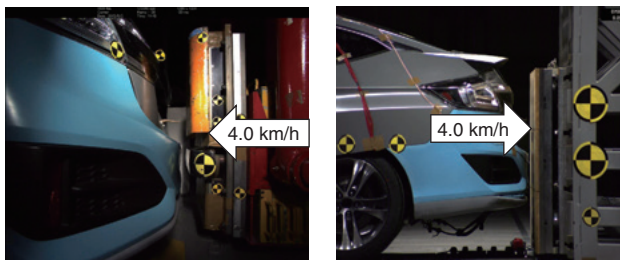


Fig. 13 Location of rupture at the peak load



20-inch pendulum test

Flat barrier test

Fig. 14 Part 581 test

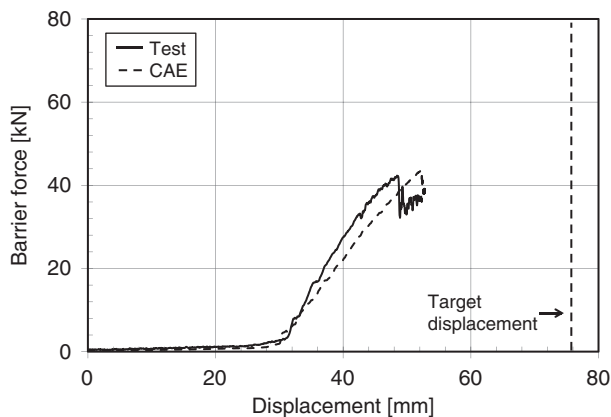


Fig. 15 Comparison of actual test and CAE simulation in Part 581 20-inch pendulum test

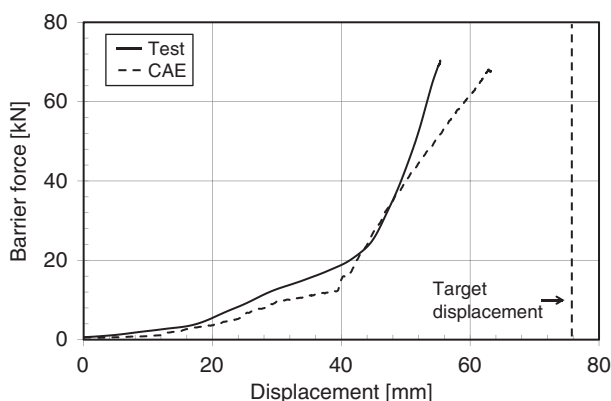


Fig. 16 Comparison of actual test and CAE simulation in Part 581 flat barrier test

確保できており、従来品と同等の性能が得られたことが確認できた。

従来品に対しての部品点数の比較を Fig. 17 に示す。本開発の熱可塑性 GFRP リヤバンパビームは従来構造に対して部品点数を 1/9 に削減すると共に 46% の重量軽減を達成した。

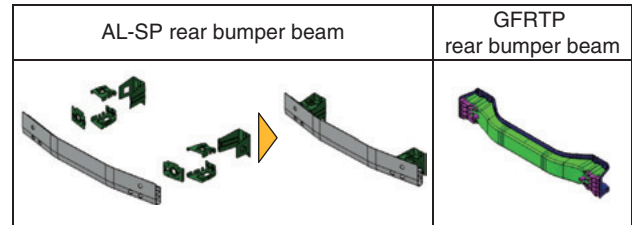


Fig. 17 Comparison of GFRTP rear bumper beam and AL-SP rear bumper beam

5. まとめ

リヤバンパビームの熱可塑性ガラス繊維強化樹脂を用いた軽量化に向けた部品設計技術の構築により下記の知見を得た。

- (1) 連続繊維強化材と不連続長繊維強化材を同時に圧縮成形し、リブに対して不連続長繊維強化材を流動させる、新たなハイブリッド成形を開発した。この工法により、材料投入後のワンショットでの成形を実現し一連の成形プロセス短縮や付随するプリフォーム用金型の削減によりコストを低減した。
- (2) 不連続繊維強化材の圧縮成形実験をおこなった結果からリブの高さと含有繊維長の関係を明らかにし、形状の適正化を図った。
- (3) 連続繊維強化材と不連続繊維強化材を同時に圧縮成形した時に、樹脂の流動によって連続繊維材の直線性が失われ、部品の強度と剛性の低下を引き起こすことがわかった。そこでリブ根元部で樹脂が流れやすい形状とすることで性能の低下を緩和することができた。
- (4) 繊維形態が異なる 3 種類の材料を適材適所に配置すると共に樹脂特有の成形自由度を活かして部品を一体化することにより、北米の軽衝突法規を満足しながら従来のリヤバンパビームに対して 46% の軽量化と部品点数を 1/9 に削減することができた。

参考文献

- (1) 大宮良信, 佐野豊和, 箕浦忠行:自動車車体用材料の現状と動向, 神戸製鋼技報, Vol. 57, No. 2, p.2-7, (2007)

- (2) 石川隆司:自動車構造部品への炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の応用の展望 (CFRTP を中心に), 精密工学会誌, Vol. 81, No. 6, p. 489-493, (2015)
- (3) Thomason, J. L.: The influence of fibre length and concentration on the properties of glass fibre reinforced polypropylene: 5. Injection moulded long and short fibre PP, Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, Vol. 33, p. 1641-1652, (2002)
- (4) 安原重人, 彌武朋也:熱可塑性複合材料の車体構造適用における温度依存性の影響低減構造の提案, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 1, p. 207-212, (2015)
- (5) 彌武朋也, 安原重人, 柏木正和:熱可塑性 GFRP シートによるバンパービームの開発, 自動車技術会 2016 年春季大会学術講演会講演予稿集, No. 50-16, p. 1216-1220, (2016)
- (6) 彌武朋也, 安原重人, 柏木正和:熱可塑性 GFRP クラッシュボックス設計手法の研究, 自動車技術会論文集, Vol. 48, No. 4, p. 945-952, (2017)

■ 著 者 ■



彌 武 朋 也



安 原 重 人