

第1回：金属部品の樹脂化の狙い、材料評価・選定時のポイント

現在の日常生活では、自動車、家電製品、情報端末などが必需品ですが、これら製品に使用している部品には、鋼材、アルミ、マグネシウム、鋼材などの金属が使用されています。

昨今、地球温暖化を始めとして環境問題が重視されるなかで、特に自動車ではCO₂ 排出量削減が急務であり、情報通信端末などにおいては軽量・小型化、低価格化、洗練されたデザインニーズの実現が必須になっています。これらの課題解決のために、樹脂の採用による軽量化検討、実用化が進められています。

金属の樹脂化においては、既存の形状を樹脂に置き換えるだけでは金属と樹脂の強度、耐熱性などの物性値の違いにより製品の性能を満足することは困難であり、複合樹脂の活用、部品形状の変更、金型設計・製作、成形法の高度化が必要です。

本稿では樹脂化の狙い、樹脂材料選定の動向について解説します。

1. 1 金属部品の樹脂化の狙い

地球温暖化の主因として取り上げられる自動車からのCO₂ 排出の場合、軽量化によるCO₂ 排出量削減が必要ですが、運転者、同乗者の安全性を担保しなければならず、高強度が必要なため金属が多用されています。さらにEV化の進展によるバッテリー搭載に伴う重量増加があり、エネルギー消費効率向上のために軽量化が必要になっています。

他方、家電製品、事務機器、産業機器をはじめとして多くの製品では、省エネ化、小型軽量化、デザイン性向上、複雑な形状の一体成形による低価格化などのニーズを実現するために、長年使用してきた金属部品の樹脂化が急速に進展しています。

主な部品の樹脂化の狙い(例)を示します。

- (1)自動車：①軽量化、②低騒音化、③低価格化、④デザイン性向上など
 - (2)家電：①軽量化、②薄型・小型化、③低価格化、④デザイン性向上など
 - (3)事務機器(複写機など)：①軽量化、②薄型・小型化、③高速化、④低騒音化など
 - (4)情報通信端末：①軽量化、②薄型・小型化、③低価格化、④デザイン性向上など
- 一例として、タイヤホイールの樹脂化例を写真1に示します。



アルミ合金(7,416 gf)



CFRP(3,968 gf)

写真1 アルミ合金ホイールのCFRP化⁽¹⁾

本事例の場合、アルミ合金をCFRP(炭素繊維強化樹脂)で代替することで軽量化率46(%)を実現しています。

1.2 材料評価・選定時のポイント

1.2.1 複合強化樹脂の特徴

従来多用されている鋼材、アルミなどの金属は、樹脂に比較して機械的強度が高く、荷重に対する耐久性の面でも優れています。また耐熱性が高く、熱伝導性も良く、燃えにくく、温度による変化が小さいため寸法安定性も良好です。

一方、樹脂は、基本的に樹脂単体では金属と同等レベルの強度、耐熱性、熱伝導性などの物性値を確保することが困難なため、樹脂にガラス繊維を始めとして、炭素繊維、無機物、酸化亜鉛などの強化材を複合化して機械的強度、耐熱性などの物性を向上する必要があります。主に複合化する強化材の種類と用途・機能の一覧を表1に示します。記載した強化材と樹脂との組み合わせで所要の物性を確保する複合樹脂の開発、実用化が可能になります。

主な用途・機能	強化材
補強用	チタン酸カリウム、アラミド繊維、ガラス繊維、炭素繊維
熱伝導性	アルミナ、窒化アルミ
導電性付与	カーボンブラック、黒鉛、炭素繊維、金属粉、金属繊維
制振性	マイカ(雲母)、黒鉛、チタン酸カリウム、炭素繊維
摺動性	黒鉛、硫化モリブデン、テフロン粉、タルク
増量用	炭酸カルシウム、タルク、シリカ

表1 樹脂の特性向上用強化材の種類と用途・機能

表2に、フィラー・粉・粒状強化材を添加した時の機械的特性などの性能向上効果例を示します。

		PA系			POM系		
		PA	GF20	無機物	POM	GF25	GB25
比重	(gf/cm ³)	1.14	1.28	2	1.41	1.61	1.55
引張強さ	(kgf/mm ²)	6~6.5	8~8.5	6.6	6.2	13	6.3
引張弾性率	(kgf/mm ²)	120~130	320~30	278	288	380	360
衝撃強度 (IZOD・ノッチ付)	(kgf・cm/cm)	7~10	7~8	12	6.5	8.6	6.4
熱変形温度	(18.6kgf/cm ²)	70	225	140	110	163	148
成形収縮率 (厚さ:2mm)	(%)	1.5	0.4/1.5	1.0/1.2	2.5	0.5/1.4	1.24~1.36

表2 フィラー・粉・粒状強化材添加時の性能⁽²⁾

表2から、GF(ガラス繊維)、無機物、およびGB(ガラスビーズ)を複合化した時は、非強化時の物性より引張弾性率、熱変形温度の向上、成形収縮率の低減が確認できます。

1. 2. 2 熱硬化性複合強化樹脂と熱可塑性複合強化樹脂の特徴

加熱して樹脂分子の架橋反応を利用して硬化する熱硬化性樹脂、加熱して溶融した後、冷却固化する熱可塑性樹脂の2種類があります。

この2種類の樹脂とガラス繊維、炭素繊維などの強化材との複合化により、金属と同等レベルの物性を有する金属代替用複合樹脂が実用化されています。熱可塑性樹脂(PC、PA66、PPS:3種類)、熱硬化性樹脂(BMC:1種類、以下、BMC)にガラス繊維、炭素繊維を複合化した複合樹脂、アルミダイカスト、マグネシウムの物性を表3に示します。

BMCは、不飽和ポリエステル樹脂に熱可塑性樹脂(例:アクリル樹脂の一種であるメチルメタクリレート、飽和ポリエステルなど)を加え、不飽和ポリエステルが高温で硬化収縮するのを熱可塑性樹脂が膨張して相殺して低収縮化しています。BMCの特徴(長所、短所)を以下に示します。

【長所】

- ①寸法精度、寸法安定性良好。変形が非常に小さい。
- ②剛性、耐熱性に優れている。熱膨張係数が小さい。
- ③機械的強さが大きい。

【短所】

- ①多少脆い。
- ②比重が大きいが耐薬品性に劣る。
- ③バリ発生が多い。

性能	材料 単位	PC	PC	PA66	PA66	PPS	PPS	BMC	アルミ	マグネシウム
		GF(30%)	CF(30%)	GF(30%)	CF(30%)	GF(30%)	CF(30%)	V-0	ダイカスト	
比重		1.45	1.31	1.39	1.28	cf	1.46	1.84	2.7	1.74
成形収縮率	%	0.1~0.3	0.01~0.4	0.5	0.2~0.6	0.3~0.9	0.1~0.8	0.01~0.02	—	—
曲げ強さ	kgf/mm ²	17	21	26	33	22	33	66	16	—
曲げ弾性率	kgf/mm ²	700	1620	800	1900	1200	2630	1050	7000	4470
引張強さ	kgf/mm ²	13	—	17	23	14	23	34	16	23
衝撃値	kgf・cm/cm ²	5.5~20	9	7	9.8	8	5.5	8.6	—	—
熱変形温度	°C	143~145	146~152	248	250	260	260	226	500	—
熱膨張係数	10 ⁻⁵ /°C	3.5	5.7	1.5~2.0	2	2.6~3.9	1.2	1.5	2	2.6

注1)BMC :AGCマテックス 精密グレード(V-0)

表3 熱可塑性樹脂(3種類)、BMCとアルミダイカストの物性⁽³⁾【CFは短繊維タイプ】

表3から、熱可塑性樹脂に炭素繊維を複合強化した樹脂は、アルミダイカスト、マグネシウムに比較して、曲げ弾性率、熱変形温度以外の物性では優位性があり、アルミダイカスト、マグネシウム部品の代替可能性は十分にあります。またBMCは、曲げ強さ、寸法安定性が優れていることから、高精度が要求される複雑な構造部品を一体成形で製作できるメリットがあり、光学シャーシ、金融機器部品などのアルミダイカストの代替として使用されています。表3で熱可塑性樹脂において、ガラス繊維、炭素繊維で強化した複合樹脂で物性に差異があるのが確認できます。

この理由は、ガラス繊維を強化する各樹脂の性能が本来、非強化時で異なるためです。従って、金属部品を樹脂化する場合、自動車、家電製品の部品では要求仕様が異なるため要求仕様と物性値を十分に比較検討した上で樹脂を選定することが必要です。既述したように、金属部品の樹脂化に際して強度、耐熱性などの基本的な物性データを優先して検討しますが、併せて注意しなければならないのが製品のストレスクラック性です。

1. 2. 3 ストレスクラックの検討

一般に結晶性樹脂は各種の薬品に対して耐性があり、非晶性樹脂は耐薬品性が悪いです。主な樹脂のストレスクラック性(結晶性樹脂:PA66、PBT、POM、非晶性樹脂:PC、変性PPE)を表4に示します。ストレスクラックは、樹脂成形品には基本的に成形時の残留応力が残り、当該部品にアルコールなどの薬品が触れると部品に微小なクラックが発生する現象です。このような現象を回避するために、薬品が触れる環境にあるのかなどの部品の使用環境を十分に考慮する必要があります。この問題は非強化樹脂に限らず、複合強化樹脂を使用した成形品でも同様です。

エンブラの種類 薬品名	PC	変性PPE	PA66	PBT	POM
酸	△～○	○	×～△	△	×
アルカリ	×～△	○	△	×	△～○
塩類	○	○	△	○	○
アルコール	×～△	×～△	○	△	○
エステル	×	×	○	○	○
塩素化溶剤	×	×	○	○	○
芳香族系溶剤	×	×	○	○	○
ガソリン	×	×	○	○	○
灯油	×～△	×	○	○	○
一般潤滑油	△～○	○	○	○	○
グリース	○	×～○	○	○	○

表4 主な樹脂のストレスクラック性⁽⁴⁾

さらに樹脂選定において注意が必要なポイントとして、高温下において物体に一定の荷重が負荷することで時間と共に部品が変形する現象、すなわちクリープ特性が挙げられます。クリープ特性はBMC(エポキシ、不飽和ポリエステル等)が熱可塑性樹脂より優れているため、熱可塑性樹脂の主な樹脂の耐クリープ特性を確認すると以下のようになります。

(高) PEEK > PPS > POM > PET > PP > PTFE (低)

この結果から、高温環境下で高精度が必要な部品の場合、PEEK、PPSなどを優先して検討するのが良いと考えます。

以上、金属部品の樹脂化についての材料評価・選定時のポイントを概説しましたが、樹脂は、強度、耐熱性などの面で金属に対して劣るため、非強化樹脂のみでの代替は概ね不可能であり、ガラス繊維、炭素繊維などの強化材の種類、用途・機能を確認した後、エンジニアリングプラスチック(例:PC、PA6、PA66など)、スーパーエンジニアリングプラスチック

(例: PPS、PAI、PEEKなど)と複合強化する必要があります。

さらに、製品の使用条件・環境によっては、耐候性、電気的特性などの特性について、金属と複合強化樹脂との比較検討が不可欠になります。

しかし、昨今の材料改良・改質技術の進展に伴い、非強化の樹脂で金属部品の樹脂化も可能になっています。

一例として写真2にPPSU樹脂によるメガネ金属フレームの樹脂化例を示す。PPSU (ポリフェニレンスルフォン)は難燃性、耐衝撃性、耐薬品性が優れているため、金属フレーム代替が可能になっています。

これは使用する場面を想定して、必要な強度、耐久性、安全性などの特性を確認後、クリアしているため、実用上問題なければ樹脂化することも可能になっています。非強化のエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチック単体で金属部品の樹脂化も可能ですが、要求仕様の再検討などを行う必要があります。



写真2 メガネフレーム

自動車、家電、事務機器、情報通信端末など、高信頼性が要求される製品で使用する部品では、ガラス繊維、炭素繊維、チタン酸カリウム、炭酸カルシウム、タルクなどを使用して複合強化した樹脂が必要です。また、複合化するエンジニアリングプラスチック、スーパーエンジニアリングプラスチックは高価なため、金属部品を樹脂化した時の部品価格、特にkgf当たりの樹脂価格、あるいは部品価格が目標価格以下になっているかの確認が不可欠です。

参考文献)

- (1)(株)ラピート: N-Plus 2018年9月 出展品
- (2)大久保 : 精密機器用プラスチック複合材料、日刊工業新聞社刊、1984、P149
- (3)材料メーカー各社カタログ、技術資料から作成
- (4)エンプラの本 : 工業用熱可塑性樹脂技術連絡会刊、1998、P27

※本稿は大塚正彦著、日刊工業新聞社出版、2019年1月号の“工程ごとに見る「金属部品の樹脂化」の要点、金属部品の樹脂化の狙い、材料評価・選定時のポイント”を基に、筆者が加筆・修正しました。