部品のモジュール化

橘 学*

1. モジュール化の狙い

1990年代から2000年代に入り、自動車メーカー(OEM)の再編が世界的な規模で行われるようになり、これまで独立していた国内のOEMも相次いで欧州や米国のOEMと手を結ぶようになった。また、顧客ニーズの多様化や中国を中心とするアジア市場の拡大、地球環境問題の深刻化、あるいは安全面への更なる配慮等、自動車を取り巻く環境は益々厳しくなっている。このような中で、OEMは競争力を保つために最適なクルマづくりをしなければならない。

モジュールとは、機能に関わらず、隣接した複数部品の集合体であり、このモジュールの考え方をクルマづくりに取り込んでいく動きは欧州で先行している。国内でも2001年頃からモジュール化の導入が始まったが、その狙いは、色んな意味でのクルマづくりの最大効率化にある。一つは、車両構成を、単なるコンポーネントとシステムの組合せから、車両の商品力を最も高められるような独立した大きなまとまりのモジュールとシステムの組合せに再編し、最適化を図ることである。これには、モジュール単位での最適化とモジュール間の関係を単純化することが必要となる。次に、この組合せの上で、選択と集中により、OEMの相対的競争力を極大化することにある。カーメーカーとして車両の競争力に直結する主要なシステムエンジニアリング

に重点化し、それ以外は、実際に物作りを行い、専門性をもったサプライヤーと協調することにより、競争力を高めることが可能となる。この最適化された構造(アーキテクチャー)に基づき、開発—生産—購買の活動とプロセスを最大限に効率化することがモジュール化の狙いである¹⁾。

2. モジュールの効果

モジュール部品の採用で得られる効果としては、以下のことがあげられる。まず、構造の一体化(パーツインテグレート)の促進である。例えば、これまでは別部品のブラケットで本体に溶接していたものを一部品とすることである。後に述べるが、パーツインテグレートに貢献するのは、成形性に優れた樹脂材料やその工法である。樹脂化により軽量化効果も得られる。二つ目は、組立時間の短縮化である。ひとつひとつの部品をメインラインでアッセンブリーしていたものをモジュールという集合体のアッセンブリーに変えることで組立時間が短縮できる(図1)。例えば、2001年からモジュール部品を導入した日産スカイラインを生産している栃木工場では、約10%の組立時間が短縮された。内訳は、部品メーカーで組み立てられる(アウトソーシング)部分7%と、パーツインテグレートによるもの3%である。三つ目は、品質の向上、工程内不良件数の減少である。車両に直接組み付ける場合に比べ、小さな集合体ごと

図1 モジュールの効果（組立時間の短縮）

* Tachibana, Manabu
日産自動車㈱ 日産テクニカルセンター 材料技術部
厚木市岡津古久 560-2 (〒243-0192)
2003.9.1 受理

図2 スカイラインにおけるモジュールの採用部位

図3 コックピットモジュールの例と搭載方法

に作業することで、作業性の向上やモジュール単位での全数チェックが可能になったことによる。例えば、スカイラインのコックピットモジュールの例では、同一部分に起因する不良件数はこれまでの1/5に低減した。最後に、開発の効率化である。これまでは、各コンポーネントやシステムが複雑に絡み合い、相互関係の整合取りが困難だったのに対し、あらかじめまとめたモジュール単位に分けることでモジュール内の最適化やモジュール間のインターフェースの単純化を図ることができ、相互の調整作業が低減した²⁾。

3. モジュール部品の例と車両への搭載方法

これまで欧州を中心に採用されたモジュールには、コックピット、フロントエンド、ドア、シャシー、ヘッドライニング、バックドア等がある。2001年の発表された日産スカイラインで、日本で最初に4つのモジュールが採用された(図2)。ここで、それぞれのモジュールについて説

明する。

最初に、図3に示したのはコックピットモジュール(CPM)である。構成は、インストゥルメンタルパネル本体、空調ユニット、ステアリングコラム、電子ユニット、エアバッグ、ハーネス等であり、運転席部分の部品を一つの集合体としたものである。これらの各部品は、あらかじめモジュールサブ組立ラインで集合体に組み立てられ車両組立の工程の機装組立ラインに供給され、助力装置により車体へ取り付けられる。モジュール化により、ハーネスの合理化、電子ユニットの一体化、インストゥルメンタルパネル樹脂部品の一体化等によるコスト/重量の低減が可能になることと、合わせ品質の向上があげられる。

次に、フロントエンドモジュール(FEM)であるが、ヘッドランプ、冷熱部品(ラジエーター、コンデンサー)、バンパーレイフォース等をラジエーターコアサポート(ラジコア)に組み付けた集合体であり、CPM同様に助力装置を持った搭載ハンドで車体へモジュール間の位置決めを

図4 フロントエンドモジュールの例と搭載方法

図5 ドアモジュールの例

図6 ルーフモジュールの例

行い精度よくモジュールを取り付ける(図4)。主なメリットは、ラジコアの樹脂一体化によるコスト/重量の低減(軽量化、約2kg、-30%)である。

ドアモジュール(図5)、ルーフモジュール(図6)も基本は同じであり、前者は昇降機構やハーネス等をプレートに組み付け、後者はアシストグリップ、室内ランプ、ハーネス、フェルト等をヘッドライニングに組みつけている。

最後に、日産ステージャで採用されたバックドアモジュールの例を説明する。構成としては、バックドアパネル、ヒンジブラケット、ハーネス、バンパフィニッシャー、ライセンスランプ等を一体化したものであり、軽量化(約

6kg、-30%)等の効果がある(図7)。

4. モジュール部品の軽量化とそれを支える材料/工法技術

種々のモジュールの例で述べたように、各周辺部品はインストゥルメンタルパネル本体、ラジコア、プレート、ヘッドライニング、バックドアパネル等の骨格となる部品に組み込まれる。この中で、特に、最近の材料/工法技術としてラジコアとバックドアパネル(インナー)の例を紹介する。これらの骨格部品は、元々は多数のスチール部品の溶接で構成されていた。パーツインテグレートという考え方

車両後方 VIEW

車両前方 VIEW

図7 ステージアのバックドアモジュール

表1 ラジエターコアサポートの要求品質機能展開

				一次		操 安			品 質								実用強度										
				二次		振じり剛性		サスペンション取付け点剛性		静的見栄え評価		張り剛性		各部品取付け部剛性		動剛性		フード急閉強度									
				三次		ねじり剛性値（単品）		車体取付け部剛性（フードリッジ）		車体取付け部剛性（BMP R STAY）		白化度合（目視）		ラジコアUPR部静剛性		ランフ取付け部静剛性		RAD GRILL支持剛性		各部品取付け部剛性		CZセンサー取付け部剛性		フードロック取付け部の亀裂変形		フードロック取付け部のホルト緩み	
機能	特性	要 求 品 質																									
		一次	二次																								
FR END の剛性を確保する	確実さ	走行性の良さ	走行時、車体の剛性感がある		◎	◎	◎	◎																			
			登坂走行などエンジンルーム内の温度が高くなっても剛性感が変わらない		◎	◎	◎	◎																			
			夏に走行しても剛性感が変わらない		◎	◎	◎	◎																			
			走行しても著しく操安性能が落ちない		◎	◎	◎	◎																			
		静粛性	エンジンマウント振動が伝わりにくい					○																			
			SUSP 振動が伝わりにくい					○																			
SUSP ジオメトリを確保する	正確さ	走行性の良さ	まっすぐ走る																								
			片流れ発生しない																								
			タイヤ偏摩耗しない																								
衝突性能を満足する	確実さ	安全さ	夏、冬気温が変化してもまっすぐ走れる				○	○																			
			樹脂ラジコアが衝突時 ENGROOM 内の部品にダメージを与えない(温度条件：低温)																								
路面入力に対し、FR BODY 構造を	確実さ	丈夫さ	走っても FR BODY（車体、ラジコア及び取付け部）が壊れない																								
			縁石などの乗り上げても FR BODY が壊れない																								

を導入すれば、複雑な構造をした骨格部品は、成形加工性に優れた樹脂を用いることで一体部品とすることができ、あわせて樹脂化による軽量化も達成できる。これらの骨格部品には、取り込んだ各部品を保持する機能(例えば、表1 ラジエターコアサポートの要求品質機能展開)が求められ、実際に使われる市場環境下で長期的に確保されなければならない。

強度、剛性、寸法安定性、衝撃特性、クリープ特性、疲労特性及びこれらの長期信頼性、成形加工性、リサイクル

性等が要求される。これらの特性が優れた材料としてガラス繊維強化ポリプロピレン (PP-GF) が使われている。ガラス繊維には、上記特性を考慮し、10 mm の長繊維タイプ (ラジコア) と数十 mm の連続繊維タイプ (バックドアインナー) が使われている。近年、PP は自動車のインストゥルメンタルパネル、トリム、バンパー等の内外装部品に多く用いられており、特に国内では各種フィラーやゴム分の添加によりエンブラ並みの性能を有しておりリサイクル性にも優れる。ガラス繊維強化 PP は、これを更に

図8 衝撃強さと繊維長 (GF 20%)

図9 短繊維，長繊維 GF 強化の PP クリープ特性

ガラス繊維で補強するものである。更に，ガラス繊維と PP の密着性を向上させるために，ガラス繊維に表面処理を施し，また，PP も酸をグラフト変性してあるのが特徴である。成形品中のガラス繊維長は，工法と深く関係するが，繊維長により衝撃性能やクリープ性能が異なるため（図8，図9），最終部品でどれだけの繊維長が確保できるかが重要である。

工法は，後加工を必要としないインジェクション（INJ）工法が望ましいが，成形後の寸法安定性（内部残留応力の低減）と，ウエルド部の物性低下の低減を図るために，ラジコアでは低圧インジェクションプレス工法，バックドアインナーではホットスタンピングモールドを採用した。低圧インジェクションプレス工法とは，熔融した樹脂を口金から直接金型にチャージしてプレスする方法であり，成形圧力が小さいため残留応力が少なく（ソリ変形が少なく），造形的な形状自由度も大きい。また，型内流動時に過度の圧力がかからないので，インジェクションモールドに比べ製品のガラス繊維残存長を長く残すことができる。ガラス繊維残存長が長いと衝撃性やクリープ特性が優れるので，できるだけ長く残した方が望ましい。加えて，ガラス繊維の切断は，成形機内で熔融されたガラス繊維ペレットと樹脂ペレットの混合時にも起きる。過度なせん断が加わればガラス繊維は切断され，逆に，十分なせん断が加わらなければ，ガラス繊維ペレット中の繊維の開繊が起きず，樹脂中にガラス繊維が均一に分散されない。このため，成形機のスクリュ形状や回転速度，シリンダー温度等を適切に設定する必要がある。更にインジェクションモールドに比べると，ウエルド部分の物性低下は少ない。一方，低圧インジェクションプレス工法の短所としては，材料のチャージに時間を要し，トリミングが必要となる場合がある。ホットスタンピングモールドは，加熱したシート状の材料を金型にチャージしてプレスする方法で，低圧インジェクシ

ンプレスと類似した特徴を持つが，更に長繊維のガラスを使用できる点で優れている。このためクリープ性能や衝撃性能面で優れるが，形状自由度が小さく，金属部品等のインサート成形が困難である。

5. 材料の信頼性評価

最近では，市場のニーズにいち早く応えるために開発期間の短縮が行われている。これまでは，部品を試作し部品実験，あるいは車両実験を行ない，どこにどのような現象が現れたかを調べその原因を解析して対策を行っていた。短い開発期間の中で重要となるのは，金型を設計する前にあらゆる面で精度の高い予測型の設計を行い，部品実験や車両実験でその予測の確認をするということである。予測型の設計を行うためには，確認実験のテストピースは工法に合わせて作成し，物性測定の場合は，使用される環境条件に合わせる必要がある。更に，長期使用時の物性低下については，等価温度を求め，物性の変化を予測することが重要である。

このようにして取得した材料特性と CAE での強度解析結果を用いて設計を行い，材料の耐力との関係を各試験項目ごとに並べ，ある安全率を確保して最終的に金型設計に織り込む³⁾。樹脂の場合，物性取得時のばらつきや製品のばらつき等が金属製部品に比べて大きい。また，10 年後，20 年後の物性変化の予測信頼性も金属に比べて乏しい。従って，金属製の部品を設計する場合に比べ大きな安全率で設計する必要がある。

6. 材料/工法から見た今後のモジュールの課題

前述のように優れた特性を持つガラス繊維強化ポリプロピレン（PP-GF）が構造部材として今後も多く使われることが予想されるが，一つの課題は，成形後の寸法安定性である。異方性をもったガラス繊維が含まれているので，その配向の影響を大きく受ける。従って，成形時のガラス繊維の配向がどのようになるのかを流動解析をベースに精度良く予測し，金型設計にいかん反映できるかが重要なポイントである。解析の精度が悪ければ，どのように改善設計をすればいいのかの検討も困難で，作ってみななければわからないという開発のやり方になり，最近の開発期間短縮の流れにそっていけない。精度よく予測する技術が進歩すれば，この材料のインジェクション成形用途も拡大し，モジュールの骨格としての適用範囲も拡大すると考えられる。

7. おわりに

モジュール化のメリットのひとつに，スチールから樹脂にすることによる軽量化が図れることを述べた。この軽量化は，地球環境問題の中の大きなひとつである温暖化と深く関わりがある。地球温暖化の原因の多くは CO₂ であり，97 年 12 月に開かれた京都会議では，日本は 2008～12 年までの間にこれらの 6% を削減するように決められているが，わが国の炭酸ガスの排出量は 12.32 億 t で，そのうちの 20.6% が自動車に起因している（2003 年環境白書）。従って，この目標を達成するには，自動車の CO₂ 排出を削減することが必達である。その方策の一つとして軽量化を真剣に進めていかなければならない。クルマの重量と燃

表2 ラジエーターコアサポートの入耐力表

No	故障モード		材料物性データ		最大負荷部位	※1 考慮する条件			PP + GF 30%			
				単位		材料の配向	温度	劣化係数	材料耐力	発生入力	安全率	評価
1	○ ○ 強度	取付部 A が破壊する	引張強度	MPa	REINF 取付 a 部	ランダム	常温	劣化係数 α	109 MPa	25 MPa	4.4 倍	○
							高温 1		64	25	2.6	○
		骨格部にロック 入力が伝わり B 部に応力が集中 する	曲げ強度	MPa	アッパー b 部	ランダム	常温		127	38	3.3	○
							高温 1		76	38	2.0	○
						TD	常温		94	25	3.8	○
							高温 2		65	25	2.6	○
							低温		154	25	6.2	○
						ロア部 b'	TD		常温	94	34	2.8

※1 全ての条件を考慮した上で選定する

図10 軽量化による燃費向上の効果

費は、非常に関係が深く(図10)、例えば、車両重量を1t、燃費を10 km/ℓ、年間走行距離を10000 km、耐久年数を

10年とすれば、クルマは生涯(10年)で、約10tの炭酸ガス(C当量)を出すことになります。1kgの軽量化を行なうことは炭酸ガス(C)10kg(約5000ℓ)節約したことと同じ意味になる。従って、軽量化は非常に重要な課題である。現段階のモジュールはまだ、第一段階でしかなく、これから更に色んな部品が樹脂で一体化され、軽量化が図られることを期待したい。たかが1kg、されど1kgである。

参考文献

- 1) 松井一史:「日産におけるモジュール化の取組み」D&M日経メカニカル, オートモーティブ・テクノロジー共催セミナー予稿集(2002.7.15)
- 2) 斎藤正夫:「環境とモジュールが推進する樹脂化の新潮流」D&M日経メカニカル, オートモーティブ・テクノロジー共催セミナー予稿集(2002.11.13)
- 3) 橘 学, 波多野啓二, 宮田大造, 高木宣明, 高木 稔: 日産技報, 49, 87(2001.8)