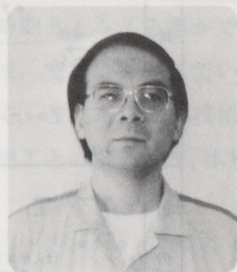


材料技術における 最近の話題(Ⅲ)



—自動車及びモーターサイクル用材料—

第1 研究部 材料研究課
山田 徹

1. は じ め に

工業の進歩は、不連続に進展すると云われている。図1に示す様に、階段状に進むと仮定された時、大きな進歩が行なわれる前後に数多くの小進歩があるとモデル化される。又図2に示される様にらせん階段状の様相にモデル化される場合もある。一見、逆戻りしていると見えても、全体としては、とにかく先に進んでいるというのである。

この様な不連続又は飛躍的な進歩は、一体何によって為されるのだろうか？数多くの識者によれば、それは主に材料の発見による事が指摘されている。1948年ベル研究所のショックレーによる半導体の発見が、今日の電気、情報産業の隆盛をもたらしたといっても過言ではなく、ゲルマニウムに始まり、シリコン、ガリウムヒ素等の化合物半

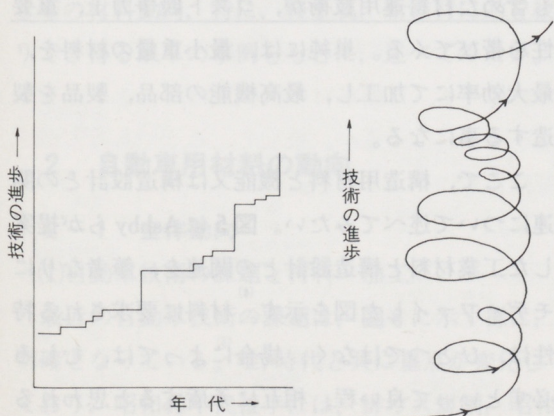


図1 技術進歩の不連続性

図2 技術進歩のラセン性

導体へと発見する度に、オーダー毎の進歩をもたらした。先端は、宇宙産業から、身近な所では、超硬工具(WC-Co系)による切削速度の高速化に至るまで、新素材が、キーテクノロジーであった例は、枚挙に暇がない。先端技術と材料の関連は、第1報に既述してあるので参照されたい。

さて翻って私達が属する輸送機器産業における材料の位置、役割はどうであろうか？

図3に、製品・材料等のg当たりの単価を示す。⁽¹⁾製品面からすると、2000cc乗用車で、1.4~1.7円/gに対し、M/Cは、約1.8~3.5円/gとなり、乗用車よりも高い。M/Cを更に排気量別に分類すると、表1に示す様に、排気量が大きくなるにつれて、g単価は高くなっている。g単価の大きい方へ眼を移すと、電卓60円/g、旅客機B O-747は115円/g、戦闘機F-15は1,650円/gとなっている。勿論、製品g単価を見る場合、(1)生産量(2)耐久寿命(旅客機は約15~20年)(3)ランニングコストの価値(飛行機は極めて高い)等、種々の条件を考慮に入れる必要はあるが、軽薄短少化、高付加価値化の指標として簡便である。

項目	g 当たりの単価 (円/g)	最大値(円/g)
排気量		
50cc	1.8~2.2	
125~400cc	2.2~3.0	4.4
500~750cc	3.0~3.5	5.0

表1 M/Cのg当たりの単価

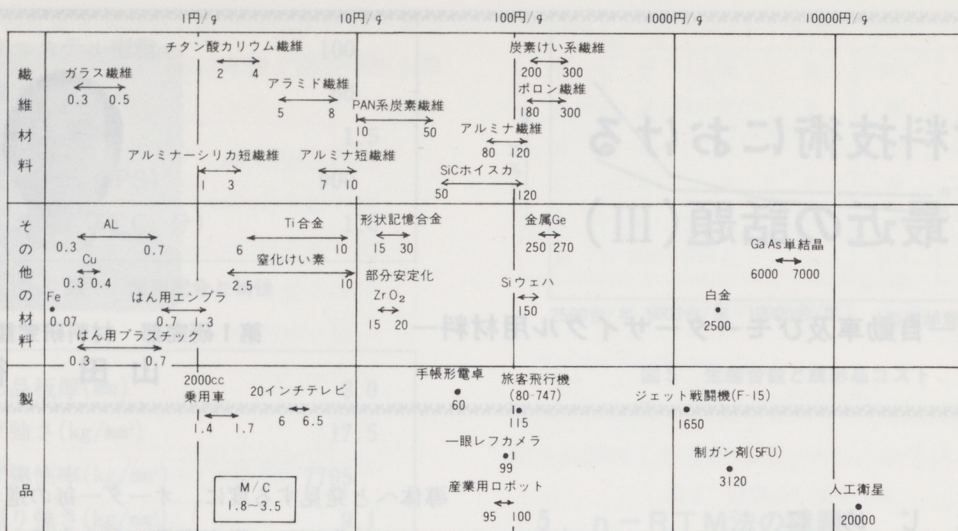


図3 繊維，材料，製品の価格マップ⁽¹⁾

材料のg単価をみると、鉄鋼の0.07円/g、アルミ、汎用プラスチックの0.3～0.7円/gに始まりシリコン-ウェハ150円/g、白金2,500円/gまで散在している。

さて、製品g単価と、材料g単価の関連を調べる為に、輸送機器の中から、乗用車（トヨタマークII⁽²⁾）、M/C（ヤマハTZR250⁽³⁾）、旅客機（BO-767⁽⁴⁾）の材料構成比を図4に示す。

- (1)構成する材料の種類は、構造用材料が主。
- (2)製品g単価が高い程、材料選択の自由度が大きくなる。
- (3)製品g単価が高くなると、g単価の高い材料が増加してくる。

等の特徴が見い出せるが、(2)、(3)を逆説的に考えると私見であるが、次の推論が導かれる。

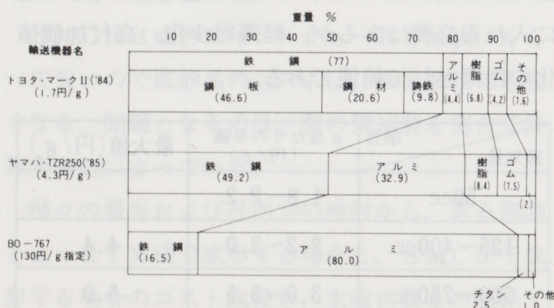


図4 各輸送機器の材料構成比

製品g単価がきまると、使用できる材料は、限定され、およそその1/5以下の材料のみが使用可能と思われる。

例えば、マークIIは、0.28円/g以下、TZRは、0.71円/g以下、BO-767は、21円/g以下の材料なら、十分採算が合う事となる。ただし、飛行機は、少量、材料費より加工費がはるかに高い事等の理由により、対象外とした方が良いかも知れない。

従って、輸送機器においては、第一に製品g単価によって、使用し得る構造用材料は限定され、これらは、大量生産による安価な材料が殆んどといって良い。これ故、第二には、材料購入—加工も含めた材料運用技術が、コスト競争力上、重要性を帯びてくる。単純には、最小重量の材料を、最大効率にて加工し、最高機能の部品、製品を製造する事になる。

ここで、構造用材料と機能又は構造設計との関連について述べてみたい。図5にAshbyらが提案した工業材料と構造設計との関連を、筆者なりにモディファイした図を示す。材料に要求される特性は、ひとつではなく、場合によっては、むしろ必ずといって良い程、相互に矛盾すると思われる性能を同時に満足する要求が為される。材料の特

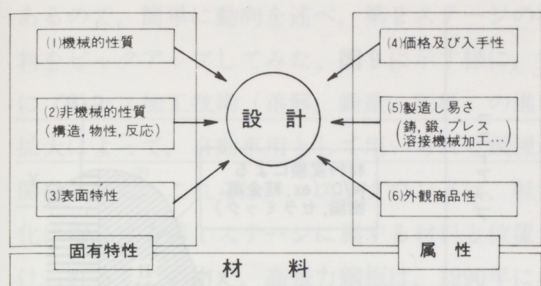


図5 工業材料の特性と構造設計との関連

性を、本来保有し変えにくい固有特性と、情況、他技術によって変動する属性に分類し、この2つを更に各々3因子に分けている。これら6因子を全て満足する材料は無いと断言でき、設計は、6因子の微妙なバランスの上に成立していると考えられる。例えば、鉄鋼材料は、最もバランスがとれた材料で(1),(4),(5)は良いが、重く(因子(2)で規定)錆び易い((2),(3)欠点を有する。これを改良すべく、軽い樹脂やAlをサンドイッチ鋼板にしたり、表面にAlやZnをメッキすると、加工性を著しく低下させるといった具合である。最近話題となる新材料も、同様であり、材料によって、設計が大きく影響される。従って、材料の特性を良く把握し、特性を最大限に活かした最適設計が最後に重要となってくる。これは、まさに、企業における人材についても、同様であると思われる。

最適設計は、時代の要求、流れによって変遷する。本報では、ここ3～5年における自動車、M/C等の材料動向、特に、軽金属、新素材に的を絞りでし得る限りの事例をもとに、述べてみたい。

2. 自動車用材料の動向

2-1 全体動向

(1)自動車技術の課題と材料・加工

最近の自動車技術の課題は、図6に示す様に、明確となっている⁽⁵⁾。唯、時代と共に重点が変化しており、昭和40年代後半には、排ガス規制、昭和50年代前半は、オイルショックに伴い省エネ(低

燃費、軽量化)そして、ここ数年は、高性能化、高級化、高品質化等の時期ととらえる事ができる。この動きと、材料動向は、密接に連動している。詳細は後章に譲るとして、これら自動車技術の課題に対応する材料及び加工との関連性を、木材は、図7に示している⁽⁶⁾。

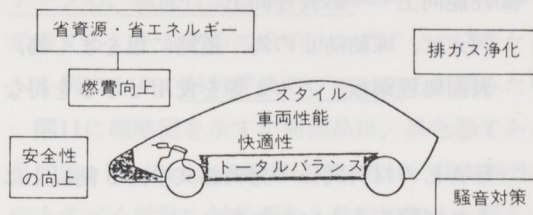


図6 最近の自動車技術の課題

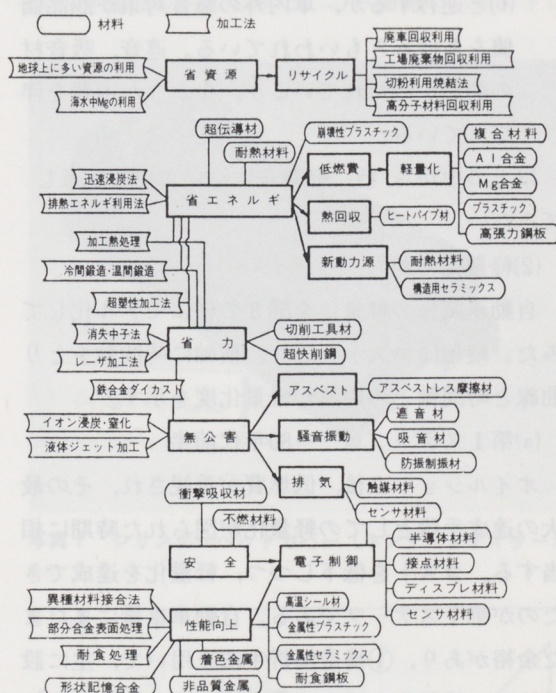


図7 自動車技術の課題と材料及び加工法の関連

木材は、同論文において、商品上の課題と生産技術上の課題(①省資源、省エネルギー型生産体系、②効率的、弾力的生産体系、③省力化、自動化)に大別し、更にその達成手段を、材料と加工法から関連づけている。又、その中で、自動車への課題は、ダイレクトに材料への開発課題となる

事が多い。ただ、材料開発とその加工方法が組みあわせて開発され、自動車の生産技術として完成されてはじめて、生きる技術、生きた材料となり得る”事を強調されているのは、当然といえども、傾聴に値する言である。図7において、最近動きが大きいのは、次の3つの様に感じられる。

(a)性能向上——耐食性向上

例えば、凍結防止の為、道路に塩をまく為、表面処理鋼板、アルミ等を使用せざるを得ない。

S A Eの材料関係の発表論文中、5割以上はこれに関するといわれている。

(b)軽量化——材料代替

(c)騒音・振動

(b)と逆行するが、車内外の騒音対策が商品価値をあげるともいわれている。遮音、吸音材の開発が待たれているが、なかなか困難を伴っている。

以上の中から、特に軽量化について更に言及してみたい。

(2)軽量化の動向

自動車関係の軽量化を図8の様にモデル化してみた。縦軸にコストをとり、横軸に時間軸をとり曲線と時間軸との距離が軽量化度を示す。

(a)第1ステップ ～80年代前半

オイルショック後、低燃費が重視され、その最大の達成手段としての軽量化が図られた時期に相当する。コストを低下しつつ、軽量化を達成できたのが第1ステップである。自動車重量にまだまだ余裕があり、①構造解析手法を用いて、主に設計的に、軽量化を図る。②ハイテン、樹脂、焼結等、コストアップしない範囲での材料置換が行なわれた。販売価格が上げれない制約条件もあった。

(b)第2ステップ ～80年代後半

販売価格の上昇によって、第1章で述べた様に材料選択の自由度が大きくなった(コスト・アップが吸収できる)事と、足まわり部分の塩害対策、操縦性等のメリットにより軽金属、樹脂等の材

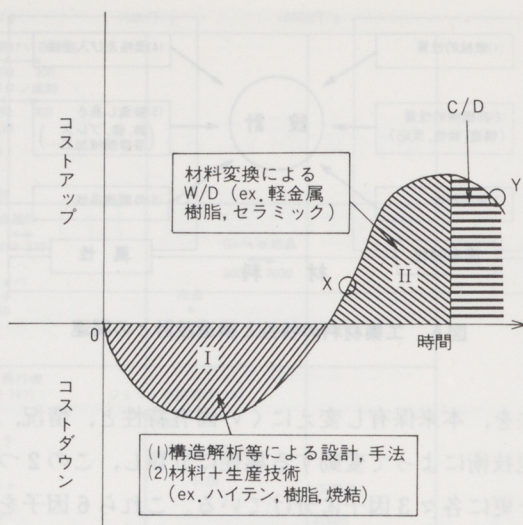


図8 軽量化とコストの動き

料使用が開始された。材料代替による軽量化が高級車(New RX-7, ソアラ, フェアレディZ)を中心に採用されつつある時期といえる。現在は、この曲線のXぐらいの位置ではないだろうか？

(c)第3ステップ ～90年以降？

同一系材料(例えば、鉄鋼→鉄鋼、アルミ→アルミ)の材料置換は、設計、製造法がほぼ同一である為大きなリスクはないが、鉄鋼材料から、アルミや樹脂への変換は、それなりのリスクを伴う為どうしても、安全サイドの材料、設計、製造を行う。軽量化度が高まり、量的増加、品質安定してくると、軽量化材のなかでのコスト・ダウンが行なわれると予測される。

M/Cは恐らく、アルミ化の進んだ機種で、Y位の位置ではないだろうかと推測する。予測では、1990年でも、自動車材料構成比は、大きく変わらないとされているが、果して、そうであろうか？疑問をもつ一人である。

2-2 第2ステージとしての軽量化

前章で、全体動向を述べたが、第2ステージ、即ち材料代替期の時例を、ここでは述べたい。

(1)鉄鋼材料

図4に示した様に車重全体の約77%は、鉄鋼で

あるので、簡単に動向を述べ、第2ステージの材料をピックアップしてみた。図9に示す様に、主にプロセス加工技術（溶解、鋳造、圧延）の進歩拡大によって、自動車用として用いられる鋼種が開発された。これらは、コストダウン又は、軽量化に寄与する第1ステージに属する材料と位置づけられる。この中で、高張力鋼板は、1990年には、外板の50%以上に至ると予測されている。又耐食性向上から、外板、タンク、排気系を中心に、表面処理鋼板も増加するが、これは、材料費、加工費、いずれも、コストアップになるが、要求機能、商品性から、やむを得ないと考えられる。機能付加、及び軽量化の為に、表面処理高張鋼板、樹脂を軟鋼板の間に挟んだサンドイッチ鋼板の動向が注目される。

軽量・断熱性・防振・防音等から、オイルパン、サンルーフ、ボンネット等にサンドイッチ鋼板が実用化又は開発されている。

鉄鋼材料については、第2報に既述しているので、詳細はそちらを参照されたい。

(2)マグネシウム (Mg 合金と略す)

Mg 合金は、比重が1.74と、構造用材料の中では最も軽い合金である。が、①コストが高い②錆び易い③加工上の安全性等の理由で、自動車用材料としては、多量に用いられなかった。しかし、フォードのフィエロ、ポンティアック等への採用が成功したのを契機に、GMも刺激を受け、更には、国内メーカーも採用を始めた。ホンダのシリンダーヘッドカバー（写真1、後に樹脂に変更）や、

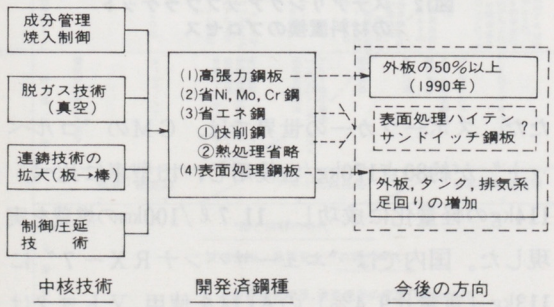


図9 鉄鋼材料の現状と動向

トヨタ、マツダのステアリング回りの部分に採用され始めた。従来、Mg合金の採用は、Mg/Alの地金価格比が1.4~1.7になれば採算がとれ、図10に示す様に採用部品が拡大されるといわれてきたが、Al地金価格が低下し、約3.0の現在に採用が増加しつつあるのは、定説が崩れ始め、第2ステージの、機能付加価値の時代に入つつある事を示唆する。トヨタのステアリングアッパブラケットを例にとり、材料置換のプロセスを垣間みたい。

図11に概略図を示すが同部品は、黒色部である。目的は、Mg化による軽量化ではなく、振動特性を向上すべく設計、材料面から検討を加え、得られる効果の大小によって、Mg化されたといえる。このプロセスは、部品開発の参考になるかと思ひ、概略を図12に示してみた。この開発のポイントは、

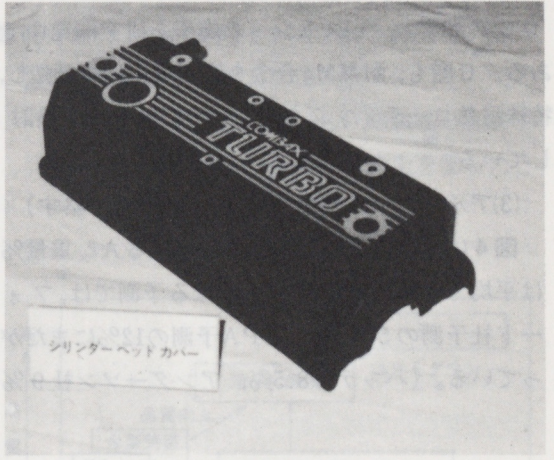


写真1 シリンダーヘッドカバー（ホンダ シティターボ）

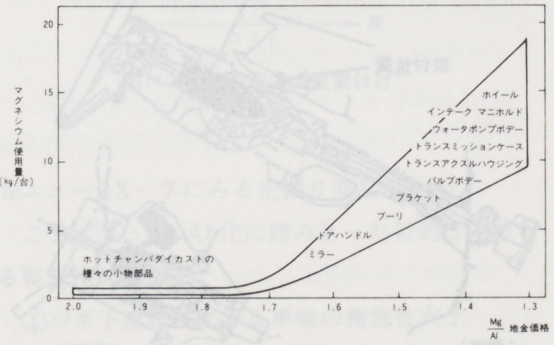


図10 Mg/Al 地金価格比による自動車へのマグネシウム使用量予測

- (a)材料開発：Fe, Cu, Ni 等不純物を低下し，高耐食性合金を開発，表面处理なし。
- (b)機能評価：応力腐食割れを予測し，2年がかりで対応。臨界応力下で使用。
- (c)製造法：ホットチャンバーを使用したと思われ大量生産に始めて成功した。
- (d)コスト：亜鉛ダイカストからの代替の為，材料加工費含めて，ややコストアップと推測される。

本部品は，昭和58年クラウンに採用，その後コロナへも展開され，増加しているといわれている。

本例は，機能向上を果たしながら，材料及び加工技術面でコストを最大限低下させ得た成功例といえる。

その他，R360クーペ以来，Mg 化に実績のあるマツダでは，ディスクホイール，ステアリングキロックボディ，ピストンへの応用を研究開発中である。⁽⁹⁾日産も，耐熱Mg 合金を高圧凝固にて製造し，特殊耐熱コーティングを施こしたピストンを検討している。⁽⁹⁾

(3)アルミニウム合金（以下，Al 合金と略す）

図4に示した様に，乗用車におけるAl 重量⁽⁵⁾は平均で約3.5%で1990年における予測では，フォード社予測の5%から，EPA予測の12%にまたがっている。（バッテリー8.5%，アンダーソン社9%）

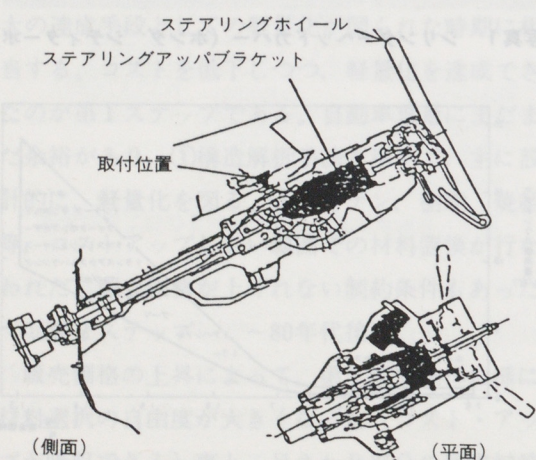


図11 ステアリングコラム概略図⁽¹³⁾

要求機能 又は ニーズ	ステアリングホイールの上下振動を生ずるステアリングシェイクの振動特性向上																																						
↓																																							
解決方法 の検討	(a)支持系の剛性向上 (b)片持ち部の長さの短縮 (c)片持ち部の重量削減																																						
↓																																							
メリット 比較	(a),(b)設計制約大 効果少 (c)Mg化で70%重量削減 特性向上+軽量化																																						
↓																																							
要求品質 使用条件 の確認	(a)応力 (b)振動 (c)衝撃 (d)温度 (e)湿度 (f)水 (g)その他																																						
↓																																							
材料特性 (物性,機械的性質) 及び,競合材料との総合比較	<table><tr><th></th><th>マグネシウム合金</th><th>FRP</th><th>アルミニウム合金</th><th>亜鉛合金</th></tr><tr><td>重量</td><td>◎</td><td>◎</td><td>○</td><td>×</td></tr><tr><td>強度・剛性</td><td>○</td><td>×</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>耐食性</td><td>△</td><td>◎</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>応力腐食割れ性</td><td>△</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr><tr><td>製造技術難易</td><td>△</td><td>○</td><td>△</td><td>○</td></tr><tr><td>生産性</td><td>○</td><td>△</td><td>△</td><td>○</td></tr></table> <p>(◎非常に優れる ○優れる △やや劣る ×劣る)</p>					マグネシウム合金	FRP	アルミニウム合金	亜鉛合金	重量	◎	◎	○	×	強度・剛性	○	×	○	○	耐食性	△	◎	○	○	応力腐食割れ性	△	○	○	○	製造技術難易	△	○	△	○	生産性	○	△	△	○
	マグネシウム合金	FRP	アルミニウム合金	亜鉛合金																																			
重量	◎	◎	○	×																																			
強度・剛性	○	×	○	○																																			
耐食性	△	◎	○	○																																			
応力腐食割れ性	△	○	○	○																																			
製造技術難易	△	○	△	○																																			
生産性	○	△	△	○																																			
↓																																							
問題点 予測	(a)耐食性 (b)応力腐食割れ性 (c)製造技術																																						
↓																																							
試験条件 試験方法	の検討	臨界応力の設定	確認 試験	実車 評価																																			

採用

図12 ステアリングアップブラケットの材料置換のプロセス

ただ，スポーツカーの世界では，GMの“コルベット”が約80点170kg/台使用し，旧型車に比べ，114kgの軽量化に成功し，11.7ℓ/100kmの燃費を実現した。国内では“ニューサバンナRX-7”に113kg（重量比9.4%）のAl材を使用，又トヨタは“セリカ”等のA型ロアアームに，A6061のAl 鍛

造品を採用し、Al化の動きが、活発となってきた。足回り以外では、ラジエターのAl化(従来は銅合金)が最大の焦点となっている。

又、製造法からみると、80年代米国車で約80kg 1台のAl中約70%の55kgが鋳造品で、残りが展伸材で構成され、1990年でも、量の増加はあっても比率は変化しないと予測されている。

さて、ここでは、Al材の約70%を占めるAl鋳造品の流れと、鋳造技術との関連、それと足回り部品のAl化を、RX-7を例にとり述べてみたい。

(a) Al鋳造品の流れ

図13に、Al化の時代的変遷の図を示す。⁽²⁾昭和50年代に入ると、高品質高級化期と定義され、昭和54年頃から、アルミ切替、軽量化時代とされている乗用車の外観に出る部品でAlであるとはっきり判別できるのに、キャストホイールがある。キャストホイールの装着率の上昇カーブが、ある意味で高品質高級化期のひとつの流れと一致させる事はできないだろうか？足回りの軽量化という技術上のメリットは当然ながら、Alのもつ軽量感、デザイン性、色彩感等、技術以外の付加価値がそこには、有る様に思われる。勿論、コスト的には、鋼板製ホイールをはるかに越えるが、やはり、サッシ材はAlであるのが当然という感覚と同じ様に、キャストホイールが時代に受け入れられていくと

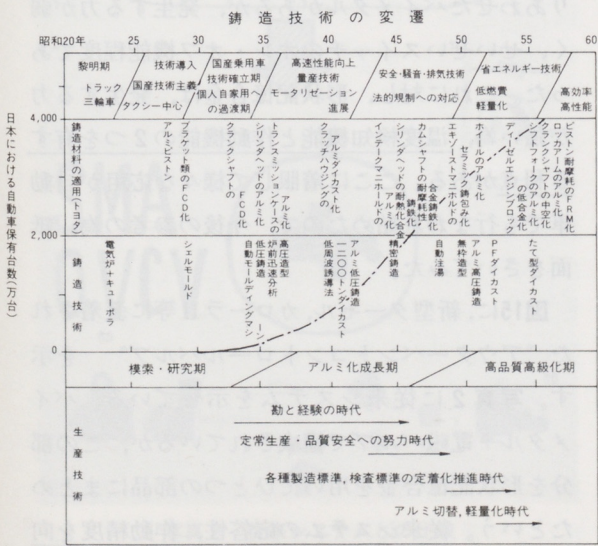


図13 自動車鋳物のアルミ化の歩み

感じられる。

乗用車のAl化は、主に鋳鉄 鋼板部品からの代替である。鋳造法としては、ダイカストが多いが、近年、強度、耐圧性などと高品質を必要とされる鉄製部品を代替する為、低圧鋳造法、溶湯鍛造法が使用され始めた。溶湯鍛造法は、Al溶湯の凝固過程で高圧力を加える方法で、鋳造欠陥の少ないAl鋳造品が得られ、強度も10~20%向上する。トヨタが、キャストホイールに採用したのを始めマツダ等も、精力的に用いている。使用できる材質も、従来の鋳造材は勿論の事、展伸材も可能であり、高品質化時代の技術と伝える。他の鋳造品との相対的位置づけを、図14に示す。⁽⁴⁾

最近の話題としては、この他

①ギヤシフトフォーク

鋼材の焼入材から、A390合金に代替し、耐摩性、耐焼付性などの性能向上と共に40%軽量化。⁽⁸⁾

②FRM耐摩リング入りピストン

リング溝周辺部をAl₂O₃-SiO₂短繊維で補強し耐摩性、耐焼付性、冷却性能向上を図った。ディーゼル用に増加。⁽⁸⁾

③ニッケル発泡体鋳ぐるみピストン

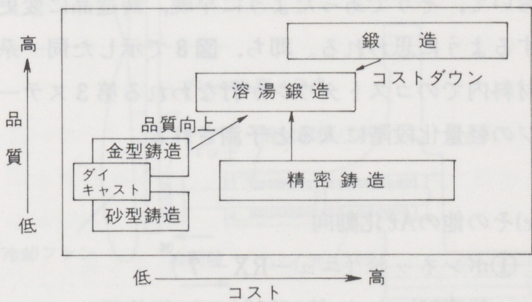


図14 溶湯鍛造法の位置付け⁽⁴⁾

(b)ニューRX-7にみる足回り部品のAl化。

ここに至って、Al化に踏みきった目的は、単なる軽量化ではなく

①バネ下重軽減による車輪の接地性向上

②耐食性向上による塩害対策

の二つが考えられ、1kg軽量化の為、200~300円

部 品 名	Al 材	製 造 法	重 量	従 来 材	製 造 法	重 量
フロントホイールハブ	A 6061 FD-T6	熱 鍛	1.1	鋼 板	プレス溶接	2.62
フロント A 型アーム	A 6061 FD-T6	熱 鍛	1.8	鋼 板	プレス溶接	2.90
フロントディスクブレーキキャンパー	AC4C-T6	溶 鍛	2.25	球状黒鉛鋳鉄		5.30
トーコントロールハブ	AC4C-T6	溶 鍛		球状黒鉛鋳鉄		
ブレーキベタル	AC4C-T5	溶 鍛				
フロントブレーキダストカバー	A 5082P-0	プレス成型		鋼 板	プレス成型	
エンジンマウントブラケット	AC4C-T6	重 力 鋳 造				
クラッチペダル	ADC10	ダイカスト				

表 2 ニューRX-7 足回り部品のAl化¹⁶⁾

のコストアップに抑えているという。¹⁶⁾表 2 に一覧表を示す。

鍛造材として、鍛造性が良いとは云えないA6061を選んだのは、耐食性が良い為、アルマイト等の表面処理がなくとも良く、かつ、GMによって、実績があった為と思われる。又、重要保安部品でもあり、品質を優先して鍛造品を採用しているが将来、必ずや溶鍛、鋳造品へと向かうと推測する。キャリパー、パブ等は、形状からみて鍛造には不向きであり、溶鍛を採用したが、これも二輪車において、そうであったように早晚、鋳造品に変更するように思われる。即ち、図 8 で示した同一系材料内でのコストダウンが行なわれる第 3 ステージの軽量化段階に入ると予測される。

(c)その他のAl化動向¹⁶⁾

①ボンネット (ニューRX-7)¹⁶⁾

強度30kg/mm²; 伸び30%のAl板使用

②Al焼結合金サイレンサー(セドリック他)⁹⁾

多孔質Al焼結合金を用い、排気後方の気流騒音を抑制

③Alラミネート・サンシェード (クラウン)⁸⁾

0.2mm²のAl板間に0.6mm²の樹脂をサンドイッチしたラミネート材を使用し30%の軽量化、操作力の低減を図った。

2-3 機能材料の応用

従来述べてきた材料は、主に構造用材料であり、その機械的性質を利用している。これに対し、材料固有の機械的性質以外の特性を利用する材料が最近現われ始めた。これらを総称して、構造用材料と対比して、機能材料と称している。センサー材料とか、ある分子のみ透過する材料等が含まれる。このひとつに、最近新聞等でもポピュラーになった“形状記憶合金”がある。これは金属の相変態と呼ばれる現象を利用し、ある温度以上になると、記憶させておいた形状になり、ある温度以下になると元の形状に戻る特性を有している。従来この種の材料に、熱膨張係数の異なる材料を張りあわせたバイメタルがあるが、発生する力が弱く、せいぜいスイッチのオン・オフ機能程度であった。これに対し、形状記憶合金は、発生する力が強い為、温度検知機能と作動機能の2つを有する利点がある。ここに着眼して様々な応用が自動車でも行なわれ始めたので、今後の参考の為、紙面をさいてみた。

図15に、新型ターセル、カローラII等に装着された“アウターベントコントロールバルブ”¹⁷⁾を示す。写真2に従来システムを示している。バイメタル+電磁バルブで構成されているが、この部分を形状記憶合金を用いてひとつの部品にまとめたという。従来システムの応答性、作動精度を向

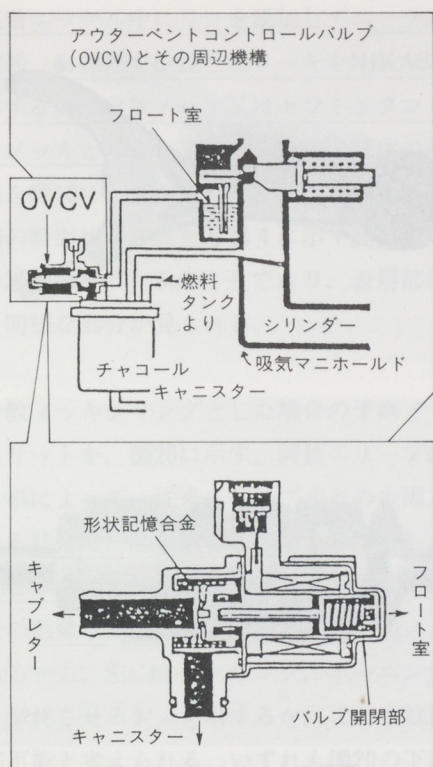


図15 OVCVの機構⁽¹⁷⁾

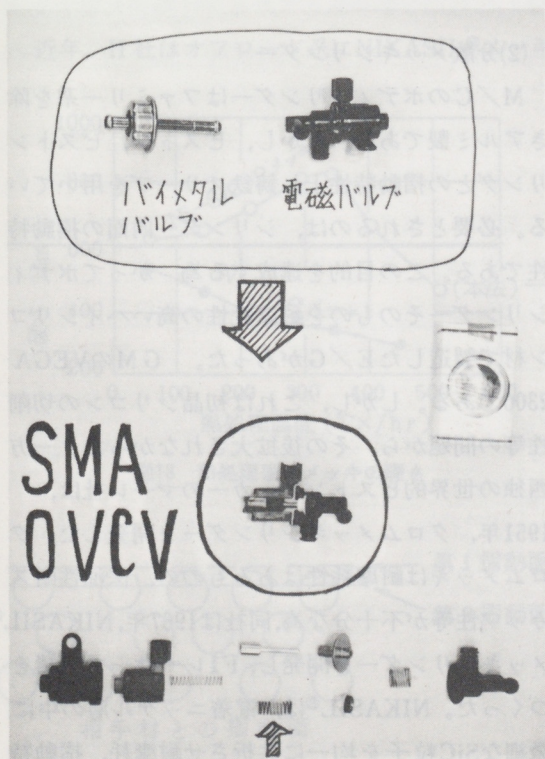


写真2 従来システムとの比較

上させた上、小型軽量化、コストダウンまで可能となった稀なケースと云われる。図3に示した様に形状記憶合金は200~300円/gであるが、使用量は数gであり、使い方を工夫すれば、この様な効果を生ずる。

この他に図16に、グリルシャッター(トヨタ)、図17に冷却ファンブレーキ(日産)を示すが、用途は、まだまだ有りそうだ。

機能材料は、一般にg単価は高いが構造用材料では到底不可能なシステムを産み出す可能性をもち、諸兄のアイデアに期待する所大である。

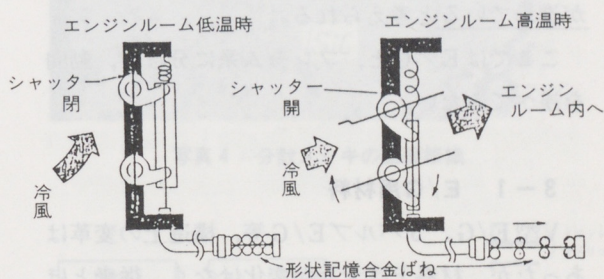


図16 グリルシャッターへの応用⁽⁸⁾

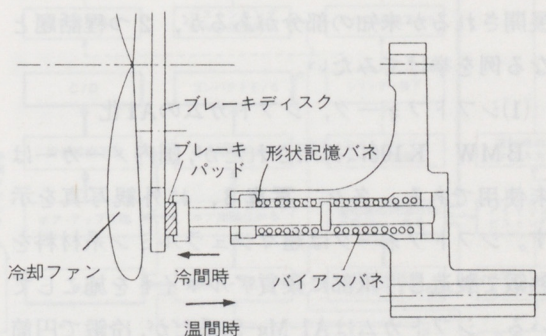


図17 形状記憶合金を用いたエンジン冷却ファンブレーキの概念図⁽⁹⁾

3. M/C用材料の動向

M/C用材料は、自動車用材料と異なり、M/C固有の材料技術を構成している。第1にE/G性能が自動車の約1.5～2倍と高い為、振動応力、熱負荷等が高い事、第2に軽量・コンパクトがより要求される事、第3に構造用材料に外観商品性が要求される事、等が考えられる。従って図4に示した材料構成比から判る様に鉄鋼材料は50%をきっており、(更に鋳鉄の割合が極めて小)、強度的にも自割車に比し、1ランク上の材料を使用している。又、軽量化の為、A1、樹脂を多用しており大量生産される陸上輸送機器の中では最も軽量化が進んでいると考えられる。

ここではE/Gと、フレーム系に分けて、動向を述べてみたい。

3-1 E/G用材料

V型E/G、5バルブE/G等、構造上の変革はあったが、材料上は大きな変化はなく、従来とほぼ同じ材料を用いている。高性能・軽量・コンパクトというニーズは不変である所から、将来どう展開されるか未知の部分があるが、2つ程話題となる例を挙げてみたい。

(1)シフトフォーク、シフトカムのA1化

BMW K100に採用されたが、国内メーカーは未使用である。各々、写真3、に外観写真を示す。シフトフォークは超々ジュラルミン系材料を熱鍛で製造し、爪部に硬質アルマイトを施こしている。シフトカムはA1-Mg-Si系だが、冷鍛で円筒を製造し、溝部は切削加工を行っている。右端のフタも冷鍛で、本体とシール接着をしている。

従来、ダクタイル鋳鉄等を用いているので、約2/3の軽量化となるが、機能付加価値としての程度有るのか不明である。コスト的には、材料費、加工費等で大幅なコストアップが予想される為、基本的な検討が必要であろう。

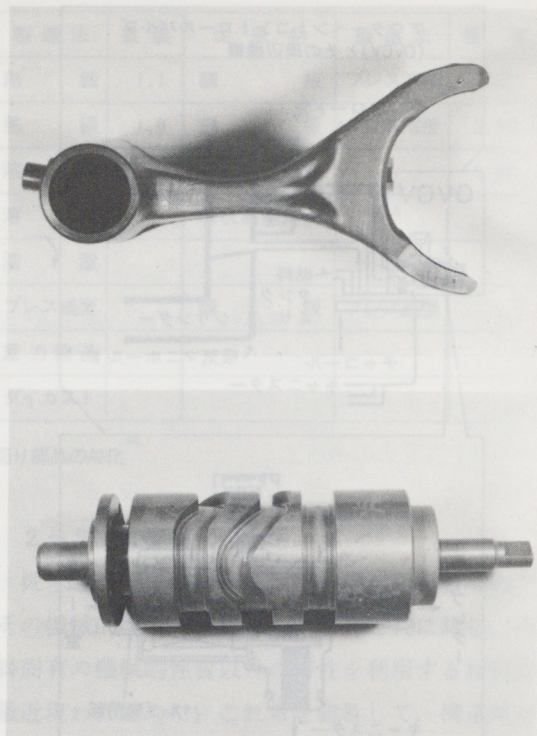


写真3 シフトフォーク(上)
シフトカム (下)

(2)分散メッキシリンダー

M/Cのボディシリンダーはファミリー系を除きアルミ製である。しかし、ピストン、ピストンリングとの摺動特性上、鋳鉄スリーブを用いている。必要とされるのは、シリンダー内面の摺動特性である。この目的を達成する為、かつてボディシリンダーそのものを耐摩耗性の高いハイシリコン材で製造したE/Gがあった。GMのVEGA 2300である。しかし、これは初晶シリコンの切削性等の問題から、その後拡大されなかった。一方西独の世界的ピストンメーカーのマーレ社は、1951年、クロムメッキシリンダーを開発した。クロムメッキは耐摩耗性はあるものの、保油性耐スカッフ性等が不十分な為、同社は1967年、NIKASIL[®]メッキシリンダーを開発し、F1レーサーで実績をつくった。NIKASIL[®]は、電着ニッケル層の中に微細なSiC粒子を均一に共析させ耐摩耗、摺動特性がより優れたメッキ皮膜を構成する。NIKASIL[®]

の電着ニッケル中にリンを添加してニッケル層の耐摩耗、耐熱性を改良したメッキをNIKASIL[®]と区別する為、分散メッキ又はセラミックコンポジットメッキと呼称している。メッキ硬度の温度依存性を図18に、表面プロフィルのモデルを図19に、実際の断面組織写真を写真4に示す。写真中、メッキ層中の黒点がSiC粒子であり、表層部に、図19と同様な部分が見られる。

分散メッキシリンダとした場合の予測メリットデメリットを、図20に示す。鋳鉄スリーブはなくなる事によって、従来スリーブ変形の主因となっている鋳造凝固時の残留圧縮応力が消失し、変形が小さくなり、耐焼付性が向上する。他にスリーブ分の軽量化、ボアアップ品の対応等のメリットがある一方、SiC粒子がリング、ホーニング砥石をも摩耗させる欠点を有するが、これは技術的に対応可能と考えられる。いずれも図20の下記条件によって異なってくる。

近年、H社はオフロード系にNIKASIL[®]メッキ

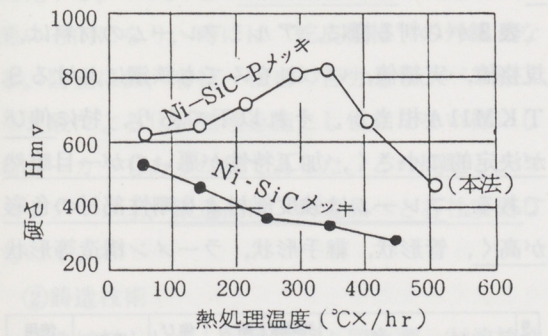


図18 熱処理後のメッキの硬さ

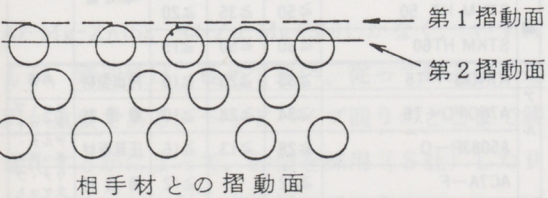


図19 分散ニッケルメッキの表面プロフィル

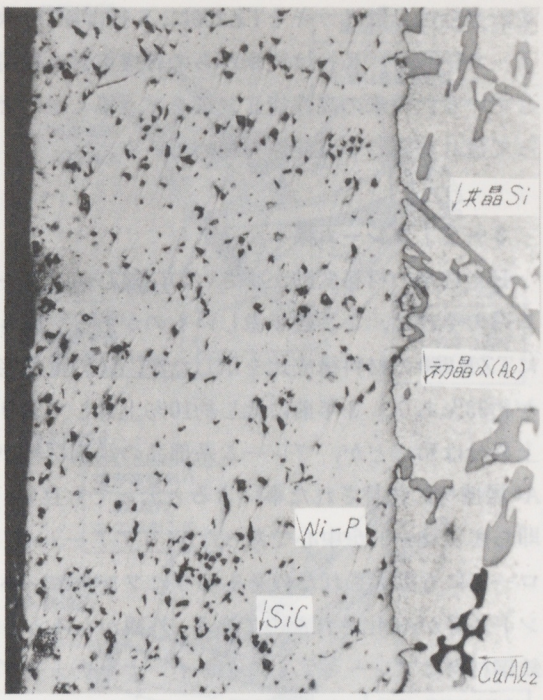


写真4 分散メッキの断面組織

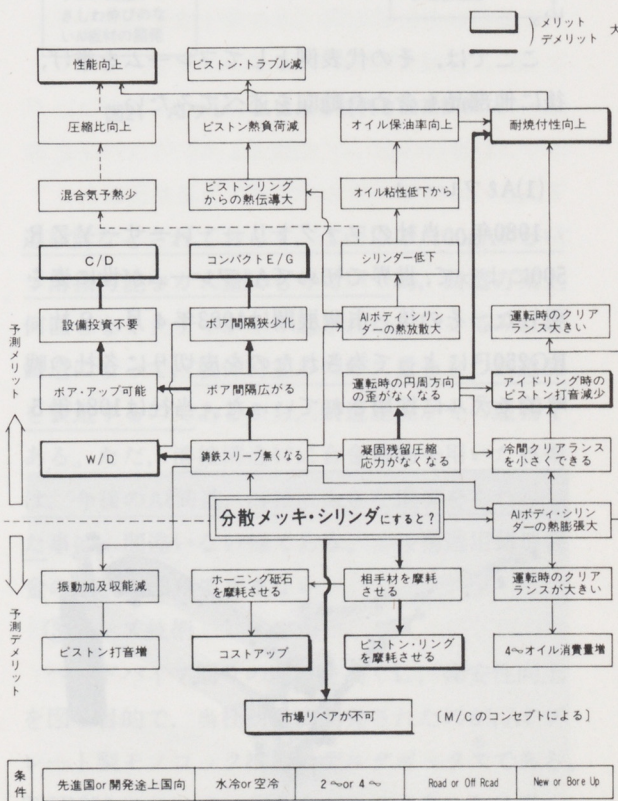


図20 分散メッキの予測メリットデメリット

を、当社は分散メッキをTZ250に、S社はBN分散メッキ(予定)、K社は従来からの線爆溶射を採用している。将来の高性能E／Gをどう描くかによって流れが変わる可能性を秘めている。

3-2 フレーム系

E／G系の材料変動が小さいのに対し、フレーム系のそれは、ここ数年激しいものがある。図4にTZR250の材料構成比を示したが、Alの重量%が約33%あり、3年前に比し約10%上昇しており、上昇分は殆んどが、フレーム系部品の鉄鋼材料がAl展伸材に代替された事によると云っても良い。即ちオフロードが中心であったAlリアアームが、ロードにも拡大されたのを皮切りにフレーム、ハンドル等がAl化されたのである。外観からみると鉄鋼材料はプレーキディスクとインナーチューブ、タンク、マフラー程度であり、陸上用輸送機器の中では、最も軽量化が進んだと云っても過言でない。

ここでは、その代表例としてフレームを挙げ、後に他部品も含めた動向を述べてみたい。

(1)Alフレーム

1980年、当社のファクトリー・レーサーYZR500によって、世界で初めてAlフレームが世に姿を現した。その後、市販展開は1983年4月、S社RG250Γによって為されたのを皮切りに各社の戦略的モデルに採用されていった。当社は1984年5

月にRZV250、1985年にTZ250、及びTZR250、1986年にFZR400へと採用機種が拡大され、いずれもその洗練されたスタイルが好評を博している。Alフレームに関する基本的技術は、RZV500とTZR250によってほぼ完成されたと考えられ、ここでは材料技術の観点から、この2機種を中心に述べてみたい。写真5にTZR250のフレームを示す。

(i)構成材料

鉄フレーム、Alフレームに用いている材料の機械的性質を表3に示す。用いたAl材は強度、加工特性(鋳、鍛造、プレス、溶接性)アルマイト色調が明かるく均一な事、入手性の観点から選択され、各々、規格範囲内ではあるが、フレーム用として材料開発を行っている。A7N01は色調をより明るくする為、クロム添加量を微少にしており、角管、鍛造材として使用している。A5083Pは、プレス成型時に生ずるストレッチャーストレインを抑える為、予歪を与えてある。材料も大量生産時代が終わり、ニーズ毎の多品種少量になりつつあり、S社、H社材と微妙に異なる。

表3から判る様に、アルミフレームの材料は、規格値、実績値、いづれをみても鉄鋼におけるSTKM11A相当か、それ以下であり、特に伸びが決定的に小さく、加工特性が悪いのが一目瞭然である。フレームは強度部材より剛性部材の色彩が高く、管形状、継手形状、ラーメン構造等形状

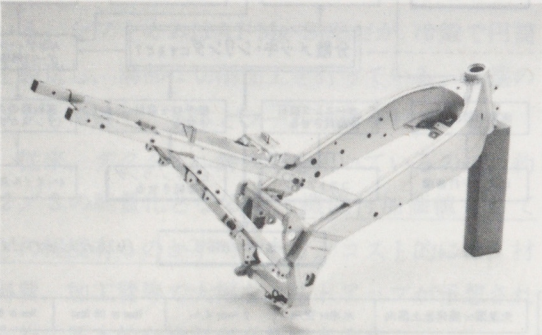


写真5 TZR250のアルミフレーム

特性系	材 質	引張強度 (kg/mm)	耐力 kg/mm	伸び %	備 考	使用 部品
鉄 鋼	STKM 11A	≥30		≥35	電 撻 管	
	STKM 13A	≥38	≥22	≥30		
	STKM HT 50	≥50	≥35	≥20		
	STKM HT60	≥60	≥50	≥15		
ア ル ミ	A7NOIS -T5	≥33	≥25	≥10	押出型材	角管
	A7NOIFD-T6	≥34	≥28	≥10	鍛 造 材	リア・ブ ラケット
	A5083P-O	≥28	≥13	≥16	圧延板材	デルタ・ ボックス
	AC7A-F	≥22		≥12	鋳 造 材	リア・ブ ラケット

表3 フレーム用材料の機械的性質

による剛性効果の方が、材料のもつヤング率、強度よりファクターとして大きい。H社は型材としてA7N01より強度も低く安いA7003を使用しているのも、上記の考え方による。

(ii)加工

A1・フレームの技術とは、材料の加工技術といっても良く、かつてこれほどの溶接構造体が、輸送機器に用いられた例はないと思われる。基本的構造として、押出型材又は鋳造のヘッドパイプと鋳・鍛造のリアブラケットの2部品を中心として、この間を押出型材(角、マルチリブ⑤、目の字断面⑥)又は、板材によるモノコック(TZR250)を溶接によって接合した構造体である。RZV500、TZR250を例にとり、加工技術をみていきたい。

図21に、両者の構造と技術を例示している。

①鍛造技術

S社、K社及び当社のRZV500の計4機種のリヤブラケット等に採用。材質は全てA7N01の各社改良材。色調を明るくする為の成分調整は、鍛造時に、材料に熱と歪が加わって、結晶粒径が粗大化する、いわゆる“結晶粒粗大化”に対しては悪い方向になり、時には“蛇皮模様”の外観となる。防止には、各社、相当の苦勞をし、バフ加工、リン酸による化研処理を施こし目立たない様にしたメーカーもあった程であった。この問題と、コストダウン上、鍛造品は、鋳造品へと各社変更していく。

②鋳造技術

鋳造材料として、(a)展伸材と同色調、(b)溶接性が良好、(c)強度が20kg/mm以上、伸び10%以上という要求機能を満足させる為には、Al-Mg系(Y) Al-Mg-Zn(S)、Al-Zn-Mg系(H)しかなく、いずれもが、鋳造性は、極めて悪い。従って鋳造法の選択が重要である。ヘッドパイプ回りのどこまで鋳造化するかによって、砂型を採用(S社)したり低圧鋳造(H,Y)を採用している。

従来、鋳造合金は、溶接を前提に合金設計、鋳

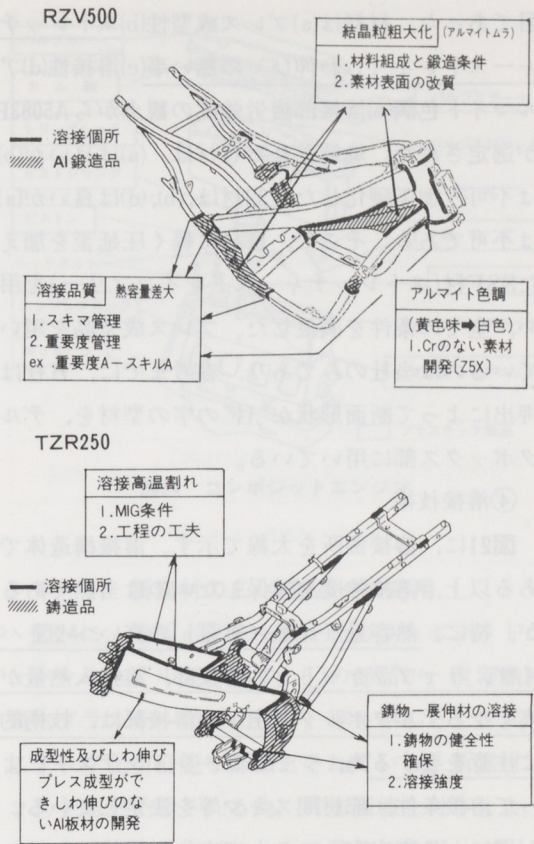


図21 Alフレームにみる材料と加工技術

造設計などされておらず、1cc以下/100gAlという溶接可能なガス量にもっていく為、鋳造方案上何回となくトライがくり返された。いってみれば鋳造によって、展伸材並みのガス量をもつ鋳造品を製造するのであるから、鋳造屋泣かせの産物である。ただ、溶接構造材に合金鋳物を用いた技術は、今後のAl鋳造、溶接に大きな進歩をもたらした事は、間違いのない様である。溶接構造用鋳造合金の出現を願って止まない。

③プレス技術

ヘッドパイプ回りの剛性を高くL、操安性向上を図る目的で、当社独自に開発されたのが、Alプレート製モノコック構造のデルタボックス[®]である。TZR250において、デルタボックスをいかに安く外観的に美しく安定生産を行うかが、開発重点項

目であった。材料は(a)プレス成型性(b)ストレッチャーストレイ（しわ伸び）の無い事(c)溶接性(d)アルマイト色調(e)溶接部疲労強度の観点からA5083Pが選定された。焼鈍されたO材は、(a)は良いが(b)は不可、加工硬化したH32材は、(b)、(d)は良いが(a)は不可である。そこで、O材に軽く圧延歪を加えたSSF材(ストレッチャーストレインフリー)を用い、全ての条件を満足した。プレス成型品を用いているのは当社のみであり、参考までに、H社は押出によって断面形状が“目”の字の型材を、デルタボックス部に用いている。

④溶接技術

図21に、溶接箇所を太線で示す。溶接構造体である以上、溶接強度を確保したいのは当然であるが、特に、熱容量（比熱×重量）の高いヘットパイプ、リアブラケットとの溶接部、溶接入熱量が高くなるデルタボックス上下の溶接部は、技術的に注意を要する為、シミュレーションテストによって溶接条件、部材間スキマ等を決定している。

更に、品質安定、コストダウンを目的として、MIG溶接を増加させている。図22に、鉄(Fe)フレーム、Alフレームの溶接長、Alフレーム内のTIGとMIG溶接の%を、RZ、FZ系と比較した。

MIG化率は、当初のRZV500の11%から、TZR 66%、FZR79%とTIGと完全に逆転するに至る。

この動向は、各社同じであるが、当社が、工程管理による溶接品質確保、MIG化率の点では、最も進んでいるといえる。

(iii)生産技術

鋼管に比しAl材は数倍高く、かつ加工費（特に鍛造、溶接費）も高い。従って、鍛造材は、形状を工夫し、剛性を高くする事によって強度の弱い鍛造材で耐える様に変更していった。その時、展伸材との継手形状を溶接し易く設計するのがポイントであった。溶接については

(a)溶接長を短かくする

コスト、重量、強度、品質上すべてに有利で、図22に示す様に、鉄フレームの約45%～62%に縮

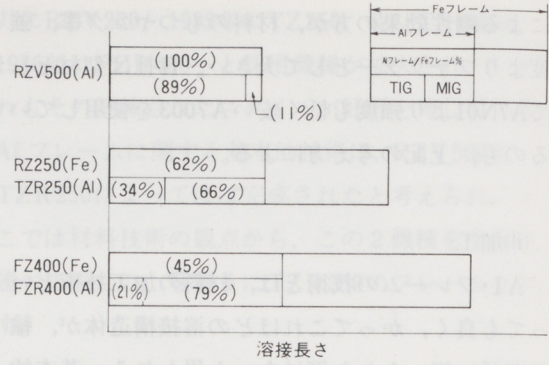


図22 FeフレームとAlフレームの溶接長比較及び、TIG、MIG溶接長の割合

小されている。設計、生産技術的努力の結果であるが、従来、いかに安易に溶接を行っていたかを示している。

(b)MIG 化率向上

MIGは、溶け込みが深く、溶接強度が高い。又手作業にのみ頼るTIGに比し、コスト的に安く、自動化し易い、条件が決まれば、品質も安定する。既述した様に年々上昇し、11%から79%へと飛躍的に増加し、コストダウンに寄与している。

(c)自動化率の向上

MIGをロボット化し、更にコストダウンを図っている。

(d)部品点数の削減

鍛造品を鋳造化するだけでなく、鋳造の造型性の良さを利用し、部品点数を削減。更に、付属品を最小限に絞っている。

(2)その他の動向

Alフレームに代表される材料代替の動きは、様々な面で波及効果をもたらした。即ち、Alフレームに鋳造品が用いられた実績、及び設計上の工夫によって、溶接長が激減できる事がわかり、鉄フレームも同様な構造、溶接長削減を実施する様になった事である。これは、強度的に低い材料、コスト的に高い材料を用いる場合、必然的に、構造的に進歩をもたらすからではないだろうか？

フレームも含むAl鋳造品の動向を図23に示す。例えば、従来鉄鋼の鍛造品と冷間打抜品を溶接で製造、又は高級機種では、Al鍛造品で製造してい

たフートレストを、数機種共通化し、Alダイカストに変換し、コストダウンを図った。又、Al鍛造品や、押出型材を鋳造品に変更し、コストダウンを図った事は、既述した通りであり、各社同様な方向に向かっている。最近、H社のリアアームへの鋳造部品採用も、一連の流れの中にある。

図8で述べた第3段階の軽量化への動きを示すものであり、M/Cはまさにこの段階に入ったといえるのではないだろうか。ただ、生産台数、構造によっては、品質上、コスト上、鋳、鍛、プレス等加工方法の再検討の動きもある。

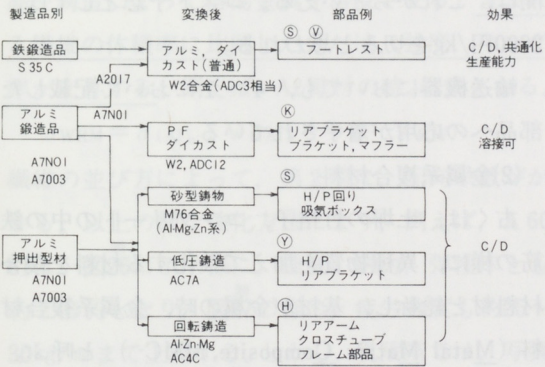


図23 動向

4. 輸送機器と新素材

新素材に関するフィーバーは、マスコミによって拡大再生産された感があるが、最近、各メーカーとも、冷静に対処しようという動きに変化しつつある。それでも、研究開発段階では、やはり、し烈な開発競争が水面下で行なわれているのは、事実であり、素材メーカー間の業界地図（例えば、鉄鋼メーカーの、非鉄、複合材料への参入）ばかりでなく、カーメーカー内での素材内製化（セラミック、粉末合金、複合材料）の可能性等、大きな変動要因をはらんでいる。ここでは、新素材のE/Gへの応用及び、新素材のもつポテンシャルを簡単に紹介してみたい。

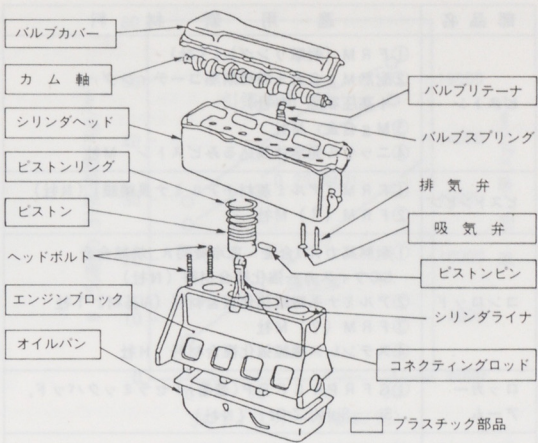


図24 コンポジットエンジン

4-1 新素材のE/G部品への応用

図24に、米国ポリモーター社のコンポジットエンジンのモデル図を示す。□の部品が、炭素繊維強化プラスチック（CFRP）等を中心としたプラスチック化が可能な部品とされている。新素材はコスト高が予想される為、付加価値を付与しようとすれば、E/G内のこれらの部品に適用し、E/Gとしての商品価値をあげようとする方向へ動くのは当然の動きである。従って、他の新素材についても、同様な部品（ピストン回り、バルブ回り）への適用が考えられる。公表されている各社の部品と新材料を、表4にまとめた。(8) (9) (10)

4-2 新素材のポテンシャル

従来の溶解鋳造法では、添加できる合金元素に限界があり、得られる物理・化学・機械的性質も、飛躍的向上を期待できそうもない。そこで、近年開発されつつある、①急冷粉末による新合金開発 ②繊維強化複合材料の2つが、大きな注目を集めているので、この2つに絞り、簡単に述べる事とする。

(1)急冷凝固粉末合金

粉末冶金によるAl部材の開発は、古くはSAP（Sintered Aluminm Powder）合金があったが、特性の不安定性等の理由で、実用に致らなかった。しかし近年、アモルファス合金を得る為の急冷凝

部 品 名	適 用 新 材 料
ピストン	① FRM (耐摩リング) (T社)
	②耐熱Mg合金+特殊耐熱コーティング +高圧凝固 (N社)
	③Mg合金 M社
	④ニッケル発泡体鍍込るみピストン M社
ピストンピン	①FRM (アルミ基材+アルミナ長繊維) (N社)
	②FRM (?) M社
コンロッド	①耐熱高力Al合金 急冷凝固Al焼結合金 SiCウイスカー強化複合材料 (N社)
	②アルミナ系繊維強化複合材料 (Al基材) T社
	③FRM (?) M社
	④ステンレス繊維強化複合材料 H社
ロッカー アーム	①GFRP+CFRP (表層)+セラミックパッド, Si Si ₃ H ₄ , ZrO ₂ (N社)
リテーナー	耐熱鍛造Al合金+特殊表面処理 チタン合金+表面処理) N社
バルブ スプリング	チタン合金, 超清浄シルクロ鋼 N社
バルブ	チタン合金 N社

表4 カタログにみる各社の新素材と部品

固法が、発展し、新材料開発に偉力を発する様になってきた。Alを例にとると、溶解鋳造法で多量に添加できる元素は、Cu, Mg, Zn, Si 等に限定され、Fe, Mn, Cr, Ni 等は、有害元素であった。所が、10³℃/sec 以上の冷却速度で溶解金属を冷する急冷凝固法では、これらの元素は、多量に固溶するか、微細な金属間化合物として晶出する為、従来にない優れた特性をもつ新合金が得られる。Fe, Cr, は12wt/%, Siは、30wt%まで固溶度が拡大するのである。

製造法を図25に示す。急冷凝固で製造した粉末を缶の中に入れて、脱気し熱間押出時に、せん断によって表面酸化膜を破壊し、内部のAl粉末どうしを、焼結してしまうDが最もよく用いられる。この工程は、SAPの例にみる様に、特性安定に必要とされ、一般の鉄系焼結合金と異なる点でもある。従って、できあがった素材は、ガス量が極めて少ないAl展伸材と同等の品質を保有する。

得られる得性は、合金添加量によって異なるが、熱膨張系数は、15~19×10⁻⁶/℃、ヤング率は、10000前後、引張強度が50~60kg/mmであるが、特に優れているのは、耐熱強度と耐摩耗性である。例えば、

Fe, Si等を多量添加した合金では、300℃で100hr保持後、約20~30kg/mm²あり、耐摩耗性も従来のハイシリコン材 (A390, 合金)を優に上回る特性を有する。又、同一組成で製造した溶解鋳造材に比し、組織が均一かつ緻密な為、耐食性、耐応力腐食割れ性も向上しているといわれている。

加工特性も、耐熱強度が高いだけ、従来のAl材よりは劣るが、次に述べるFRMよりは、はるかに良い。

実用例としては、耐摩耗性が評価され、コンプレッサのペーンに使用されているが、本格的展開は、これからといえる。コスト予想としては、2000円/kgを切ると思われる。

輸送機器においても、4-1において記載した部品への応用が着手されている。

(2)金属系複合材料

古くは、土堀の竹格子、コンクリートの中の鉄筋の様に、異種物質を加えて強化する材料を複合材料材と総称し、基材が金属の時、金属系複合材料 (Metal Matrix Composite, MMC) と呼ぶ。MMCの中に、粒子分散型と、繊維強化型があり、

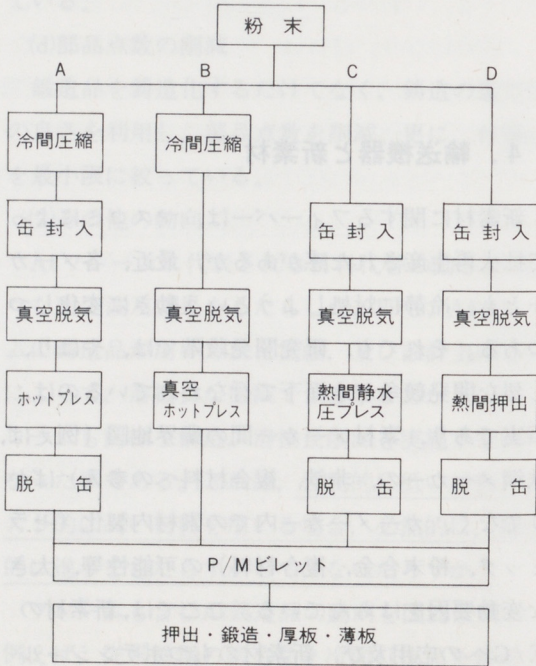


図25 アルミニウム粉末の成形固化の工程

後者をFRM (Fiber Reinforced Metal) 又は、直径 $\sim 1\mu$ or 1μ 以下、長さ数 10μ の単結晶繊維ウイスキーを用いた材料を区別してWRM (Whiskar Reinforced Metal)としている。近年は、航空機等を対象とした材料としては、連続繊維を用いたFRMが多いが、民需用としては、製造法、2次加工、コスト等の点で、SiC-WRMが主流となってきた。ウイスキーは、欠陥のない単結晶でできている為、理論強度に近く、約 $300\sim 1400\text{kg/mm}$ の強度、約 $40\sim 70\text{t/mm}^2$ のヤング率を有する。こういった繊維を金属の中に入れると、(一般には、繊維の成型体に、高圧鋳造によって溶湯金属を溶浸させる) 含まれる繊維の体積率に比例した分だけ、強度、ヤング率が上昇する。例えば、Al母材の時、次式となる。

$$\sigma_{WRM} = \sigma_{(Al)} \cdot V_{f(Al)} + \sigma_W \cdot V_{f(W)}$$

繊維の並び方によって、第2項に、配向係数がかかる。以上の様な強化方法により、例えば、A 6061は、²⁰⁾図26に示す様に、強度、耐力、弾性率とも約2倍弱となり、²⁰⁾図27の様に、疲労強度も約 $25\sim 30\text{kg/mm}$ まで上昇する。しかし、現段階では、写真6に見るように、ウイスキー (白い部分) 径、長さの不均一、酸化等があり、技術的課題は多く残されている。²¹⁾図28に、次世代産業基盤技術でも取りあげられているMMCの課題を示す。ウイスキーコストも、²¹⁾図3に示しているが、 $5\sim 12\text{万/kg}$ とされ ($\sim 3\text{万/kg}$ になると予想) まだまだ高価である。

カーメーカーの部品例としては、圧倒的にピストン、ピン、コンロッドが多い。学会等でも、日産、日本電装等、部品を明示し、製造研究に余念がない事を伺がわせ、今後の動向が多いに注目される。

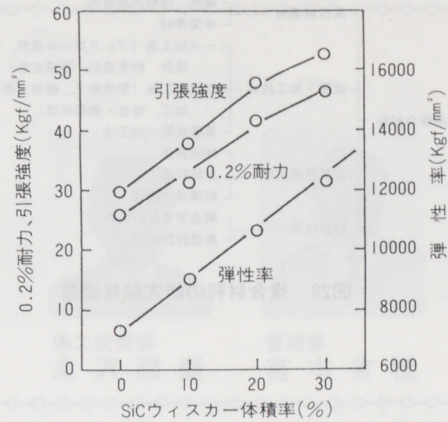


図26 SiCウイスキー/6061Al複合材料の引張特性とSiCウイスキー体積率の関係(ピレットT6材)

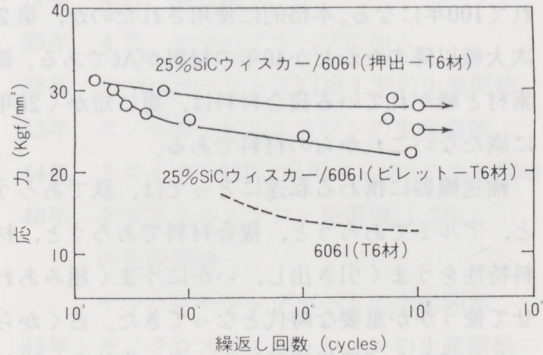


図27 25%SiCウイスキー/6061Al複合材料の小野式回転曲げ疲労特性

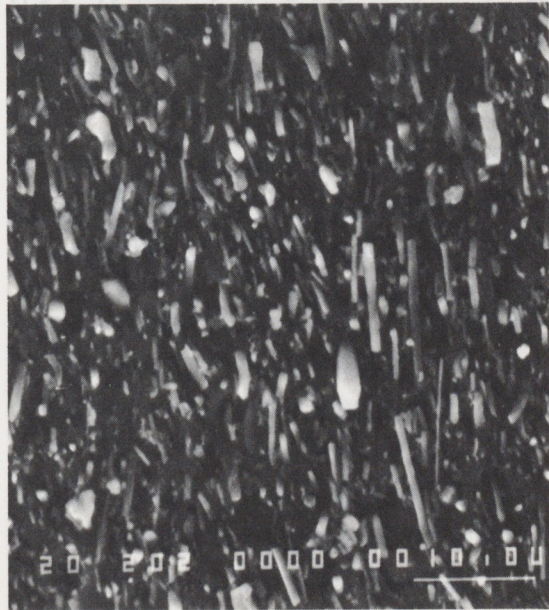


写真6 SiC WRMの破断面の走査電顕写真

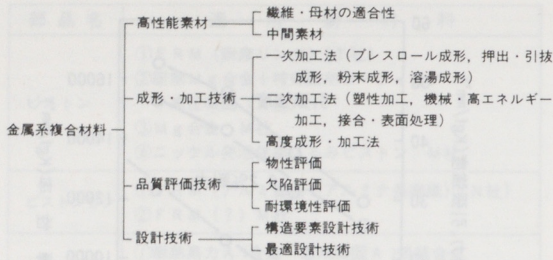


図28 複合材料の研究開発課題

5. お わ り に

ホールとエルーによって、Alの電解法が発明されて100年になる。本格的に使用されたのが、第2次大戦以降のたかだか40年の材料がAlである。新素材と騒がれている複合材料は、更に短かく20年に満たないこれからの材料である。

輸送機器に携わる私達にとっては、鉄であろうと、アルミであろうと、複合材料であろうと、材料特性をうまく引き出し、いかにうまく組みあわせて使うかが重要な時代となってきた。古くからいわれてきた“適材適所”の一言に集約され“材”が、近年の材料科学の発展によって、多種、多機能になってきたに過ぎない。その意味で、できるだけ、具体的に、材料のもつ特性、“適所”の考え方を述べてきたつもりであるが、一端でも伝われば、望外の喜びである。

最後に、本論文をまとめるにあたり、資料、データ等引用させて頂いた著者の方々、M/C事業部杉本氏、ヤマハ車体・大城氏、広報課の方々に、深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1)堂ノ本，鉄鋼協会，秋季大会講演概要集(1986)
- (2)小松，軽金属 Vol 35 No.9 P.10
- (3)豊田，特殊鋼 Vol 29 No.12 P.11
- (4)鈴木，日本金属学会会報 Vol 24 No.7 P.551
- (5)梶谷，日本金属学会会報 Vol 24 No.7 P.555
- (6)木村，自動車技術 Vol 35 No.8 P.898
- (7)加藤他，自動車技術 Vol 35 No.8 P.979
- (8)トヨタ広報資料，自動車と新材料
- (9)日産広報資料，新素材と自動車
- (10)マツダ広報資料，マツダと新材料
- (11)吉田，自動車技術 Vol 35 No.8 P.971
- (12)M・S・Holland，International Conference
- (13)川瀬他，トヨタ技術 Vol 35 No.2 P.209
- (14)住軽金，技術資料
- (15)日経産業新聞
- (16)日経メカニカル 1986.2.24 P.24
- (17)日経産業新聞 1986.8.7
- (18)分散メッキ技術資料
- (19)住軽金，技術資料
- (20)東海カーボン，技術資料
- (21)立石，精密機械 Vol 48 No.9 P.1184