

基調論文 デンソーにおける材料技術の現状と展望*

Current Status and Future Prospects of Material Engineering R&D in DENSO

若林 宏之

Hiroyuki WAKABAYASHI

This paper summarizes the current status and future prospects of material engineering R&D in DENSO. Initially, the history is described so that the characteristics of material engineering R&D that have developed concurrently with parts processing technology and production system technology can be understood. This is followed by an explanation of the current organization of material engineering R&D and how its current projects are performing. After which, recent problems and future problems that surround material engineering R&D are explained while considering the competitiveness of the products. Finally the most recent activities and future direction of counter measures for the abovementioned problems, along with related papers are reported in this review.

Key words : Material engineering, Competitiveness, Environmental problems, Evaluation technology, Global operation

1. 緒言

21世紀に入り日本の製造業がグローバルな競争の中でその地位を脅かされており、今後の日本におけるモノづくりが様々な分野で議論されている。当社においても自動車業界、自動車部品業界の再編やそれに伴うグローバル競争の激化、地球環境問題への対応要求の高まりの中で、高品質・高付加価値な製品をタイムリーに提供していくことを求められている。

当社は自動車部品製造業にあって、差別化の手段の一つとして生産技術に注力してきた。当社の生産技術の特徴は材料技術と部品加工技術と生産システム技術が製品構想段階から生産まで一体となって活動するコンカレントエンジニアリングであり、当社における今後のモノづくりもこれらの技術とその組み合わせの中で考えていく必要がある。

この中で材料技術は製品・部品の性能、品質、生産性を左右する基本であり、これまで当社の多くの製品競争力に貢献してきた。今後の競争環境が大きく変化していく中で、製品差別化・競争力向上のためには材料技術の更なる飛躍が求められる。ここでいう材料技術とはFig.1に示すように、様々な競合環境にある製品において、製品要求を材料に必要とされる仕様として明確化するための要素技術としての評価・解析技術とその要素技術に支えられた上で材料必要仕様を実現する開発技術の両者を指す。

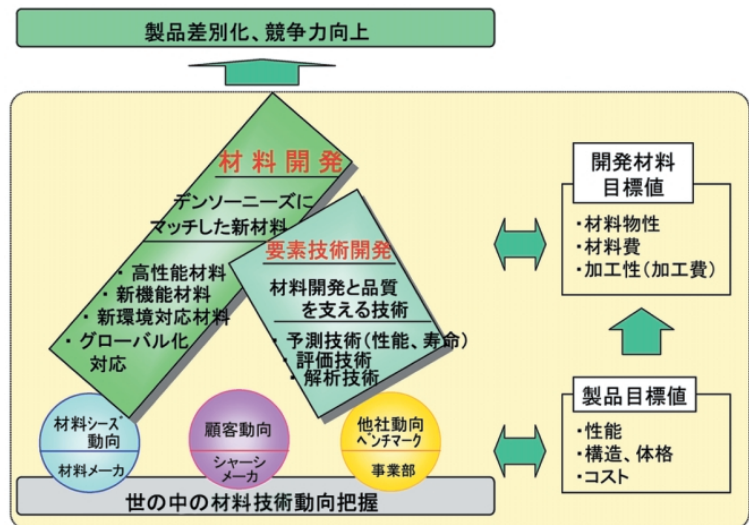


Fig.1 Concept about material engineering

本論文では当社の材料技術の現状を整理し、今後の方向について述べたい。

2. デンソーにおける材料技術の歴史と現状

2.1 歴史

当社の材料技術は、次期型製品を製品企画段階から世に送り出すまでのコンカレントエンジニアリング活動の中で発展してきた。その歴史をFig.2に示す¹⁾。

当社の各種製品を対象とした材料研究は1950年代にさかのぼり、1960年代に始まったトランスファーラインに対応して新しい材料の開発・導入を行った。例えば、オルタネータやスタータなどの電機製品では冷間鍛造における高速化に合わせた冷間鍛造用材料を開発

* 2002年9月17日 原稿受理

年	85	90	95	00
デンソーを取り巻く環境	フロンガス規制 90年代対応要項(グローバル化)		バブル経済期	環境負荷物質対応規制 構造変化対応要項 VISION2005
金属材料	■真空ろう付け 熱交換器用アルミ	●銅ラジエータ Zn富化銅条	●アルミラジエータ用 高強度材	●ABS用複合磁性 ステンレス鋼
	○高冷鍛性電磁ステンレス		●犠牲腐食機能ダイカスト材	
有機材料	○パワウィンドモータ用 高耐熱フェノール	○新冷媒対応乾燥剤	□両フロン対応ゴム	●フィルムドア エアコン用 複合フィルム
	●ラジエータファンシュラウド用 ガラス繊維強化ポリプロピレン	○エアフローメータ用高精度PBT樹脂	●非固着アクリルゴム	
	●ラジエータタンク用 耐Zn富化銅条			

(●機能向上 ○生産性向上 ■品質向上 □環境対応)

Fig.2 Developed materials in DENSO

した。

1970年代に入り、熱交換器分野での材料開発を積極的に進め、高耐食性のチューブ材開発と高熱伝導率・高強度の材料開発を行った。更にこの材料開発を支えるため、市場での熱交換器用材料の腐食に関する研究にも着手した。こうした材料開発、要素技術開発によって熱交換器の薄肉化が実現し、1980年に銅製としては最軽量のSR (Single Raw) ラジエータを世に出した。

また、この時期にはオイルショックが引き金となった車の軽量化の要請に応える各種材料開発を進めた。高張力鋼板の製品への適用、各種ケース類・ハウジング類の樹脂化のための材料開発、アルミニウムを用いた熱交換器の超薄肉化などである。例えば樹脂化においては、高強度なガラス繊維強化ポリプロピレンを開発することで、これまで鉄板でできていたラジエータファンシュラウドを樹脂化し、軽量・低コスト化を実現した。また、高強度でかつ高寸法精度のガラス繊維強化フェノール樹脂を開発し、それまでアルミダイカストでできていたパワーウィンドモータハウジングを樹脂化することで軽量・低コスト化を実現した。アルミ材料開発では、アルミニウム製SRラジエータ材料開発を行うとともに、犠牲腐食性を有するSn（錫）入りフィン材料を開発し、耐食性に優れたエバポレータに貢献した。

1990年代には当社の多様な分野で材料開発を行った。アルミダイカストで構成されていたEFI用エアフロメータでは、高寸法精度で高強度なPBT樹脂材料を開発することで初めて樹脂化に成功し、大幅な軽量化および高性能化を実現した。また、アルミニウム製ラジエータのチューブを更に薄肉化するために、耐食性

と強度を飛躍的に向上させた傾斜機能型チューブ材の開発を行った。これによってアルミニウム製NSR (New Single Raw) ラジエータの軽量化に貢献した。

一方、製品の機能向上に貢献する材料開発としては、エアコンの静粛性向上のため通風路切換用ドアをフィルムで行うフィルムドアエアコンのキーとなる、高しゅう動性で高強度な複合フィルムの開発を行った。

製品小型化に大きく貢献した材料開発としては複合磁性材料のABS (Antilock Braking System) への適用が挙げられる。電磁弁の小型・軽量化のために磁気回路部分を非磁性と磁性を併せ持つ材料とするものであり、最適配合と加工技術の組み合わせにより達成できた。

このような材料開発と併せて、材料開発に必要な解析や計測にかかわる要素技術開発にも取り組んできた。1960年代から材料強度研究、1970年代からは腐食研究、1980年代からはトライボロジー（摩擦摩耗）研究、1990年からは磁場解析研究を行っている。材料強度研究からはX線回折を用いた金属材料の疲労破壊負荷応力評価技術、超音波を用いた高分子材料の疲労損傷評価技術が生まれ、これまでの開発製品の信頼性を高めるために貢献してきた。

2.2 デンソーにおける材料開発の現状

以上のように材料開発にあたり、製品要求を材料要求に落とし込む上で要素技術開発が重要な役割を果たしてきており、このような経緯を経て現在当社では各材料分野と材料分野間に共通の要素技術分野で横串を通した構造の組織で材料開発を行っている。すなわち、金属材料グループ、非金属材料グループ、熱処理・表面処理グループ、絶縁・接着材料グループの材料固有

技術分野の縦軸と、強度解析、トライボロジー、分析などの要素技術を横軸とする組織である。更に、すべての材料評価、モデルや実製品における検証にかかわる業務を実験担当グループが支えている。(Fig.3) この実験部隊の活動内容の詳細については本特集の「生産技術を支える技能集団」に述べられている。

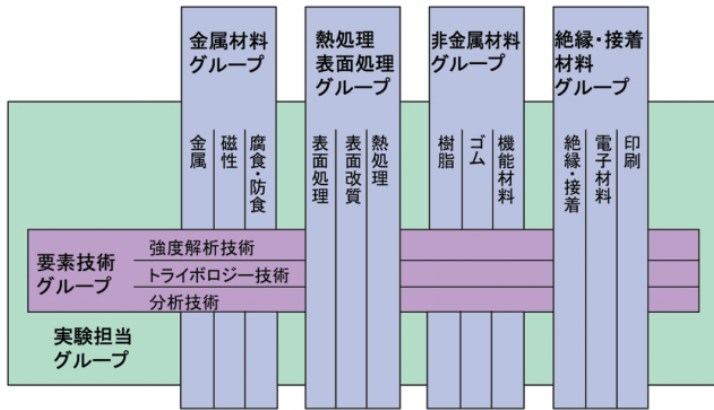


Fig.3 Organization of Material Engineering R&D

また、材料開発の進め方は、Fig.4に示すように社内では事業部とのニーズ・シーズ交換、次期型研究会を通して、また社外とは材料メーカーとの共同開発を通じて推進している。すなわち、新製品・次期型製品開発にあたって、材料に対するニーズが出され、製品要求特性達成のために、材料としての必要特性を各種評価技術・解析技術を用いて明確化し、この材料特性目標に向かって材料メーカーとともに材料仕様を議論し、材料試作品の評価を試験片レベル、製品レベルで分担して実施し、評価結果を解析技術と試作材料にフィードバックしてそれを繰り返すことで推進してきた。

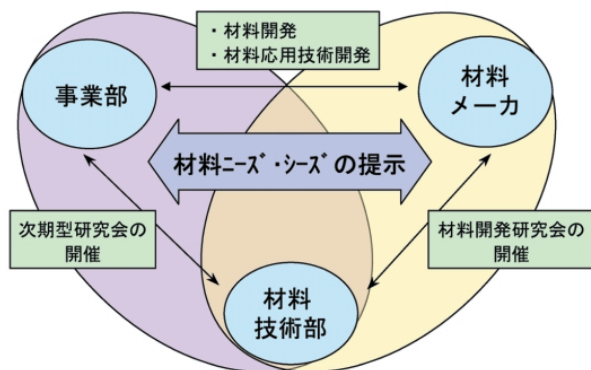


Fig.4 Concept about material development

この開発ループの中で、各種評価技術・解析技術の材料開発に占める役割は極めて大であり、これらの評

価技術・解析技術の飛躍的向上のために、材料メーカーとの技術会議以外に大学、研究機関との交流を行っている。

3. 今後の材料技術

これまで材料技術は当社の製品の競争力に深く関わっており、以上のような体制により今後とも製品競争力向上に材料技術から貢献していきたいと考えているが、自動車部品メーカー間の激しい競争の中で、当社の自動車部品はますますグローバル生産や低コスト化が求められ、また増大する環境対応要求の中で、自動車部品にはますます高性能、高耐久性が要求されており、更に材料自身にリサイクル性や脱環境負荷物質が求められている。

このような中で当社の材料技術にとって多くの課題が存在し、これらにうまく対応しながら技術開発を行っていかねばならない。

3.1 課題

自動車部品を取り巻く主な状況変化と材料技術としての課題を整理したい。

まず、世界の大手自動車部品メーカー間での部品コストと開発スピードの競争激化が挙げられる。自動車メーカー間の競争の激化に伴い、これまでの系列は全く姿を消し、安価で速いところに大量の発注が行われる。このような状況の中で、これまでの製品差別化のための材料開発がやはり有効であると考えられるが、その技術提供の迅速化が必要である。

次に、環境負荷物質やリサイクルを意識した環境対応要求の増加がある。自動車メーカー各社は率先して環境に優しい技術を導入する方向を打ち出し、環境経営度が企業の重要な指標になりつつある。

また、欧州の廃車指令の適用除外項目が2002年6月に確定し、欧州各国ではこれをもとに各国の環境負荷物質とリサイクルに関する各国の法律ができつつある。日本国内においても自動車リサイクル法が2002年7月に成立した。このような環境負荷物質やリサイクルにかかわる対応が自動車部品メーカー間の大きな競争の要素となってきた。自動車メーカーからは環境負荷物質に関する情報提供が求められ、環境負荷物質を含まない材料を用いた自動車部品、リサイクル性を考慮した自動車部品が要求されている。

このような状況の中で法律や自動車メーカー要求を自

自動車部品レベルの課題として形成し、対応する必要がある。材料技術上の課題は、省エネなどの環境技術、自動車メーカーのシナリオを見据えた環境負荷物質フリーの代替材料開発およびリサイクルしやすい材料の先行開発であると考えられる。更に、製品品質向上要求の高まりがある。自動車の走る、曲がる、止まるといった基本機能を含む安全性、快適性に関する要求はますます高まっており、コストは抑えながらも高い品質を実現することが強く求められている。

このような要求下で重要なことは、当然のことではあるが製品の使われ方を十分に把握し、その環境下で必要十分な性能と耐久性を発揮できる材料を適用していくことである。そのための材料技術上の課題は、製品要求を今まで以上に精度良く材料特性に落とし込むことであり、新規に開発した材料も含めて製品に使用される材料がその環境の中で必要十分な性能と寿命を有することを精度良く見積もることである。すなわち、材料開発時および材料適用時の更なる評価解析技術の向上が必要であると考えられる。

自動車メーカーの海外生産に合わせた当社の海外生産の増加も大きな課題である。国内自動車メーカーの海外生産増加や海外自動車メーカーへの拡販に対応して、自動車部品の海外生産が近い将来には売上の半分に迫ろうとしており、今後も新しい生産拠点が増加し、海外生産比率が増加すると予測される。これまででは、国内での自動車部品生産開始後、海外生産は未定であったり、1年以上の期間をおいて海外生産が開始されるというケースがほとんどであったが、現在では早い時期から海外生産が行われることが計画に織り込まれていたり、国内の生産と同時に生産が開始されたり、場合によっては国内生産はなく、海外生産のみというケースが出てきている。

さらに、海外生産拠点の増加に伴い、当社の多くの海外拠点で同じ自動車部品が生産されるケースが増えてきた。このような状況の中で材料技術上の課題は、今まで以上に海外生産を考慮した材料の採用および開発を行う必要があると考えられる。

4. 材料技術の今後の方向

以上のことから、材料技術としての主な課題は次の4点であると考えられる。

製品差別化のための差別化材料技術の迅速提供
 省エネなどの環境技術ならびに自動車メーカーのシナリオを見据えた環境負荷物質フリーの代替材料開発およびリサイクルしやすい材料の先行開発
 材料開発時の更なる評価解析技術の向上
 今まで以上に海外生産を考慮した材料の採用および開発

これらの課題について現在の対応および今後について述べていく。

4.1 差別化材料技術の迅速提供

製品差別化のための材料開発はこれまでどおり必要であるが、問題はその提供速度にある。材料開発のテーマ形成は、かつて次期型製品成立を目標に行ってきたが、1997年以降迅速な材料技術の提供を目指してFig.5に示すように各種自動車部品のロードマップを共有し、そこから導かれる差別化のための必要材料、共通基盤技術としての要素技術を材料技術のロードマップとして推進中である。

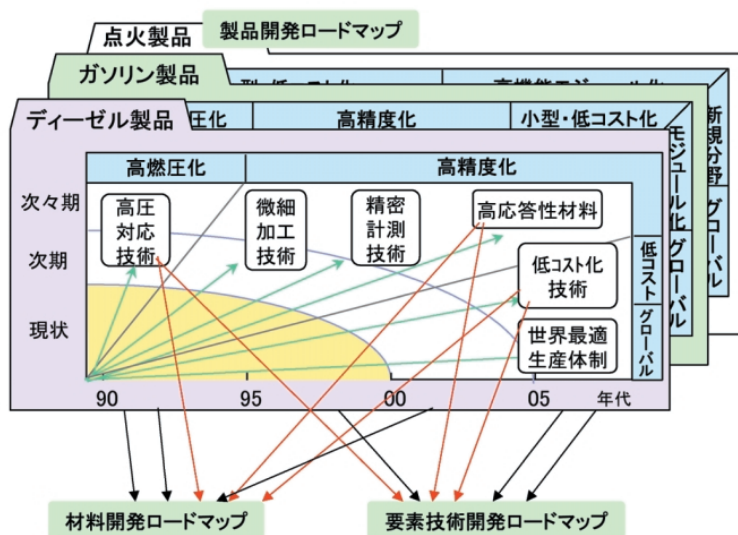


Fig.5 Concept of material needs extraction from products road map

例えば、最近の製品の小型化に貢献する材料開発の例としてはオルタネータ用低鉄損電磁鋼板の開発、およびラジエータとコンデンサを一体構造化した冷却系部品であるクーリングモジュール用高耐食性アルミ材料の開発が挙げられ、それぞれ本特集集中の「自動車の省エネに対応した新型高効率オルタネータ用電磁鋼板の開発」、「クーリングモジュール用材料開発」に述べられている。また、製品の軽量化に貢献する材料開発の例としては自動車用プーリとしては最も厳しい使用

条件にさらされるエアコン用コンプレッサのプーリの樹脂化があり、本特集中の「自動車用樹脂プーリの材料開発」に述べられている。更に製品の高面圧化に対応する材料・処理技術開発の例としてディーゼル噴射ポンプ部品へのコーティング技術開発が挙げられ、本特集中の「CrNコーティング量産技術の開発」に述べられている。

このような材料開発は今後とも行っていくが、更なるドラスティックな差別化のためには加工方法とも組み合わせた材料開発が求められる。すなわち材料と加工方法を固定してそれぞれを高性能化してだけでなく、同じ製品に対する異なる材料と加工法の組合せでの成立性とその効果予測ができることが求められる。例えば、Fig.6に示すようにディーゼルインジェクタのソレノイド部は当初スパイラルコアと呼んで高性能の電磁鋼板を放射状に巻いた上で溶接をしたものを使用したが、SMC (Soft Magnetic Composite) と呼ばれる鉄粉に絶縁皮膜をコーティングした軟磁性材料を圧粉成形することで同等の吸引性能が出せるとともにニヤネットシェイプ化ができています。

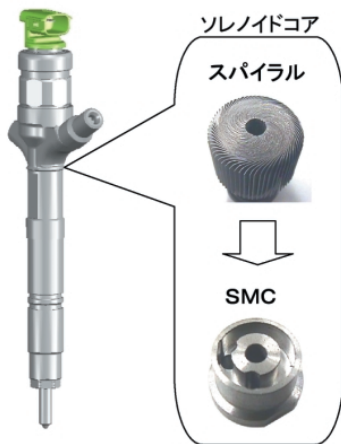


Fig.6 SMC material for diesel injector

現在多くの材料分野でナノテクノロジーを用いた超微細構造や自己組織化により、強度、延性、耐摩耗性、耐食性、磁気特性などの特性を向上させた材料が提案されているが、今後このような材料についても、材料・加工両面からの検討による製品差別化のための提案が必要である。

4.2 環境負荷物質フリーの代替材料，リサイクルしやすい材料，省エネ環境技術の先行開発

環境対応はデンソーエコビジョンの中で示しているとおり、環境負荷物質，リサイクル対応，省エネ・ゼ

ロエミッションを中心に推進中である²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾

環境負荷物質に関しては、欧州廃車指令に基づき、Pb, Cr⁶⁺, Cd, Hgの原則廃止が決定された。Cd, Hgは既に当社の部品からは全廃されており、Cr⁶⁺については、当社にとって影響の大きいエアコンのエバポレータ用表面処理用Cr⁶⁺クロメートは、耐食性に優れた特殊チタン系皮膜を用いることで廃止した。現在その他の部品の表面処理に使用されている亜鉛クロメート用Cr⁶⁺の代替技術としてCr³⁺を用いた特殊クロム系皮膜の技術開発が完了しており切り替えを行う段階にある。また、Pbについてもやはり当社にとって影響の大きいモータ用ブラシについて鉛を含まないブラシで従来と同等の性能と寿命を有する代替材料開発が完了しており、切り替えを行う段階にある。

環境負荷物質の指定は今後欧州廃車指令に基づく上記4物質以外に、新たな人体や環境への影響に関する知見に基づき、増加することが予想される。従って、以上のような対応に加え、既に議論されている塩化ビニルなどのハロゲン化物などの代替材開発が必要である。また新規材料開発にあたっては将来の環境負荷物質も念頭に置いた検討が必要である。

リサイクルに関しては、自動車リサイクル法が成立した現在、廃車時のシュレッダーダストの低減に貢献できることが重要である。当社における最大の樹脂部品であるPP製エアコンケースは、回収後、その付属の他の樹脂部品と混合粉碎後メカニカルリサイクルを行っても当初の性能・耐久性を有することを確認している。また、次の大物樹脂部品である、ガラス繊維入りPA66製ラジエータタンクについては、市場で加水分解劣化を受けるため、リサイクル手段として材料メーカーと共同で回収後モノマーレベルに戻すことなく重合度を上げて元の品質に戻すコンポジットリサイクル技術を確認し、完全にリサイクル可能であることを検証した。ただし、今後の当社の製品動向として、Fig.7に示すようにフロントエンドモジュール、吸気モジュールなどのこれまでにない大物で複合化度の高い部品が登場してきており、これらについても検証が必要である。

以上の環境対応の材料技術に関する詳細は本特集中の「エコマテリアル研究の取り組み」に述べられている。また、省エネやゼロエミッション化に貢献できる技術開発の例としては、本特集に掲載した「塗装下地用電解リン酸塩化成処理技術」がある。本技術は塗装の下地処理として当社の製品の塗装品質を大きく向上

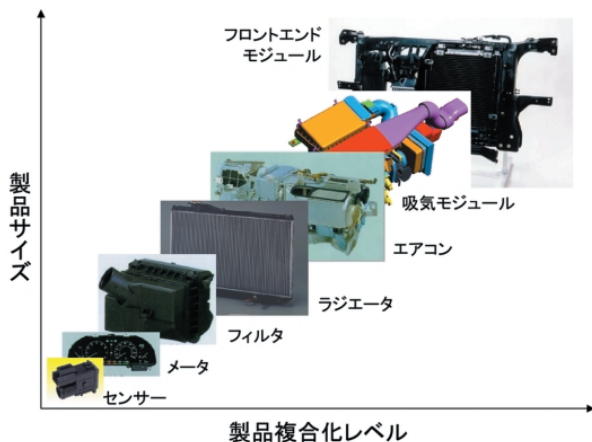


Fig. 7 Trend for DENSO automotive products

させるものであるとともに、従来の無電解化成処理に比較すると、薬品の補給が必要最低限ですむ。また処理エネルギーが大きく削減できるとともにスラッジの発生が解消できる省エネ・ゼロエミッション技術である。このような化成処理技術を他の処理分野に更に適用していきたいと考えている。

4.3 評価解析技術の向上

自動車部品に用いられる材料はますます高い性能が求められ、その性能実現のためには現象をとらえるだけでなくその現象の背景となるキーとなる組成や形態の把握が必要となる。また、高い性能を必要としない用途の場合でも、高い信頼性を保証するには材料が製品の中で受ける影響と材料の許容値を的確に把握する評価技術、寿命予測技術が今まで以上に重要になってきた。

そのためには、まず製品として受ける負荷や損傷を細かく捉える解析力、観察力、分析力の技術力向上が必要であり、それを試験片レベルに表現して検証する能力の向上が必要である。一方、同様に材料が製品に使用された場合に様々な加工要因や使用環境下での劣化を受けて材料としての許容値がどのように変化するかを細かくとらえる解析力、観察力、分析力の向上が必要である。

すなわち、いずれの場合においてもFig.8に示す製品のストレスと材料の許容値の両方を精度良く把握する評価・解析技術の向上が求められている。その両者が精度良く把握できることで、余裕度予測の高精度化が可能である。例えば、今後更なる高圧・高面圧化が要求されているディーゼル噴射ポンプにおいてはその損傷のメカニズムや寿命を予測することがきわめて重要になる。

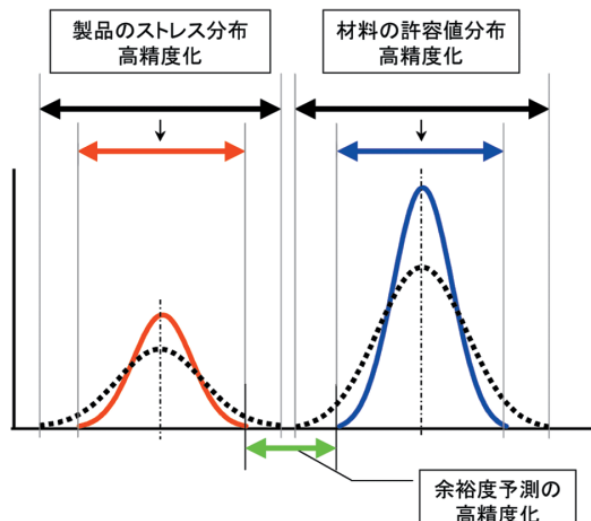


Fig. 8 Stress-Strength model

また、軽量化・低コスト化を実現する手段として樹脂材料やアルミダイカストの高負荷環境への適用が今後ますます増加するが、その場合の限界の把握や寿命把握が重要である。アルミダイカストの鑄造欠陥の影響が明らかにできれば、それを制御することで高強度材料開発の目標値の提示が可能となる。

更に、これまで仮止め程度であれば問題にする必要も無かった接着も、接着強度を保証しようとするならば、硬化プロセスの最適化による接着の信頼性向上や、その界面がどのような状態であれば良いのかといった原因系にまでメスを入れる必要がある。

本特集集中では上記の評価解析技術の例としてそれぞれ、「セラミックスと金属の焼付きメカニズム」、「アルミニウム合金ダイカストの疲労強度に及ぼす鑄造欠陥の影響」、「熱硬化型樹脂注型品の硬化プロセス解析技術の開発」、「樹脂接着界面の解析」に述べられている。

今後ともこのような製品が受けるストレスと材料が有する許容値を精度良く把握するための解析力、観察力、分析力の技術力向上をはかっていく。

4.4 海外生産を考慮した材料の採用および開発

これまで材料開発は日本国内で行われ、日本国内の材料メーカーの事情を前提条件として行ってきた。その結果、海外生産時には現地調達材料の検討ステップが必要となり、この検討期間中は日本からの材料輸出が必要となり、余分なコストをかけることになっていた。また、現地調達材料が各国で発生し、同じ製品に対する材料として世界を見渡した場合にどのように材料を使用するのが最適であるのかがわかり難い。

既に使用している材料については、グローバルに見たときに材料の最適化を考える上で材料の統合が必要であり、今後の開発材料については、グローバルに同じ仕様の材料が供給できる材料メーカーとの材料開発がますます重要になってくる。

そのため、特に今後の開発材料については、国内外の材料メーカーの海外各地域での技術力、供給能力を踏まえた上で、Fig.9に示すように最適な材料メーカーとの共同開発を最初から行うことで国内と海外の生産が同時か、あるいは海外生産が先になる場合にも現地調達時の余分なコストが発生しない体制にもっていく必要がある。

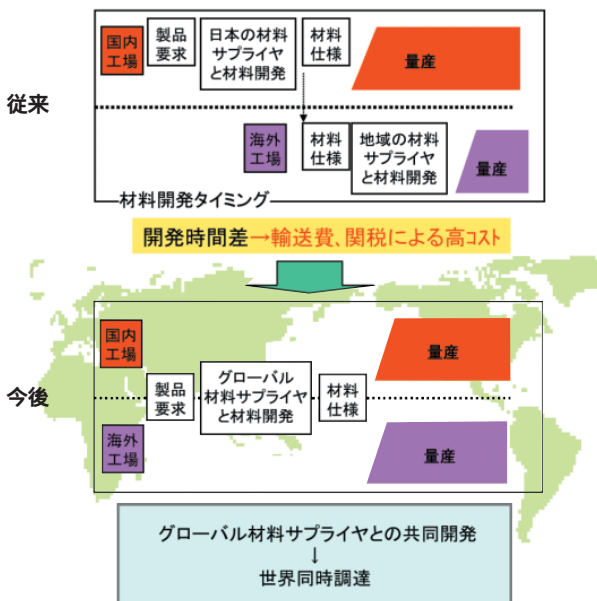


Fig.9 Concept for development with global material suppliers

5. 結言

以上、当社における材料技術の現状および課題と対応を述べた。材料は当社製品のモノ作りの基礎であるとともに、製品競争力の源であり、これまでに加工技術と生産システム技術とのコンカレントエンジニアリングをとおして当社の製品競争力向上に貢献してきた。材料技術を取り巻く課題として、部品メーカー間の競争激化、環境対応の重要性増大、部品信頼性要求の増大、グローバル展開への対応などが存在するが、今後とも製品競争力に貢献しつづけるべく、各課題に対して各材料分野での対応努力を確実に行っていきたい。更に各材料分野間および処理技術・加工技術とのこれまで以上の問題意識共有に基づくコラボレーションで大きな前進をしていきたいと考えている。

<参考文献>

- 1) デンソー50年史
- 2) デンソー環境報告書1999年版
- 3) デンソー環境報告書2000年版
- 4) デンソー環境報告書2001年版
- 5) デンソー環境報告書2002年版

<著者>



若林 宏之
 (わかばやし ひろゆき)
 材料技術部
 材料技術開発に従事