

展望

これからの自動車車体用材料

田中 淳夫

トヨタ自動車(株) 第一材料技術部 担当員

Atsuo Tanaka

The Trend of Auto Body Materials

1 はじめに

古くは馬なし馬車として木製から始まった自動車の車体材料は、初期の種々の試み（例えばアルミ板製車体：グラディアートル 1914年、マグネ板製車体：プガティアトランティク 1939年等）が一段落して、鋼板によるユニット構造が普及して以来、様々な改良を積み重ねながらその構造が定着している。自動車は大量生産・大量販売の耐久消費材であり、前提となる高い生産性や低いコストの実現性を考慮するならば、鋼板の一体ユニット構造の優位性は当面揺るがない様に思える。しかしながら、21世紀に向け自動車が社会に適応し続けていくために安全、軽量化、リサイクル等の種々の要請に対応する必要がある、車体構造や材料についても更なる改良・革新が求められているのが現実である。本稿では、将来の自動車車体の材料について現状を整理し、次にその将来の方向について私見を述べて行きたい。

2 自動車を取り巻く環境について

図1¹⁾は日本における自動車技術の要請と鋼板材料に関する技術の変遷について示す。黎明期の海外技術のキャッチアップの時代を経て、続くモータリゼーションの量的な拡大期を迎え、現在の自動車生産システムの基本的な様相が整えられた。この時期に車体用材料としての鋼板についても真空脱ガスやオープンコイル焼鈍等の成形性向上に有効な技術が導入され、その時代の要請であった生産性の向上に応え得る材料となった。その後の米国を中心とした衝突安全性向上の要求、さらにはオイルショックを契機とした車両軽量化の要請を受けて高強度鋼板（ハイテン）の適用が拡大された。続いて北欧・北米の冬期融雪塩散布地域の錆の問題から、車体の防錆性能の向上が求められる様になり、各種の防錆鋼板が使われる様になった。80年代末からは再び燃費の向上のための軽量化が主要な課題となり、続いて安全性の向上要請がそれに加わり、同時に更なる低コスト化への要請が付加されている。又、リサイクルや環境

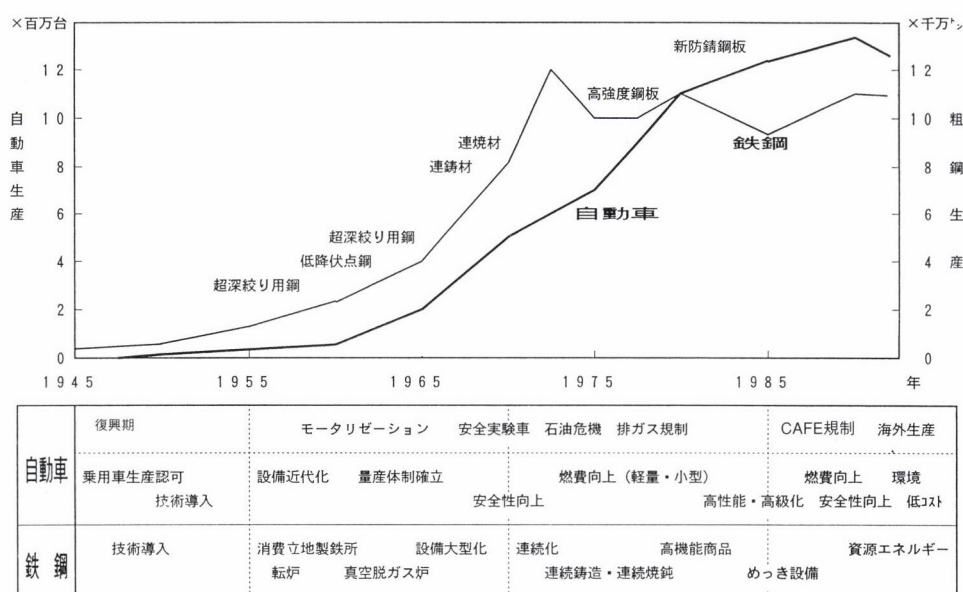


図1 自動車技術の要請と鉄鋼材料技術の推移

負荷物質規制等への対応も重要な課題となりつつある。

このように時代の要請が新しい技術を生み出し、その要請は20年程度のスパンで形を変え或いはレベルを変えて繰り返し出てきていると言える。車体材料への要求に関して言えば、基本的には軽量・高強度・高剛性・高耐久性・低コストの4点であり、これらがその時々時代の要請により程度を変えつつ繰返されてきたと言える。

次に軽量化（高剛性、高強度）、耐久性（防錆）、環境適合性、の3つの側面から現状の技術を整理し、最近の動向と将来の方向について述べて行きたい。

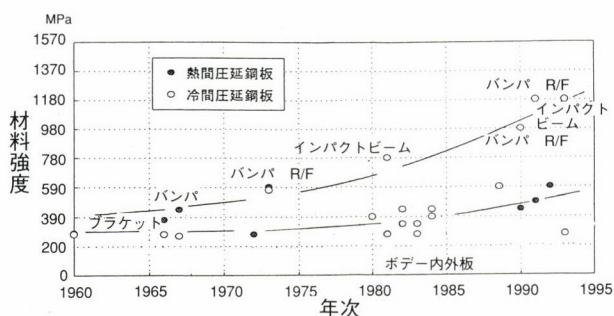


図2 トヨタ車への高強度鋼板適用の推移

3 軽量化（高剛性、高強度化）

3.1 高強度化による軽量化の経緯と現状

図2に、トヨタ車における高強度鋼板の使用の経緯を示す。車体材料の高強度化は軽量化及び安全性向上の2つを目的として適用が拡大されてきた。図2から1960年代後半から種々の高強度鋼板が開発され自動車の車体構造に適用されてきた様子が分かる。当初、これらの鋼板は析出強化型でプレス成形が困難であったこともあり、限られた部分に使用されただけであった。しかし近年、プレス成形性の良い固溶強化型鋼板の開発や成形技術の進歩が行われた結果、その使用比率は早いペースで増大している。現在では、代表的な乗用車の車体には30～40%の高強度鋼板が使用されている。

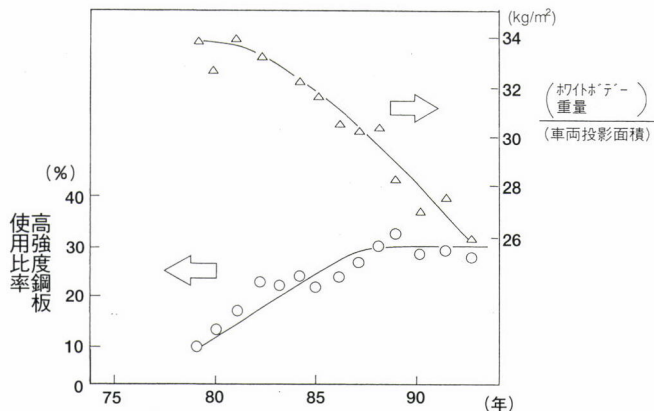


図3 軽量化に対する高強度鋼板の貢献

図3は高強度鋼板の使用比率と車体の重量の関係について示したものである。高強度鋼板の使用比率増加につれて軽量化も進んでいる事が分かる。しかし、近年高強度鋼板の使用比率は頭打ちとなり、それにも係わらず軽量化は進んでいる。これは、大型のガゼットやメンバ類の最適配置等の構造最適化、さらにはレーザ結合によるテラードブランキングの活用等の生産技術と構造設計の進歩による所が大きい。一例として図4にテラードブランキングによるドアパネル一体化の例を示す。図に示される様に車体各部位に最適な板厚及び材質の鋼板をレーザの突き合わせ接合により一体化してパネルを構成する技術であり、軽量化と共に低コスト化をも達成できる有力な手段である。これら材料・設計・生産技術の共同作業により軽量で高強度な車体が作られている。

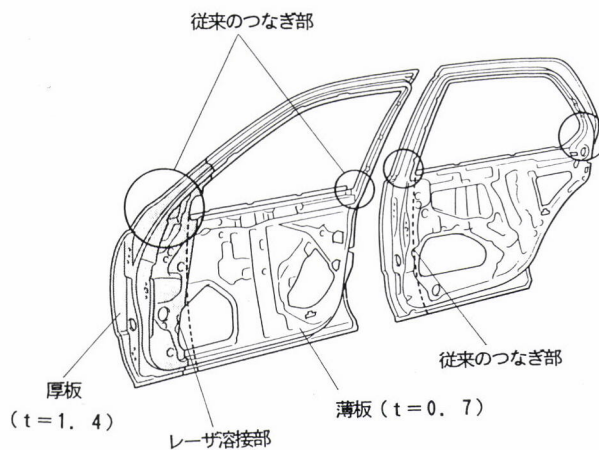


図4 テラードブランキングの例

3.2 今後の高強度化について

図3に示した様に近年高強度鋼板の使用比率は頭打ちとなっているが、これは現在、高強度化が3つの限界に直面しつつあることによる。それは、①成形限界（形状凍結性、面歪みの問題）②特性向上の限界（明確な軽量化効果を得るには大幅な特性向上が必要）③剛性限界（部材によっては剛性の限界に達しつつある）である。次にこの状況について簡単に示す。図5、6は車体外板を想定し、等しい耐デント性と張り剛性を得るための板厚と材料特性について示したものである。図より更なる板厚減少には非常に大きな材料特性の向上が必要であることが分かる。例えば耐デント性を現状と同等に保って板厚を10%下げるには降伏応力の23%向上が必要となり、現状既に340MPa～390MPa級の高強度鋼板が使われている事から見て、その向上にはプレス成形上かなりの努力を要するものと思われる。又、張り剛性については、従来材料特性的に有効な手段がなかった。近年鋼板の結晶方位の制御によって、特定方向ではあるがヤング率の向上する方法が報告されているが、この方法によってもその向上代が20%程度であることから見て、

部材としての張り剛性を向上させる事は、かなり困難であると言える。逆に言えば、今後の大幅な板厚減少は材料特性の向上だけではなく、形状や構造等の他の手段との組合せが必須であると言える。

内部の構造材（内板）については、前述の外板とは若干事情が異なる。その理由は、車両の内部構造が衝突安全性向上の要請を受けて、現在高強度化複雑化の過程にあるためである。図7に最近の衝突安全規制に対応した車体構造をしめす。ピラーやロッカー内部にリインフォース（補強部材）が数多く入っている様子が分かる。これらは、各部材の変形モードのコントロールや強度の向上のために入れられており、材料的にも高強度材の使用が望まれる所である。従って、現在高強度材使用において課題となっているプレス成形での形状凍結性等の問題が解決すれば、リインフォース省略のメリットもあり、更に高強度化や適用部位の拡大が進行するものと思われる。

3.3 今後の生産技術と軽量化について

今後の軽量化を考える時、生産技術の進歩は重要な要素である。特にこれまでのように高強度材を使いこなすための生産技術開発とか、逆に生産性を高めるための材料開発と言った視点ではなく、今後は両者が一体となった全体最適による軽量化を目指す必要があるように思われる。

適切な例かどうかは別にして、次に幾つかその萌芽と思える例をあげて置きたい。図8³⁾は最近発表となったULSAB (Ultra-Light Steel Auto Body project)の車体構造である。このProject は国際鉄鋼協会がPorsche Engineering に委託して鋼板を使用した自動車車体の軽量化について研究を行ったものであるが、いくつかの特徴的な構成が想定されている。その一つがハイドロフォームと呼ばれるパイプの液圧成形技術（図9³⁾）である。これは、パイプに4000～6000気圧の圧力と圧縮応力を付加しつつ断面形状と板厚を変化させる方法であるが、溶接部やフランジのない高強度の閉じ断面構造体が得られると言う点で興味深い。本成形法を前提とした新しいパイプ材質の可能性についても今後検討が進めば、新たな車体構造や材料の展開も期待できる。但し、現状では成形サイクルが一般のプレス成形に比べて長時間であり、大量生産の車体製造ラインに適合するためにはもう一段の技術的進歩が必要のように思われる。

この他に熱間成形も興味深い技術分野と言える。この成形技術は、鋼板を熱間成形すると同時に型内で焼入れし高い強度を得ようとするものである。鋼板の強度は熱処理によって飛躍的に上昇し、一方では熱間の成形によって高強度材の形状凍結性の問題も回避できる可能性がある。この様な成形技術に用いる材料として、例えば棒鋼では一般的な非調質鋼の利用も考えられる。但し、現実の製造ライン

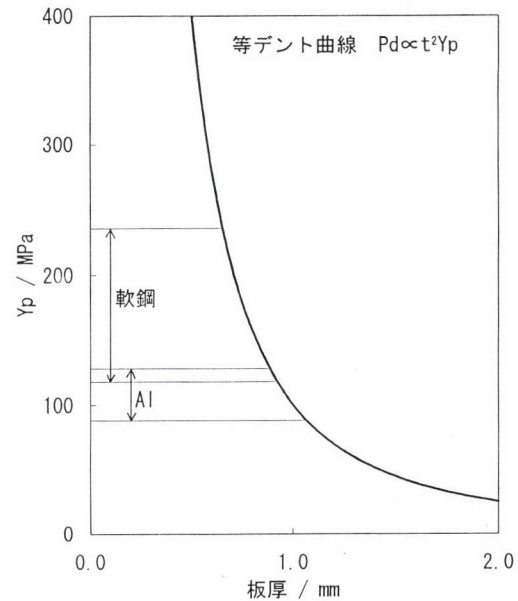


図5 耐デント性に及ぼす降伏強度と板厚の影響

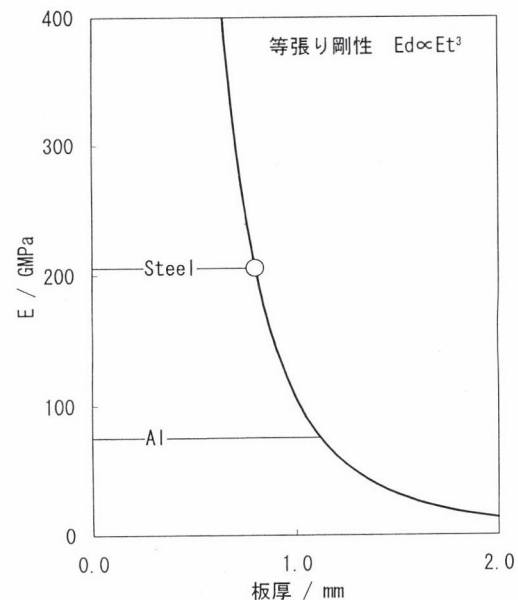


図6 張り剛性に及ぼすヤング率と板厚の影響

の中でこのような温度と冷却を取り扱うことには、それなりの困難が予想される。

同様に成形と熱処理の接点と言う考え方で見れば、レーザ等的高密度エネルギーを利用して成形前又は成形後に部分的な熱処理を施し、必要とされる部分だけに高強度を付与する方法⁴⁾（図10）も発表されており、今後の発展を期待したい。

3.4 軽合金の利用と軽量化について

軽量化について最も効果的であり且つ確実な手法が、軽合金の利用である。図5及び6に示した様に板厚は鋼板よりも増加するが、比重が1/3である事から単純に置き換えるだけで50%程度の軽量化が達成できる。図11⁵⁾に車体へのアルミ適用の主な例を示す。車体外板への軽合金の利用は

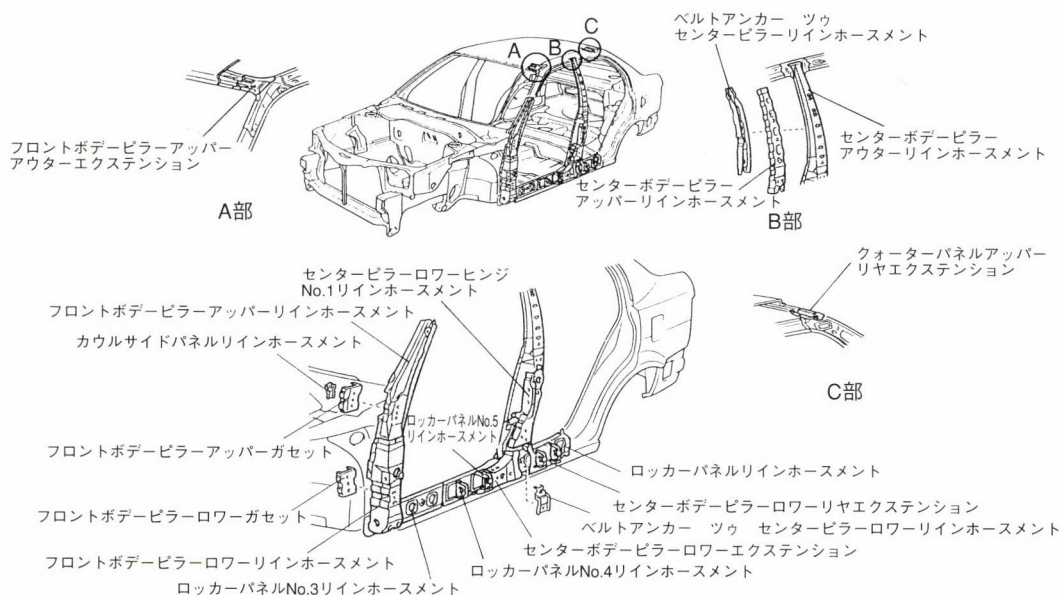


図7 最近の乗用車の車体構造

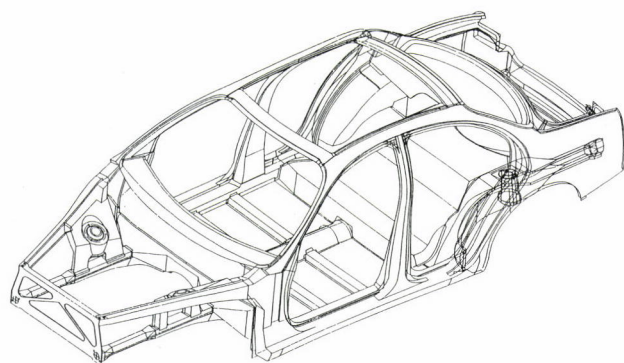


図8 ULSABの車体構造

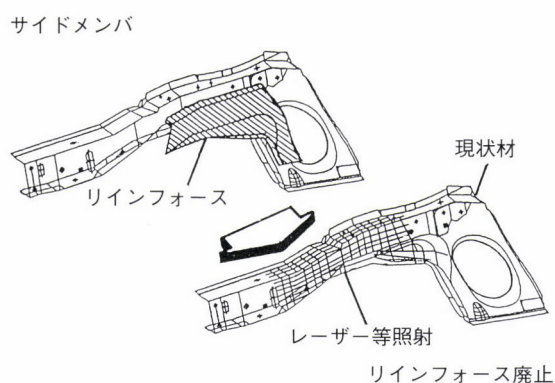


図10 レーザによる鋼板部材の熱処理

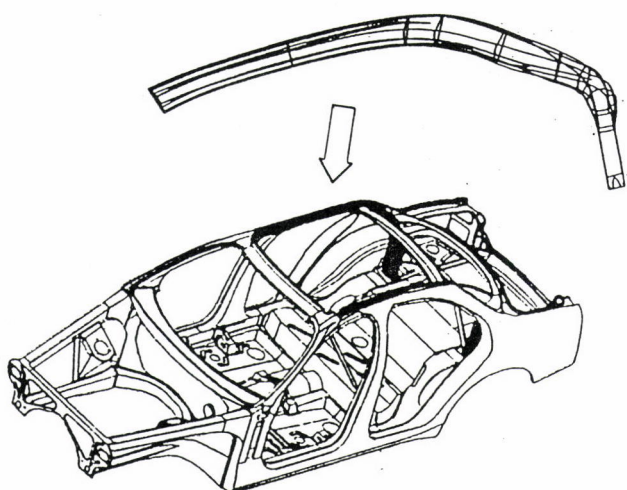


図9 ハイドロフォームの例

冒頭にも記したように古くから行われており、特に高価格のスポーツカー等には継続して使用され続けて来た。1980年代後半の米国CAFE規制強化法案から一般的な乗用車の車体へのアルミの使用が云々されたが、結果的にはコストの問題もあり、高級車への部分的な適用に止まっている。

オールアルミボディ	マツダ	ホンダ
フード	マツダ RX-7	ホンダ NS-X
	マツダ Eunos Roadster	
	日産 Fairlady Z, Skyline GTR	
	マツダ Eunos Cosmo	
	マツダ Sentia	
	日産 J Ferie	
	スズキ Cappuccino	
	三菱 Lancer	
	富士重 Impreza	
	トヨタ Supra	
	マツダ Eunos 800	
	トヨタ Celica GT-Four	
サンルーフ	日産 Infiniti	
	トヨタ Celsior	
	ホンダ Accord	
脱着式サンルーフ	スズキ Cappuccino	
	ホンダ CR-X	
	トヨタ Supra	
フロントフェンダー	日産 Skyline GTR	

'85 '89 '90 '91 '92 '93 '94 '95
(暦 年)

図11 車体へのアルミ材適用例

最近、ドイツ車でアルミを車体構造に本格的に使用した車が発表となった。図12に、そのアウディA8の車体構造を示す。アルミ押し出し材のスペースフレームを真空ダイカスト部材で結合し、その上にアルミ外板を張った構造であり、約40%の軽量化を達成している。大型のプレス型が不要な点はこの製造技術のメリットであるが、アルミを使

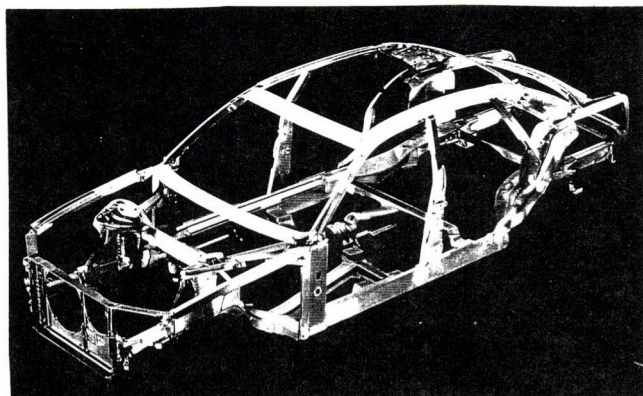


図12 アルミスペースフレームの例

用するだけにランニングコストは高く、月2000台程度迄の比較的少量生産車に適していると言われている。アルミの車体構造への適用は、技術的にもプレス・接合・塗装技術等に種々の洗練が必要であるが、最大の問題点は先に述べた様にコスト高であり、少なくとも素材としての重量当たりコストが鋼板の2～3倍程度まで下がらなければ、大幅な適用は困難であると言える。

それでは、アルミについて大幅な低コスト化の可能性は有るのであるか？現在のアルミ板の市況価格は鋼板の5倍以上であるが、地金のコストは鋼板の2倍程度である。大量の板生産が前提となろうが、鋼板程度の圧延コストによる低コストのアルミ板造りを期待したい。

軽量化は車体にとって永遠の課題とも言える。これまで述べて来た様に今後当面は、衝突安全性向上のために増加する重量を製造プロセスの改良と高強度鋼板の適用拡大により抑制する方向で推移するものと思われる。

4 耐久性（防錆性）

4.1 防錆鋼板適用の経緯と現状

冬期に路面に凍結防止のため塩を散布する地域における錆問題から、自動車の車体の耐久寿命の改善が求められるようになり、防錆鋼板の使用が促進された。図13は、その経緯について示したものである。1976年にカナダにてCAAコード（孔明き3年―表面錆1年）が、又1981年にはその強化（孔明き5年―表面錆1.5年）が行われた。更に、1983年には北欧にてノルデックコード（表面錆3年―孔明き6年）が制定されるに及び、米国のBIG3が10-5目標（孔明き10年―表面錆5年）を掲げるようになった。これに影響されて、各国の自動車メーカーも10-5目標を掲げて車体造りを進めているのが現状である。

図14にトヨタ車の使用している防錆鋼板について示す。内／外板とも合金化溶融Znめっき鋼板を使用しており、一部には成形性や塗装性を向上させるため2層合金化溶融Znめっき鋼板が使用されている。ホワイトボデーだけに

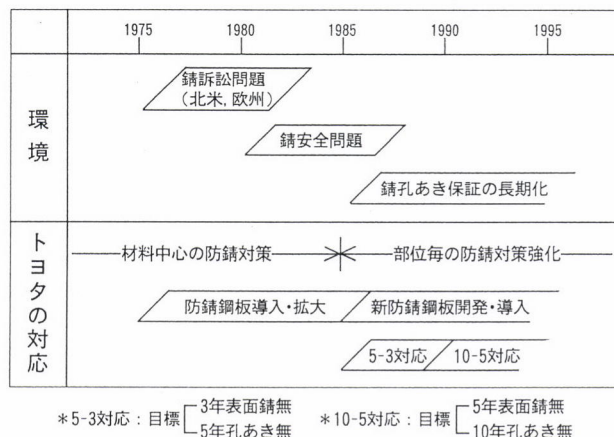


図13 防錆鋼板の使用経緯

限れば、現在車体の80～90%が防錆鋼板で造られている。但し、車両の防錆を達成するためには、鋼板の防錆力のみならず塗装・副資材（シーラ、ワックス、接着材）との組合せが重要であり、日本車では防錆鋼板と副資材との組合せで高い防錆性を達成している。図15に車体に適用されている副資材を示すが、この副資材の使用の考え方は、北米・日本・欧州によって各々異なる。北米メーカはZn目付けの多い防錆鋼板が主体であり、副資材は多用していない。一方欧州ではワックス等の副資材の使用量が多く、防錆鋼板使用比率は小さい。日本は両者の中間に位置すると考えられるが、近年では北米でZnめっき目付けが進行しており、一方欧州では防錆鋼板の利用が進んでいる。防錆鋼板の仕様や適用比率に限って言えば、両者とも日本車に近付きつつあると言える。

防錆鋼板の材質の変化は、図16^{a)}に示される通りであり、溶融めっき系の鋼板と電気めっき系の材料が自動車メーカ毎に使い分けられている。これは、主として裸耐食性を重視する場合と塗装後の耐食性を重視する場合とに対応して

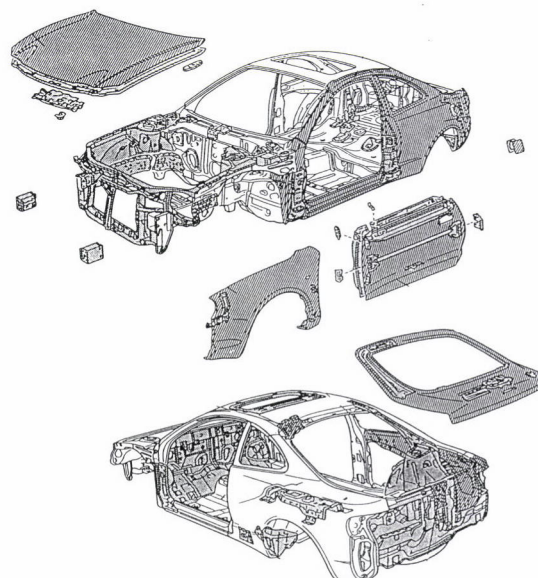


図14 トヨタ車に使用されている防錆鋼板の例

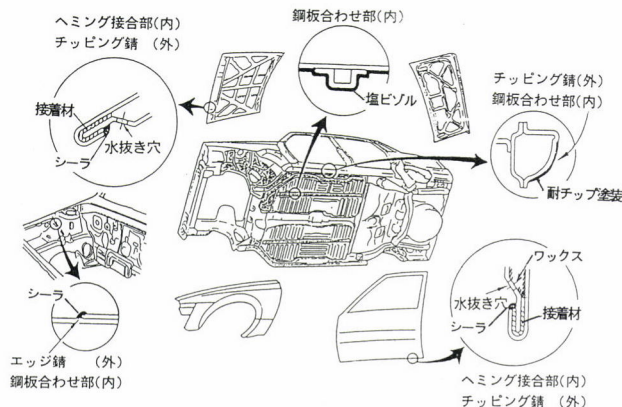


図15 防錆副資材の使用例

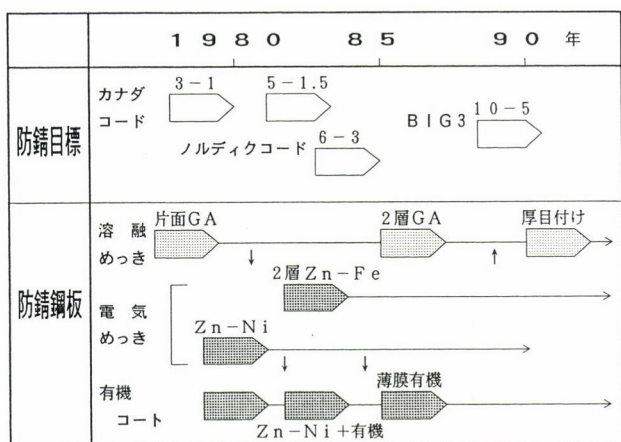


図16 防錆鋼板の材質変化

いる。裸耐食性を重視する場合には、Zn-Ni電気めっき鋼板の上に有機皮膜を有する鋼板が使用される。塗装後の耐食性を重視する場合には、合金化溶融Znめっき鋼板が好んで用いられる。10-5対応の防錆鋼板としては、有機複合Zn-Niめっき鋼板と厚目付け合金化溶融Znめっき鋼板が使用されている。これらの鋼板には各々長所・欠点があり、又自動車各社の防錆に関する考え方の相違もあって、早期にどちらかに集約される状況にはない。但し、世界的には低コストの溶融Znめっき系の鋼板にシフトしつつあるように思われる。

4.2 今後の防錆鋼板について

現在の防錆鋼板を取り巻く状況を一言で表せば、防錆鋼板は、成形性・溶接性や塗装性に各々欠点を持ちながらも、生産技術の改良によりなんとか使いこなされていると言える。又、防錆性能についても、現状の「10年孔明きなし」以上の要求は当面出てきそうもない。従って、現在の主要な改良方向は、使い勝手の向上と生産コスト低減に向けられている。この一例としては、合金化溶融Znめっき鋼板の車体外板面への適用があり、又プレス性改善のための表面潤滑手段の開発もその一環と言える。このように、当面は溶融系を中心とした低コストの防錆鋼板をどの様に使い

込むかが課題であるが、その先の発展のためには塗装や副資材を含めた防錆技術全体の中で防錆鋼板を考えて行くことが必要である。

先にも述べた様に防錆処理は、鋼板と塗装そして副資材の使用で成り立っている。これらは、現在世界的にあるバランス点に向かいつつあるようであるが(図17)、その姿は現状技術の延長上での最適点に過ぎず、その先の姿については色々と議論が別れる所である。極論を言えば、車体構造において隅々の隙間や角部まで完全にシールし得る防錆塗料があれば、防錆鋼板は不要となるか、あるいは微小な傷つきにのみ対応できる軽い仕様の防錆鋼板で良いことになるであろうし、逆にステンレス程の強固な防錆性が得られれば、防錆下地塗装や副資材の適用は不要となろう。腐食現象が地域毎の環境により、又車体の部位により程度・様相がことなることを考えれば、車体の部位や仕向け地毎に作り方や材料を変えていく事が最適化とも思われるし、一方で複雑化がコスト高を生む事を思えば、単一の手法に進むことが結局は最も低コストを実現するかも知れない。何れにしても現在各国の自動車メーカーが向かいつつあるバランス点は、防錆鋼板の端面やスポット溶接部の錆、防錆塗料のつきまわり性、防錆副資材の施工信頼性などの不十分な点を抱えたままの姿でしかなく、防錆を支えるこれら技術が現状を抜け出した時に従来にない新しい展望が開けるものと思われる。

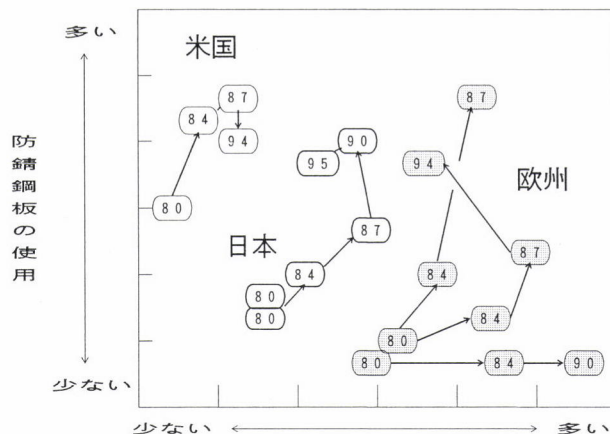


図17 防錆鋼板と副資材の適用

5 環境適合性について

最近、車体にかぎらず、自動車に使われる材料には環境との適合性が重視されるようになりつつある。その適合性とは、リサイクル容易な材料であることであり、又廃棄時に環境への負荷が少ないことであり、製造・使用・廃棄(リサイクル)の各段階においてエネルギー消費が少ないことである。最後に現在の車体材料についての環境適合性を考えてみたい。

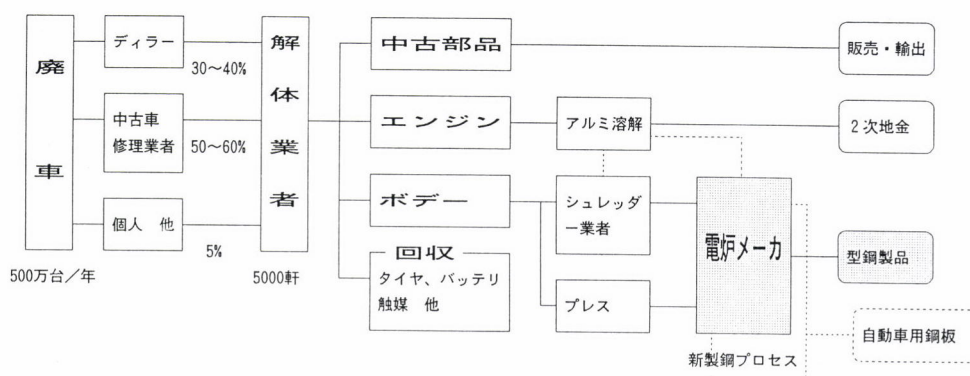


図18 自動車用鋼板のリサイクル

5.1 リサイクル性

図18⁷⁾に自動車の廃車処理の概要を示す。現在車体を構成している鋼板はほぼ100%リサイクルルートに乗っているが、リサイクルされる先は建築資材に使用される鋼材がそのほとんどを占める。これは、一つには現在の廃車処理時に不可避免的に混入する不純物元素が元の鋼板用途への再利用を困難にしているためと考えられる。もし、コスト的に成立し得る様な不純物元素の分離技術が成立すれば、リサイクルされる車体鋼板の用途は拡大し、廃車処理はより有効に機能するものと思われる。現在JRCMにて研究されている次世代製鋼技術の成果が待たれる所である。

アルミ材はリサイクルの優等生と言われるが、不純物混入の問題は鋼板とそれほど変わらない。ただし、現在車両に使用されているアルミ部材はほとんど鋳物製品であり、リサイクルされる先が鋳物の用途であっても格別問題はないと言える。しかし、車体材料としてアルミの展伸材が多く使用されるようになれば、展伸材だけのリサイクルルートの必要性も出てくるものと思われる。

更に遠い将来の事を考えれば、リサイクル時の不純物の問題を根本的に解決するため、添加元素に頼らない高強度化や逆に不純物元素の多く混入しても良好な成形性を有する鋼板などの新しい視点での材料開発も必要となってくるであろう。

5.2 環境負荷物質

リサイクルに関連し、車体材料への影響が予想される項目が環境負荷物質である。鉛やNi等、生態環境への悪影響が懸念される物質については、たとえ量が多くなくとも、その使用に関しては慎重に対応して行かなければならない。今後の材料選定や開発にはこれら物質の有害性や法的

規制の動向に注意して行くことが従来にも増して必要となっている。

6 おわりに

自動車車体用材料の現状をまとめ、その将来の方向に関して私見を述べてきた。当面の車体材料に関する動きは、今まで開発してきた多種多様な材料を有るべき姿に整理し、低コストな車造りのための体制を整える事が主体となっているのが現実である。しかし、その中でも将来の車体材料への本質的な変化は、既に始まっているように思われる。現在の姿は、あくまで種々の制約と過去の経緯を引きずって形造られた物であり、決して理想の姿ではない。次の時代の材料は現在の制約を乗り越えた所から生まれ出る様に思われる。視点を高く持ちつつ、次の時代に向けて歩みたいものである。

引用文献

- 1) 臼田松男、菊間敏夫：自動車用材料シンポジウム（1995.11）、9
- 2) 柴田眞志：自動車技術会シンポジウム（1994）、10
- 3) ULSABパンフレット（1995）
- 4) ユーレカ国際技術会議報告書（1994.9）、23、軽金属協会
- 5) 佐藤章仁、中嶋裕樹、中村真一郎、富岡良郎：自動車技術会 学術講演会前刷集951（1995.5）
- 6) 金丸辰也：第138・139回西山記念技術講座テキスト（1991）、165、日本鉄鋼協会
- 7) 武内美継：物価資料（1993.9）、記事18（1995年11月27日受付）